



برآورد وضعیت نیتروژن در مزارع نیشکر از روی تصاویر هوایی دیجیتال با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

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

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. ایمیل: aarefeh.hossaini@gmail.com
۲. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. ایمیل: hmasoudi@scu.ac.ir
۳. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. ایمیل: s.m.sajjadiyeh@gmail.com
۴. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران. ایمیل: s.abdanan@ramin.ac.ir

چکیده

در این پژوهش بررسی امکان استفاده از تصاویر هوایی دیجیتال برای تعیین میزان نیتروژن محصول در مزارع نیشکر مدنظر بود. پس از اینکه نقاط مورد نظر در سه مزرعه نیشکر (با ابعاد 120×100 متر که دارای زمان کاشت متفاوت بودند) علامتگذاری شدند، تصاویر نقاط با استفاده از یک دوربین دیجیتال معمولی نصب شده بر روی کوادکوپتر از دو ارتفاع ۵ و ۱۰ متر تهیه شدند. هم‌زمان با تصویر برداری هوایی از نقاط مشخص شده، از هر نقطه تعداد چهار عدد سرنی سالم بریده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند و با استفاده از روش کج‌لداال میزان نیتروژن محصول اندازه گیری شد. با استفاده از الگوریتم های پردازش تصویر در محیط نرم افزار متلب، از تصاویر گرفته شده شاخص های رنگی استخراج شده و همبستگی آن‌ها با میزان نیتروژن تعیین گردید. شاخص‌هایی که دارای همبستگی با نیتروژن بودند به عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی و میزان نیتروژن محصول بعنوان خروجی شبکه عصبی انتخاب شدند. شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) برای مدل‌سازی عصبی و معیارهای آماری RMSE و MAPE برای ارزیابی و مقایسه عملکرد شبکه های عصبی استفاده شدند. نتایج آموزش شبکه های عصبی مختلف نشان داد که دو شبکه عصبی با الگوریتم آموزشی لونیبرگ-مارکوات، تابع انتقال tansig برای لایه پنهان و purelin برای لایه خروجی، و تعداد ۱۰ و ۴ نرون در لایه پنهان (به ترتیب برای تصاویر از ارتفاع ۵ متر و ۱۰ متر) بهترین شبکه برای پیش‌گویی میزان نیتروژن نیشکر از روی تصاویر هوایی می باشند. مقدار میانگین خطا در آموزش شبکه عصبی برای ارتفاع ۵ متر و ۱۰ متر به ترتیب، ۰/۱۴۵ و ۰/۰۲۲ و ضریب همبستگی بین مقادیر پیش بینی شده با مقادیر واقعی نیتروژن به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۹۴ بدست آمد. آزمون t استیودنت نشان داد که مقادیر نیتروژن پیش‌بینی شده به وسیله شبکه های عصبی در ارتفاعات ۵ و ۱۰ متر، اختلاف معناداری با یکدیگر و با مقدار واقعی نیتروژن اندازه گیری شده با روش کج‌لداال نداشتند. مقدار RMSE برآورد نیتروژن در دو ارتفاع ۵ و ۱۰ متر به ترتیب ۰/۱۸۱ و ۰/۱۷۴ بدست آمد.

کلمات کلیدی: نیشکر، میزان نیتروژن، آزمایش کج‌لداال، شبکه عصبی مصنوعی، تصاویر هوایی دیجیتال.

* نویسنده مسئول: حسن مسعودی، خوزستان، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، تلفکس: ۰۶۱۳۳۳۶۴۰۵۷



Estimation of Nitrogen Status in Sugarcane Fields from Aerial Digital Images using Artificial Neural Networks

Seyedeh Arefeh Hosseini¹, Hassan Masoudi^{2*}, Seyed Majid Sajjadiyeh³ and Saman Abdanan Mehdizadeh⁴

1- Former M.Sc. student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: aarefeh.hossaini@gmail.com

2- Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: hmasoudi@scu.ac.ir

3- Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: s.m.sajjadiyeh@gmail.com

4- Assistant professor, Department of Mechanics of Biosystems Engineering, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mollasani, Khuzestan, Iran. Email: s.abdanan@ramin.ac.ir

ABSTRACT

In this research, the possibility of using digital air images to determine the amount of nitrogen in the sugar cane field was considered. After the points were marked on three sugarcane fields (120 × 100 m dimensions, which differed in planting time), the points images were captured using a conventional digital camera mounted on a quad-copter from 5 and 10 meters height. Simultaneously with the aerial imaging of the specified points, four healthy sugarcane top branches were cut from each point and transferred to the laboratory; where the nitrogen content of the product was measured using the Kjeldahl method. Using image processing algorithms in the MATLAB software environment, the color indices were extracted from the images and their correlation with the amount of nitrogen were determined. Indices that had correlation with nitrogen were selected as inputs of the artificial neural networks (ANN) and the nitrogen content of the product as the output. Multilayer perceptron neural network (MLP) was used for neural modeling and RMSE and MAPE statistical parameters were used to evaluate and compare the performance of neural networks. The results of different neural networks training showed that two ANN with Levenberg-Marquardt training algorithm, tansig and purelin transfer functions for the hidden and output layers respectively, and 10 and 4 neurons in the hidden layer for images of 5 and 10 meters height respectively, were the most optimal networks to predict the amount of sugarcane nitrogen from aerial images. The average errors of the ANNs training were 0.145 and 0.022 and the correlation coefficients between the predicted and actual values of nitrogen were 0.89 and 0.94, for 5 m and 10 m heights respectively. The student's t-test showed that nitrogen values predicted by ANNs at 5 m and 10 m heights did not have significant difference with each other and with the actual amount of nitrogen measured by the Kjeldahl method. The RMSE values of nitrogen estimation were 0.181 and 0.174 at 5 m and 10 m heights, respectively.

Key words: Sugarcane, Nitrogen, Kjeldahl test, artificial neural network, Digital aerial images.

۱- مقدمه

نیسکر یکی از گیاهان مهم قندی است. نیاز نیسکر به آب و عناصر غذایی (نیترژن، آب، اکسید کلسیم، اکسید فسفر، اکسید پتاسیم) زیاد می باشد. میزان این عناصر در خاک، روند رشد گیاه و همچنین کمیت و کیفیت محصول نهایی را تحت تأثیر قرار می دهد. در کشاورزی مرسوم، تمامی خاک مزرعه از نظر حاصلخیزی یکنواخت و همگن فرض می شود، بنابراین کوددهی به صورت یکنواخت صورت می گیرد، اما زمین های کشاورزی از این نظر متغیر بوده و نیاز دارند که مقادیر مختلفی از کود در نقاط مختلف مزرعه اعمال شود. با توجه به این که کوددهی به روش مرسوم پیامدهای نامناسبی دارد، باید به دنبال روش های مناسب که بر پایه مدیریت صحیح مصرف کود و افزایش بازدهی استوار است بود. کوددهی متغیر نیترژن یکی از روش هایی است که می توان برای کاهش اثرات زیست محیطی و افزایش بازده کود دهی استفاده کرد. اجرای موثر کوددهی متغیر نیترژن در سطح مزرعه، بستگی به توانایی تشخیص وضعیت نیترژن گیاه در هنگام عمل کودپاشی دارد. بنابراین روش های غیرمخرب تعیین وضعیت نیترژن گیاه در مدیریت کوددهی بسیار اهمیت دارند. از جمله روش های غیر مخرب استفاده از روش سنجش از دور می باشد. محققان روش های مختلف تعیین میزان نیترژن را بررسی کرده و در نهایت روش سنجش از دور را به عنوان یک روش غیرمستقیم و مناسب برای تعیین محتوای نیترژن معرفی کرده اند (Lemaire et al., 2008).



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران

Buali Sina University

تصاویری که برای مطالعات سنجش از دور و تهیه نقشه‌های مختلف برای مزرعه استفاده می‌گردند، به دو صورت می‌باشند: تصاویر هوایی و تصاویر ماهواره‌ای. تصاویر ماهواره‌ای با وجود قابلیت‌های فراوان، محدودیت‌هایی دارد که کاربرد آن‌ها را برای پژوهش‌های کشاورزی مشکل می‌کند؛ از جمله زمان بر بودن تهیه تصاویر و قیمت زیاد آن‌ها، محدود بودن تعداد برداشت تصاویر برخی از ماهواره‌ها در طول فصل رشد گیاه، نیاز به تصحیحات جوی، مشکل بودن همزمانی برداشت تصویر با نمونه برداری زمینی و به طور کلی می‌توان به قدرت کم آن‌ها برای تفکیک شدن از نظر طیفی، زمانی و مکانی اشاره کرد. تصویر برداری‌های هوایی که معمولاً انجام می‌گیرد با استفاده از هواپیما و بالگردهای سرنشین‌دار می‌باشد و نیاز به زمان، هزینه و باند پرواز دارد، این موضوع باعث محدودیت استفاده از آن‌ها شده است، از این رو استفاده از روش‌های ساده و ارزان مانند بکارگیری کوادکوپتر می‌تواند جایگزین روش‌های پرهزینه قبلی شود.

Lukina et al. (1999) برای تخمین پوشش سبزی و مقدار ماده خشک گندم از پردازش روی تصاویر رنگی که توسط دوربین دیجیتال رنگی گرفته شده بود استفاده کردند. Alchanatis et al. (2005) گزارش دادند که بهترین ناحیه رنگی که بیشترین همبستگی را با درصد نیتروژن برگ ذرت دارد، ناحیه ۵۳۰ تا ۷۸۰ نانومتر می‌باشد. Zhao et al. (2005) به منظور تعیین محتوای پروتئین دانه گندم، محتوای نیتروژن برگ را با استفاده از داده‌های سنجش از دور به دست آوردند. نتایج نشان داد که مشخصات طیفی به صورت معنی داری با محتوای نیتروژن برگ و پروتئین دانه و شاخص پوشش گیاهی (VI green) همبستگی دارند. در این پژوهش امکان استفاده از فناوری سنجش از دور به منظور پیشگویی محتوای پروتئین دانه تأیید شد. Swaina et al. (2007) از یک سیستم سنجش از دور ارتفاع پائین (LARS) دارای یک هلیکوپتر بدون سرنشین رادیو کنترلی برای گرفتن تصاویر با کیفیت از محصول و زمین با رزولوشن مکانی و زمانی بالا استفاده نمودند. تعیین رابطه بین تصاویر LARS و پارامترهای محصول (همچون سطوح نیتروژن محصول) مدنظر بود. پنج تیمار نیتروژن (۰، ۳۳، ۶۶، ۹۹ و ۱۳۲ کیلوگرم در هکتار) با سه تکرار بصورت تصادفی برای تست سیستم اخذ تصویر LARS در نظر گرفته شدند. تصاویر توسط واحد تهیه تصویر سیستم از ارتفاع ۲۰ متری کورت های آزمایشی گرفته شدند. ضرایب تبیین برای تیمارهای نیتروژن در برابر NDVI lars ، NDVI spectro ، GNDVI lars و محتوای کلروفیل برآورد شده از مقادیر بازتابی برگ در محدوده ۰/۷۰ تا ۰/۹۰ بودند که سطح بالایی از همبستگی بین آن‌ها را نشان داد. آزمون تایید مناسب بودن تصاویر LARS در مقابل قرائت های اسکپتروفوتومتر، تغییرات خطی را برای شاخص NDVI با ضریب تبیین از ۰/۷۰ و ۰/۸۰ به ترتیب برای محصولات ۴۵ روزه و ۶۵ روزه نشان داد. مدل‌های خطی نیز برای برآورد محتوای کلروفیل از مقادیر شاخص های NDVI lars و GNDVI lars از تصاویر، با همبستگی بهتر برای دومی ($R^2 \approx 0/82$) توسعه داده شدند و پس از آن می‌توان سطح کمبود نیتروژن را تعیین کرد. مدل برآورد عملکرد، با مقادیر بالای ضریب تبیین برابر ۰/۹۵ و ۰/۹۸ به ترتیب برای NDVI lars و GNDVI lars و بالاتر از این مناسب بودن سیستم LARS را توجیه کردند. Feng et al. (2008) با استفاده از بازتاب چند طیفی پوشش گیاهی، میزان غلظت نیتروژن برگ گندم را به دست آوردند. نتایج نشان داد که باندهای طیفی حساس به نیتروژن اغلب در منطقه نور مرئی و مادون قرمز اتفاق می‌افتند. آن‌ها نشان دادند که بررسی بازتاب حاصل از سنجش از دور گیاهان نسبت به روش نمونه گیری، در شناسایی خصوصیات گیاه قابلیت بیشتری داشته و هم چنین تعیین خصوصیات طیفی گیاهان روشی سریع، مطمئن و غیرمخرب برای دستیابی به ویژگی‌های فیزیولوژیکی محصولات کشاورزی است. در پژوهش Ahmadi Moghaddam et al. (2009) از پردازش تصاویر رنگی برای تعیین وضعیت نیتروژن برگ های چغندر قند استفاده شد. آزمایش‌ها در اتاق فیتوترون و شش سطح مختلف کوددهی (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار) در پنج تکرار انجام گرفت. بر اساس تصویر گرفته شده توسط دوربین دیجیتال به کار گرفته 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 (تقریباً نصف زمان پردازش تصویر در فضای رنگی). اما مدل R-2B در فضای رنگی بیشترین همبستگی ($R^2 = 0/93$) را برای تخمین مقدار کلروفیل برگ نشان داد. Bagheri et al. (2011) برای تخمین میزان نیتروژن ذرت در سطح پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای ASTRR که دارای سه باند در محدوده‌ی طیفی نور مرئی و مادون قرمز (۵۲۰-۸۶۰ نانومتر)، شش باند در محدوده مادون قرمز میانی (۱۶۰۰-۲۴۳۰ نانومتر) و پنج باند در محدوده مادون قرمز حرارتی (۱۰۹۵-۸۴۷۵ نانومتر) بودند، استفاده کردند. Radmoghaddam (2011) در پژوهش خود به ارزیابی وضعیت نیتروژن گیاه اسفناج با استفاده از شاخص کلروفیل‌متر و پردازش تصویر مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی پرداخت. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از پردازش تصویر و شبکه‌ی عصبی رابطه‌ی خوبی در تخمین سطح کلروفیل گیاه اسفناج دارد ($R^2 = 0/92$) و بیشترین همبستگی برای تخمین کلروفیل برگ کسب شد ($R^2 = 0/97$) . رابطه‌ی خوبی نیز بین مولفه‌ی رنگی و سطح نیترات برگ وجود داشت ($R^2 = 0/84$) . همچنین بررسی نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی نسبت به روش رگرسیون خطی از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. Tewari et al. (2013) در پژوهشی با استفاده از پردازش تصاویر رنگی توانستند همبستگی خوبی بین میزان نیتروژن برگ گیاه برنج و شاخص‌های رنگی بدست آوردند، مقدار ضریب تبیین برابر با ۰/۹۴۸ به دست آمد. Jia et al.

¹Low-Altitude Remote Sensing (LARS)

(2014) پژوهشی را به منظور توسعه یک روش غیرمخرب برای پایش رشد پنبه و وضعیت نیتروژن آن با استفاده از یک دوربین دیجیتال انجام دادند. ضریب تبیین بدست آمده برای برآورد وضعیت نیتروژن محصول ۰/۹۷۸ بود. (Gol Mohammadzadeh et al. (2015) در تحقیقی به تخمین وضعیت نیتروژن برگ گندم با استفاده از پردازش تصویر پرداختند. کلروفیل برگ‌های انتخاب شده توسط دستگاه کلروفیل‌متر اندازه‌گیری گردید و همزمان از برگ‌ها تصاویر رنگی با وضوح 61×2048 پیکسل و در باندهای قرمز، سبز و آبی با فرمت JPEG تهیه شد. از آن‌جا که میزان کلروفیل برگ شاخص خوبی برای سنجش نیتروژن گیاه بوده و همبستگی خوبی بین مدل G, R و شاخص کلروفیل بدست آمد، لذا از آنالیز تصاویر رنگی می‌توان مانند یک دستگاه کلروفیل‌متر برای تشخیص کمبود نیتروژن در برگ‌های گندم استفاده کرد.

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 دوربین‌های چندطیفی، استفاده از آن‌ها قیمت تمام شده سامانه‌های هوایی پایش محصول را بالا می‌برد. لذا استفاده از دوربین‌های 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 کوادکوپتر تهیه می‌شوند) برای تخمین میزان نیتروژن محصول در مزارع نیشکر مدنظر قرار گرفت. هدف اصلی از این تحقیق تعیین میزان نیتروژن در برگ گیاه نیشکر با استفاده از تصاویر هوایی دیجیتال و توسعه الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی برای این منظور می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از سه مزرعه مختلف نیشکر با ابعاد 120×100 متر، در شرکت کشت و صنعت دعبل خزاعی واقع در استان خوزستان، که در آن‌ها نیشکر با واریته ۹-۱۰۶۲ cps در سه تاریخ متفاوت کشت شده بود، تصویربرداری و نمونه برداری به عمل آمد. ابتدا شبکه ای از نقاط در چهار ردیف مختلف از مزارع نیشکر علامتگذاری شد. روی هر ردیف (در راستای طول مزرعه) پنج نقطه به فاصله ۲۰ متر از یکدیگر انتخاب شدند. به این ترتیب در هر مزرعه ۲۰ نقطه با فواصل ۲۰ متر از طرفین نسبت به نقاط هم جوار تعیین شدند (شکل ۱).

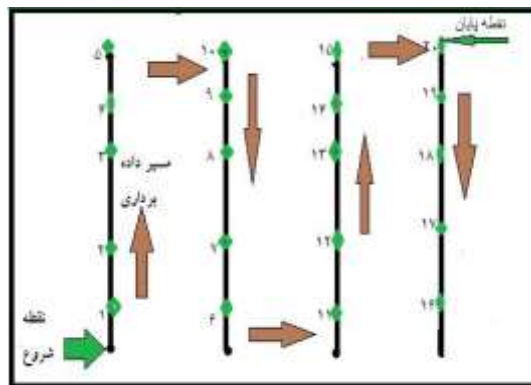


Figure 1. The points marking for sampling and imaging of sugarcane fields

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

تصویربرداری از مزرعه با استفاده از یک دستگاه عمود پرواز (کوادکوپتر) مدل فانتوم ۳ پروفشنال انجام شد (شکل ۲). این کوادکوپتر یک وسیله پرنده ۴ بال با وزن ۱۲۱۶ گرم است، دارای دوربین ۱۲٫۹ 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 با پورت USB به رایانه را داراست. همچنین دارای

¹Phantom 3 Professional

حسگرهای مختلفی از جمله قطب نما، ارتفاع سنج، شتاب سنج، ژيروسکوپ و آلتراسونیک می باشد (Masoudi et al., 2017).



Figure 2. Phantom 3 Professional Quad-copter used for taking the field images

شکل ۲- کواد کوپتر فانتوم ۳ پرو فشنال مورد استفاده برای تصویربرداری هوایی از مزارع نیشکر

با پرواز کواد کوپتر بر روی مزارع، تصاویر نقاط مشخص شده از دو ارتفاع ۵ متر و ۱۰ متر تهیه شدند (شکل ۳-راست). کواد کوپتر برای عکس برداری بالای نقطه مورد نظر ثابت می شود و سپس عکس از دو ارتفاع گرفته می شود و در حافظه دستگاه ثبت می گردید. پس از پایان عکس برداری، عکس های گرفته شده جهت پردازش تصویر به لپ تاپ منتقل شدند. از آنجا که زاویه دید بر روی کیفیت تصویر اثر دارد سعی شد که تصاویر گرفته شده نسبت به سطح زمین عمود باشند. هم زمان با تصویر برداری هوایی، نمونه برداری از محصول در نقاط مشخص شده نیز انجام شد. بدین صورت که از هر نقطه تعداد چهار عدد سرنی سالم - با فاصله ۴۵ سانتی متر از یکدیگر - بریده شده و در درون کیسه های پلاستیکی قرار داده شدند (شکل ۳-چپ).



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

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

نمونه ها در همان روز برای اندازه گیری مقدار رطوبت و نیتروژن به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه برگ های سوم، چهارم، پنجم و ششم انتخاب و رگ برگ آن ها جدا شدند (شکل ۴-راست)، سپس وزن شده و درون آون الکتریکی قرار داده شدند. پس از خشک شدن نمونه ها، مطابق شکل ۴-چپ با استفاده از روش استاندارد کجدالال میزان نیتروژن آنها اندازه گیری شد (Anonymous, 2016; Sharifi & Haj Abbasi, 2005)



Figure 4. The sugarcane leaf samples (left) and Kjeldahl test (right)

شکل ۴- نمونه‌های برگ نیشکر قبل از خشک شدن (چپ) و انجام آزمایش کجهدال (راست)

الگوریتم پردازش تصویر

مطابق شکل ۵ الگوریتم پردازش تصویر طراحی شده برای استخراج شاخص‌های رنگی از تصاویر مزرعه نیشکر از مراحل زیر تشکیل شده است:

پیش پردازش: تصاویر دریافت شده برای استخراج شاخص‌های رنگی مورد نیاز از تصاویر، طی مراحل پیش‌پردازش (شامل عملیات کاهش اندازه تصویر، باینری کردن تصویر، یکنواخت کردن تصویر، تعدیل نویز و حذف نویز به منظور ارتقاء کمی و کیفی تصویر) و پردازش نهایی توسط جعبه ابزار پردازش تصویر 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 شرایط نوری، از گسترش هیستوگرام افقی استفاده شد. در این مرحله ابتدا برای بدست آوردن تصویر باینری از تصویر اصلی باید دقت داشت که منطقه گیاه باید سفید و پس زمینه باید سیاه انتخاب گردد. سپس تصویر باینری در تصویر اصلی ضرب می‌شود، و در آخر کد یکنواخت‌سازی نور بر روی تصویر حاصل اعمال می‌گردد (شکل ۶).

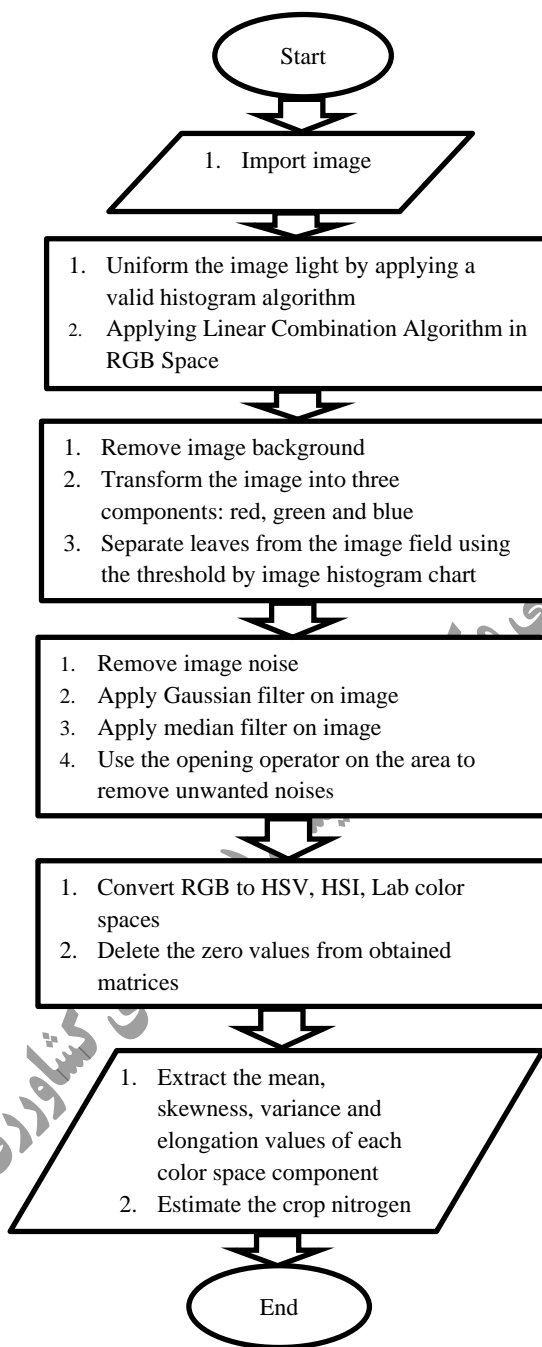


Figure 5. The image processing algorithm flowchart for color indices extracting from sugarcane crop images

شکل ۵ - فلوچارت الگوریتم پردازش تصویر برای استخراج شاخص های رنگی تصاویر محصول نیشکر

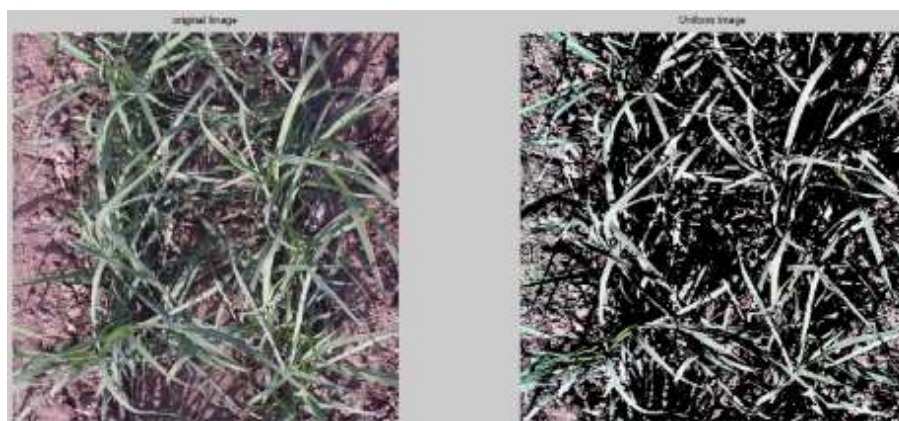


Figure 6. Original image (left) and uniformed image (right)
شکل ۶- تصویر اصلی (چپ) و تصویر یکنواخت شده (راست)

حذف نویز و پس زمینه تصویر: برای حذف پس زمینه تصویر الگوریتم‌های مختلفی وجود دارند. پس از تست الگوریتم‌های موجود، الگوریتم ترکیب خطی فضای RGB نسبت به بقیه الگوریتم‌ها جواب مناسب‌تری داد. لذا از این الگوریتم برای حذف پس زمینه تصویر استفاده شد. الگوریتم ترکیب خطی فضای RGB در سه مرحله اجرا شد:

- الف) تقسیم تصویر اصلی به سه مؤلفه تشکیل دهنده‌ی 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 آستانه‌گیری و نمودار مربوط به شدت هیستوگرام، مقادیر آستانه برای حذف پیکسل‌های زمینه (خاک) از تصویر مشخص گردید و با استفاده از تابع آستانه‌گیری رابطه ۱ جداسازی صورت گرفت (Ahmadi Moghaddam et al., 2009)

$$g_i(x, y) = f(x) = \begin{cases} f_i(x, y) & f_i(x, y) \leq T_i \\ 0 & f_i(x, y) \geq T_i \end{cases} \quad (1)$$

$g_i(x, y) =$ 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 1 مؤلفه‌های تصویر را در سه کانال قرمز، سبز و آبی بیان می‌کند. با توجه به تابع فوق، شدت پیکسل‌های مربوط به برگ نیشکر تغییر نکرده و فقط مقدار پیکسل‌های زمینه‌ی تصویر صفر می‌گردد (شکل ۷-ب). برای حذف نویز از دو فیلتر گوسی و میانه استفاده شد. پس از حذف زمینه‌ی تصویر، برای حذف نویز از تصویر و بازسازی نقاط حذف شده از محصول از اپراتور $openin$ بر روی مساحت استفاده شد. از آنجا که تصویر در شرایط کنترل نشده گرفته شده دارای یکسری نویزهای ناخواسته می‌باشد که با استفاده از این اپراتور حذف گردیدند.

استخراج ویژگی 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 شاخص‌های رنگی، تصویر از فضای رنگی RGB به فضاهای رنگی مورد نظر (HSV, HSI, Lab) تبدیل شد (شکل ۷) و پس از حذف صفر، مقادیر میانگین، واریانس، چولگی و کشیدگی مؤلفه‌ی هر فضای رنگی از روابط ۲ تا ۵ تعیین شد.

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

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

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

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

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

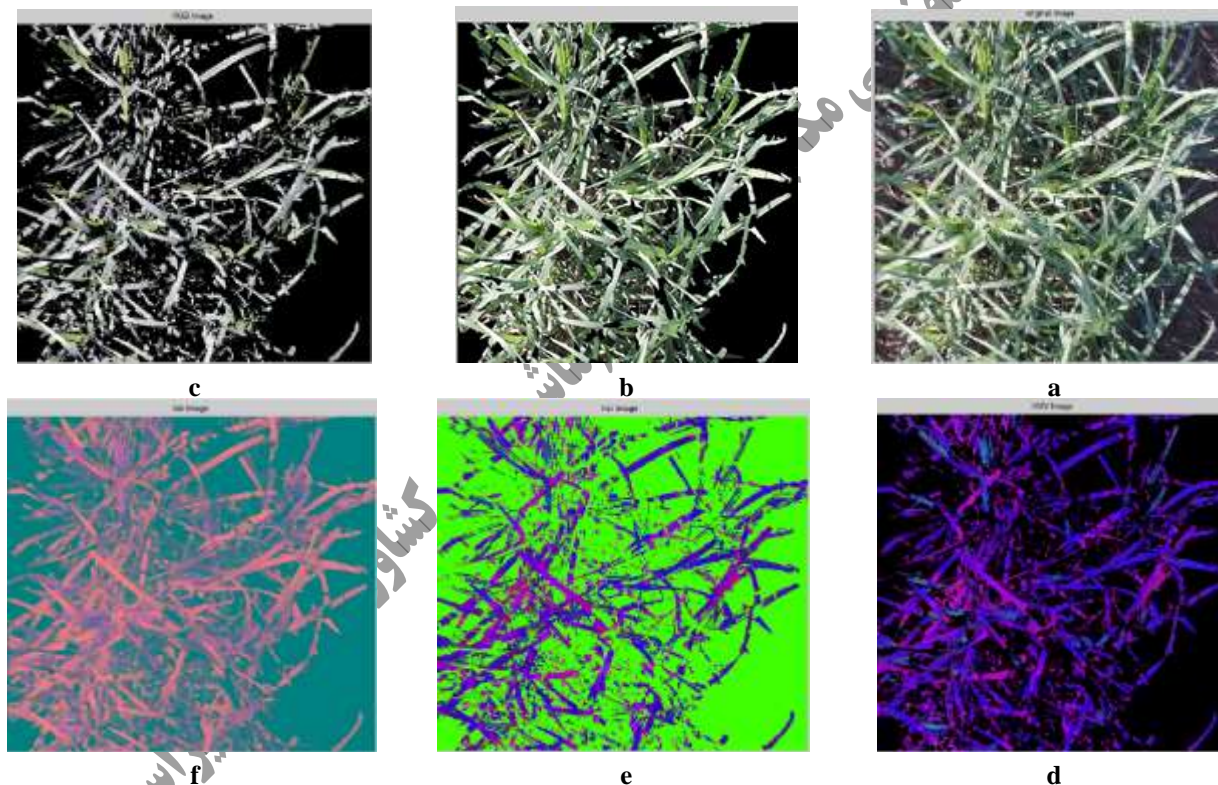


Figure 7. Sugarcane images in different color spaces, a- Original image, b- Background and nose removing, c- RGB space, d-HSV space, e- HSI space, f-Lab space

شکل ۷- نمایش تصویر در فضاهای رنگی مختلف الف- تصویر اولیه، ب- حذف پس زمینه و نویز تصویر ج- فضای رنگی RGB، د- فضای

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

شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۱ (MLP) برای تعیین رابطه بین میزان نیتروژن محصول نیشکر با شاخص‌های رنگی استفاده شد. بر اساس قضیه تقریب عمومی، تنها یک لایه مخفی برای شبکه عصبی پرسپترون چند لایه در نظر گرفته شد. مطابق شکل ۸ در شبکه عصبی استفاده شده، مؤلفه‌های فضای رنگی (R, G, B, H, S, V, H, S, I) به عنوان ورودی شبکه و میزان نیتروژن محصول بعنوان خروجی شبکه عصبی در نظر گرفته شد. پنج تابع مختلف به عنوان تابع فعالیت هر یک از نرون‌ها به منظور مقایسه عملکرد توابع فعال سازی انتخاب شدند. همچنین قابل ذکر است برای آموزش بهتر شبکه عصبی از سه دوره رشد مختلف محصول در مزرعه، تصویر برداری صورت گرفت.

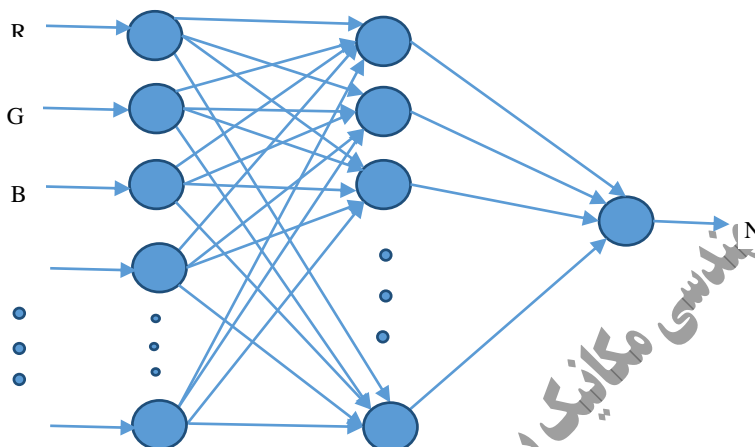


Figure 8. The ANN used for sugarcane nitrogen value estimation from color indices
شکل ۸ - شبکه عصبی مصنوعی پیش بینی مقدار نیتروژن گیاه نیشکر از روی مقادیر شاخص‌های رنگی

در ابتدا برای همگرا شدن و بهبود عملکرد یادگیری شبکه عصبی، مؤلفه‌های فضای رنگی و مقادیر نیتروژن به روش نرمالیزاسیون خطی در محدوده [۰/۱ ۰/۹] نرمال شدند. ۷۰ درصد داده‌ها به طور تصادفی برای آموزش و دستیابی به مقادیر بهینه پارامترهای شبکه عصبی و ۳۰ درصد داده‌های باقی مانده نیز به منظور ارزیابی قابلیت تعمیم پذیری شبکه استفاده شدند. برای آموزش شبکه از الگوریتم پس انتشار با نرخ یادگیری کاهشی^۲ (BDLRF) استفاده شد. الگوریتم آموزش BDLRF با آهنگ یادگیری (η) و عامل ممنوم (α) ثابت و نسبتاً بزرگ شروع می‌کند و قبل از آنکه شبکه ناپایدار و یا همگرایی آن کند شود، هر T تکرار ($3 \leq T \leq 5$) آهنگ یادگیری و عامل ممنوم را از طریق تصاعد حسابی بصورت یکنواخت کاهش می‌دهد تا زمانیکه این پارامترها به x درصد (5%) مقادیر اولیه خودشان برسند. یادگیری شبکه در دو فاز پیش انتشار و پس انتشار اتفاق می‌افتد. وزن‌های هر لایه از شبکه از طریق روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌شوند (Massoudi & Rohani, 2016).

$$u_{jk}(n+1) = u_{jk}(n) - \eta \frac{\partial E}{\partial u_{jk}} + \alpha(u_{jk}(n) - u_{jk}(n-1)) \quad (6)$$

$$w_{jk}(n+1) = w_{jk}(n) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} + \alpha(w_{jk}(n) - w_{ij}(n-1)) \quad (7)$$

که در این روابط w_{ij} اتصال وزنی بین گره‌های i و j و u_{jk} اتصال وزنی بین گره‌های k و j و k مقادیر اولیه این وزن‌ها بطور تصادفی از دامنه مقادیر $[-0.25, 0.25]$ انتخاب می‌شود. I_2 و I_3 به ترتیب تعداد نرون‌ها در لایه مخفی و لایه خروجی می‌باشند. η و α به ترتیب آهنگ یادگیری و عامل ممنوم هستند و مقادیر آن‌ها در فاصله $[0, 1]$ قرار دارند و n شماره تکرار الگوریتم ($n = 1, \dots, N$) می‌باشد. برنامه رایانه‌ای برای اجرای الگوریتم‌های پردازش تصویر و شبکه عصبی و رابط گرافیکی کاربر (GUI) برای استفاده از آنها در محیط نرم افزار متلب نسخه ۲۰۱۴a پیاده سازی و اجرا شد.

¹Multi-layer perceptron

²Back-propagation with declining learning-rate factor (BDLRF)



آماده‌سازی داده‌ها در محیط نرم افزار اکسل ۲۰۱۳ و تجزیه و تحلیل آماری نتایج با نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام شد. برای ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های شبکه عصبی MLP در پیش بینی نیتروژن محصول نیشکر معیار آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۸) و میانگین قدرمطلق درصد خطا (MAPE) (رابطه ۹) استفاده شد (Masoudi & Rohani, 2016).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (dv - pv)^2}{n}} \quad (8)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{dv - pv}{dv} \right| \quad (9)$$

که در این رابطه dv مقدار واقعی نیتروژن محصول نیشکر، pv مقدار پیش بینی شده آنها و n تعداد نمونه‌ها است.

۳- نتایج و بحث

بر اساس تحلیل آماری همبستگی پیرسون، از میان ۴۸ ویژگی رنگی استخراج شده با پردازش تصویر (RGB, HSV, $H_1S_1I_1$, Lab) فقط ۲۴ ویژگی شامل « $\bar{R}, \bar{G}, \bar{B}, \bar{H}, \bar{S}, \bar{V}, \bar{H}_1, \bar{I}_1, \bar{a}, B_K, S_{IK}, L_K, a_K, H_s, V_s, S_{I_s}, L_s, a_s, H_v, S_v, V_v, S_{I_v}, a_v, L_v$ » که دارای همبستگی مثبت با میزان نیتروژن برگ بودند، انتخاب شدند. لذا تعداد نرون‌ها در لایه ورودی شبکه عصبی با توجه به انتخاب شاخص‌های موثر از ۴۸ نرون به ۲۴ نرون کاهش یافت. دو شبکه عصبی با الگوریتم آموزشی لونیبرگ-مارکوات با ۱۰ و ۴ نرون در لایه مخفی (به ترتیب برای تصاویر از ارتفاع ۵ متر و ۱۰ متر) و تابع انتقال tansig در لایه پنهان و تابع انتقال purelin در لایه خروجی، آموزش داده شدند. نتایج آموزش شبکه عصبی برای پیشگویی میزان نیتروژن با شاخص‌های رنگی بدست آمده از تصاویر در ارتفاع ۵ متر و ۱۰ متر به ترتیب در شکل‌های ۹ و ۱۰ آمده است.

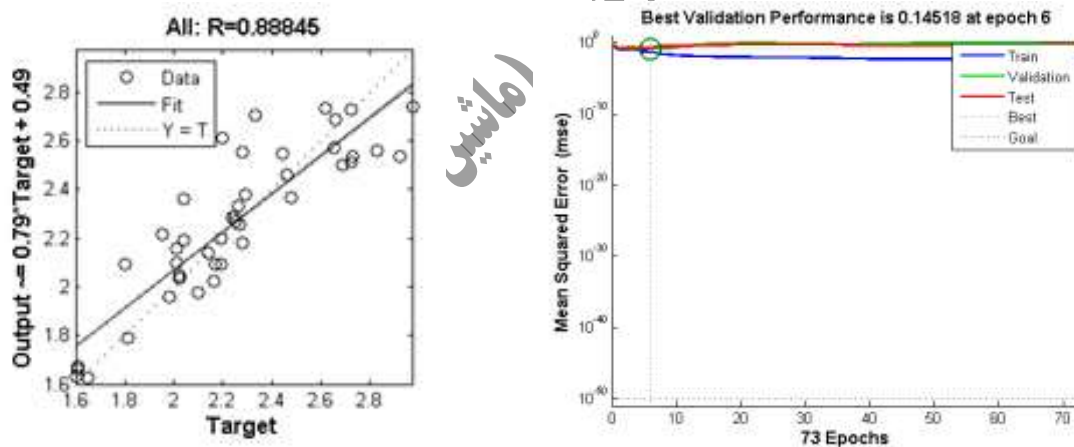


Figure 9. The ANN results of nitrogen estimation from 5m height

شکل ۹- نتایج حاصل از آموزش شبکه عصبی در تخمین نیتروژن از ارتفاع ۵ متر

میزان میانگین خطا در آموزش شبکه عصبی برای ارتفاع ۵ متر و ۱۰ متر به ترتیب ۰/۱۴۵ و ۰/۰۲۲ می باشد. همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر پیش بینی شده با مقادیر واقعی نیتروژن به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۹۴ بدست آمده است. مقدار خطای آموزش شبکه عصبی و همچنین مقدار نزدیکی مقادیر پیش بینی شده به مقادیر واقعی نیتروژن برگ در تصاویر تهیه شده از ارتفاع ۱۰ متر مناسب تر است، لذا ارتفاع ۱۰ متر برای پایش میزان نیتروژن محصول نیشکر بهتر از ارتفاع ۵ متر می باشد. دلیل این امر می تواند ناشی از قرار گرفتن تعداد بیشتری از بوته های گیاه نیشکر در تصاویر ارتفاع ۱۰ متر باشد.

¹Root mean square error (RMSE)

²Mean absolute percentage error (MAPE)

³Levenberg-Marquardt

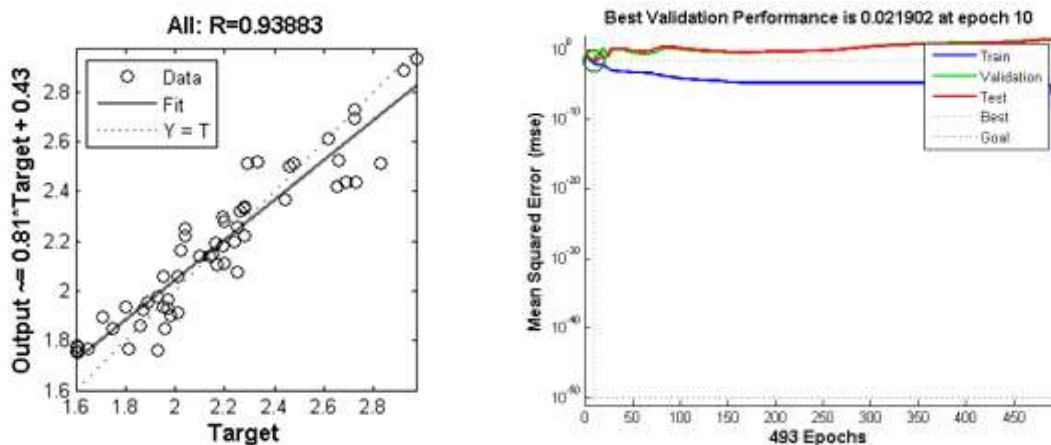


Figure 10. The ANN results of nitrogen estimation from 10m height

شکل ۱۰- نتایج حاصل از آموزش شبکه عصبی در تخمین نیتروژن از ارتفاع ۱۰ متر

مقایسه مقادیر نیتروژن پیش‌بینی شده (با استفاده از شبکه های عصبی از روی مقادیر شاخص های رنگی تصاویر در دو ارتفاع ۵ و ۱۰ متر) و مقادیر واقعی نیتروژن (بدست آمده از آزمایش کج‌دال) با آزمون t استیودنت در جدول ۱ آمده است. مقادیر نیتروژن پیش‌بینی شده در هر دو ارتفاع ۵ و ۱۰ متر تفاوت معناداری با یکدیگر و با مقادیر واقعی نیتروژن ندارند. لذا می‌توان از مقادیر نیتروژن تعیین شده از روی تصاویر دیجیتال هوایی مزرعه، تخمین قابل قبولی از نیتروژن واقعی محصول در مزرعه بدست آورد و بر اساس آن برای دادن کود از ته به مزرعه تصمیم‌گیری نمود.

جدول ۱- مقایسه مقادیر نیتروژن تعیین شده با آزمون t استیودنت

Table 1. Comparing of determined nitrogen values with the student's t-test

Treatments	Mean difference	t value
$-N_{SH_5}N_R$	-0.0406	-0.106 ^{ns}
$-N_{SH_{10}}N_R$	0.00439	0.167 ^{ns}
$-N_{SH_5}N_{SH_{10}}$	-0.005	-1.415 ^{ns}

ns = no significant difference

مقادیر RMSE و MAPE که بیانگر میزان خطا در پیش‌بینی مقدار نیتروژن با شبکه های عصبی مصنوعی می‌باشد در جدول ۲ ذکر شده است. کمترین خطا در پیش‌بینی مقدار نیتروژن برای ارتفاع ۱۰ متر اتفاق افتاده است. لذا از بین دو ارتفاع تصویر برداری، ارتفاع ۱۰ متر عملکرد مناسب‌تری نسبت به ارتفاع ۵ متر دارد و برای پایش هوایی میزان نیتروژن مزارع نیشکر توصیه می‌شود.

جدول ۲- مقادیر خطا در برآورد میزان نیتروژن گیاه نیشکر با استفاده از شبکه های عصبی

Table 2. The error values of nitrogen estimation in sugarcane crop using ANN

Imaging height (m)	RMSE	MAPE
5	0.181	0.061
10	0.174	0.056



۴- نتیجه گیری ها

۱. از میان شاخص‌های رنگی استخراج شده از تصاویر مزرعه (RGB, HSV, HIS_I و Lab)، پارامترهای « \bar{R} , \bar{G} , \bar{B} , \bar{H} , \bar{S} , \bar{V} , \bar{H}_I » عصبی مورد استفاده قرار گرفتند.
۲. از شبکه عصبی مصنوعی MLP برای پیش‌بینی مقدار نیتروژن برگ گیاه نیشکر با موفقیت استفاده شد. تعداد نرون‌ها در لایه پنهان با روش سعی و خطا به ترتیب ۱۰ و ۴ نرون برای ارتفاع ۵ و ۱۰ متر به دست آمد.
۳. کمترین خطا در برآورد مقدار نیتروژن در ارتفاع ۱۰ متر بود و از بین دو ارتفاع تصویر برداری انتخاب شده، ارتفاع ۱۰ متر (با مقدار ضریب همبستگی ۹۴ درصد) برای تخمین نیتروژن گیاه نیشکر مناسب‌تر است.
۴. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مقدار نیتروژن پیش‌بینی شده با استفاده از شبکه‌های عصبی، تفاوت معناداری با مقدار نیتروژن واقعی گیاه نیشکر ندارد.
۵. می‌توان از تصاویر هوایی دیجیتال مزرعه برای تخمین میزان نیتروژن محصول در مزارع نیشکر استفاده کرده و بر اساس آن برای دادن کود از ته به مزرعه تصمیم‌گیری نمود.

۵- تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز بابت حمایت مالی از این پژوهش در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد تشکر می‌نمایند. همچنین از کمک‌های پرسنل و مدیران محترم شرکت کشت و صنعت دعبل خزاعی بویژه جناب آقای مهندس عبدی برای تهیه تصاویر و نمونه برداری از مزارع نیشکر قدردانی می‌شود.

۶- مراجع

۱. Ahmadi Moghaddam, P., Haddad Darafshi, M. A., & 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. (Persian)
۲. Alchanatis, V., Schmilovitch, Z., & Meron, M. (2005). In field assessment of single leaf nitrogen status by spectral reflectance measurements. *Precision Agriculture*, 6: 25-39.
۳. Anonymous. (2016). *Guide to Kjeldahl Nitrogen Determination Methods and Apparatus*, LABCONCO, an Industry Service Publication, Houston, Texas 77099, USA.
۴. Bagheri, N., Ahmadi, H., Omid, M., & AlaviPanah, S. K. (2011). Preparation of a nitrogen variability map for corn crop, as based on satellite imagery. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 42(1): 103-111. (Persian)
۵. Feng, W., Yao, X., Zhu, Y., Tian, Y. C., & Cao, W. X. (2008). Monitoring leaf nitrogen status with hyper spectral reflectance in wheat. *European Journal of Agronomy*, 28: 394-404.
۶. Gol Mohammadzadeh, F., Gol Mohammadi, A., Rasouli Sharabyani, V., & Kisalaei, A. (2015). *Estimation of nitrogen status of wheat leaf using image processing*. 1st National Congress of Strategies for Achieving Sustainable Development in Science and Technology Sectors. 10 November 2015, Policies toward sustainable development center, Tehran, Iran. (Persian)
۷. Jia, B., He, H., Ma, F., Diao, M., Jiang, G., Zheng, Z., Cui, J., & Fan, H. (2014). Use of a digital camera to monitor the growth and nitrogen status of cotton. *The Scientific World Journal*, Volume 2014, Article ID 602647, 12 pages.
۸. Lemaire, G., Jeuffroy, M. H., & Gastal, F. (2008). Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*, 28: 614-624.
۹. Lukina E., Stone, M., & Raun, W. (1999). Estimating vegetation coverage in wheat using digital images. *Journal of Plant Nutrition*, 22: 341-350.
۱۰. Masoudi, H., & Rohani, A. (2016). Mass and volume prediction of orange fruit (Dezful local variety) using MLP neural networks. *Journal of Agricultural Engineering*, 39(2): 133-142. (Persian)



۱۱. Masoudi, H., Hosseini, S. A., & Sajjadiyeh, S. M. (2017). *Measuring nitrogen of field crops: methods and equipment*. 1st National Conference on Agriculture, Natural Resources and Veterinary. 11 May 2017, Ardakan, Iran. (Persian)
۱۲. 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. (Persian)
۱۳. Sharifi, M., & 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. (Persian)
۱۴. Swaina, K.C., Jayasuriyab, H. P.W., & Salokhec, V. M. (2007). Suitability of low-altitude remote sensing images for estimating nitrogen treatment variations in rice cropping for precision agriculture adoption. *Journal of Applied Remote Sensing*, 1: 013547.
۱۵. Taghizad Fanid, A., Haghypour, S., & Andalib, A. (2012). Man-made object detection based on fractal features and morphological operations in aerial images. *Tabriz Journal of Electrical Engineering (TJEE)*, 42(2): 13-24. (Persian)
۱۶. Tewari, V. K., Arudra, A. K., Kumar. S. P., Pandey, V., & Chandel, N. S. (2013). Estimation of plant nitrogen content using digital image processing. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 15(2): 78-86.
۱۷. Zhao, C. L., Liu, J., Wang, W., Huang, X., & Song, C. Li. (2005). Predicting grain protein content of winter wheat using remote sensing data based on nitrogen status and water stress. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information*, 7: 1-9.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران