Iranian Journal of Weed Science
Vol 17, No 2, 2021 (65-77)
DOI: 10.22092/IJWS.2021.126929.1336

مجله دانش علف‌های‌هرز
دورهٔ ۱۷، شمارهٔ ۲، ۱۴۰۰ (ص ۷۷-۶۵)

مقایسه دقت شناسایی بذر علف‌های‌هرز با استفاده از رهیافت پردازش تصویر و روش‌های تشخیص الگو

علیرضا باقری*[۱] و زهره حیدری[۲]
۱و۲- استادیار و دانشجو، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱۴)

چکیده

به‌منظور شناسایی بذر علف‌های‌هرز به کمک رهیافت بینایی ماشین، از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز تشخیص متعارف استفاده شد. بذرهای تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus*)، تاج‌خروس خوابیده (*Amaranthus blitoides*)، سلمه‌تره (*Chenopodium album*)، قدومه (*Alyssum hirsutum*) و خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) جمع‌آوری شد و پس از ثبت تصاویر آن‌ها، خصوصیات مربوط به شکل هر بذر استخراج شد. داده‌های استخراج شده، به‌صورت خام و استاندارد شده درآمدند. همچنین با استفاده از روش رگرسیون گام‌به‌گام، مهم‌ترین خصوصیات شکلی بذرها نیز شناسایی شدند. نتایج نشان داد که دقت شناسایی شبکه عصبی ساخته شده از داده‌های خام و استاندارد مربوط به ۱۳ متغیر پیشگو، به‌ترتیب ۸۴/۳۶ و ۸۳/۳۴ درصد و برای شبکه عصبی ساخته شده از داده‌های ورودی خام و استاندارد حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام، به‌ترتیب ۸۴/۳۰ و ۸۳/۳۹ درصد بود. دقت شناسایی روش آنالیز تشخیص متعارف نیز بر اساس کل داده‌های خام و استاندارد ورودی، به‌ترتیب ۸۴/۹۰ و ۸۴/۷۰ درصد بود. همچنین دقت شناسایی بذرها با استفاده از هر دو داده خام و استاندارد حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام در این روش، ۸۲/۶ درصد بود. بیشترین دقت شناسایی در هر دو روش (با بیش از ۹۵ درصد دقت)، به علف‌های‌هرز قدومه و تاج‌خروس ریشه‌قرمز تعلق داشت. علاوه بر این، بالاترین دقت شناسایی بذرهای سلمه‌تره در هر دو روش، بالاتر از ۸۷ درصد بود. این امر نشان می‌دهد که استفاده از خصوصیات شکلی در مدل‌های تشخیص الگو، دارای پتانسیل خوبی در شناسایی بذرهای این علف‌های‌هرز بود.

کلمات کلیدی: شناسایی هوشمند بذر، شکل بذر، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین.

Classification of weed seeds using image processing and pattern recognition methods

Alireza Bagheri*[1] and Zohreh Heydari [2]
1,2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Razi University, Kermanshah, Iran
(Received: February 14, 2021 - Accepted: May 4, 2021)

ABSTRACT

In order to identify weed seeds by machine vision approach, two methods of artificial neural network (ANN) and canonical discriminant analysis (CDA) were applied .The seeds of *Amaranthus retroflexus*, *Amaranthus blitoides*, *Chenopodium album*, *Alyssum hirsutum*, and *Sinapis arvensis* were collected and the images of these seeds were recorded. The obtained images were processed and then characteristics related to the shape of each seed were extracted. The extracted data were in in the raw and standardized forms. In addition, main shape characteristics of the seeds were identified by stepwise regression. The results showed that the accuracy of the ANN constructed from the raw and the standard data were 84.30% and 83.39%, respectively. Identification accuracy of ANN was 84.30% and 83.39% for the raw and standard data extracted from stepwise regression. The results of CDA method showed that the identification accuracy of total raw and standard data were 84.9% and 84.7% respectively. Identification accuracy of this method was 82.6% for both raw and standard data extracted from stepwise regression. The highest identification accuracy in both methods (more than 95%) was belonged to *A. retroflexus* and *A. hirsutum*. In addition, the seed identification accuracy of *C. album* in both methods was higher than 87%. This suggests that the use of shape features in pattern recognition models had reliable potential in identifying the seeds of these weeds.

Keywords: Artificial intelligence, machine learning, seed identification, seed shape.

* Corresponding author E-mail: a.bagheri@razi.ac.ir

مقدمه

به‌منظور کنترل و مدیریت زودهنگام جمعیت علف‌های‌هرز، ارزیابی بانک بذر خاک و تعیین درصد خلوص بذرهای زراعی و تشخیص به‌موقع حضور علف‌هرز مهاجم جدید و شناسایی بذرهای علف‌های‌هرز حائز اهمیت است (Granitto *et al.*, 2002). شناسایی بذر علف‌های‌هرز، کاری وقت‌گیر است که اغلب توسط متخصصان و به‌صورت بصری انجام می‌شود و به مهارت بالایی احتیاج دارد (OuYang *et al.*, 2010). در برخی موارد ممکن است بوته مادری جهت شناسایی بذرهای موردنظر در دسترس نباشند. همچنین با توجه به در دسترس نبودن دائمی افراد متخصص در این زمینه و نیز احتمال وجود خطا در بین افراد، ضرورت وجود روش‌های جایگزین پیشرفته و مطمئن شناسایی بذرهای گیاهی احساس می‌شود (Chtioui *et al.*, 1998). استفاده از یک روش جدید برای شناسایی سریع و طبقه بندی بذر قابل اعتماد، دارای مزیت های فنی و اقتصادی خوب در مقایسه با روش های معمولی است (Arefi *et al.*, 2011). ازجمله روش‌های جایگزین می‌توان به رهیافت بینایی ماشین اشاره کرد. بینایی ماشین در بخش‌های مختلف علوم کشاورزی مورداستفاده قرارگرفته است که از آن جمله می‌توان به تخمین عملکرد (Kaul *et al.*, 2005)، شناسایی ارقام زراعی (Shahin & Symons, 2003)، پیش‌گویی محتوای کربن آلی خاک (Somaratne *et al.*, 2005)، تخمین خصوصیات هیدرولیکی آب (Nemes *et al.*, 2003)، پیش بینی فرایند نموی گیاهان زراعی (Elizondo *et al.*, 1994) و پیش‌بینی جریان CO_2 در بوم‌نظام‌ها (Melesse & Hanley, 2005) اشاره کرد. در این روش، شناسایی و تفکیک بذرها به کمک خصوصیات مورفولوژیکی بذرهای نظیر پارامترهای مربوط به اندازه و شکل صورت می‌گیرد (Granitto *et al.*, 2002).

محاسبات گوناگونی در روش یادگیری ماشین[1] جهت تشخیص الگو و شناسایی بذرهای گیاهی در دسترس هستند که از آن جمله می‌توان به روش‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN[3]) و آنالیز تفکیک متعارف (CDA[2]) اشاره کرد (Granitto *et al.*, 2002). شبکه عصبی مصنوعی، مبتنی بر شیوه عملکرد سامانه عصبی زیستی است و قادر به یادگیری می‌باشد. یادگیری در این سیستم به‌صورت تطبیقی است؛ بدین معنی که ابتدا شبکه توسط مثال‌های مختلف آموزش داده می‌شود و سپس با کشف روابط پیچیده موجود، در مثال‌های بعدی، پدیده موردنظر را تخمین می‌زند و در نهایت پس از آزمون میزان دقت این برآورد، درستی تخمین شبکه را بررسی می‌کند. شبکه عصبی مصنوعی شامل شبکه‌ای از عناصر پردازش ساده (نورون‌ها) است که می‌توانند ارتباط پیچیده بین عوامل موثر در رخداد یک پدیده را تجزیه و تحلیل نمایند (Kasabov, 1996). شبکه عصبی مصنوعی از سه لایه تشکیل‌شده است:یک لایه لایه ورودی داده‌ها که تعداد بی‌شماری نورون مطابق تعداد متغیرهای ورودی در آن لایه وجود دارد، یک لایه پنهان که میزان پیچیدگی آن در طی توسعه شبکه عصبی تعیین می‌شود و یک لایه خروجی که نتیجه برآورد شبکه عصبی است. تعداد نورون‌ها در لایه خروجی، بر اساس هدف مطالعه تعیین می‌شوند. تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نورون‌ها در هر لایه پنهان نیز با آزمون و خطا تعدیل می‌شوند (Dubey *et al.*, 2006). در این شبکه‌ها، اطلاعات از لایه ورودی وارد می‌شوند و با عبور از لایه پنهان، از لایه خروجی خارج می‌شوند که

[1] Machine learning
[2]Canonical Discriminant Analysis
[3]Artificial Neural Network

در این میان، فرایند یادگیری صورت می‌گیرد (Alvarez, 2009). استفاده از خصوصیات شکلی بذرها برای شناسایی بذرهای گونه‌های مختلف علف‌هرز تاج‌خروس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند قابل‌قبول باشد (Eghbali *et al.*, 2013). گرانیتوو و همکاران (Granitto *et al.*, 2002) در آزمایشی برای طبقه‌بندی بذرهای ۵۷ گونه علف‌هرز بر اساس پارامترهای مورفولوژیکی (شکل و اندازه)، رنگ و بافت بیان کردند که پارامترهای مورفولوژیکی نسبت به سایر پارامترها ازجمله بافت و رنگ، قدرت تفکیک بیشتری داشتند. باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2015)، ۱۵ ویژگی شکلی در بذرهای ۲۰ گونه‌ی علف‌هرز را با استفاده از پردازش تصویر و سیستم شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که هشت گونه با دقت ۱۰۰ درصد قابل تفکیک بودند.

آنالیز تفکیک متعارف نیز یک تکنیک یادگیری برای شناسایی الگوهای آماری است. روش آماری شناسایی الگوها، اولین بار توسط چاو (Chow, 1965) رسمیت یافت. طی فرآیند یادگیری در آنالیز تشخیص متعارف، مرز بهینه بین مقدار دسته‌بندی‌ها مشخص می‌شود؛ انجام دسته‌بندی، به تفکیک‌پذیر بودن دسته‌ها وابسته است (Chtioui *et al.*, 1998). هویو و تسویوزاکی (Hoyo & Tsuyuzaki, 2013) جهت شناسایی گونه‌های گیاه بیشه قرمز[1] با اندازه گیری ۱۳ خصوصیت شکلی از تکنیک CDA استفاده کردند. ایزنگا و همکاران (Eizenga *et al.*, 2014) از پردازش تصویر و تکنیک CDA برای بررسی تنوع ژنتیکی برنج استفاده کردند. السن و همکاران (Olesen *et al.*, 2011) نیز از تکنیک CDA برای شناسایی بذرهای سالم و آلوده به بیماری‌های قارچی مختلف در اسفناج بهره بردند.

با توجه به‌ضرورت شناسایی زودهنگام و دقیق بذر علف‌های‌هرز، این آزمایش با هدف شناسایی بذرهای پنج گونه علف‌هرز تاج‌خروس ریشه‌قرمز[2] ، تاج‌خروس خوابیده[3]، سلمه‌تره[4]، قدومه[5] و خردل وحشی[6](علف‌های هرز پرتراکم مزارع منطقه مورد آزمایش) بر اساس خصوصیات شکلی و به‌منظور بررسی و مقایسه دقت شناسایی دو روش‌های نوین شامل شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز تشخیص متعارف به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

بذرهای پنج گونه مختلف علف‌هرز شامل تاج‌خروس ریشه‌قرمز، تاج‌خروس خوابیده، سلمه‌تره، قدومه و خردل وحشی از مزارع پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه (با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و نه دقیقه شرقی و با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی) جمع‌آوری شد. جهت اطمینان از درستی شناسایی، بوته‌های مادری توسط متخصصین رشته علوم علف‌های‌هرز و همچنین هرباریوم دانشگاه رازی بررسی و شناسایی شدند.

پس از شناسایی و خالص‌سازی بذرها، جهت استخراج خصوصیات مربوط به شکل هر بذر، عکس ۲۰۰ بذر عکس تهیه شد و به‌دین‌ترتیب از مجموع پنج گونه علف‌هرز مور مطالعه، ۱۰۰۰ تصویر بذری آماده شد. قبل از استخراج خصوصیات شکلی بذرها از تصاویر، اصلاحاتی نظیر افزایش کنتراست تصویر، حذف سایه و حذف انعکاس نور روی تصاویر بذرها توسط نرم‌افزار Adobe Photoshop CS6 انجام شد. در مرحله بعدی، تصاویر اصلاح‌شده به نرم‌افزار

[1] *Drosera anglica*

[2] *Amaranthus retroflexus* L.
[3] *Amaranthus blitoides* S.Wats.
[4] *Chenopodium album* L.
[5] *Alyssum hirsutum*
[6] *Sinapis arvensis* L.

Jmicrovision v.127 منتقل شدند و عملیات استخراج خصوصیات شکلی مربوط به هر بذر انجام شد. برای این منظور، ۱۳ خصوصیت ظاهری شامل مساحت[1]، محیط[2]، تمایل و جهت[3]، طول[4]، عرض[5]، لنگی نسبت به مرکز[6]، فشردگی[7]، محیط دایره‌ای هم‌عرض[8]، کشیدگی[9]، بیضیت[10]، مستطیلی[11]، سختی[12] و تحدب[13] استخراج شدند.

در روش‌های تشخیص الگو، جهت کسب نتایج مطلوب و بهینه، انجام برخی عملیات مقدماتی بر روی داده‌ها ضروری است؛ از جمله این عملیات می‌توان به استاندارد سازی داده اشاره کرد(Anysz *et al.*, 2016). در این آزمایش، خصوصیات شکلی استخراج‌شده از بذرها به دو دسته داده‌های خام اولیه و داده‌های استاندارد شده تقسیم شدند. جهت استاندارد سازی داده‌های خام، از معدله ۱، روش استاندارد سازی خطی ویتندورف (Anysz *et al.*, 2016) استفاده شد:

معادله ۱ $$X_i = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

که در این معادله، X_i: مقدار داده استاندارد شده، X_{min}: کوچک‌ترین مقدار داده و X_{max}: بزرگ‌ترین مقدار از سری داده‌های مربوط به هریک از متغیرهای ورودی (خصوصیات شکلی بذرهای) می‌باشد.

هریک از خصوصیات شکلی می‌توانند اثرات متفاوتی را در شناسایی بذرهای مورد مطالعه داشته باشند (Cervantes *et al.*, 2016)؛ بنابراین جهت شناسایی مؤثرترین خصوصیات شکلی در شناسایی بذرها، از روش رگرسیون گام‌به‌گام با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS v. 20.00 نیز استفاده شد. به‌دین‌ترتیب در این آزمایش، چهار سری داده شامل کل داده‌های خام (۱۳ خصوصیت شکلی)، داده‌های خام مربوط به خروجی رگرسیون گام‌به‌گام، کل داده‌های استاندارد و داده‌های خام مربوط به خروجی رگرسیون گام‌به‌گام به‌عنوان ورودی‌های مدل شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز تشخیص متعارف مورد استفاده قرار گرفتند.

برای ساخت شبکه‌های عصبی مربوط به کل داده‌های خام و استاندارد شده، تعداد نورون‌های ورودی ۱۳ نورون و تعداد نورون‌های لایه خروجی متناسب با تعداد گونه، پنج نورون بود. همچنین برای ساخت شبکه عصبی مصنوعی مربوط به داده‌های خام و استاندارد حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام، تعداد نورون‌های ورودی هشت نورون (تعداد متغیرهای مورفولوژیکی معنی‌دار در رگرسیون گام‌به‌گام) در نظر گرفته شد و تعداد نورون‌های لایه خروجی متناسب با تعداد گونه‌ها، پنج نورون بود. در هنگام ساخت کلیه شبکه‌های عصبی مصنوعی، تعداد یک و دو لایه پنهان مورد استفاده قرار گرفتند و تست شدند. ساخت انواع مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط نرم‌افزار NeuroSolution v.5.0 صورت گرفت. برای یافتن بهترین شبکه عصبی، انواع شبکه‌های عصبی مانند شبکه‌های عصبی چند لایه پرسپترون[14] پیش‌خور تعمیم‌یافته[15] و شبکه‌های عصبی مودولار[16] مورد آزمایش قرارگرفتند و بر اساس روش آزمون و خطا، بهترین شبکه انتخاب شد (Eghbali *et al.*, 2013). در این آزمایش از قوانین یادگیری Momentum، Levenberg Marquardt استفاده شد که در هر یک از آن‌ها، توابع انتقال TanhAxon،

[1] Area
[2] Perimeter
[3] Orientation
[4] Length
[5] Width
[6] Eccentricity
[7] Compactness
[8] Equivalent circular diameter
[9] Elongation
[10] Ellipticity
[11] Rectangularity
[12] Solidity
[13] Convexity

[14] Multilayer Perceptrons
[15] Generalized feed forward
[16] Modular

LinearTanhAxon و SigmoidAxon، LinearSigmoidAxon، SoftMaxAxon، LinearAxon و Axon مورداستفاده قرارگرفتند و پس از ساخت شبکه‌های عصبی مختلف، قانون یادگیری و تابع انتقالی انتخاب شدند که بیشترین دقت را به همراه داشتند.

به‌منظور بررسی دقت شبکه‌های عصبی ساخته شده و انتخاب بهترین آن‌ها، از ضریب همبستگی (r) استفاده شد. ضریب همبستگی از جمله پارامترهایی است که می‌توان از طریق آن، دقت مدل‌های مختلف را به‌آسانی ارزیابی کرد. با این حال باید به این نکته توجه داشت که این ضریب نمی‌تواند به‌تنهایی معیار مناسبی برای سنجش مدل باشد، زیرا ممکن است در یک مدل با وجود اختلاف فاحش بین داده‌های مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده، روند تغییرات این داده‌ها مشابه باشد. در این حالت، اگرچه ضریب همبستگی به‌خوبی هماهنگی روند تغییرات داده‌های مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده را نشان می‌دهد، اما گویای تطابق عددی بین آن‌ها نیست (Rahmani *et al.*, 2008). بنابراین در این آزمایش، از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا[1] (RMSE) نیز برای ارزیابی دقت مدل استفاده شد (Lippmann, 1994):

معادله ۲ $$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Si-Oi)^2}{n}}$$

که در آن، *Oi*: مقدار واقعی مشاهده‌شده، *Si*: مقدار پیش‌بینی‌شده توسط مدل (شبکه عصبی) و *n*: تعداد مشاهدات یا تکرارها می‌باشد.

برای شناسایی و طبقه‌بندی بذرهای گونه‌های علف‌های‌هرز مورد مطالعه با استفاده از آنالیز تشخیص متعارف (CDA) نیز چهار سری داده شامل کل داده‌های خام و استاندارد و نیز داده‌های خام و استاندارد حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام به‌عنوان ورودی وارد مدل شدند. جهت ساخت مدل‌های مربوط به این روش، از نرم‌افزارSPSS v. 20.00 استفاده شد و برای مقایسه دقت شناسایی بذرها توسط مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز تشخیص متعارف، از روش t-test استفاده شد.

نتایج و بحث

میانگین و انحراف از معیار خصوصیات شکلی بین بذر گونه‌های علف‌های‌هرز مورد مطالعه متفاوت بود. وجود تفاوت میانگین و انحراف از معیار خصوصیات شکلی گونه‌های مختلف بیانگر آن است که اختلاف ظاهری بین بذرهای بر اساس صفات شکلی استخراج‌شده، می‌تواند جهت شناسایی آن‌ها از یکدیگر مفید باشند. به‌عنوان‌مثال، میانگین مساحت بذرها در دامنه بین ۱/۰۲ تا ۲/۳۵ میلی‌متر مربع متفاوت بود و همچنین این دامنه برای صفت محیط بذرها بین ۲/۷۶ تا ۶/۳۱ متغیر بود (جدول ۱). باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2019) نیز در بررسی میانگین و انحراف معیار خصوصیات شکلی سه گونه علف‌هرز تاج‌خروس به این نتیجه رسیدند که وجود این اختلافات می‌تواند در طبقه‌بندی و شناسایی بذرهای از یکدیگر نقش داشته باشد. همچنین گرانیتو و همکاران (Granitto *et al.*, 2002) نشان دادند که اندازه و شکل، امکان تفکیک و شناسایی بذر ۵۷ گونه علف‌هرز را فراهم می کند. به‌طور میانگین، بیشترین مقدار انحراف معیار بین گونه‌های مختلف، به گرایش و کمترین مقدار، به سختی مربوط بود (جدول ۱).

نتایج به رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که از بین داده‌های خام مربوط به ۱۳ صفت شکلی بذرها، تعداد هشت متغیر سختی، فشردگی، تحدب، کشیدگی، عرض، محیط دایره‌ای هم‌ارز، مستطیلی و محیط، به‌عنوان متغیر معنی‌دار در مدل مشخص شدند. همچنین از میان داده‌های استاندارد مربوط به ۱۳

[1] Root Mean Square Error

صفت شکلی بذرها نیز هشت متغیر سختی، فشردگی، تحدب، کشیدگی، عرض، محیط دایره‌ای هم‌ارز، مستطیلی، بیضیت و محیط، به‌عنوان متغیر معنی‌دار در مدل شناسایی شدند (جدول ۲). در آزمایشات اقبالی و همکاران (Eghbali *et al.*, 2013) روی شناسایی بذر گونه‌های تاج‌خروس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، تعداد شش متغیر شکلی مربوط به بذرها در رگرسیون گام‌به‌گام معنی‌دار شدند و در ساخت مدل شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار خصوصیات شکلی بذر علف‌های‌هرز مورد مطالعه

Table 1. Mean and standard deviation of shape characteristics of studied weed seeds

characteristics	Mean (μ) and standard deviation (σ)											
	A. retroflexus		*A. hirsutum*		*S. arvensis*		*Ch. album*		*A. blitoides*			
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ		
Area	1.02 ±	0.09	2.35 ±	0.49	1.44 ±	0.26	1.02 ±	0.15	1.43 ±	0.22		
Perimeter	2.76 ±	0.23	6.31 ±	0.82	1.19 ±	0.37	3.25 ±	0.28	2.29 ±	0.36		
Orientation	98.78 ±	59.45	106.01 ±	55/64	79.66 ±	53.08	100.52 ±	51.14	91.17 ±	56.05		
Length	0.97 ±	0.08	2.29 ±	0.27	1.38 ±	0.12	1.17 ±	0.09	1.44 ±	0.11		
Width	0.80 ±	0.07	1.49 ±	0.19	1.29 ±	0.13	1.08 ±	0.09	1.27 ±	1.27		
Eccentricity	1.47 ±	0.22	2.02 ±	0.45	1.16 ±	0.09	1.19 ±	0.12	1.30 ±	0.21		
Compactness	1.03 ±	0.05	0.75 ±	0.11	1.02 ±	0.04	1.03 ±	0.03	0.97 ±	0.04		
Equivalent circular diameter	0.89 ±	0.07	1.72 ±	0.18	1.35 ±	0.12	1.14 ±	0.08	1.35 ±	0.11		
Elongation	0.83 ±	0.06	0.66 ±	0.08	0.93 ±	0.04	0.92 ±	0.04	0.89 ±	0.06		
Ellipticity	0.02 ±	0.03	0.15 ±	0.08	0.02 ±	0.02	0.02 ±	0.03	0.01 ±	0.02		
	0.24 ±	0.04	0.46 ±	0.10	0.25 ±	0.03	0.25 ±	0.04	0.28 ±	0.03		
Solidity	0.98 ±	0.01	0.93 ±	0.02	0.98 ±	0.01	0.98 ±	0.01	0.98 ±	0.00		
Convexity	1.00 ±	0.01	0.94 ±	0.05	1.00 ±	0.01	1.00 ±	0.01	0.99 ±	0.02		

جدول ۲- خصوصیات شکلی معنی‌دار بذرعلف‌های‌هرز مور مطالعه در رگرسیون گام‌به‌گام

Table 2. Significant shape characteristics of studied weed seeds in stepwise regression

Raw data			Standard data		
Shape characteristics	t	B	Shape characteristics	t	B
Solidity	12.99	5.70	Solidity	12.99	51.41
Compactness	-6.57	-8.11	Compactness	-6.57	-10.12
Convexity	5.16	9.11	Convexity	5.16	23.24
Elongation	-6.49	-5.08	Elongation	-6.49	10.00
Width	7.11	22.07	Width	7.11	15.65
Equivalent circular diameter	-7.44	-30.47	Equivalent circular diameter	-7.44	-21.10
	-4.99	-4.46	Ellipticity	-4.99	-7.60
Perimeter	3.087	10.82	Perimeter	3.08	1.38

B: Regression coefficient and t: t probability value

شبکه عصبی مصنوعی برای کل متغیرهای ورودی پیشگو

نتایج ساخت شبکه عصبی مصنوعی برای کل داده‌های خام و استاندارد شده مربوط به شکل بذرها، نشان داد که بهترین شناسایی بذر علف‌های‌هرز مورد مطالعه با ساخت شبکه چند لایه پرسپترون حاصل شد. به‌طورکلی، میانگین دقت شناسایی کل شبکه عصبی ساخته شده از داده‌های خام و استاندارد، به‌ترتیب

۸٤/۳٦ و ۸۳/۳٤ درصد بودند. شبکه چند لایه پرسپترون از جمله شبکه های عصبی با قابلیت پیش بینی قابل قبول است که در مطالعات مختلف نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Abdipour *et al.*, 2019; Abrougui *et al.*, 2019). اقبالی و همکاران (Eghbali *et al.*, 2013) در شناسایی سه گونه علف‌هرز با شبکه عصبی مصنوعی بیان کردند که شبکه چند لایه پرسپترون با دقت ۷٤/۷۵ درصد، بیشترین دقت را داشته است. مقدار RMSE در شبکه عصبی ساخته شده از کل داده‌های خام و استاندارد، به‌ترتیب معادل ۰/۱۸ و ۰/۲۱ بود. علاوه بر این، ضریب همبستگی شبکه عصبی ساخته شده از کل داده‌های خام، بیشتر از شبکه عصبی ساخته شده از کل داده‌های استاندارد بود (به‌ترتیب معادل ۰/۸۷ و ۰/۸۳). این نتایج نشان می‌دهند که دقت شناسایی بذر علف‌های‌هرز در شبکه عصبی ساخته شده از کل داده‌های خام، بیشتر از کل داده‌های استاندارد بود (جدول ۳). مقایسه دقت شناسایی گونه‌های علف‌هرز نیز بر این امر تأکید دارند، به‌طوری‌که دقت شناسایی بذرعلف‌های‌هرز تاج‌خروس خوابیده، قدومه و سلمه‌تره در شبکه ساخته شده از کل داده‌های خام، بیشتر از شبکه عصبی حاصل از کل داده‌های استاندارد بود (جدول ٤).

جدول ۳- میزان دقت شبکه عصبی مصنوعی برای کل داده‌های خام و استاندارد

Table 3. Artificial neural networks precision for total raw and standard data

		A. retroflexus	*A. hirsutum*	*S. arvensis*	*C. album*	*A. blitoides*	*Mean*
Raw Data	RMSE	0.10	0.06	0.24	0.25	0.26	0.18
	r	0.97	0.99	0.80	0.80	0.77	0.87
Standard Data	RMSE	0.27	0.11	0.28	0.12	0.26	0.21
	r	0.75	0.96	0.72	0.96	0.73	0.83

بیشترین دقت شناسایی در شبکه عصبی ساخته شده از داده‌های خام به قدومه با دقت ۱۰۰ درصد و پس از آن تاج‌خروس ریشه‌قرمز با دقت ۹۱/۳ و کمترین دقت شناسایی به خردل وحشی با دقت ۷۰/۸ درصد تعلق داشت. بیشترین دقت شناسایی شبکه عصبی ساخته شده از کل داده‌های استاندارد نیز مربوط به تاج‌خروس ریشه‌قرمز با دقت ۱۰۰ درصد و پس از آن قدومه با دقت شناسایی ۹۳/۸ درصد بود. کمترین دقت شناسایی نیز به سلمه‌تره با دقت ۷۱/۱ درصد تعلق داشت (جدول ٤). بررسی درصد شناسایی بذر علف‌های‌هرز در گونه‌های سلمه‌تره و خردل وحشی نشان داد که شبکه عصبی، درصدی از بذرهای این گونه‌ها را به اشتباه به‌جای یکدیگر و درصد بیشتری را نیز تاج‌خروس خوابیده شناسایی کرده است. در شناسایی تاج‌خروس خوابیده نیز درصدی به‌اشتباه سلمه‌تره و درصد بیشتری، خردل وحشی شناسایی شدند. این امر نشان‌دهنده شباهت بذرهای این علف‌های‌هرز، به‌خصوص تاج‌خروس خوابیده و خردل وحشی، از نظر اندازه و شکل است. نتایج جدول ۱ نیز نشان می‌دهد که این دو علف‌هرز، از نظر مساحت، طول، عرض، محیط دایره‌ای هم عرض، سختی و تحدب، شباهت زیادی به یکدیگر دارند.

شبکه عصبی مصنوعی برای متغیرهای ورودی پیشگو بر اساس رگرسیون گام‌به‌گام

نتایج ساخت شبکه عصبی مصنوعی برای داده‌های خام و استاندارد حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که بهترین شناسایی بذر علف‌های‌هرز مورد مطالعه در ساخت شبکه Multilayer Perceptrom، با یک لایهیک لایه پنهان و با میانگین دقت شناسایی به‌ترتیب ۸٤/۳۰ و ۸۳/۳۹ درصد به‌دست آمد.

جدول ٤- درصد شناسایی بذرهای علف‌هرز برای داده‌های کل خام و استاندارد توسط روش شبکه عصبی مصنوعی
Table 4. Weed seeds identification percentage by artificial neural network for total raw and standard data

	A. retroflexus	*A. hirsutum*	*S. arvensis*	*Ch. album*	*A. blitoides*	*A. retroflexus*	*A. hirsutum*	*S. arvensis*	*Ch. album*	*A. blitoides*
	Raw Data					Standard Data				
A. retroflexus	42.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.00	45.00	0.00	3.00	41.00
A. hirsutum	0.00	51.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
S. arvensis	0.00	0.00	34.00	3.00	0.00	0.00	0.00	38.00	3.00	10.00
Ch. album	4.00	0.00	6.00	46.00	5.00	0.00	0.00	5.00	32.00	1.00
A. blitoides	0.00	0.00	4.00	7.00	38.00	0.00	3.00	8.00	7.00	0.00
	91.3	100	70.8	82.1	77.6	100	93.8	74.5	71.1	77.4

بررسی میانگین RMSE در بین شبکه‌های ساخته شده از داده‌های خام و استاندارد خروجی رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که این مقدار در شبکه عصبی ساخته شده از داده‌های خام، معادل ۰/۲۰ و بیشتر از مقدار به‌دست‌آمده برای شبکه عصبی ساخته شده از داده‌های استاندارد شده (۰/۱۹) بود. علاوه بر این، ضریب همبستگی شبکه عصبی ساخته شده از داده‌های خام، کمتر از شبکه عصبی ساخته شده از داده‌های استاندارد بود (به‌ترتیب معادل ۰/۸٤ و ۰/۸۵). این نتایج نشان می‌دهند که دقت شناسایی بذر علف‌های‌هرز در شبکه عصبی ساخته شده از داده‌های استاندارد، اندکی بیشتر از داده‌های خام حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام بود (جدول ۵).

جدول ۵- میزان دقت شبکه عصبی مصنوعی داده‌های خام و استاندارد انتخاب‌شده توسط رگرسیون گام‌به‌گام
Table 5. Artificial neural network precision for raw and standard data derived from stepwise regression

		A. retroflexus	*A. hirsutum*	*S. arvensis*	*C. album*	*A. blitoides*	*Mean*
Raw Data	RMSE	0.11	0.08	0.30	0.25	0.28	0.20
	r	0.96	0.98	0.70	0.81	0.74	0.84
Standard Data	RMSE	0.12	0.05	0.29	0.22	0.27	0.19
	r	0.96	0.99	0.76	0.81	0.74	0.85

بیشترین دقت شناسایی در شبکه عصبی ساخته شده از داده‌های خام حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام، به تاج‌خروس ریشه‌قرمز با دقت ۱۰۰ درصد و پس از آن قدومه با دقت ۹۵ و کمترین دقت شناسایی به خردل وحشی با دقت ٦٦/۰۷ درصد تعلق داشت. بیشترین دقت شناسایی شبکه عصبی ساخته شده از داده‌های استاندارد حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام، مربوط در قدومه با دقت ۱۰۰ درصد و پس از آن تاج‌خروس ریشه‌قرمز با دقت شناسایی ۳ ۹۵/۸ درصد مشاهده شد. کمترین دقت شناسایی نیز به تاج‌خروس خوابیده با دقت ۷۰ درصد تعلق داشت (جدول ٦).

بررسی درصد شناسایی بذر علف‌های‌هرز در گونه‌های سلمه‌تره و خردل وحشی نشان داد که شبکه عصبی، درصدی از بذرهای این گونه‌ها را به‌اشتباه به‌جای یکدیگر شناسایی کرده است. بررسی جدول ۱ نشان داد که بذرهای این دو گونه از نظر فشردگی، کشیدگی، بیضیت، مستطیلی، سختی و تحدب، شباهت بالایی با یکدیگر داشتند. در شناسایی تاج‌خروس خوابیده نیز درصدی به اشتباه سلمه‌تره و

درصد بیشتری خردل وحشی شناسایی شدند. این امر نشان‌دهنده شباهت بذرهای این علف‌های‌هرز، به‌خصوص تاج‌خروس خوابیده و خردل وحشی، از نظر اندازه و شکل (مساحت، طول، عرض، محیط دایره ای هم عرض، سختی و تحدب) است (جدول ۱).

جدول ٦- درصد شناسایی بذر علف‌هرز برای داده‌های خام و استاندارد انتخاب‌شده رگرسیون گام‌به‌گام توسط روش شبکه عصبی مصنوعی

Table 6. Identification percentage of weed seeds by artificial neural network for total raw and standard data derived from stepwise regression

	A. retroflexus	*A. hirsutum*	*S. arvensis*	*Ch. album*	*A. blitoides*	*A. retroflexus*	*A. hirsutum*	*S. arvensis*	*Ch. album*	*A. blitoides*
	Raw Data					Standard Data				
A. retroflexus	42.00	0.00	0.00	1.00	1.00	46.00	0.00	0.00	1.00	1.00
A. hirsutum	0.00	38.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.00	1.00	0.00	0.00
S. arvensis	0.00	1.00	37.00	3.00	12.00	0.00	0.00	46.00	3.00	13.00
Ch. album	0.00	0.00	10.00	50.00	2.00	2.00	0.00	6.00	35.00	1.00
A. blitoides	0.00	1.00	9.00	3.00	40.00	0.00	0.00	12.00	2.00	35.00
	100	95.0	66.1	87.7	72.7	95.8	100	70.8	85.4	70.0

نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که دقت شناسایی بذر علف‌های‌هرز توسط شبکه عصبی مصنوعی، بین ٦٦/۰۷ تا ۱۰۰ درصد بود. این امر نشان می‌دهد که این روش جهت شناسایی و طبقه‌بندی بذرهایی که از دقت شناسایی بالایی برخوردار بودند (تاج‌خروس ریشه‌قرمز، قدومه و سلمه‌تره) می‌تواند قابل‌اطمینان باشد. در مطالعات پیشین، نتایج مختلفی در رابطه با دقت شبکه عصبی در شناسایی بذر، به‌دست آمده است؛ لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2005) با استفاده از مدل شبکه عصبی، شش رقم بذر برنج را با دقت بین ٧٤ تا ۹۵ درصد شناسایی کردند. در مطالعه رانگ و ساردشماک (Ronge and Sardeshmukh, 2014) دقت شبکه عصبی در شناسایی چهار رقم مختلف گندم بین ٦٦/٦٨ تا ۱۰۰ درصد بود. در آزمایشی دیگر، دقت شبکه عصبی برای شناسایی بذرهای سه گونه تاج‌خروس بین ٦٦/۱ تا ۹۲/۰ درصد گزارش شد (Bagheri *et al.*, 2019). پوررضا و همکاران (Pourreza *et al.*, 2012) در شناسایی نه رقم گندم، دقت شناسایی روش‌های بینایی ماشین را ۹۸/۱۵ گزارش کردند. گرانیتو و همکاران (Granitto *et al.*, 2002) جهت شناسایی ۵۷ گونه علف‌هرز از خانواده های مختلف با استفاده از رهیافت بینایی ماشین، خصوصیات مورفولوژیک شامل اندازه، شکل و بافت را استخراج نمودند و دقت شناسایی شبکه عصبی مصنوعی را به‌ترتیب۹۷/۸ و ۹۷/۹ گزارش کردند.

آنالیز تشخیص متعارف برای کل متغیرهای ورودی پیشگو

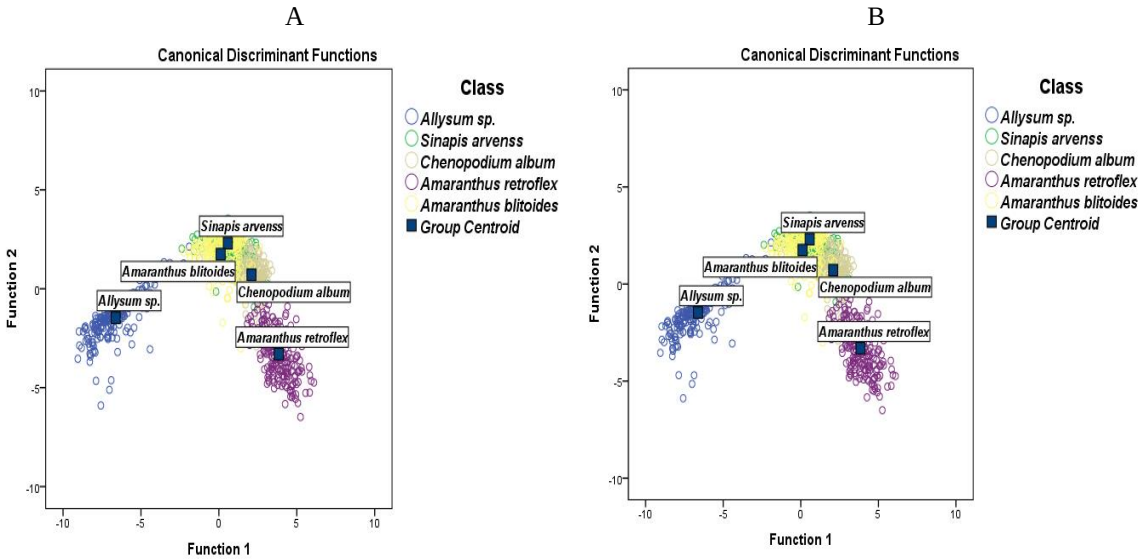
نتایج حاصل از آنالیز تشخیص متعارف برای کل ۱۳ متغیر پیشگوی خام و استاندارد نشان داد که بیشترین دقت شناسایی بذرها بر اساس کل داده‌های خام، به قدومه و تاج خروس ریشه قرمز با دقت ۹٦ درصد و کمترین دقت شناسایی به خردل وحشی با دقت ٦۹ درصد تعلق داشت و میانگین دقت شناسایی کل داده‌های خام برابر ۸۵ درصد بود. بیشترین دقت شناسایی بذرها بر اساس کل داده‌های استاندارد نیز به قدومه با دقت ۹٦ درصد و پس از آن تاج‌خروس ریشه‌قرمز با دقت ۹۵/۵ و کمترین دقت شناسایی به خردل وحشی با دقت ٦۸/۵ درصد اختصاص داشت

و میانگین دقت شناسایی نیز برابر با ۸٤/۷ درصد بود (جدول ۷). نتایج نشان داد که بذر علف‌های‌هرز مورد مطالعه قابل‌تفکیک بودند (شکل ۱)؛ با این حال دقت شناسایی بذرها در زمان استفاده از داده‌های ورودی خام، بیشتر از داده‌های استاندارد بود که این تفاوت قابل‌توجه نبود (جدول ۷ و شکل ۱).

جدول ۷- درصد شناسایی بذر علف‌های‌هرز توسط روش آنالیز تشخیص متعارف برای داده‌های کل ورودی خام و استاندارد

Table 7. Identification percentage of weed seeds by canonical discriminant analysis for total raw and standard data

	A. retroflexus	*A. hirsutum*	*S. arvensis*	*Ch. album*	*A. blitoides*	*A. retroflexus*	*A. hirsutum*	*S. arvensis*	*Ch. album*	*A. blitoides*
	Raw Data					Standard Data				
A. retroflexus	96.00	0.0	0.00	4.50	0.00	95.50	0.00	0.00	5.00	0.00
A. hirsutum	0.00	96.00	0.50	0.00	3.50	0.00	96.00	0.50	0.00	3.50
S. arvensis	0.00	0.00	69.00	15.00	16.00	0.00	0.00	68.50	15.00	16.50
Ch. album	2.00	0.00	6.50	86.50	5.00	2.00	0.00	6.50	86.50	5.00
A. blitoides	1.00	0.00	18.00	3.50	77.50	1.00	0.00	18.00	3.50	77.50



شکل ۱- آنالیز تشخیص متعارف برای الف) کل داده‌های خام و ب) کل داده‌های استاندارد

Figure 1- Canonical discriminant analysis for A) all raw and B) standard data

آنالیز تشخیص متعارف برای متغیرهای ورودی پیشگو بر اساس رگرسیون گام‌به‌گام

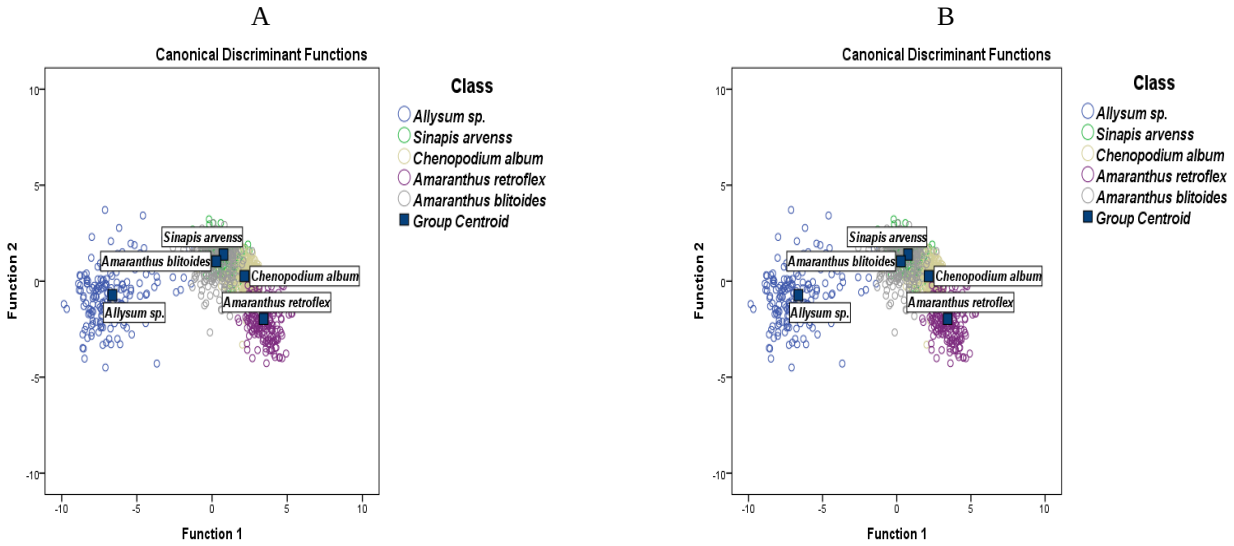
بیشترین دقت شناسایی بذرها بر اساس داده‌های ورودی خام حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام، به قدومه با دقت تشخیص ۹۷ درصد و پس از آن تاج‌خروس ریشه‌قرمزو سلمه‌تره با دقت شناسایی ۸۸ درصد تعلق داشت. کمترین دقت شناسایی نیز متعلق به خردل وحشی با دقت ٦۱ درصد و میانگین کل دقت شناسایی نیز معادل ۸۲/٦ بود. دقت شناسایی بذرها بر اساس داده‌های ورودی استاندارد حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام، به قدومه با دقت تشخیص ۹۷ درصد و پس از آن تاج‌خروس ریشه‌قرمز و سلمه‌تره با دقت شناسایی ۸۸ درصد اختصاص داشت و کمترین دقت شناسایی نیز در خردل وحشی با دقت ٦۱ درصد مشاهده شد. میانگین کل دقت شناسایی برای متغیرهای ورودی خام و استاندارد حاصل از

رگرسیون نیز معادل ۸۲/٦ درصد بود (جدول ۸). نتایج یک آزمایش جهت تشخیص ۱۱ رقم گوجه فرنگی با روش *CDA* نشان داد که دقت شناسایی ارقام، بین ۸۵ تا ۱۰۰ درصد بود (Shrestha *et al.*, 2015). نتایج حاصل از آنالیز تشخیص متعارف برای متغیرهای ورودی خام و استاندارد حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام، دقت شناسایی مشابه بذر علف‌های‌هرز مورد مطالعه را نشان داد که این امر نشان‌دهنده آن است که استاندارد سازی داده، اثری روی افزایش دقت شناسایی بذرهای مورد مطالعه نداشته است. در مجموع نتایج نشان از تفکیک مناسب قدومه، تاج خروس ریشه قرمز و سلمه تره داشت (شکل ۲).

جدول ۸- درصد شناسایی بذر علف‌های‌هرز توسط روش آنالیز تشخیص متعارف با استفاده از داده‌های ورودی خام و استاندارد حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام

Table 8. Identification percentage of weed seeds by canonical discriminant analysis for total raw and standard data derived from stepwise regression

	A. retroflexus	*A. hirsutum*	*S. arvensis*	*Ch. album*	*A. blitoides*	*A. retroflexus*	*A. hirsutum*	*S. arvensis*	*Ch. album*	*A. blitoides*
	Raw Data					Standard Data				
A. retroflexus	88.00	0.00	0.00	13.00	0.00	88.00	0.00	0.00	13.00	0.00
A. hirsutum	0.00	97.00	1.00	0.00	3.00	0.00	97.00	1.00	0.00	3.00
S. arvensis	0.00	0.00	61.00	21.00	19.00	0.00	0.00	61.00	21.00	19.00
Ch. album	3.00	0.00	4.00	88.00	6.00	3.00	0.00	4.00	88.00	6.00
A. blitoides	1.00	0.00	17.00	4.00	79.00	1.00	0.00	17.00	4.00	79.00



شکل ۲- آنالیز تشخیص متعارف برای الف) کل داده‌های خام و ب) کل داده‌های استاندارد حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام

Figure 1. Canonical discriminant analysis for A) all raw and B) standard data derived from stepwise regression

نتایج نشان دادند که میانگین دقت شناسایی بذرهای گونه‌های علف‌هرز در این مطالعه با استفاده از تکنیک آنالیز تشخیص متعارف ۸۳/٤٥ درصد می‌باشد؛ با این حال، دقت شناسایی تاج‌خروس ریشه‌قرمز و قدمه بیش از ۹۵ درصد بود (جدول ۷). این امر نشان می‌دهد که استفاده از این روش می‌تواند در مورد شناسایی این علف‌های‌هرز قابل قبول باشد. چتیویی و همکاران (Chtioui *et al.*, 1996) نیز در مطالعات

خود برای شناسایی بذرهای *Festuca rubra*، *Lolium perenne*، *Rumex* spp. و *Avena* spp. با استفاده از آنالیز رنگ به کمک تکنیک CDA نشان دادند که این تکنیک هنگام استفاده از ویژگی‌های مورفولوژیک، طبقه‌بندی را با دقت ۹۲ درصد و هنگام استفاده از خصوصیات مورفولوژیک و بافتی، با دقت ۹۹ درصد داشته است. همچنین نتایج حاصل از شناسایی گونه‌های گیاه بیشه قرمز با استفاده از ۱۳ صفت مورفولوژیک و به کمک تکنیک CDA نشان داد که این تکنیک احتمالاً برای مطالعه، شناسایی و حفاظت از گونه‌های مورد مطالعه قابل‌استفاده است (Hoyo & Tsuyuzaki, 2013). آیزنگا و همکاران (Eizenga *et al.*, 2014) نیز با استفاده از روش CDA، تنوع ژنتیکی برنج را با استفاده از خصوصیات مورفولوژیک بذرهای ۳۳ گونه برنج مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که این روش، شیوه‌ای قابل اعتماد در این زمینه است.

نتیجه‌گیری کلی

این آزمایش با هدف بررسی دقت شناسایی روش های تشخیص الگو با استفاده از خصوصیات شکلی بذرهای پنج گونه علف‌هرز به اجرا در آمد. با توجه به این‌که بذرهای مورد بررسی از خانواده مختلف بودند و با توجه به شکل‌های مختلف این بذرها، سوال این بود که آیا می‌توان با استفاده از خصوصیات مربوط به شکل بذرها، آن‌ها را از یکدیگر تشخیص داد؟ به‌طورکلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که میانگین دقت شناسایی شبکه عصبی مصنوعی و روش تشخیص متعارف بر اساس خصوصیات شکلی بذرهای مورد مطالعه، به‌ترتیب ۸٤/۱۰ و ۸۳/٤٥ درصد بود. توجه به دقت شناسایی بذرهای تاج‌خروس ریشه‌قرمز و قدومه (تا ۱۰۰ درصد) و همچنین سلمه‌تره (تا ۸۸ درصد)، مشخص شد که استفاده از خصوصیات شکلی بذرها به عنوان داده‌های ورودی در مدل‌های تشخیص الگو، دارای پتانسیل خوبی در شناسایی بذرهای این علف‌های‌هرز بودند. همچنین نتایج آزمون t-test نشان داد که تفاوت دقت شناسایی دو روش شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز تشخیص متعارف معنی‌دار نبود؛ با این حال، دقت شناسایی بذرهای تاج‌خروس ریشه‌قرمز و قدومه در روش شبکه عصبی مصنوعی بیشتر بود.

منابع

Abdipour, M., Younessi-Hmazekhanlu, M., Ramazani, S.H.R. and omidi, A.H. 2019. Artificial neural networks and multiple linear regression as potential methods for modeling seed yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Ind. Crop Prod. 127: 185-194.

Abrougui, K., Gabsi, K., Mercatoris, B., Khemis, C., Amami, R. and Chehaibi, S. 2019. Prediction of organic potato yield using tillage systems and soil properties by artificial neural network (ANN) and multiple linear regressions (MLR). Soil Till. Res. 190: 202-208.

Alvarez, R. 2009. Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. Eur. J. Agro. 30: 70-77.

Anouar, F., Mannino, M., Casals, M., Fougereux, J. and Demilly, D. 2001. Carrot seeds grading using a vision system. Seed Sci. Thechnol. 29: 215-225.

Anysz, H., Zbiciak, A. and Ibadov, N. 2016. The influence of input data standardization method on prediction accuracy of artificial neural networks. Procedia. Eng. 153: 66-70.

Arefi, A., Motlagh, A.M. and Khoshroo, A. 2011. Recognition of weed seed species by image processing. J. Food Agric. Environ. 9: 379-383.

Bagheri, A., Eghbali, L. and Sadrabadi Haghighi, R. 2019. Seed classification of three species of amaranth (*Amaranthus* spp.) using artificial neural network and canonical discriminant analysis. J. Agric. Sci. 157: 333-341.

Bagheri, M., Rashed Mohassel, M. and Golzarian, M. 2015. Comparison of the efficiency of three types of artificial neural networks in identifying seeds of twenty weed species. Iranian J. Weed Ecol. 3: 31-39.

Cervantes, E., Martín, J.J. and Saadaoui, E. 2016. Updated methods for seed shape analysis. Scientifica. 10.

Chtioui, Y., Bertrand, D. and Barba, D. 1998. Feature selection by a genetic algorithm. Application to seed discrimination by artificial vision. J. Sci. Food Agric. 76: 77-86.

Chtioui, Y., Bertrand, D., Dattée, Y. and Devaux, M.F. 1996. Identification of seeds by colour imaging: Comparison of discriminant analysis and artificial neural network. J. Sci. Food Agric. 71: 433-441.

Dubey, B., Bhagwat, S., Shouche, S. and Sainis, J. 2006. Potential of artificial neural networks in varietal identification using morphometry of wheat grains. Biosyst. Eng: 95, 61-67.

Eghbali, L., Sadrabadi Haghighi, R., Moein Rad, H. and Bagheri, A. 2013. Identification of seeds of different species of *Amaranthus* spp. Using machine vision approach and artificial neural networks. Iranian J. Seed Res. 2: 74-85.

Eizenga, G.C., Ali, M., Bryant, R.J., Yeater, K.M., McClung, A.M. and McCouch, S.R. 2014. Registration of the rice diversity panel 1 for genomewide association studies. J. Plant Regist. 8: 109-116.

Elizondo, D., McClendon, R. and Hoogenboom, G. 1994. Neural network models for predicting flowering and physiological maturity of soybean. Trans. ASAE. 37: 981-988.

Granitto, P.M., Navone, H.D., Verdes, P.F. and Ceccatto, H.A. 2002. Weed seeds identification by machine vision. Comput. Electron. Agric. 33: 91-103.

Hoyo, Y. and Tsuyuzaki, S. 2013. Characteristics of leaf shapes among two parental Drosera species and a hybrid examined by canonical discriminant analysis and a hierarchical Bayesian model. Am. J. Bot. 100: 817-823.

Kasabov, N.K. 1996. Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering. The MIT Press.

Kaul, M., Hill, R.L. and Walthall, C. 2005. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. Agric. Syst. 85: 1-18.

Lippmann, R. 1994. Book Review:" Neural Networks, A Comprehensive Foundation", by Simon Haykin. Int. J. Neural Syst. 5: 363-364.

Melesse, A.M. and Hanley, R.S. 2005. Artificial neural network application for multi-ecosystem carbon flux simulation. Ecol. Modell. 189: 305-314.

Nemes, A., Schaap, M. and Wösten, J. 2003. Functional evaluation of pedotransfer functions derived from different scales of data collection. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 1093-1102.

Olesen, M.H., Carstensen, J.M. and Boelt, B. 2011. Multispectral imaging as a potential tool for seed health testing of spinach (*Spinacia oleracea* L.). Seed Sci. Technol. 39: 140-150.

Pourreza, A., Pourreza, H., Abbaspour-Fard, M.-H. and Sadrnia, H. 2012. Identification of nine Iranian wheat seed varieties by textural analysis with image processing. Comput. Electron. Agric. 83: 102-108.

Rahmani, E., Khalili, A. and Liaghat, A. 2008. Quantitative Survey of Drought Effects on Barley Yield in East Azerbaijan by Classical Statistical Methods. J. Sci. Technol. Agric. Nat. Resour.

Shahin, M. and Symons, S. 2003. Lentil type identification using machine vision. Can. Biosyst. Eng. 45: 3.5-3.11.

Shrestha, S., Deleuran, L.C., Olesen, M.H. and Gislum, R. 2015. Use of multispectral imaging in varietal identification of tomato. Sensors. 15: 4496-4512.

Somaratne, S., Seneviratne, G. and Coomaraswamy, U. 2005. Prediction of soil organic carbon across different land-use patterns. Soil Sci. Soc Am. J. 69: 1580-1589.