

پایه‌سازی سامانه بینایی ماشین به منظور پردازش تصاویر گیاهان دارویی و طبقه‌بندی آن‌ها به روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم

رحیم آزادانیا^۱ و کامران خیر علی پور^{۲*}

چکیده

گیاهان دارویی به دلیل خواص ویژه و استفاده در درمان بسیاری از بیماری‌ها دارای اهمیت بالایی هستند. تشخیص و تمایز نوع و گونه‌های مختلف گیاهان دارویی یک امر ضروری است. از آنجا که گیاهان دارویی فراوانی وجود دارد و شناسایی و تمایز آن‌ها از هم به صورتی دستی یک فعالیت خسته‌کننده، زمان‌بر و پرهزینه است، بنابراین استفاده از روش‌های نوین جهت شناسایی سریع و دقیق این گیاهان امری ضروری است. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف طبقه‌بندی شش نوع گیاه دارویی در شهرستان سلماس انجام گرفت. تصاویر گیاهان دارویی با استفاده از تلفن همراه گرفته شد. یک الگوریتم پردازش تصویر به منظور بهبود کیفیت تصاویر و استخراج ویژگی‌های رنگ، بافت و شکل از تصاویر در نرم‌افزار MATLAB طراحی و توسعه یافت. از میان ۲۹۶ ویژگی استخراج شده از کانال‌های مختلف تصاویر، ۲۸ ویژگی کارا برای طبقه‌بندی گیاهان مورد بررسی انتخاب شد. دو روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم برای طبقه‌بندی گیاهان دارویی مورد استفاده قرار گرفت. دقت طبقه‌بندی ۲۸ ویژگی انتخاب شده با استفاده از روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم به ترتیب ۹۷/۷٪ و ۱۰۰٪ به دست آمد. با کاهش تعداد ویژگی‌ها در مراحل بعد، تعداد ۹ ویژگی کارا برای طبقه‌بندی گیاهان دارویی مورد بررسی انتخاب شد که دقت هر دو مدل طبقه‌بند برابر ۱۰۰٪ و خطای طبقه‌بندی آن دو نیز با هم برابر (۰/۰۱۰۵) بود. نتایج به دست آمده نشان داد که الگوریتم طراحی شده قابلیت بالایی در تشخیص گیاهان دارویی دارد.

واژه‌های کلیدی: گیاهان دارویی، بینایی ماشین، پردازش تصویر، تحلیل تفکیک خطی، تحلیل تفکیک درجه دوم.

ارجاع: آزادانیا ر. و خیر علی پور ک. ۱۴۰۰. پایه‌سازی سامانه بینایی ماشین به منظور پردازش تصاویر گیاهان دارویی و طبقه‌بندی آن‌ها به روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۱: ۱-۱۵.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی بیوسستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام.

* نویسنده مسئول: k.kheiralipour@ilam.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴

مقدمه

اهمیت گیاهان دارویی در جوامع مختلف به خاطر کاربردهای فراوان آن‌ها در درمان بیماری‌ها غیرقابل انکار است (Ballabh & Chaurasia, 2007) به طوری که بیش از ۷۵ درصد جمعیت جهان برای درمان برخی از بیماری‌ها از گیاهان دارویی استفاده می‌کنند. تنوع گیاهان دارویی بسیار بالا است به طوری که حدود ۳۰ درصد از کل گونه‌های گیاهی برای مصارف دارویی استفاده می‌شود (Tachjian *et al.*, 2010). بخش‌های گوناگون اندام گیاهان دارویی مانند ریشه، ساقه، برگ، و گل دارای مواد مفید بیولوژیکی هستند.

امروزه، گیاهان دارویی به دلیل خواص مفیدشان بسیار و مصرف (Sarwat *et al.*, 2006) مورد توجه واقع شده‌اند. آن‌ها روز به روز در حال افزایش است. گیاهان دارویی به دلیل حفظ بدن در مقابل رادیکال‌های آزاد و درمان بیماری‌های مختلف می‌توانند جایگزین مناسبی برای داروهای شیمیایی مانند آنتی بیوتیک‌ها که مقاومت (Brendler & Van Wyk, 2008) باکتری‌ها را در بدن بالا می‌برند، شوند. ایران به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، (Wyk, 2008) رویشگاه بسیاری از گیاهان دارویی بوده و قابلیت بالایی در تولید و صادرات این نوع گیاهان دارد. بنابراین تشخیص گیاهان دارویی یک امر ضروری است و نیازمند توسعه های شناسایی سریع و در حین حال دقیق است. روش بنابراین پیاده‌سازی و طراحی یک سامانه قابل اعتماد برای شناسایی گیاهان دارویی حائز اهمیت است.

تشخیص و تمایز گیاهان دارویی بر اساس تجربه افراد خبره، خسته‌کننده و طاقت فرسا بوده و روش‌های آزمایشگاهی شناسایی گیاهان دارویی هم علاوه بر صرف هزینه و زمان زیاد، غیرمخرب هستند. از آن‌جا که غالباً مهم‌ترین قسمت یک گیاه دارویی برگ آن است و بیشترین مصرف را دارد، و از طرفی برگ‌ها ویژگی‌های ظاهری خاصی دارند، به‌عنوان یک عامل مهم به منظور شناسایی گیاهان دارویی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در واقع برگ هر گیاه، شکل، رنگ، و بافت متمایزی دارد که می‌توانند برای تشخیص گیاهان مورد استفاده قرار بگیرند. این موضوع نویدبخش به کارگیری موفقیت آمیز فناوری پردازش تصویر در این حوزه است.

پردازش تصویر بخشی جذاب و پویا از علوم شناختی و رایانه است که در حوزه‌های مختلف کاربرد دارد (Sonka

(2014). *et al.* امروزه پردازش تصویر به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تجزیه و تحلیل پارامترها در زمینه‌ها و برنامه‌های مختلف به کار می‌رود. پردازش تصویر در علوم کشاورزی نیز کاربردهای ویژه‌ای دارد و برای توسعه بینایی ماشین در حوزه‌های مختلف کشاورزی استفاده می‌شود، به طوری که بسیاری از صفات‌های قابل اندازه‌گیری مانند حجم شاخ و برگ، عملکرد، و کیفیت محصول به کمک این فن‌آوری قابل سنجش هستند (Vibhute & Bodhe, 2012). بسیاری از اوقات ممکن است مشاوره متخصصان در زمینه کشاورزی از لحاظ زمانی و هزینه مقرون به صرفه و قابل دسترس نبوده باشد، بنابراین روش پردازش تصویر در یک سامانه بینایی ماشین همراه با مشاوره متخصصان، دقت سنجش را افزایش و هزینه و زمان را کاهش دهد. از کاربردهای پردازش تصویر در حوزه کشاورزی می‌توان به پردازش تصاویر حرارتی (Manickavasagan *et al.*, 2005)، شناسایی علف‌های هرز (Ahmed *et al.* 2008; (Bossu *et al.*, 2009); (You & Cai, 2009) به منظور بهبود عملکرد محصولات کشاورزی و درجه‌بندی میوه‌ها و محصولات کشاورزی (Raji & Alamutu, 2005); (Liming & Yanchao, 2010); (Omid *et al.*, 2010) به دلیل افزایش تقاضا برای محصول با کیفیت اشاره کرد.

با وجود این که شکل برگ در شناسایی گیاهان از اهمیت بالایی برخوردار است؛ اما هنوز چالش‌هایی در انتخاب نوع ویژگی و تغییر شکل^۱ نمونه گیاه وجود دارد (Dupuis *et al.*, 2016). ویژگی‌های برگ گیاهان در طول هر دوره رشد دچار تغییرات می‌شوند. از طرفی شناسایی برگ گیاهانی که از لحاظ ظاهری شباهت دارند، بسیار پیچیده است. مقالات زیادی در سال‌های اخیر در رابطه با شناسایی گیاهان دارویی به چاپ رسیده است. تحقیقی با استفاده از فناوری‌های پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی برای تشخیص گیاهان دارویی در فیلپین صورت گرفته است. میزان دقت شناسایی گیاهان دارویی توسط الگوریتم مورد بررسی بالای ۹۸٪ گزارش شده است (De Luna *et al.*, 2017). الگوریتمی به منظور شناسایی گیاهان دارویی بر پایه برگ گیاه با استفاده از شبکه عصبی پیاده‌سازی شده که دقت آن ۹۰٪ گزارش شده است (Wu *et al.*, 2007). در تحقیقی دیگر، با استفاده از روش های نزدیکترین همسایه K، درخت تصمیم و ماشین بردار

¹ Deformation

سلماس، و دسته‌بندی آن‌ها به روش‌های تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم است.

مواد و روش‌ها

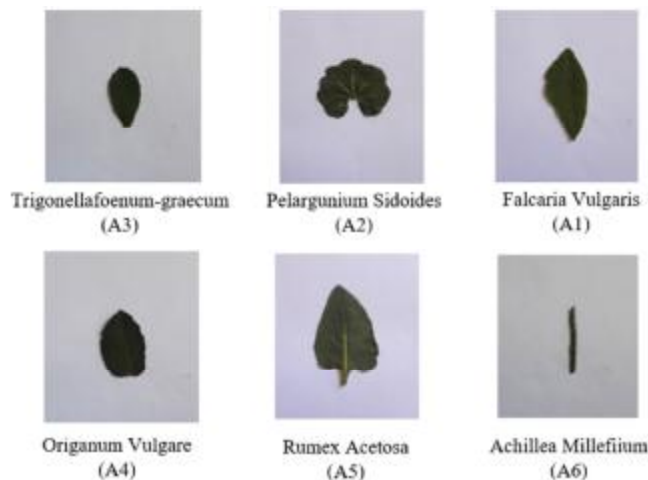
نمونه‌برداری این تحقیق در شهرستان سلماس با مختصات جغرافیایی ($38^{\circ}11'41''N$ $44^{\circ}45'53''E$) انجام گرفت. این منطقه به دلیل اقلیم مناسب و خاک غنی شرایط لازم برای رشد انواع سبزی را داشته و همیشه جزو رتبه‌های برتر کشت انواع سبزی در سطح استان آذربایجان غربی بوده است. همچنین شهرستان سلماس به دلیل دارا بودن آب و هوای کوهستانی شرایط مناسبی برای رویش فراوان گیاهان دارویی دارد که همواره برای درمان بسیاری از بیماری‌ها در طب سنتی استفاده می‌شود.

در مطالعه حاضر، ۱۱۰ نمونه گیاه دارویی جمع‌آوری شد؛ اما به دلیل له‌شدگی برخی از نمونه‌ها در هنگام انتقال به آزمایشگاه، ۹۵ نمونه مورد استفاده قرار گرفت که شامل شش نوع بود. (۱۴ تا ۱۷ نمونه از هر نوع گیاه دارویی). نمونه‌ها، به شرح زیر، از A1 تا A6 نامگذاری شدند (شکل ۱).

پشتیبان برای شناسایی ۳۲ گیاه دارویی بر اساس شکل و رنگ آن‌ها، بالاترین کارایی طبقه‌بندی به دست آمده مربوط به روش درخت تصمیم با دقت ۹۶٪ بود (Caglayan *et al.*, 2013).

اخیراً استفاده از تلفن همراه برای تصویربرداری و پردازش تصویر افزایش یافته است. استفاده از تلفن همراه هوشمند به دلیل ارزان بودن، دردسترس بودن، قابلیت پردازشی و حافظه بالا روز به روز مورد استقبال محققان قرار می‌گیرند تا برنامه‌های کاربردی مؤثر بر پایه پردازش تصویر دیجیتال با استفاده از دوربین تلفن همراه هوشمند توسعه دهند (Chung *et al.*, 2018). در یک بررسی، (Hosseinpour *et al.*, 2019) بمنظور ارزیابی کیفیت گوشت، یک برنامه اندرویدی بر پایه بینایی ماشین توسعه دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که برنامه اندرویدی قابلیت ارزیابی کیفیت گوشت را با دقت ۹۹٪ داشت.

هدف از تحقیق حاضر تصویربرداری از گیاهان دارویی با استفاده از تلفن همراه و توسعه یک الگوریتم پردازش تصویر برای استخراج ویژگی‌های تصویر گیاهان در منطقه



شکل ۱- نمونه برگ‌های گیاهان دارویی مورد استفاده

(Jalili, 2019)، از بین بردن سنگ کلیه و مشکلات دیابتی (Jalili *et al.*, 2018) و بیماری‌های میکروبی و مشکلات پوستی (Choobkar *et al.*, 2017) نیز استفاده می‌شود.

۲- گیاه دارویی پلارگونوم (*Pelargonium sidoides*) از خانواده *Geraniaceae* و یکی از مهم‌ترین گیاهان موجود در طبیعت است که در طب سنتی کاربرد فراوانی دارد. این

۱- گیاه دارویی غازیاقی (*Falcaria vulgaris*) از خانواده *Umbellifrae* است و معمولاً به صورت رایج در مناطق جنوب غربی و شمال غربی کشور برای درمان درد شکم استفاده می‌شود. غازیاقی دارای مواد پروتئینی، ویتامین C و بسیاری از مواد مفید دیگر است (Khazaei & Salehi, 2006). این گیاه برای درمان چربی کبد (Goorani *et al.*,

خواص درمانی که این گیاه دارد می‌توان به استفاده از این گیاه در درمان سردرد، مشکلات قلبی و درمان سرطان (Duke, 2002; Hamayun *et al.*, 2007) و همچنین برای درمان مشکلات ناشی از افزایش فشار خون اشاره نمود (Khan & Gilani, 2011).

گیاهان دارویی مورد نظر بعد از نمونه برداری در پاکت‌های مخصوص آزمایشگاهی قرار گرفتن و برای تصویربرداری آماده شدند.

تصویربرداری از نمونه

به منظور تصویربرداری از نمونه‌های جمع‌آوری شده و تحلیل از یک سامانه بینایی ماشین استفاده شد. اجزا تشکیل دهنده سامانه بینایی ماشین استفاده شده در مطالعه حاضر عبارتند از (۱) سامانه نورپردازی، (۲) تلفن همراه، (۳) رایانه، و (۴) نرم‌افزار MATLAB. تصویربرداری توسط یک تلفن همراه (Galaxy A, SAMSUNG corporation, South Korea) مجهز به دوربین ۱۶ مگاپیکسلی انجام شد.

سامانه نورپردازی، شرایط مناسب را برای کم کردن نوفه در تصویر نهایی فراهم می‌کرد. با کم شدن میزان نوفه موجود در تصویر نهایی و حذف سایه‌ها می‌توان کیفیت تصاویر را بهبود، عملیات پیش‌پردازش روی تصاویر را کاهش و حجم محاسبات پردازشی را به حداقل رساند (Gunasekaran, 1996). سامانه نورپردازی طراحی شده قابل تنظیم بود و با توجه به نمونه گیاه انتخاب شده تنظیم می‌شد. سیستم نورپردازی شامل یک منبع نور LED حلقه‌ای بود که به صورت مورب بر روی سقف داخلی جعبه نصب شد.

مطابق با شکل ۲ یک درب کشویی در سامانه طراحی شد تا نمونه برای تصویربرداری به داخل جعبه هدایت و آماده شود. با استفاده از سعی و خطا فاصله بهینه بین دوربین و نمونه برابر با ۳۰ سانتی‌متر تعیین شد. تصاویر توسط دوربین تلفن همراه با مشخصات $4608 \times 2592 \text{ pixels}, \frac{1}{2.6} \text{ inches}, f/1.8$ و در حالت تصویربرداری خودکار گرفته و با فرمت JPEG ذخیره شد. در نهایت توسط یک کابل USB به رایانه (Asus X555L, CORE i7, HDD=1T) منتقل تا مراحل مختلف پردازش تصویر و سپس عملیات طبقه‌بندی اجرا شود.

گیاه برای درمان بسیاری از بیماری‌ها مانند درمان اختلالات قاعدگی و برطرف کردن قولنج (Lewu *et al.*, 2006)، سرفه، گلو درد و در برخی از کشورهای در حال توسعه برای درمان برونشیت کودکان استفاده می‌شود (Scott & Hewett, 2008).

۳- گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) این گیاه متعلق به خانواده *Leguminosae* است که قدمت استفاده طولانی در طب سنتی دارد و مانند سایر گیاهان دارویی کاربردهای طبی زیادی دارد. به‌عنوان مثال برای درمان سرطان (Zandi *et al.*, 2017)، مشکلات دیابتی (Verma *et al.*, 2016)، رفع آرتروز (Choi *et al.*, 2007) و به‌صورت گسترده‌ای برای درمان زخم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sreeja *et al.*, 2010).

۴- پونه کوهی (*Origanum vulgare*) متعلق به خانواده *Lamiaceae* است و به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی که دارد، به‌عنوان غذا یا داروی گیاهی استفاده می‌شود (Puertas-Mejia *et al.*, 2002). این گیاه به‌صورت گسترده برای درمان سرفه، خلط گلو و همچنین در مواردی برای درمان برخی از سرطان‌ها استفاده می‌شود (Bakkali *et al.* 2008; Baydar *et al.*, 2004; Kulisic *et al.* 2004).

۵- گیاه دارویی ترشک (*Rumex acetosa*) از خانواده *Polygonaceae* است و یک گیاه ترش مزه و خوش طعم است که بین ۳۰ تا ۸۰ سانتی‌متر ارتفاع دارد و بومی آسیا، اروپا و بخش‌هایی از شمال آمریکا است (Mabberley, 2008). این گیاه علاوه بر خواص درمانی زیادی که دارد در سس، سالاد و همچنین در سوپ‌های ترش نیز استفاده می‌شود (Bello *et al.*, 2019; Dogan *et al.*, 2015; Ahmad *et al.*, 2016). این گیاه به‌صورت گسترده برای درمان آنفلوآنزا (Derksen *et al.* 2014) استفاده می‌شود و خواص ضد ویروسی (Gescher *et al.* 2011)، ضد باکتریایی (Kota *et al.*, 2017) و آنتی‌اکسیدانی (Mantle *et al.*, 2000) دارد و در بعضی مواقع برای کاهش وزن نیز (Ladeji & Okoye, 1993) استفاده می‌شود.

۶- گیاه بومادران (*Achillea millefolium*) این گیاه متعلق به خانواده *Asteraceae* است و بیشتر در آسیا و بخش‌هایی از آمریکا یافت می‌شود (Chandler *et al.*, 1982; Radusiene & Gudaityte, 2005). از جمله



شکل ۲- طرح واره سامانه بینایی ماشین مورد استفاده برای تصویربرداری از گیاهان دارویی

آستانه‌گذاری استفاده شد. حفره‌های موجود در تصاویر نمونه پر شد تا شکل کامل گیاه مورد نظر حاصل شود. در مرحله بعد کانال‌های اولیه R ، G و B در تصویر دودویی نهایی ضرب شد تا پس‌زمینه هر کانال حذف شود. سپس کانال‌های اولیه R ، G و B بدون پس‌زمینه با هم ترکیب شدند تا تصویر RGB بدون پس‌زمینه حاصل شود (Mohammadi *et al.*, 2015) (شکل ۳).

استخراج ویژگی

به منظور تشخیص انواع گیاهان دارویی، ویژگی‌های رنگ، بافت و شکل از کانال‌های جدا شده در فضاهای رنگی مختلف استخراج شد. با استفاده از معادلات (۱) تا (۱۸) فضاهای مختلف رنگی HSI ، $I1I2I3$ ، $NRNGNB$ ، $L^*a^*b^*$ (Jahanbakhshi and Kheiralipour, 2020) و همچنین کانال سطح خاکستری استخراج شدند.

$$NR = \frac{R}{R + G + B} \quad (۱)$$

$$NG = \frac{G}{R + G + B} \quad (۲)$$

$$NB = \frac{B}{R + G + B} \quad (۳)$$

$$I1 = \frac{R + G + B}{3} \quad (۴)$$

$$I2 = \frac{R - B}{2} \quad (۵)$$

$$I3 = \frac{2G - R - B}{4} \quad (۶)$$

پردازش تصویر

در این تحقیق به منظور پردازش و استخراج ویژگی تصاویر برگ گیاهان دارویی از نرم‌افزار (MATLAB, 2015 b) استفاده شد. الگوریتم پردازش تصویر به گونه‌ای پیاده شد که تصاویر گیاهان دارویی را تک‌تک به صورت متوالی فراخوانی و همه مراحل پیش پردازش و پردازش تصویر را روی آن‌ها اجرا نموده و ویژگی‌های استخراج شده را برای آن‌ها در فایل‌های اکسل جداگانه‌ای ذخیره کند (شکل ۴).

یکی از مهم‌ترین گام‌ها در پردازش تصویر، روش قطعه‌بندی تصویر است که در آن تصاویر به بخش مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند و در این صورت می‌توان (۱) عملیات پردازش را بر روی بخش یا قطعه مورد نظر در تصویر انجام داد، (۲) زمان عملیات پردازش را تا حدود زیادی کاهش داد، (۳) فقط ویژگی‌های مهم مورد نظر را استخراج نمود، و (۴) طبقه‌بندی را بر اساس این ویژگی‌ها انجام داد.

قبل از انجام قطعه‌بندی لازم است که عملیاتی خاصی بر روی تصاویر صورت گیرد. به همین منظور ابتدا با بررسی بصری کانال رنگی B به‌عنوان کانال مناسب برای شروع عملیات پیش پردازش انتخاب شد و از تصاویر گیاهان در فضای RGB تفکیک گردید. برای دستیابی به تصاویر دودویی و معکوس آن از کانال مورد نظر، از روش

علاوه بر مساحت و محیط، با استفاده از معادلات (۲۸) تا (۳۰) ویژگی‌های دیگر شکل از جمله خارج از مرکزی، کشیدگی و گردی از تصاویر برگ گیاهان استخراج شد.

$$\text{Eccentricity} = \sqrt{1 - (b/a)^2} \quad (28)$$

$$\text{Elongation} = \frac{a}{b} \quad (29)$$

$$\text{Roundness} = \frac{4\pi A}{p^2} \quad (30)$$

در معادلات بالا a ، b ، A و P به ترتیب طول، عرض، مساحت، و محیط برگ گیاهان دارویی هستند.

تمامی ویژگی‌های استخراج شده با استفاده از روابط بالا در طبقه‌بندی قابل استفاده نیستند. بنابراین علاوه بر انتخاب روش‌های استخراج ویژگی، یکی دیگر از مهم‌ترین گام‌ها انتخاب ویژگی‌های مناسب به منظور طبقه‌بندی دقیق است. برای انتخاب ویژگی‌ها، الگوریتمی به روش انتخاب ویژگی ترتیبی بر پایه مدل درجه دوم در نرم‌افزار MATLAB کدنویسی شد و در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفت.

طبقه‌بندی گیاهان دارویی

برای طبقه‌بندی گیاهان دارویی، از ویژگی‌های مناسب استخراج شده از بافت، شکل و رنگ تصاویر استفاده شد. بنابراین به منظور طبقه‌بندی این ویژگی‌ها از روش‌های تحلیل تفکیک خطی (LDA) و درجه دوم (QDA) از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. در روش LDA، L_{ij} متعلق به طبقه k است و زمانی که کواریانس طبقه مورد نظر متعادل نبوده در نظر گرفته می‌شود که با استفاده از معادله (۳۱) قابل محاسبه است (Dixon et al., 2009):

$$L_{ij} = (X_i - \bar{X}_k)^T \sum_{pooled}^{-1} (X_i - \bar{X}_k) - 2 \log_e \pi_k \quad (31)$$

که X_i یک بردار مربوط به نمونه i ام، \bar{X}_k میانگین بردار طبقه k ، $\sum_{pooled} X_i$ ماتریس کواریانس تلفیق شده و π_k احتمال اولیه وقوع طبقه k ام است. مقدار Q_{ij} در روش QDA با استفاده از کواریانس-کواریانس ماتریس هر طبقه K تخمین زده می‌شود و طبق معادله (۳۲) به دست می‌آید (Wu et al., 1996).

$$Q_{ij} = (X_i - \bar{X}_k)^T \sum_{pooled}^{-1} (X_i - \bar{X}_k) - 2 \log_e \pi_k + \log_e \left| \sum_k \right| \quad (32)$$

$$H = \arctan \left[\frac{\sqrt{3(G-B)}}{(R-G) + (R-B)} \right] \quad (7)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad (8)$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B) \quad (9)$$

$$Cr = 0.6R - 0.6G - 0.1B \quad (10)$$

$$Cg = -0.3R + 0.3G - 0.1B \quad (11)$$

$$Cb = -0.3R - 0.6G + 0.9B \quad (12)$$

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (13)$$

$$Z = 0.066G + 1.116B \quad (14)$$

$$X = 0.607R + 0.174G + 0.2B \quad (15)$$

$$L^* = 116Y^{1/3} - 16 \quad (16)$$

$$a^* = 500((X/0.981)^{1/3} - (Y^{1/3})) \quad (17)$$

$$b^* = 200(Y^{1/3} - (Z/1.182)^{1/3}) \quad (18)$$

ویژگی‌های مختلف رنگی شامل حداقل، حداکثر، میانگین، واریانس، انحراف معیار، مد، میانه، چولگی، و کشیدگی از تصاویر گیاهان دارویی استخراج شدند. همچنین ویژگی‌های مبتنی بر بافت از جمله همگنی، آنروپی، انرژی، همبستگی، و تباین (با استفاده از ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری) از تصاویر گیاهان دارویی طبق معادلات (۱۹) تا (۲۷) استخراج شدند.

$$\text{Homogeneity} = \frac{\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} P_d(i,j)}{\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} 1 + |i-j|} \quad (19)$$

$$\text{Entropy} = - \sum_{i=0}^{Ng} \sum_{j=0}^{Ng} P_d(i,j) \log P_d(i,j) \quad (20)$$

$$\text{Energy} = - \sum_{i=0}^{Ng} \sum_{j=0}^{Ng} P_d^2(i,j) \quad (21)$$

$$\text{Correlation} = \frac{\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} (1 - \mu_i) P_d(i,j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (22)$$

$$\text{Variance} = \sum_{i=0}^{Ng-1} (i - \mu)^2 P_d \quad (23)$$

$$\text{Mean} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P(i,j) \quad (24)$$

$$\text{Standard deviation} = \left[\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (P(i,j) - \mu)^2 \right]^{1/2} \quad (25)$$

$$\text{Skewness} = \frac{1}{MN\sigma^3} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [(P(i,j) - \mu)^3] \quad (26)$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{1}{MN\sigma^4} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [(P(i,j) - \mu)^4] \quad (27)$$

در معادلات بالا μ میانگین، $\sigma_{i,j}$ انحراف معیار، σ^2 واریانس، N_g تعداد سطح خاکستری، P_d ماتریس هم‌وقوعی نرمال شده، $P(i,j)$ مقادیر رنگی ستون i و سطر j ، M و N ابعاد تصویر هستند.

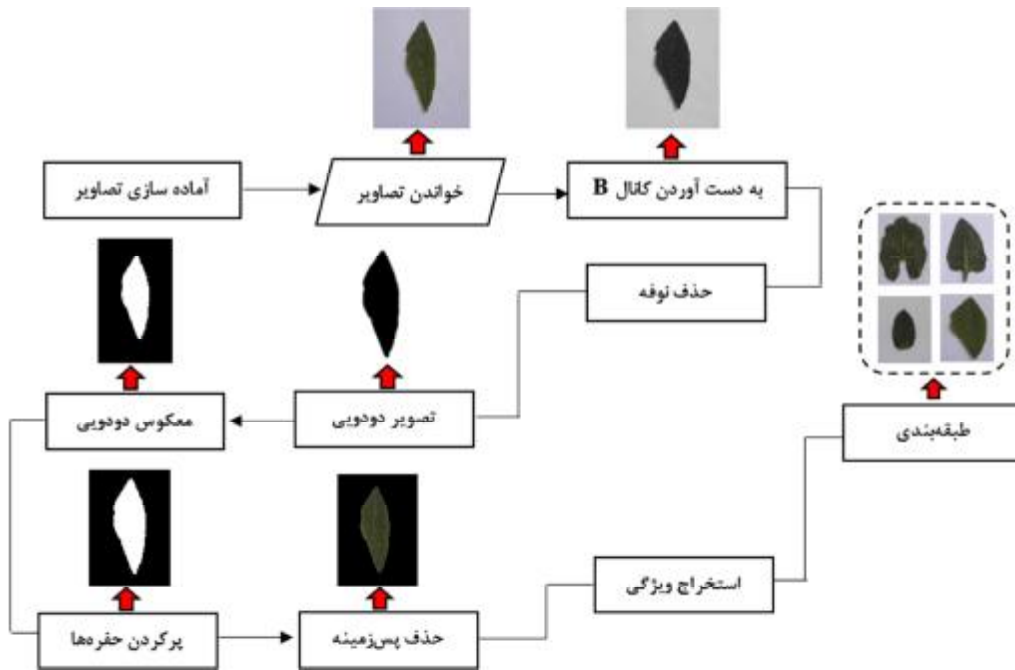
$$\sum_{pooled} X_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K N_k \sum_k k \quad (34)$$

$$\sum_k X_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_k} (X_i - \bar{X}_k) (X_i - \bar{X}_k)^T \quad (35)$$

که N_k تعداد نمونه‌های موجود در طبقه K ، N تعداد کل نمونه‌ها، و K تعداد کل طبقه‌ها است.

که \sum_k واریانس-کواریانس ماتریس طبقه K و $\log_e |\sum_k|$ لگاریتم طبیعی تشخیص واریانس-کواریانس ماتریس \sum_k است. احتمال اولیه (π_k) ، ماتریس کواریانس تلفیق شده $(\sum_{pooled} X_i)$ و ماتریس واریانس-کواریانس (\sum_k) با استفاده از معادلات (۳۳) تا (۳۵) به دست می‌آید.

$$\pi_k = \frac{N_k}{N} \quad (33)$$



شکل ۳- مراحل مختلف عملیات پیش پردازش بر روی تصاویر گیاهان دارویی

دوم مورد استفاده قرار گرفت. ماتریس اغتشاش مربوط به ویژگی‌های بافت با روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم در جدول ۴ و ۵ آورده شده است. مطابق با جدول ۴ طبقه‌بندی براساس ویژگی‌های استخراج شده بافت تصویر گیاهان صورت گرفت. روش تحلیل تفکیک خطی از ۱۷ نمونه گیاه AD، تعداد ۱۶ نمونه آن را به درستی و یک مورد را به اشتباه به‌عنوان AE شناسایی کرده است. گیاه AD با ۹۴٪ دقت تشخیص و طبقه‌بندی شده است. همانطور که از ماتریس اغتشاش روش تفکیک خطی مشخص است، نمونه AE کمترین دقت را در بین نمونه‌ها داشته است. نمونه‌های دیگر با دقت ۱۰۰٪ طبقه‌بندی شدند. طبق این شکل، مدل پیشنهاد شده قادر است که با نرخ طبقه‌بندی صحیح ۹۸/۹٪ گیاهان دارویی را بر اساس ویژگی‌های بافت طبقه‌بندی نماید؛ اما مطابق با جدول ۵ با استفاده از روش

نتایج و بحث

ویژگی‌های استخراج شده

تعداد ۲۹۶ ویژگی مبتنی بر رنگ، بافت، و شکل از تصاویر گیاهان دارویی با استفاده از الگوریتم پردازش تصویر در نرم‌افزار MATLAB استخراج شدند. از بین آن‌ها تعدادی به‌عنوان ویژگی‌های کارا برای طبقه‌بندی انتخاب شد. مقادیر میانگین ویژگی‌های انتخاب شده کارا مربوط به طبقه‌های مختلف گیاهان دارویی در جدول ۱، ۲ و ۳ آمده است که این ویژگی‌ها به‌عنوان ورودی به مدل‌های طبقه‌بندی دادند. همانطور که در جدول ۱، ۲ و ۳ مشخص است، مقادیر هر ویژگی مناسب انتخاب شده، حداقل برای دو گیاه دارویی مختلف، با هم متفاوت هستند.

ویژگی‌های کارای رنگ، بافت و شکل تصاویر گیاهان دارویی در جدول ۱، ۲ و ۳ به‌عنوان ورودی مدل‌های طبقه‌بندی بر اساس روش‌های تحلیل تفکیک خطی و درجه

مشخص است که روش تفکیک درجه دوم دقت بالایی را در طبقه‌بندی گیاهان دارویی بر اساس ویژگی‌های بافت نسبت به روش تفکیک خطی دارد.

تفکیک درجه دوم تشخیص و طبقه‌بندی تمامی گیاهان دارویی بر اساس ویژگی‌های بافت با دقت ۱۰۰٪ انجام شده است. همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است

جدول ۱- مقادیر میانگین ویژگی‌های انتخاب شده رنگ مربوط به طبقه‌های مختلف گیاهان دارویی

Feature	Class						
	Color	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Mean of gray level		۰/۲۲۶۷	۰/۲۲۹۲	۰/۲۲۹۴	۰/۲۲۹۶	۰/۲۰۴۹	۰/۱۷۸۸
Mean of H channel		۰/۱۹۳۹	۰/۱۹۱۲	۰/۱۸۹۶	۰/۱۹۰۵	۰/۲۱۷۶	۰/۱۷۵۵
Coefficient of variation of I2 channel		۰/۵۸۰۳	۰/۳۳۷۹	۰/۳۴۲۰	۰/۵۶۸۱	۰/۳۹۶۳	۰/۴۲۹۰
Median of I3 channel		۰/۰۱۵۳	۰/۰۲۱۰	۰/۰۱۷۹	۰/۰۱۲۸	۰/۲۱۶۰	۰/۰۱۱۶
Coefficient of variation of H channel		۰/۱۲۲۶	۰/۱۳۷۳	۰/۱۲۷۴	۰/۲۳۳۵	۰/۱۲۶۷	۰/۳۸۶۴
Coefficient of variation of S channel		۰/۳۱۲۸	۰/۱۷۶۹	۰/۲۱۱۰	۰/۲۶۷۸	۰/۱۶۷۸	۰/۳۳۷۵
Coefficient of variation of gray level		۰/۴۷۸۳	۰/۴۷۴۵	۰/۴۴۶۲	۰/۸۴۲۷	۰/۳۴۷۷	۱/۲۷۹۴
Kurtosis of Nb channel		۸۳۲۸/۶	۱۷۱۵۹/۵	۲۲۶/۱۹	۵۱۴۹۸/۷	۱۷۹۳۵/۷	۱۶۸۷۱/۶
Mean of I1 channel		۰/۲۱۴۲	۰/۲۱۲۳	۰/۲۱۵۳	۰/۲۳۸۷	۰/۱۸۹۳	۰/۱۶۹۵
Skewness of Cb channel		-۲/۷۹۱۷	-۱/۰۵۴۳۷	-۰/۹۲۴۱	-۰/۷۸۳۳	-۱/۳۰۶۸	۰/۱۱۵۷

جدول ۲- مقادیر میانگین ویژگی‌های انتخاب شده بافت مربوط به طبقه‌های مختلف گیاهان دارویی

Feature	Class						
	Texture	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Energy of gray level		۰/۸۷۱۶	۰/۹۳۶۸	۰/۹۱۹۸	۰/۹۸۹۷	۰/۹۷۳۹	۰/۹۶۱۶
Contrast of I1 channel		۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۹
Homogeneity of r channel		۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۸۳	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۷
Homogeneity of gray level		۰/۹۹۷۸	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۵
Energy of b channel		۰/۸۷۵۶	۰/۹۴۱۲	۰/۹۲۲۹	۰/۹۸۹۹	۰/۹۷۸۹	۰/۹۶۹۸
Correlation of b channel		۰/۹۹۸۷	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۷۶	۰/۹۸۹۱	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۷۹
Entropy of Ng channel		۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۳۲۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۳۹۸
Correlation of I1 channel		۰/۹۸۰۸	۰/۹۷۷۶	۰/۹۷۲۷	۰/۹۵۵۳	۰/۹۸۰۶	۰/۹۷۰۴
Energy of I1 channel		۰/۸۷۲۱	۰/۹۳۷۰	۰/۹۲۰۱	۰/۹۸۹۷	۰/۹۷۳۹	۰/۹۶۲۲
Contrast of I3 channel		۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۱
Energy of H channel		۰/۸۷۶۰	۰/۹۴۰۴	۰/۹۲۲۹	۰/۹۹۱۱	۰/۹۷۴۷	۰/۹۶۵۵
Energy of S channel		۰/۸۸۱۵	۰/۹۳۶۸	۰/۹۲۱۱	۰/۹۹۰۳	۰/۹۷۳۹	۰/۹۶۶۸
Entropy of Cr channel		۱/۰۲۱۶	۱/۳۶۸۰	۱/۲۱۲۷	۱/۷۹۲۸	۰/۶۱۸۹	۱/۵۹۳۸

جدول ۳- مقادیر میانگین ویژگی‌های انتخاب شده شکل مربوط به طبقه‌های مختلف گیاهان دارویی

Feature	Class						
	Shape	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Centroid height		۱۴۱۴/۵۳	۱۴۰۲/۵۹	۲۵۷۵/۰۶	۱۳۳۹/۶۵	۱۳۲۶/۶۵	۱۲۷۷۸/۹۹
Eccentricity		۰/۸۸۳۷	۰/۹۷۳۵	۰/۵۹۵۴	۰/۹۹۶۳	۰/۸۶۱۷	۰/۸۸۳۴
Roundness		۴۷۳۰۴۶/۹	۱۲۵۱۵۰	۲۳۲۶۶۶/۷	۴۴۴۲/۹۶	۸۶۸۱۹/۵۷	۱۵۳۷۳۵/۸
Length		۱۴۹۲/۰۱	۱۴۹۷/۲۷	۹۱۲/۷۷۴۴	۱۱۱۱/۲۰۵	۶۳۴/۹۵۲۸	۸۰۴/۴۷۸
Elongation		۲/۱۷۵۵	۴/۷۸۶۰	۱/۲۶۹۷	۱۲/۵۵۸۱	۱/۹۹۷۹	۲/۱۷۲۹

جدول ۴ - ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های بافت با روش تحلیل تفکیک خطی

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۱۷	.	.	.	.	.
A2	.	۱۶	.	.	.	.
A3	.	.	۱۴	.	.	.
A4	.	.	.	۱۷	.	.
A5	۱۵	.
A6	۱۶

جدول ۵ - ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های بافت با روش تحلیل تفکیک درجه دوم

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۱۶	۱	.	.	.	.
A2	.	۱۶	.	.	.	.
A3	.	.	۱۴	.	.	.
A4	.	.	.	۱۷	.	.
A5	۱۵	.
A6	۱۶

گیاهان دارویی را بر اساس ویژگی‌های شکل با دقت ۱۰۰٪ انجام دهد.

جدول ۱۰ و ۱۱ طبقه‌بندی گیاهان دارویی بر اساس همه ویژگی‌ها با روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان داد که طبقه‌بندی گیاهان دارویی بر اساس همه ویژگی‌ها با استفاده از هر دو روش با دقت ۱۰۰٪ انجام شد. بنابراین نتیجه گرفته شد که طبقه‌بندی گیاهان دارویی با استفاده از تلفیق ویژگی‌های بافت، رنگ و شکل با دقت بیشتری همراه است.

نتایج نشان داد که دقت طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده بافت توسط روش تحلیل تفکیک خطی بالاتر از ویژگی رنگ و شکل است؛ اما دقت طبقه‌بندی روش تحلیل تفکیک درجه دوم برای هر سه نوع ویژگی ۱۰۰٪ است. نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی گیاهان دارویی براساس تلفیق ویژگی‌های بافت، رنگ و شکل نشان داد که دقت طبقه‌بندی با استفاده از هر دو مدل طبقه‌بندی ۱۰۰٪ به دست آمد که نسبت به روش‌های اشاره شده در بالا دقت بالایی داشت.

ماتریس اغتشاش مربوط به ویژگی‌های رنگ با روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم در جدول ۶ و ۷ آورده شده است. در جدول ۶ ماتریس اغتشاش برای ویژگی‌های رنگ با استفاده از روش‌های تفکیک خطی نشان داده شده است. نمونه‌های AD و AM به ترتیب ۸۸/۲٪ و ۸۸/۶٪ کمترین دقت را داشتند. نمونه‌های دیگر با دقت ۱۰۰٪ به درستی تشخیص داده شدند. مدل پیشنهاد شده قادر بود که گیاهان دارویی را بر اساس ویژگی‌های رنگ با روش با دقت ۹۵/۸٪ طبقه‌بندی نماید. بر اساس جدول ۷ روش تحلیل تفکیک درجه دوم تمامی نمونه‌های گیاهان را بر اساس ویژگی‌های رنگ با دقت ۱۰۰٪ به درستی طبقه‌بندی کرد.

ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی گیاهان دارویی بر اساس ویژگی‌های شکل در جدول ۸ و ۹ آورده شده است. طبق جدول ۸ با استفاده از روش تفکیک خطی طبقه‌بندی، کمترین دقت طبقه‌بندی مربوط به گیاهان AD و AM (ترتیب برابر با ۸۲/۳٪ و ۸۶/۶٪) بود. این روش با دقت ۹۰/۵٪ توانست همه شش نوع گیاه دارویی را طبقه‌بندی کند. همان‌طور که در جدول ۹ نشان داد شده است، روش تحلیل تفکیک درجه دوم توانست طبقه‌بندی

جدول ۶- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی ویژگی‌های رنگ با روش تحلیل تفکیک خطی

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۱۵	۲	۰	۰	۰	۰
A2	۰	۱۶	۰	۰	۰	۰
A3	۰	۰	۱۴	۰	۰	۰
A4	۰	۰	۰	۱۷	۰	۰
A5	۰	۲	۰	۰	۱۳	۰
A6	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶

جدول ۷- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی ویژگی‌های رنگ با روش تحلیل تفکیک درجه دوم

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۱۷	۰	۰	۰	۰	۰
A2	۰	۱۶	۰	۰	۰	۰
A3	۰	۰	۱۴	۰	۰	۰
A4	۰	۰	۰	۱۷	۰	۰
A5	۰	۰	۰	۰	۱۵	۰
A6	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶

جدول ۸- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی ویژگی‌های شکل با استفاده از روش تحلیل تفکیک خطی

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۱۴	۰	۰	۰	۰	۳
A2	۰	۱۶	۰	۰	۰	۰
A3	۰	۰	۱۴	۰	۰	۰
A4	۰	۰	۰	۱۷	۰	۰
A5	۰	۰	۰	۰	۱۳	۲
A6	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶

جدول ۹- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی ویژگی‌های شکل با استفاده از روش تحلیل تفکیک درجه دوم

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۱۴	۰	۰	۰	۰	۳
A2	۰	۱۶	۰	۰	۰	۰
A3	۰	۰	۱۴	۰	۰	۰
A4	۰	۰	۰	۱۷	۰	۰
A5	۰	۰	۰	۰	۱۵	۰
A6	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶

جدول ۱۰- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی همه انواع ویژگی‌های کارای انتخاب شده با استفاده از روش تحلیل تفکیک خطی

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۱۷	۰	۰	۰	۰	۰
A2	۰	۱۶	۰	۰	۰	۰
A3	۰	۰	۱۴	۰	۰	۰
A4	۰	۰	۰	۱۷	۰	۰
A5	۰	۰	۰	۰	۱۵	۰
A6	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶

جدول ۱۱- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی همه انواع ویژگی‌های کارای انتخاب شده با استفاده از روش تحلیل تفکیک درجه دوم

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۱۷	.	.	.	.	.
A2	.	۱۶	.	.	.	.
A3	.	.	۱۴	.	.	.
A4	.	.	.	۱۷	.	.
A5	۱۵	.
A6	۱۶

شکل تصاویر گیاهان دارویی با استفاده از دو روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم ۱۰۰٪ به دست آمد. همچنین خطای دو روش با هم برابر و برابر با ۰/۰۱۰۵ بود. مطابق با نتایج به دست آمده روش تحلیل تفکیک درجه دوم نسبت به روش تحلیل تفکیک خطی دقیق‌تر و طبقه‌بندی گیاهان دارویی را بر اساس ویژگی‌های بافت، رنگ و شکل به صورت جداگانه با دقت بالاتری انجام می‌دهد. دقت روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم با استفاده از تلفیق هر سه نوع ویژگی به‌عنوان ورودی، با ۱۰۰٪ همراه است. اما استخراج ویژگی‌های کارا از بین ویژگی‌های استخراج شده به‌عنوان ورودی، دقت را برای هر دو روش افزایش می‌دهد. در یک پژوهش، محققان (De Luna et al. 2017) با استفاده شبکه عصبی به شناسایی گیاهان دارویی پرداختند و طبقه‌بندی گیاهان دارویی فیلیپین را با ۹۸٪ دقت انجام دادند. در مطالعه‌ای دیگر (Muneer & Fati, 2020) با استفاده از روش یادگیری عمیق براساس ویژگی‌های شکل و بافت به طبقه‌بندی گیاهان دارویی پرداختند. آن‌ها از دو روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) و شبکه عصبی یادگیری عمیق (DLNN) برای طبقه‌بندی گیاهان دارویی استفاده کردند و برای هر یک از روش‌ها به ترتیب ۷۴٪ و ۹۳٪ دقت به دست آمد.

طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های کاهش یافته

از آنجایی که سرعت پردازش و عملیات در سامانه‌های قابل حمل بسیار مهم و ضروری است و تعداد ویژگی‌های استخراج شده براساس ویژگی‌های بافت، رنگ و شکل زیاد بودند و این امر سرعت عملیات سامانه قابل حمل را کاهش می‌دهد. لذا سعی شد از بین ویژگی‌های کارای استخراج شده در جدول ۱، ۲ و ۳ مجدداً ویژگی‌های برتر انتخاب شود و در نهایت این ویژگی‌ها انتخاب و به‌عنوان ورودی به دو مدل پیشنهاد شده داده شد. مقادیر میانگین ویژگی‌های کاهش یافته مربوط به طبقه‌های مختلف گیاهان دارویی در جدول ۱۲، ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده‌اند و ملاحظه می‌شود که این مقادیر برای هر نوع از گیاهان دارویی مقادیری مختلفی داشتند. در این حالت ویژگی‌های بافت شامل تباین و آنتروپی، ویژگی‌های رنگ شامل میانگین، چولگی، درجه اوج و ویژگی‌های شکل شامل خارج از مرکز، کشیدگی، گردی و محیط بودند. نتایج طبقه‌بندی گیاهان دارویی بر اساس ویژگی‌های کاهش یافته و با استفاده از دو روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم در جدول ۱۵ و ۱۶ آمده است. جداول ماتریس اغتشاش به دست آمده نشان داد دقت طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های کاهش یافته بافت، رنگ و

جدول ۱۲- مقادیر میانگین ویژگی‌های کاهش یافته رنگ مربوط به طبقه‌های مختلف گیاه

Feature	Class					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Color						
Mean of gray level	۰/۲۲۶۷	۰/۲۲۹۲	۰/۲۲۹۴	۰/۲۲۹۶	۰/۲۰۴۹	۰/۱۷۸۸
Mean of H channel	۰/۱۹۳۹	۰/۱۹۱۲	۰/۱۸۹۶	۰/۱۹۰۵	۰/۲۱۷۶	۰/۱۷۵۵
Kurtosis of Nb channel	۸۳۲۸/۶	۱۷۱۵۹/۵	۲۲۶/۱۹	۵۱۴۹۸/۷	۱۷۹۳۵/۷	۱۶۸۷۱/۶
Mean of I1 channel	۰/۲۱۴۲	۰/۲۱۲۳	۰/۲۱۵۳	۰/۲۳۸۷	۰/۱۸۹۳	۰/۱۶۹۵
Skewness of Cb channel	-۲/۷۹۱۷	-۱/۰۵۴۳۷	-۰/۹۲۴۱	-۰/۷۸۳۳	-۱/۳۰۶۸	-۰/۱۱۵۷

جدول ۱۳- مقادیر میانگین ویژگی‌های کاهش یافته بافت مربوط به طبقه‌های مختلف گیاه

Feature	Class					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Texture						
Contrast of I1 channel	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۹
Entropy of Ng channel	۰/۰۰۹۰۸	۰/۰۰۳۲۳	۰/۰۰۴۰۶	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۳۲۱	۰/۰۰۳۹۸
Contrast of I3 channel	۰/۰۰۰۴۰	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱۱
Entropy of Cr channel	۱/۰۲۱۶	۱/۳۶۸۰	۱/۲۱۲۷	۱/۷۹۲۸	۰/۶۱۸۹	۱/۵۹۳۸

جدول ۱۴- مقادیر میانگین ویژگی‌های کاهش یافته شکل مربوط به طبقه‌های مختلف گیاه

Feature	Class					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Shape						
Centroid height	۱۴۱۴/۵۳	۱۴۰۲/۵۹	۲۵۷۵/۰۶	۱۳۳۹/۶۵	۱۳۲۶/۶۵	۱۲۷۷۸/۹۹
Eccentricity	۰/۸۸۳۷	۰/۹۷۳۵	۰/۵۹۵۴	۰/۹۹۶۳	۰/۸۶۱۷	۰/۸۸۳۴
Length	۱۴۹۲/۰۱	۱۴۹۷/۲۷	۹۱۲/۷۷۴۴	۱۱۱۱/۲۰۵	۶۳۴/۹۵۲۸	۸۰۴/۴۷۸
Elongation	۲/۱۷۵۵	۴/۷۸۶۰	۱/۲۶۹۷	۱۲/۵۵۸۱	۱/۹۹۷۹	۲/۱۷۲۹

جدول ۱۵- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های بافت با روش تحلیل تفکیک خطی

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۱۷	۰	۰	۰	۰	۰
A2	۰	۱۶	۰	۰	۰	۰
A3	۰	۰	۱۴	۰	۰	۰
A4	۰	۰	۰	۱۷	۰	۰
A5	۰	۰	۰	۰	۱۵	۰
A6	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶

جدول ۱۶- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های بافت با روش تحلیل تفکیک درجه دوم

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	۱۷	۰	۰	۰	۰	۰
A2	۰	۱۶	۰	۰	۰	۰
A3	۰	۰	۱۴	۰	۰	۰
A4	۰	۰	۰	۱۷	۰	۰
A5	۰	۰	۰	۰	۱۵	۰
A6	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶

نتیجه‌گیری

گیاهان دارویی خواص دارویی مفید زیادی دارند که در درمان بسیاری از بیماری‌ها کارا هستند. در تحقیق حاضر با استفاده از تلفن همراه از گیاهان دارویی در شرایط نوری کنترل شده تصویربرداری شده و در مرحله بعد با استخراج ویژگی‌های تصویر گیاهان با الگوریتم پردازش تصویر توسعه یافته در نرم‌افزار MATLAB به طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده با دو روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم پرداخته شد. در این پژوهش طبقه‌بندی شش نوع گیاه دارویی بر اساس ویژگی‌های بافت، رنگ، شکل و

تلفیق همه ویژگی‌ها صورت گرفت. برای غلبه بر نوفه‌های محیطی، تصویربرداری تحت شرایط نوری کنترل شده صورت گرفت. برای این منظور یک سامانه بینایی ماشین با تصویربرداری تلفن همراه طراحی شد. الگوریتم‌های توسعه یافته تصاویر را پردازش و ویژگی‌های آن‌ها را استخراج نمودند. در نهایت ویژگی‌های استخراج شده با استفاده از دو روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم طبقه‌بندی شدند. دقت طبقه‌بندی برای هر کدام از روش‌ها به ترتیب ۹۷/۷٪ و ۱۰۰٪ به دست آمد. در نهایت طبقه‌بندی بر اساس تلفیق همه ویژگی‌ها و به

- S., & Oguntoye, O. (2019). Wild vegetable *Rumex acetosa* Linn.: Its ethnobotany, pharmacology and phytochemistry-A review. *South African Journal of Botany*, 125: 149-160.
- Bossu, J., Gée, C., Jones, G., & Truchetet, F. (2009). Wavelet transform to discriminate between crop and weed in perspective agronomic images. *computers and electronics in agriculture*, 65(1): 133-143.
- Brendler, T., & Van Wyk, B. E. 2008. A historical, scientific and commercial perspective on the medicinal use of *Pelargonium sidoides* (Geraniaceae). *Journal of ethnopharmacology* 119: 420-433.
- Caglayan, A., Guclu, O., & Can, A. B. (2013). A plant recognition approach using shape and color features in leaf images. *In International Conference on Image Analysis and Processing*, 161-170. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Chandler, R. F. Hooper, S. N., & Harvey, M.J. (1982). Ethnobotany and phytochemistry of yarrow, *Achillea millefolium*, Compositae. *Economic botany*, 36: 203-223.
- Choi, S. M., Shin, J. H., Kang, K. K., Ahn, B. O., & Yoo, M. (2007). Gastroprotective effects of DA-6034, a new flavonoid derivative, in various gastric mucosal damage models. *Digestive diseases and sciences* 52: 3075-3080.
- Choobkar, N., Kakoolaki, S., & Mohammadi, F. (2017). The biological effects of herbal medicine, *Falcaria vulgaris*: An article review. *Iranian Journal of Aquatic Animal Health*, 3: 74-81.
- Chung, S., Breshears, L. E., & Yoon, J. Y. (2018). Smartphone near infrared monitoring of plant stress. *Computers and Electronics in Agriculture*, 154: 93-98.
- De Luna, R. G., Baldovino, R. G., Cotoco, E. A., de Ocampo, A. L. P., Valenzuela, I. C., Culaba, A. B., & Gokongwei, E. P. D. (2017). Identification of philippine herbal medicine plant leaf using artificial neural network. *9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, 1-3, Manila, Philippines.
- Derksen, A., Hensel, A., Hafezi, W., Herrmann, F., Schmidt, T. J. Ehrhardt, C., Ludwig, S., & Kühn, J. (2014). 3-O-galloylated procyanidins from *Rumex acetosa* L. inhibit the attachment of influenza A virus. *PLoS One* 9, e110089.
- Dixon, S. J., Heinrich, N., Holmboe, M., Schaefer, M. L., Reed, R. R., Trevejo, J., & Brereton, R. G. (2009). Application of صورت کاهش یافته صورت گرفت و بهترین نتایج را در طبقه‌بندی گیاهان دارویی به همراه داشت. در این حالت ویژگی‌های بافت شامل تباین و آنتروپی، ویژگی‌های رنگ شامل میانگین، چولگی، درجه اوج و ویژگی‌های شکل شامل خارج از مرکز، کشیدگی، گردی و محیط بودند. دقت طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های کاهش یافته بافت، رنگ و شکل تصاویر گیاهان دارویی با استفاده از دو روش تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم ۱۰۰٪ به دست آمد. بنابراین الگوریتم طراحی شده قابلیت بالایی در شناسایی گیاهان دارویی در شرایط آزمایشگاهی دارد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که این سامانه بینایی ماشین می‌تواند بالقوه جایگزین مناسبی برای روش‌های بصری باشد و با خطای کمتری نسبت به روش دستی همراه خواهد بود. بنابراین توسعه یک اپلیکیشن برای ابزارهای هوشمند به منظور شناسایی گیاهان دارویی می‌تواند به‌عنوان یک سامانه قابل حمل هوشمند با دقت بالا، انواع مختلف گیاه دارویی را به راحتی شناسایی کند.

منابع

- Ahmad, S., Ullah, F., Sadiq, A., Ayaz, M., Imran, M., Ali, I., Zeb, A., Ullah, F., & Shah, M. R. (2016). Chemical composition, antioxidant and anticholinesterase potentials of essential oil of *Rumex hastatus* D. Don collected from the North West of Pakistan. *BMC complementary and alternative medicine*, 16: 1-11.
- Ahmed, I., Adnan, A., Islam, M., & Gul, S. (2008). Edge based real-time weed recognition system for selective herbicides. *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*. 19-21 March, Hong Kong.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. 2008. Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology*, 46: 446-475.
- Ballabh, B., & Chaurasia, O. P. (2007). Traditional medicinal plants of cold desert Ladakh-used in treatment of cold, cough and fever. *Journal of ethnopharmacology*, 112(2): 341-349.
- Baydar, H., Sağdıç, O., Özkan, G., & Karadoğan, T. (2004). Antibacterial activity and composition of essential oils from *Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* species with commercial importance in Turkey. *Food control*, 15: 169-172.
- Bello, O., Fasinu, P., Bello, O., Ogbesejana, A., Adetunji, C., Dada, A., Ibitoye, O., Aloko,

- and bronchodilatory actions of *Achillea millefolium*. *Phytotherapy Research*, 25: 577-583.
- Khazaei, M., & Salehi, H. (2006). Protective effect of *falcaria vulgaris* extract on ethanol induced gastric ulcer in rat. *Iranian Journal of Pharmacology and Therapeutics*, 5: 43-46.
- Kota, S., Dumpala, P., Anantha, R. K., Verma, M. K., & Kandepu, S. (2017). Evaluation of therapeutic potential of the silver/silver chloride nanoparticles synthesized with the aqueous leaf extract of *Rumex acetosa*. *Scientific reports*, 7:1-11.
- Kulisic, T., Radonic, A., Katalinic, V., & Milos, M. (2004). Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil. *Food chemistry*, 85: 633-640.
- Ladeji, O., & Okoye, Z. S. (1993). Chemical analysis of sorrel leaf (*Rumex acetosa*). *Food Chemistry* (United Kingdom).
- Lewu, F., Grierson, D., & Afolayan, A. (2006). The leaves of *Pelargonium sidoides* may substitute for its roots in the treatment of bacterial infections. *Biological Conservation*, 128: 582-584.
- Liming, X., & Yanchao, Z. (2010). Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71: S32-S39.
- Mabberley, D. (2008). *Mabberley's plant-book* 3rd ed. *Cambridge University Press, Cambridge*.
- Manickavasagan, A., Jayas, D. S., White, N. D., & Paliwal, J. (2005). Applications of thermal imaging in agriculture—a review. In *Proceedings of the CSAE/SCGR (2005) Meeting*, Winnipeg, MB, Canada 26-29.
- Mantle, D., Eddeb, F., & Pickering, A. T. (2000). Comparison of relative antioxidant activities of British medicinal plant species in vitro. *Journal of Ethnopharmacology*, 72: 47-51.
- Mohammadi, V., Kheiralipour, K., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2015). Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique. *Scientia Horticulturae*, 184: 123-128.
- Muneer, A., & Fati, S. M. (2020). Efficient and Automated Herbs Classification Approach Based on Shape and Texture Features using Deep Learning. *IEEE Access*, 8: 196747-196764.
- Omid, M., Abbasgolipour, M., Keyhani, A., & Mohtasebi, S. S. (2010). Implementation of an efficient image processing algorithm for grading raisins. *International Journal of Signal and Image Processing*, 1(1): 31-34.
- Puertas-Mejía, M., Hillebrand, S., Stashenko, E., & Winterhalter, P. (2002). In vitro classification methods when group sizes are unequal by incorporation of prior probabilities to three common approaches: Application to simulations and mouse urinary chemosignals. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 99(2): 111-120.
- Dogan, Y., Nedelcheva, A., Łuczaj, Ł., Drăgulescu, C., Stefkov, G., Maglajlić, A., Ferrier, J., Papp, N., Hajdari, A., & Mustafa, B. (2015). Of the importance of a leaf: the ethnobotany of sarma in Turkey and the Balkans. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine* 11, 26.
- Duke, J. A. 2002. *Handbook of medicinal herbs*. CRC press.
- Dupuis, J., Holst, C., & Kuhlmann, H. (2016). Laser scanning based growth analysis of plants as a new challenge for deformation monitoring. *Journal of Applied Geodesy*, 10(1): 37-44.
- Gescher, K., Hensel, A., Hafezi, W., Derksen, A., & Kühn, J. (2011). Oligomeric proanthocyanidins from *Rumex acetosa* L. inhibit the attachment of herpes simplex virus type-1. *Antiviral research*, 89: 9-18.
- Goorani, S., Zhaleh, M., Koohi, M. K. Seydi, N., Rashidi, K., Zangeneh, M. M., & Zangeneh, A. (2019). The therapeutic potential of aqueous extract of *Falcaria vulgaris* in the treatment of fatty liver disease: a histopathological and biochemical approach. *Comparative Clinical Pathology*, 28: 955-961.
- Gunasekaran, S. (1996). Computer vision technology for food quality assurance. *Trends in Food Science and Technology* 7: 245-256.
- Hamayun, M., Khan, M. A. Chudhary, M. F., & Ahmad, H. (2007). Studies on traditional knowledge of medicinal herbs of Swat Kohistan, District Swat, Pakistan. *Journal of herbs, spices and medicinal plants*, 12: 11-28.
- Hosseinpour, S. Ilkhchi, A. H. & Aghbashlo, M. (2019). An intelligent machine vision-based smartphone app for beef quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 248: 9-22.
- Jahanbakhshi, A., & Kheiralipour, K. (2020). Evaluation of image processing technique and discriminant analysis methods in postharvest processing of carrot fruit. *Food Science & Nutrition*, 8(7): 3346-3352.
- Jalili, C., Kamani, M., Roshankhah, S., Sadeghi, H., & Salahshoor, M. R. (2018). Effect of *Falcaria vulgaris* extracts on sperm parameters in diabetic rats. *Andrologia* 50: e13130.
- Khan, A. U., & Gilani, A. H. (2011). Blood pressure lowering, cardiovascular inhibitory

- Wu, W., Mallet, Y., Walczak, B., Penninckx, W., Massart, D. L., Heuerding, S., & Erni, F. (1996). Comparison of regularized discriminant analysis linear discriminant analysis and quadratic discriminant analysis applied to NIR data. *Analytica Chimica Acta*, 329(3): 257-265.
- You, M., & Cai, C. (2009). Weed Seeds Classification Based on PCA, 2DPCA, Column-directional 2DPCA and (2D) 2PCA. *International Asia Symposium on Intelligent Interaction and Affective Computing*, 8-9 December, Wuhan, China.
- Zandi, P., Basu, S. K., Cetzal-Ix, W., Kordrostami, M., Chalaras, S. K., & Khatibai, L. B. (2017). Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.): An Important Medicinal and Aromatic Crop. Chapter 12, *Active Ingredients from Aromatic and Medicinal Plants*, 207-224.
- radical scavenging activity of essential oils from Columbian plants and fractions from oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil. *Flavour and Fragrance Journal*, 17: 380-384.
- Radusiene, J., & Gudaityte, O. (2005). Distribution of proazulenes in *Achillea millefolium* s.l wild populations in relation to phytosociological dependence and morphological characters. *Plant genetic resources* 3, 136.
- Raji, A. O., & Alamutu, A. O. (2005). Prospects of Computer Vision Automated Sorting Systems in Agricultural Process Operations in Nigeria. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 7: 1-12.
- Sarwat, M., Singh Negi, M., Lakshmikumaran, M., Kumar Tyagi, A., Das, S. & Shankar Srivastava, P. (2006). A standardized protocol for genomic DNA isolation from *Terminalia arjuna* for genetic diversity analysis. *Electronic Journal of Biotechnology*, 9(1): 0-0.4.
- Scott, G., & Hewett, M. (2008). Pioneers in ethnopharmacology: the Dutch East India Company (VOC) at the Cape from 1650 to 1800. *Journal of ethnopharmacology*, 115: 339-360.
- Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (2014). Image processing, analysis, and machine vision. *Cengage Learning*.
- Sreeja, S., Anju, V., & Sreeja, S. (2010). In vitro estrogenic activities of fenugreek *Trigonella foenum graecum* seeds. *Indian Journal of Medical Research*, 131: 814.
- Tachjian, A., Maria, V., & Jahangir, A. (2010). Use of herbal products and potential interactions in patients with cardiovascular diseases. *Journal of the American College of Cardiology*, 55(6): 515-525.
- Verma, N., Usman, K., Patel, N., Jain, A., Dhakre, S., Swaroop, A., Bagchi, M., Kumar, P., Preuss, H. G., & Bagchi, D. (2016). A multicenter clinical study to determine the efficacy of a novel fenugreek seed (*Trigonella foenum-graecum*) extract (Fenfuro™) in patients with type 2 diabetes. *Food & nutrition research*, 60: 32382.
- Vibhute, A., & Bodhe, S. K. (2012). Applications of image processing in agriculture: a survey. *International Journal of Computer Applications*, 52(2).
- Wu, S. G., Bao, F. S., Xu, E. Y., Wang, Y. X., Chang, Y. F., and Xiang, Q. L. (2007). A leaf recognition algorithm for plant classification using probabilistic neural network. *International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, 15-18 December, Giza, Egypt.

