تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۸/۰۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۲/۲۵

کاربردهای پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان

طیبه ولی اللهی
مربی دپارتمان مهندسی کامپیوتر – دانشکده دکتر معین – دانشگاه فنی و حرفه ای استان گیلان– ایران
پست الکترونیکی: th.valiollahi@gmail.com

اسدالله شاه بهرامی*
دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر – دانشکده فنی – دانشگاه گیلان – رشت – ایران
پست الکترونیکی: shahbahrami@guilan.ac.ir

صاحبه ولی اللهی
دانشجوی دکتری گروه زراعت – دانشکده کشاورزی – دانشگاه گیلان – رشت – ایران
پست الکترونیکی: sb.valiollahi@yahoo.com

چکیده:

عملیات زیادی برای برآورد میزان کود نیتروژن، درجه‌بندی گیاهان، تشخیص آفات و غیره به‌صورت معمولی در گیاهان انجام می‌گیرد که معمولا انجام این عملیات وقت‌گیر، هزینه بر و پرخطا است. اخیرا از تکنیک‌های پردازش تصاویر دیجیتال برای غلبه بر مشکلات فوق استفاده می‌گردد. با توجه به کارهای زیادی که در این زمینه صورت گرفته است، هنوز انواع اهداف پردازشی این تکنیک‌ها در گیاهان مشخص نشده است. لذا هدف این مقاله شناسایی برخی از کاربردها و اهداف پردازشی تصاویر دیجیتالی در گیاهان است. به‌عبارت دیگر، تکنیک‌های مختلف پردازش تصاویر دیجیتالی، بر روی چه گیاهانی به چه منظوری صورت گرفته است؟ و همچنین در زمینه استفاده از پردازش تصاویر دیجیتالی در گیاهان چه مشکلات و چالش‌هایی وجود دارد؟ مجموع مطالعات و بررسی‌ها نشان داد که تکنیک‌های مختلفی مانند آستانه‌گذاری، استخراج ویژگی‌هایی از قبیل لبه‌ها، بافت، رنگ، و ساختار و ریخت‌شناسی بر روی گیاهان متفاوتی از جمله سیب، طالبی، چغندرقند، پسته، آفتابگردان، پرتغال به منظور برآورد حجم، تعیین وضعیت نیتروژن، درجه‌بندی و گروه‌بندی محصولات، تشخیص عیوب ظاهری و شناسایی بیماری‌ها و آفت‌ها انجام شده است. همچنین انجام عملیات مناسب پیش‌پردازشی مانند حذف پس‌زمینه، سایه، علف‌های هرز و غیره برخی از چالش‌های موجود در این زمینه است. به‌علاوه نتایج شبیه‌سازی‌های ما در محیط برنامه‌نویسی متلب نشان داد که بین میزان نیتروژن موجود در گیاه لوبیا با مولفه‌های رنگی تصویر آن همبستگی وجود دارد و این همبستگی با مولفه سبز دارای بیشترین مقدار است.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصاویر دیجیتال، انواع گیاهان، آستانه‌گذاری.

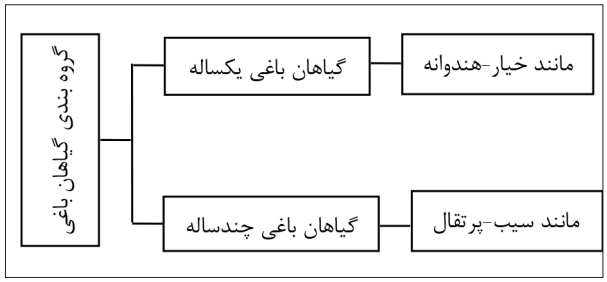
* نویسندهٔ مسئول

۱- مقدمه

در صنعت کشاورزی عملیات متفاوتی بر روی گیاهان به‌صورت سنتی و آزمایشگاهی در جهت طبقه‌بندی آن‌ها، تعیین وضعیت نیتروژن، برآورد عملکرد گیاه، استخراج پوشش گیاهی، درجه‌بندی میوه‌های مختلف آن‌ها، شناسایی آفات و بیماری‌های سطح برگ گیاهان، کاشتن بذر و غیره صورت می‌گیرد. انجام عملیات ذکر شده به‌صورت سنتی و متعارف در آزمایشگاه‌ها مستلزم هزینه‌های گزاف، صرف وقت فراوان و دارای خطای زیاد است و در بیشتر مواقع مثلا برای شناسایی نوع آفت و میزان کود موجود در برگ گیاهان مجبور به جدا کردن برگ و یا گیاه از محل رشد خود هستند که منجر به از بین بردن گیاه می‌شود. امروزه با گسترش دستگاه‌های مختلف تصویر برداری از فناوری و تکنیک‌های پردازش تصاویر دیجیتال در برخی از عملیات اشاره شده استفاده می‌شود که این باعث افزایش دقت می‌گردد و تا مقدار زیادی هزینه‌های روش سنتی را کاهش داده و در کوتاه‌ترین زمان ممکن نتیجه موردنظر حاصل می‌گردد [۵-۱، ۲۸، ۲۹].

در زمینه پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان کارهای مختلفی براساس هدف تولید و مورد مصرف بودن گیاه صورت گرفته است. به‌عنوان مثال تعیین وضعیت نیتروژن در گندم زمستانه از گروه غلات، برآورد همبستگی میان نیتروژن و رنگ گیاه لوبیا چیتی از گروه حبوبات، برآورد عملکرد در گیاه چغندرقند از گروه گیاهان ریشه‌ای و قندی، ناحیه‌بندی تصاویر الیاف خارجی در گیاه پنبه از گروه گیاهان لیفی، تشخیص غدد سیب‌زمینی در خطوط از گروه گیاهان غده‌ای و همچنین بررسی‌هایی بر روی آفت موجود در برگ گیاهان نمونه‌ای از تحقیق‌های انجام شده در زمینه پردازش تصاویر دیجیتال هستند. ولی با توجه به کارهای مختلفی که در این حوزه صورت گرفته است هنوز انواع اهداف پردازشی مجموع تکنیک‌های تصاویر دیجیتالی بر روی گیاهان مشخص نشده است. [۵، ۲۸، ۳۳-۳۰].

هدف این مقاله جمع‌آوری و مطالعهٔ برخی از پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌های مختلف کاربرد پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان است. این‌که این پردازش‌ها به چه منظوری صورت گرفته است و آیا منظور مورد نظر حاصل شده است یا نه. در واقع یک کار علمی مشترک بین رشته‌ای، کشاورزی - زراعت و مهندسی کامپیوتر - پردازش تصاویر دیجیتالی است. کار پژوهشی مشترکی بین این گروه‌ها برای برآورد میزان همبستگی نیتروژن گیاه لوبیا با مولفه‌های رنگی آن صورت گرفت [۳۲]. بدین منظور تصاویر دیجیتالی گیاه لوبیا از مزرعه تهیه و پس از حذف پس‌زمینه‌های آن‌ها در فضای رنگی، میزان همبستگی مقدار نیتروژن آن‌ها که به‌صورت متعارف در آزمایشگاه به‌دست آمده بود، با مولفه‌های رنگی تصاویر، به‌دست آمد. نتایج پیاده‌سازی‌ها در محیط برنامه‌نویسی متلب نشان داد که مقدار نیتروژن گیاه با مولفه سبز دارای بیشترین همبستگی است. انجام اینچنین کارهای پژوهشی، تعریف پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی مشترک و مشاهده کارهای پژوهشی مشابه و مصاحبه با افراد متخصص که از تکنیک‌های پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان استفاده کرده‌اند، انگیزه‌ای شد که برخی از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه شناسایی و مورد ارزیابی قرار بگیرند. بدین منظور ۷۶ منبع مختلف، کتاب، مقالات پژوهشی چاپ شده در مجلات معتبر علمی و پژوهشی و کنفرانس‌های داخلی و خارجی مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفتند. مجموعه مطالعات نشان داد که پردازش تصاویر دیجیتال در زمینه‌های مختلف از جمله برآورد حجم گیاه، تعیین وضعیت نیتروژن، درجه‌بندی محصولات گیاهی، ریخت‌شناسی و تشخیص بیماری‌های برگ بر روی گیاهان انجام شده است و انجام عملیات مناسب پیش‌پردازشی مانند حذف پس‌زمینه، سایه و علف‌های هرز و تهیه تصاویر استاندارد و محک زن برخی از چالش‌های موجود در این زمینه است. همچنین بررسی‌ها نشان داد که برخی از عملیاتی را که هنوز به شکل متعارف بر روی گیاه و محیط اطراف آن انجام می‌شود می‌توان با تکنیک‌های پردازش تصاویر انجام داد.



شکل ۱: گروه‌بندی گیاهان باغی

تفاوت کارهای انجام شـــده در این مقاله در مقایسه با مقالات دیگر عبارتند از:

– مشخص کردن برخی از آزمایش‌ها و عملیات معمولی و متعارفـــی که بر روی گیاهان انجام می‌شـــود و همچنین شناســـایی انواع مختلـــف کاربردهای پـــردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان و دســـته‌بندی براساس نوع کاربرد و عملیات انجام شـــده و نوع گیاه یا میوه‌ای که استفاده شده است.

– مشـــخص کردن نوع عملیات مـــورد نظر در گیاهان کـــه می‌توان از فناوری پـــردازش تصاویر دیجیتال در آن استفاده کرد.

– مشـــخص کردن برخی از موضوعات و چالش‌های موجود در زمینه پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان.

– حـــذف پس‌زمینـــه و تعیین میزان همبســـتگی مقدار نیتـــروژن موجود در گیـــاه لوبیا با مولفه‌هـــای رنگی در تصاویر واقعی گیاه.

ادامه مقاله به‌صورت زیر ساختاربندی می‌شود. تعاریف اولیه شـــامل گروه‌بندی گیاهان باغـــی و زراعی در بخش دوم ذکـــر می‌گردد و برخی از عملیـــات و آزمایش‌هایی که به‌صورت متعارف بر روی گیاهان انجام می‌شود در بخش ســـوم مطرح می‌گردد. پردازش تصاویر دیجیتال گیاهان و انواع دسته‌بندی‌های مختلف کاربرد آن از دیدگاه اندازه‌گیری حجـــم میوه، اندازه‌گیـــری نیتروژن، درجه‌بنـــدی گیاهان و شناسایی ویژگی‌های ریخت‌شناسی گیاهان در بخش چهارم توضیح داده می‌شود. برخی از چالش‌های موجود در زمینه استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان در بخش پنجم بیان می‌گردد. حذف پس‌زمینه و اســـتخراج روابط رنگ گیاه لوبیا و ارتباط آن با نیتروژن موجود در آن در بخش ششم به‌طور مختصر شرح داده می‌شود و نهایتا مقاله در بخش هفتم نتیجه گیری می‌گردد.

۲- گروه‌بندی گیاهان

انـــواع گیاهان به‌طـــور کلی به دو نـــوع باغی و زراعی تقسیم می‌شوند.

گیاهان باغی گیاهانی هستند که طول عمر آن‌ها بیشتر از یکسال بوده و به دو دسته عمده گیاهان باغی یکساله و چند ساله تقســـیم می‌شوند [۶، ۷]. گیاهان باغی یکساله به گیاهانی گفته می‌شـــود که در سطح کوچکی از باغچه و یا حیاط منزل کاشـــته شـــده و به‌صورت گل یا سبزی مورد کشـــت و کار قرار می‌گیرند. مانند انواع صیفی‌جات شامل خیار و یا هندوانه و گیاهان باغی چندساله به گیاهانی گفته می‌شود که در زمین‌های بزرگ، نهالستان‌ها و باغ‌ها کشت و پرورش می‌یابند. این دســـته از محصول‌های چندســـاله به‌صـــورت دائمی هســـتند یعنی برداشـــت محصول‌های آن‌ها بـــرای دوره‌های طولانی و ســـال‌های متمادی ادامه خواهد داشت مانند انواع مرکبات شامل سیب و یا پرتقال. گروه‌بندی کلی گیاهان باغی در شـــکل ۱ نشـــان داده شده است.

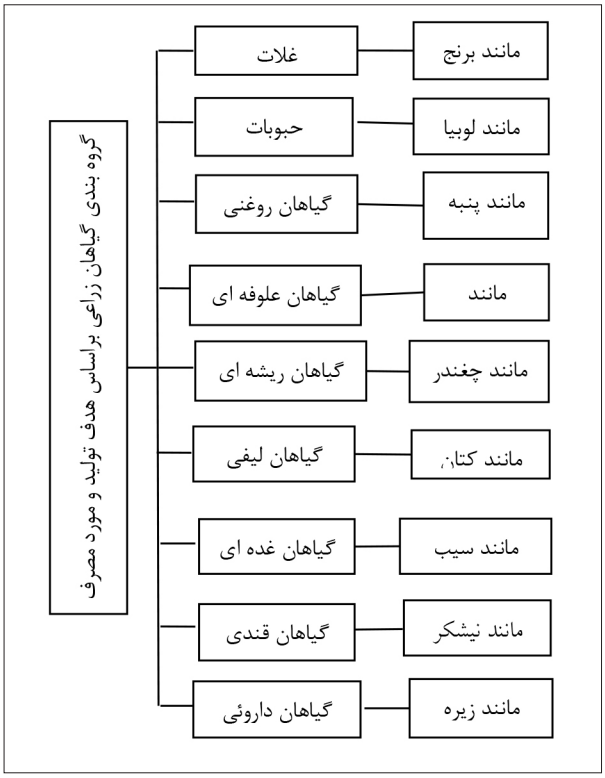
گیاهـــان زراعـــی، گیاهانی هســـتند که به شـــکل بوته دیـــده می‌شـــوند و محصول آن‌ها به شـــکل دانـــه، علوفه خشـــک شـــده و غیره مصـــرف می‌گردد. معمـــولا دانه و اندام‌هـــای مختلف گیاهـــان زراعی تبدیل بـــه فرآیندهای صنعتی می‌شـــوند و محصول‌های به‌دست آمده از فرآیند صنعتی مورد اســـتفاده انســـان قرار می‌گیرد. همچنین به منظور بهره‌وری از ترکیب‌های شـــیمیایی خاص نیز تولید می‌شـــوند. خصوصیت‌های ذکر شـــده باعث جداســـازی گیاهان زراعی از گیاهان باغی می‌شـــود. در حالت سنتی، درختان، درختچه‌ها، ســـبزی‌ها، میوه‌ها، گیاهان زینتی در گروه گیاهان باغی قرار می‌گیرند. در نتیجه گیاهان زراعی را می‌تـــوان به‌صورت‌های مختلـــف از جمله هدف تولید و

مـــورد مصرف، نیازهای محیطی، عملیـــات زراعی و غیره طبقه‌بندی کرد [۸]. گروه‌بندی کلی گیاهان زراعی بر اساس هدف تولید و مورد مصرف در شـــکل ۲ نشـــان داده شده است [٦، ۷].

۳-برخی از آزمایش‌ها و عملیات ســـنتی مورد اســـتفاده در گیاهان

در ســـال‌های اخیر نگرانی‌های زیادی درباره استفاده از کودهای شـــیمیایی و آلوده شـــدن آب‌هـــای زیرزمینی وجود دارد. این امر باعث تشـــویق پژوهشگران شده است تـــا راه حل‌های متفاوتی را در بهبود مدیریت مصرف کود پیشنهاد کنند. تحقیق‌های علمی در زمینه مدیریت کودهای شـــیمیایی نشـــان می‌دهد که مصرف بیـــش از اندازه کود نیتروژن اثرات منفی در آب و هوا و اکوسیستم موجودات زنده دارد. هم‌چنین آبشویی نیتروژن به آب‌های زیرزمینی، مشکل‌های زیست محیطی خطرناکی را به وجود می‌آورد که یکـــی از پیامدهـــای آن کمبود اکســـیژن در بافت بدن موجودات زنده است [۳٤]. بنابراین روش‌هایی که در عین غیرمخرب بودن بتوانند وضعیـــت نیتروژن گیاه را تعیین کنند یـــک فاکتور مهم در مدیریت کود دهی هســـتند [۳۵]. یکی از روش‌های دیگر تشخیص کمبود نیتروژن در خاک، آنالیز بافت گیاه و نمونه خاک اســـت که روش دقیقی است اما نیاز به زمان و تجهیزات فراوان داشته و همچنین بسیار پرهزینه اســـت [۳۷]. همچنین اســـتفاده از روش ذکر شده مســـتلزم جداسازی گیاه از محل زندگی خود بوده و باعث پایان زندگی گیاه در خاک می‌شود. یکی دیگر از روش‌های تعیین نیتروژن در گیاهان استفاده از روش هضم کجلدال است که مستلزم تجزیه بافت گیاهی است و همچنین در آن از واکنش‌گر سمی استفاده می‌شود که آمونیاک باقیمانده از آزمایش برای کاربران مضر است و نیز احتیاج به پیش پـــردازی و تجزیه و تحلیل پرهزینـــه نمونه‌های گیاهی در آزمایشگاه‌های تخصصی دارد [۳۸، ۳۹].

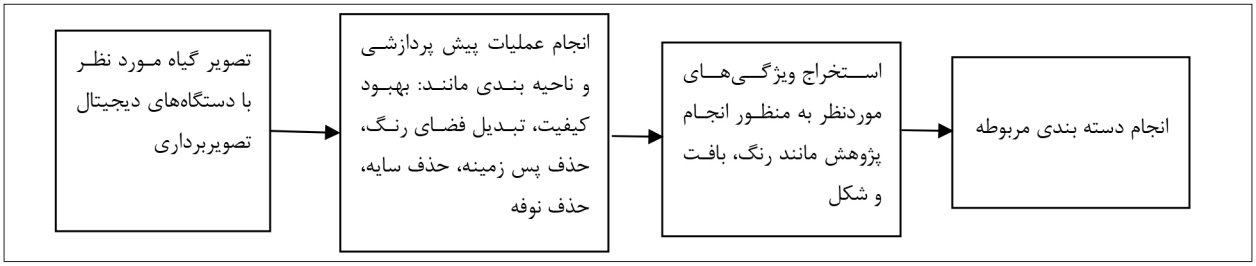
در سال‌های اخیر افزایش عملکرد محصول‌های زراعی



شکل ۲: گروه‌بندی گیاهان زراعی براساس هدف تولید و مورد مصرف

مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. به همین دلیل، تعیین نقشه عملکرد یک محصول اهمیت ویژه‌ای دارد. برای تهیه نقشـــه عملکرد محصول‌ها می‌توان از حســـگرهای تخمین عملکرد براساس دبی جرمی محصول در حال برداشت در واحد سطح اســـتفاده کرد [٤۰]. اما با توجه به تحقیق‌های انجام شـــده تهیه نقشـــه عملکرد محصول مثـــلا در گیاه چغندرقنـــد تا کنون فقط با خارج کـــردن غده‌ها از زمین و اندازه‌گیـــری دبی جرمی مواد در حـــال انتقال مقدور بوده اســـت که در اندازه‌گیری دبی جرمی به روش ذکر شـــده موارد زیادی از جمله نوســـانات زیاد دســـتگاه و حســـگر وزن، ارتعاشات و همچنین توزین مقداری از خاک همراه با غده‌ها تاثیر منفی بر دقت اندازه‌گیری غده‌ها می‌گذارد [۵]. با توجه به این‌که افزایش عملکرد معیار بســـیار مهمی در برداشت هر گونه محصول کشاورزی است، توجه به آن و افزایش آن بسیار مهم و ضروری است.

تشخیص پرسرعت رقم‌های محصول‌های کشاورزی در روش ســـنتی نیز دارای خطای دید و خطای تشخیص بســـیار زیاد اســـت. ویژگی‌های رنگـــی، مورفولوژیکی و



شکل ۳: روند کلی استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان

بافت، ویژگی‌های پر اهمیت به منظور شناسایی رقم‌های محصول‌های کشاورزی هستند مخصوصا ویژگی بافت معیار مناسبی برای طبقه‌بندی و تشخیص بسیاری از محصولات کشاورزی است [۴۱، ۴۲]. مثلا این کار در گیاه برنج به روش سنتی انجام می‌شود و علاوه بر وجود خطا در نتایج، مستلزم صرف وقت بسیار زیادی است. برداشت مرکبات و چیدن آن‌ها از روی درخت مستلزم صرف هزینه، وقت و استفاده از نیروهای متعدد انسانی است. طی سال‌های گذشته به علت وجود دو دلیل مهم اقتصادی و پیشرفت فناوری، تمایل بشر به سمت برداشت رباتیک پرتقال و برخی مرکبات ایجاد شده است [۹، ۴۳].

یکی از مهم‌ترین پارامترها در انتخاب میوه‌ها توسط مشتری، شکل ظاهری آن است به‌طوری که سایر مشخصه‌هایی که به کیفیت میوه برمی‌گردد در درجه دوم توسط مشتری ارزیابی می‌شود. به همین علت در استانداردهایی که برای درجه‌بندی میوه وجود دارد، شکل میوه یکی از عوامل مهم طبقه‌بندی محسوب می‌شود و بدشکلی میوه‌های صادراتی می‌تواند سبب باطل شدن کل محموله شود [۱۰]. در حال حاضر به منظور این طبقه‌بندی از نمودارهای استاندارد استفاده می‌شود که با مقایسه چشمی شکل میوه با شکل‌های موجود در نمودار طبقه‌بندی انجام می‌شود [۴۴]. روش ذکر شده به دلیل این‌که به شدت تاثیرپذیر از نظرهای فردی افراد مختلف است و همچنین سرعت پایینی در طبقه‌بندی دارد، نمی‌تواند روش مناسبی برای طبقه‌بندی میوه‌ها در ترمینال‌های توزیع و پخش باشد، به منظور حذف نظرات شخصی افراد مختلف، طبقه‌بندی میوه‌ها بر اساس شکل ظاهری به یک روش علمی ضروری است [۱۱].

جدول ۱ به‌طور خلاصه برخی از آزمایش‌ها و عملیات مورد استفاده در گیاهان زراعی و باغی را نشان می‌دهد و آن‌ها را از نظر هزینه، دقت و زمان انجام عملیات مورد نظر، مورد مقایسه قرار می‌دهد.

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌گردد تقریبا در تمام این عملیات و آزمایش‌ها هزینه زیاد، دقت کم و زمان زیادی برای انجام آن آزمایش لازم است. جدول ۱ به دو قسمت تقسیم شده است که قسمت بالای آن با توجه به مطالعات انجام شده مجموعه تکنیک‌های پردازش تصاویر دیجیتال به منظور هدف موردنظر اعمال و انجام شده است ولی در قسمت پایین جدول هنوز ابزارهای معمولی و سنتی به منظور هدف موردنظر استفاده می‌شود. با گسترش دستگاه‌های تصویربرداری دیجیتال و قابل دسترس بودن آن‌ها تقریبا برای همه و افزایش قدرت پردازش دستگاه‌های مربوطه پژوهشگران تلاش کردند که از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های پردازش تصاویر دیجیتال در جهت بهبود کارایی آزمایش‌ها و عملیات سنتی و معمولی گیاهان انجام دهند.

۴- پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان

٤-١- مراحل استفاده از پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان

از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های بینایی ماشین و پردازش تصاویر در صنعت کشاورزی به ویژه گیاهان به‌طور

جدول ۱: برخی از آزمایش‌ها و عملیات‌های معمولی و سنتی قابل انجام در گیاهان زراعی و باغی و ذکر معایب آن‌ها [۱۹-۱۲، ۴۸-۴۵].

نام گیاه	هدف	ابزار	صرف هزینه	دقت	صرف وقت
همه نوع گیاه	بررسی وضعیت نیتروژن	دستگاه هضم کجلدال/کلروفیل متر	نسبتا زیاد	زیاد	نسبتا زیاد
همه نوع گیاه	بررسی وضعیت نیتروژن	نمودار رنگی	متوسط	کم	نسبتا زیاد
برنج	تشخیص پرسرعت رقم های محصول	چشمی	کم	کم	بسیار زیاد
مرکبات	برداشت محصول با روش های رباتیک	ربات برداشت	زیاد	متوسط	متوسط
مرکبات	برداشت صحیح و سریع میوه	نیروی انسانی	زیاد	متوسط	بسیار زیاد
میوه‌جات	انتخاب میوه بر اساس ظاهر	مقایسه چشمی با نمودار استاندارد	--	بسیار کم	بسیار زیاد
همه نوع گیاه	تشخیص بیماری برگ	نیروی انسانی متخصص	زیاد	متوسط	نسبتا زیاد
لوبیا	مزیت کاشت نیمه مکانیزه	ماشین کاشت	زیاد	کم	زیاد
نخود	اثر خاک ورزی بر عملکرد	دیسک، گاوآهن و غیره	نسبتا زیاد	متوسط	نسبتا زیاد
گندم	حفاظت خاک	شخم عمود بر شیب توسط کشاورزان	--	کم	نسبتا زیاد
گیاهان داروئی	بومی‌سازی گیاهان داروئی	گردآوری اطلاعات به روش های سنتی مانند پرسشنامه و مصاحبه حضوری.	متوسط	نسبتا خوب	بسیار زیاد
غلات/کلزا/جو	استفاده بهینه از اراضی	نیروی انسانی	زیاد	بسیار کم	بسیار زیاد
همه نوع گیاه	افزایش کارایی مصرف آب با حذف بخشی از آب آبیاری (کم آبیاری)	استفاده از ابزار آبیاری	زیاد	--	نسبتا زیاد
نخل	توسعه کشاورزی ارگانیک	روش های سنتی	بسیار زیاد	زیاد	بسیار زیاد
گندم	حفاظت خاک	شخم عمود بر شیب توسط کشاورزان	--	کم	نسبتا زیاد
سویا	تشخیص آفت و شمارش شته برگ	نیروی متخصص انسانی	زیاد	نسبتا خوب	نسبتا زیاد

گسترده استفاده شده اســت که برخی از مزایای استفاده از این تکنیک‌های نوین در مقایسه با روش‌های متعارف و معمولــی عبارتند از: دقت بالا، هزینه و خطای کم. همچنین زمان به‌دســت آوردن نتایج موردنظر کمتر اســت و این روش‌ها باعث تخریب شرایط زندگی گیاه نمی‌شوند. شکل ۳ روند کلی اســتفاده از الگوریتم هــای پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان را نشان می‌دهد [۲۸].

همان‌طور که در شــکل ۳ مشاهده می‌شــود ابتدا باید تصاویر گیاه مورد پردازش تهیه شود و با توجه به این‌که تصاویر در شــرایط واقعی و محل رشــد و نمو گیاه تهیه می‌شــود، مجموعه‌ای از عملیات پیش‌پردازش مانند بهبود کیفیت تصویر و حذف نوفه و ســایه، ناحیه‌بندی تصویر، حذف پس‌زمینه، جداسازی گیاه و محصول، حذف علف‌های هرز و غیره روی تصویر انجام شود که فقط تصویر گیاه مورد نظر وارد مرحلهٔ بعدی شــود. کاملا واضح است که دقت مراحل بعدی سیســتم مورد نظر به‌طــور زیادی به مجموعه عملیات پیش‌پردازش و ناحیه‌بندی بســتگی دارد. در مرحله استخراج ویژگی، با توجه به نوع هدف پردازش، الگوی مناســب استخراج و محاســبه می‌گردد که می‌توان مراحل دســته‌بندی نهایی را با استفاده از این ویژگی‌های استخراج شده انجام داد.

٤-٢- الگوریتم های ناحیه‌بندی تصویر گیاهان

معمولا تصاویــر گیاهان دارای دو رده هســتند. ردهٔ

گیاه که شـــامل برگ گیاه اصلی، محصول و یا دانه هستند و ردهٔ پس‌زمینه که شـــامل خاک و علف‌های هرز هستند. هدف اصلی الگوریتم‌های ناحیه‌بندی تصاویر جداســـازی پیکســـل‌های این دو رده اســـت. روش‌هـــای مختلفی برای ناحیه‌بندی تصاویر گیاهان ارائه شـــده‌اند، مرســـوم‌ترین آن‌ها ناحیه‌بندی مبتنی بر شاخص رنگی، ناحیه‌بندی مبتنی بر آستانه‌گذاری و ناحیه‌بندی مبتنی بر یادگیری است[۵۱-۴۹].

اســـتفاده از رنگ یکی از مرســـوم‌ترین تکنیک‌ها برای جداســـازی پس‌زمینـــه از گیاه مورد اســـتفاده قرار گرفته اســـت[۵۵-۵۲]. معمـــولا تصاویـــر RGB گیاهـــان بـــرای ناحیه‌بندی به خاکســـتری تبدیل نمی‌شـــوند بـــرای این‌که ناحیه‌بندی تصاویر گیاهان در ســـطوح خاکستری دارای نتایج خوبی نیســـت چراکه پیکســـلهای گیاه با پیکسل‌های خاک شـــباهت پیدا می‌کنند. به همین دلیـــل تصاویر RGB گیاهان به یک فضای رنگـــی دیگر مانند HSV و HSI تبدیل می‌شوند[۴۹، ٥٦، ٥٧].

تکنیک‌هـــای مبتنی بر آســـتانه‌گذاری نیز از روش‌های مرســـوم ناحیه‌بندی هســـتند و انتخاب یک آستانه مناسب برای جداســـازی دو رده یکی از مسایل مهم در این زمینه اســـت چرا که اگر سطح آســـتانه بزرگ انتخاب گردد، این امکان وجود دارد که برخی از پیکسل‌های متعلق به رده گیاه با پیکســـل‌های متعلق به پس‌زمینه ادغام شوند در حالی‌که اگر ســـطح آستانه کم انتخاب شـــود برخی از پیکسل‌های رده پس‌زمینه با پیکســـل‌های رده گیاه ادغام می‌شوند. لذا برای غلبه بر این مشـــکلات معمولا آســـتانه‌گذاری پویا[1]، آستانه‌گذاری مبتنی بر آنتروپی هیستوگرام، آستانه‌گذاری هیستریس[2] و روش اتسو مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۹، ٦١-٥٨]. همچنین روش‌های یادگیری مبتنی بر ناظر و بدون ناظر نیز برای ناحیه‌بندی تصاویر گیاهان اســـتفاده شده است برای مثال روش خوشه‌بندی فازی برای ناحیه‌بندی نواحی مورد علاقه استفاده شده است[۵۱، ٦٢].

1- Dynamic thresholding
2- Hysteresis thresholding

هر یک از این روش‌ها، ناحیه‌بندی مبتنی بر شـــاخص رنگی، آستانه‌گذاری و یادگیری دارای مزایا و معایب خاص خودش اســـت. برای مثال پیاده‌سازی روش‌های مبتنی بر آســـتانه‌گذاری معمولا راحتتر نسبت به بقیه روش‌ها است و روش مبتنـــی بر یادگیـــری علاوه بـــر وقت‌گیر بودن و پیچیدگی زیاد در پیاده‌ســـازی نیاز بـــه تصاویر زیاد در مرحله آموزش دارنـــد. روش مبتنی بر رنگ، باید تصویر رنگی RGB به یک فضای رنگی دیگر تبدیل گردد. شناسایی نوع فضای رنگی مناســـب برای ناحیه‌بندی از چالش‌های پیش رو این نوع روش است.

٤-٣- پردازش تصاویـــر گیاهان به منظور یک هدف خاص

از تکنیک‌هـــا و الگوریتم‌های پردازش تصاویر دیجیتال در برخی از عملیات مورد نیاز در گیاهان اســـتفاده شـــده اســـت که برخی از این پژوهش‌های انجام شده در جدول ۲ نشـــان داده شـــده اســـت. جدول مورد نظر دارای چهار ســـتون است که در ســـتون اول، نام گیاه ذکر شده است، در ســـتون دوم هدف پردازش شـــامل: اندازه‌گیری حجم، تعیین وضعیت نیتروژن، درجه‌بندی و ریخت‌شناسی ذکر شده است، در ستون سوم مشخص شده است که آیا برای انجام هدف مربوطه آزمایش متعارف و سنتی وجود دارد یا خیر. برای مثال با استفاده از پردازش تصاویر دیجیتال می‌توان حجم گیاه از جمله ســـیب و گردو را به‌دست آورد ولی این کار در روش‌های آزمایشگاهی به‌صورت متعارف و یا ســـنتی انجام نمی‌شـــود و نهایتا در ستون آخر منبع مربوطه ذکر شده است.

٤-٣-١- پردازش تصویر در اندازه‌گیری حجم میوه

برآورد حجم سیب و تورفتگی‌های آن، به کمک پردازش تصاویر رنگی و استخراج ویژگی‌های لبه و شبکهٔ عصبی انجام شده است. سیب‌ها از وسط برش داده شدند تا حجم تورفتگی‌های سیب به‌دست آمده و از حجم کل سیب کاسته شـــود. حجم واقعی سیب نیز با استفاده از روش جابجایی

جدول ۲: برخی از پژوهش‌های انجام شده در زمینه پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان باغی و زراعی به منظور برآورده کردن یک هدف خاص

نام گیاه	هدف پردازش	اجرای هدف با روش‌های معمولی یا سنتی	منبع
سیب	برآورد حجم	خیر	[۸]
گردو	برآورد حجم	خیر	[۲۰]
طالبی	برآورد حجم	خیر	[۲۱]
چغندرقند	تعیین وضعیت نیتروژن	بلی	[۲۲]
گندم زمستانه	تعیین وضعیت نیتروژن	بلی	[۳۱]
برنج	تعیین وضعیت نیتروژن	بلی	[۲۳]
گوجه فرنگی	تعیین وضعیت نیتروژن	بلی	[۲۹، ۶۳]
فلفل	تعیین وضعیت نیتروژن	بلی	[۶۴]
جو	تعیین وضعیت نیتروژن	بلی	[۶۵]
پنبه	تعیین وضعیت نیتروژن	بلی	[۶۸]
نیشکر	تعیین وضعیت نیتروژن	بلی	[۶۷]
سیب زمینی	بررسی وضعیت نیتروژن خاک	بلی	[۶۶]
سیب	درجهبندی سیب بر اساس صدمات سطحی	بلی	[۱]
پسته	گروهبندی پسته به سه دسته دربسته، مغزدار و پوک	خیر	[۴]
کشمش	دسته‌بندی کشمش به درجههای مختلف از لحاظ رنگ و دم	خیر	[۲۴]
توت فرنگی	درجهبندی توت فرنگی بر اساس ویژگی‌های شکل و اندازه	خیر	[۶۹]
پرتقال	درجه‌بندی پرتقال براساس جرم و حجم	خیر	[۲۵]
آفتابگردان	بررسی صفات مورفولوژیک مختلف	خیر	[۲۶]
هندوانه	تشخیص بدشکلی هندوانه و بررسی انواع آن	خیر	[۱۱]
سیب زمینی	تشخیص عیوب ظاهری سیب زمینی	بلی	[۲۷]
سیب زمینی	تشخیص و شناسایی غده سیب زمینی در خطوط	بلی	[۳۰]
پنبه	ناحیه‌بندی تصاویر الیاف خارجی در گیاه	خیر	[۳۳]
پرتقال	تشخیص پرتقال روی درخت	بلی	[۹]
همه نوع میوه	تشخیص خودکارتصویر میوه براساس شکل و ویژگی‌های رنگ	خیر	[۷۰]
همه نوع گیاه	شناسایی بیماری‌ها و آفت	بلی	[۴۷-۴۵، ۷۱]
سویا	تشخیص تعداد شته های موجود در سطح برگ	بلی	[۴۸]

آب، اندازه‌گیری شـد و رابطه‌ای بین حجم واقعی و حجم پیکسـل سـیب ارائه گردید که می‌توانـد در تخمین حجم سـیب استفاده شود [۸]. برآورد حجم گیاه باغی گردو نیز با اسـتفاده از پردازش تصویر مورد بررسی قرار گرفته اسـت. برای تصحیح خطای خاصیت پرسـپکتیو طبیعی تصویربرداری و برش عناصر متشابه و جمع حجم آن‌ها برای برآورد حجم گردو از یک روش جدید استفاده گردید. در کنار ارائه این روش، چند روش رایج دیگر شامل روش وزن آب جابجا شـده به‌عنوان روش مرجع، اسـتفاده از قطر میانگین هندسـی و استفاده از مساحت سطح منظری نیز به‌کار برده شد تا بتوان نتایج این روش را روی گردو بهتر ارزیابی کرد. بر این اسـاس نتیجه‌ای قابل قبول برای برآورد حجم محصول گردو با حجم حدود ۱۰ تا ۳۰ سانتی متر مکعب به‌دست آمد و کارایی روش پیشنهادی مشخص شـد. مقایسه پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین نشان داد که در بینایی ماشین به دلیل خاصیت پرسپکتیو طبیعی در تصویربرداری، اجسام کوچک (گردو) نسبت به اجسام بزرگ‌تر خطای بیشـتری برای حجم سنجی ایجاد می‌کنند [۲۰].

در پژوهشـی تعیین حجم طالبی مورد بررسـی قرار گرفـت که از دو روش پردازش تصاویر و جا به جایی آب برای تعیین حجم محصول ذکر شده استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که تخمین حجم اندازه‌های مختلف طالبی با اسـتفاده از روش پردازش تصویر رضایت بخش است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پردازش تصویر روشـی سریع، دقیق و غیرتهاجمی به منظور تعیین حجم میوه است که می‌تواند به‌طور ساده در تعیین حجم میوه‌ها، درجه‌بندی آن‌ها پس از برداشت مورد استفاده قرار گیرد[۲۱].

٤-۳-۲- پردازش تصویر در اندازه‌گیری نیتروژن

بـه منظور تعییـن وضعیت نیتـروژن در گیاه زراعی چغندرقند و بررسـی ارتباط بیـن پارامترهای تصویر و مقدار کلروفیل برگ از تصاویر رنگی اسـتفاده شده است. یک رابطه معکوس بیـن درصد کلروفیل برگ و بازتاب از سـطح برگ در هر دو ناحیه سبز و قرمز به‌دست آمد و با بررسـی روابط و تحلیل تصاویر مشـخص شد که مولفه رنگ قرمـز، برای تشـخیص برگ‌هایی که دچـار کمبود نیتروژن شده‌اند بهتر از مولفه‌های سبز و آبی عمل می‌کند و همبسـتگی بالایی با مقدار کلروفیل برگ نشـان می‌دهد (R^2 =۰/۸۸) همچنیـن تابع 2R-B با (R^2 =۰/۹٦) بیشـترین همبسـتگی را بـرای تخمین درصد کلروفیل برگ نشـان می‌دهد [۲۲].

تجزیه نیتروژن خاک و گیاه در چندین مرحله از رشـد گیاه زراعی گندم زمسـتانه مورد پژوهش قرار گرفت. در زمان پنجه‌زنی ارتباط ثابت و معکوسـی بین شدت سبزی با مجموع کلی نیتروژن و اطلاعات خوانده شـده از SPAD به‌دست آمد. وابستگی معینی بین شدت سبزینگی تصاویر گیاهان گندم و محتوای نیتروژن بافت و حجم زیست‌توده با ضرایب تعیین بین ۰/٦ تا ۰/۸ وجود دارد، که نشان می‌دهد پتانسیل اسـتفاده از دوربین‌های دیجیتال رنگی به‌عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری از راه دور و نزدیک سـطح زمین برای تعیین مقدار وضعیت نیتروژن گندم قابل توجه است. ارتباط کاملا روشنی در مولفه G با داده‌های SPAD، نسبت به تابع G/R و یا G/(R+G+B) وجود داشـت [۳۱]. تعیین نیتروژن موردنیاز گیاه زراعی برنج در زمان خوشـه‌دهی با سـه روش پردازش تصاویر دیجیتال، هضم کجلدال و دستگاه کلروفیل متر انجام شد نتایج پژوهش نشان داد که میان هر سـه روش تعیین نیتروژن گیاه همبستگی بالایی وجود دارد. همچنین مقدار همبسـتگی میان هر سه روش تعیین نیتروژن گیاه با عملکرد برنج تقریباً یکسان بود [۲۳].

تعیین کمبود نیتروژن در جوانه‌های گوجه فرنگی نیز با استفاده از دو روش تحلیل تصویر رنگی دیجیتال براساس فضای رنگـی و محتوای کلروفیل برگ‌ها انجام شـد. در این پژوهش که در گیاه باغی گوجه فرنگی انجام شـد، پنج متغیر شامل شـاخص کلروفیل، سه باند رنگی و محتوای نیتروژن کل در گیاه اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج این آزمایش، عامل نیتـروژن در گیاه گوجه فرنگی تحت تاثیر

معنی‌دار همه متغیرهای مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با توجه به ارتباط وضعیت نیتروژن گیاه با شاخص کلروفیل به‌صورت مدل خطی (R^2 =۰/۸۷) می‌توان به این نتیجه دست یافت که محتوای نیتروژن بافت و شاخص کلروفیل روند مشابهی دارند. در این آزمایش، رنگ سبز بدون داشتن رابطه قطعی با غلظت نیتروژن، برای پیش بینی آن در گیاهان خیلی ضعیف بود (R^2 =۰/۲۸) اما مقادیر رنگ قرمز و آبی رابطه معکوسی با غلظت نیتروژن داشتند. بنابراین، تعیین وضعیت نیتروژن در گیاهان توسط رنگ قرمز با مدل خطی (R^2 =۰/۹۱) و رنگ آبی با مدل خطی (R^2 =۰/۸۹) به‌خوبی قابل پیش‌بینی بوده و گزینه‌های بهتری نسبت به SPAD برای تعیین کل نیتروژن در گیاه گوجه فرنگی هستند. به بیان دیگر، نتایج در این آزمایش نشان داد که طیف‌های قرمز و آبی اطلاعات مهم‌تری برای شناسایی کمبود نیتروژن در بذرهای گوجه فرنگی دربردارند [۲۹، ٦۳].

شاخص‌های همبستگی بین اجزای RGB و محتوای نیتروژن گیاه فلفل نیز مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد که شاخص‌های مورد بررسی، سطوح نیتروژن گیاه فلفل را با ضریب همبستگی (R^2 =۰/۷٦) برآورد می‌کند [٦٤]. با بررسی شاخص سبزی مبتنی بر اجزای RGB دو رقم جو و مقایسه روش پیشنهادی با نتایج SPAD، این نتیجه حاصل شد که نتایج‌شان قابل اعتماد و در برخی موارد بهتر از نتایج SPAD بود [٦٥]. به منظور پیش بینی پتانسیل آب برگ گیاه سیب زمینی رشد یافته در گلخانه و نیز مزرعه از تصاویر RGB گرفته شده با دوربین دیجیتال پنج مگاپیکسل استفاده شد. تصاویر از سطوح مختلف محتوی آب و نیترات خاک به‌دست آورده شد و با استفاده از پرتوسنجی تنظیم گردید. در این مطالعه یک رابطه خطی معکوس بین نیتروژن خاک و انعکاس برگ در نوار سبز تصویر مشاهده شد و توانایی پردازش تصاویر دیجیتال RGB را در پیش بینی پتانسیل آب برگ گیاه سیب زمینی نشان داد [٦٦]. یک روش برآورد خودکار نیتروژن برپایه رنگ برگ در نیشکر به وسیله گروهی از پژوهشگران توسعه داده شد. پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش به‌طور قابل توجه‌ای با غلظت نیتروژن در برگ‌های نیشکر همبستگی داشت [٦٧]. در آزمایشی دیگر نیز برای تشخیص کمبود نیتروژن در پنبه از افزایش بازتاب از ناحیه سبز و قرمز استفاده شد [٦٨].

٤-۳-۳- پردازش تصویر در گروه‌بندی و درجه‌بندی گیاهان

از پردازش تصویر برای درجه‌بندی سیب براساس صدمات سطحی ایجاد شده استفاده شده است، بدین منظور یک سیستم بینایی ماشین شامل محفظه نوردهی، دوربین و کامپیوتر فراهم و نرم‌افزار متلب برای پردازش تصاویر به کار گرفته شد. سپس به کمک روش سعی و خطا مقدار آستانه به‌عنوان معیاری برای تصمیم‌گیری سالم بودن سیب به‌دست آمد. از جمله مشکل‌ها در ارتباط با درجه‌بندی سیب وجود دمگل بود که در تصویر دودویی با نواحی معیوب اشتباه گرفته می‌شد. در این پژوهش نسبت طول به ضخامت برای حذف دمگل انتخاب گردید. سپس سیب‌ها به چهار درجه عالی، یک، دو و سه درجه‌بندی شدند. به‌منظور ارزیابی سیستم، نتایج درجه‌بندی دید انسانی با نتایج درجه‌بندی بینایی ماشین مقایسه گردید. دقت حذف دمگل ۹۹/۰٤ درصد و دقت کلی درجه‌بندی ۹۵/۲۳ درصد به‌دست آمد که همخوانی خوبی را با نتایج حاصل از بینایی انسان داشت [۱].

گروه‌بندی گیاه باغی پسته نیز با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و اصول مبتنی بر بینایی ماشین مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های آماری موردنیاز با تصویربرداری از نمونه‌های دربسته، مغزدار و پوک پسته با شرایط یکسان، به‌دست آمد. به‌منظور استخراج تصویر پسته از پس‌زمینه آن، تصاویر تهیه شده به کمک تکنیک‌های پردازش تصویر، ناحیه‌بندی شدند. پس از انجام فیلترهایی بر روی تصاویر حاصل، برای تعیین با ارزش‌ترین ویژگی‌ها، جهت دسته‌بندی، از الگوریتم یادگیری ماشین

C4.5 و درخت تصمیم اســتفاده شــد. کارایی این روش با استفاده از ۳۰۰ نمونه شامل انواع دربسته، پوک و مغزدار بررسی شــد. از ۲۰۰ نمونه برای آزمایش سیستم با دقت ۹۵/۸ درصــد و از ۱۰۰ نمونــه بــرای آزمایش آن با دقت ۹۷ درصد استفاده گردید [٤]. یافته‌های این پژوهش نشان داد که گروه‌بندی پســته با استفاده از روش‌های پردازش تصویر به‌خوبی انجام می‌شود.

بــا اســتفاده از الگوریتم‌های پــردازش تصویر برای دسته‌بندی کشــمش به درجههای مختلف از لحاظ رنگ و دم اسفتاده شده اســت. تعداد کشمش سالم در تصویر و دم آن‌ها شمارش شــد و دیگر ویژگی‌ها نیز مانند درصد کشمش ســالم، درصد دم، در یک رابط گرافیکی قرار داده شد. یافته‌ها نشان داد که الگوریتم پردازش تصاویر توانایی تشخیص صحیح ۹۸/۹۵ درصد کشمش سالم از ناسالم و ۹۸/٦۱ درصد دم را دارد [٢٤]. یک سیســتم خودکار برای درجه‌بندی توت فرنگی براساس سه ویژگی شکل، اندازه و برگ راه اندازی شــد. این سیستم خودکار توانایی به‌دست آوردن مشــخصه شکل با رسم خطوط برای تصویر توت فرنگی از روش خوشه‌بندی را داشته و می‌تواند یک، دو و یا ســه ویژگی را مورداستفاده قرار دهد تا توت فرنگی را به ســه و یا چهار درجه طبقه‌بندی کند. نتایج نشان داد که خطای تعیین اندازه توت فرنگی بیشتر از پنج درصد نبود، همچنین دقت تشخیص رنگ ۸۸/۸ درصد، دقت طبقه‌بندی شــکل، ۹۰ درصد و زمان لازم بــرای درجه‌بندی یک توت فرنگی زیر ســه ثانیه به‌دست آمد [٦۹]. درجه‌بندی پرتقال براســاس جرم و حجم نیز انجام شده است. بدین صورت که در ابتدا مقادیر ســه بعد هندســی حجم، جرم و سطح تصویر که از مشــخصه های فیزیکی پرتقال بود به روش های سنتی و کلاســیک اندازه‌گیری شد، سپس با استفاده از شــبکه عصبی مصنوعی به منظور استخراج روابط بین جرم و حجم پرتقال و پارامترهای هندســی استفاده شد و نتایج نشان داد که شبکه عصبی‌ای که به‌صورت بهینه در این پژوهش مورد اســتفاده قرار گرفت توانست به‌صورت قابل قبــول مقادیر جرم و حجم پرتقــال را برآورد کند و می‌توان از شبکه عصبی ذکر شده برای درجه‌بندی پرتقال بر حسب جرم و حجم از روی مقادیر هندسی آن استفاده کرد [۲۵].

٤-۳-٤- پــردازش تصویــر در شناســایی ویژگی‌های ریخت‌شناسی گیاهان

برای بررســی اثر حذف بــرگ و دانــه در تراکم‌های مختلف کاشت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دانه گیاه زراعی آفتابگردان از تکنیک‌های پردازش تصاویر استفاده شده است. نتایج نشان داد که هیبریدهای مورد بررسی از نظر محیط و مســاحت، محور بزرگ و کوچک، کشیدگی، فشــردگی، گردی، ســختی دانــه، وزن تک دانه و نســبت پوســته به دانه تفاوت معنی دار در ســطوح احتمال یک و پنج درصد داشتند. از آنجایی‌که ابزارهای اندازه‌گیری ابعاد دانه، ممکن اســت نتوانند اطلاعات جامعی از خصوصیات دانه ارائه دهند و حتی شــاید داده‌های حاصل از این گونه اندازه‌گیری‌ها با خطا همراه باشــند، لــذا تکنیک پردازش تصویــر در تکنولوژی بذر با آگاهی کامل از ابعاد دانه، به طراحی و ســاخت ماشین آلات مربوطه کمک خواهد نمود. با توجه به همبســتگی بالای ابعاد دانه با وزن دانه و نقش وزن دانه در صفات کیفی مانند درصد روغن دانه، می‌توان توسط پردازش تصویر با استفاده از اطلاعات استخراجی از ابعــاد دانه مقدار درصد روغــن را تخمین زد. همچنین نتایج این مطالعه نشــان داد که بــا کاربرد تکنیک پردازش تصویر، شناســایی دقیق‌تر خصوصیات فیزیکی بذرهای ارقام زراعی در شرایط مختلف محیطی امکان‌پذیر می‌گردد که این شناسایی باعث مدیریت بهتر مراحل مختلف کاشت، برداشت و پس از برداشت خواهد شد [۲٦].

جهــت تشــخیص بدشــکلی گیــاه باغــی هندوانــه، مشخصه‌های فیزیکی آن شامل جرم، حجم و ابعاد آن در سه اندازه بزرگ، متوسط و کوچک اندازه‌گیری شد. سپس روابط بین مشــخصه‌های فوق برای حالت استاندارد میوه و انواع بدشکلی بررســی گردید و تصاویر گرفته شده از

میوه کالیبره شـــدند. نتایج نشـــان داد که از نسبت طول به عرض تصویر و نسبت سطح تصویر میوه به سطح زمینه می‌توان به‌عنوان معیار مناســـبی برای تشخیص بدشکلی، استفاده نمود [۱۱].

برای تشخیص عیوب ظاهری سیب زمینی با تحلیل‌های شـــکلی تصاویر مانند طول، عرض، محیط، مساحت، طول بزرگ‌تریـــن محور، طـــول کوچک‌ترین محـــور تعیین و با تحلیل‌های رنگی رابطه‌هایی برای تعیین ســـطح سبزشدگی به‌دست آورده شد. نتایج انجام تحلیل‌های پردازش تصاویر توســـط تابع اندازه‌گیری حاصل از این تحقیق توانســـت با دقـــت ۹۹ درصـــد اندازه‌ها را با کولیس مطابقـــت دهد [۳۰، ۲۷]. ناحیه‌بندی تصاویر الیاف خارجی که تاثیر مستقیم بر کیفیت گیاه زراعی پنبه دارد نیز صورت گرفته اســـت. بدین صـــورت که الیاف خارجی در تصاویـــر پنبه که از وضوح بالایی برخوردار بود با اســـتفاده از روش تشـــخیص لبه و ویژگی‌های مورفولوژیکی مبتنی بر ریاضیات به‌طور مستقیم و دقیق ناحیه‌بندی شد [۳۳]. تشخیص خودکار تصویر میوه بر اساس شـــکل و ویژگی‌های رنگ نیز مورد بررسی قرار گرفته است که شامل سه فاز اصلی پیش‌پردازش، استخراج ویژگـــی و طبقه‌بندی اســـت. بعد از تغییر انـــدازه تصاویر، ویژگی‌های مناسبی مانند شکل، رنگ استخراج و با استفاده از تکنیک‌های نزدیک‌ترین همسایه و ماشین بردار پشتیبان انواع مختلف میوه‌ها طبقه‌بندی می‌شوند [۷۰].

٤-۳-۵- پـــردازش تصویر در شناســـایی بیماری‌های گیاهی

در روش های متداول برای تشخیص بیماری‌های گیاهان از روی بـــرگ و ظاهر گیاه یا محصول معمولا حضور یک فرد متخصص ضروری اســـت که البته دارای خطای دید، هزینه زیاد و وقت‌گیر است. استفاده از روش‌های پردازش تصویر تکنیک مناســـبی است که با گرفتن تصاویر برگ و ظاهر محصول و همچنین بعد از بهبود کیفیت تصاویر، با اســـتفاده از ویژگی‌های مختلفی مانند رنگ، اندازه و شکل می‌توان بیماری موجود در گیاهان را با روش‌های مختلف دسته‌بندی و خوشه‌بندی مانند شبکه عصبی تشخیص داد [٤٧-٤٥]. به گفته محققان، شته سویا یکی از مهم‌ترین آفات سویا در شمال آمریکا اســـت که برآورد دقیق تراکم شته برای شـــرایط مزرعه به منظور به حداکثر رساندن بازده کاربرد حشره کش مورد نیاز است. روش فعلی شناسایی و شمارش شته ها بر روی یک گیاه، مستلزم فرآیند کاری فشرده و وقت‌گیر است. دانشمندان در مطالعات خود برای تشخیص و شمارش شـــته‌های مختلف سویا بر روی یک برگ ســـویا از تکنیک‌های پردازش تصویر استفاده کردند. بدین صورت که تصاویری از برگ‌های آلوده با دوربین‌های مختلف با طیف وســـیعی از تراکم شته در روشنایی های مختلف در سرتاسر مجموعه داده‌ها بررسی شد و سپس با استفاده از جعبه ابزار پردازش تصویر در نرم‌افزار متلب شناســـایی و شمارش شـــته‌ها انجام گرفت و در نهایت به منظور بررســـی دقت و صحت الگوریتم، شمارش شته‌ها به‌صورت دســـتی نیز آزمایش و بـــا نتیجه نرم‌افزار متلب توســـط متخصص آموزش دیده مقایسه شد که نشان داد تصاویر گرفته شده با دوربین‌های دیجیتال به‌طور منظم، روشی ارزان و رضایت بخش است [٤٨].

پژوهشـــگران در تحقیقـــی دیگـــر بـــرای تشـــخیص بیماری‌هـــای خیار نیز از الگوریتم‌هـــای پردازش تصاویر دیجیتال اســـتفاده کردند که نتایـــج آزمایش بر روی ۱۲۹ عدد خیار نشـــان داد به‌طور متوســـط خطای تقسیم بندی خیارها در حالت اســـتفاده از پردازش تصویر در مقایسه با حالت ســـنتی تنها ۰/۱۲ درصد اســـت که می‌توان از آن به منظور تشـــخیص بیماری خیار و نیز کلیه برنامه های شناسایی آفات گیاهان که مبتنی بر تصویربرداری از گیاه، مانند ســـیب و غیره هستند، اســـتفاده کرد که باعث بهبود بهره‌وری می‌شود [۷۱].

۵- برخـــی از چالش‌هـــا و مشـــکلات موجـــود در زمینه استفاده از پردازش تصاویر دیجیتال در گیاهان

بـــا توجه به پژوهش‌های انجام شـــده و مباحث مطرح

شـــده برخی از مشکلات موجود در استفاده از تکنیک‌های پـــردازش تصاویر دیجیتال در گیاهـــان عبارتند از: حذف پس‌زمینه، سایه، علف‌های هرز، و عدم دسترسی یا نبودن تصاویر محک زن بـــرای آزمایش الگوریتم‌های مختلف و تهیه تصاویر در شرایط مختلف آب و هوا و اقلیمی است.

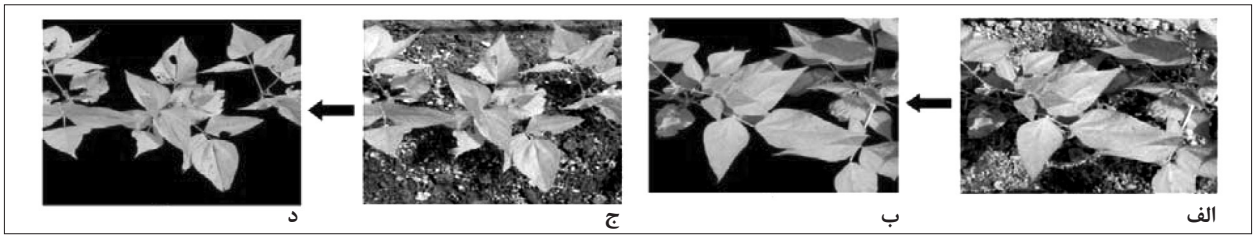
حذف پس‌زمینه، سایه و همچنین علف‌های هرز موجود در تصاویر یکی از معضلات استفاده از تصاویر گیاهانی اســـت که در شـــرایط طبیعی و در محـــل زندگی گیاه اخذ شده‌اند. با توجه به شـــرایط گیاه در محل زندگی خودش، وجود این عوامل کاملا طبیعی اســـت، که حذف این عوامل به‌طور مناســـب می‌تواند بر عملکرد کارایی سیســـتم های پردازش تصویر اثر بسیار موثری داشته باشد. البته برخی از پژوهشـــگران برای دوری جســـتن از انجام این مراحل، گیـــاه را از محل کشـــت و نمو خود جدا کـــرده و آن را در پس‌زمینه‌های مناســـب مثلا سیاه یا ســـفید قرار می دادند و تصویر بـــرداری می کردند، که البته این کار باعث اتمام حیات گیاه مربوطه می‌شـــود و دیگر این‌که همیشـــه چنین امکانی وجود ندارد [۴۹، ۵۰].

به منظور اســـتفاده و مقایســـه عملکـــرد الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویردر گیاهان، چه باغی یا زراعی نیاز به تصاویر محک زن اســـت. با توجه به مجموعه مطالعات انجام شده تصاویر محک زن دیجیتالی گیاهان با توجه به مراحل رشد و شرایط آب و هوایی مختلف موجود نیست و همین امر باعث گردیده، که مقایسه عملکرد کارایی الگوریتم ها کار سختی باشد و هر پژوهشگری که قصد داشته باشد با اســـتفاده از تصاویر گیاهان، تحقیقی را انجام دهد ابتدا مجبور به ســـپری کردن مراحل رشد گیاه در خاک و اقلیم متناسب با آن، مراقبت از گیاهان و سپس تهیه تصاویر از آن‌ها در شرایط خاص است.

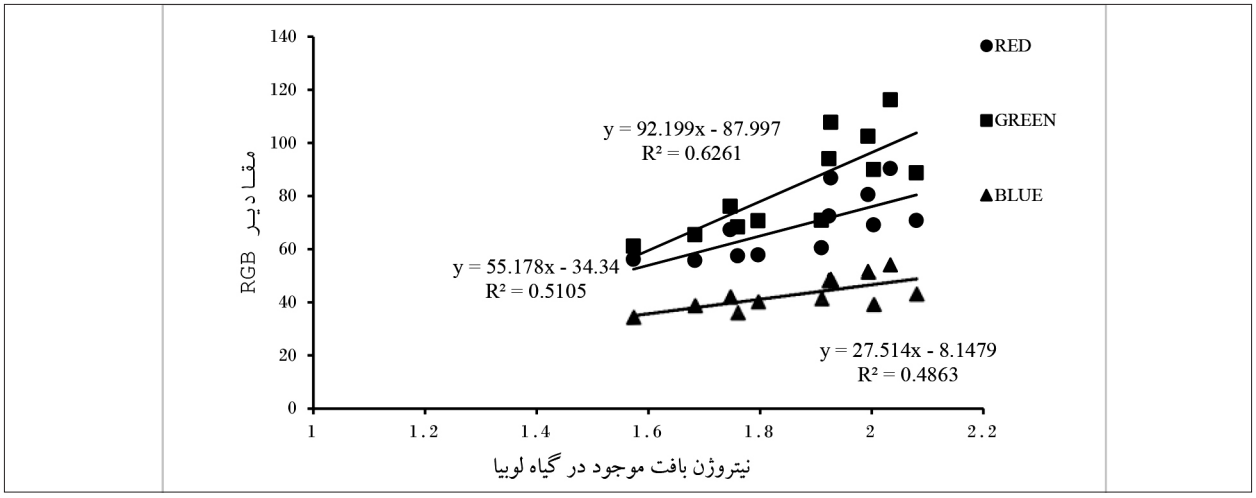
عـــلاوه بر موارد فوق، برخـــی از عملیات‌ها در گیاهان وجود دارند که هنوز به شـــکل متعـــارف و معمولی انجام می‌شـــوند از جمله این عملیات می‌توان به حفاظت خاک به منظور کاهش فرســـایش وخاک ورزی به منظور افزایش عملکرد گیاه و غیره اشاره کرد که در قسمت دوم جدول ۱، پایین جدول نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده اســـت، حفاظت خاک توسط کشاورزان احتیاج به نیروی انسانی فراوان داشته و در عین حال دقت آن کم و صرف وقت در آن نسبتا زیاد است. در خاک ورزی به منظور افزایش عملکرد گیاه نیز که توســـط کشاورز با ابزار ســـنتی چون دیسک و گاوآهن انجام می‌شود صرف هزینه و وقت بسیار زیادی را می‌طلبد. به‌عنوان مثال دیگر، کاشـــت نخود در زمین‌هایی که دارای کلوخ اســـت و خاک نرمی ندارد مناسب نیست با پردازش تصویر می‌توان نوع بافت را از نظر ریز یا درشت بودن خاک را تشخیص داد.

۶- حذف پس‌زمینه و اســـتخراج روابط رنگ گیاه لوبیا و ارتباط آن با نیتروژن

همان‌طور که قبلا اشاره شد انجام عملیات پیش‌پردازش روی تصاویر نقش بسیار مهمی در دقت و کیفیت نتایج نهایی دارد. با توجه به نتایج عملیات پیش‌پردازش از جمله تبدیل به فضای رنگ مناســـب حذف پس‌زمینه، سایه، علف‌های هرز و غیره و تنوع الگوریتمها و شـــرایط متفاوت تصاویر گیاهان، غالبا انجام این عملیات کار ســـختی اســـت. به این دلیل برخی از پژوهشگران برای تهیه تصاویر مناسب، گیاه را از محل رشد تخریب کرده و در یک پس‌زمینه مشخص مثلا ســـفید قرار داده اند و تصاویر مناسب تهیه کرده‌اند، که باعث از بین بردن گیاه و شـــرایط واقعی شـــده‌اند. در این مقاله در جهت حذف پس‌زمینه از گیاه لوبیا پژوهشـــی صورت گرفته اســـت که با اســـتفاده از مزارع کشاورزی دانشگاه گیلان در شـــرایط طبیعی و واقعی تهیه گردید. با توجه به این‌که تصاویر در فضای رنگی RGB بودند و در این فضا معمولا رنگ و شـــدت با هم ترکیب شده‌اند برای جداسازی، میزان تمایل تغییرات رنگی، اشباع شدن رنگ‌ها و شـــدت به فضای رنگی HSV برده شدند و با استفاده از تکنیک‌های آستانه‌گذاری روی مولفه H پس‌زمینه تصاویر گیاه لوبیا جدا شد.



شکل ۴: تصویر گیاه لوبیا قبل و بعد از حذف پس‌زمینه
(الف) و (ج) تصاویر گیاه زراعی لوبیا، اخذ شده در شرایط طبیعی در مزرعه. (ب) و (د) تصاویر پردازش شده بعد از حذف پس‌زمینه.



شکل ۵: همبستگی بین محتوای نیتروژن بافت و شاخص‌های رنگی قرمز، سبز، آبی در تصاویر دیجیتالی [۳۲].

۶-۱- حذف پس‌زمینه

عمل ناحیه‌بندی و حذف پس‌زمینه با استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر شاخص رنگی و آستانه‌گذاری انجام گرفت. بعد از تبدیل تصاویر از فضای رنگی RGB به HSV، عمل آستانه‌گذاری روی مولفه H انجام گرفت. پیکسل‌های متعلق به یک ناحیه رنگی، معمولا دارای تمایل رنگی(H) مشابه و یا نزدیک به هم دارند. با در نظر گرفتن دو رده، ردهٔ گیاه اصلی و ردهٔ پس‌زمینه، دو تمایل و میل رنگی که یکی به سمت رنگ‌های متعلق به گیاه اصلی و دیگری به سمت پس‌زمینه که شامل خاک بود در نظر گرفته شد و برای به‌دست آوردن سطح آستانه مناسب، میانگین همه پیکسل‌ها در مولفه H محاسبه گردید [۴۹]. سپس کلیه پیکسل‌های مولفه H که کوچک‌تر از میانگین بودند برابر با صفر شدند که شامل همان پس‌زمینه تصاویر بود و کلیه پیکسل‌های مولفه H که برابر و یا بزرگ‌تر از میانگین بودند یک در نظر گرفته شدند. با توجه به وجود انواع مختلف نوفه در تصاویر واقعی از قبیل علف هرز، آثار و بقایای خاک که امکان دارد مشابه ویژگی‌های گیاه اصلی باشند که تا این مرحله به‌طور کامل حذف نشده باشند، لذا در فاز بعدی با استفاده از تکنیک‌های همسایگی و استفاده از ویژگی‌های همسایگی نقاط تصویر، نوفه‌های موجود در نزدیکی پس‌زمینه و سایه حذف شده، حذف گردید. به منظور پاکسازی اثرات نوفه‌های باقیمانده در مولفه‌های آستانه‌گذاری شده H از کانولوشن فیلترهای همسایگی چهارتایی و هشت تایی استفاده گردید به‌طوری که پنجره‌های ۳×۳ روی هر پیکسل قرار گرفت و مقادیر پیکسل مرکزی با مقادیر پیکسل‌های همسایه یکسان گردید. علت انتخاب پنجره‌های ۳×۳، حذف نوفه‌های ریز موجود در تصویر بود که با این انتخاب، حذف شدند. عملیات صورت گرفته تا اینجا در فضای رنگی HSV بوده است که نهایتا تصویر به فضای RGB تبدیل گردید که در تصویر نهایی گیاه لوبیا عاری از هرگونه پس‌زمینه و نوفه به‌دست آمد.

در مرحله آخر مقادیر شاخص‌های رنگی RGB در تصویر نهایی گیاه لوبیا به‌دست آمد. دو نمونه از تصویر گیاه لوبیا قبل از حذف پس‌زمینه و بعد از حذف پس‌زمینه در شکل ٤ قسمت (الف)، (ب)، (ج) و (د) نشان داده شده است.

۶-۲- اندازه‌گیری همبستگی وضعیت نیتروژن با مولفه‌های رنگی تصویر

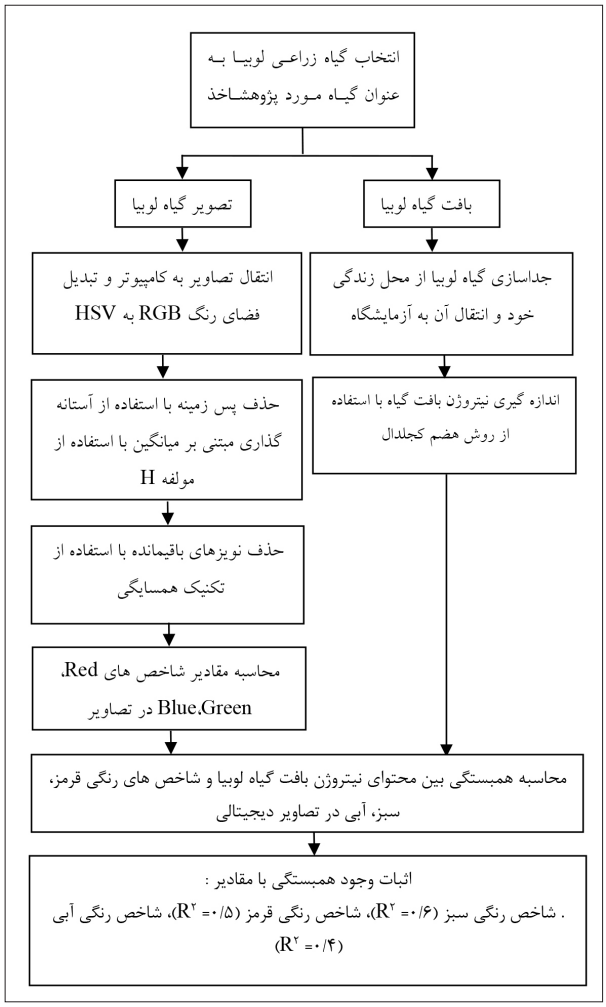
نیتروژن به‌عنوان یکی از عنصرهای پرمصرف در رشد گیاه لوبیا است که در شرایط مطلوب، مقدار تثبیت نیتروژن توسط این گیاه به حدود ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار می رسد که حدود ۷۰ درصد نیاز این گیاه به نیتروژن را تأمین می‌کند. به دلیل تثبیت ضعیف نیتروژن در گونه P.vulgaris که مربوط به شکل برقراری همزیستی موثر ریشه لوبیا با باکتری در سطح مزرعه و همچنین تنوع ژنتیکی ارقام مختلف از نظر ظرفیت تثبیت نیتروژن است، پژوهشگران اظهار داشته اند که تثبیت نیتروژن توسط گیاه لوبیا زیاد مورد اطمینان و قابل اعتماد نبوده و به همین علت مصرف کود نیتروژن در مزارع لوبیا را توصیه نموده‌اند. تشخیص مقدار نیتروژن گیاه در مراحل مختلف رشد خود و همچنین تعیین مقدار کمبود آن که باید توسط کود به آن اضافه شود موضوع بسیار مهمی است [٧٦-٧٢]. به‌طور کلی روش های سنجش وضعیت نیتروژن به دو دسته روش تخریبی و روش غیرتخریبی تقسیم می‌شود که تجزیه بافت گیاهی زیر مجموعه روش تخریبی است که به‌عنوان یک روش مرجع در برآورد وضعیت نیتروژن گیاه استفاده می‌شود. در مطالعات مختلف گزارش شده است که استفاده از تجزیه بافت گیاهی برای مقایسه محتوای واقعی نیتروژن گیاه با مقدار پیش بینی شده نیتروژن گیاه همواره مورد توجه و تاکید بوده است. یکی از روش های مورداستفاده برای تعیین نیتروژن در ترکیب های آلی توسط یوهان کجلدال در سال ۱۸۸۳ ارائه شده است. این روش که به‌عنوان هضم کجلدال هم شناخته شده است به‌طور گسترده‌ای برای تعیین نیتروژن در مواد غذایی، نوشیدنی، گوشت، خوراک، دانه، کود، آب، خاک و بافت گیاه استفاده می‌شود. همچنین، هضم کجلدال روش مرجع برآورد نیتروژن نمونه های زیستی نیز است [۳۸، ۳۹].

گیاهان لوبیا پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شدند و نیتروژن آن‌ها توسط دستگاه هضم کجلدال که در جدول شماره ۲ به آن اشاره شده بود، با صرف هزینه و وقت بسیار زیاد اندازه‌گیری شد که بتوان از این عدد نیتروژن برای ارتباط با رنگ برگ گیاه و همچنین اعتبار بخشی به منظور خودکار کردن برآورد آن در تحقیقات آتی استفاده کرد. پس از حذف پس‌زمینه در تصاویر گیاه لوبیا و همچنین تعیین میزان نیتروژن برگ گیاه لوبیا و استفاده از پارامترهای تصاویر دیجیتال و پردازش آن‌ها نتایج نشان داد که بین شاخص‌های رنگی و میزان نیتروژن بافت گیاه لوبیا همبستگی بالایی وجود دارد به‌طوری که برازش خط رگرسیون نشان دهنده ارتباط قوی و مثبتی بین شاخص‌های رنگی و میزان نیتروژن بود. شاخص رنگی سبز (R^2 =۰/٦)، شاخص رنگی قرمز (R^2 =۰/٥)، شاخص رنگی آبی (R^2 =۰/٤) این همبستگی در شکل ٥ نشان داده شده است [۳۲].

با توجه به توضیحات فوق می‌توان مراحل انجام شده را به‌صورت الگوریتمی در شکل ٦ نشان داد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، برای به‌دست آوردن همبستگی بین محتوای نیتروژن بافت گیاه لوبیا با مولفه‌های رنگی تصویر گیاه، میزان نیتروژن به‌صورت متعارف و معمولی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد که در سمت راست شکل ٦ نشان داده شده است. همچنین تکنیک‌های پردازش تصویر دیجیتال هم بر روی گیاه صورت گرفت که در سمت چپ شکل ٦ مشهود است. و نهایتا روابط موجود بین مولفه‌های رنگی با مقادیر اندازه‌گیری شده نیتروژن محاسبه گردید. با توجه به نتایج شکل ٥، بیشترین همبستگی بین مولفه رنگی سبز (R^2 =۰/٦) با نیتروژن به‌دست آمد.

۷- نتیجه گیری

تکنیک‌های پردازش تصاویر دیجیتال کاربردهای



شکل ۶: مراحل انجام الگوریتم به‌دست آوردن همبستگی میان محتوای نیتروژن بافت گیاه لوبیا با شاخص‌های رنگی RGB موجود در تصاویر گیاه.

فراوانی در انواع صنایع از جمله صنعت حمل و نقل، خودکارسازی صنعتی، نظارت و کنترل‌های ویدئویی و غیره دارد. یکی از صنایعی که اخیرا از تکنیک‌های پردازش تصاویر دیجیتالی استفاده می‌کند صنعت کشاورزی، به‌طور خاص گیاهان است. چرا که مجموعه آزمایش‌ها و کارهای آزمایشگاهی که بر روی گیاهان به‌صورت سنتی و معمولی و متعارف صورت می‌گیرد دارای خطای زیاد، هزینه زیاد و همچنین وقت‌گیر هستند. انجام این عملیات از قبیل اندازه‌گیری حجم میوه‌ها، گروه‌بندی و درجه‌بندی گیاهان و شناسایی ویژگی‌های ریخت‌شناسی، و برآورد میزان وضعیت نیتروژن با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر دیجیتال به شکل خودکار با سرعت و دقت بیشتر و همچنین هزینه کمتر انجام می‌شود. مطالعات نشان داد که انجام عملیات مناسب پیش‌پردازشی مانند حذف پس‌زمینه، سایه، و علف‌های هرز و تهیه تصاویر استاندارد و محک‌زن کارایی تکنیک‌های پردازش تصاویر در گیاهان را بالا می‌برد. نتایج شبیه‌سازی‌های ما نشان داد که بین میزان نیتروژن گیاه لوبیا با مولفه‌های رنگی همبستگی وجود دارد و این همبستگی با مولفه سبز دارای بیشترین مقدار است. این نتایج نشان می‌دهد که هر چه گیاه سبزتر باشد مقدار نیتروژن آن غنی‌تر است. در تحقیقات آتی تمرکز بر این این موضوع خواهد بود که سیستمی طراحی و پیاده‌سازی گردد که به‌صورت خودکار میزان نیتروژن گیاه را با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر برآورد کند.

مراجع

۱. پوردربانی، راضیه، قاسم‌زاده، حمیدرضا، آقاگل زاده، علی، بهفر، حسین، «امکان سنجی درجه‌بندی کیفی سیب با استفاده از پردازش تصویر»، مجله پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد ۱۹، شماره ۱، صفحه ۷۵ - ۸۵، ۱۳۸۸.

۲. پیمان، سید حسین، بخشی پور زیارتگاهی، عادل، جعفری، عبدالعباس، «به‌کارگیری روش پردازش تصاویر دیجیتال جهت تشخیص بیماری‌های سطح برگ برنج»، نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۶، شماره ۱، صفحه ۶۹ - ۷۹، ۱۳۹۵.

۳. عبداله زارع، زهرا، آسودار، محمدامین، کاظمی، نواب، رهنما، مجید، آبدانان مهدی زاده، سامان، «بهینه‌سازی مهم‌ترین پارامترهای عملکردی ردیف کار نیوماتیک با پایش لحظه‌ای برای بذور هندوانه و خیار»، نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۶، شماره ۱، صفحه ۳۵ - ۴۸، ۱۳۹۵.

۴. عبداله نژاد باروق، علیرضا، عادلی نیا، محمد، محمدی، مجید، «کلاس بندی پسته با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و شبکه نروفازی تطبیق پذیر» نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۶، شماره ۱، ۱۳۹۵.

۵. لطیف التجار، سینا، جعفری، عبدالعباس، نصیری، سید مهدی، شریفی، حمید، «تخمین عملکرد چغندرقند براساس پوشش سایه انداز گیاه با استفاده از الگوهای پردازش تصویر»، نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۴، شماره ۲، صفحه ۲۷۵ - ۲۸۴، ۱۳۹۳.

۶. خواجه پور، محمدرضا، اصول و مبانی زراعت، ویرایش سوم، اصفهان، نشر جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، ۱۳۹۰.

۷. مظاهری، داریوش، مجنون حسینی، ناصر، مبانی زراعت عمومی، ویرایش هفتم، تهران، نشر موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۹.

۸. جعفرلو، مرتضی، فرخی، تیمورلو رحمان، «برآورد حجم سیب و تورفتگی آن، به کمک پردازش تصویر و شبکه عصبی»، نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۴، شماره ۱، صفحه ۵۷ - ۶۴، ۱۳۹۳.

۹. احمدی، حمیدرضا، امیری پریان، جعفر، «تشخیص پرتقال روی درخت با کاربرد پردازش تصاویر دیجیتال براساس الگوی تراکم سایه روشن»، نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۵، شماره ۱، صفحه ۹۲ - ۱۰۰، ۱۳۹۴.

۱۰. صدرنیا، حسن، رجبی پور، علی، جوادی، ارژنگ، جعفری، علی، مستوفی، یونس، «مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی دو رقم هندوانه چارلستون

گری و کریمسون سوئیت»، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۷، شماره ۲۷، صفحه ۱۵۱ - ۱۶۵، ۱۳۸۵.
۱۱. صدرنیا، حسن، رجبی‌پور، علی، جعفری، علی، مستوفی، یونس، جوادی، ارژنگ، «تشخیص بدشکلی هندوانه با استفاده از پردازش تصویر»، چهارمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، ۱۳۸۵.
۱۲. پاکپور ربطی، احمد، جعفرزاده، علی اصغر، شهبازی، فرزین، عماری، پرویز، «ارزیابی اراضی مستعد برای تعدادی از محصولات کشاورزی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در مناطقی از استان آذربایجان غربی»، نشریه دانش آب و خاک، شماره ۱، صفحه ۱۶۵ - ۱۷۶، ۱۳۹۲.
۱۳. حسینی، سیدصفدر، قربانی، محمد، «مدیریت حفاظت اراضی گندم دیم با تاکید بر دانش بومی در ایران»، نشریه علوم و صنایع کشاورزی، شماره ۱، صفحه ۱۸۱ - ۱۹۲، ۱۳۸۱.
۱۴. حکیمی‌نیا، عیسی، بلند نظر، صاحبعلی، طباطبایی، سید جلال، «اثر آبیاری محدود در مراحل مختلف رشد بر صفات رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب پیاز خوراکی»، مجله دانش کشاورزی وتولید پایدار، شماره ۳، صفحه ۱۱ - ۲۷، ۱۳۹۲.
۱۵. رحیم زاده، رضا، شریفی مالواجردی، احمد، جوادی، ارژنگ، «اثر روش خاک ورزی بر عملکرد نخود در شرایط دیم مناطق سرد»، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، شماره ۳، صفحه ۵۷ - ۶۸، ۱۳۸۸.
۱۶. رستمی، سجاد، حسین زاده، بهرام، «ارزیابی و مقایسه کارایی انرژی دو نظام کشت سنتی و نیمه‌مکانیزه در مزارع لوبیاچیتی استان چهارمحال و بختیاری»، نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، شماره ۲، صفحه ۵۱ - ۵۹، ۱۳۹۳.
۱۷. گلپور، ایمان، امیری پریان، جعفر، امیری چایجان، رضا، خزائی، جواد، «تشخیص ارقام شلتوک، برنج قهوه‌ای و سفید براساس ویژگی‌های بافتی تصویر و شبکه عصبی مصنوعی»، نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۵، شماره ۱، صفحه ۷۳ - ۸۱، ۱۳۹۴.
۱۸. ملتی، هاجر، کافی، محمد، ملتی، فریدون، نجفی، فرزاد، «مروری بر گونه پونه سای برگه‌دار.(Nepeta bracteata Benth) و بررسی اتنوبوتانی آن در چند شهرستان در استان خراسان رضوی»، نشریه داروهای گیاهی، شماره ۴، صفحه ۲۲۳ - ۲۳۱، ۱۳۹۱.
۱۹. نامدار، محبوبه، بوزرجمهری، خدیجه، «واکاوی چالش‌های کشاورزی ارگانیک گامی در جهت توسعه کشاورزی پایدار (نمونه موردی: نخل کاران اقتصادی دهستان فورگ شهرستان داراب)» همایش ملی چشم‌انداز توسعه پایدار روستایی در برنامه ششم توسعه کشور، ۲۰۱۵.
۲۰. احمدی، حمیدرضا، امیری پریان، جعفر، « برآورد حجم گردو به کمک روش پردازش تصویر براساس خاصیت پرسپکتیو و جمع المانهای متشابه»، مجله پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، شماره ۲، صفحه ۱۹ - ۲۷، ۱۳۹۲.
۲۱. رشیدی، م، غلامی، منصور، عباسی، سعید، «تعیین حجمی طالبی با استفاده از پردازش تصویر»، مجله بین‌المللی علوم و فناوری کشاورزی، دوره ۱۱، شماره ۵، ۱۳۸۷.
۲۲. احمدی مقدم، پرویز، حداد درفشی، محمدعلی، شایسته، ماهرخ، «تخمین آزمایشگاهی وضعیت نیتروژن برگ چغندرقند با استفاده از پردازش تصاویر رنگی»، مجله دانش کشاورزی پایدار، جلد ۱، شماره ۱، صفحه ۱۸۹ - ۱۹۹، ۱۳۸۸.
۲۳. لاریجانی، محمدرضا، فرخی تیمورلو، رحمان، «ارزیابی تکنیک پردازش تصویر در تخمین ازت و عملکرد گیاه برنج و مقایسه آن با روش‌های متعارف»، نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۱، شماره ۲، صفحه ۸۴ - ۹۱، ۱۳۹۰.
۲۴. مهدیانی، محسن، صدرنیا، حسن، «درجه‌بندی کشمش با استفاده از پردازش تصویر : شناسایی دم و رنگ»، ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، ۱۳۸۹.
۲۵. مسعودی، حسن، روحانی، عباس، «تعیین جرم و حجم پرتقال از روی پارامترهای هندسی آن با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی»، اولین همایش ملی فناوری‌های نوین برداشت و پس از برداشت محصولات کشاورزی، ۱۳۹۴.
۲۶. افشاری بهبهانی زاده، ساناز، اکبری، غلامعلی، فراهانی، لیلا، «مطالعه واکنش صفات مورفولوژیک دانه هیبریدهای آفتابگردان به‌دستکاری منبع و مخزن در تراکم های مختلف کاشت با استفاده از تکنیک پردازش تصاویر، مجله علوم و تکنولوژی بذر، شماره ۱، صفحه ۷۳ - ۸۵، ۱۳۹۲.
۲۷. صدرنیا، حسن، طوسی، عباسعلی، عباسپور فرد، محمدحسین، گلزاریان، محمودرضا، «طبقه‌بندی و تشخیص عیوب ظاهری سیب‌زمینی با استفاده از تکنیک پردازش تصویر» اولین همایش ملی فناوری‌های نوین برداشت و پس از برداشت محصولات کشاورزی، ۱۳۹۴.
28. Camargo. A., Smith. J., "An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms", Biosystems engineering, Vol. 102, pp. 9-21, 2009.
29. Mercado-Luna. A., Rico-García. E., Lara-Herrera. A., Soto-Zarazúa. G., Ocampo-Velázquez. R., Guevara-González. R., Herrera-Ruiz. G., Torres-Pacheco. I., "Nitrogen determination on tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) seedlings by color image analysis (RGB)", African Journal of Biotechnology, Vol. 9, pp. 5326-5332, 2013.
30. Al-Mallahi. A., Kataoka. T., Okamoto. H., Shibata. Y., "An image processing algorithm for detecting in-line potato tubers without singulation", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 70, pp. 239-244, 2010.
31. Jia. L., Chen. X., Zhang. F., Buerkert. A., Römheld. V., "Use of digital camera to assess nitrogen status of winter wheat in the northern China plain", Journal of Plant Nutrition, Vol. 27, pp. 441-450, 2004.
32. Valiollahi. T., Shahbahrami. A., Zavareh. M., "Correlation estimation between nitrogen and bean plant colors", In 9th IEEE Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing, pp. 138-141, 2015.
33. Zhang. X., Li. D., Yang. W., Wang. J., Liu. S., "A fast segmentation method for high-resolution color images of foreign fibers in cotton", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 78, pp. 71-79, 2011.
34. Beeri. O., Phillips. R., Carson. P., Liebig. M., "Alternate satellite models for estimation of sugar beet residue nitrogen credit" Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 170, pp. 21-35, 2005.
35. Biermacher. JT., Epplin. FM., Brorsen. BW., Solie. JB., Raun. WR., "Economic feasibility of site-specific optical sensing for managing nitrogen fertilizer for growing wheat", Precision Agriculture, Vol. 10, pp. 213-230, 2009.
36. Miao. Y., Mulla. DJ., Randall. GW., Vetsch. JA., Vintila. R., "Combining chlorophyll meter readings and high spatial resolution remote sensing images for in-season site-specific nitrogen management of corn", Precision Agriculture, Vol. 10, pp. 45-62, 2009.
37. Thorp. KR., Tian. L., Yao. H., Tang. L., "Narrow-band and derivative-based vegetation indices for hyperspectral data", Transactions of the ASAE, Vol. 47, pp. 291-299,

learning approach for thresholding in crop images under different outdoor conditions", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 127, pp. 669-679, 2016.
52. Rasmussen. J., Nørremark. M., Bibby. B., "Assessment of leaf cover and crop soil cover in weed harrowing research using digital images", Weed Research, Vol. 47, pp. 299–310, 2007.
53. Meyer. G.E., Camargo-Neto. J., "Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 63, pp. 282–293, 2008.
54. Kirk. K., Andersen. H.J., Thomsen. A.G., Jørgensen. J.R., "Estimation of leaf area index in cereal crops using red green images", Biosyst. Eng, Vol. 104, pp. 308– 317, 2009.
55. Li. Y., Cao. Z., Lu. H., Xiao. Y., Zhu. Y., Cremers. A. B., " In-field cotton detection via region-based semantic image segmentation", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 127, pp. 475-486, 2016.
56. Zheng. L., Zhang. J., Wang. Q., "Mean-shift-based color segmentation of images containing green vegetation", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 65, pp. 93-98, 2009.
57. Ruiz-Ruiz. G., Gómez-Gil. J., Navas-Gracia. L. M., "Testing different color spaces based on hue for the environmentally adaptive segmentation algorithm (EASA)", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 68, pp. 88-96, 2009.
58. Reid. J., Searcy. S., "Vision-based guidance of an agriculture tractor", IEEE Control Systems Magazine, Vol. 7, pp. 39-43, 1987.
59. Hemming. J., Rath. T., "PA—precision agriculture: computer-vision-based weed Identification under Field Conditions using Controlled Lighting", Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 78, pp. 233-243, 2001.
60. Aitkenhead. M. J., Dalgetty. I. A., Mullins. C. E., McDonald. A. J. S., Strachan. N. J. C., "Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 39, pp. 157-171, 2003.
61. Tellaeche. A., Burgos-Artizzu. X. P., Pajares. G., Ribeiro. A., "A vision-based method for weeds identification through the Bayesian decision theory", Pattern Recognition, Vol. 41, pp. 521-530, 2008.
62. Meyer. G. E., Neto. J. C., Jones. D. D., Hindman. T. W., "Intensified fuzzy clusters for classifying plant, soil, and residue regions of interest from color images", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 42, PP. 161-180, 2004.
63. Mata-Donjuan. G. F., Mercado-Luna. A., Rico-García. E., Herrera-Ruiz. G., "Use of improved hue, luminance and saturation (IHLS) color space in the estimation of Nitrogen on tomato seedlings (Lycopersicon esculentum)", Scientific Research and Essays, Vol. 7, pp. 2343-2349, 2012.
2004.
38. Michałowski. T., Asuero. AG., Wybraniec. S., "The titration in the Kjeldahl method of nitrogen determination: Base or acid as titrant", Journal of Chemical Education, Vol. 90, pp. 191-197, 2012.
39. Muñoz-Huerta. R., Guevara-Gonzalez. R., Contreras-Medina. L., Torres-Pacheco. I., Prado-Olivarez. J., Ocampo-Velazquez. R., "A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances", Sensors, Vol. 13, pp. 10823-10843, 2013.
40. Loghavi. M., "Precision farming guide for professionals agriculture", Agricultural Research and Education Organization, Shiraz University, (In Farsi), 2003.
41. Majumdar. S., Jayas. DS., "Classification of cereal grains using machine vision: III. Texture models", Transactions of the ASAE, Vol. 43, pp. 1681-1687, 2000.
42. Patil. N., Malemath. V., Yadahalli. R., "Color and texture based identification and classification of food grains using different color models and haralick features", International Journal on Computer Science and Engineering, Vol. 3, pp. 3669-3680, 2011.
43. Hannan, TF., Burks and DM. Bulanon, "A real-time machine vision algorithm for robotic citrus harvesting", American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007.MW.
44. Mohsenin. NN., "Physical properties of food and agricultural materials", Gordon and Breach Science Publishers, 1984.
45. Dhawale Sariputra. A., Shirolkar. A., "A Review of Plant Leaf Disease Detection And Classification Based On Digital Image Processing Techniques", International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research, Vol. 4, pp. 36-38, 2016.
46. Camargo. A., Smith. J. S., "An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms", Biosystems engineering, Vol. 102, pp. 9-21, 2009.
47. Deepak. J. D., Sayyad. M.A., "Computer Vision image Enhancement and Plant Leaves Disease Detection" International Journal Of Modern Trends in Engineering and Research, Vol. 2, pp. 106-110, 2015.
48. Maharlooei. M., Sivarajan. S., Bajwa. S.G., Harmon. J. P., Nowatzki. J., "Detection of soybean aphids in a greenhouse using an image processing technique", Computers and Electronics in Agriculture, Vol 132, pp. 63-70, 2017.
49. Hamuda. E., Glavin. M., "A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 125, pp. 184-199, 2016.
50. Tang. J. L., Chen. X. Q., Miao. R. H., Wang. D., "Weed detection using image processing under different illumination for site-specific areas spraying", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 122, pp. 103-111, 2016.
51. Arroyo. J., Guijarro. M., Pajares. G., "An instance-based

64. Yuzhu. H., Xiaomei. W., Shuyao. S., “Nitrogen determination in pepper (Capsicum frutescens L.) plants by color image analysis (RGB)”, African Journal of Biotechnology, Vol. 10, pp. 17737-17741, 2011.
65. Pagola. M., Ortiz. R., Irigoyen. I., Bustince. H., Barrenechea. E., Aparicio-Tejo. P., Lamsfus C., Lasa. B., “New method to assess barley nitrogen nutrition status based on image colour analysis: comparison with SPAD-502”, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 65, pp. 213-218, 2009.
66. Zakaluk. R., Ranjan. R. S., “Artificial neural network modelling of leaf water potential for potatoes using RGB digital images: a greenhouse study”, Potato Research, Vol. 49, pp. 255-272, 2006.
67. Auearunyawat. P., Kasetkasem. T., Wongmaneeroj. A., Nishihara. A., Keinprasit. R., “An automatic nitrogen estimation method in sugarcane leaves using image processing techniques”, In International Conference on Agricultural, Environment and Biological Sciences (ICAEBS'2012), pp. 39-42, 2012.
68. Wang. F. Y., Wang. K. R., Li. S. K., Gao. S. J., Xiao. C. H., Chen. B., Chen. J.L., Lu. Y.L., Diao. W. Y., “Estimation of canopy leaf nitrogen status using imaging spectrometer and digital camera in cotton”, Acta Agronomica Sinica, Vol. 37, pp. 1039-1048, 2011.
69. Liming. X., Yanchao. Z., “Automated strawberry grading system based on image processing”, Computers and Electronics in Agriculture. pp. S32-S39, 2010.
70. Zawbaa. H. M., Abbass. M., Hazman. M., Hassenian. A. E., “Automatic Fruit Image Recognition System Based on Shape and Color Features”, In International Conference on Advanced Machine Learning Technologies and Applications, Springer International Publishing, pp. 278-290, 2014.
71. Bai. X., Li. X., Fu. Z., Lv. X., Zhang. L., “A fuzzy clustering segmentation method based on neighborhood grayscale information for defining cucumber leaf spot disease images”, Computers and Electronics in Agriculture, Vol 136, pp. 157-165, 2017.
72. Graham. P.H., “Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in Phaseolus vulgaris L.: A review” Field Crops Research, pp. 93-112, 1981.
73. Peña-Cabriales. J. J., Grageda-Cabrera. O.A., Kola. V., Hardarson. G., “Time course of N2 fixation in common bean (Phaseolus vulgaris L.)”, Plant and soil, vol 152, pp. 115-121, 1993.
74. Piha. M.I., Munns. D.N., “Nitrogen fixation capacity of field-grown bean compared to other grain legumes”, Agronomy Journal, vol 79, pp. 690-696, 1987.
75. Vincent. J. M., “Root-nodule symbiosis with Rhizobium”, Biology of nitrogen fixation, North-Holland Publishing Co, Amsterdam, pp. 265-341. 1974.
76. Westermann. D.T., Kleinkopf. G.E., Porter. L.K., Leggett. G.E., “Nitrogen sources for bean seed production”, Agronomy Journal, vol 73: pp. 660-664, 1981.