شناسایی ژنوتیپ‌های گردو با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و شبکه عصبی (۱۲۰)

محمود محمودی[۱]، جواد خزایی[۲]، کورش وحدتی[۳]

چکیده

یکی از مهم‌ترین ابزارها در برنامه به نژادی گیاهان، شناسایی ژنوتیپ های مختلف آن گیاهان می‌باشد. یکی از فرایندهای معمول در انجام این عمل بر اساس بررسی چشمی برگ‌ها و میوه‌های گیاهان می‌باشد. در این بررسی خواص رنگی و ظاهری برگ‌ها و میوه‌ها بررسی می‌شود. شناسایی نمونه ها و طبقه‌بندی با استفاده از ماشین بینایی می‌تواند سریع‌تر انجام گردد. در این تحقیق سه نمونه گردوی تجاری (Lara, Serr, Rond de montignac) و دو ژنوتیپ (Z_{63} وZ_{53}) مورد مطالعه قرار گرفت. از نمونه‌ها تصویر برداری شد و خواص مورفولوژیکی و رنگی برای هر یک از تصاویر محاسبه شد و سپس دو مدل شبکه عصبی ناظر(Feed forward back propagation) و غیر ناظر(Self organized map) جهت طبقه بندی نمونه‌ها استفاده شد. شبکه ناظر نسبت به شبکه غیر ناظر دارای جوابدهی بهتری بود. کمترین خطا در شبکه ناظر با چهار لایه مرکب از ۲۰ نرون مخفی بدست آمد. این شبکه دارای ۴۵ متغیر ورودی بود که باعث طبقه بندی صحیح بقرار زیر شد. ۱۴۶ نمونه از ۱۵۰ نمونه آموزشی (دقت ۹۷٪) و ۴۷ نمونه تشخیص صحیح از ۵۰ نمونه تست (دقت ۹۴٪). همانطور که مشخص است دقت طبقه بندی شبکه در نمونه های تست و آموزش تقریبا برابر است بنابراین شبکه ناظر می‌تواند بخوبی سه واریته و دو ژنوتیپ (پنج ژنوتیپ) را از هم تشخیص دهد.

کلیدواژه: ژنوتیپ، گردو، پردازش تصویر، شبکه عصبی

۱- دانشجوی کارشناسی رشد، گروه مهندسی و ماشین آلات کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران،
پست الکترونیک: mahmoodi5@gmail.com
۲- استادیار گروه مهندسی و ماشین آلات کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۳- استادیار گروه تولیدات گیاهی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۱. مقدمه

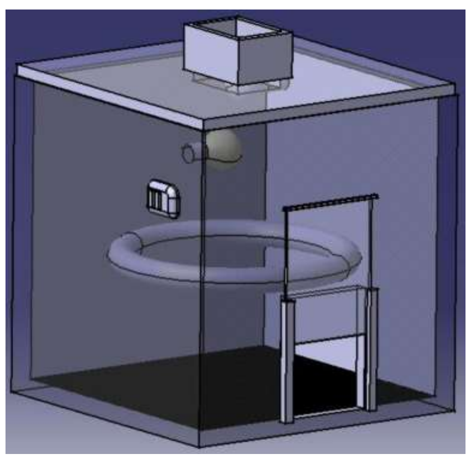
گردوی ایرانی (Juglans regia L.) خشک میوهای با ارزش از نظر اقتصادی است که با توجه به ارزش غذایی بالایی که دارد در صورت توجه بیشتر می تواند نقش زیادی در سلامت و ارز آوری کشور داشته باشد [۲]. فلات ایران یکی از مهمترین مناطق پراکنش و تنوع این گیاه می‌باشد. ژنوتیپ‌های مختلف گردو بطور وسیعی در این کشور در آب و هوای کوهستانی و سردسیر با طول جغرافیایی ۳۵ تا ۵۰ درجه پراکنده شده اند [۲]. با انجام کارهای اصلا ی می‌توان ارقام دارای صفات برتر را شناسایی، ارزیابی و معرفی نمود. اولین گام در برنامه‌های اصلاحی ژنتیکی این گیاه شناسایی ژنوتیپ‌های گردو می‌باشد. برای این منظور از روش‌های مختلفی نظیر روش‌های مورفولوژیک و ملکولی استفاده می‌شود. روش‌های مورفولوژیک به دلیل این که تابع عوامل محیطی می‌باشد، دقیق نیستند . روش‌های ملکولی نیز با وجود دقت بالاتر بسیار هزینه بر می‌باشند [۱]. در حالی که ما در این تحقیق شناسایی را بر اساس خواص ظاهری برگ گردو انجام دادیم. رنگ برگ قادر است مقدار و نسبت کلروفیل و رنگدانه‌ها را در برگ نشان دهد. از طرفی رنگدانه‌ها، نشان دهنده اصلی مواد غذایی برگ می‌باشند پس رنگ برگ بیانگر مواد مغذی برگ می‌باشد[۹]. تشیکو[1] در سال ۲۰۰۷ به شناسایی واریته‌های گیاهان با استفاده از آنالیز تصاویر حاصل از برگ گیاهان پرداخته است. در آنالیزتصاویر از ماتریس Co occurrence استفاده کرده است. جهت شناسایی و یته‌های گیاهان از آنها برگ‌هایی جدا کرد و بصورت مجزا عکس گرفت. سیکل جداسازی بر اساس خواص مورفولوژیکی با استفاده از چشم، کم دقت و طاقت فرسا می‌باشد بنابراین ما احتیاج به یک روش سریعتر و دقیقتر داریم. جداسازی با ماشین بینایی و با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر در حالاتی که اطلاعات باید بصورت چشمی و با تکرار بدست آورده شود سریعتر است [7]. در سال ۲۰۰۵ ، زائو یان[2] و همکاران توانستند به شناسایی واریته برنج با استفاده تکنیک‌های پردازش تصویر و شبکه عصبی بپ دازند. واریته‌های برنج مورد استفاده ey7954, syz3, xs11, xy5968, xy9308, z903 بودند، از این واریته‌ها ۷ ویژگی رنگ و ۹ ویژگی مورفولوژیکی بدست آورده شد. از هر واریته حدود ۲۰۰ نمونه برای آموزش شبکه انتخاب شد و بعد از آموزش از ۶۰ نمونه برای تست شبکه استفاده کردند. لای[3] و همکاران در سال ۱۹۸۶ تعدادی تکنیک شناسایی طرح جهت شناسایی و طبقه بندی غلات ارائه دادند. آیت کن هد[4] و همکاران در سال ۲۰۰۳ با استفاده از تکنیک ماشین بینایی علف‌های هرز داخل مزرعه را از گیاه جدا کردند [10]. گیاه مورد استفاده هویج (Daucus carota L.) و علف‌های هرز مزرعه ryegrass (Lolium perenne) وFat Hen (Chenopodium album) بودند. در ابتدا از خواص مورفولوژیکی (سطح و محیط) بدست آمده از برگ گیاهان استفاده کردند و توانستند آنها را از هم جدا کنند سپس از مدل شبکه عصبی self- organising استفاده کردند تا گیاه را از علف هرز جدا کند. نسیراجن[5] و همکاران در سال ۲۰۰۶ به طبقه‌بندی واریته‌های گندم با استفاده از تصاویر بدست آمده با اشعه X پرداخته اند[8]. خصوصیات مورفولوژیکی تصاویر با استفاده از ممان‌های شکل محاسبه شده‌اند و خصوصیات ساختاری واریته ها را نیز با ممان‌های ساختاری رنگ تصاویر محاسبه دند. در این تحقیق عکس–ها در سه رطوبت مختلف گرفته شده‌اند و مشاهده شد که هر چه رطوبت بالا می‌رود نتایج دقیق‌تر می‌شود.. پیدیپاتی[6] و همکاران در سال ۲۰۰۶ جهت ارزیابی کیفیت انه‌ها و میوه‌ها از ماشین بینایی استفاده کردند آنها بیماری مرکبات را با ستفاده از خصوصیات ساختاری رنگ برگ از هم تمایز دادند[۴] .در سال ۱۹۹۶ کرو و دلویچ[7] آلگوریتمی برای آنالیز خسارات سیب و هلو با استفاده از تصاویر NIR طراحی کردند. مطالعات بالا نشان داد که دقت طبقه‌بندی وقتی که خواص ازه‌گیری شده بین واریته‌های مختلف تفاوت بیشتری داشته باشد بالاتر است . با توجه به سهولت و دقت شناسایی ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش پردازش تصویر در این مطالعه به بررسی امکان استفاده از این روش در شناسایی ژنوتیپ‌های گردو پرداخته شد.

---

[1] Tshiko
[2] Zhao-yan
[3] Lai et al.
[4] Aitkenhead
[5] Neethirajan
[6] Pydipati
[7] Crowe and Delwiche

۲. واد و روش‌ها

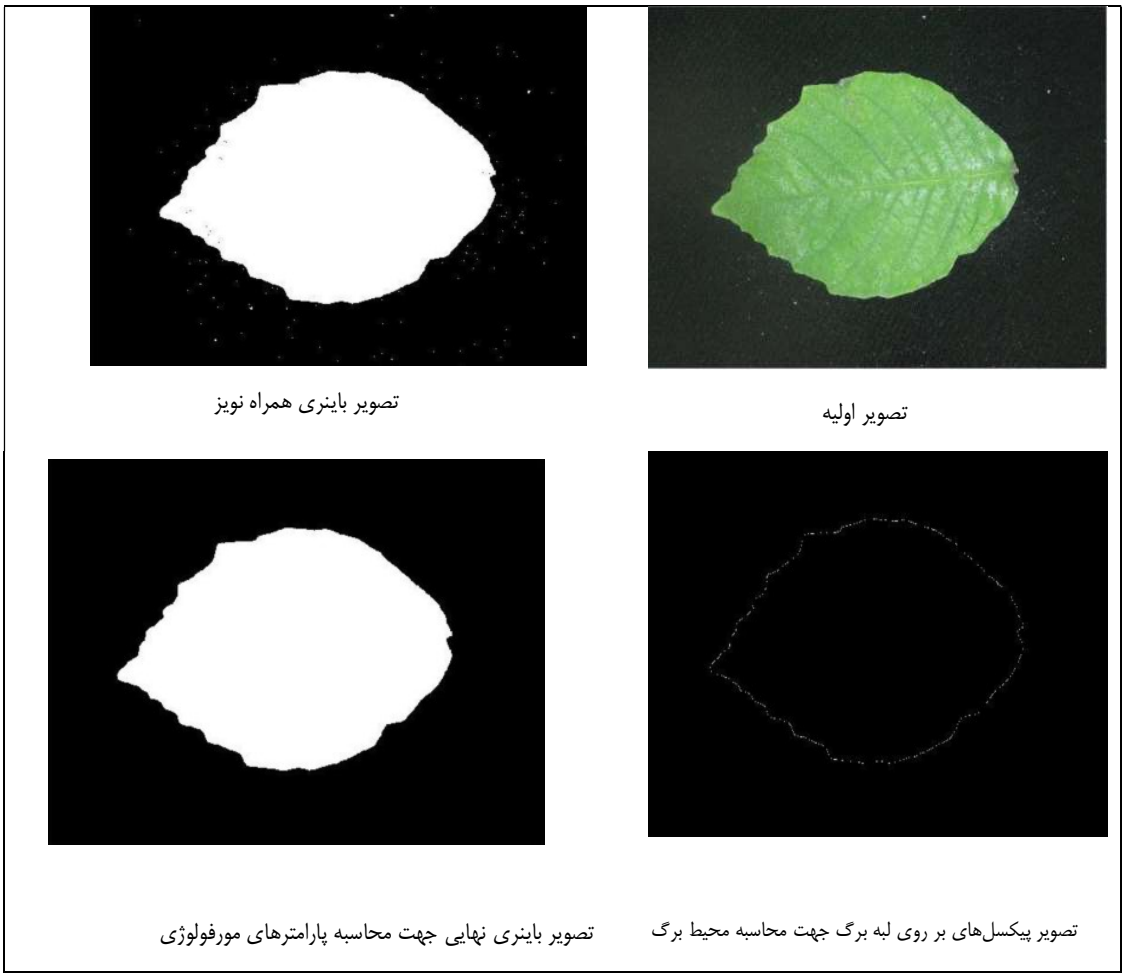
خواص مورفولوژیکی و رنگی برگ سه رقم تجاری بـه نـام‌هـای (Lara, Serr, Rond de montignac) و دو ژنوتیپ برتر(Z_{63} وZ_{53}) گردو تعیین گردید. نمونه‌های مختلف برگ از مؤسسه اصلاح نهال و بـذر کـرج تهیـه شد. جهت حفظ شکل برگ‌ها، آنها را داخل پوشه‌های کاغذی مخصوص قرار داده و داخل دانشگاه عکس آنهـا آماده شد. برای جلوگیری از ایجاد نویز بوسیله نور محیط از جعبه خاص بـا نـور قابـل تنظـیم مطـابق شـکل ۱ استفاده شد. زمینه عکس‌ها را برای کاهش اثر سایه و نـویز سـیاه گـرفتیم و از نـور سـفید همـراه یـک لامـپ فلورسنت گرد استفاده کردیم تا بهترین تصویر با کمترین نویز آماده شـد. در ایـن کـار از دوربـین Canon G7 استفاده شد، تصاویر بر روی حافظه آن ذخیره شده و به کامپیوتر شخصی منتقل شده و با استفاده از Toolbox Image processing نرم‌افزار MATLAB تصاویر پردازش شد و سـپس بـا اسـتفاده از Toolbox Neural Network ایـــــــن نرم‌افزار به طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها پرداختیم.



شکل ۱. شماتیک محفظه عکس نور قابل تنظیم

خواص مورفولوژیکی با استفاده از آنالیز شکل (Shape Analysis) محاسبه شدند. در آنالیز شکل ابتدا تصاویر به تصاویر باینری تبدیل شدند، بعد از شناسایی سطر سطر عکس بوسیله نرم‌افزار، object های داخل تصویر شناخته شده و برگ جدا شد، سپس نویزهای تصویر پر شد و تصویر نهایی برای محاسبه پارامترها آماده گردید. شکل۲. مراحل استفاده شده برای دستیابی به برگ نهایی را برای یکی از برگ‌ها نشان می‌دهد..

پارامترهای مورفولوژیکی محاسبه شده جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مختلف گردو عبارتند از:
Area, Perimeter, Major Axis Length (MAL), Minor Axis Length (SAL), Equivalent Diameter (EQD), Convex Hull Area (CHA), Extent, Solidity, Eccentricity.



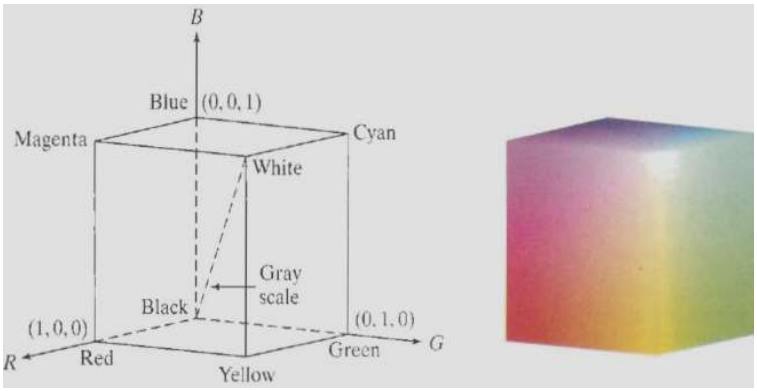
شکل ۲. مراحل تبدیل تصویر به تصویر باینری

ویژگی‌های رنگی برگ با استفاده از آنالیز رنگ (Color Analysis) از تصاویر به دست آمده از برگ‌ها بدست آورده‌شد. در این آنالیز از کانال رنگ RGB استفاده شد.

۲.-۱. کانال نگ RGB

در مدل RGB هر رنگ به صورت مؤلفه‌های طیفی اولیه قرمز(R)، سبز(G) و آبی(B) ظاهر می‌شود. این مدل بر اساس سامانه مختصات کارتزین است (شکل ۳). در آن مقادیر RGB در سه گوشه؛ آبی فیروه‌ای، بنفش و

زرد در سه گوشه دیگر؛ سیاه در مبدأ؛ و سفید در دورترین نقطه از مبدأ ست. در این مدل محدوده خاکستری از سیاه تا سفید در طول خط واصل این دو نقطه قرار دارد. یکی از بهترین مثال‌های کاربرد مدل RGB، پردازش داده‌های تصویری چند طیفی هوایی یا ماهواره‌ای است (رافائل سی گونزالس).



شکل ۳. کانال رنگ RGB (مختصات کارتزین)

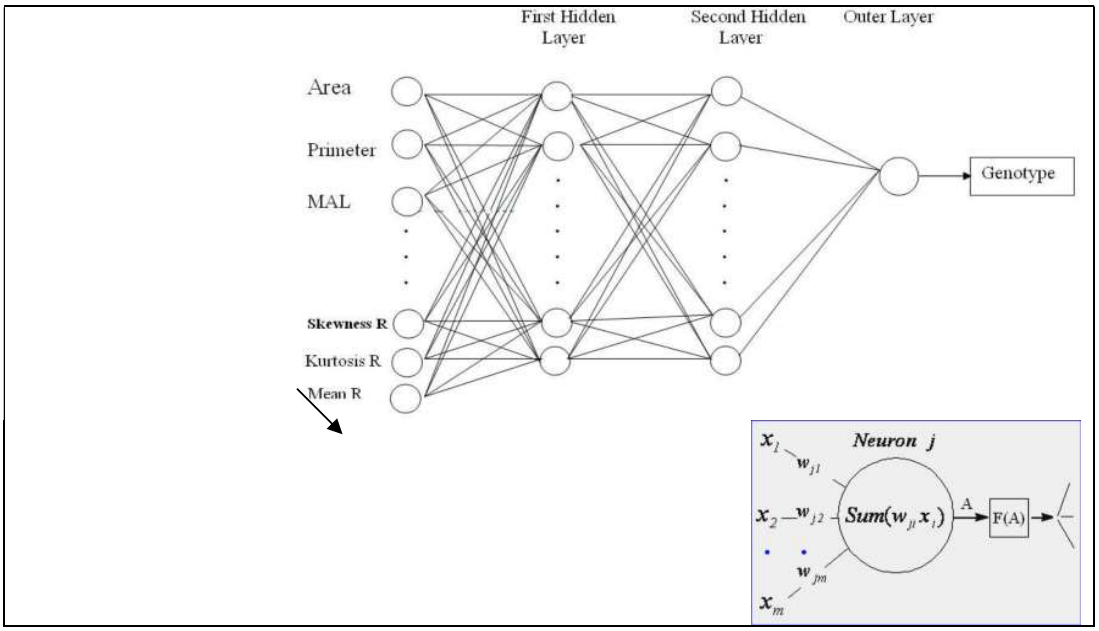
برای بررسی خواص رنگی برگ پارامترهای زیر برای هر مولفه رنگ برگ در کانال رنگ محاسبه شد.

Mean, Standard deviation, Entropy, Energy, Kurtosis, Skewness

ما رابطه (آبی+ قرمز)/(آبی- قرمز) که یک فرمول نرمال از مولفه‌های رنگ RGB است و رابطه نزدیکی با میزان کلروفیل برگ دارد محاسبه کردیم. این رابطه اولین بار توسط شیگتو کاواشیما[1] در سال 1997 با تست روابط مختلف رنگ و کلروفیل بدست آمده است [3]. در سال‌های اخیر از این روابط رنگ و نور برای ساخت دستگاه‌هایی مانند Spad برای اندازه‌گیری کلروفیل برگ استفاده زیادی شده است. در نهایت پارامترهای محاسبه شده برای هر برگ که ۵۰ بار تکرار از هر ژنوتیپ را نیز همراه داشت برای استفاده در شبکه عصبی و دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها استفاده شد. در این تحقیق از دو مدل شبکه عصبی ناظر (Supervised) و خود سازمان ده (Unsupervised) استفاده شد. از شبکه‌های ناظر، مدل Feed Forward back propagation و از شبکه-های خود سازمان‌ده (غیر ناظر) Self Organized map مورد بررسی قرار گرفت و مقایسه گردید. برای شبکه مدل ناظر، تعداد نرون در لایه ورودی برابر تعداد متغیر ها یا دسته امواج می‌باشد و تعداد نرون در لایه آخر یک عدد می‌باشد که بیانگر هر یک و ریته‌ها می‌باشد. کمترین خطا در حالتی که شبکه دارای چهار لایه و ۲۰ نرون مخفی بود بدست آمد. بهترین یادگیری سیستم با ۱۲۰۰۰ تکرار آموزش انجام گرفت. متغییرهای ورودی شبکه مدل ناظر ۳۰ متغیر (۲۱ ویژگی رنگی و ۹ ویژگی مورفولوژیکی) بود شبکه ناظر طراحی شده مطابق شکل ۴

[1]Shigeto Kawashima

می‌باشد. در حین آموزش، پارامتر وزن شبکه بعد از هر بار تکرار تغییر می‌کند. میزان همگرایی این شبکه با دو شرط بررسی می‌شود: در حالتیکه میانگین مربعات خطا برای نمونه های آموزشی کوچکتر از تلرانس باشد یا خطای خروجی برای هر نمونه آموزشی کوچکتر ازدیگر مقدار تلرانس‌های تعریف شده باشد.



شکل ۴. ساختار شبکه مدل ناظر مورد استفاده در این مطالعه

در شبکه غیر ناظر هر نرون یک وزن در خود ذخیره می‌کند. و شبکه ارتباطات توپولوژیکی بین ورودی-ها را حفظ می‌کند.

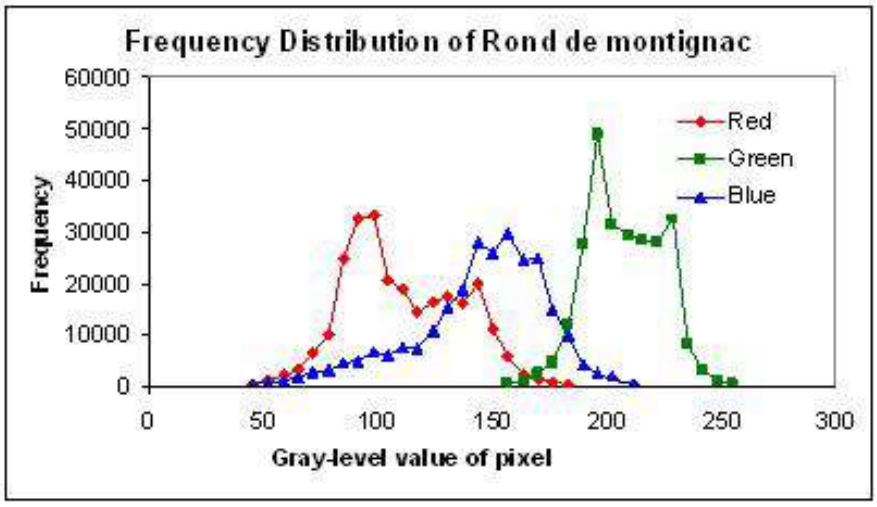
آموزش، تست و معتبر سازی دو مدل شبکه با استفاده از ۲۵۰ تصویر از برگ های ژنوتیپ‌های مختلف انجام گرفت (۵۰ تا از هر ژنوتیپ). جهت آموزش از هر ژنوتیپ ۳۰ تصویر از برگ‌ها و جهت تست از هر ژنوتیپ ۱۰ تصویر انتخاب شد و در پایان جهت معتبر سازی از هر ژنوتیپ ۱۰ تصویر از برگ‌ها انتخاب شد.

۳. تایج و بحث

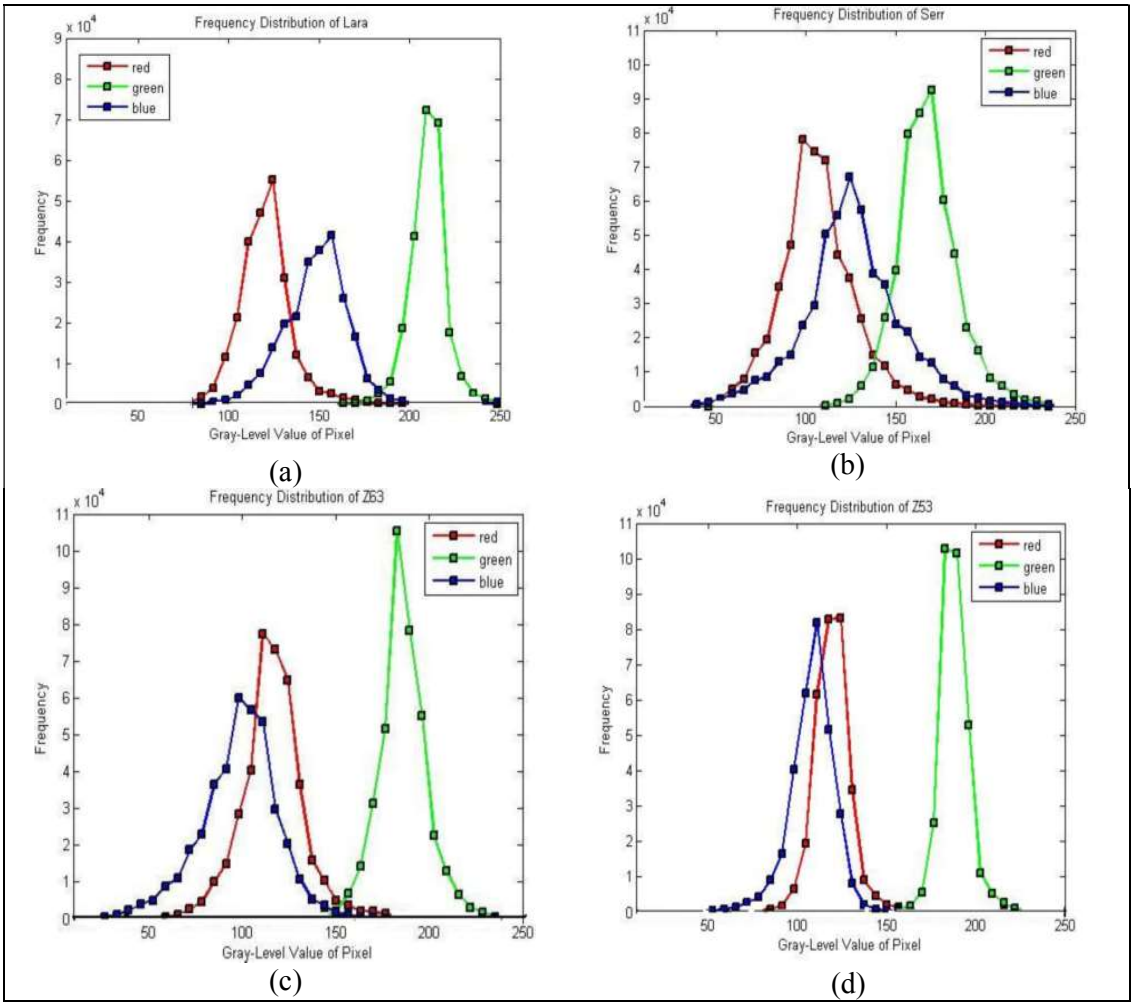
۳-۱. توصیف خواص رنگی نمونه‌ها

شکل‌های ۵و ۶ توزیع فراوانی مولفه‌های رنگی هر یک از و ریته‌ها را نشان می‌دهد. هر یک از توزیع‌های فراوانی مولفه رنگ قرمز، سبز و آبی، بصورت ارتباط بین مقادیر سطوح خاکستری و تعداد پیکسل‌هایی که

دارای مقادیر برابر هستند بیان می‌شوند. براحتی می‌توان فهمید که در همه نمونه‌ها میانگین رنگ سبز نسبت به دو مولفه دیگر تمایز دارد. همانطور که در شکل‌های ۵ و ۶ دیده می‌شود شدت سطوح سبز نسبت به مولفه‌های دیگر بزرگتر است، علاوه بر این توزیع فراوانی مولفه‌های رنگی در واریته Rond de montignac نسبت به توزیع فراوانی سایر نمونه‌ها دارای کمترین اختلاف می‌باشد.

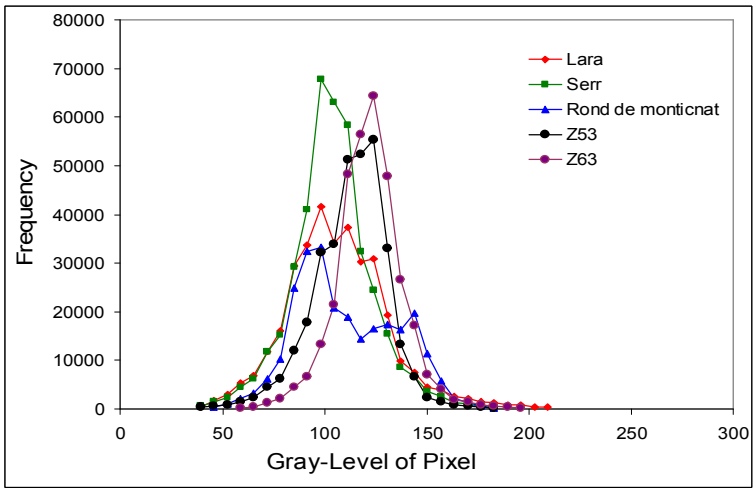


شکل ۵. توزیع فراوانی مولفه‌های رنگی ژنوتیپ Rond de montignat

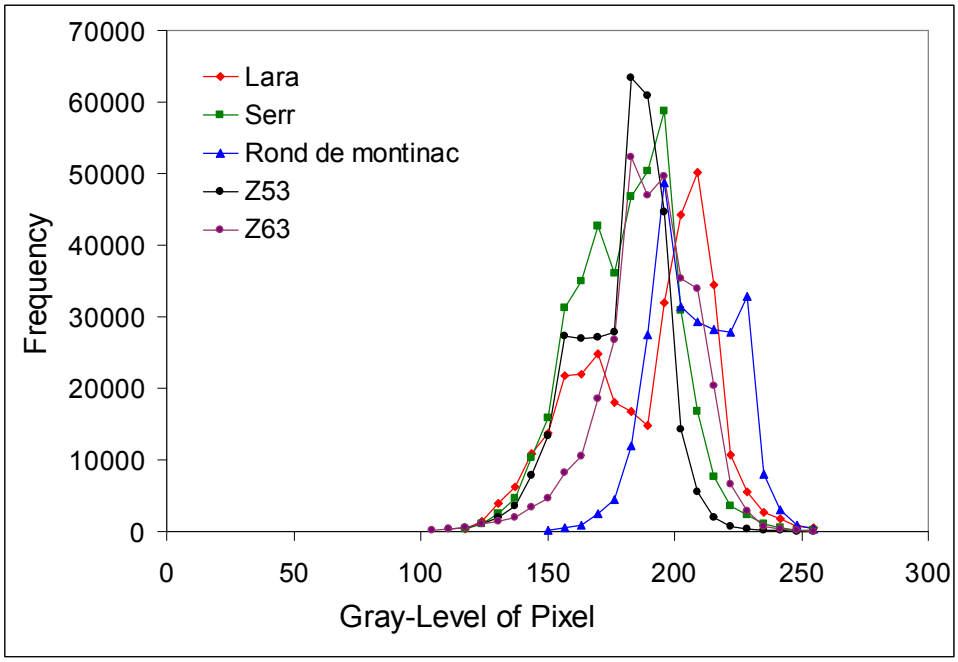


شکل ۶. توزیع فراوانی مولفه‌های رنگی در ژنوتیپ‌های گردو، Lara (a), Serr (b), Z53 (c), Z63 (d)

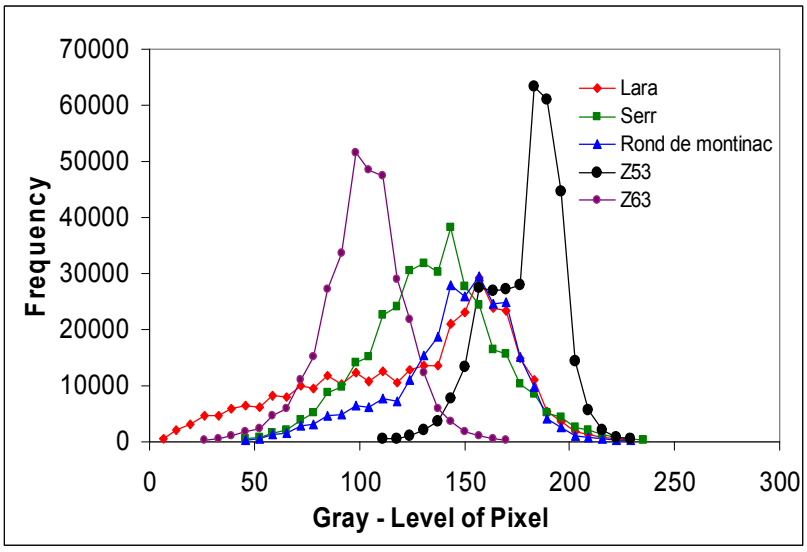
همانطور که در شکل‌های ۷ تا ۹ یده می‌شود از مقایسه توزیع‌های مولفه‌های رنگ مختلف جهت جداسازی واریته‌ها، مولفه‌های رنگ قرمز و سبز داری کمترین امید جداسازی و مولفه رنگ آبی دارای بیشترین امید بود از این مبحث می‌توان فهمید که مولفه رنگ آبی امیدبخش‌ترین مولفه جهت جداسازی نمونه ها از هم می‌باشد.



شکل ۷. توزیع فراوانی مولفه رنگ قرمز در ژنوتیپ‌های گردوی مورد مطالعه



شکل ۸. توزیع فراوانی مولفه رنگ سبز در ژنوتیپ‌های گردوی مورد مطالعه

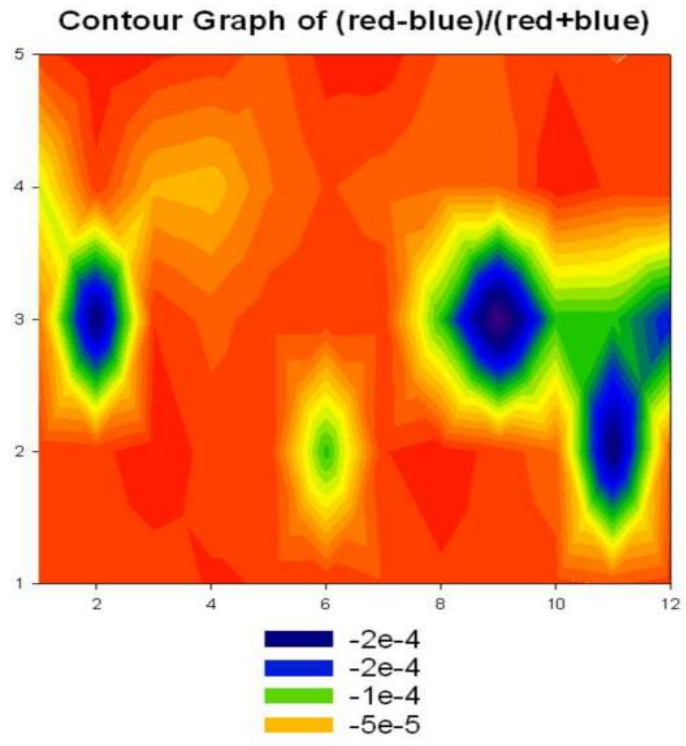


شکل ۹. توزیع فراوانی مولفه رنگ آبی در ژنوتیپ‌های گردوی مورد مطالعه

پارامترهای آماری برای دو مولفه رنگی آبی و سبز محاسبه شدند و در جدول ۱ ارائه شدند. همانطور که در جدول ۱ مشخص است، مقادیر میانگین رنگ سبز در همه نمونه‌ها از ۸۸,۲ برای Rond de montignac تا ۹۹,۸ برای Serr تغییر کرد و انحراف معیار از ۸,۷ برای Lara تا ۱۷,۷ برای Z_{63} تغییر کرد در حالی که مقدار میانگین مولفه آبی از ۶۲,۵ برای Z_{63} تا ۸۰,۴ برای Serr و انحراف معیار ۵,۶ برای Serr تا ۱۴,۹ برای Rond de montignac تغییر کرد. رابطه نرمال شده (قرمز+آبی)/(آبی–قرمز) که نزدیکترین رابطه را با میزان کلروفیل داخل برگ دارد در گراف شکل ۸ برای ژنوتیپ‌های مختلف ارائه شده است. همانطور که می‌توان دید منفی ترین نقاط در گراف مربوط به Serr و Rond de montignac است که با اعداد ۱و۲ در گراف نشان داده شده اند و این در حالیست‌که مقدار این رابطه برای Z_{53} نسبت به دیگر نمونه‌ها بیشتر است.

جدول ۱. پارامترهای آماری مولفه‌های رنگ از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

	Lara		Serr		R.D.M		Z_{63}		Z_{53}	
پارامترهای آماری	سبز	آبی	سبز	آبی	سبز	آبی	سبز	آبی	سبز	آبی
میانگین	92.5	76.3	99.8	80.4	88.2	69.9	90.1	62.5	96. 1	71.4
میانه	91.1	77.4	97.9	80.6	84.9	64.4	90.3	64.2	91.9	72.7
انحراف معیار	8.7	12.7	11.6	5.6	13.4	14.9	11.9	6.7	17.7	12.3
کورتسیس	-1.4	-0.9	1.4	-0.7	0.4	-0.3	-1.5	1.5	8.8	-0.1
اسکیونس	0.04	-0.2	1.2	-0.2	0.9	0.9	0.4	-0.6	2.8	0.5
مینیمم	79.7	54.6	88.1	70.6	72.3	55.4	76.6	49.3	83.4	53.8
ماکزیمم	104.7	93.8	125.4	88.7	113.5	96.9	107.4	73.4	147.2	95.3
CL (95%)	4.8	7.1	8.33	3.9	11.2	12.4	9.2	5.2	11.9	8.2



شکل ۱۰ گراف حاصل از رابطه (قرمز+آبی)/(آبی-قرمز) برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی

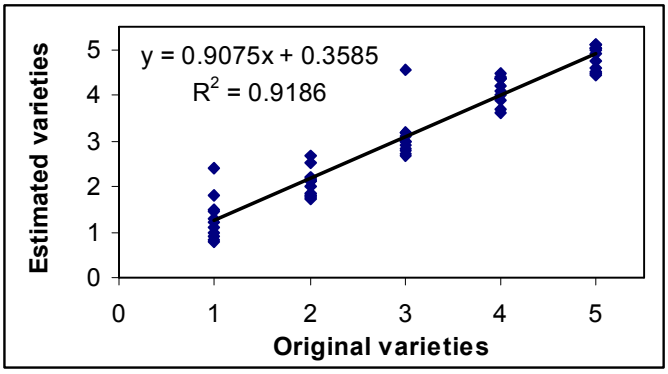
خواص مورفولوژیکی بدست آمده از تصاویر حاصل از نمونه‌های گردو در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر این خواص با میانگین-گیری از ۵۰ تصویر تکراری از هر ژنوتیپ بدست آمده ست. بر اساس جدول ۲ همه پارامتر بغیر از Eccentricity از ژنوتیپ Serr بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

جدول ۲. پارامترهای محاسبه شده از خواص مورفولوژیکی از ژنوتیپ‌های گردو

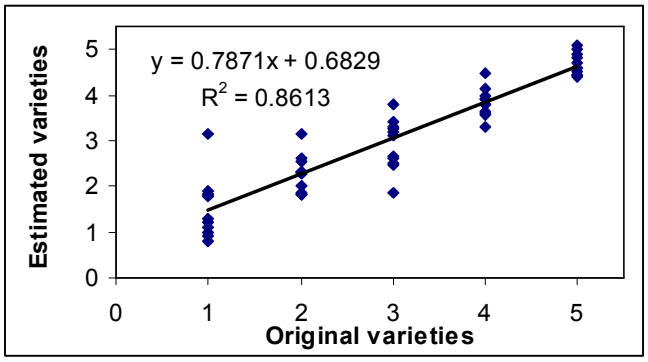
Parameter	Lara	Serr	R.D.M	Z_{63}	Z_{53}
Area	405118.3	658769.9	376247.1	575486.6	424369.4
Perimeter	2723.5	3377.4	2648.6	3426.1	2484.0
MAL	900.5	1131.6	952.5	1085.4	936.3
SAL	584.8	698.5	492.8	660.8	654.5
Eccentricity	0.77	0.79	0.84	0.78	0.80
CHA	394090.2	684194.9	394597.1	598085.9	422415
EQD	668.1	879.7	677.7	837.6	703.9
Solidity	0.95	0.96	0.95	0.96	096
Extent	0.67	0.68	0.65	0.68	0.67

۳-۲. طبقه بندی

جهت طبقه بندی و جداسازی ژنوتیپ‌ها از هم شبکه عصبی بخوبی جواب داد. جهت اپتیمم سازی شبکه، تعداد نرون‌ها مخفی، تعداد تکرار آموزش، سرعت آموزش و مقدار مومنتم اصلاح شد. مینیمم خطا در جداسازی با چهار لایه شبکه و ۲۰ نرون مخفی و در شبکه نوع ناظر بدست آمد. فاز آموزش ارای ۱۲۰۰۰ تکرار بود و در انتهای آموزش میانگین مربعات خطا ۰,۰۶۵ بدست آمد. شناسایی و طبقه بندی ژنوتیپ‌ها با در حالت آموزش با ۹۷٪ دقت (۱۴۵ تا از ۱۵۰ نمونه آموزشی) و در حالت تست ۹۴٪ دقت ۴۷ تا از ۵۰ نمونه تست) بر اساس نتایج بدست آمده از شبکه ناظر، این شبکه بخوبی قادر به تشخیص نمونه‌ها بود. همانطور که از شکل ۱۱ مشخص است شبکه ناظر بهتر از شبکه غیر ناظر عمل جداسازی نمونه‌ها را انجام داده است. شبکه غیر ناظر مورد استفاده از ۱۵ نرون مخفی با Lcoef برابر ۲۵۰، ۱۰ ردیف و ستون با Lcoef برابر ۰,۰۶، نوع آموزش Norm–Com–D و تابع انتقال Sigmoid با فاز تکرار ۸۰۰۰ بار آموزش و میانگین مربعات خطای ۰,۱۵۵ بهترین جداسازی خود را انجام داد که منجر به جداسازی در حالت آموزش ۹۳٪ دقت (۱۴۰ تا از ۱۵۰ نمونه مورد آموزش) و ۸۴٪ دقت در هنگام تست (۴۲ ا از ۵۰ نمونه مورد تست) گردید.



(a)



(b)

شکل ۱۱. نحوه جداسازی با استفاده از دو مدل شبکه عصبی، ناظر (a) و غیر ناظر (b) از پنج نمونه مورد آزمایش
Lara, 1, Serr, 2, R.D.M, 3, Z_{63}, 4, Z_{53}, 5

٤. نتیجه گیری کلی

این تحقیق نشان می‌دهد که خواص رنگی و مورفولوژیکی می‌توانند بطور موفقی باعث تمایز ژنوتیپ‌های مختلف گردو از هم شوند. از مقایسه توزیع فراوانی مولفه‌های رنگی بدست آمد که، مولفه رنگ آبی، بهترین مولفه جهت جداسازی نمونه ها از هم بود. طبقه بندی با استفاده از مدل شبکه عصبی ناظر نسبت به مدل غیر ناظر جوابدهی بهتر و با دقت بیشتر داشت. بطوریکه تقریبا با دقت بیشتر از ۹۵٪ توانست نمونه‌ها را از جداسازی کند.

منابع

۱- محسنی، س. ۱۳۸۶. مطالعه تنوع ژنتیکی برخی تودههای گردوی استان کرمان با استفاده از نشانگرهای مورفولوژیک و ریزماهواره. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته تولیدات گیاهی. پردیس ابوریحان. دانشگاه تهران.

۲- وحدتی، ک. ۱۳۸۳. احداث خزانه و پیوند گردو. انتشارات خانیران. ۱۱۳ صفحه .

3- S. Kawashima and M. Nakatani, 1997. An algorithm for estimating chlorophyll content in leaves using a video camera. Annals of Botany, 81 :49-54.

4- R. Pydipati, T. F. Burks, 2006. Identification of citrus disease using color texture features and discriminated analysis. Computers and Electronics in Agriculture, 52: 49–59.

5- E. Suchowilska and M. Wiwart, 2006. Multivariate analysis of image descriptors of common wheat (Triticum aestivum) and spelt (T. spelta) grain infected by Fusarium culmorum. International Agrophysics (Int. Agrophysics), 7.

6- R. Tsheko, 2007. Discrimination of Plant Species Using Co Occurrence Matrix of Leaves. 12.

7- L. Zhao-yan, C. Fang, 2005. Identification of rice seed varieties using neural network. Journal of Zhejiang University Science, 6.

8- Neethirajan, S., C. Karunakaran, 2006. Classification of vitreousness in durum wheat using soft X-rays and transmitted light images. Computers and Electronics in Agriculture 53: 71–78.

9- Kavashima, S. and M. Nakatani, 1997. An algorithm for estimating chlorophyll content in leaves using a video camera. Annals of Botany 81: 49-54.

10- Aitkenhead, M. J., I. A. Dalgetty, 2003. Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods. Computers and Electronics in Agriculture 39: 157-171.