



Location and Detection of the Saffron Flower using Image Processing Technique

Mostafa Dehbashi¹, Amir Rajaei^{2*} and Hossein Kardanmoghadam³

Article type:

Research Article

Article history:

Submitted: 19 June 2021

Revised :8 July 2022

Accepted: 18 September 2022

Available Online: 19 September 2022

How to cite this article:

Dehbashi, M., Rajaei, A., Kardanmoghadam, H. 2022. Location and Detection of the Saffron Flower using Image Processing Technique.

Saffron Agronomy & Technology, 10(3): 227-258.

DOI: 10.22048/jsat.2022.290185.1427

Abstract:

Saffron is one of the most valuable crops on the planet and one of the world's most expensive agricultural and medicinal products. This plant has a special rank among Iran's industrial and export products. One of the challenges in producing this plant is timely harvest from the ground and red stigmas (branches) separating from other parts of saffron because the flowers are harvested in a very short period and harvesting and separating at the limited time is a key point. This research, it has been tried with the help of image processing techniques to recognize saffron flowers and how to identify them on the ground. In the first step, to recognize saffron flowers, the transformation of colored spaces is used. Then, the histogram and the minimum threshold are used to segment and remove extra pixels. For this purpose, to recognize flowers, RGB space is converted to $YCbCr$ space, and the combination of HSI and $YCbCr$ color space is used to distinguish other objects in the image; also, a histogram of C_b component for early identification of saffron flowers is used. Then, those pixels which are misidentified are removed by a threshold value. Next step, the saffron flower needle-shaped leaves placed on the flowers are restored by morphological operation of the proposed method and the flowers that overlap are removed. Then, the type of saffron flower (bud, broken, open flower) is determined, and the ability to harvest or suitability of saffron flowers for harvesting has been determined. Finally, the flower center that can be harvested is recognized, and a saffron harvesting robot will use it. Average results concerning the accuracy, recall, F -measure, correctness, and correlation coefficient were 99.79, 99.42, 99.60, 99.91, and 99.50 achieved by the proposed method, respectively.

Keywords: Flag: Morphological Operation: Color space : Flower bud: Threshold value: Histogram.

1- Department of Computer Engineering, Hafez Higher Education Institution, Zahedan

2- Department of Computer Engineering, Velayat University, Iranshahr

3- Department of Computer Engineering, Birjand University of Technology, Birjand

Corresponding author: fa.rajaei@velayat.ac.ir





مقاله پژوهشی

مکان‌یابی و تشخیص گل زعفران با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر

مصطفی دهباشی^۱، امیر رجائی^{۲*} و حسین کاردان مقدم^۳

تاریخ دریافت: ۲۹ خرداد ۱۴۰۰

تاریخ بازنگری: ۱۷ تیر ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: ۲۷ شهریور ۱۴۰۱

دهباشی، م.، رجائی، ا. و کاردان مقدم، ح. ۱۴۰۱. مکان‌یابی و تشخیص گل زعفران با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر. زراعت و فناوری زعفران، ۱۰(۳): ۲۲۷-۲۵۸.

چکیده

زعفران یکی از با ارزش‌ترین گیاهان زراعی موجود در روی کره زمین می‌باشد، که این گیاه به عنوان گران‌ترین محصول کشاورزی و دارویی جهان جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی کشور ایران دارد. یکی از مشکلاتی که در تولید این گیاه وجود دارد، برداشت به موقع آن از روی زمین و جداسازی کلاله (شاخه) های قرمز زعفران از بقیه قسمت‌های گل زعفران می‌باشد، چرا که عمدتاً گل‌های زعفران در یک بازه زمانی بسیار کوتاه به ثمر می‌رسند و همچنین برداشت و جداسازی آن در این بازه زمانی محدود بسیار اهمیت دارد. در این پژوهش، سعی شده است که با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر به بحث و بررسی نحوه شناسایی گل زعفران در روی زمین پرداخته شود. در مرحله اول برای شناسایی گل زعفران از تبدیلات فضا‌های رنگی استفاده نموده، سپس از طریق هیستوگرام و آستانه‌ها مینیمم نسبت به بخش‌بندی و حذف پیکسل‌های اضافی اقدام شده است. بدین‌منظور، برای شناسایی گل از تبدیل فضای RGB به فضای $YCbCr$ و برای تشخیص سایر اشیاء موجود در تصویر از ترکیب فضا‌های رنگی HSI و YC_bCr استفاده و از هیستوگرام مؤلفه C_b برای تشخیص اولیه گل زعفران بهره برده‌اند. سپس، برخی از پیکسل‌هایی که به اشتباه تشخیص داده شده‌اند، با کمک مقدار آستانه حذف گردیده‌اند. در مرحله بعدی، برگ‌های سوزنی‌شکل گیاه زعفران، که بر روی گل‌ها قرار گرفته‌اند با استفاده از عملیات مورفولوژیک الگوریتم پیشنهادی ترمیم و روی هم افتادگی گل‌ها بازسازی شده است. در گام بعدی، نوع گل زعفران (غنچه، شکسته، گل باز شده) تعیین گردیده و قابل برداشت بودن و یا مناسب نبودن گل زعفران برای برداشت تعیین شده است. در انتها مرکز گل‌هایی که قابل برداشت تعیین شده‌اند، مشخص و در اختیار ربات برداشت زعفران قرار می‌گیرد. میانگین نتایج ارزیابی، با معیار دقت، فراخوانی، F-measure، درستی و ضریب همبستگی به ترتیب ۹۹/۷۹، ۹۹/۴۲، ۹۹/۶۰، ۹۹/۹۱ و ۹۹/۵۰ برای روش پیشنهادی حاصل شده است.

کلمات کلیدی: پرچم، عملیات مورفولوژیک، فضای رنگ، گل غنچه، مقدار آستانه، هیستوگرام.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، موسسه آموزش عالی هاتف، زاهدان

۲- استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ولایت، ایرانشهر

۳- مربی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند

(*)- نویسنده مسئول: a.rajaei@velayat.ac.ir

مقدمه

طبقه‌بندی محصولات کشاورزی برپایه تشخیص کیفیت بصری، که به‌وسیله عامل انسانی صورت می‌گیرد، معمولاً ملالت‌آور، زمان‌بر، آهسته و ناپایدار می‌باشد. درجه‌بندی دقیق، سریع، پایدار و کم‌هزینه می‌تواند با به‌کارگیری بینایی ماشین صورت گیرد. در صنایع غذایی کشورهای پیشرفته، سیستم‌های خودکار با توجه به این حقیقت که نیروی کارگری گران بوده و دقت انسانی نیز محدود می‌باشد، گسترش بیشتری یافته است. پیشرفت در فناوری‌های رایانه‌ای و توجه ویژه به مقوله پردازش تصویر در طول دهه گذشته باعث شده که کارایی این تکنیک در کنترل کیفی محصولات غذایی و کشاورزی بیشتر شناسانده شوند. درجه‌بندی رنگی، یک فرآیند مهم در صنعت کشاورزی به‌خصوص درجه‌بندی محصولات غذایی، میوه‌ها و سبزیجات می‌باشد. رنگ محصول معمولاً برای تخمین کیفیت به کار گرفته می‌شود. از آنجا که محصولات غذایی می‌توانند به وسیله رنگ‌شان طبقه‌بندی شوند، محصولاتمانند هلو، سیب، خیار، سیب زمینی، گوجه فرنگی، انبه و پرتقال با استفاده از این ویژگی

درجه‌بندی می‌شوند. دسته‌بندی میوه‌ها از نظر اندازه، به منظور ارزیابی محصولات کشاورزی برای رسیدن به استانداردهای کیفی مورد توجه می‌باشد.

زعفران نام عمومی Saffron و نام علمی گیاه کرکوس ساتیوس (*Crocus sativus* L.) از تیره زنبقیان است. این گیاه جزو گرانبهاترین گیاهان زراعی موجود در روی کره زمین بوده و تنها گیاهی است که واحد خرید و فروش آن به جای تن و کیلوگرم، مثقال و گرم می‌باشد. زعفران رنگی بدون ساقه بوده و بستر مناسب رویش این گیاه خاک‌های کویری می‌باشد و به همین دلیل به طلالی سرخ یا طلالی کویر نیز شهرت دارد. امروزه خاستگاه اصلی این محصول در شرق مدیترانه و به‌ویژه شرق ایران می‌باشد. زعفران به خاطر نیاز آبی کم، اشتغال‌زایی و درآمدزایی مناسب، ارزآوری بالا، تحمل گیاه در سخت‌زیستی در برابر آفات و بیماری‌ها و همچنین خواص دارویی و غذایی، از دیرباز یک محصول استراتژیک و با ارزش محسوب می‌شود. شکل ۱، پراکندگی کشت و تولید این گیاه را نشان می‌دهد (Kafi, 2002).

Saffron Cultivation Patterns in the World



شکل ۱- مناطق و مراکز تولید و کشت گیاه زعفران

Figure 1- Saffron plant production and cultivation regions and centers.

(al., 2008).

فرآیند برداشت محصول زعفران

امروزه فناوری برداشت مکانیکی گیاهان با محصول در حجم زیاد مانند ذرت و گندم با استفاده از ماشین‌های مکانیزه به راحتی صورت می‌پذیرد. متأسفانه، علی‌رغم پیشرفت‌های زیاد و فناوری‌های جدید کماکان برداشت محصولاتی مانند زعفران توسط نیروی انسانی و به صورت دستی انجام می‌شود. که این امر علاوه بر افزودن هزینه تمام شده و تحت تأثیر قراردادن کیفیت محصول، همچنین سلامتی نیروی انسانی به دلیل تماس مستقیم کارگر با آفت‌کش‌ها را به مخاطره می‌اندازد. طبق بررسی‌های انجام شده، دلیل اصلی عدم وجود سیستم‌های مکانیزه، شکل ردیابی خودکار محصولات، مقطع، محل برش و جمع‌آوری همزمان بدون آسیب رساندن به آنها می‌باشد. در محصول زعفران، اولین مرحله پس از شروع گل‌دهی، مرحله برداشت بوده که دشوارترین و پرهزینه‌ترین و در عین حال حساس‌ترین مرحله زراعت زعفران می‌باشد. برداشت شامل چینیدن گل از مزرعه و جداکردن کلاله از گل بوده که در هر دو مرحله توسط دست به‌وسیله کارگر و نیروی انسانی انجام می‌شود. براساس تحقیقات صورت گرفته، کشت زعفران در مناطق مختلف به سه روش کپه‌ای، ردیفی و درهم صورت می‌پذیرد که در شکل ۲ نشان داده شده است.

زعفران گیاهی است کوچک و چند ساله به ارتفاع ۱۰ الی ۳۰ سانتی‌متر، که از وسط بنه یا قاعده ساقه، تعدادی برگ باریک و دراز خارج می‌شوند. از وسط برگ‌ها، گل زعفران خارج شده که به یک تا سه گل منتهی می‌شوند. گل‌ها دارای ۶ گلبرگ بنفش رنگ هستند که ممکن است در بعضی موارد به رنگ ارغوانی باشند. همچنین گل‌ها دارای ۳ پرچم و یک مادگی منتهی به کلاله سه شاخه به رنگ قرمز متمایل به نارنجی هستند (Behneya, 1991; Kumar et al., 2008). قسمت مورد استفاده این گیاه، انتهای خامه و کلاله سه شاخه می‌باشد که به نام زعفران مشهور است و دارای بوی معطر با طعم کمی تلخ می‌باشد (Zaraatkar et al., 2016).

امروزه کلیه مراحل برداشت تا خشک کردن گل زعفران به صورت سنتی و دستی انجام می‌شود که دارای شرایط کاری بسیار سخت و هزینه‌های بالا است. کیفیت نیز در این مسیر به خاطر پابندی کشاورزان به روش‌های سنتی قربانی شده و به نظر می‌رسد که روش‌های نوین می‌بایست جایگزین کاشت، داشت و برداشت‌های سنتی زعفران گردد. دیگر بسته‌بندی‌های زیبا به تنهایی جواب‌گوی نیاز مشتریان زعفران ایران نبوده و فرآوری نامناسب این محصول با استانداردهای پائین باعث از دست دادن بازارها خواهد شد (Negbie, 1999; Kumar et al., 2008).



شکل ۲ - روش‌های کشت زعفران

Figure 2- Saffron cultivation methods.

فرآوری می‌شوند. برای به‌دست آوردن یک کیلوگرم زعفران خشک بیش از ۱۷۰,۰۰۰ گل و برای هر کیلوگرم گل تازه بیش از ۲,۱۷۰ گل باید از زمین جدا و فرآوری شود. براساس تحقیقات انجام شده، زعفران برداشت شده به‌صورت غنچه میزان رنگ‌دهی، عطر و طعم بیشتری نسبت به گل باز یا نیمه باز دارد، ضمن آنکه آسیب کمتری در حمل و نقل می‌بیند. از طرف دیگر به‌دلیل اینکه چیدن گل از بوته توسط دست صورت می‌پذیرد و با توجه به آلودگی دست‌ها و همچنین کوتاه بودن ارتفاع و احتمال تماس با خاک هنگام چیدن، بر شدت آلودگی محصول نهایی می‌افزاید و این آلودگی کیفیت محصول را با مشکل مواجه می‌نماید (Behneya, 1991). شکل ۳، نحوه برداشت گل زعفران توسط نیروی انسانی، در ساعات اولیه بامداد را نشان می‌دهد.

فرآیند استحصال زعفران از شروع گل‌دهی تا مصرف شامل سه مرحله مهم برداشت، جداسازی کلاله از گل و خشک شدن کلاله می‌باشد. برداشت (چیدن غنچه یا گل) زعفران در ساعات اولیه روز در هوای بسیار سرد و خشن قبل از طلوع خورشید صورت می‌پذیرد، چرا که تابش نور آفتاب بر روی گل موجب بازشدن غنچه می‌گردد. عمر متوسط گل زعفران سه روز می‌باشد که در طی این مدت کشاورز موظف به جمع‌آوری هست، که این خود یکی از مشکلات برداشت بوده و همچنین جداسازی کلاله از گل بلافاصله بعد از برداشت می‌بایست صورت بپذیرد و این امر از وقوع آلودگی قارچی و افت کیفیت جلوگیری خواهد نمود.

سالانه در کشور ایران بالغ بر ۲۵۰ تن زعفران تولید می‌شود که برای آن بیش از ۲۰,۰۰۰ تن گل زعفران از زمین جدا شده و



شکل ۳- برداشت گل زعفران از مزرعه در ساعات اولیه بامداد

Figure 3- Harvest saffron flowers from the farm in the early morning hours.

(Pouyan, 2012). در تجزیه خاکستر زعفران مواد معدنی و املاح منگنز، مس، پتاسیم، سدیم، آهن و گوگرد وجود دارد. عنصر بور (B) از جمله اجزای طبیعی خاکستر زعفران است. از دیگر ترکیبات شیمیایی موجود در زعفران دو دسته متابولیت اصلی تشکیل دهنده آن که به‌صورت زیر می‌توان نام برد:

- کاروتنوئیدهای تشکیل دهنده زعفران شامل آلفا و بتا کاروتن، لیکوپن، زاگزانتین (Zeaxanthin)، کروستین

ترکیبات شیمیایی موجود در زعفران

در تجزیه شیمیایی کلاله زعفران اسانس روغن فرار، گلوکوزید کرو سین، کروستین و پیکروکرو سین وجود دارد. بیش از ۱۵۰ ترکیب فرار و غیرفرار در کلاله خشک زعفران گزارش شده است. علاوه بر آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها، ویتامین‌ها و به‌ویژه ربیوفلاوین، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، نشاسته و صمغ‌ها از دیگر ترکیبات زعفران به شمار می‌روند (Houshyar, 2012).

می‌باشند (Houshyar, 2012).

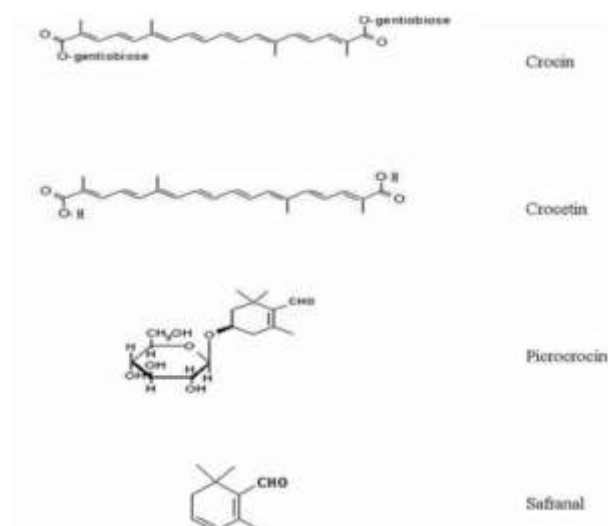
(Crocetin) و کروسین‌ها (Crocine) می‌باشند.

شکل ۴ ساختمان شیمی متابولیت‌های نامبرده را نشان

• مونوترپن آلئوئیدهای تشکیل دهنده زعفران شامل

می‌دهد.

پیکروکروسین (Picrocrocin) و سافرانال (Safranal)



شکل ۴- ساختمان متابولیت‌های اصلی کلالة زعفران (Houshyar et al., 2008)

Figure 4- Structure of the main metabolites of saffron stigmas.

کروسین هستند. این گلیکوزیل استرها دارای کربوهیدرات‌های حلقوی D-گلوکز و D-جنتیوبیوزید هستند که با یک گروه کربوکسیلیک اسید در محل اتم کربن آنومریک خود با پیوند استری متصل شده‌اند (Houshyar, 2012). عطر و بوی زعفران به روغن‌های فرار موجود در آن مانند سافرانال بستگی دارد. با تقطیر زعفران به وسیله آب تحت جریان دی‌اکسیدکربن و به هم زدن حاصل تقطیر در اتر و سپس تبخیر اتر در شرایط اتمسفری دی‌اکسیدکربن اسانس‌های روغنی ایزوله می‌گردد. این ماده بسیار روان می‌باشد و مایعی است تقریباً بی‌رنگ از رده‌ترین‌های دارای بوی شدید زعفران که به سادگی اکسیژن را جذب کرده و به مایع غلیظ و قهوه‌ای رنگ در می‌آید (Pouyan, 2012). پیاز زعفران سمی است و در گرده پرچم گل زعفران یک گلوکوزید متبلور وجود دارد که مقدار آن ۰/۳ تا ۰/۵۶٪ متغیر است.

باقی‌مانده اجزا گل (پرچم و گل‌پوش‌ها) زعفران از محصولات

ترکیب بخش استرولی چربی زعفران توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته و وجود استیگمارسترول و کاپتاسترول معرفی شده است. رنگدانه‌های موجود در زعفران دو نوع رنگدانه محلول در چربی و محلول در آب می‌باشند، از جمله رنگدانه‌های محلول در چربی لیکوپن، آلفاکاروتن، بتاکاروتن و زاگزانتین می‌باشند. از گلوکوزیدهای کاروتنوئیدی محلول در آب، کروسین که مخلوطی از گلوکوزیدها می‌باشد، از اهمیت بیشتری برخوردار است (Pouyan, 2009). زعفران حاوی آگلیکون کروسین به صورت آزاد و مقدار کمی رنگدانه‌های آنتوسیانین می‌باشد. زعفران با اکسید آلومینیوم رنگ نارنجی تیره و با املاح قلع ایجاد رنگ زرد می‌نماید (Mirheydar, 1996). کروسین یکی از اجزای اساسی تشکیل‌دهنده زعفران و در حقیقت منبع غنی رنگ آن و یکی از محدود کاروتنوئیدهای محلول در آب موجود در طبیعت است. کروسین‌ها گلیکوزیل استرهایی از پلی‌ان دی کربوکسیلیک اسید

برای کشاورزان مناطق کم‌باران و خشک شرق ایران داشته باشد. دستگاه‌هایی که تاکنون در این زمینه طراحی و ساخته شده‌اند، به‌دلایلی با استقبال کشاورزان روبه‌رو نگردیده، که در ادامه برخی از آنها بررسی می‌گردد (Ruggiu & Bertetto, 2006).

نمونه دروگر

این دستگاه که در شکل ۵ نشان داده شده است در سال ۱۳۹۲ اختراع و تولید شد. ایده این دستگاه کار بسیار ارزشمندی در زمینه برداشت مکانیزه گل زعفران بود، اما به‌دلیل وجود چندین نقص، زمینه تولید انبوه آن فراهم نشد (Manuello, 2014). بعضی از معایب این دستگاه به شرح ذیل لیست شده است.

- استفاده از تکنیک‌های درو که در گل زعفران باعث آسیب می‌شد.
- عدم کارایی دستگاه برای مزرعه‌هایی که برگ زودتر از گل می‌روید.
- عدم وجود تیغه‌های مناسب جهت درو.

فرعی تولید زعفران هستند که حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای رنگیزه از نوع آنتوسیانین می‌باشد. این رنگیزه به همراه دیگر ترکیبات فلاونوئیدی موجود در شیرهی سلولی رنگ بنفش گلبرگ زعفران را بوجود می‌آورد. به‌دلیل پایداری محدود و تغییرات ایجاد شده در رنگ آنتوسیانین‌ها در اثر تغییرات در PH محیط، تنها در مواد غذایی اسیدی (PH کمتر از چهار) امکان استفاده و نگهداری از آنها وجود دارد (Hemmati, 2001; Cusano et al., 2018). بنابراین از زعفران می‌توان به عنوان بهترین رنگ خوراکی استفاده نمود.

بررسی انواع روبات‌های برداشت زعفران

با عنایت به اینکه هم‌اکنون بخش عمده فرآیند برداشت و جداسازی زعفران بصورت سنتی و از طریق دست انسان انجام می‌شود، ابداع و ساخت دستگاهی مکانیکی با استفاده از هوش مصنوعی و تکنیک‌های بینایی ماشین، توسط محققین می‌تواند سطح زیر کشت و تولید زعفران را به‌صورت قابل ملاحظه‌ای در مناطق کویری بالا ببرد و منافع اقتصادی زیادی



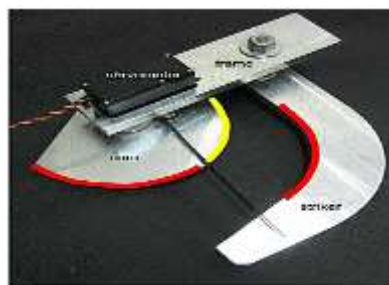
شکل ۵- نمونه دروگر ماشین برداشت زعفران
Figure 5- Sample of saffron harvester.

نیروی انسانی نیاز است و تقریباً تأثیری در سرعت بخشیدن و ارتقاء کیفیت فرآیند برداشت ندارد (Gambella, 2013).

دستگاه مکانیکی کمکی برای برداشت

در سال ۲۰۱۳ دستگاه مکانیکی برای کمک به نیروی کار انسانی در برداشت گل زعفران توسط گامبلا ارائه شد. دستگاه مذکور در شکل ۶ نشان داده شده است. از آنجا که این دستگاه می‌بایست توسط انسان حمل شود، برای برداشت باز هم به

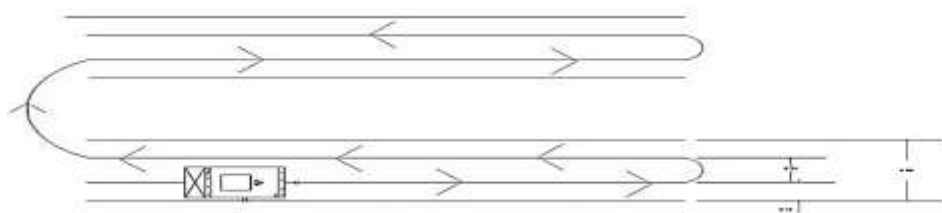
برداشت گل زعفران بدون نظارت باشد را طراحی نموده اند. این ربات قادر به جمع‌آوری گل زعفران بدون آسیب زدن به آن است و زمان برداشت این ربات بیشتر از زمان مورد نیاز برای برداشت توسط یک انسان نیست. نمایش مسیر حرکت ربات دنبال‌کننده خط در مزرعه توسط شکل ۷ نمایش داده شده است. این ربات قادر به حرکت در مسیرهای خاص و محدود و از پیش تعریف شده است و برای زمین‌هایی که فاقد این شرایط هستند مناسب نمی‌باشد (Asimopoulos et al., 2013).



شکل ۶- نمونه دستگاه کمکی برداشت مکانیکی زعفران
Figure 6- A Sample auxiliary mechanical saffron harvesting device.

ربات برداشت دنبال‌کننده خط

اسیموپولاس و همکاران یک ربات خودمختار که قادر به



شکل ۷- نمایش مسیر حرکت ربات دنبال‌کننده خط در مزرعه
Figure 7 Represents a route taken by the line-follower robot at a farm.

تشخیص گل زعفران و تعیین محل آن می‌باشد.



شکل ۸- ربات کشاورزی ذافی
Figure 8- Zaffy agricultural robot.

در نتیجه، طبق بررسی‌های به‌عمل آمده، تنها راه حل این مشکل استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر توسط بینایی ماشین می‌باشد. بینایی ماشین در صنایع کشاورزی و غذایی دارای کاربردهای متنوع بوده، که از جمله این کاربردها، استفاده

ربات کشاورزی ذافی

آنتونلی و همکاران در سال ۲۰۱۱، یک مازول جدید برای جدا کردن گل زعفران ارائه دادند. مازول برای نصب بر روی ربات کشاورزی ذافی طراحی شده بود که در شکل ۸ نشان داده شده است. بررسی اطلاعات داده شده مشخص نمود که برداشت گل به صورت صحیح تنها در ۶۰ درصد از اقدامات برداشت به ثبت رسیده است (Antonelli et al., 2011).

با بررسی دستگاه‌های ساخته شده برای برداشت زعفران و عدم استقبال از سوی کشاورزان و همچنین با توجه به خصوصیات فیزیکی گل زعفران می‌توان به این نتیجه رسید که برداشت زعفران با روش‌های معمول برای برداشت سایر محصولات متفاوت بوده و نمی‌توان برای برداشت زعفران از این روش‌ها استفاده نمود. به نظر می‌رسد که تنها راه برای برداشت این محصول، شبیه‌سازی روش سنتی است، که این کار مستلزم

از بینایی ماشین در جمع‌آوری محصول و بسته‌بندی آن می‌باشد. درجه‌بندی محصولات کشاورزی و غذایی بر پایه ظاهر، بر مبنای خصوصیات نظیر بافت، رنگ، شکل و اندازه صورت می‌پذیرد (Jafari & Bakhshipour, 2010; Banot & Mahajan, 2016; Gracia et al., 2009).

مجموعه‌ای از مطالعات در سال‌های اخیر برای بررسی کاربردهای بینایی ماشین در درجه‌بندی و بخش‌بندی محصولات تازه کشاورزی و غذایی صورت گرفته است که در ادامه برخی از آنها بررسی می‌گردد.

یسربی و همکاران، در پژوهشی که از نوع تشخیصی بوده و از پایگاه داده‌ای مشتمل بر ۱۱۳ نمونه زعفران با ۷ ویژگی استفاده شده است. کیفی‌سنجی نمونه‌های این پژوهش به کمک ویژگی‌ها در چهار کلاس مختلف زعفران پوشال درجه یک (نگین)، پوشال درجه دو (خوب)، پوشال درجه سه (معمولی) و پوشال درجه چهار (معمولی درجه دو) انجام شده و به منظور درجه‌بندی زعفران، از روش‌های مبتنی بر دو نوع شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و شبکه عصبی بردار یادگیر، انجام پذیرفته است، که بالاترین دقت کلاس‌بندی بر روی نمونه‌های آموزش و آزمون به ترتیب ۹۳/۷۵ و ۷۵/۷۵ درصد به دست آمده است (Yasrebi et al., 2020).

محمدزاده و همکاران به طبقه‌بندی زعفران با استفاده از ویژگی‌های رنگی استخراج شده از تصویر با استفاده از یک روش مبتنی بر بینایی ماشین بررسی و تحقیق نمودند. در این پژوهش یک بانک اطلاعاتی متشکل از ۴۴۰ تصویر از زعفران برای سه کلاس مختلف با استفاده از دوربین تلفن همراه جمع‌آوری شده و ۲۱ ویژگی رنگی با استفاده از روش‌های مختلف تحلیل تصویر استخراج شده است. در این مقاله برای طبقه‌بندی از کلاسیفایرهای مختلف استفاده شده است و مقایسه نتایج نشان‌دهنده این است که Linear Discriminant ، Linear ، SVM ، Bagged Trees و RUSBoost می‌توانند در هنگام

استفاده از ویژگی‌های رنگی، درجه‌بندی دقیق‌تری را نسبت به سایر طبقه‌بندی‌کننده‌ها ایجاد نمایند. در این پژوهش میانگین دقت ۸۲/۲۳ درصد با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده خطی SVM به دست آمده است (Mohamadzadeh et al., 2020).

مینایی و همکاران در پژوهش خود نشان دادند که ترکیب سیستم بینایی ماشینی و پرسپترون چند لایه (Multilayer Perceptron) ابزاری برای ارزیابی کیفیت زعفران بر اساس قدرت رنگی آن‌ها می‌باشد. همچنین آن‌ها نشان دادند که عملکرد پرسپترون چند لایه برای تشخیص قدرت رنگی زعفران بهتر از حداقل مربعات جزئی و MLR بوده و مقدار CSR در این پژوهش ۹۶/۶ درصد به دست آمده است (Minaei et al., 2017).

بیکی برای دسته‌بندی و پیش‌بینی کلاله سه شاخه و چند شاخه زعفران از ابزارهای آماری یادگیری ماشین بدون نظارت استفاده نمود. در این مقاله، براساس نشان‌گرهای مولکولی، چند شکلی توالی مربوط، تکثیر یافته و با استفاده از الگوریتم‌های بیوانفورماتیکی مختلف، روش جدیدی برای شناسایی و پیش‌بینی گونه‌های دارای کلاله سه و چندشاخه براساس DNA ارائه گردید. سپس K-Means و K-Medios برای دسته‌بندی صحیح کلاله مورد استفاده قرار گرفت. نهایتاً با دقت و صحت بالای ۹۰ درصد به منظور تمایز ژنتیکی کلاله سه شاخه از چندشاخه دست یافتند (Beyki, 2014).

جعفری و همکاران الگوریتمی برای تشخیص و تعیین محل گل زعفران ارائه نمودند. در الگوریتم پیشنهادی آنها، اولین گام تشخیص گل زعفران از دیگر اشیاء مانند خاک، برگ، علف‌های هرز، بوته و غیره می‌باشد. آن‌ها بدین منظور از ویژگی رنگ استفاده نمودند. در گام دوم تصویر RGB به HSI تبدیل شده و در الگوریتم فضای رنگی YCbCr هر دو از روش آستانه‌گیری برای تشخیص گل زعفران استفاده نمودند. پس از ارزیابی

ذخیره آنها پایگاه داده‌ای را تشکیل دادند. ویژگی‌ها عبارتند از: طول، عرض، نسبت طول به عرض، مساحت، نسبت مجموع طول و عرض به مساحت گل، مساحت مستطیل، مساحت گل نسبت به مساحت مستطیل. در مرحله بعد با استفاده از این پایگاه داده، یک شبکه عصبی را آموزش و عمل تشخیص صورت می‌پذیرد. در انتها با استفاده از تشخیص نوع گل و ترکیب آن با روش‌های قبلی نقطه برش گل زعفران جهت جداسازی کلاله مشخص می‌شود. نتایج دقت ۹۶ درصد را برای رویکرد پیشنهادی نشان می‌دهد (AliAbadi & Mohammadi, 2012).

جعفری و بخشی‌پور برای تشخیص و تعیین محل گل زعفران از ترکیب ویژگی‌های رنگی و شبکه‌های عصبی استفاده نمودند. قطعات رنگ RGB به عنوان داده ورودی برای شبکه و همچنین اجزای رنگ HSI و $YCbCr$ در شبکه‌های دیگر مورد استفاده قرار گرفته است. در ارزیابی میزان تقسیم‌بندی صحیح برای روش HSI، ۹۶/۴ درصد، برای روش $YCbCr$ ۹۸/۷ درصد ثبت شده است. مقادیر ضریب همبستگی و خطای جذر میانگین مربعات زمانی که اجزای رنگ HSI به عنوان ورودی شبکه‌های عصبی استفاده شد که ۹۹/۷ درصد و ۰/۰۱۲۵ و در حالت فضای رنگ RGB، ۶۷/۳۹ درصد و ۰/۰۸۷۴ به دست آمده است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که با ترکیب کردن شبکه عصبی با ویژگی‌های رنگ، در صد موفقیت افزایش می‌یابد. ولی نقایص موجود در الگوریتم قبلی همچنان در این الگوریتم نیز وجود دارد. علاوه بر ویژگی رنگ بهتر است از سایر ویژگی‌های قابل استخراج مانند خصوصیات هندسی و غیره استفاده نمود (Jafari & Bakhshipour, 2010).

بینایی ماشین در صنایع غذایی و کشاورزی دارای کاربردهای بسیار متنوعی است. از جمله این کاربردها استفاده از بینایی ماشین در جمع‌آوری محصولات کشاورزی و بسته‌بندی آن است. در مرحله اول برای شناسایی گل زعفران از تبدیلات فضاهای

الگوریتم، دقت تشخیص برای روش HSI، ۹۴/۵ درصد به ثبت رسیده است. در حالی که این میزان دقت برای روش $YCbCr$ ۹۸/۷ درصد می‌باشد (Jafari et al., 2014).

در تحقیقی که توسط گراسیا و همکاران صورت پذیرفت، مطالعاتی با استفاده از تکنیک‌های مبتنی بر هوش مصنوعی جهت جداسازی کلاله زعفران انجام شد (Gracia et al., 2009). همچنین، به مقایسه تفاوت‌های قطر زعفران در مقاله خلیلی و سراج‌پور پرداخته شده است (Khalili & Serajpor, 2006).

تشخیص کیفی گل زعفران و تعیین نقطه برش کلاله از گل با استفاده از شبکه‌های عصبی توسط علی‌آبادی و محمدی مورد بررسی قرار گرفته است، در این پژوهش از ۳۰ مورد تصویر گل داده شده برش مناسب در ۲۹ تصویر نقطه به درستی تشخیص داده شد (Aliabadi & Mohammadi, 2011).

علی‌آبادی و محمدی از سامانه‌های بینایی ماشین (Machine Vision) و ماشین بویایی (Machine Olfaction) به منظور ارزیابی کیفیت و تعیین مقدار کروسین زعفران و سافرانال استفاده نمودند، همچنین سنجش میزان رنگ و بوی زعفران مورد سنجش قرار گرفته است (Aliabadi & Mohammadi, 2012). در پژوهشی که توسط کیانی و همکاران (Mohammadi, 2012) در پژوهشی که توسط کیانی و همکاران در سال ۲۰۱۸ انجام شده است یک سیستم بویایی - چشایی و سیستم بینایی ماشین برای ارزیابی کیفیت زعفران و جایگزینی آن برای تشخیص حسی توسط افراد خبره ارائه گردید (Kiani et al., 2018).

علی‌آبادی و محمدی (AliAbadi & Mohammadi, 2012) به بررسی استفاده از تکنیک‌های هوشمند برای برش گل زعفران پرداختند. آنها در این مقاله، روش پیدا کردن نقطه برش گل زعفران به منظور جداسازی کلاله از گل را بهبود بخشیدند. ابتدا تصویر باینری مناسب از گل زعفران توسط پردازش تصویر به دست آمد، سپس استخراج ویژگی‌های گل و

رنگ RGB به $YCbCr$ با استفاده از فرمول‌های زیر صورت می‌پذیرد.

$$y = 16 + (65.481 * R' + 128.553 * G' + 24.966 * B') \quad (۱)$$

$$Cb = 128 + (-37.797 * R' - 74.203 * G' + 112.0 * B') \quad (۲)$$

$$Cr = 128 + (112.0 * R' - 93.786 * G' - 18.214 * B') \quad (۳)$$

ضمناً فضای رنگ HSI نیز از سه مؤلفه رنگ (H)، اشباع (S) و شدت (I) تشکیل شده است. اطلاعات لومینانس (روشنایی) که مؤلفه I را شامل می‌شود را از اطلاعات کرومینانس (رنگ) که مؤلفه‌های H و S را تشکیل می‌شود، جدا می‌نماید. در حقیقت، دو مؤلفه H و S به شیوه‌ای که انسان رنگ را تشخیص می‌دهد، بسیار نزدیک بوده و در نتیجه این فضای رنگ نیز برای هدف ما مناسب می‌باشد (Gonzales & Woods, 1992).

استفاده از مینیمم محلی هیستوگرام مؤلفه C_b به عنوان آستانه (مینیمم محلی هیستوگرام)

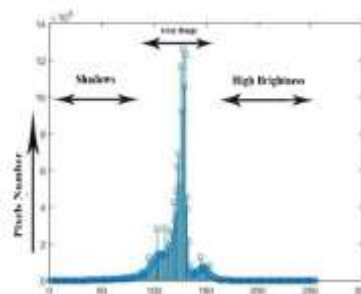
در اولین مرحله از روش آستانه‌گیری برای تشخیص گل زعفران استفاده شده است. عمل آستانه‌گیری بر روی هیستوگرام مؤلفه C_b از فضای رنگ $YCbCr$ انجام گرفته که در ادامه به شرح آن می‌پردازیم. با پیدا کردن مینیمم محلی هیستوگرام بر روی مؤلفه C_b در فضای رنگی $YCbCr$ به عنوان آستانه می‌توان به منظور بخش‌بندی پیکسل‌ها استفاده نمود. برای به‌دست آوردن هیستوگرام تصویر، کافی است با پیمایش کل پیکسل‌های تصویر، تعداد پیکسل‌های هر سطح روشنایی را محاسبه نمود. شکل ۹، هیستوگرام یا همان میزان درخشندگی رنگ‌ها در تصویر را نشان می‌دهد. هیستوگرام به ما نشان می‌دهد که چقدر از تصویر مربوط به سایه (تاریک‌ترین حالت تصویر)، چقدر مربوط به سفید (روشن‌ترین حالت) و چه مقدار در

رنگی استفاده نموده، سپس از طریق هیستوگرام و آستانه مینیمم نسبت به بخش‌بندی و حذف پیکسل‌های اضافی اقدام شده است. همچنین از سایر ویژگی‌های قابل استخراج از تصاویر مانند اندازه قطر اصلی، اندازه قطر فرعی و سایر ویژگی‌ها استفاده می‌شود که تجزیه و تحلیل پردازش ساختار هندسی گل‌ها توسط عملیات مورفولوژیک صورت بپذیرد. حذف اثر برگ‌ها، رفع روی هم‌افتادگی انواع گل‌ها و تعیین نوع گل‌های زعفران به ترتیب انجام می‌شود.

به‌دلیل اینکه تصاویر در شرایط نوری مختلف گرفته می‌شود، الگوریتم باید توانایی حذف این اثر منفی را داشته باشد. در فضای رنگ RGB زمانی که روشنایی محیط افزایش یابد، هریک از اجزای اصلی تصویر RGB نیز افزایش خواهد یافت. سپس برای شناسایی گل زعفران از فضای رنگی $YCbCr$ و برای شناسایی سایر اشیاء در تصویر از ترکیب فضاها رنگی HSI و $YCbCr$ استفاده شده است. به‌دلیل اینکه تصاویر در شرایط نوری مختلف گرفته شده و نور نیز بر روی رنگ‌ها تأثیر می‌گذارد، لذا الگوریتم پیشنهادی باید توانایی حذف آن را داشته باشد (Gonzales & Woods, 1992).

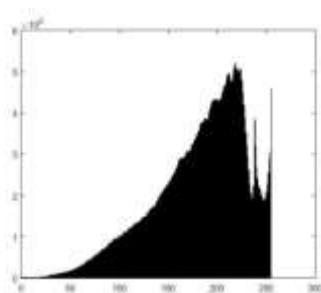
در فضای رنگ $YCbCr$ مقدار روشنایی به صورت فاکتور جداگانه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. بنابراین ارزش نقاط آبی نسبت به سایر نقاط می‌تواند براساس شدت روشنایی تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشته باشند. بدین صورت که مجموع ضرایب ارزش‌های R، G و B در معادله C_b (معادله ۲) برابر صفر می‌باشد؛ بنابراین ارزش تفاوت نقاط آبی نسبت به سایر نقاط (C_b) می‌تواند با این افزایش روشنایی، تغییر نکند. در نتیجه این دو مؤلفه، مستقل از تغییرات نوری بوده و در مواردی که باید این تغییرات کمترین تأثیر را داشته، مناسب هستند. این بدان معنی است که وضعیت گل در روشنایی یا در سایه بر نتیجه تقسیم‌بندی تأثیر کمتری نسبت به فضای رنگی RGB می‌گذارد. حرکت از فضای

دامنه خاکستری (بین سیاه و سفید) قرار می‌گیرد (Kurugollu, 2001).



شکل ۹- نمونه یک هیستوگرام (میزان فراوانی پیکسل‌ها نسبت به روشنایی)

Figure 9- Sample of a histogram (Frequency of the pixel relative to brightness).



(ب)
(b)



(الف)
(a)

شکل ۱۰- (الف) تصویر گل زعفران با روشنایی بالا، (ب) تمایل هیستوگرام (بر اساس مؤلفه C_b) تصویرهای روشن به سمت راست

Figure 10- (a) Saffron flower image with high brightness, (b) The histogram (based on C_b component) for bright images tends to the right side.

است. نمودار هیستوگرام تقریباً در میانه قرار دارد و این بدین معنی است که نوردهی این تصویر به صورت صحیح و نرمال انجام شده است (Gonzales & Woods, 1992).

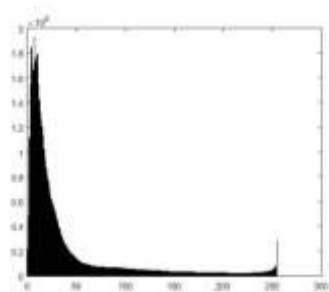
تا این مرحله مشخص گردید که هیستوگرام یک تصویر طبیعی در فضای رنگی RGB به چه شکل است. سپس تصویر گل زعفران را برای تشخیص به فضای رنگ $YCbCr$ برده و در این محیط اطلاعات تصویر به سه مؤلفه Y ، C_b و C_r تبدیل می‌شود. در گام اول هیستوگرام مربوط به مؤلفه C_b را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده می‌شود. شکل ۱۳ (الف)، (ب) و (ج) تصویر

یک تصویر تیره (نور کم) از گل زعفران به همراه نمودار هیستوگرام آن در شکل ۱۱ (الف) و (ب) نشان داده شده است. این تصویر نسبت به حالت طبیعی از تیرگی بیشتری برخوردار است. هیستوگرام به دست آمده به میزان زیادی به سمت چپ انحراف داشته و این بدان معنی است که نوردهی عکس کم بوده و ممکن است برخی از جزئیات عکس از دست رفته باشد (Gonzales & Woods, 1992).

یک تصویر نرمال از گل زعفران به همراه هیستوگرام در شکل ۱۲ نشان داده شده است. میزان نور در این شکل، متعادل

دارای دو ماکزیمم (یا پیک یا قله) است. ماکزیمم اول یک ماکزیمم سراسری است و پس از آن ماکزیمم محلی قرار دارد.

گل زعفران، تصویر مؤلفه C_b و همچنین نمودار هیستوگرام مربوط به مؤلفه C_b یک گل زعفران را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل فوق مشخص است، نمودار هیستوگرام

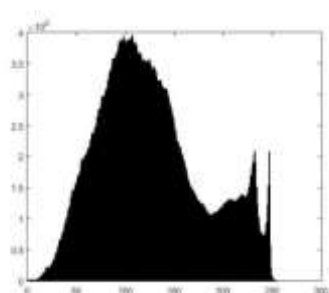


(ب)
(b)



(الف)
(a)

شکل ۱۱- (الف) تصویر گل زعفران با روشنایی تیره، (ب) تمایل هیستوگرام تصاویرهای تیره به سمت چپ
Figure 11- (a) Saffron flower image with dark lighting, (b) The histogram for dark images tends to the left side.

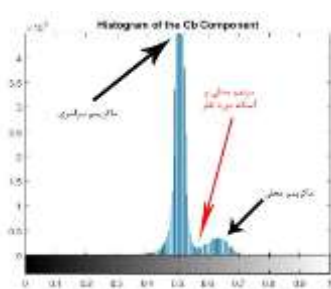


(ب)
(b)



(الف)
(a)

شکل ۱۲- (الف) تصویر گل زعفران با روشنایی متعادل، (ب) نمودار یک هیستوگرام با نوردهی متعادل
Figure 12- (a) Saffron flower image with balanced lighting, (b) A histogram with balanced lighting.



(ج)
(c)



(ب)
(b)



(الف)
(a)

شکل ۱۳- (الف) تصویر گل زعفران، (ب) تصویر مؤلفه C_b ، (ج) نمونه نمودار هیستوگرام
Figure 13- (a) Saffron flower image, (b) C_b component image, (c) Sample histogram chart

نقطه به عنوان آستانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در گام اول

در بین این دو نقطه یک مینیمم محلی وجود دارد که این

که در این فرمول مؤلفه x معرف، فراوانی پیکسل‌ها نسبت به مقادیر مؤلفه C_b می‌باشد. با استفاده از این فرمول، نقاطی از هیستوگرام که روند نزولی و صعودی دارد، مشخص خواهد شد. هدف از این کار این است که معین نمائیم در چه نقاطی از هیستوگرام روند نزولی و سپس روند صعودی رخ داده است. با این روش می‌توان به اصطلاح قله (Peak) بعد از نقطه ماکزیمم سراسری را تشخیص و در نتیجه، ماکزیمم محلی بعدی را مشخص نمود. بعد از تعیین نمودن ماکزیمم سراسری و محلی، نقطه مینیمم بین این دو نقطه تعیین و به عنوان مقدار آستانه معرفی می‌گردد. پس از مشخص شدن مقدار آستانه، آستانه‌گیری تصویر ورودی به یک تصویر باینری G به شرح ذیل انجام می‌گیرد. T همان آستانه مورد نظر می‌باشد.

$$G(i, j) = \begin{cases} 1 & I(i, j) \geq Threshold \\ 0 & I(i, j) < Threshold \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{پیش‌زمینه} \\ \text{پس‌زمینه} \end{matrix} \quad (5)$$

به عبارت دیگر، آستانه‌گیری یک گام پیش‌پردازش برای تقسیم‌بندی تصویر است. در نتیجه، مقدار هر پیکسل در مؤلفه C_b که از آستانه (بعد از تعیین ماکزیمم سراسری و محلی، نقطه مینیمم بین این دو نقطه تعیین و به عنوان مقدار آستانه مشخص شده) بزرگتر باشد به عنوان گل و در غیر این صورت به عنوان پس‌زمینه در نظر گرفته خواهد شد. شکل ۱۴ تصویر حاصل از اعمال مقدار آستانه را بر روی تصویر نشان می‌دهد.



(ب)

(b)



(الف)

(a)

 شکل ۱۴- (الف) تصویر گل زعفران، (ب) تصویری باینری ساخته شده بوسیله آستانه مؤلفه C_b

 Figure 14- (a) Saffron flower image, (b) The binary image created by the C_b component threshold.

آستانه مورد نظر برای تصویر ورودی مشخص می‌شود. مقدار این آستانه بسته به تصاویر مختلف، ممکن است متفاوت باشد. پس الگوریتم باید این توانایی را داشته باشد تا مینیمم محلی موجود در بین دو ماکزیمم محلی را در تصاویر مختلف پیدا نماید. آستانه‌گیری تصویر مرتبط با برچسب دادن به پیکسل‌ها است. این کار با هدف طبقه‌بندی پیکسل‌های یک تصویر به دو دسته پیش‌زمینه و پس‌زمینه صورت می‌پذیرد. اگر مقدار موجود در پیکسل بیشتر از مقدار آستانه باشد، آن پیکسل متعلق به پیش‌زمینه (هدف) و در غیر این صورت آن متعلق به پیکسل پس‌زمینه خواهد بود.

پیدا کردن مقدار آستانه

مقدار آستانه در تصاویر ورودی به این صورت به دست می‌آید که ابتدا ماکزیمم سراسری در هیستوگرام مؤلفه C_b مشخص و مقادیر قبل از این نقطه برابر صفر می‌شود. این عمل به منظور بی‌اثر نمودن ماکزیمم‌های محلی قبل از نقطه ماکزیمم سراسری انجام می‌پذیرد. نقطه ماکزیمم سراسری به عنوان نقطه ابتدایی برای تجزیه و تحلیل در نظر گرفته شده، سپس از مقادیر روی هیستوگرام (فراوانی پیکسل‌ها x) مشتق گرفته می‌شود. با این کار تفاوت بین عناصر مجاور در امتداد محور x مشخص خواهد شد. فرمول زیر روش انجام این کار را نشان می‌دهد.

$$y = [x(2) - x(1) \quad x(3) - x(2) \quad \dots \quad x(m) - x(m-1)] \quad (4)$$

نمونه، شکل ۱۵ (الف) و (ب) یک تصویر گل زعفران و تصویر حاصل از آستانه‌گیری را با شرایط مذکور نشان می‌دهد.



(ب)
(b)

با اعمال این روش بر روی تصاویر، مشخص شد که در بعضی از تصاویر، تعدادی از پیکسل‌های گل در قبل از آستانه قرار می‌گیرد و در نتیجه به عنوان گل شناخته نمی‌شود. به عنوان



(الف)
(a)

شکل ۱۵- (الف) تصویر گل زعفران، (ب) عدم تشخیص برخی از نقاط گل زعفران به وسیله مقدار آستانه

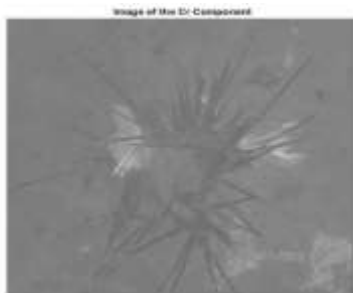
Figure 15- (a) Saffron flower Image, (b) Failure to distinguish some parts of saffron flower by the threshold value.

می‌نماید. در شکل ۱۶ (الف) و (ب) دو مؤلفه C_b ، C_r نشان داده شده است. بدین صورت که این دو مؤلفه با سه آستانه متفاوت که تعیین شده، در فرمول زیر قرار می‌گیرد. عدد بدست آمده به عنوان مقدار جدید پیکسل متناظر قرار می‌گیرد.

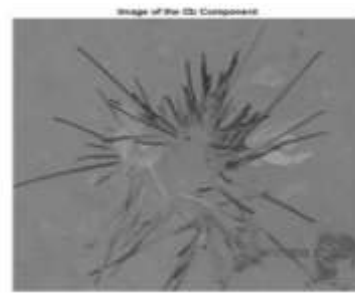
$$D_n = \sqrt{(C_b - Threshold_n)^2 + (C_r - Threshold_n)^2} \quad (6)$$

که C_b ، C_r نشان دهنده مؤلفه‌های فضای رنگی $YCbCr$ و Threshold بین حد آستانه می‌باشد، به‌طوری‌که این مقدار آستانه در هر دو پیرامون مقدار یکسان دارد.

همچنین در برخی موارد دیگر مشاهده شد که مجموعه‌ای از پیکسل‌ها وجود دارند که مقدار آنها از آستانه بزرگتر بوده ولی جزء پیکسل‌های گل نباید محسوب شود. برای برطرف کردن این مشکل باید از روش دیگری در کنار این روش آستانه‌گیری استفاده نمود. در این مرحله تصویر به‌دست‌آمده از روش آستانه‌گیری، با تصویر حاصل از فرمول ۶ مقایسه می‌شود. تفاوت این روش در این است که از طریق هیستوگرام انجام نمی‌شود، بلکه بطور مستقیم بر روی دو مؤلفه C_b ، C_r عمل



(ب)
(b)



(الف)
(a)

شکل ۱۶- (الف) تصویر مؤلفه C_b ، (ب) تصویر مؤلفه C_r

Figure 16- (a) C_b component image, (b) C_r component image.

سپس باینری (به‌وسیله آستانه‌گیری از ماتریس خاکستری) تبدیل

سپس ماتریس‌های حاصل به یک ماتریس خاکستری و

شده و این تصویر باینری به عنوان نتیجه آستانه مربوطه مدنظر قرار می‌گیرد. در مرحله بعد نتایج هر سطح با نتیجه به‌دست آمده از روش اول (آستانه گیری با استفاده از مینیمم محلی) مقایسه شده و پیکسل‌های مشترک به عنوان پیکسل گل معرفی می‌شوند. این کار باعث می‌شود تعدادی از پیکسل‌هایی که به اشتباه تشخیص داده شده‌اند، از تصویر حاصل حذف شوند. مشکل دیگری که در روش اول وجود داشت این بود که برخی از پیکسل‌های گل زعفران قبل از آستانه مینیمم محلی قرار می‌گرفتند و در نتیجه به عنوان پیکسل مربوط به گل زعفران تشخیص داده نمی‌شود. در گام بعدی باید پیکسل‌هایی که جزء پیکسل‌های گل زعفران بوده و تشخیص داده نشده‌اند را اصلاح نماید. اکثر این پیکسل‌ها دارای مقدار روشنایی در یک بازه



(الف)

(a)



(ب)

(b)

شکل ۱۷- (الف) تصویر گل زعفران، (ب) تشخیص برخی از پیکسل‌های شناخته نشده در روش اول

Figure 17- (a) Saffron flower image, (b) Detection of some of the unknown pixels in the first method.

همانطور که مشخص است تعدادی از پیکسل‌هایی که در روش اول به‌درستی تشخیص داده نشده‌اند، در این مرحله تشخیص خواهند شد. البته این کار باعث اضافه شدن تعدادی پیکسل متعلق به سایر اشیاء در جواب می‌شود که در گام‌های بعدی راهی برای حذف این اشیاء از ناحیه مورد نظر ارائه شده است. در ادامه پیکسل‌های کلالة و پرچم گیاه زعفران به ترتیب به وسیله فضای رنگی $YCbCr$, HSI شناخته شده و به مجموعه پیکسل‌های جواب اضافه می‌شوند.

در مرحله بعدی، از عملیات مورفولوژیک که از خصوصیات

مشخص و بین نقطه مینیمم محلی و ماکزیمم سراسری در مؤلفه C_b هستند. برای برطرف کردن این مشکل کلایه پیکسل‌هایی که در محدوده مینیمم محلی و ماکزیمم سراسری قرار می‌گیرند، به پیکسل‌های جواب اضافه می‌شود. در این مرحله از تلفیق مؤلفه‌های دو محیط رنگی $YCbCr$, HSI استفاده شده است. در ابتدا پیکسل‌هایی از گل زعفران که در محدوده دارای روشنایی بیشتر قرار دارند، تعیین و سپس پیکسل‌هایی که در محدوده تیره‌تر قرار دارند مشخص می‌شوند. پس از آن پیکسل‌های مربوط به دو محدوده مذکور با یکدیگر ترکیب و به عنوان ماسک نهایی این مرحله تعیین می‌شود. شکل ۱۷ خروجی این تابع را برای تصویر گل زعفران نشان می‌دهد.

ریخت‌شناسی بهره می‌برد، استفاده خواهد شد. بدین منظور، ابتدا از عملیات حذف برای از بین بردن اشیاء با اندازه‌های کوچک و در مرحله بعدی از عملیات بستن و پرکردن استفاده می‌شود، به‌طوری‌که قطعه‌ای مرتبط با گل کمتر از ۲۰ پیکسل وجود نخواهد داشت. شکل ۱۸ (الف) اشیاء کوچک به‌دست آمده از مرحله قبلی را حذف و تصویر حاصل از انجام عملیات مورفولوژیک در شکل ۱۸ (ب) نشان داده شده است. پس از حذف اشیاء کوچک فواصل خالی ریز موجود در بین اشیاء به‌وسیله دستور بستن، حذف می‌شود. سپس نقاط داخل هر شیء که جزء

روی گل زعفران عبور کرده و باعث می شود که گل موردنظر در تصویر مربوط به جواب به چند قسمت تقسیم شود (شکل ۱۹ (ب)).



(ب)

(b)



(الف)

(a)

شکل ۱۸- (الف) حذف اشیاء کوچک از تصویر، (ب) تصویر حاصل از انجام عمل بستن و پرکردن

Figure 18- (a) Removing small objects from the image, (b) The image results from applying the closing and filling operator.



(ب)

(b)



(الف)

(a)

شکل ۱۹- (الف) تصویر گل زعفران، (ب) تقسیم یک گل به وسیله قرار گرفتن برگ روی گل

Figure 19- (a) Saffron flower image, (b) Division of a flower into multiple sections by a leaf laying over the flower.

دربر می گیرد. در این حالت، افزایش یا اتساع گلبرگ ها با المان ساختاری خطی یا حتی دیسکی می تواند به حذف اثر برگ ها کمک کند. برای اعمال حذف تأثیر برگ بر روی گل همانطور که در شکل ۲۰ (الف) نشان داده شده است، از عملیات مورفولوژیک اتساع استفاده خواهد شد. شکل ۲۰ (ب) حذف اثر برگ را از روی گل را نشان می دهد.

رفع روی هم افتادگی گل ها

تا این مرحله پیکسل های گل، تشخیص داده شد. سپس

برای حل این مشکل، ابتدا تصویر RGB علاوه بر فضای رنگی HSI به فضای رنگی YC_gC_r نیز برده می شود. این فضای رنگ تقریباً شبیه به فضای رنگ YC_bC_r است. با این تفاوت که مؤلفه C_g تفاوت نقاط سبز رنگ و C_o تفاوت نقاط نارنجی رنگ را نشان می دهد. با استفاده از مؤلفه C_g این فضا و تعیین آستانه مناسب برای آن، تمام برگ های سبز به ناحیه گلبرگ ها اضافه شده و اضافه کردن برگ ها و تلفیق آن با گلبرگ های زعفران، ناحیه بزرگتری از گلبرگ و برگ های سبز را

برای گل‌های غنچه‌مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مرحله برای از بین بردن روی هم‌افتادگی گل‌ها روش دیگری نیز ارائه شده است که به شرح زیر می‌باشد:



(ب)
(b)



(الف)
(a)

شکل ۲۰- (الف) تصویر تقسیم‌بندی شده، (ب) حذف اثر برگ‌ها از روی گل

Figure 20- (a) Segmented image, (b) Removal of the leaves effect from the flower.

در شکل ۲۱ (الف) و (ب) نیز نشان داده شده است. در هر شی، در صورتی که پرچم به رنگ نارنجی وجود داشته باشد، با استفاده از مؤلفه رنگ شناسایی خواهد شد. شکل ۲۲ پرچم‌های شناسایی شده موجود در تصویر اصلی را نشان می‌دهد.

نوبت به جدا سازی گل‌هایی است که بر روی هم قرار گرفته‌اند. برای رفع این مشکل، اکثراً عمل فرسایش و اتساع پیشنهاد می‌شود. اما این عمل برای گل‌های باز کاربرد کمی دارد و بیشتر

الف- رفع روی هم‌افتادگی گل‌های باز

در این حالت هر شی به صورت جدا مورد بررسی قرار می‌گیرد. گل‌هایی که به هم متصل شده‌اند در ابتدا یک شیء محسوب می‌شوند. نمونه روی هم‌افتادگی گل‌ها و تصویر حاصل



(ب)
(b)



(الف)
(a)

شکل ۲۱- (الف) تصویر اصلی، (ب) نمونه ای از روی هم‌افتادگی گل‌ها

Figure 21- (a) Original image, (b) An example of flower overlapping.

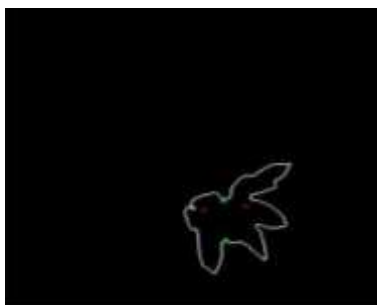


شکل ۲۲- شناسایی پرچم‌های موجود در تصویر

Figure 22- Detection of the stamens which are in the images.

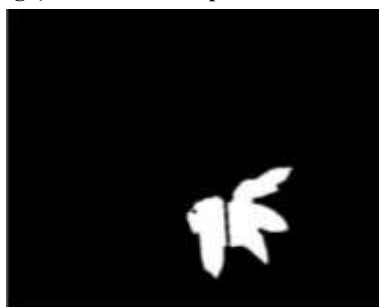
مشخص شده است. پس از آن، نزدیک‌ترین نقاط بین دو لبه موجود در بین دو مرکز پرچم، شناسایی شده که در شکل ۲۲ با علامت ستاره (*) و رنگ سبز نشان داده شده است. تا این مرحله عمودترین مسیر موجود در روی دو سمت مرز مشخص شده است. یک خط جداکننده در این مسیر کشیده شده و گل‌ها را از هم جدا نماید. شکل ۲۴ جدا شدن دو گل را نشان می‌دهد.

پس از مشخص شدن پرچم‌ها، نقطه مرکزی هر پرچم شناسایی و به عنوان نقاط ابتدایی و انتهایی خط، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. چون در یک شکل دو پرچم مجزا وجود دارد پس روی هم‌افتادگی گل تشخیص داده شده و از مرکز پرچم‌ها برای پیدا کردن نزدیک‌ترین لبه بین دو گل بطوری که به صورت عمود باشد، استفاده می‌شود. در شکل ۲۳ پرچم‌های مربوط به یک شیء تشخیص و نقطه مرکزی پرچم با علامت +



شکل ۲۳- مراکز (با علامت +) و نزدیک‌ترین نقاط موجود در بین دو لبه مجاور (با علامت *)

Figure 23- The centers (with the '+' sign) and the closest points between the two adjacent edges (with the '*' sign).

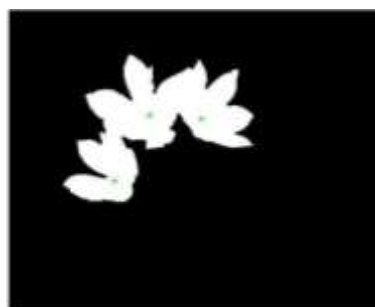


شکل ۲۴- جدا شدن گل‌ها از مسیر مشخص شده

Figure 24- Separation of the flowers through the identified route.



(ب)
(b)



(الف)
(a)

شکل ۲۵- (الف) تصویر اولیه شیء متصل موجود در تصویر اصلی، (ب) جدا شدن گل‌های موجود در یک شیء

Figure 25- (a) Initial image of the connected object in the original image, (b) Separation of the flowers in an object.

در صورتی که لبه‌های گل (مرزها) به‌نحوی باشد که امکان مشخص کردن مسیر وجود نداشته باشد، الگوریتم از روش دیگری برای جدا کردن گل‌ها استفاده می‌نماید. در این حالت پس از اینکه مرکزهای گل‌ها بر اساس پرچم آن مشخص شد یک خط عمود بر مسیر بین دو مرکز رسم می‌شود که دقیقاً از وسط خط می‌گذرد. نمونه این روش در شکل ۲۵ نشان داده شده است. البته این روش برای گل‌هایی که پرچم آن در تصویر قابل شناسایی است، کاربرد دارد. در الگوریتم جاری برای یک گل نیمه‌باز که پرچم آن در تصویر مشخص نیست از روش دیگری برای جداسازی استفاده می‌شود.

ب- رفع روی هم‌افتادگی گل‌های غنچه

در صورتی که در محدوده گل تشخیص داده شده، وجود پرچم شناسایی نشود و قطر محدوده تشخیص داده شده نیز کمتر از آستانه مورد نظر باشد، گل موجود در تصویر به عنوان گل غنچه در نظر گرفته خواهد شد. حال برای رفع روی هم‌افتادگی گل، ابتدا عمل فرسایش پی‌درپی تا وقتی که اندازه شیء به یک حد معینی برسد، انجام می‌شود. پس از آن در صورتی که یک شیء پس از فرسایش به چند شیء فرزند مجزا تقسیم شود، مرکز هر شیء فرزند محاسبه شده و سپس مسیر بین دو مرکز مشخص و یک خط جداکننده عمود بر این مسیر رسم شده و باعث جدا شدن دو فرزند از یکدیگر می‌شود.

برای نمونه در شکل ۲۶ (الف) و (ب) تصویر اصلی روی

هم‌افتادگی گل‌ها و تصویر تشخیص داده شده نشان داده شده است که حاصل شیء رنگی چند گل به هم پیوسته است. پس از فرسایش، این شیء به چهار شیء فرزند تقسیم شده که در شکل ۲۶ (ج) نشان داده شده است. سپس مرکز هر شیء فرزند محاسبه و مسیر بین این دو مرکز مشخص می‌گردد. خط جداکننده، عمود بر مسیر رسم و اشیاء فرزند را از هم جدا می‌نماید. همان طور که در شکل ۲۶ (د) مشخص است گل‌ها بدون تغییر در شکل از هم جدا شده‌اند.

ترکیب دو روش شرح داده شده، باعث بهتر شدن انجام عمل جداسازی می‌شود. در صورتی که تعداد گل‌های روی هم قرار گرفته بیش از حد باشد، باید از روش مکانیکی دمنده هوا برای این کار نیز استفاده کرد تا عمل جداسازی بهتر انجام شود. بعد از شناسایی گل زعفران، چون نحوه برداشت گل زعفران غنچه نسبت به گل زعفران شکفته شده متفاوت است، باید نوع آن نیز مشخص شود. همچنین آماده بودن گل برای برداشت نیز یک مؤلفه بسیار مهم است که باید برای ربات برداشت زعفران مشخص شود. برای این موارد تاکنون تحقیقی صورت نپذیرفته است. در حالی که این موارد برای یک ربات برداشت زعفران بسیار الزامی است. در ادامه روشی برای مشخص کردن این مهم ارائه شده است.



(ب)
(b)



(الف)
(a)



شکل ۲۶- (الف) تصویر اصلی از روی هم افتادگی گل‌های غنچه، (ب) تصویر تشخیص داده شده، (ج) تصویر حاصل پس از انجام عمل فرسایش، (د) جدا شدن گل‌های متصل

Figure 26- (a) The original image of overlapping flower buds, (b) The detected image, (c) The image results from applying the erosion operation, (d) Separation of the connected flowers.

تعیین نوع گل زعفران از لحاظ شکفته بودن یا غنچه بودن گل

گل زعفرانی که به تازگی رشد کرده است و در ابتدای صبح برداشت می‌شود به صورت گل غنچه است. برداشت گل زعفران در حالت غنچه بسیار مطلوب‌تر از حالت شکفته است و صدمه کمتری در جابه‌جایی به گل وارد می‌شود. در گل غنچه به علت این که گلبرگ‌ها و کاسبرگ‌ها هنوز باز نشده‌اند، گل دارای قطر کمتری است و پرچم نیز قابل مشاهده نیست. در نتیجه نیاز است تا پنجه یا بازوی ربات برای برداشت گل کمتر باز شود. ولی در گل شکفته چون قطر بیشتری را شامل می‌شود، نیاز است تا پنجه بیشتر باز شود. در این مرحله، کلیه گل‌های موجود در تصویر ورودی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. چون گل غنچه در تصویر، نسبت به گل شکفته قطر کمتری دارد، در نتیجه یکی از خصوصیات مطلوب برای این کار مساحت گل می‌باشد. ممکن است گل غنچه به یک طرف خوابیده باشد و در نتیجه در تصویر به حالت یک بیضی نشان داده شود. لذا ما توسط اندازه قطر اصلی و فرعی نیز می‌توان برای شناسایی استفاده نمود. روش دیگری که برای شناسایی گل شکفته به کار رفته این است که اگر تعداد پیکسل موجود مربوط به کلاله

در گل بیشتر از حد تعیین شده باشد، به این معنی خواهد بود که گلبرگ‌ها از هم باز شده‌اند و کلاله نمایان شده است. در نتیجه این گل به عنوان گل شکفته معرفی می‌شود. بنابراین با ترکیب این خصوصیات گل غنچه از گل شکفته تشخیص داده می‌شود. شکل ۲۷ (الف) تصویر اصلی و ۲۷ (ب)، تصویر حاصل را که در آن گل غنچه از شکفته تشخیص داده شده است، را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود گل‌های شکفته با رنگ سرخ‌آبی و گل‌های غنچه با رنگ فیروزه‌ای از هم تفکیک شده‌اند.

تشخیص مناسب بودن یا عدم مناسب بودن گل زعفران برای برداشت

مسئله بعدی مربوط به تشخیص مناسب بودن گل برای برداشت و یا عدم مناسب بودن گل زعفران برای برداشت است. هر سوخ یا بنه گل زعفران دارای چندین گل است که در روزهای متفاوت رشد می‌نماید. لذا در یک منطقه از زمین مزرعه ممکن است گل‌هایی که به صورت کامل رشد نداشته‌اند، مشاهده شود. نتیجتاً در صورت برداشت چنین گل‌هایی، قسمتی از گل زعفران در زمین باقی مانده و اینگونه به کشاورز خسارت وارد می‌شود. پس تشخیص مناسب بودن گل برای برداشت نیز یک مسئله

تعیین شده باشد و یا اندازه قطر اصلی کمتر از حد مشخص شده باشد، این گل می‌تواند به عنوان گلی که برای برداشت نامناسب معرفی و در غیر این صورت مناسب بودن آن برای برداشت گزارش شود.

مهم است. از آنجا که گل‌هایی که برای برداشت مناسب نیستند، گل‌های غنچه با اندازه کوچک هستند، در نتیجه می‌توان از خصوصیت مساحت و اندازه قطر اصلی برای این کار استفاده نمود. به این ترتیب اگر گل مورد نظر دارای مساحت کمتر از حد



(ب)

(b)



(الف)

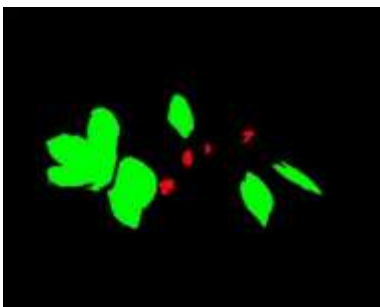
(a)

شکل ۲۷- (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر حاصل از تشخیص گل غنچه از گل شکفته

Figure 27- (a) Original image, (b) The image obtained by recognizing the bud flower from the blossoming flower.

رنگ سبز و گل‌هایی که برای برداشت مناسب نیستند با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.

شکل ۲۸ (الف) و (ب)، تصویر اصلی و تصویر حاصل از تعیین گل‌های مناسب برای برداشت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود گل‌هایی که برای برداشت مناسب است با



(ب)

(b)



(الف)

(a)

شکل ۲۸- (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر حاصل از تعیین گل‌های مناسب برای برداشت

Figure 28- (a) Original image, (b) The image results from assessing the flowers suitable for being harvested.

داده می‌شود. تعیین مختصات گل‌های قابل برداشت در این روش بسته به شکل شیء یک نقطه به عنوان مرکز شیء مشخص می‌شود. در صورتی که گل به صورت عمود باشد و

در مرحله پایانی با توجه به این که گل غنچه از گل شکفته و همچنین گل قابل برداشت از گل غیرقابل برداشت تفکیک شد، نوبت به این می‌رسد که مختصات گل‌های قابل برداشت برای ربات برداشت زعفران مشخص شود. در ادامه این روش توضیح

عنوان مرکز گل تشخیص داده می شود، تغییر کرده و به درستی مرکز را نشان نمی دهد. شکل ۲۹ تعیین مرکز گل را نشان می دهد. مرکز گل ها در تصویر ۲۹ (الف) با علامت ستاره به رنگ قرمز و در تصویر باینری ۲۹ (ب) با علامت ستاره به رنگ آبی نشان داده شده است. همان طور که مشخص است، مرکز گل های شکفته که در پایین تصویر قرار دارند و از حالت عمودی منحرف شده اند با استفاده از این روش به خوبی تشخیص داده نشده است.



(ب)

(b)

شکل ۲۹- (الف)- تصویر اصلی، (ب) تعیین مرکز گل براساس شکل

Figure 29- (a) Original image, (b) Determination of flower center based on shape.



(الف)

(a)



(ب)

(b)

شکل ۳۰- (الف) تصویر اصلی، (ب) تعیین مرکز گل با استفاده از روش پیشنهادی

Figure 30- (a) Original image, (b) Determination of flower centers using the proposed method.



(الف)

(a)

طور که نمایان است مرکز گل های شکفته سمت پایین تصویر که از حالت عمود منحرف شده اند این بار به خوبی تشخیص داده شده است. در تصویر ۳۰ (ب) از هر دو روش در کنار هم استفاده شده

شکل تعیین مرکز گل با استفاده از روش پیشنهادی در شکل ۳۰ نشان داده شده است. مرکز گل ها در تصویر اصلی در سمت راست با علامت ستاره به رنگ قرمز و در تصویر باینری سمت چپ با علامت ستاره به رنگ آبی مشخص شده است. همان

مختلفی استفاده می‌شود. در ادامه الگوریتم پیشنهادی، به وسیله روش‌های مختلف ارزیابی مورد تست و بررسی قرار گرفته و نتایج به صورت نمودار نشان داده شده است.

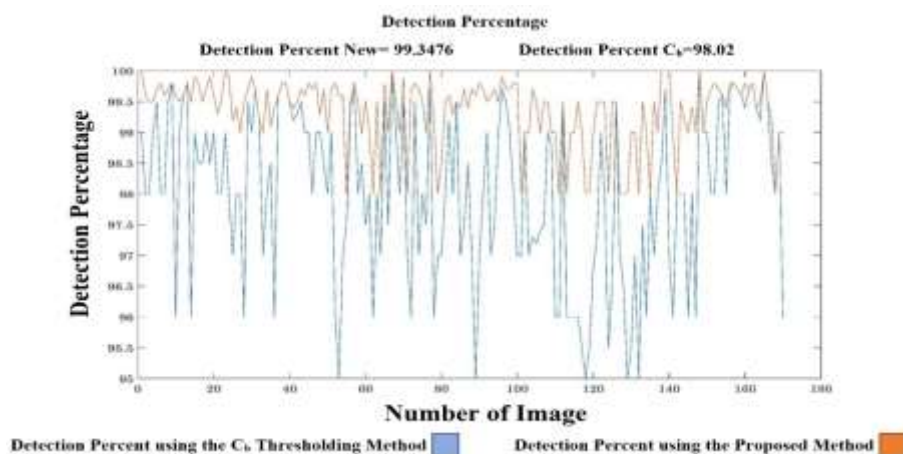
نسبت اشیاء درست تشخیص داده شده به کل اشیاء هدف
روش اول ارزیابی، مشخص نمودن نسبت اشیاء درست تشخیص داده شده به کل اشیاء که باید تشخیص داده شوند، مورد بررسی قرار گرفت. برای هر تصویر ورودی، تصویر حاصل از روش آستانه C_b و تصویر حاصل از روش پیشنهادی (تلفیق فضاهای رنگی و سایر ویژگی‌ها)، در نظر گرفته شده است. سپس درصد تشخیص صحیح، برای هر تصویر محاسبه گردید. شکل ۳۱ نمودار درصد تشخیص گل زعفران به وسیله دو روش را نشان می‌دهد. خطوط آبی رنگ درصد تشخیص با استفاده از آستانه C_b و خطوط قرمز رنگ درصد تشخیص با استفاده از روش پیشنهادی را به نمایش می‌گذارد. محور x شماره تصویر و محور y درصد تشخیص مربوط به عکس ورودی را نشان می‌دهد که از ۹۵ تا ۱۰۰ درصد درجه‌بندی شده اند. برای هر دو روش اگر تمام نقاط گل زعفران موجود در تصویر ورودی تشخیص داده شده باشد، درصد بالا و در غیر این صورت به میزان نقص در تشخیص درصد پایین‌تری به آن روش تعلق می‌گیرد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، این نسبت برای ۱۷۵ تصویر مورد استفاده برای ارزیابی مشخص و سپس میانگین این نتایج مشخص شد که برای روش آستانه C_b برابر $98/02$ و برای روش پیشنهادی برابر $99/34$ درصد است.

جدول ۱، میانگین تشخیص دو روش را نشان می‌دهد. دلیل این اختلاف این است که در روش آستانه C_b درصدی از پیکسل‌های گل قبل از آستانه قرار گرفته و در نتیجه تشخیص داده نمی‌شود ولی در روش پیشنهادی این مشکل برطرف شده است.

است. بدین صورت که برای هر گل ابتدا وجود یا عدم وجود پرچم، بررسی می‌شود. در صورتی که گل مورد نظر دارای پرچم باشد، مرکز پرچم به عنوان مرکز گل معرفی می‌شود. ولی اگر پرچم گل مورد نظر در تصویر مشخص نباشد از روش تعیین مرکز شیء توسط نرم افزار متلب استفاده می‌شود. این روش برای گل‌های غنچه نیز کاربرد دارد. در نتیجه با تلفیق دو روش، تعیین مرکز گل از دقت بهتری برخوردار می‌باشد. نقاط مشخص شده به عنوان مرکز گل‌های آماده برداشت به ربات برداشت زعفران ارسال شده و در نتیجه ربات می‌تواند تشخیص دهد که پنجه یا بازوی برداشت را به کدام سمت هدایت نماید. ضمناً الگوریتم طوری تنظیم شده است تا اگر مرکز گل مورد نظر در حاشیه محدوده تصویر قرار گیرد، آن گل را به عنوان یک گل غیر قابل برداشت معرفی نماید تا در محاسبات دچار خطا نشود. در زمانی که ربات به سمت جلو پیشروی می‌نماید، این بار این گل در محدوده مرکز تصویر قرار گرفته و دوباره مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهند گرفت.

نتایج

برای برداشت زعفران و سایل مکانیکی و ربات‌هایی مختلفی طراحی شده است که هر کدام دارای نقایصی بوده که با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر می‌توان این نواقص را مرتفع نمود. در زمینه تشخیص زعفران هیچ پایگاه داده استاندارد وجود ندارد تا بتوان از آن برای تحقیق و توسعه استفاده نمود. در نتیجه تعداد ۲۵۰ تصویر از مزارع شهرستان سرایان واقع در استان خراسان جنوبی تهیه شد. این تصاویر در شرایط نور طبیعی در ساعات مختلف روز و همچنین در ساعات اولیه بامداد با نور فلش دوربین گرفته شد. ۷۰ درصد تصاویر به منظور آموزش و ۳۰ درصد تصاویر برای تست الگوریتم پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود. برای ارزیابی نتایج در زمینه پردازش تصویر از روش‌های



شکل ۳۱- درصد تشخیص دو الگوریتم با استفاده از روش تست اول
Figure 31- Detection rate of the two algorithms using the first test method.

جدول ۱- میانگین درصد تشخیص برای دو روش

Table 1-Average detection rate for the methods

روش پیشنهادی Proposed method	روش آستانه C_b C_b thresholding method	درصد تشخیص درست Correct detection percentage
99.35	98.02	

درصد تشخیص با استفاده از ماسک مبنا

این کار بدین صورت انجام می شود که ابتدا پیکسل های گل زعفران که باید درست تشخیص داده شوند، مشخص می شود. سپس، یک ماسک مبنا بوجود می آید که تصویر حاصل از دو الگوریتم با تصویر مبنا مقایسه شده و میزان تشخیص درست برای هر کدام مشخص می گردد. براساس مقاله های موجود در پیشینه پژوهش برای انجام این تست، ماسک مبنا برای ۲۰ تصویر ایجاد و مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مقاله برای انجام این آزمون، ماسک مبنا برای تعداد ۳۰ تصویر به وسیله نرم افزار فتوشاپ به صورت دستی تهیه شد. کلیه پیکسل های گل با این نرم افزار مشخص و سپس یک تصویر دودویی که در آن پیکسل های گل با رنگ سفید و پیکسل های پس زمینه با رنگ سیاه مشخص شده، تولید می شود. این تصاویر به عنوان ماسک مبنا برای ارزیابی در این روش مورد استفاده قرار می گیرد. سپس تصویر حاصل از هر الگوریتم با تصویر مبنا مقایسه، مورد آنالیز

قرار می گیرد. در ابتدا پیکسل های مشترک تصویر حاصل از هر الگوریتم با تصویر مبنا استخراج می شود. پیکسل های مشترک به معنی پیکسل هایی است که در تصویر مبنا و تصویر حاصل به عنوان گل تشخیص داده شده اند. تا این مرحله تعداد پیکسل هایی که به درستی تشخیص داده شده اند، به دست می آید. سپس تعداد کل پیکسل های تصویر مبنا که برابر با کل پیکسل هایی است که باید به عنوان گل مشخص شوند، محاسبه می گردد. در نتیجه ما کل پیکسل های گل و تعداد پیکسل های درست تشخیص داده شده است. با نسبت گرفتن از این دو، درصد تشخیص به دست می آید. فرمول ۷ نحوه محاسبه تشخیص درست را نشان می دهد.

$$(7) \quad \text{Correct detection percentage} = \frac{\text{The number of correctly detected pixel}}{\text{Total number of flower pixels}}$$

$$\text{تعداد پیکسل های درست تشخیص داده شده} \\ \text{درصد تشخیص درست} = \frac{\text{تعداد کل پیکسل های گل}}{\text{تعداد کل پیکسل های گل}}$$

از جمله معیارهای استاندارد در ارزیابی با طبقه بندی دودویی،

تصویر، میانگین این نتایج محاسبه و در جدول زیر نشان داده شده است.

به دلیل اینکه این معیار نشان می‌دهد که چه میزان از پیکسل‌های تشخیص داده شده، متعلق به گل زعفران می‌باشند، با توجه به در نظر گرفتن روش‌های مورفولوژی به صورت یکسان برای هر دو الگوریتم، نتایج حاصله اختلاف کمی دارند. در حالی که نقص الگوریتم مورد بحث مربوط به این است که بعضی از پیکسل‌های گل زعفران را به عنوان پس‌زمینه تشخیص می‌دهد، که این نقصان در معیار فراخوانی مشخص می‌شود. تصاویر حاصل از هر الگوریتم به وسیله معیار فراخوانی (فرمول ۹) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای هر تصویر این مقدار فراخوانی محاسبه و نتایج در شکل ۳۳ نشان داده شده است.

این معیار برای ما مشخص می‌نماید چه نسبت از پیکسل‌های گل زعفران به درستی تشخیص داده شده است. همان‌طور که قبلاً گفته شد در روش آستانه C_b مقداری از پیکسل‌های گل زعفران در قبل از آستانه قرار گرفته و در نتیجه تشخیص داده نمی‌شوند. منحنی فوق نیز این نقص را نشان می‌دهد. پس از مشخص شدن نتایج ارزیابی، میانگین این نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول فوق مشخص شده است نتایج معیار فراخوانی اختلاف نسبتاً زیادی با یکدیگر دارند که این نقص در الگوریتم آستانه C_b را نشان می‌دهد. از ترکیب دو معیار دقت و فراخوانی معیار دیگری به نام "مقیاس-اف" به دست می‌آید که در واقع میانگین هارمونیک دو معیار قبلی است. این معیار از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$F_{\text{measure}} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (10)$$

دقت^۱ و فراخوانی^۲ است. دقت که ارزش پیش‌بینی مثبت نیز نامیده می‌شود، نشان‌دهنده بخشی از پیکسل‌های تشخیص داده شده است که مربوط به شیء مورد نظر می‌باشد. در واقع دقت نشان می‌دهد که چه میزان از پیکسل‌های تشخیص داده شده متعلق به شیء مورد نظر است. فراخوانی که به عنوان حساسیت نیز شناخته می‌شود، نشان‌دهنده میزان پیکسل‌های هدف است که تشخیص داده شده‌اند. نحوه محاسبه معیار دقت در فرمول ۸ و همچنین نحوه محاسبه معیار فراخوانی در فرمول ۹ مشخص شده است.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (8)$$

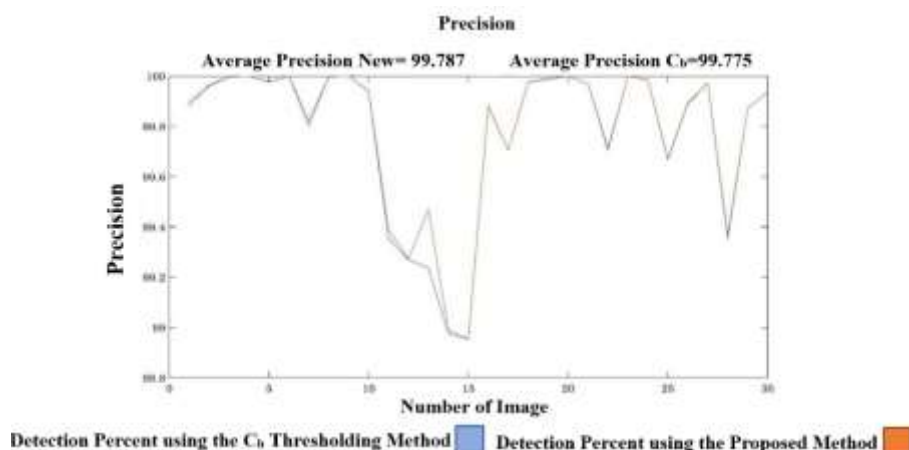
$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (9)$$

در رابطه‌های مزبور، TP (مثبت درست)^۳ نشان‌دهنده تعداد نمونه‌هایی که متعلق به دسته مثبت (شیء هدف) بوده و درست پیش‌بینی شده‌اند. FP (مثبت نادرست)^۴ نشان‌دهنده تعداد نمونه‌هایی که نادرست به عنوان دسته مثبت پیش‌بینی شده‌اند. FN (منفی نادرست)^۵ نشان‌دهنده تعداد نمونه‌هایی که نادرست به عنوان دسته منفی (پس زمینه) پیش‌بینی شده‌اند. TN (منفی درست)^۶ نشان‌دهنده تعداد نمونه‌هایی که متعلق به دسته منفی بوده و درست پیش‌بینی شده‌اند (Jafari et al., 2014). معیار دقت برای هر تصویر محاسبه و در شکل ۳۲ نشان داده شده است. محور افقی منحنی، شماره تصویر و محور عمودی، نتیجه ارزیابی به وسیله معیار دقت برای هر تصویر حاصل نسبت به تصویر مبنا را نشان می‌دهد. خطوط قرمز رنگ نتایج ارزیابی برای روش پیشنهادی و خطوط آبی رنگ نتایج ارزیابی برای روش آستانه C_b را نشان می‌دهد.

پس از مشخص شدن نتایج ارزیابی با معیار دقت برای هر

4-False Positive
5- False Negative
6- True Negative
7-F-measure

1- Precision
2- Recall
3 - True Positive



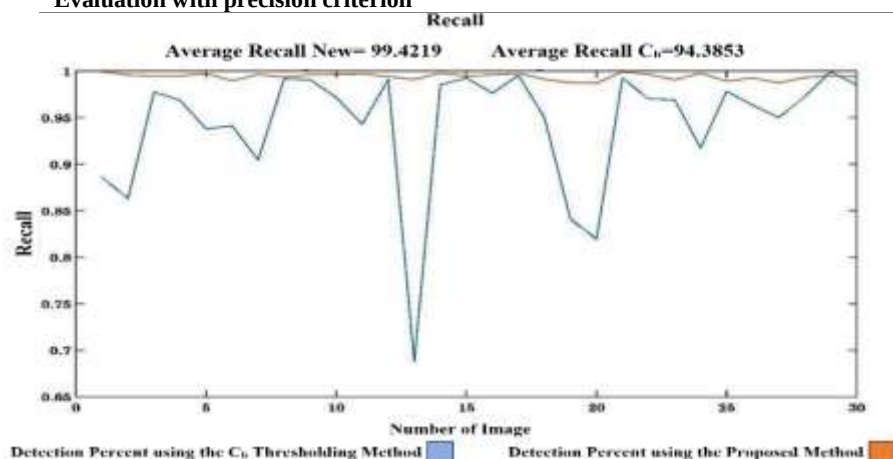
شکل ۳۲- نتایج ارزیابی با معیار دقت

Figure 32 – Evaluation results with precision criterion.

جدول ۲- میانگین نتایج ارزیابی با معیار دقت برای دو روش

Table 2- Average evaluation results with precision criterion for both method

	روش پیشنهادی Proposed method	روش آستانه C_b C_b thresholding method
ارزیابی با معیار دقت	99.77	99.77
Evaluation with precision criterion		



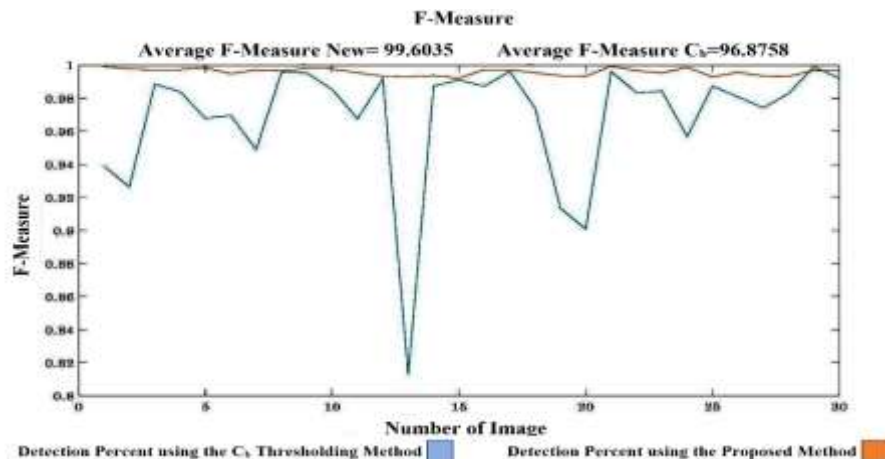
شکل ۳۳- نتایج ارزیابی با معیار فراخوان

Figure 33- Evaluation results with recall criterion.

جدول ۳- میانگین نتایج ارزیابی با معیار فراخوانی برای دو روش

Table 3- Average evaluation results with recall criterion for both methods

	روش پیشنهادی Proposed method	روش آستانه C_b C_b thresholding method
ارزیابی با معیار فراخوانی	99.42	94.38
Evaluation with recall criterion		



شکل ۳۴- نتایج ارزیابی با معیار مقیاس-اف
Figure 34- Evaluation results with F-measure.

جدول ۴- میانگین نتایج ارزیابی با معیار مقیاس-اف برای دو روش

Table 4- Average evaluation results with F-measure for both methods

	روش پیشنهادی	روش آستانه C_b
	Proposed method	C_b thresholding method
ارزیابی با معیار مقیاس-اف	99.60	96.87
Evaluation with F-measure criterion		

پیکسل‌های شیء مورد نظر (مثبت) و هم در ست بودن یا نبودن پیکسل‌های پس‌زمینه (منفی) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Anil et al., 2000). در حالی که در معیارهای قبلی، درست بودن یا نبودن پیکسل‌های پس‌زمینه را مورد بررسی قرار نمی‌دهد. معیار درستی به‌وسیله فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (11)$$

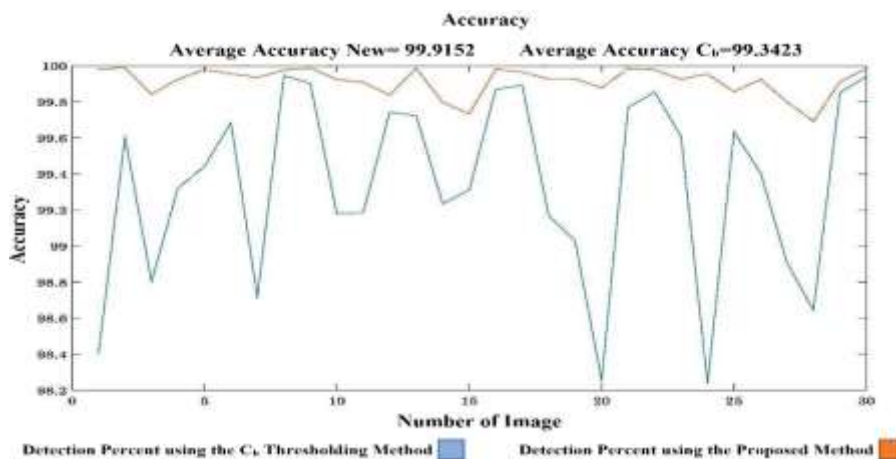
تصاویر حاصل در دو الگوریتم مورد بحث به‌وسیله این معیار مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج ارزیابی در شکل ۳۵ نشان داده شده است.

میانگین نتایج این ارزیابی محاسبه شده در جدول ۵ نشان داده شده است.

الگوریتم باید در این معیار که ترکیب دو معیار قبلی است نیز نتیجه خوبی کسب نماید (Anil et al., 2000). نتایج ارزیابی مقیاس-اف برای تصاویر حاصل در شکل ۳۴ نشان داده شده است. محور افقی منحنی، شماره تصویر و محور عمودی، نتیجه ارزیابی به‌وسیله معیار مقیاس-اف برای هر تصویر حاصل نسبت به تصویر مبنا را نشان می‌دهد.

میانگین این نتایج نیز محاسبه شد که در جدول ۴ نشان داده شده است.

همان‌طور که مشخص است این معیار نیز بهبود در تشخیص را نسبت به روش آستانه C_b نشان می‌دهد. معیار دیگری که به طور معمول برای ارزیابی مورد استفاده قرار می‌گیرد، معیار درستی^۱ است. در این معیار، هم درست بودن یا نبودن



شکل ۳۵- میانگین نتایج ارزیابی با معیار درستی برای دو روش

Figure 35- Average evaluation results with accuracy criterion for both methods.

جدول ۵- میانگین نتایج ارزیابی با معیار درستی برای دو روش

Table 5- The average of the evaluation results with accuracy criterion for both methods

	روش پیشنهادی Proposed method	روش آستانه C_b C_b thresholding method
ارزیابی با معیار درستی Evaluation with accuracy criterion	99.91	99.34

حاصل از روش پیشنهادی نسبت به تصویر مبنا مناسب است. به این معنی که ارزشی که در روش پیشنهادی به هر پیکسل داده شده است تقریباً با ارزشی که به آن پیکسل در تصویر مبنا داده شده است، یکسان است. همچنین، در نرم افزار متلب تابعی وجود دارد که ضریب همبستگی اسپرمن با استفاده از فرمول ۱۳ بین دو تصویر را محاسبه می نماید.

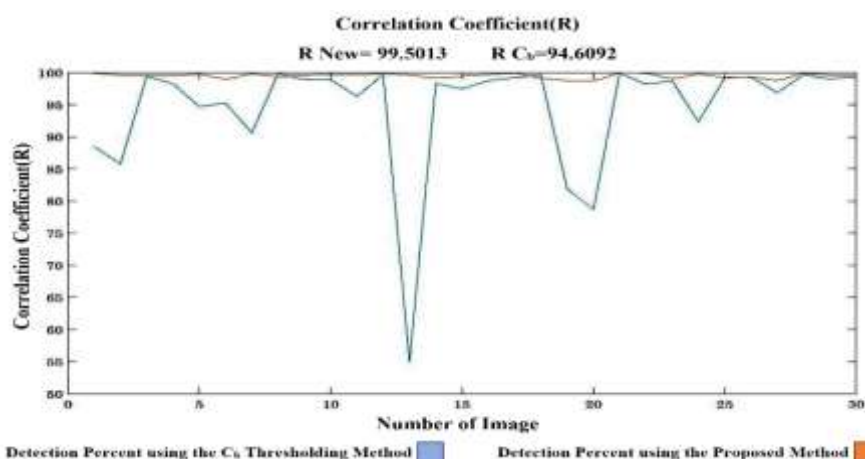
$$R = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (13)$$

که در آن $\bar{x}$ میانگین تصویر اول و $\bar{y}$ میانگین تصویر دوم است. تابع مورد نظر، دو تصویر را که باید با هم مقایسه شوند را به عنوان ورودی دریافت می نماید. سپس، ضریب همبستگی تصویر حاصل از دو روش مورد بحث نسبت به تصویر مبنا مشخص می نماید. شکل ۳۷ نمودار ضریب همبستگی اسپرمن را برای تصاویر ورودی نشان می دهد. میانگین ضریب همبستگی برای تصاویر ورودی محاسبه، که در جدول ۷ درج شده است.

نتایج نشان می دهد که الگوریتم ارائه شده در تشخیص گل زعفران و همچنین در تشخیص پس زمینه به خوبی عمل کرده است. فرمول ۱۲ در برخی از کارهای مشابه (Moghanizadeh & Neshat, 2015) برای به دست آوردن ضریب همبستگی استفاده شده است که در آن $Y_{bas,i}$ رتبه یا گروه پیکسل i ام در تصویر مبنا است و $Y_{exp,i}$ رتبه یا گروه پیکسل i ام در تصویر حاصل از خروجی الگوریتم است. N نیز تعداد کل پیکسل های تصویر ورودی است.

$$R = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{bas,i} - Y_{exp,i})}{\sum_{i=1}^N (Y_{exp,i})} \right] \times 100 \quad (12)$$

ضریب همبستگی هر تصویر حاصل از دو الگوریتم نسبت به تصویر مبنا مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳۶ ضریب همبستگی برای هر تصویر ورودی را نشان می دهد. میانگین نتایج ضریب همبستگی محاسبه که در جدول ۶ نشان داده شده است. جدول فوق نشان می دهد که ضریب همبستگی در تصاویر



شکل ۳۶- ضریب همبستگی دو روش نسبت به تصویر مبنا

Figure 36- Correlation coefficient for both methods compared to the reference image.

جدول ۶- ضریب همبستگی تصویر خروجی از دو روش نسبت به تصویر مبنا

Table 6- Correlation coefficient for the output image of both methods compared to the reference image

	روش آستانه C_b	روش پیشنهادی
	C_b thresholding method	Proposed method
ضریب همبستگی	96.61	99.50
Correlation coefficient		

حل این مشکل به کار گرفته شد. در گام بعدی پیکسل‌های تشخیص داده شده به وسیله روشی دیگر مورد بررسی قرار گرفت تا برخی از پیکسل‌هایی که به اشتباه تشخیص داده شده‌اند از تصویر حاصل حذف شوند. در برخی مواقع برگ‌های سوزنی‌شکل گل زعفران از روی آن عبور کرده و باعث می‌شوند گل مورد نظر به چند بخش در تصویر حاصل تقسیم شود. این مشکل به وسیله شناسایی قسمتی از برگ‌ها که از روی گل عبور کرده‌اند و اضافه کردن آن به تصویر حاصل، حل شده است. سپس اشیاء مربوط به پس‌زمینه از تصویر حاصل حذف می‌شود و در نتیجه در تصویر حاصل فقط گل زعفران باقی می‌ماند. در صورتی که گل‌های زعفران روی هم افتادگی داشته باشند، با استفاده از عملیات مورفولوژیک از هم جدا می‌شوند. بعد از آن نوبت به تعیین نوع گل زعفران می‌رسد. به این معنی که گل زعفران غنچه از گل زعفران شکفته تفکیک شده و همچنین قابل برداشت بودن و یا

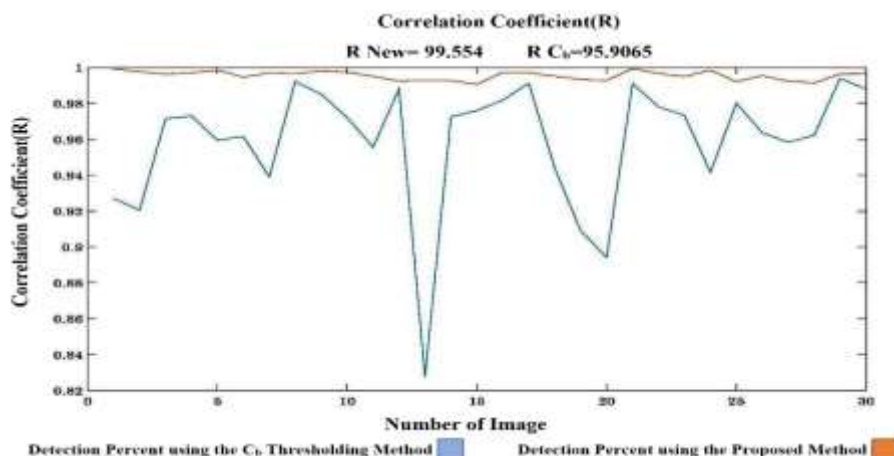
همانطور که در جدول فوق نیز مشخص است ضریب همبستگی اسپرمن نیز بهبود در روش ارائه شده را تصدیق می‌کند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، نحوه شناسایی گل زعفران به وسیله تکنیک‌های پردازش تصویر مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در ابتدای کار تصویر از گل زعفران به صورت عمود و در فاصله ۳۰ سانتی‌متری گرفته شده و سپس با الگوریتم ارائه شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در گام اول تصویر ورودی از فضای رنگ RGB به فضای رنگ $YCbCr$ منتقل شد. این فضا دارای سه مؤلفه است که هیستوگرام مؤلفه C_b برای شناسایی اولیه گل زعفران استفاده گردید.

ولی از آنجا که در صدی از پیکسل‌های گل زعفران به وسیله این روش تشخیص داده نمی‌شوند، روش‌های جایگزین برای

مناسب نبودن گل برای برداشت تعیین می‌گردد. در گام نهایی مرکز گل‌هایی که قابل برداشت تعیین شده‌اند، مشخص شده و به ربات برداشت زعفران ارائه می‌شود.



شکل ۳۷- ضریب همبستگی دو روش نسبت به تصویر مبنا با استفاده از فرمول اسپرمن
Figure 37- Correlation coefficient of both methods compared to the reference image using the Spearman equation.

جدول ۷- میانگین ضریب همبستگی با استفاده از تابع متلب

Table 7- Average correlation coefficient using the MatLab function

	روش آستانه C_b	روش پیشنهادی
	C_b thresholding method	Proposed method
ضریب همبستگی	95.91	99.55
Correlation coefficient		

برداشت گل زعفران است که در صورت رعایت نشدن، موجب خسارت به محصول کشاورزی می‌شود. برای این کار نیز راه‌حلی پیشنهاد شد تا در موقع برداشت، ربات بتواند تشخیص دهد که آیا گل مورد نظر برای برداشت مناسب است یا خیر. در مرحله نهایی برای اینکه ربات برداشت زعفران بتواند گل مورد نظر را برداشت کند، باید مرکز گل برای ربات مشخص شود. برای این کار نیز یک راه حل جدید پیشنهاد شد تا فرآیند برداشت با روند بهتری بتواند انجام شود.

در این مقاله، برای مرحله شناسایی پیکسل‌های مربوط به گل زعفران یک روش جدید پیشنهاد شد. از آنجاکه عبور برگ از روی گل زعفران یک اثر نامطلوب بر شناسایی گل زعفران دارد، در نتیجه این اثر باید از روی گل حذف شود که تاکنون هیچ راهی برای حل این مشکل ارائه نشده بود که در این مقاله این مشکل برطرف شد. استفاده از روش‌های مکانیکی پیشنهاد شده در سایر کارهای مشابه، به همراه روش ارائه شده در این مقاله می‌تواند تا حد زیادی این مشکل را برطرف نماید. تعیین مناسب بودن گل زعفران برای برداشت نیز یک مقوله بسیار مهم در

- Agricultural Statistics. 2011. Deputy Director of Planning and Environment Statistics of the Office of Statistics and Information Technology of Agricultural Jihad.
- Aliabadi, R., and Mohammadi, M. 2012. Introducing a new method for automating cutting of saffron flowers using intelligent techniques. 2nd National Conference on Computer, Power and Information Technology, p. 22-31. (In Persian).
- Aliabadi, R., and Mohammadi, M. 2011. Qualitative study of the saffron flower using smart techniques. In National Conference on Computer and Information Technology, Kerman, 2011. p. 1-5. (In Persian).
- Aliabadi, R., and Mohammadi, M. 2012. Presentation of a new method for saffron flower cutting automation using intelligent techniques. In 2nd National Conference on Computer Engineering, Electrical and Information Technology. Khomein Islamic Azad University. p. 1-5. (In Persian).
- Anil, K.J., Robert, P.W., and Jianchang, M. 2000. Statistical pattern recognition: a review. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 22 (1): 4-37.
- Antonelli, G., Auriti, L., Zobel, B., and Raparelli, P. 2011. Development of a new harvesting module for saffron flower detachment. The Romanian Review Precision Mechanics. Optics and Mechatronics 39: 163-168.
- Asimopoulos, N., Parisses, C., Smyrniotis, A., and Germanidis, N. 2013. Autonomous vehicle for saffron harvesting. Procedia Technology 8: 175-182.
- Banot, S., and Mahajan, P.M. 2016. A fruit detecting and grading system based on image processing-review. International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering 4 (1): 47-52.
- Behneya, M.R. 1991. Saffron Farming. Tehran University Press, Tehran. (In Persian).
- Beyki, A.H. 2014. Classification and prediction of the triangles and multipliers of saffron using statistical tools of machine learning without supervision. Journal of Saffron Agriculture and Technology 2 (3): 199-204. (In Persian with English in Summery).
- Cusano, E., Consonni, R., Petrakis, E.A., Cagliani, L.R., and Polissiou, M.G. 2018. Integrated analytical methodology to investigate bioactive compounds in *Crocus sativus* L. flowers. Phytochemical Analysis 29 (5): 476-486.
- Gambella, F. 2013. Application of mechanical device and airflow systems in the harvest and separation of saffron flowers (*Crocus sativus* L.). Transaction of the ASABE (American Society of Agricultural and Biology Engineers) 56 (4): 1259-1265.
- Gonzales, R.C., and Woods, R.E. 1992. Digital Image Processing. Prentice Hall Professional Technical Reference, 2nd Edition.
- Gracia, L., PerezVidal, C., and GracialÓpez, C. 2009. An automated cutting system to obtain the stigmas of the saffron flower. Journal of Biosystems Engineering 104 (1): 8-17.
- Hemmati, A. 2001. Optimization of the factors influence food color production from saffron petals. Science and Agricultural Industries 15: 13-21.
- Houshyar, R., Mostafavinia, E., and Bataei, Z. 2008. Anticancer effects of saffron stigma (*Crocus sativus*): A review study. Razi Journal of Medical Science 22 (140): 69-78. (In Persian with English in Summery).
- Houshyar, R. 2012. A Comparative Study of the Effect of Saffron Carotenoids on Cell Proliferation and Apoptosis in the Adenomacar Cell Line of AGS. Tarbiat Modarees University, Tehran.
- Jafari, A., and Bakhshipour, A. 2010. Development

- of suitable algorithm for recognition and locating saffron flower using machine vision. International Conference on Agricultural Engineering. Clermont-Ferrand, France, 6-8 September 2010. pp. 101-112.
- Jafari, A., Bakhsipour, A., and Hemmatian, R. 2014. Integration of color features and artificial neural networks for in-field recognition of saffron flower. *Iran Agricultural Research* 33 (1): 1-14.
- (In Persian with English in Summery).
- Kafi, M. 2002. Saffron Production and Processing Technology. Ferdowsi University Press, Mashhad. (In Persian).
- Khalili, K., and Serajpor, M. 2006. Saffron cutting automation using image processing. In the 4th Conference on Visual Machines and Image Processing. Mashhad Ferdowsi University. p. 1-7. (In Persian).
- Kiani, S., Minaei, S., and Ghasemi-Varnamkhasti, M. 2018. Instrumental approaches and innovative systems for saffron quality assessment. *Journal of Food Engineering* 216: 1-10.
- Kurugollu, F., Sankur, B., and Harmanci, A.E. 2001. Color image segmentation using histogram multithresholding and fusion. *Image and Vision Computing* 19 (13): 915-928.
- Kumar, R., Singh, V., Devi, K., Sharma, M., Singh, M.K., and Ahuja, P.S. 2008. State of art of saffron (*Crocus sativus* L.) agronomy: a comprehensive review. *International Journal of Food Reviews* 25 (1): 44-85.
- Manuello, A., Badas, M.G., and Ricciu, R. 2014. A mechanical saffron flower harvesting system. *Meccania* 49 (12): 2785-2796.
- Mirheydar, H. 1996. Plant Knowledge, vol.2. Publication of Islamic Culture.
- Minaei, S., Kiani, S., Ayyari, M., and Ghasemi-Varnamkhasti, M. 2017. A portable computer vision-based expert system for saffron color quality characterization. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 7: 124-130.
- Moghanizadeh, A., and Neshat, M. 2015. A Study on the performance of the saffron separator for different air flows. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 3 (3): 148-153.
- Mohamadzadeh, M.M., Taghizadeh, M., Sadrnia, H., and Pourreza, H.R. 2020. Classification of saffron using color features extracted from the image. *Saffron Agronomy and Technology* 8 (3): 319-399. (In Persian with English in Summery).
- Negbie, M. 1999. Saffron: *Crocus sativus* L. (Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles), Amsterdam, Harwood Academic Publishers.
- Pouyan, M. 2012. Strategic Products of South Khorasan. Fekr Bekr Publisher.
- Pouyan, M. 2009. Medicinal Plants of South Khorasan. Fekr Bekr Publisher, Tehran. (In Persian).
- Ruggiu, M., and Bertetto, A.M. 2006. A Mechanical Device for harvesting *Crocus sativus* (saffron) flowers. *Applied Engineering in Agriculture* 22 (4): 491-498.
- Yasrebi, S.E., Zabab, I., Behzadian, B., Marousi, A., and Rezaei, R. 2020. Classification of saffron based on its apparent characteristics using artificial neural networks. *Saffron Agronomy and Technology* 7 (4): 521- 535. (In Persian with English in Summery).
- Zaraatkar, M., Khalili, K., and Furgainejad, A. 2016. Three-dimensional model of various components of saffron flower. *Saffron Research Journal* 4 (1). (In Persian with English in Summery).