



## طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه درجه بندی گل آنتوریوم، مجهز به سامانه شناسایی واریته؛ بخش نرم افزار

علیرضا سلیمانی پور<sup>۱</sup>، غلامرضا چگینی<sup>۲</sup>، جعفر مساح<sup>۳</sup>، پیام زرافشان<sup>۴</sup>، مهدی نصوری گزنی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup>دانش آموخته دکتری مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران؛ asoleimani@ut.ac.ir

<sup>۲</sup>دانشیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ chegini@ut.ac.ir

<sup>۳</sup>دانشیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ jmassah@ut.ac.ir

<sup>۴</sup>استادیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ payamzarafshan@ut.ac.ir

<sup>۵</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران؛ nasouri.mahdi.ga@ut.ac.ir

### چکیده

در این مقاله، طراحی و ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های لازم برای دستگاه درجه‌بندی گل تشریح شده است. بخش نرم‌افزار دستگاه با بهره‌گیری از روش‌های بینایی رایانه‌ای و یادگیری ماشین، وظیفه شناسایی واریته و انتصاب یک درجه کیفی به هر نمونه گل را دارد. برای این بخش در مجموع هفت الگوریتم نوشته شد؛ دو الگوریتم برای محاسبه مشخصه‌های هندسی گل، سه الگوریتم برای شناسایی واریته و دو الگوریتم برای کنترل قسمت‌های سخت‌افزاری دستگاه. یک پایگاه داده مشتمل بر ۳۰۰ تصویر از ۱۵ واریته مختلف گل آنتوریوم تهیه شد. نتایج آزمایش‌ها برای سامانه شناسایی واریته بنابر دو شاخص صحت شناسایی و زمان محاسبه ارزیابی شد. نتایج نشان داد، الگوریتم‌ها برای حالت‌های بهینه دارای درجه درستی شناسایی واریته بیش از ۹۸٪ درصد بودند. زمان محاسبه نیز بین ۸۶ تا ۹۱۳ میلی ثانیه برای الگوریتم‌های مختلف متغیر بود. علاوه بر این، مشخصه‌های هندسی نمونه قرار گرفته تحت یک زاویه نامعین در زیر دوربین با خطای نسبی کمتر از ۳٪/۵ محاسبه شد.

کلمات کلیدی: بینایی رایانه‌ای، پردازش تصویر، درجه‌بندی، گل آنتوریوم، یادگیری ماشین.

## Design, Fabrication and Evaluation of a Flower Grading Machine, Equipped with a Cultivar Classification System; Software

Alireza Soleimanipour, Gholam Reza Chegini, Jafar Massah, Payam Zarafshan,  
Mahdi Nasouri-Gazani

Department of Agrotechnology, College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran

### ABSTRACT

In this paper, design and performance evaluation of algorithms for a flower grading machine was described. The software part of the machine was used image processing and machine learning techniques to classify the cultivars and assign a qualitative grade to each processing flower. This part consists of two algorithms for calculating the geometrical features of flowers, three algorithms for recognizing the cultivars, as well as an algorithm for controlling the hardware of machine. A database containing 300 images of 15 cultivars of Anthurium flowers was prepared. The results of the experiments for the cultivar recognition systems were evaluated based on recognition accuracy and computation time. The results showed that in all three recognition algorithms at the optimal conditions had the recognition accuracy of more than 98%. The computation time at the best recognition accuracy condition varied from 86 to 913 ms in different algorithms. Moreover, the geometrical features of flowers were calculated with the relative error less than 3.5%, at any undefined angles of rotation which the flowers are placed under the camera.

**Keywords:** Anthurium flower, Computer vision, Grading, Image processing, Machine learning.



خصوصیات ظاهری محصولات کشاورزی از مهمترین عوامل کیفی آن‌ها بوده، و تاثیر مستقیمی بر مقبولیت و خرید مداوم یک محصول توسط مصرف کننده می‌گذارد. در بازارهای صادرات نیز این محصولات را به لحاظ اندازه آسیب بیرونی و ظاهر مورد بازرسی و ارزیابی قرار می‌دهند. این مشخصه‌ها همچنین به عنوان یک شاخص فیزیولوژیکی در تعیین بهترین زمان برداشت استفاده می‌شوند. بدین جهت ارزیابی عوامل کیفی هم به لحاظ جنبه‌های تحقیقاتی محصولات، توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است و هم در عمل به عنوان یک شاخص کاربردی در طبقه‌بندی و درجه‌بندی محصولات مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آنتوریوم (*Anthurium andernum*) یک گیاه همیشه سبز، گرمسیری، چند ساله و خوش جلوه است که اغلب برای استفاده به عنوان گل شاخه بریده پرورش داده می‌شود و به دلیل ظاهر رنگارنگ، دیرپایی، اسپادیکس استوانه‌ای قرار گرفته در بالای اسپات قلبی شکل بزرگ (بخش گلبرگ مانند گل یا رنگ براق)، و شاخ و برگ با جذابیت خاص ارزشمند است. در بازارهای جهانی، فروش گل آنتوریوم در بین گل‌های شاخه بریده گرمسیری در رتبه دوم قرار دارد (Moniz, 1995; Rikken, 2010). گل آنتوریوم عموماً بر اساس اندازه اسپات (میانگین طول و عرض ناحیه اسپات) و آسیب ظاهری درجه‌بندی می‌شود. به طور عمده گلخانه‌داران و پرورش‌دهندگان، این گل را در چهار سطح درجه کیفی با نام‌های عالی، ممتاز، درجه یک و درجه دو طبقه‌بندی می‌کنند. گاهی اوقات نیز درجه کیفی دیگری با عنوان درجه سه برای گل‌های با اندازه و شکل نامعقول و آسیب ظاهری زیاد در نظر گرفته می‌شود. گل آنتوریوم از تنوع واریته بسیار گسترده‌ای برخوردار است، به گونه‌ای که در جهان نزدیک به ۷۲ واریته و در داخل کشور حدود ۳۰ واریته از این گل به شکل گل شاخه بریده زینتی تولید می‌شود؛ بنابراین یکسان بودن معیارهای درجه‌بندی برای واریته‌های مختلف این محصول نمی‌تواند چندان مطلوب باشد.

یادگیری ماشین به فرایند آموزش دادن رایانه‌ها به منظور ایجاد توانایی استخراج خودکار اطلاعات مهم از نمونه‌ها اشاره دارد که منجر به ایجاد قابلیت‌های پیش‌بینی یا جستجوی ارتقا یافته برای پیدا کردن همبستگی بین داده‌ها و یا الگوها در داده‌ها می‌شود (Mjolsness & DeCoste, 2001). یادگیری ماشین یک موضوع چند رشته‌ای است که از مشارکت علوم رایانه، علم آمار، هوش مصنوعی و نظریه اطلاعات شکل می‌گیرد. مفاهیم اصلی در یادگیری ماشین شامل مشخصه‌ها، معیار ارزیابی، نمونه‌ها، مدل، خروجی، مجموعه داده آموزشی، مجموعه داده آزمون و مجموعه داده تنظیم می‌شود. بر اساس هدف کارهای یادگیری، الگوریتم‌های یادگیری ماشین به دو دسته عمده یادگیری با نظارت و یادگیری بدون نظارت تقسیم می‌شوند (Larranaga et al., 2006; Tarca, Carey, Chen, Romero, & Drăghici, 2007; Zhao, Han, Shyu, & Korkein, 2014).

الگوریتم‌های شناسایی الگو به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند، این دو دسته عبارتند از: روش‌های شناسایی الگوی مبتنی بر مدل یا مبتنی بر هندسه، و روش‌های شناسایی الگوی مبتنی بر ظاهر (Gaidhane, Hote, & Singh, 2014). روش‌های شناسایی الگوی مبتنی بر مدل، یک مدلی از شیء مورد نظر می‌سازند که می‌تواند تغییرات شیء در تصویر را متمایز کند. در روش‌های مبتنی بر ظاهر، که از موفق‌ترین روش‌ها شناخته می‌شوند، تصاویر دو بعدی در فضای یک بعدی نمایش داده می‌شوند. بنابراین، بسیاری از روش‌های مبتنی بر ظاهر از روش‌های آماری برای تحلیل توزیع بردارهای تصویر شیء در فضای برداری استفاده می‌کنند و مطابق با کاربردهای مختلف، یک نمایش موثر و کارآمد از تصویر (فضای مشخصه) بدست می‌دهند. شباهت بین نمونه‌های ذخیره شده و یک تصویر آزمون، در فضای مشخصه و با استفاده از روش‌های قیاس بین بردارهای مشخصه، انجام می‌شود. تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تفکیک خطی (LDA)، بردارهای مشترک افتراقی (DCV) و نسخه کرنل آن‌ها از معروف‌ترین انواع روش‌های مبتنی بر ظاهر به حساب می‌آیند (Belhumeur, Hespanha, & Kriegman, 1997; Cevikalp, Neamtu, 2001; Wilkes, & Barkana, 2005; Edizkan, Çevikalp, & Yavuz, 2013; Yu & Yang, 2001).

به طور کلی، از کاربردهای روش‌های پردازش تصویر، بینایی رایانه‌ای، یادگیری ماشین، یادگیری ماشین، شناسایی الگو و به طور کلی هوش مصنوعی در کشاورزی می‌توان به مواردی از قبیل؛ طبقه‌بندی و درجه‌بندی، تشخیص گونه‌های گیاهان، شناسایی واریته گل‌ها، بازسازی سه بعدی محصولات نامنظم، تخمین عملکرد محصول، ارزیابی کیفیت بیرونی و درونی میوه‌ها، تشخیص بیماری در گیاهان، تشخیص محصول در محیط واقعی، تعیین مشخصه‌های اندازه و شکل محصولات باغبانی و همچنین کاربردهای مربوط به فراوری محصولات غذایی اشاره کرد.

در پژوهشی یک برنامه کاربردی برای تلفن‌های همراه هوشمند برای شناسایی گونه‌های گیاهی با استفاده از تشخیص بصری خودکار تشریح شد. این سامانه، به نام Leafsnap، گونه‌های درختان را از تصاویر برگ‌های آن‌ها شناسایی می‌کرد. نکته کلیدی این سامانه، اجزای بینایی رایانه‌ای برای نادیده گرفتن تصاویر بدون برگ، جداسازی برگ از پس زمینه غیر بافتی، استخراج مشخصه‌های مربوط به انحنا و مرز گل در چندین



مقیاس و شناسایی گونه‌ها با استفاده از یک پایگاه داده مشتمل بر ۱۸۴ تصویر برگ درخت بود (Kumar et al., 2012).

در تحقیقی یک سامانه شناسایی و تحلیل برای گل رز ارائه شد. در این تحقیق روش‌های توصیف ریاضی برای بررسی مشخصه‌هایی از قبیل شکل، اندازه و رنگ گل، گلبرگ، برگ، و شیوه شناسایی الگوی شیء محور (OOPR) بحث شده است. این موارد به‌طور محاسباتی در رابطه با نحوه استفاده از همه مشخصه‌های مختلف گل رز در الگوی شناسایی وارسته استفاده شدند. نتایج نشان از کارایی روش‌های توصیف ریاضی و راهکار OOPR در سامانه شناسایی وارسته توسعه یافته داشت (Zhenjiang, Gandelin, & Baozong, 2006). در تحقیق دیگری مدل شکل کلی گلبرگ‌ها و گل‌ها با یک الگوریتم قطعه‌بندی مبتنی بر رنگ ترکیب شد (Nilsback & Zisserman, 2007). همچنین، با استفاده از روش قطعه‌بندی هیستوگرام رنگ یک طبقه‌بند پیشنهاد شد که از فاصله کانونی مرکز و هیستوگرام‌های زاویه کد برای استخراج لبه بیرونی شکل گل استفاده می‌کرد. نتایج این تحقیق تصریح می‌کرد که شکل بیرونی مشخصه مهمی در شناسایی گونه‌های یک گل محسوب می‌شود، به‌خصوص اگر با سایر مشخصه‌ها ترکیب شود (Hong, Chen, Li, Chi, & Zhang, 2004).

شناسایی وارسته قبل از درجه‌بندی کمک می‌کند تا معیارهای صحیحی برای درجه‌بندی هر وارسته گل انتخاب شود. بر مبنای همین دیدگاه، یک سامانه مبتنی بر بینایی رایانه‌ای و یادگیری ماشین برای شناسایی وارسته و درجه بندی گل آنتوریوم توسعه داده شد. در این مقاله، الگوریتم‌های مختلف طراحی شده برای این سامانه توصیف و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. هر چند، این الگوریتم‌ها فقط برای گل آنتوریوم پیاده‌سازی شده‌اند، اما با تکمیل پایگاه داده تصاویر و متناسب سازی الگوریتم‌های محاسبه مشخصه‌های هندسی و شناسایی وارسته برای سایر انواع گل‌های شاخه بریده، آن‌ها را می‌توان برای انواع گل‌های شاخه بریده و سایر محصولات کشاورزی توسعه داد.

## مواد و روش‌ها

در بخش نرم افزاری فرایند درجه‌بندی، تصاویر سامانه بینایی رایانه‌ای توسط الگوریتم‌هایی پردازش شده و پس از تعیین خودکار وارسته گل با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین، مشخصات هندسی گل محاسبه و با مقادیر استاندارد درجه‌بندی مربوط به هر وارسته مقایسه می‌شوند. قسمت نرم‌افزاری دستگاه به‌لحاظ این‌که می‌بایست به‌صورت برخط و در مدت زمان کمتر از یک ثانیه بتواند وارسته و درجه کیفی هر نمونه گل را تشخیص دهد، اهمیت زیادی دارد. کارایی الگوریتم‌های نرم افزاری یک دستگاه درجه‌بندی می‌تواند موجب برتری آن نسبت به سایر دستگاه‌های اندازه‌بندی و درجه‌بندی باشد. از طرف دیگر، از آنجایی‌که این دستگاه با هدف خودکار بودن و برخط بودن طراحی شده است، الگوریتمی که بتواند در زاویه‌های مختلف تصویرگیری از نمونه گل، مشخصه‌های هندسی آن را از تصویر محاسبه نمایند نیز موضوع چالش برانگیزی است (شکل ۱).

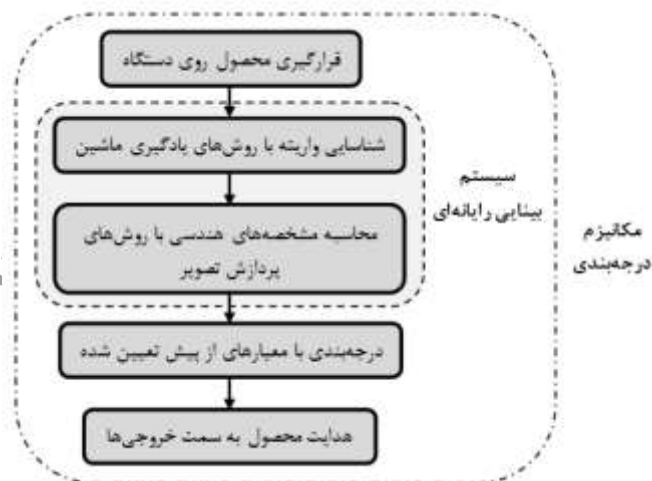


Figure 1. Steps needed to grade Anthurium cut flowers.

شکل ۱- مراحل مختلف درجه‌بندی گل شاخه بریده آنتوریوم.

در مجموع هفت الگوریتم برای قسمت‌های مختلف دستگاه نوشته شد. برخی از الگوریتم‌ها خود از چندین زیر-برنامه تشکیل شده‌اند. دو مورد از الگوریتم‌های نوشته شده برای محاسبه مشخصه‌های هندسی و سه مورد برای شناسایی وارسته هستند. این پنج الگوریتم در محیط نرم‌افزار MATLAB 2015a نوشته شده و پیاده‌سازی شدند. الگوریتم‌هایی که برای شناسایی وارسته نمونه‌های گل آنتوریوم نوشته شدند، نیاز به یک پایگاه داده تصویر برای آموزش طبقه‌بند خود دارند که می‌بایست از پیش و با تعداد تصویر مناسب فرایند آموزش انجام شده باشد. دو الگوریتم دیگر، یکی به زبان C++ و برای راه اندازی و تعامل برد آردوینو با حسگرها و عملگرهای دستگاه و نیز با رایانه متصل به دستگاه است. الگوریتم دیگر برای

ارتباط نرم افزار MATLAB با برد آردوینو، تبادل داده با آن، فراخوانی الگوریتم های مورد نیاز برای شناسایی واریته و محاسبه مشخصه های هندسی، و انتصاب یک درجه کیفی به هر نمونه گل است.

### ۱-۲- شناسایی واریته

تصاویر ۱۵ واریته تجاری گل آنتوریوم از سه گروه شکلی مختلف شامل فنجانی<sup>۱</sup>، اوباکی<sup>۲</sup> و استاندارد<sup>۳</sup> برای آموزش و آزمون الگوریتم ها استفاده شد. طبق شکل (۲)، واریته های انتخاب شده عبارت بودند؛ از گروه شکلی فنجانی: الف) ماره آ<sup>۴</sup>، ب) فاستو<sup>۵</sup>، پ) پروزی<sup>۶</sup>، ت) پرویا<sup>۷</sup> و ث) ژاویا<sup>۸</sup>؛ از گروه شکلی اوباکی: ج) بارون<sup>۹</sup>، چ) سیمبا<sup>۱۰</sup>، ح) اسپیس<sup>۱۱</sup>، خ) تیوولی<sup>۱۲</sup> و د) زافیرا<sup>۱۳</sup>؛ و از گروه شکلی استاندارد: ذ) آرنآ<sup>۱۴</sup>، ر) فانتاسیا<sup>۱۵</sup>، ز) رزا<sup>۱۶</sup>، ژ) کانتلو<sup>۱۷</sup> و سی) سانته رویال<sup>۱۸</sup>. نمونه های گل از شرکت پارس فلور تهیه شدند.

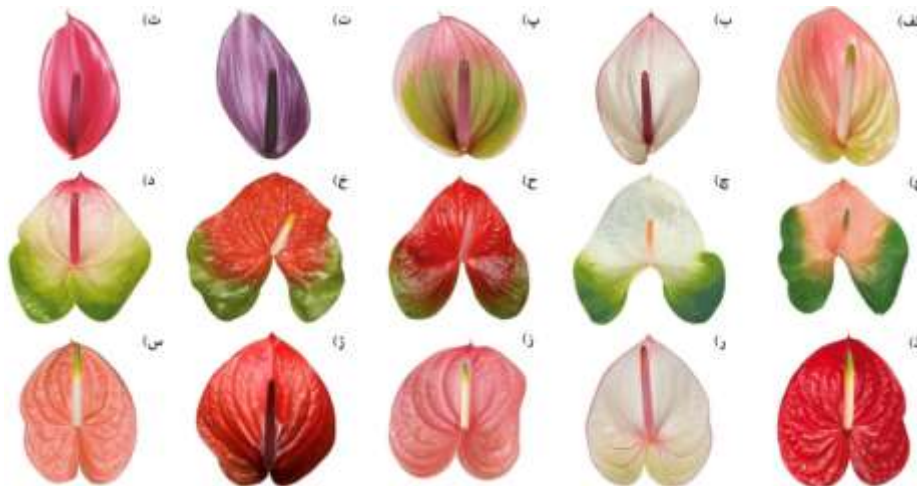


Figure 2. Anthurium cultivars.

شکل ۲- واریته های گل آنتوریوم مورد استفاده در این تحقیق.

### الگوریتم اول

الگوریتم اول شناسایی واریته مبتنی بر ترکیب سه روش: تحلیل مولفه های اصلی برای کاهش داده، تحلیل تفکیک خطی برای استخراج مشخصه و روش ماشین بردار پشتیبان برای طبقه بندی است. همان گونه که در شکل (۳) دیده می شود؛ در الگوریتم اول شناسایی واریته، روش PCA برای کاهش ابعاد داده تصاویر قبل از اعمال روش LDA برای استخراج مشخصه اتخاذ شده است. سپس از روش SVM چند کلاسه برای شناسایی واریته نمونه گل از بین ۱۵ واریته موجود استفاده شد. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد نحوه پیاده سازی این الگوریتم به مقاله (Soleimanipour, Chegini, & Massah, 2018) مراجعه نمایید.

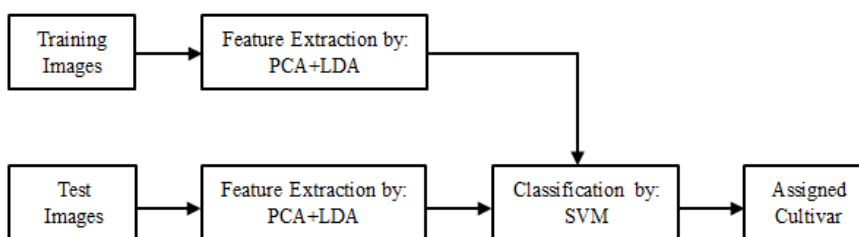


Figure 3. Cultivar classification of Anthurium flowers using combination of PCA, LDA and SVM.

شکل ۳- الگوریتم شناسایی واریته های گل آنتوریوم با استفاده از الگوریتم اول (PCA+LDA+SVM).

<sup>1</sup>Cupped  
<sup>2</sup>Obake  
<sup>3</sup>Standard  
<sup>4</sup>Marea  
<sup>5</sup>Facetto  
<sup>6</sup>Peruzzi

<sup>7</sup> Previa  
<sup>8</sup> Xavia  
<sup>9</sup> Baron  
<sup>10</sup> Simba  
<sup>11</sup> Spice  
<sup>12</sup> Tivoli

<sup>13</sup> Zafira  
<sup>14</sup> Arena  
<sup>15</sup> Fantasia  
<sup>16</sup> Rosa  
<sup>17</sup> Cantello  
<sup>18</sup> Sante Royal

### الگوریتم دوم

روش دوم شناسایی واریته یک الگوریتم ابتکاری است. این الگوریتم در ابتدا مرز گل را به صورت یک مجموعه نقاط در دستگاه مختصات دکارتی ایجاد می کند. این عملیات با استفاده از پردازش تصویر و منحنی های بی اسپلاین صورت می گیرد. با اعمال یک سری عملیات های ریاضی بر روی این نقاط، انحنای مرز گل محاسبه می شود. سپس، به منظور شناسایی واریته هر نمونه تصویر آزمون، انحنای آن با استفاده از روش های یادگیری ماشین (SVM, Naive Bayes, Discriminant Analysis, KNN) و (Decision Trees) با پایگاه داده مربوط به واریته های مختلف مقایسه می شود. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد نحوه پیاده سازی این الگوریتم به مقاله (Pour, Chegini, Zarafshan, & Massah, 2018) مراجعه نمایید.

### الگوریتم سوم

در روش سوم واریته های مختلف گل آنتوریوم با استفاده از ترکیب روش های تشخیص شیء و ایولا- جونز و تطبیق چند الگویی شناسایی شدند. گل آنتوریوم یک ناحیه خاص به نام اسپادیکس دارد که با توجه به این ناحیه می توان واریته های مختلف این نوع گل را از هم شناسایی کرد. این فرض مبنای توسعه الگوریتم سوم می باشد. در شکل (۴) نحوه پیاده سازی این الگوریتم نشان داده شده است. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد آن به مقاله (Pour, Chegini, Massah, & Zarafshan, 2018b) مراجعه نمایید.

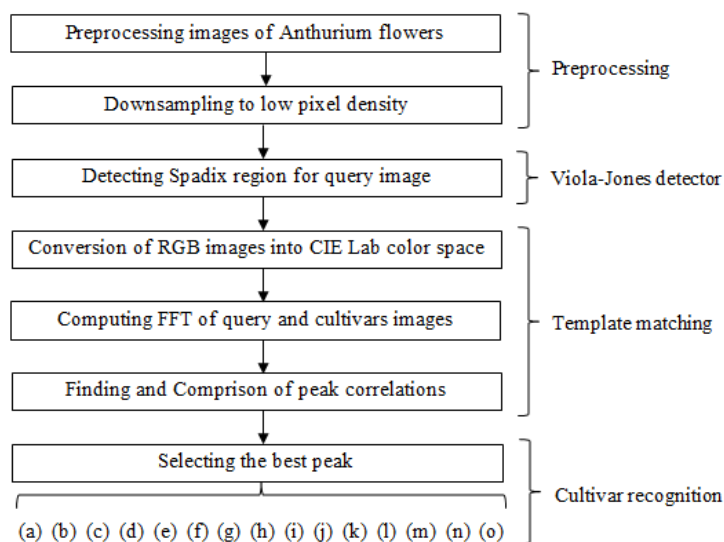


Figure 4. Algorithm for cultivar classification of Anthurium flowers using template matching.

شکل ۴- الگوریتم سوم شناسایی واریته گل آنتوریوم.

### ۲-۲- محاسبه مشخصه های هندسی

بازسازی شکل یک محصول به صورت مجموعه نقاط یا یک منحنی چندجمله ای در دستگاه مختصات دکارتی، تشخیص خودکار نقاط کلیدی شکل را ممکن می کند. بنابراین، مشخصه های هندسی محصول را می توان در یک مدت زمان کم و بدون نیاز به کاربر بدست آورد. در این تحقیق، دو الگوریتم جدید برای بازسازی شکل و تشخیص نقاط کلیدی محصول ارائه شد. در این الگوریتم ها، از روش های پردازش تصویر، منحنی های بی اسپلاین و عملگرهای ریاضی به ترتیب برای استخراج لبه، بازسازی شکل و تشخیص نقاط کلیدی شکل گل آنتوریوم استفاده شده است. وجه تمایز دو الگوریتم در شیوه شناسایی و استخراج نقاط کلیدی شکل گل است. در الگوریتم اول، از تعریف زاویه بین دو مماس برای یافتن نقاط کلیدی استفاده شده است؛ اما در الگوریتم دوم اقدام به محاسبه مشتق های اول و دوم منحنی مرز نمونه گل شده و بنابر رفتار این دو متغیر در نقاط مختلف مرز، نقاط کلیدی شناسایی می شوند. با شناسایی نقاط کلیدی تصویر گل، امکان استخراج مشخصه های هندسی به راحتی و بدون نیاز با کاربر وجود دارد. در مواردی که نمونه گل تحت یک زاویه نامشخص در زیر دوربین قرار گرفته باشد، الگوریتم با محاسبه میزان چرخش نسبت به حالت عمود، تصویر را به حالت کاملاً عمود باز خواهد چرخاند. تمام عملیات ذکر شده در قالب یک تابع در نرم افزار MATLAB پیاده سازی شد که ورودی آن یک تصویر بوده و خروجی آن، اطلاعات مربوط به کمیت های مورد نظر از قبیل طول، عرض، مساحت سطح، محیط و نیز مقدار درصد خطای تطبیق مرز منحنی حاصل از الگوریتم با مرز واقعی نمونه یا درجه شباهت شکل آن ها می باشد. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد نحوه پیاده سازی و عملکرد الگوریتم های اول و دوم محاسبه مشخصه های هندسی، به ترتیب به مقالات (Pour & Chegini, 2018) و (Pour, Chegini, Massah, & Zarafshan, 2018a) مراجعه نمایید.



مفهوم کنترل دستگاه درجه‌بندی گل از آنجایی اهمیت پیدا می‌کند که دستگاه می‌بایست به‌صورت برخط از نمونه‌های گل تصویر گرفته، تصاویر را پردازش کرده و در مدت زمان کسری از ثانیه وارپته، مشخصه‌های هندسی و درجه کیفی آن را مشخص کرده و اقدام به درجه‌بندی نماید. تشخیص زمان تصویرگیری، کنترل بیرون‌اندازها، ارتباط با ماژول‌های شناسایی رادیویی (RFID) و همین‌طور ارتباط دستگاه با رایانه را نیز باید به این موارد اضافه کرد. در واقع، علاوه بر اینکه تک تک واحدهای دستگاه می‌بایست عملکرد بی‌نقصی داشته باشند، ترکیب آن‌ها نیز باید با هم تعامل مناسبی داشته باشند. ارتباطاتی که به‌صورت مداوم بین ماژول‌های شناسایی رادیویی با برد آردوینو شکل می‌گیرد و نیز ارتباطاتی که بین برد آردوینو و رایانه سامانه ایجاد می‌شود، وجود یک الگوریتم کنترل فراگیر و کارآمد را ایجاد می‌نماید. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، ماژول‌های RFID و برد دستگاه، و نیز برد دستگاه و رایانه با استفاده از پروتکل سری یا SPI با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. علاوه بر این، از آنجایی که پردازش‌های انجام شده روی تصاویر جهت تعیین وارپته و درجه‌بندی نمونه‌های گل در قالب الگوریتم‌هایی در نرم‌افزار MATLAB انجام می‌شوند، لازم است برد دستگاه به‌طور مستقیم با این نرم‌افزار ارتباط برقرار نماید. قابل ذکر است که الگوریتم‌های توسعه یافته برای شناسایی وارپته و استخراج مشخصه‌های کیفی به‌صورت چندین تابع در نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده‌اند که الگوریتم کنترل برای اجرای هر یک، آن‌ها را فراخوانی می‌کند. به‌طور کلی، دو الگوریتم برای کنترل دستگاه نوشته شد. الگوریتم اول نحوه کنترل حسگرها و عملگرهای دستگاه را تشریح می‌کند. الگوریتم دوم عملیات شناسایی وارپته، محاسبه مشخصه‌های هندسی، درجه‌بندی و ارسال اطلاعات به برد را به‌صورت مجتمع مدیریت می‌کند. توصیف جزئیات این دو الگوریتم از حوصله این مقاله خارج است. بنابراین خوانندگان را برای کسب اطلاعات بیشتر به (Soleimanipour, Chegini, Massah, & Zarafshan, 2018) ارجاع می‌دهیم.

## نتایج و بحث

صحت عملکرد و سرعت عمل الگوریتم‌های نوشته شده برای شناسایی وارپته، محاسبه مشخصه‌های هندسی و درجه‌بندی گل آنتوریوم مهمترین پارامتر در ارزیابی دستگاه درجه‌بندی به‌شمار می‌روند. قابلیت اطمینان دستگاه به درصد صحت شناسایی وارپته و استخراج مشخصه‌های هندسی با کمترین مقدار خطا نسبت به مقدار واقعی (اندازه‌گیری شده با کولیس) بستگی خواهد داشت. از طرف دیگر، قابلیت استفاده از دستگاه به‌صورت برخط یا زمان-واقعی نیازمند کمینه بودن زمان پردازش همه الگوریتم‌های دستگاه است. همچنین، هر نمونه باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن از واحد حمل بیرون انداخته شود، به‌نحوی که آسیبی به ساقه آن وارد نشود.

از آنجایی که هدف از پیاده‌سازی الگوریتم‌ها مشترک است، صحت عملکرد و سرعت پردازش آن‌ها در اینجا با هم مقایسه شده است. همان‌گونه که در فصل مواد و روش‌ها ذکر شد، مبنای شناسایی وارپته توسط هر سه روش با یکدیگر متفاوت است. الگوریتم اول بر مبنای تفاوت در مقادیر پیکسل‌های تصویر خاکستری هر یک از وارپته‌ها عملیات شناسایی وارپته را انجام می‌داد. در این الگوریتم ابتدا تصویر خاکستری نمونه گل آزمون با کاربرد روش‌های PCA و LDA به مشخصه‌هایی تبدیل می‌شد و در ادامه با استفاده از یک طبقه‌بند SVM مشخصه‌های مربوط به نمونه آزمون با مشخصه‌های ۱۵ وارپته مختلف گل آنتوریوم مقایسه می‌شد و نزدیک‌ترین وارپته انتخاب می‌شد. در الگوریتم دوم مبنای شناسایی وارپته، تغییرات در انحنای منحنی مرز قسمت اسپات گل آنتوریوم بود. بدین صورت که بردار تغییرات انحنای هر نمونه گل با روش‌های پردازش تصویر، منحنی‌های بی‌اسپلین و عملگرهای ریاضی استخراج می‌شد و سپس با استفاده از الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین، وارپته نمونه آزمون شناسایی می‌شد. اما در الگوریتم سوم، مبنای شناسایی وارپته تفاوت در مشخصه‌های رنگی (a و b در فضای رنگی CIE Lab) ناحیه اسپادیکس گل آنتوریوم است. در این الگوریتم ابتدا ناحیه اسپادیکس با استفاده از الگوریتم وایولا-جونز تشخیص داده می‌شد. سپس، با استفاده از روش تطبیق الگوی چندگانه و معیار ضریب همبستگی نرمال (CCN)، وارپته نمونه تحت آزمون از بین وارپته‌های موجود در پایگاه داده شناسایی می‌شد.

با توجه به طبیعت متفاوت هر یک از سه الگوریتم توسعه داده شده، تصویری که برای آموزش و آزمون آن‌ها استفاده شد نیز تفاوت‌هایی داشت. به‌عنوان مثال، زمانی که از تصاویر با سطح چگالی تصویر پایین استفاده می‌شد، الگوریتم اول درصد تشخیص نسبتاً مناسبی داشت، اما الگوریتم دوم در استخراج منحنی مرز و الگوریتم سوم در تشخیص ناحیه اسپادیکس این‌گونه تصاویر دچار خطا می‌شدند. از طرف دیگر، استفاده از تصاویر با سطح چگالی بالاتر باعث افزایش بیش از اندازه حجم محاسبات در الگوریتم اول و سوم می‌شد. اما تاثیر معناداری در مدت زمان پردازش الگوریتم دوم نداشت.

هر سه الگوریتم در شرایط بهینه خود، درصد صحت شناسایی وارپته بالای ۹۸٪ داشتند. اما با توجه به وجود محدودیت زمان محاسبه در کاربردهای زمان-واقعی، در نظر گرفتن مدت زمان لازم برای شناسایی وارپته لازم است. در شکل (۵)، زمان محاسبه برای سه الگوریتم شناسایی وارپته با محدودیت درصد صحت شناسایی مختلف آورده شده است. به‌طور کلی، الگوریتم اول مزیت نداشتن خطا در حین اجرا را داشت، اما درصد صحت تشخیص و زمان محاسبه ضعیف‌تری نسبت به دو الگوریتم دیگر داشت. الگوریتم دوم سریع‌ترین الگوریتم شناسایی وارپته بود. وجود خطا در

حین اجرا برای تصاویر با چگالی پیکسل پایین و درصد صحت تشخیص کمتر نسبت به الگوریتم سوم از معایب آن به شمار می‌رود. الگوریتم سوم بهترین درصد صحت تشخیص را داشت. زمان محاسبه بالا برای این الگوریتم در مقایسه با دو الگوریتم دیگر و وجود خطا در تشخیص ناحیه اسپادیکس توسط الگوریتم وایولا- جونز در تصاویر با چگالی پیکسل پایین از معایب این الگوریتم بود.

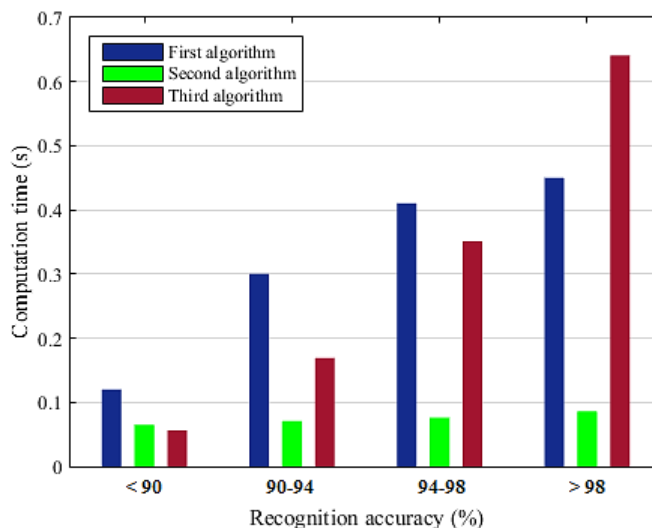


Figure 5. Computation time in different levels of classification accuracy for the developed algorithms.

شکل ۵ زمان محاسبه در سطوح مختلف صحت تشخیص برای الگوریتم‌های شناسایی واریته.

دو الگوریتم توسعه داده شده برای محاسبه مشخصه‌های هندسی گل آنتوریوم فقط از لحاظ روش تشخیص نقاط کلیدی با یکدیگر متفاوت بودند. الگوریتم اول از تعریف زاویه بین دو مماس استفاده می‌کند. اما الگوریتم دوم مشتق‌های اول و دوم منحنی مرز نمونه را محاسبه کرده و با استفاده از تعریف نقاط بحرانی در ریاضیات، نقاط کلیدی شکل نمونه را پیدا می‌کند. بنابراین قسمت عمده ارزیابی‌های انجام شده برای دو الگوریتم مشترک می‌باشد. الگوریتم دوم نسبت به الگوریتم اول با سرعت بیشتری مشخصه‌های هندسی نمونه را محاسبه می‌کند. از طرف دیگر الگوریتم اول تنها نقاط پایه و اوج نمونه گل را پیدا می‌کند. اما الگوریتم دوم پس از چرخاندن نمونه به حالت کاملاً عمودی، همه ۶ نقطه مشخص شده در شکل (۶) را پیدا می‌کند.

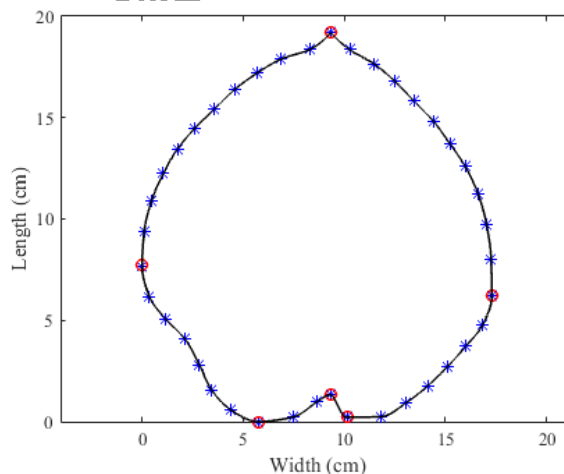


Figure 6. Reconstructed shape of an Anthurium flowers using 2nd algorithm.

شکل ۶- یک نمونه گل آنتوریوم بازسازی شده با استفاده از الگوریتم دوم.

جدول (۱) درصد صحت الگوریتم برای تخمین زاویه چرخش در شرایط مختلف را نشان می‌دهد. زوایای چرخش تخمین زده شده برای همه آزمون‌ها نزدیک به مقدار مورد انتظار است، که نشان دهنده توانایی الگوریتم در تشخیص صحیح مقدار زاویه چرخش می‌باشد. در همه آزمایش‌ها، همه ۶ نقطه کلیدی مهم به درستی تشخیص داده شدند. این مورد توانایی این الگوریتم در تشخیص نقاط کلیدی منحنی‌ها را تایید می‌کند. همان‌طور که اشاره شد، نقاط کلیدی مهم برای گل آنتوریوم شامل؛ دو نقطه بازگشتی، دو اکستریم محلی و دو نقطه که در آن‌ها مشتق اول تعریف نشده است. پیدا کردن این ۶ نقطه برای چرخاندن خودکار نمونه گل به موقعیت کاملاً عمودی و اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی آن در یک



## یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



سامانه زمان- واقعی ضروری است.

**Table 1. Calculated and measured values of geometrical features.**

جدول ۱- مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده مشخصه های هندسی.

Cultivar	Rotation angle (deg)	Calculated angle (deg)	Measured length (cm)	Calculated length (cm)	Relative error (%)	Measured width (cm)	Calculated width (cm)	Relative error (%)	Surface Area (cm <sup>2</sup> )	Perimeter (cm)
<i>Fire</i>	0	--	14.6	14.62	0.14	12.6	12.64	0.32	144.66	45.86
	30	30.1	14.6	14.57	0.21	12.6	12.68	0.63	145.15	45.99
	60	58.6	14.6	14.39	1.44	12.6	12.73	1.03	145.83	45.74
	90	91.4	14.6	14.5	0.68	12.6	12.74	1.11	146.42	45.76
	120	121.3	14.6	14.45	1.03	12.6	12.89	2.3	146.85	45.53
	150	152.7	14.6	14.76	1.1	12.6	12.78	1.43	147.4	46.02
	180	180.8	14.6	14.71	0.75	12.6	12.75	1.19	148.09	46.21
	270	271.4	14.6	14.74	0.96	12.6	12.83	1.83	148.16	46.14
<i>Fantasia</i>	0	--	13.4	13.41	0.07	11.2	11.26	0.54	111.41	40.67
	30	30.7	13.4	13.53	0.97	11.2	11.35	1.34	112.01	41.13
	60	58.9	13.4	13.35	0.37	11.2	11.28	0.71	112.06	40.67
	90	89.1	13.4	13.43	0.22	11.2	11.28	0.71	111.35	40.64
	120	119.5	13.4	13.34	0.45	11.2	11.34	1.25	111.88	41.10
	150	148.5	13.4	13.36	0.30	11.2	11.27	0.63	112.03	40.72
	180	178.2	13.4	13.27	0.97	11.2	11.24	0.36	111.33	40.62
	270	270.2	13.4	13.44	0.30	11.2	11.29	0.80	111.41	40.83
<i>Sante Royal</i>	0	--	13.3	13.27	0.23	11.1	11.11	0.09	112.92	41.18
	30	27.8	13.3	13.01	2.18	11.1	11.19	0.81	113.27	40.37
	60	60.3	13.3	12.99	2.33	11.1	11.12	0.18	113.41	40.55
	90	90.1	13.3	13.17	0.98	11.1	11.08	0.18	113.01	39.98
	120	121.2	13.3	13.04	1.95	11.1	11.17	0.63	113.40	40.37
	150	151.3	13.3	12.99	2.33	11.1	11.14	0.36	113.30	40.32
	180	180.7	13.3	12.89	3.08	11.1	11.07	0.27	113.09	40.16
	270	268.5	13.3	12.83	3.53	11.1	11.13	0.27	112.83	39.61

\* مقادیر محاسبه شده مربوط به زاویه چرخش، طول، عرض، مساحت و محیط گل آنتوریوم همراه با مقادیر اندازه گیری شده طول و عرض؛ در زوایای مختلف قرار گیری نمونه در تصویر و وارپته های مختلف می باشد.

### نتیجه گیری

پس از طراحی، ساخت و آزمایش هر یک از بخش های نرم افزاری و سخت افزاری دستگاه، این دو بخش با هم ادغام و دستگاه تحت شرایط واقعی آزمایش شد. یک پایگاه داده مشتمل بر ۳۰۰ تصویر از ۱۵ وارپته مختلف گل آنتوریوم تهیه شد. نتایج آزمایش ها برای سامانه شناسایی وارپته با استفاده از سه الگوریتم؛ ۱- مبتنی بر ترکیب روش های PCA، LDA و SVM، ۲- مبتنی بر تطبیق الگوی مرز نمونه، ۳- مبتنی بر الگوریتم وایولا- جونز و تطبیق الگوی چندگانه، و بنابر دو فاکتور صحت شناسایی وارپته و زمان محاسباتی ارزیابی شد و نتایج نشان داد در هر سه روش مورد استفاده، الگوریتم ها برای حالت های بهینه دارای درجه درستی شناسایی وارپته بیش از ۹۸٪ درصد و زمان شناسایی وارپته در آن ها کمتر از ۱/۰ ثانیه بود. نتایج ارزیابی دو الگوریتم پردازش تصویر طراحی شده برای استخراج مشخصه های هندسی مورد نیاز برای درجه بندی نیز حاکی از توانایی این الگوریتم در محاسبه مشخصه های هندسی نمونه تحت زاویه های قرارگیری مختلف آن در زیر دوربین بود. از این دستگاه می توان برای شناسایی وارپته و درجه بندی سایر گل های شاخه بریده، به شرط تامین پایگاه داده مربوط به هر گل، استفاده نمود.

### تقدیر و تشکر

از حمایت های مادی و معنوی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در ساخت دستگاه درجه بندی گل تقدیر و تشکر می نمایم. همچنین از موسسه گل و گیاه کبریایی به دلیل ایجاد ایده ساخت این دستگاه و تامین گل آنتوریوم تشکر می نمایم.





- Belhumeur, P. N., Hespanha, J. P., & Kriegman, D. J. (1997). *Eigenfaces vs. fisherfaces: Recognition using class specific linear projection*. Retrieved from
- Cevikalp, H., Neamtu, M., Wilkes, M., & Barkana, A. (2005). Discriminative common vectors for face recognition. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 27(1), 4-13.
- da Silva, J. A. T., Dobránszki, J., Winarto, B., & Zeng, S. (2015). Anthurium in vitro: a review. *Scientia Horticulturae*, 186, 266-298.
- Edizkan, R., Çevikalp, H., & Yavuz, H. S. (2013). DCV-based face recognition system and its application on the embedded development board. *AWER Procedia Information Technology and Computer Science*, 4, 734-738.
- Gaidhane, V. H., Hote, Y. V., & Singh, V. (2014). An efficient approach for face recognition based on common eigenvalues. *Pattern recognition*, 47(5), 1869-1879.
- Galinsky, R., & Laws, N. (1996). Anthurium market. *RAP Market Information Bulletin*, 11.
- Higaki, T., Lichty, J. S., & Moniz, D. (1995). Anthurium culture in Hawai'i.
- Hong, A.-x., Chen, G., Li, J.-l., Chi, Z.-r., & Zhang, D. (2004). A flower image retrieval method based on ROI feature. *Journal of Zhejiang University-Science A*, 5(7), 764-772.
- Kumar, N., Belhumeur, P. N., Biswas, A., Jacobs, D. W., Kress, W. J., Lopez, I. C., & Soares, J. V. (2012). Leafsnap: A computer vision system for automatic plant species identification *Computer vision—ECCV 2012* (pp. 502-516): Springer.
- Larranaga, P., Calvo, B., Santana, R., Bielza, C., Galdiano, J., Inza, I., . . . Pérez, A. (2006). Machine learning in bioinformatics. *Briefings in bioinformatics*, 7(1), 86-112.
- Mjolsness, E., & DeCoste, D. (2001). Machine learning for science: state of the art and future prospects. *science*, 293(5537), 2051-2055.
- Nilsback, M.-E., & Zisserman, A. (2007). *Delving into the Whorl of Flower Segmentation*. Paper presented at the BMVC.
- Pour, A. S., & Chegini, G. (2018). Design and evaluation of an image processing based algorithm for shape reconstruction and online measurement of geometrical dimensions of Anthurium flower. *Iranian Journal of Biosystem Engineering, Accepted*. Persian.
- Pour, A. S., Chegini, G., Massah, J., & Zarafshan, P. (2018a). A novel image processing framework to detect geometrical features of horticultural crops; case study of Anthurium flowers *Scientia Horticulturae, Accepted*.
- Pour, A. S., Chegini, G., Massah, J., & Zarafshan, P. (2018b). A vision-based hybrid approach for identification of Anthurium flower cultivars. *Computers and electronics in agriculture, Under Review*.
- Pour, A. S., Chegini, G., Zarafshan, P., & Massah, J. (2018). Curvature-based pattern recognition for cultivar classification of Anthurium flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 67-74.
- Rikken, M. (2010). The European market for fair and sustainable flowers and plants. *BTC, Belgian Development Agency*.
- Soleimanipour, A., Chegini, G. R., & Massah, J. (2018). Classification of Anthurium flowers using combination of PCA, LDA and support vector machine. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(1).
- Soleimanipour, A., Chegini, G. R., Massah, J., & Zarafshan, P. (2018). *Design, implementation and Evaluation of a real-time system for cultivar classification and grading of Anthurium flowers*. (PhD Thesis), University of Tehran. Persian.
- Tarca, A. L., Carey, V. J., Chen, X.-w., Romero, R., & Drăghici, S. (2007). Machine learning and its applications to biology. *PLoS computational biology*, 3(6), e116.
- Yu, H., & Yang, J. (2001). A direct LDA algorithm for high-dimensional data—with application to face recognition. *Pattern recognition*, 34(10), 2067-2070.
- Zhao, N., Han, J. G., Shyu, C.-R., & Korkin, D. (2014). Determining effects of non-synonymous SNPs on protein-protein interactions using supervised and semi-supervised learning. *PLoS computational biology*, 10(5), e1003592.
- Zhenjiang, M., Gandelin, M.-H., & Baozong, Y. (2006). An OOPR-based rose variety recognition system. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19(1), 79-101.