



مدل سه‌بعدی اجزای مختلف گل زعفران

مجتبی زراعتکار^{۱*}، خلیل خلیلی^۲ و ابوالفضل فورگی‌نژاد^۳

۱- کارشناس ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

۲- استاد، دانشکده مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

*- نویسنده مسئول: E-mail: m.zeraatkar@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۱/۳۰

چکیده

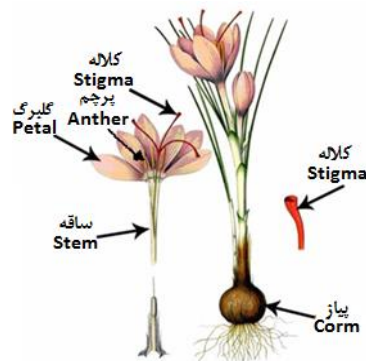
زعفران گران‌ترین محصول کشاورزی و ادویه جهان است. اطلاعات کمی در منابع علمی در مورد مشخصات فیزیکی و هندسی گل و اجزای آن وجود دارد. همچنین در مطالعات محدودی که در زمینه مکانیزاسیون فرآیندهای پس از برداشت زعفران انجام شده، امکان مطالعه دقیق جسم به دلیل نبود یک مدل مجازی وجود نداشته است. با ایجاد مدل سه‌بعدی بصورت شکل آزاد، نه تنها امکان بررسی پارامترهای هندسی گل فراهم می‌شود، امکان مطالعه دقیق‌تر آن از نظر رفتار مکانیکی شامل رفتار آیرودینامیکی نیز فراهم می‌شود. در این مقاله با از روش مهندسی معکوس، اطلاعات سه‌بعدی اجزای گل زعفران با استفاده از اسکنر لیزری استخراج و پس از پردازش اطلاعات با استفاده از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های استفاده و مدل سه‌بعدی گل زعفران بصورت شکل آزاد ایجاد شد. به دلیل عدم صلیبیت و انعطاف‌پذیری گل زعفران و نیاز اسکن داخلی آن مانند پرچم و کلاله، امکان اسکن گل به صورت یکپارچه وجود ندارد. بنابراین، هر یک از اجزای گل به صورت جداگانه اسکن شدند و سپس، با اتصال اجزای مختلف گل زعفران، مدل سه‌بعدی (3D) یکپارچه و صلب گل زعفران ایجاد شد. به دلیل ضخامت خیلی کم گلبرگ‌ها، ابر نقاط استخراج شده‌ی صفحات رویی با صفحات زیری تداخل دارد و به کمک نرم‌افزارهای موجود، امکان مدلسازی مستقیم گل از داده‌های برگرفته از اسکن وجود ندارد. برای رفع مشکل تداخل ابر نقاط و جداسازی ابر نقاط صفحات رویی و زیری گلبرگ‌های گل زعفران، الگوریتمی ابداعی پیشنهاد شد که همسایگی همگن تصویر شده نامگذاری گردید. به دلیل مشکلات زیادی که در زمینه مدلسازی هندسی گل‌ها و گیاهان وجود دارد، این الگوریتم برای حل بسیاری از مشکلات در این زمینه مفید خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: اسکنر لیزری، گل زعفران، گل مجازی، مدلسازی هندسی، مهندسی معکوس.

مقدمه

اجزای گل جدا گردد که این عمل جداسازی نامیده می‌شود (Alishahi and Shamsi, 2012). جداسازی یکی از مهم‌ترین گلوگاه‌ها در تولید زعفران می‌باشد و بیشترین هزینه را برای کشاورزان در بر دارد. مکانیزاسیون این فرآیندها نه تنها باعث کاهش قیمت نهایی این محصول می‌شود، بلکه از نظر بهداشتی نیز اهمیت زیادی دارد (Khalili, 2007). زعفران با نام علمی *crocus sativus* L. از قسمت‌هایی مانند پیاز، گلبرگ، ساقه، پرچم و کلاله تشکیل شده است (Babaie et al., 2012) که به صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. مهم‌ترین قسمت زعفران بخش قرمز رنگ آن به طول ۲۵-۳۰ میلی‌متر است که به عنوان زعفران تجاری شناخته می‌شود (Khalili, 2007).

زعفران به عنوان گران‌ترین محصول کشاورزی و ادویه جهان یکی از مهم‌ترین محصولات صادرات غیر نفتی کشور ایران به شمار می‌رود. میزان تولید جهانی زعفران بیش از ۲۰۰ تن کلاله خشک در سال می‌باشد که حدود ۹۰ درصد این مقدار در کشور ایران به خصوص در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی تولید می‌گردد (Fallahi et al., 2015) به طوری که بیش از ۹۵ درصد تولید کل زعفران ایران از این مناطق بدست می‌آید (Asghari Lafmejani et al., 2015). در حال حاضر، فرآیند جمع‌آوری و پس از برداشت زعفران به صورت دستی انجام می‌شود. با توجه به خصوصیات ظریف گل این محصول باید در بازه زمانی کوتاه از مزرعه چیده و کلاله آن از بقیه



شکل ۱. اجزای مختلف گیاه زعفران.
Figure 1. Various components of saffron crop.

سلولی پیشنهاد شد (Lindenmayer, 1968). این روش که به L-system معروف شد بعدها کامل و برای مدلسازی اغلب گیاهان و درختان استفاده شد (Prusinkiewicz et al., 2010). در این الگوریتم تاکید بر روی ساختار و شکل گیاهان بوده و مدلسازی هندسی هدف اصلی این نظریه نیست (Prusinkiewicz and Lindenmayer, 1990). اگرچه L-System یک روش مناسب برای مدلسازی گیاهان به شمار می‌رفت و هنوز هم استفاده‌های مختلفی از این روش می‌شود، اما زمانی که هدف مدلسازی هندسی و دقیق گیاهان مطرح باشد این روش بی‌نتیجه است (Xiaogang et al., 2013). برای مدلسازی جسم نیاز به داشتن اطلاعات و دانش کافی در مورد زبان L-System می‌باشد.

زعفران به عنوان ارزشمندترین محصول کشاورزی و دارویی جهان و چاشنی غذایی، جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی ایران دارد (Pour Salehi et al., 2015) اما قیمت گران آن مانعی برای استفاده وسیع در همه زمینه‌ها شده است. مدلسازی هندسی اجسام طبیعی همچون گل‌ها به دلیل اینکه از اجزای مختلفی همچون گلبرگ، ساقه و مادگی با شکل‌های گوناگون تشکیل شده‌اند، بسیار مشکل است. با توجه به پیچیدگی موجود در شکل و تنوع گل‌ها و همچنین به دلیل انعطاف پذیری آن‌ها ارائه روشی مناسب برای مدلسازی هندسی آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. مدلسازی گیاهان شامل مدلسازی ساختار آنها و مدلسازی هندسی می‌باشد (Ding et al., 2008). در سال ۱۹۶۸ میلادی مدلی ریاضی برای بیان تغییرات مختلف در شکل گیاهان چند

یکی از این روش‌ها، استفاده از عکس‌های دو بعدی در بازیابی مدل سه‌بعدی گیاهان به کمک دوربین‌هایی با کاربرد صنعتی است. کوان و همکاران (Quan et al., 2006) از این روش برای بازیابی مدل سه‌بعدی گیاهان استفاده کردند. روش اسکن سه‌بعدی بوسیله پاپروکی و همکاران (Paprocki et al., 2012) معرفی شد. آنها با استفاده از عکس‌های دیجیتال از نماهای مختلف، گیاه پنبه دارای ساقه و چند برگ بزرگ را مدلسازی کردند، ولی هنوز مشکل بازیابی مدل سه‌بعدی گیاهان با ساختار پیچیده وجود داشت (Paulus et al., 2014). در مقایسه با عکس‌برداری دیجیتال، روش اسکن لیزری امکان ایجاد مستقیم ابر نقاط سه‌بعدی را بر اساس ساختار فضایی بصورت غیرمخرب فراهم می‌کند.

هدف این پژوهش بررسی مسایل و مشکلات تهیه مدل سه‌بعدی یک جسم طبیعی همچون گل زعفران و تهیه مدل اولیه و ساده گل زعفران می‌باشد. مدلسازی هندسی گل زعفران تاکنون انجام نشده است و اطلاعات خیلی کمی در مورد مشخصات فیزیکی و هندسی گل زعفران و اجزای آن وجود دارد. همچنین در مورد مطالعات محدودی که در زمینه مکانیزاسیون فرآیندهای پس از برداشت این محصول انجام شده است.

با توجه به نبود یک مدل مجازی و همچنین پارامترهای فیزیکی و هندسی دقیق، امکان مطالعه جسم به صورت دقیق نیز امکان‌پذیر نبوده است. با ایجاد مدل سه‌بعدی نه تنها امکان بررسی کامل‌تر خواص فیزیکی و پارامترهای هندسی گل فراهم می‌شود، بلکه امکان مطالعه دقیق‌تر آن از نظر رفتار مکانیکی شامل رفتار آیرودینامیکی (مانند حرکت در تونل باد) نیز وجود دارد. بررسی رفتار مکانیکی گل زعفران در طراحی و تحلیل مکانیزم‌های پس از برداشت نقش مهمی دارد. در این پژوهش همچنین الگوریتمی ابداعی برای جداسازی ابر نقاط در اجسام با ضخامت‌های بسیار کم پیشنهاد شده است. روش کار به این صورت است که ابتدا به کمک اسکنر لیزری، ابر نقاط سه‌بعدی استخراج می‌شود. ابر نقاط موجود شامل اطلاعات هندسی جسم مورد بررسی می‌باشد که پس از پردازش، به کمک الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای کاربردی در زمینه مهندسی معکوس برای بازیابی مدل سه‌بعدی گل زعفران استفاده می‌شود.

مدلسازی مبتنی بر طرح^۱ روشی راحت و سریع در مدلسازی گیاهان می‌باشد. مدلسازی براساس دیاگرام‌های گلی و آرایش^۲ آنها صورت می‌گیرد (Ijiri et al., 2005). دیاگرام‌های گلی مشخص کننده چیدمان اجزای گل (گلبرگ، کاسبرگ، پرچم و...) و آرایش گل در واقع مشخص کننده نظم هریک از گل‌ها در مجموعه می‌باشد. آیحیری و همکاران (Ijiri et al., 2005) از این روش برای مدلسازی انواع مختلفی از گیاهان استفاده کردند. این روش به روش آیحیری نیز معروف است. دینگ و همکاران (Ding et al., 2008) نیز از روشی مشابه روش آیحیری و همکاران (Ijiri et al., 2005) برای مدلسازی صلب گل‌ها استفاده کردند. محدودیت روش مدلسازی مبتنی بر طرح، در ایجاد شکل‌های مختلف اجزای گل است. به عنوان مثال، فقط می‌توان گلبرگ‌هایی که بیضی‌شکل هستند، ایجاد نمود. همچنین برای مدلسازی سه‌بعدی با دقت زیاد کاربرد ندارد (Xiaogang et al., 2013).

مدلسازی هندسی گیاهان مخصوصاً برگ‌ها به کمک منحنی‌های ترکیبی، روش دیگری از مدلسازی هندسی استفاده شده در زمینه مدلسازی گیاهان است. نیاز به منحنی‌های ترکیبی در مواقعی که جسم به وسیله تعدادی از نقاط اندازه‌گیری شده معرفی می‌شود بیشتر احساس می‌شود. این مورد کاربرد فراوانی در مهندسی معکوس دارد. مینگ و همکاران (Ming et al., 2009) گیاه پنبه را با استفاده از منحنی‌های NURBS مدلسازی کردند. این روش برای اندازه‌گیری قطر و ساقه برگ‌ها در طول رشد انجام شده است. اجزای گیاه پنبه به صورت دو بعدی مدلسازی شدند و ایجاد مدل سه‌بعدی از جمله کارهایی است که در این زمینه انجام نشده است. خیوگنگ و همکاران (Xiaogang et al., 2013) به کمک منحنی‌های B-Spline برگ گیاهان را به منظور بررسی رشد مدلسازی کردند. استفاده از عکس‌های جسم، روشی نیمه‌اتوماتیک در بازیابی مدل سه‌بعدی می‌باشد. در دهه اخیر با توجه به پیشرفت‌های جدید مانند تکنولوژی عکس برداری غیرتهاجمی و آنالیز تصویر، فرصت مناسبی برای مطالعه دقیق‌تر و دسترسی به اطلاعات فنوتایپی فراهم شده است (Paulus et al., 2014).

1- Sketch-based modelling

2- Floral diagrams and inflorescences

مواد و روش‌ها

گل زعفران

فصل جمع‌آوری گل زعفران اواسط پاییز است. طول مدت جمع‌آوری این محصول تقریباً ۴۰ روز بوده و زمان جمع‌آوری صبح زود قبل از طلوع خورشید است. به منظور مدلسازی سه‌بعدی گل‌ها، گل‌ها قبل از طلوع آفتاب و بصورت غنچه نیمه باز از مزارع خراسان جنوبی (شهرستان بیرجند) تهیه و تا زمان اسکن کردن در دمای حدود شش درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

در این پژوهش گل زعفران به صورت باز شده مدلسازی شده است. برای مطالعه و بررسی گل نیاز است تا گل به صورت باز مدلسازی شود. به دلیل ظرافت و پژمرده شدن سریع گل زعفران، فرایند اسکن تا حد امکان باید سریع انجام شود. همچنین به دلیل انعطاف پذیری اجزای گل زعفران و تغییر وضعیت آن در حین اسکن، باید از فیکسچر مناسب برای ثابت نگه داشتن آن در برابر اسکنر استفاده شود.

بازیابی مدل سه‌بعدی گل زعفران در کارگاه مهندسی معکوس دانشکده مهندسی مکانیک بیرجند انجام شد.

سیستم اسکن لیزری

سیستم اسکن لیزری استفاده شده شامل اسکنر لیزری که بر روی یک پایه قرار دارد (شکل ۲)، میز چرخان و واحد کنترل می‌باشد. مشخصات اسکنر لیزری در جدول ۱ نشان داده شده است. اسکنر (COMET LED-2M, Steinbichler, Germany) با استفاده از نور آبی قادر به گرفتن عکس‌هایی با دقت خیلی بالا می‌باشد به کمک تکنولوژی نور آبی سیستم قادر است اسکن قطعات را تا ۱۶ میلیون نقطه در کمتر از دو ثانیه انجام دهد. برای قطعات کوچک و متوسط تا وزن ۳۰ کیلوگرم می‌توان از میز چرخان استفاده کرد. میز چرخان در داده‌برداری اتوماتیک و یکنواخت از اهمیت زیادی برخوردار است. برای اسکن گل زعفران از میز چرخان استفاده شد. واحد کنترل شامل لپ‌تاپ است و برای مدیریت و ذخیره اطلاعات استفاده می‌شود.



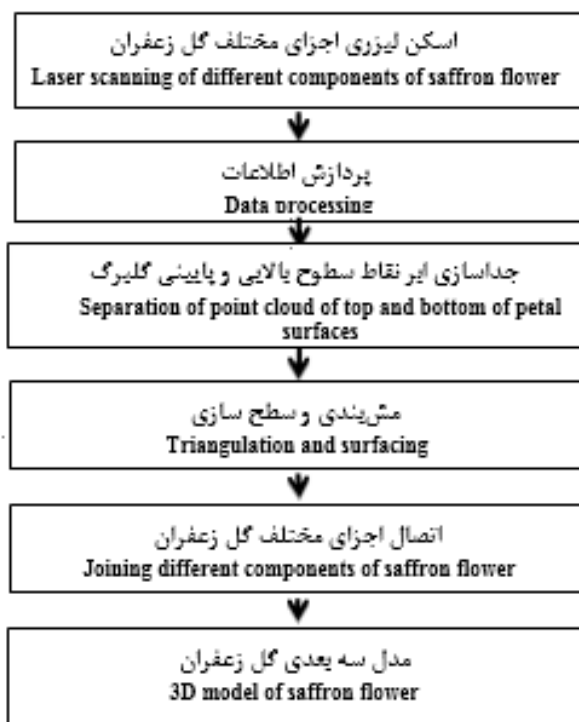
شکل ۲. اسکنر لیزری COMET LED

Figure 2- COMET LED Laser Scanner.

جدول ۱. مشخصات اسکنر لیزری COMET LED

Table 1. Characteristics of COMET LED Laser Scanner.

مشخصات Specification	توضیحات Description
رزولوشن دوربین Camera resolution	۲ مگاپیکسل، تک دوربین 2.0 Mega pixels, Single Camera
منبع نور Light source	نور آبی Blue LED
محدوده اسکن سه بعدی (میلی متر) 3D Scanning area (mm)	100mm, 200mm, 400mm
دقت نقاط (میکرومتر) Point accuracy (µm)	10
فرمت داده خروجی Output data format	AC
سریع ترین زمان اندازه گیری (ثانیه) The fastest time of measurements (s)	1.5
میز دوار Rotary table	ظرفیت ۳۰ کیلوگرم Pay load 30Kg



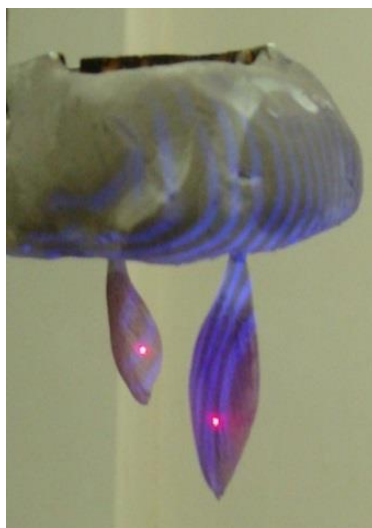
بازیابی مدل سه بعدی گل زعفران به کمک اسکنر لیزری بازیابی مدل سه بعدی گل زعفران به کمک اطلاعات خام اولیه بدست آمده از اسکن، شامل چند فرآیند مختلف است. مراحل کار در قالب یک روند نما در شکل ۳ نشان داده شده است. ابتدا ابر نقاط اولیه هر یک از اجزای گل زعفران (گلبرگ، ساقه، پرچم و کلاله) استخراج می شود. مرحله دوم شامل یکنواخت سازی ابر نقاط گرفته شده می باشد. در مرحله بعد ابر نقاط سطوح بالایی و پایینی گلبرگ از همدیگر تفکیک می شوند. پس از جداسازی ابر نقاط، هر یک از اجزای گل مش بندی و سطح سازی می شوند و در مرحله آخر به کمک تکنیک ها و الگوریتم های استفاده شده اجزای گل به هم متصل و مدل یکپارچه گل زعفران ایجاد می شود.

شکل ۳. گردش داده ها در بازیابی مدل سه بعدی گل زعفران.

Figure 3. Data flow diagram in reconstructing flower's 3D model of saffron.

شدند. از فیکسچر مناسب برای نگهداری اجزای گل در حین اسکن استفاده شد تا به صورت ثابت باقی بمانند. همچنین برای جلوگیری از هر گونه تغییر اجزای مختلف گل زعفران تحت تأثیر وزن، از گیره آزمایشگاهی همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، استفاده می‌شود.

در شروع فرآیند اسکن سیستم باید کالیبره شود. این کار که به صورت خودکار انجام می‌شود، به دلیل عدم صلبیت و انعطاف پذیری گل زعفران و همچنین اسکن اجزای داخلی آن مانند پرچم و کلاله، امکان اسکن گل به صورت یکپارچه وجود ندارد. بنابراین، هر یک از اجزای گل به صورت جداگانه اسکن



شکل ۴. ثابت کردن اجزای گل زعفران در حین اسکن.

Fig. 4- Fixing parts of saffron flower during scanning process.

Geomagic Studio (Version 12, 2011, Parametric technology company, USA) استفاده شد.

جداسازی ابر نقاط صفحات بالا و پایین گلبرگ

گل زعفران دارای گلبرگ‌های ظریف و نازک است. ضخامت گلبرگ‌های آن نیز ثابت نیست و از ساقه به سمت نوک گلبرگ ضخامت گلبرگ‌ها کاهش می‌یابد. ضخامت گلبرگ بسته به منطقه کاشت محصول و پیاز زعفران متغیر می‌باشد. به دلیل ضخامت خیلی کم گلبرگ‌ها، ابر نقاط استخراج شده صفحات رویی با زیری تداخل دارد و در این حالت، نرم-افزارهای تجاری و کاربردی در زمینه مهندسی معکوس قادر به تفکیک سطوح مختلف نبوده و سطحی از بین نقاط عبور می‌دهند که طبیعتاً مدل حجمی گلبرگ بدست نمی‌آید. به منظور استخراج ضخامت گلبرگ‌ها در نقاط مختلف و ایجاد مدل سه‌بعدی گل زعفران نیاز است ابر نقاط گرفته شده

فرآیند اسکن با اسکن کردن جسم از نماهای مختلف پیرامون آن به صورت چند مرحله‌ای و پیوسته انجام شد. نتیجه حاصل به صورت مجموعه‌ای از نقاط هندسی سه‌بعدی (x, y, z) که ابر نقاط جسم مورد نظر است، استخراج و با فرمت ASCII ذخیره شد.

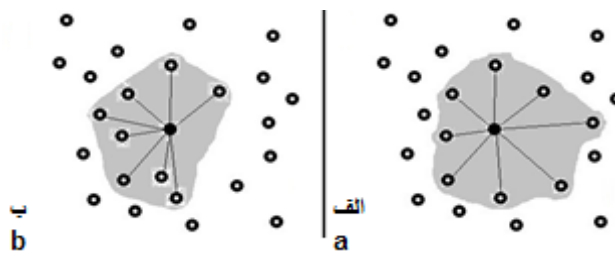
پردازش ابر نقاط شامل جداسازی ابر نقاط اجزای گل زعفران از قسمت‌های دیگر مانند فیکسچر و دیگر قطعات اطراف جسم مورد نظر در زمان اسکن می‌باشد. اسکن جسم به صورت خودکار و در زوایای مختلف انجام شده است بنابراین سرعت اسکن به صورت یکنواخت بوده و ابر نقاط برداشته شده به صورت شبکه منظم از نقاط سه‌بعدی می‌باشد. فاصله یک نقطه تا نقطه بعدی روی جسم $60\mu\text{m}$ است. این داده‌ها سپس با استفاده از فیلترهای مشخص نویزگیری می‌شوند تا داده‌های اضافی حذف گردد. اکثر نرم‌افزارهای موجود دارای توابع فیلتر پایه می‌باشند. در این پژوهش از فیلترهای موجود در نرم‌افزار

در تعیین همسایگی به روش مذکور علاوه بر فاصله، چگونگی توزیع همسایه‌ها در جهات مختلف نیز اهمیت دارد. شکل ۵ نمونه‌ای از انتخاب همسایگی‌ها را به دو روش مختلف، همسایگی همگن و روش نزدیکترین K همسایگی را نشان می‌دهد.

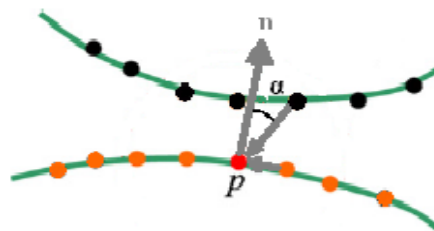
در روش نزدیکترین K همسایگی با توجه به اینکه همسایگی‌های یک نقطه بر اساس یک k ثابت، که مبین تعداد همسایگی‌ها است، تعیین می‌گردد به این همسایگی‌ها، نزدیکترین k همسایگی‌ها گفته می‌شود. روش همسایگی همگن نسبت به روش نزدیکترین K همسایگی خطای کمتری در تخمین بردار نرمال دارد. میانگین مقدار خطای محاسبه بردار نرمال، برای ابر نقاط سطح یک کره، با استفاده از روش نزدیکترین K همسایگی ۰/۷۵ درجه و این مقدار برای روش همسایگی همگن ۰/۳۹ درجه گزارش شده است (Foorginejad and Khalili, 2014).

تفکیک شوند. ابر نقاط صرفاً شامل مجموعه‌ای از نقاط اسکن شده می‌باشد که در این مجموعه هیچ گونه اطلاعاتی در مورد ارتباط بین نقاط وجود ندارد. به منظور رفع این مشکل، در ابر نقاط استخراج شده گلبه‌ها، الگوریتمی ابداعی پیشنهاد شد. در این الگوریتم برای جداسازی ابر نقاط صفحات رویی و زیری گلبه‌ها از بردار نرمال نقاط که از پرکاربردترین ویژگی‌های هندسی ابر نقاط می‌باشد، استفاده شده است.

برای محاسبه بردار نرمال روش‌های مختلفی وجود دارد. موضوع مشترک تمامی این روش‌ها در چگونگی انتخاب نقاط همسایه در تعیین بردار نرمال می‌باشد. روش انتخاب همسایگی‌های یک نقطه، بر روی نتایج محاسبه بردار نرمال تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش از روش همسایگی همگن در محاسبه بردار نرمال نقاط استفاده شده است (Foorginejad and Khalili, 2014).



شکل ۵. (الف) همسایگی همگن و (ب) نزدیکترین K همسایگی
Figure 5. (a) Homogeneous neighbors and (b) k-nearest neighbors.



شکل ۶. انتخاب صحیح همسایگی‌ها از دو سطح نزدیک با استفاده از همسایگی همگن تصویر شده. نقطه مورد بررسی است.
Figure 6. Corrected neighbor selection from two surfaces is near using projected homogeneous neighbors. P is the considered point.

وجود دارد. به منظور انتخاب همسایگی‌های همگن از همان سطحی که نقطه مورد بررسی در آن قرار دارد، از پارامتر A که بیانگر زاویه بین بردار ترسیمی بین نقاط همسایگی و نقطه

در تعیین همسایگی‌های یک نقطه از ابر نقاط گلبه‌ها به روش همسایگی همگن، به دلیل ضخامت بسیار کم گلبه‌ها امکان اینکه نقاط همسایگی از سطوح مختلف گلبه‌ها انتخاب شوند

نقطه شروع تعیین می‌شوند. نقطه مبنا در اینجا اهمیت زیادی دارد، چون جداسازی دو سطح بر اساس آن صورت می‌گیرد. در ابر نقاط گلبیگ این نقطه در مرکز گلبیگ که بردار نرمال آن تقریباً قائم است، در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، اگر در طول پیمایش، $n_i n_j > 0$ و بردار نرمال نقطه مبنا جهت n_i را داشته باشد، n_j بردار نرمال مربوط به نقطه‌ای است که در همان سطح نقطه مبنا قرار دارد. در غیر این صورت ($n_i n_j < 0$) نقطه مورد بررسی در سطح مقابل قرار می‌گیرد. با تکرار این روند برای تمامی ابر نقاط گلبیگ جداسازی ابر نقاط سطوح رویی و زیری انجام می‌گردد. پیاده‌سازی این الگوریتم در نرم‌افزار MATLAB R2013b انجام شده است.

مش‌بندی و سطح‌سازی

به منظور استخراج پارامترهای هندسی و مدلسازی سه‌بعدی گل زعفران، هر یک از اجزای گل ابتدا مش‌بندی و سپس سطح‌سازی می‌شوند. برای این منظور، ابتدا با ایجاد شبکه مش چند وجهی و یا ساختار نیافته بر روی داده‌های پردازش شده، مش‌بندی صورت می‌گیرد. مش چندوجهی مجموعه‌ای از رئوس، لبه‌ها و وجوه می‌باشد که از آن برای نمایش یک شی در مدلسازی توپر و یا گرافیک کامپیوتری سه‌بعدی استفاده می‌شود (Sederberg, 2007). در حالت کلی، وجوه استفاده شده برای مش چند وجهی می‌تواند به صورت سه ضلعی، چهار ضلعی و یا هر چند ضلعی محدب دیگر باشد. در اینجا از مش‌های مثلثی استفاده شد که با توجه به رویه مورد نظر به صورت سه‌بعدی ترسیم شدند. در مرحله بعد از رویه‌های حل شده^۳ برای ایجاد سطوح بر روی مش‌های ایجاد شده استفاده شد. رویه‌های NURBS^۴ دارای ویژگی‌های مهمی هستند و برای مدلسازی به کمک کامپیوتر یک انتخاب مناسب به شمار می‌روند. به کمک منحنی‌های NURBS می‌توان شکل‌های پیچیده سه‌بعدی با سطوح آزاد را با دقت خوبی بیان کرد. در این پژوهش، ایجاد و اصلاح مش و سطح‌سازی در دو نرم‌افزار مختلف Geomagic Studio و CATIA (V5R19, Dassault Systems) انجام شد. اصلاح و ویرایش

مورد بررسی (p)، با بردار نرمال نقطه مرکزی (n) می‌باشد استفاده می‌شود (معادله ۱).

$$\text{معادله (۱)} \quad A = \cos \alpha = \frac{\vec{p} \cdot \vec{n}}{|\vec{p}| |\vec{n}|}$$

بنابراین، همسایگی‌های با کوچکترین مقدار A، از مجموع همسایگی‌ها انتخاب می‌شوند و این بدان معنی است که بردار ترسیمی بین این نقاط و نقطه مورد بررسی، با بردار نرمال محاسبه شده تقریباً عمود است (شکل ۶). این روش، همسایگی همگن تصویر شده^۱ نامیده می‌شود. به منظور تعیین همسایه‌ها به روش همسایگی همگن تصویر شده، یک نقطه از آن (نقطه p) مورد بررسی قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، برای تعیین هشت همسایگی همگن ابتدا نزدیکترین ۴۰ همسایه به نقطه p مشخص می‌شوند. با توجه به اینکه ملاک انتخاب همسایه‌ها، فاصله آنها تا نقطه p می‌باشد بنابراین، امکان انتخاب نقاط از دو سطح مختلف وجود دارد. به منظور تعیین ۲۰ همسایگی از همان سطحی که نقطه مورد بررسی قرار دارد، همسایگی‌های با کوچکترین مقدار A، از مجموع ۴۰ همسایگی انتخاب می‌شوند. اکنون با داشتن مختصات ۲۰ نقطه، هشت همسایه همگن با توزیع یکنواخت در اطراف نقطه مورد بررسی انتخاب می‌شوند.

با تعیین همسایگی همگن یک نقطه از گلبیگ مطابق روش ارائه شده، بردار نرمال آن با استفاده از روش هوپ^۲ محاسبه می‌شود (Foorginejad and Khalili, 2014). این روند برای بقیه نقاط یک ابر نقطه گلبیگ تکرار می‌شود. پس از محاسبه بردار نرمال برای تک تک نقاط گلبیگ، جداسازی نقاط سطوح رویی و زیری گلبیگ انجام می‌گردد. برای این منظور، فرض کنید که دو نقطه $X_i, X_j \in S$ از لحاظ هندسی نزدیک هستند. به صورت ایده‌آل وقتی داده‌ها مترکم باشند و سطح نیز هموار باشد، بردارهای نرمال مرتبط (n_i, n_j) تقریباً موازی خواهند بود، و عبارتی $n_i, n_j \approx \pm 1$ را اگر بردارهای نرمال دارای جهت یکسانی باشند، $n_i, n_j \approx 1$ در غیر این صورت n_i یا n_j ممکن است تغییر جهت ۱۸۰ درجه‌ای بدهند و در جهت مقابل بردار نرمال قرار بگیرند. جهات بردارهای نرمال بر اساس جهت بردار

3- Resolved Surface

4- Non Uniform Rational B-Splines

1- Projected homogeneous neighbors

2- Hoppe

هایی که قبلاً جدایش صورت گرفته، قرار داده می‌شوند. حال با در نظر گرفتن قیود پیوستگی بین نقاط مشترک در ابر نقاط گلبرگ‌ها و ساقه، اتصال آنها انجام می‌شود. با اتصال ابر نقاط گلبرگ و ساقه، مش‌بندی و سطح‌سازی با استفاده از ابزارها و الگوریتم‌های اشاره شده انجام می‌شود. با توجه به موقعیت کلاله و پرچم‌ها در مجموعه گل زعفران، اتصال این اجزا نیز صورت می‌گیرد. کلاله گل زعفران موقعیتی دقیقاً در وسط ساقه گل دارد و پرچم‌های گل زعفران نیز در موقعیتی اطراف کلاله در مرکز گل قرار می‌گیرند.

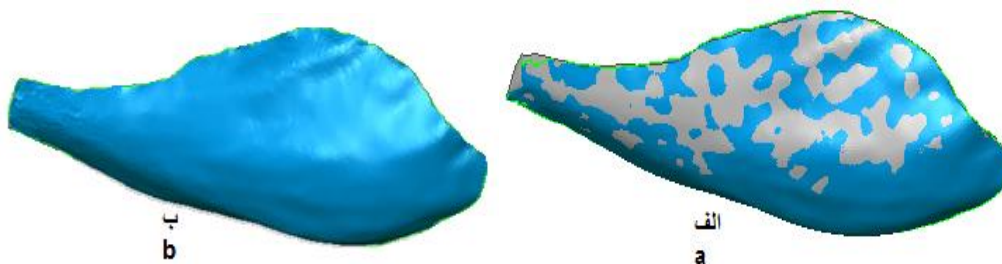
نتایج و بحث

گلبرگ‌های گل زعفران ظریف و ضخامت آن‌ها بسیار کم و متغیر است. همانطور که در شکل ۷-الف نشان داده شده است، به دلیل ضخامت خیلی کم گلبرگ‌ها، امکان مدل‌سازی مستقیم گل از داده‌های برگرفته از اسکن، به کمک نرم‌افزارهای تجاری و کاربردی در زمینه مهندسی معکوس وجود ندارد. به کمک الگوریتم ابداعی پیشنهادی شده، جداسازی ابر نقاط صفحات رویی و زیرین گلبرگ انجام شد (شکل ۷-ب).

مش‌ها به کمک نرم‌افزار Geomagic Studio انجام شد. مهمترین مزیت نرم‌افزار پردازش ابرنقاط Geomagic Studio نسبت به دیگر نرم‌افزارهای قابل استفاده در این زمینه، توانایی آن در اصلاح و ویرایش فایل‌های ابر نقاط می‌باشد. قابلیت نرم‌افزار CATIA در ایجاد سطح روی فایل‌های ابر نقاطی است که از نظر کیفی سالم بوده و نیاز به اصلاح ندارند. با ایجاد مدل سه‌بعدی اجزای مختلف گل، پارامترهای هندسی آنها قابل محاسبه خواهد بود.

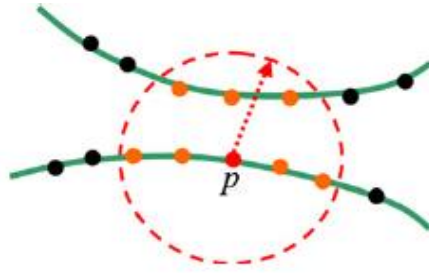
اتصال اجزای مختلف گل زعفران

به دلیل عدم صلبیت و انعطاف‌پذیری گل زعفران و همچنین اسکن اجزای داخلی آن (کلاله و پرچم)، اجزای گل جدا و به صورت جداگانه اسکن شدند. پس از آن، مدل سه‌بعدی اجزای مختلف گل شامل گلبرگ، ساقه، پرچم و کلاله ایجاد شد. لذا برای ایجاد مدل سه‌بعدی و یکپارچه گل زعفران لازم است اجزای مختلف گل به هم متصل شوند. برای اتصال گلبرگ‌ها به ساقه یک‌سری نقاط مرزی وجود دارند که این نقاط در محل جداسازی گلبرگ و ساقه پیوسته و مشترک هستند. تعداد گلبرگ‌های گل زعفران معمولاً شش عدد است. برای این منظور، ابتدا گلبرگ‌ها بر روی ساقه و با توجه به محل-



شکل ۷. مدل‌سازی گلبرگ (الف) قبل و (ب) بعد از اعمال الگوریتم ابداعی.

Figure 7. Modeling of petal (a) before and (b) after using proposed algorithm.

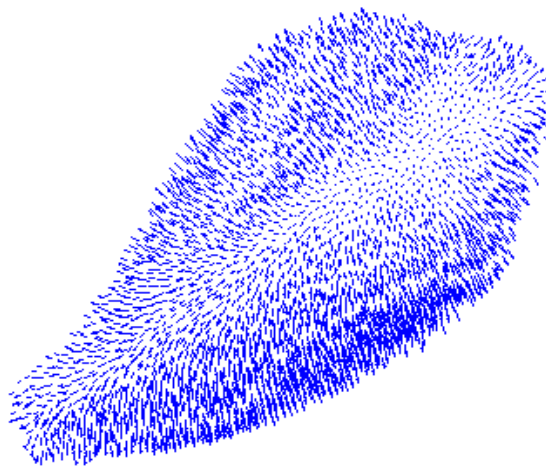


شکل ۸. انتخاب نادرست همسایگی‌ها از دو سطح نزدیک به هم با استفاده از نزدیکترین K همسایگی. p نقطه مورد بررسی است.

Figure 8. Uncorrected neighbor selection from two surfaces is near using k nearest neighbors. P is the considered point.

روی آن انجام می‌گردد، از جهت کاربردی بودن نباید از محاسبات بالایی برخوردار باشند. در روش همسایگی همگن تصویر شده، به عنوان مثال، چنانچه قرار باشد هشت همسایگی از میان ۲۰ همسایگی انتخاب شود، تنها به بررسی ۲۰ ترکیب از بین تمامی ترکیب‌ها نیاز است در حالی که در روش نزدیکترین K همسایگی باید تمامی حالات یعنی ۱۲۵۹۷۰ ترکیب مختلف مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین، با استفاده از این روش نه تنها میانگین مقدار خطا در تخمین بردار نرمال نسبت به روش K همسایگی کمتر می‌شود، بلکه حجم محاسبات نیز تا حدود زیادی کاهش می‌یابد. شکل ۹ بردار نرمال محاسبه شده برای ابر نقاط گلبرگ گل زعفران را نشان می‌دهد.

برای رفع مشکل موجود از بردار نرمال نقاط در جداسازی داده‌ها استفاده شد. روش‌های مختلفی برای محاسبه بردار نرمال وجود دارند و همچنین روش انتخاب همسایگی‌ها بر روی دقت بردار نرمال محاسبه شده تأثیر دارد. در اجسام با ضخامت‌های کم، تعیین همسایگی‌ها به روش نزدیکترین K همسایگی مشکل می‌باشد. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است با استفاده از این روش نقاط همسایگی انتخابی از سطوح مختلف جسم انتخاب می‌شوند. بنابراین، علاوه بر نقص این روش در جداسازی ابر نقاط، دقت بردار نرمال محاسبه شده نیز کاهش می‌یابد. در این پژوهش روش همسایگی همگن تصویر شده، جهت محاسبه بردار نرمال ابر نقاط پیشنهاد شد. با توجه به اینکه ابر نقاط معمولاً از حجم زیادی از مختصات نقاط تشکیل می‌شود، کلیه تحلیل‌هایی که بر

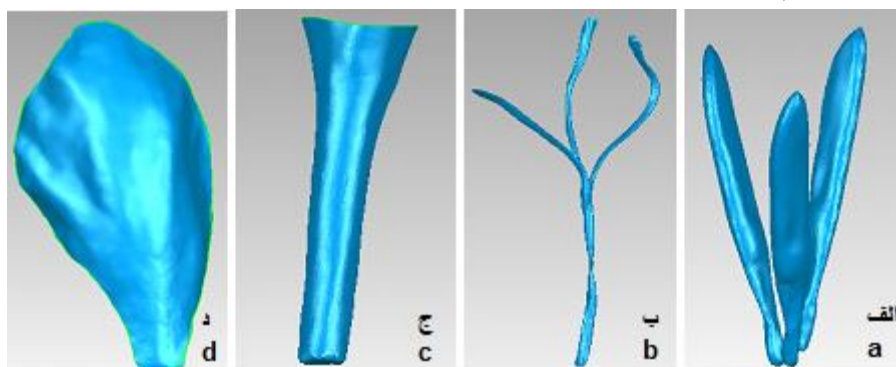


شکل ۹- بردار نرمال محاسبه شده برای ابر نقاط گلبرگ.

Figure 9. Calculating the normal vector for point cloud of petal.

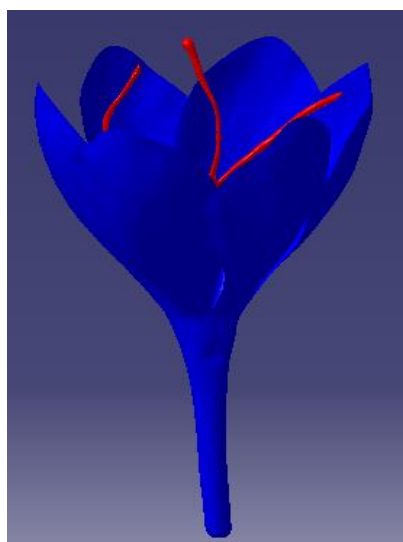
جمله مشکلات موجود در مدلسازی گل‌ها می‌باشد. در این پژوهش برای رفع این مشکل اجزای مختلف گل جداسازی و به صورت جداگانه اسکن شدند. شکل ۱۰ مدل سه‌بعدی اجزای مختلف گل زعفران را نشان می‌دهد.

پس از انجام پردازش‌های مختلف بر روی داده‌های خام خروجی از اسکنر لیزری با استفاده از الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای کاربردی، مدل سه‌بعدی اجزای مختلف گل استخراج (شکل ۱۰) و سپس با اتصال اجزای مختلف گل، مدل سه‌بعدی یکپارچه و صلب گل زعفران ایجاد شد (شکل ۱۱). استخراج ابر نقاط اجزای داخلی (کلاله و پرچم) با توجه به غیر قابل رویت بودن آن‌ها توسط سیستم‌های اندازه‌گیری مختلف، از



شکل ۱۰. مدلسازی سه‌بعدی اجزای مختلف گل زعفران شامل (الف) پرچم، (ب) کلاله، (ج) ساقه و (د) گلبرگ.

Figure 10. 3D model of different components of saffron flower such as (a) anther, (b) stigma, (c) stem and (d) petal.



شکل ۱۱. مدل سه‌بعدی گل زعفران.

Figure 11. 3D solid model of saffron flower.

اما این کار بسیار پیچیده بوده و مدلسازی اولیه (صلب) مقدمه‌ای برای درک مسایل و مشکلات مدلسازی کامل می‌باشد. اگرچه روش‌هایی که تاکنون برای مدلسازی گیاهان استفاده شده‌اند، بسیاری از مشکلات موجود در این زمینه را

نتیجه‌گیری

در این مطالعه مدل سه‌بعدی صلب و ساده گل زعفران ایجاد شد. اگرچه مدلسازی صلب محدودیت‌هایی را ایجاد می‌کند و برای مدلسازی کامل باید گل به صورت انعطاف‌پذیر مدل شود،

منحنی‌ها و همچنین روش‌هایی مانند مدل‌سازی بر اساس نقشه و L-System هنوز در مدل‌سازی گیاهان پیچیده دارای مشکل هستند و به کمک این روش‌ها مدل‌سازی دقیق ضخامت قسمت‌های مختلف گیاه مانند برگ‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد. در این مقاله الگوریتمی برای جداسازی ابر نقاط و رفع مشکل تداخل آنها در اجسام با ضخامت‌های بسیار کم پیشنهاد شد. با توجه به اینکه مدل‌سازی اجزای مختلف و پیچیده از جمله مشکلات موجود در زمینه مدل‌سازی هندسی گیاهان می‌باشد، الگوریتم بیان شده می‌تواند کاربردهای مختلفی در این زمینه داشته باشد.

حل کرده‌اند، اما زمانی که هدف مدل‌سازی دقیق گیاهان است، این روش‌ها کاربردی ندارند. به دلیل دقت بالایی که سیستم‌های اسکندر لیزری دارند یک ابزار مناسب و کاربردی برای مدل‌سازی دقیق و همچنین بیان جزئیات و مشکلات موجود در زیست‌شناسی و کشاورزی به شمار می‌روند. دقت بالای سیستم‌های اسکندر لیزری این امکان را می‌دهد تا برای بررسی رشد گیاهان در دوره‌های مختلف نیز کاربرد داشته باشند. گل‌ها و گیاهان از اجزای بسیار ظریف و نازک تشکیل شده‌اند. روش‌های مختلف ایجاد مدل سه‌بعدی گیاهان مانند روش‌های بازیابی به کمک تصویر (بینایی استریو)، بازیابی به کمک

منابع

- Alishahi, I., Shamsi, M., 2012. Separating saffron from the other components of flower in a vertical wind tunnel and checking it with fuzzy logic. *Journal of Agricultural Machinery*. 2, 120-126. [In Persian with English Summary]
- Asghari Lafmejani, S., Masoumi Jeshni, M., and Hosseini, N., 2015. The Role of Saffron as a Strategic Product in the Livelihoods of Rural Households of Iran (The Case of Bajestan Township). *Journal of Saffron Research*. 3(1), 64-80. [In Persian with English Summary]
- Alipoor Miandehi, Z., Mahmodi, S., Behdani, M.A., Sayyari, M.H., 2014. Effect of manure, bio-and chemical-fertilizers and corm size on saffron (*Crocus sativus* L.) yield and yield components. *Journal of Saffron Research*. 1(2), 73-84. [In Persian with English Summary]
- Babaie, A., Abdollahpoor, S., Mahmoudi, A., Fattahi, S.H., 2012. Saffron Stigma Separation by Oscillating Separator and Wind Tunnel. *Modern Applied Science*. 6, 101-113.
- Ding, Z., Xu, S.C., Ye, X.Z., Zhang, Y., Zhang, S.Y., 2008. Flower solid modeling based on sketches. *Journal of Zhejiang University Science A*. 9, 481-488.
- Fallahi, H.R., Alami, S., Behdani, M.A., and Aghhavan Shajari, M., 2015. Evaluation of local and scientific knowledge in saffron agronomy (Case study: Sarayan). *Journal of Saffron Research*. 3(1), 31-50. [In Persian with English Summary]
- Foorginejad, A., Khalili, K., 2014. Using homogeneous neighborhood in point clouds normal vector calculation. *Journal of Mechanical Engineering of Modarres*. 5, 155-163. [In Persian with English Summary]
- Foorginejad, A., Khalili, K., 2014. Umbrella curvature: a new curvature estimation method for point clouds. *Procedia Technology*. 12, 347-352.
- Ijiri, T., Owada, S., Okabe, M., Igarashi, T., 2005. Floral diagrams and inflorescences: Interactive flower modeling using botanical structural constraints. *ACM Transactions on Graphics (TOG) -Proceedings of ACM Siggraph*. 24, 720-726.
- Khalili, K., 2007. Simulation of falling saffron flower and the effect of acting forces on flowers orientation. *Modelling, Identification and Control*. Innsbruck, Austria. 109-113.
- Lindenmayer, A., 1968. Mathematical models for cellular interaction in development. *Journal of Theoretical Biology*. 18, 300-315.
- Ming, Z., Juan, Y., Xiaoshuan, Z., 2009. Geometry modeling for cotton leaf based on NURBS. *Information Science and Applications*. 6, 1615-1624.
- Paproki, A., Sirault, X., Berry, S., Furbank, R., Fripp, J., 2012. A novel mesh processing based technique for 3d plant analysis. *BMC Plant Biology*. 12, 63.
- Paulus, S., Schumann, H., Kuhlmann, H., Léon, J., 2014. High-precision laser scanning system

- for capturing 3D plant architecture and analysing growth of cereal plants. *Biosystems Engineering*. 121, 1-11.
- Prusinkiewicz, P., Lindenmayer, A., 1990. *The Algorithmic Beauty of Plants*. Springer-Verlag, New York.
- Prusinkiewicz, P., Shirmohammadi, M., Samavati, F., 2010. L-systems in Geometric Modeling. *Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science*. 31, 3-14.
- Pour Salehi, F., Khashei Siuki, A., Bidokhti, Z., 2015. Changes in pattern and cultivation intensity based on virtual water with the saffron centrality (Case Study: Birjand plain). *Journal of Saffron Research*. 3(1), 18-30. [In Persian with English Summary]
- Quan, L., Tan, P., Zeng, G., Yuan, L., Wang, J., Kang, S.B., 2006. Image-based Plant Modeling. *ACM transactions on graphics* (TOG)- proceedings of ACM Siggraph. 25, 599-604.
- Sederberg, T.W., 2007. *Computer Aided Geometric Design*. Department of Computer Science Brigham Young University. Provo, Utah, United States.
- Van der Niet, T., Zollikofer, C.P.E., León, M.S.P.D., Johnson, S. D., and Linder, H. P., 2010. Three-dimensional geometric morphometrics for studying floral shape variation. *Trends in Plant Science*. 15, 423-426.
- Xiaogang, W., Li, L., Wenting, C., 2013. Geometric modeling of broad-leaf plants leaf based on B-spline. *Mathematical and Computer Modelling*. 58, 564-572.

;



3D Solid Model of different components of Saffron Flower

Mojtaba Zeraatkar^{1*}, Khalil Khalili² and Abolfazl Foorginejad³

1- MSc graduated, Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

2- Professor, Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

3- PhD student, Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

*- Corresponding author E-mail: m.zeraatkar@birjand.ac.ir

Received 10 January 2015; Accepted 18 April 2015

Abstract

Saffron is the most expensive agriculture crop and spice in the world. There is very few information about physical and geometric properties of Saffron flower and its parts in academic resources. Due to the lack of a virtual model of Saffron flower it is difficult to analysis and design a post-harvesting mechanism. By generation of a 3D geometrical model of the flower as a free form, not only obtained geometric parameters of flower, but also a more accurate mechanical behavior of the flower including its aerodynamical behavior becomes possible. In this article, using reverse engineering, 3D data of Saffron flower were extracted by employing laser scanning technology, after data pre-processing and processing, the 3D model of saffron flower as a free form was developed. Because of non-rigidity and flexibility of saffron flower and the need for scanning the hidden components including anther and stigma, there is no possibility for integrated scanning of the flower. Therefore, every component of flower must be scanned individually followed by joining various components of saffron flower, after which the whole free form rigid 3D model of saffron flower was developed. Because of the very low thickness of the petals, the extracted point clouds are interfering, and using the commercial software available in the market does not allow direct modeling of the flower using the raw scanned data. An algorithm was proposed for addressing the problem of interference in point cloud and to separate point cloud of the top surface and the bottom surface of the petal named as “projected homogenous neighbors”. The algorithm is capable of solving some problems in geometric modeling of plants and flowers.

Keywords: Geometric modeling, Laser scanning, Reverse engineering, Saffron flower, Virtual flower.