

طراحی الگوریتم هرس بوته انگور بر اساس پردازش تصاویر سه بعدی

سید مهدی حسینی^{۱*}، عبدالعباس جعفری^۲

۱. فارغ التحصیل دوره کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شیراز

۲. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۶/۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۳/۲)

چکیده

انجام هرس بوته‌ی انگور با استفاده از ماشین‌های هرس هوشمند و در واقع ربات‌های هرس باعث کاهش نیروی کار مورد نیاز می‌گردد. در این پژوهش تلاش گردید الگوریتمی ارائه شود که با استفاده از روش استریوویژن قادر به تشخیص نقاطی از بوته انگور که به منظور انجام هرس باید قطع گردند، باشد. تصاویر از باغ مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس تهیه شدند. ابتدا بوته‌ها از زمینه جدا شدند سپس تنه اصلی و شاخه‌های یک ساله مشخص گردیدند و بر اساس ملاک‌های مورد نیاز برای هرس، شاخه‌های یک ساله هرس شدند. سپس اسکلت اصلی بوته مشخص شد. با استفاده از این اسکلت نقاط اتصال شاخه‌ها و تنه به دست آمد و فاصله مناسب بین شاخه‌ها از یکدیگر حفظ شد. سپس الگوریتم نوشته شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی الگوریتم نشان داد که الگوریتم نوشته شده دارای کارایی مناسب می‌باشد و نقاط هرس بوته‌ها را به درستی مشخص می‌کند. دقت الگوریتم نوشته شده ۹۷/۲ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: استریوویژن، پردازش تصویر، ماشین بینایی، هرس بوته انگور.

مقدمه

در زمستان انجام می‌شود که هرس زمستانه نام دارد و مرحله بعدی هرس سبز بوته می‌باشد که پس از ظاهر شدن برگ صورت می‌گیرد (Mahmoudzadeh et al., 2010).

کشاورزی مکانیزه تاکستان‌ها در کشورهای تولیدکننده انگور و به ویژه در سال‌های اخیر به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. تنها عملیاتی که هنوز در تاکستان‌ها به طور کامل مکانیزه نشده است هرس زمستانه بوته‌ها می‌باشد که به بیشترین نیروی کار نیز نیازمند است. بعضی از کشورهای تولیدکننده انگور از ماشین‌های مکانیکی مختلفی برای هرس استفاده می‌کنند اما حتی در جایی که ماشین‌های هرس استفاده می‌شود، کار دستی نیز برای مناطقی که استفاده از ماشین هرس دقت کافی را ندارد مورد نیاز است (Vannucci et al., 1990).

از طرفی کاربردهای گوناگونی از علم رباتیک در کشاورزی گزارش شده است که قابل‌تعمیم به تاکستان‌ها و عملیات هرس تاک نیز می‌باشد. محققان رباتی را به منظور برداشت فلفل شیرین در گلخانه معرفی و آزمایش کردند. نتایج کار آنان نشان داد که عملکرد سامانه قطع‌کننده در این ربات به میزان تشخیص سیستم بینایی آن بستگی دارد (Kitamura et al., 2005). همچنین در پژوهشی دیگر رباتی به منظور برداشت گیلاس مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفت (Tanigaki et al., 2008). ربات برداشت سیب از نمونه‌های دیگر کاربرد علم

امروزه سطح وسیعی از باغ‌های دنیا به کشت انگور اختصاص دارد (Zareh, 2005). و طی سه دهه اخیر سطح زیر کشت این محصول پیوسته در حال افزایش بوده است (Porika et al., 2015). در ایران نیز انگور یکی از محصولات مهم باغی است که جایگاه خاصی در تغذیه و حفظ سلامتی افراد جامعه دارد. این محصول از لحاظ اقتصادی، افزون بر مصرف تازه‌خوری، قابلیت نگهداری در سردخانه و یا تبدیل به محصولات ثانویه را دارد و همچنین دارای جایگاه خاصی در بین محصولات صادراتی کشور به صورت انگور تازه، آب میوه و یا کشمش است (Zareh, 2005).

از طرفی بیشتر گیاهان باغبانی، به ویژه چند ساله‌های چوبی، اگر تحت شرایط محیطی مناسب بدون دخالت انسان رشد کنند، پس از چند سال تبدیل به درختان و یا درختچه‌هایی با شاخ و برگ متراکم خواهند شد که چه از نظر میزان و کیفیت باروری و چه از نظر شکل ظاهری مطلوب نخواهند بود. برای جلوگیری از این امر و ایجاد شکل و حالت مناسب در گیاه، باید آن را هرس و به نحوه دلخواه تربیت کرد. انگور نیز از این قاعده مستثنی نبوده و تاکستان‌های انگور به طور معمول سالانه دو بار مورد هرس قرار می‌گیرد یک مرحله

* نویسنده مسئول: Mehdi.hosseini89@gmail.com

استفاده از یک سیستم استریوویژن که از دو دوربین (Canon IXUS 960 IS, 12.1 Mega pixel) تشکیل شده بود و به فاصله‌ی ۲۵ سانتی متری از هم و روی یک چارچوب قرار داشتند از بوته‌ها تصویربرداری به عمل آمد. تعداد کل تصاویر ۶۰ جفت بودند که از ۳۵ بوته مختلف تهیه شده بودند. ۴۰ جفت از تصاویر جهت نوشتن الگوریتم و ۲۰ جفت دیگر برای ارزیابی آن به کار گرفته شد. هنگام تصویربرداری، یک صفحه آبی رنگ به ابعاد ۲×۲ متر به صورت عمودی در حد فاصل بین بوته مورد نظر برای تصویربرداری و ردیف پشتی آن قرار داده می‌شد و تصویربرداری صورت گرفت. تصویرها با استفاده از نرم افزار متلب مورد پردازش قرار گرفتند.

ملاک های مورد نظر به منظور هرس بوته‌ها

ملاک‌های تعیین شده به منظور هرس بوته‌ها در این پژوهش عبارتند از:

میزان تراکم شاخه‌ها

مشخص نمودن شاخه‌های اصلی و فرعی بر اساس قطر شاخه‌ها

تعیین تعداد گره‌ها و جوانه‌های بارده لازم روی هر شاخه با توجه به فاصله‌های میان گره

فاصله‌ی شاخه‌های فرعی از تنه اصلی (Zareh, 2005).

کالیبره کردن دوربین‌ها

به منظور کالیبراسیون سیستم استریوویژن از پرنیت یک صفحه شطرنجی استفاده شد که با توجه به محدوده فواصل مورد انتظار در عکس‌برداری، ابعاد صفحه انتخاب شد و ابعاد هر مربع ۴۰×۴۰ میلی متر در نظر گرفته شد. صفحه شطرنجی مذکور بر روی یک صفحه چوبی کاملاً مسطح چسبانده شد. ۲۰ جفت عکس تحت زوایا و موقعیت‌های مختلف از صفحه گرفته شد به شکلی که صفحه همواره در میدان دید دو دوربین قرار داشته باشد. با استفاده از جعبه ابزار کالیبراسیون دوربین برای متلب (Bouguet, 2012) گوشه‌های مربع‌ها تعیین شده و پارامترهای درونی و بیرونی استریو ویژن تنظیم گردید.

تعیین بعد سوم مکان بوته‌ها (بعد فاصله)

شکل (۱) چگونگی اندازه‌گیری فاصله یک جسم از لنز دوربین (عمق تصویر) را نشان می‌دهد. مکان یک نقطه روی بوته با مختصات (x_c, y_c, z_c) مشخص شده است. همان طور که از تصویر مشخص است، مرکز لنز تصویر سمت چپ به عنوان مبنای مختصات انتخاب شده است.

رباتیک در کشاورزی می باشد. محققان سازنده این ربات بیان می‌کنند که دقت الگوریتم نوشته شده برای این ربات در تشخیص موقعیت سیب‌ها ۹۶ درصد می باشد (Mao *et al.*, 2009). در سال ۲۰۱۰ رباتی مکانیکی طراحی شد که می‌توانست از درخت بالا رود و آن را هرس نماید (Soni *et al.*, 2010). به این دلیل که عملیات هرس زمستانه نیروی کار قابل ملاحظه‌ای را نیاز دارد (Vanucci *et al.*, 1990) و با توجه به مشکلات ماشین‌های هرس مکانیکی غیر هوشمند استفاده از ماشین‌های هوشمند و در واقع ربات‌های هرس در تاکستان‌ها امری بدیهی به نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت موضوع، در این مقاله تلاش گردید با استفاده از روش‌های پردازش تصاویر سه بعدی الگوریتمی ارائه شود که قادر به تشخیص نقاطی از بوته انگور باشد که به منظور انجام هرس باید قطع گردند. در این مقاله جهت به دست آوردن عمق در تصاویر، از روش استریوویژن استفاده شد. برخی محققان از این روش به منظور هدایت خودکار ماشین برداشت ذرت در مزرعه استفاده نمودند (Rovira-Más *et al.*, 2007) و در پژوهشی دیگر الگوریتمی با استفاده از استریوویژن نوشته شد که قادر بود ردیف‌های کشت را در مزرعه تشخیص دهد و از این راه به هدایت کردن ماشین‌های کشاورزی در مزرعه کمک کند (Mudenagudi & Chaudhuri, 1999).

پس از دستیابی به الگوریتم مورد نظر، الگوریتم نوشته شده مورد ارزیابی قرار گرفت و با مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی با حالتی که در آن بوته‌ها به صورت دستی هرس شده بودند، الگوریتم نوشته شده اصلاح و بهینه سازی شد.

مواد و روش‌ها

استفاده از روبات‌های هوشمند هرس در تاکستان‌هایی که به صورت پاچراغی هستند بسیار مشکل و تقریباً ناشدنی است چرا که ساختار این بوته‌ها به شکلی است که شاخه‌های در هم رفته درختان، مانع از تشخیص درست آن دسته از شاخه‌هایی می‌گردد که باید هرس گردند، بنابراین به منظور انجام این پژوهش باید از تاکستان‌هایی تصویربرداری می‌شد که به صورت داربستی باشند به همین دلیل باغ مورد استفاده در این طرح باغ انگور مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس واقع در شهر زرقان بود که بوته‌های آن به شکل کوردون می باشند.

زمان و روش تصویر برداری

با فرا رسیدن فصل خزان و پس از ریزش تمام برگ‌های بوته با

d به عنوان عدم تطابق دو تصویر در دید استریو تعریف می‌شود.

از طرف دیگر طبق قاعده ساده تشابه مثلث‌ها خواهیم داشت:

$$\frac{b}{d} = \frac{z_c}{f} \rightarrow z_c = \frac{b \times f}{d} \quad (\text{رابطه ۲})$$

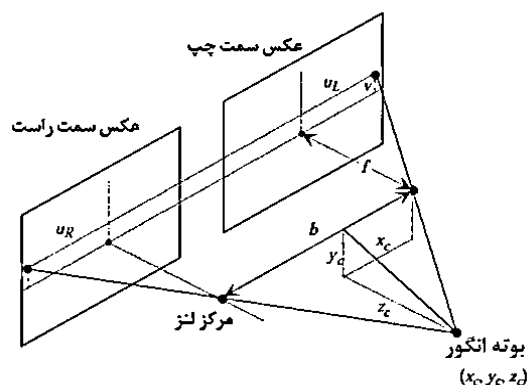
که در معادله فوق، b نماینده فاصله لنز دو دوربین، مقدار f برابر با فاصله کانونی دوربین‌ها و z_c فاصله لنز دوربین‌ها تا شیء مورد نظر (عمق تصویر) می‌باشد. بنابراین و با داشتن مقدار z_c به راحتی می‌توان بعد سوم مکان شاخه بر روی بوته را اندازه‌گیری نمود (Dogi, 2005).

طراحی و توسعه الگوریتم

به منظور دست‌یابی به الگوریتم مورد نظر با استفاده از یک سیستم استریوویژن و از فاصله ۵۰ تا ۸۰ سانتی متری از هر بوته دو تصویر گرفته شد که همه شرایط محیطی برای این دو تصویر کاملاً یکسان بود (شکل ۲).



ب

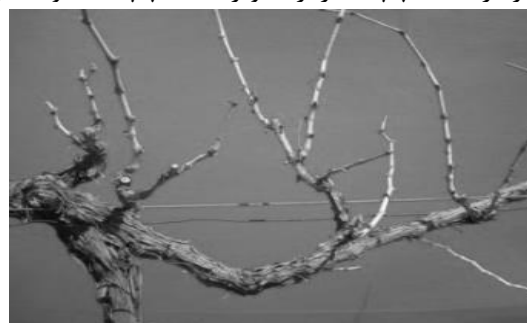


شکل ۱. چگونگی تعیین بعد فاصله به روش استریوویژن.

با توجه به شکل ۱، خواهیم داشت:

$$u_L - u_R = d \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه (۱)، مقدار u_R فاصله افقی در جهت محور x بین تصویر نقطه مورد نظر در سمت راست تا مرکز تصویر سمت راست و u_L فاصله افقی در جهت محور x بین تصویر نقطه مورد نظر در سمت چپ تا مرکز تصویر سمت چپ باشد و مقدار



الف

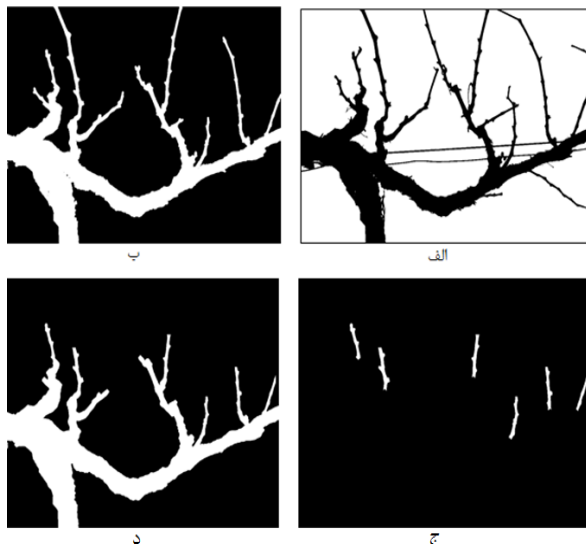
شکل ۲. یک نمونه تصویر گرفته شده به روش استریوویژن. الف) تصویر گرفته شده با دوربین سمت راست و ب) تصویر گرفته شده با دوربین سمت چپ.

گردید. در این مرحله شاخه‌هایی که قطر آن‌ها کمتر از یک مقدار مشخص (حدود ۷ میلی متر) بود حذف گردید. این شاخه‌ها در طی سال قبل رشد کرده بودند و جزء شاخه‌های یک ساله محسوب می‌شوند اما چون ضعیف هستند بار دهی مناسبی را نداشته و باید مورد هرس شوند (Zareh, 2005). به منظور یافتن شاخه‌های اصلی و حذف شاخه‌های فرعی از الگوریتم‌های گسترش (Dilation) و سایش (Erosion) همراه با سازه‌های دایره‌ای به ترتیب با شعاع ۲ و ۴ پیکسل استفاده گردید. استفاده مکرر از این توابع که شامل ۶ بار به کار گیری الگوریتم‌های گسترش و ۵ بار الگوریتم‌های سایش بود، باعث شد که شاخه‌های با ضخامت کم به تدریج حذف شده و یا از شاخه‌ها و تنه اصلی جدا شوند. سپس از مساحت اشیاء باقیمانده در تصویر جهت یافتن تنه و شاخه‌های متصل به آن استفاده شد به این صورت که مساحت همه اشیاء موجود در

پس از فراخوانی تصاویر، فضای رنگی از RGB به $YCbCr$ تبدیل شد و با استفاده از مولفه Y این فضا تصاویر به حالت باینری تبدیل شدند. برای اینکه بهترین تصویر باینری به دست آید از مقدار آستانه رنگ در تبدیل تصاویر استفاده گردید (Heydari, 2010) (شکل ۳-الف). پس از تبدیل تصاویر به حالت باینری، با استفاده از معادله (۲) فاصله بوته‌ها از دوربین‌ها محاسبه گردید مقدار b در این پژوهش برابر با ۲۵ سانتی متر و فاصله کانونی دوربین‌ها f ، $f = \frac{28}{5} - \frac{7}{7}(W)$ میلی متر بود که در این پژوهش دوربین‌ها بر روی فاصله کانونی $\frac{7}{7}$ تنظیم شده بودند. پس از به دست آوردن فاصله بوته‌ها از دوربین‌ها تصاویر مورد پردازش قرار گرفتند. مراحل پردازش تصویر روی هر دو تصویر یکسان است بنابراین این مراحل فقط در مورد یکی از تصویرها توضیح داده می‌شود.

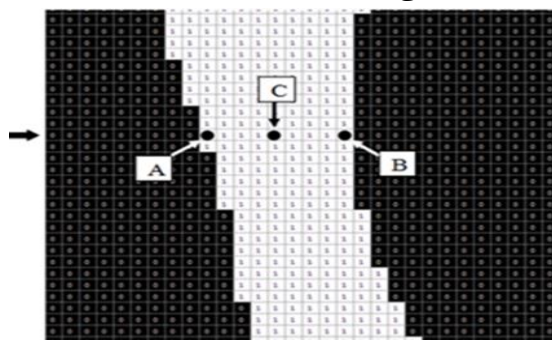
در اولین مرحله تنه اصلی بوته و شاخه‌های اصلی مشخص

طول این شاخه ها اندکی (کمتر از فاصله بین دو جوانه متوالی) بیشتر از شاخه های مستقیم می گردد. که این مسئله در اصل هرس شاخه ها خللی ایجاد نمی کند. (شکل ۳-ج). حال این تصویر با تصویر مربوط به تنه اصلی و شاخه های چند ساله جمع شد و تصویری به دست آمد که شاخه های یک ساله در آن هرس شده بودند (شکل ۳-د).



شکل ۳. الف) تصویر باینری بوته. ب) تنه اصلی بوته و شاخه های اصلی. ج) شاخه های یک ساله با طول ۱۵ سانتی متر. د) بوته اصلی با شاخه های یک ساله دارای طول ۱۵ سانتی متر.

در مرحله بعد برای یافتن همه نقاط اتصال و حفظ فاصله مناسب بین شاخه ها روی تنه اصلی، اسکلت اصلی بوته به دست آورده شد. برای به دست آوردن اسکلت بوته، در هر سطر مختصات اولین و آخرین نقطه مربوط به هر شاخه به دست آمد سپس در نقطه وسط آن ها مقدار یک قرار داده شد (شکل ۴). با این کار قسمتی از شاخه که در آن سطر قرار داشت به یک نقطه تبدیل شده و با تکرار روند فوق برای تمام سطرها، اسکلت اصلی شاخه های عمودی به دست آمد. این روند برای شاخه های افقی نیز تکرار شد و با جمع کردن نتایج در دو حالت افقی و عمودی اسکلت اصلی بوته به دست آمد (شکل ۵-الف).



شکل ۴. نحوه ی تعیین اسکلت اصلی شاخه

اسکلت بوته به صورت خطوطی تک پیکسلی بود. برای مشخص کردن نقاط اتصال همه شاخه از یک سازه مربعی به

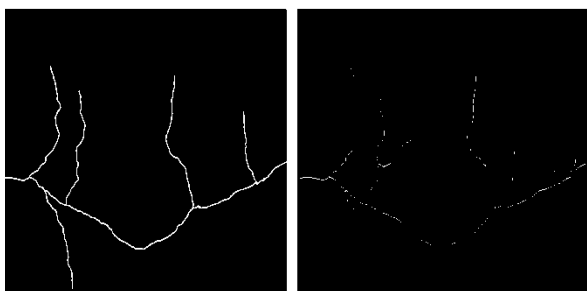
تصویر محاسبه گردید و از آنجا که بیشترین مساحت مربوط به تنه و شاخه های اصلی متصل به آن می شد همه اشیاء بجز شیئی که دارای بیشترین مساحت بود از تصویر حذف شدند. در واقع این شیء همان تنه اصلی بود که شاخه های با ضخامت بیشتر از ۷ میلی متر نیز به آن متصل بودند. (شکل ۳-ب). برای پردازش بهتر تصاویر از این مرحله به بعد از نقیض تصاویر استفاده شد. یعنی جای رنگ های سفید و سیاه با هم عوض شد (شکل ۳-ب).

پس از حذف شاخه های با ضخامت کم، شاخه های یک ساله مشخص شدند. این شاخه ها دارای قطری بین ۱۳ تا ۱۷ میلی متر هستند (Khajehi, 2003). از این ویژگی جهت شناسایی شاخه های یک ساله استفاده شد. جهت کالیبره کردن قطر و تعداد پیکسل ها، قطعه ای چوبی به ضخامت یک سانتی متر در فاصله ۵۰ سانتی متری از دوربین قرار داده شد. و بدون استفاده از زوم دوربین از آن تصویر برداری شد. سپس با استفاده از نرم افزار متلب تعداد پیکسل هایی که بر روی یک خط افقی واقع بر روی قطعه چوبی قرار می گرفت اندازه گیری و به عنوان یک سانتی متر یادداشت شد.

تعیین شاخه های یک ساله به این صورت انجام گرفت که با استفاده از توابع به کار گرفته شده در مرحله قبل تنه اصلی و شاخه های چند ساله مشخص شدند و تصویری که شامل این شاخه ها بود از تصویر مربوط به تنه و شاخه های اصلی تفریق شد. نتیجه این کار تصویری است که تنه و شاخه های دو و چند ساله از آن حذف شده است و تنها شاخه های یک ساله در تصویر باقی مانده بود که باید در مورد آن ها تصمیم گیری شود.

در این پژوهش با اندازه گیری فاصله بین دو جوانه متوالی در ۷۰ نمونه از شاخه های یک ساله که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند، مشخص شد که فاصله بین دو جوانه متوالی روی شاخه های یک ساله 5 ± 0.1 سانتی متر است. در هرس شاخه ها باید سه جوانه روی هر شاخه باقی بماند (Khajehi, 2003). بنابراین شاخه های یک ساله باید به نحوی هرس شوند که طول آن ها برابر ۱۵ سانتی متر شود برای حذف شاخه های با طول کمتر، طول محور اصلی همه شاخه های یک ساله موجود در تصویر محاسبه شد و شاخه های با طول کمتر از ۱۵ سانتی متر حذف شدند. سپس دایره ای به شعاع ۱۵ سانتی متر و به مرکز نقطه ابتدای شاخه های یک ساله رسم گردید و نقاط مشترک این دایره ها با شاخه های یک ساله به دست آورده شد. با این کار شاخه های یک ساله بلندتر از ۱۵ سانتی متر نیز از طول ۱۵ سانتی متری قطع شوند. در مورد شاخه های منحنی نیز استفاده از دایره باعث باقی گذاشتن سه جوانه خواهد شد. اما

ایجاد شده در نقاط اتصال برابر با (۱-) قرار داده شد سپس این نقاط به تصویر مربوط به اسکلت اصلی اضافه شد که این کار باعث جدا شدن همه شاخه ها از هم می شد و با محاسبه طول شاخ ها و حذف شاخه هایی که طول آن ها کمتر از ۱۰ سانتی متر بود شاخه های چند ساله ای که هیچ شاخه یک ساله ای بر روی آن ها وجود نداشت حذف شدند و به این ترتیب هرس اسکلت بوته کامل شد. شکل ۵-ب، اسکلت یک بوته که به طور کامل هرس شده است را نشان می دهد.



شکل ۵. الف) اسکلت بوته. ب) اسکلت هرس شده بوته.

با کامل شدن هرس بوته باید مختصات نقاط قطع به دست می آمد. برای به دست آوردن این نقاط تصویر حجیم شده اسکلت هرس شده با تصویری که در آن فقط شاخه های دو یا چند ساله وجود داشت جمع شدند. نتیجه این کار تصویری می باشد که در آن شاخه های یک ساله هرس شده بودند و فاصله مناسب بین شاخه ها بر روی تنه اصلی حفظ شده بود (شکل ۶-الف). سپس این تصویر از تصویر باینری اولیه کم شد و تصویری به دست آمد که در آن فقط شاخه هایی وجود داشتند که طی مراحل مختلف الگوریتم از تصویرها حذف شده بودند (شکل ۶-ب).



ب



الف

شکل ۶. الف) حاصل جمع دو تصویر اسکلت اصلی حجیم شده و تصویر شاخه های اصلی. ب) شاخه های هرس شده.

یک، نقاط اتصال شاخه های حذف شده به تنه اصلی و سایر شاخه های بوته مشخص گردید. این نقاط همان نقاط قطع می باشند که باید توسط ربات قطع شوند (شکل ۷).

طول ضلع ۳ پیکسل استفاده شد. چنان چه این سازه روی یک خط (یک شاخه) قرار گیرد حداکثر سه پیکسل از آن دارای مقدار یک بود و مجموع آن ها برابر سه می شد. اما اگر این سازه روی یک نقطه ای اتصال قرار گیرد تعداد پیکسل های با مقدار یک آن به چهار نقطه می رسد و مجموع آن ها برابر ۴ می شود. با استفاده از این ویژگی نقاط اتصال شاخه ها مشخص گردید.

حفظ فاصله مناسب بین شاخه ها

پس از مشخص کردن نقاط اتصال فاصله بین آن ها مشخص گردید. برای به دست آوردن فاصله بین نقاط با داشتن مختصات نقاط از فرمول زیر استفاده شد:

$$d = \sqrt{(a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این فرمول (a_1, b_1) مختصات نقطه اول و (a_2, b_2)

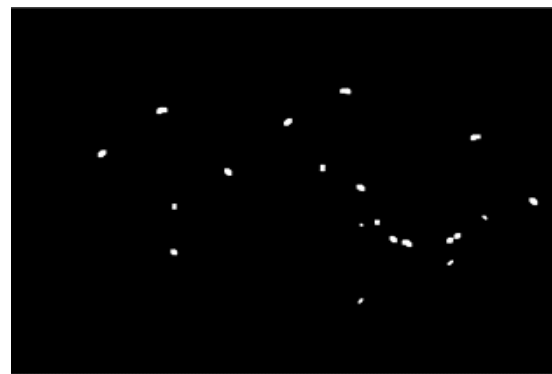
مختصات نقطه دوم می باشد.

چنان چه این فاصله کمتر از ۱۵ سانتی متر بود در مربعی که برای نشان دادن نقاط اتصال به کار گرفته شده بود. سطر اول مربع مربوط به نقطه ای که فاصله بیشتری با تنه عمودی بوته داشت برابر با (۱-) قرار داده شد. با این کار شاخه ای که به آن نقطه متصل بود از تنه اصلی جدا می شد و با تعیین مساحت اشیاء موجود در تصویر و حذف اشیایی که مساحت آن ها کمتر از مساحت بزرگترین شیء موجود در تصویر بود، شاخه های جدا شده، از تصویر حذف شدند. به این ترتیب فاصله مناسب بین شاخه ها حفظ شد.

در مرحله نهایی هرس نیز شاخه های چند ساله ای که هیچ شاخه یک ساله ای بر روی آن ها وجود نداشت حذف شدند این شاخه ها دارای طول کمتر از ۱۰ سانتی متر بودند و برای حذف آن ها، تمام پیکسل های تشکیل دهنده مربع های

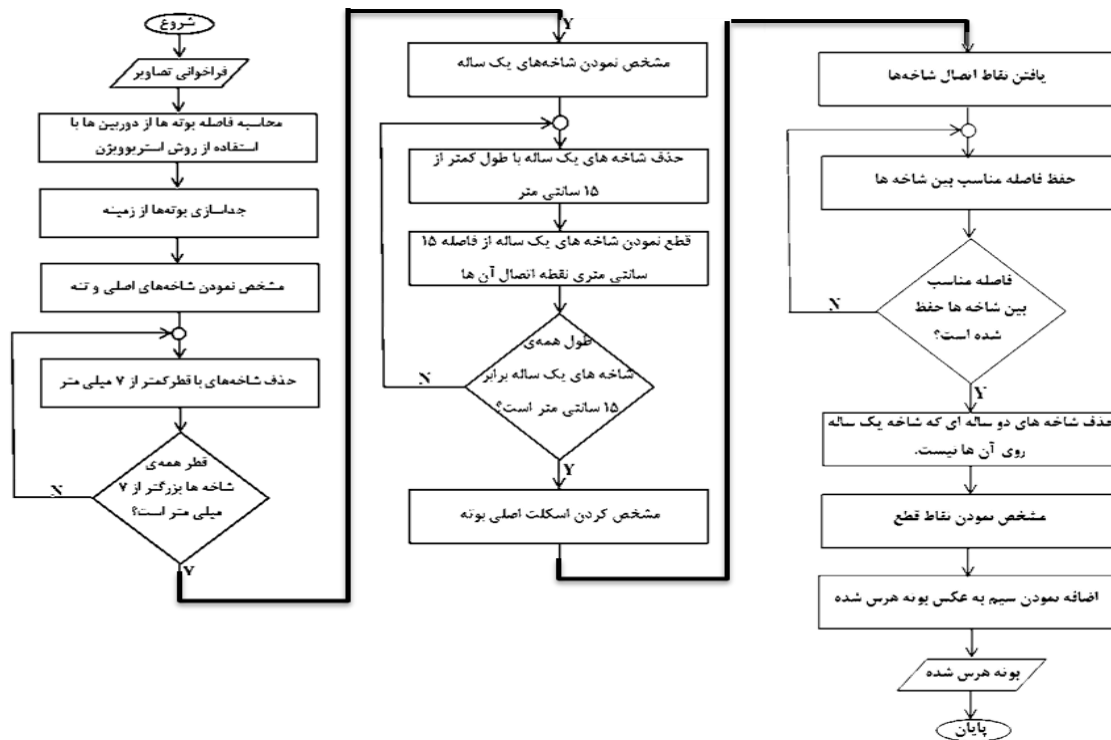
با برچسب گذاری این شاخه ها و اضافه نمودن آن ها به تصویر اسکلت حجیم شده و تصویری که در آن فقط شاخه های دو یا چند ساله وجود داشت و استفاده از ویژگی همسایگی پیکسل های برچسب گذاری شده با پیکسل های دارای مقدار

دیجیتال استفاده می شود. این روش در یک تصویر به دنبال نمونه‌هایی از یک الگو می‌گردد. به عنوان نمونه از کاربردهای این روش می‌توان به تشخیص وجود خط مستقیم در یک تصویر اشاره کرد (Shapiro & Stockman, 2001). با توجه به اینکه سیم‌های موجود در تصاویر به صورت خطوطی مستقیم بودند. این تبدیل برآحتی می‌توانست آن‌ها را تشخیص دهد. پس از تشخیص سیم‌ها در تصاویر اولیه بوسیله تبدیل هاف، با برچسب گذاری پیکسل‌های آن‌ها و اضافه کردن این پیکسل‌ها به تصویر نهایی، از قطع شدن سیم‌ها جلوگیری شد و الگوریتم مورد نظر کامل شد. سپس بوته هرس شده توسط الگوریتم با حالتی که بوته به صورت دستی هرس شده بود مقایسه گردید تا کارایی الگوریتم نوشته شده بررسی گردد. فلوجارت نوشته شده در شکل (۸) ارائه شده است.



شکل ۷. نقاطی که باید توسط ربات قطع شوند.

در مرحله آخر الگوریتم باید سیم‌های داربست به تصویر اضافه شود تا توسط ربات قطع نگردند. برای این منظور از تبدیل هاف استفاده شد. تبدیل هاف، یک تکنیک استخراج ویژگی می باشد که در تحلیل تصویر، بینایی کامپیوتر و پردازش تصویر



شکل ۸. فلوجارت نوشته شده.

بالاترین نقطه ای که دارای مقدار یک بود به دست آمد، از آنجایی که دو دوربین در یک راستا قرار داشتند مختصه‌ی Y این نقطه‌ها یکسان بود ولی مختصه‌ی X آن‌ها دارای اختلافی برابر با d می باشد. با جایگزینی این مقدار و مقادیر b و f در معادله (۲)، مقدار Z_c محاسبه شد. مقادیر Z_c به دست آمده در محدوده ۵۰ تا ۸۰ سانتی متر می باشد. جدول (۱) مقادیر به دست آمده برای Z_c را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

در این مقاله $b=25$ cm و $f=7/7$ mm بود و d برای هر جفت از تصاویر محاسبه گردید. سپس از معادله (۲) فاصله بوته‌ها به دست آمد. در سیستم‌های استریوویژن یکی از مهم‌ترین مشکلات پیدا کردن نقطه ای است که به کمک آن بتوان اختلاف دو تصویر را محاسبه کرد (Ashraf, 2013). در این مقاله برای محاسبه این اختلاف (d)، در هر دو تصویر مختصات

جدول ۱. فاصله دوربین ها از بوته ها

عمق تصاویر (Z_c)	۵۵-۵۰	۶۰-۵۵	۶۵-۶۰	۷۰-۶۵	۷۵-۷۰	۸۰-۷۵
دفعات تصویربرداری در بازه های متفاوت از Z_c	۳	۴	۱۴	۱۲	۵	۲

تصویر مربوط به شاخه های یک ساله و ۳۰ نمونه تصویر مربوط به شاخه های چند ساله از تصاویر گرفته شده جدا شدند و مقادیر مولفه های رنگ مربوط به هر یک از این نمونه ها به دست آورده شد و این مقادیر یادداشت گردید سپس برای هر کدام از مولفه ها، میانگین اعداد به دست آمده و انحراف معیار آن ها محاسبه و یادداشت شد.

میانگین و انحراف معیار مربوط به هر یک از این مولفه ها در جدول (۲) آمده است. در ادامه میانگین های بدست آمده با استفاده از آزمون t مورد بررسی قرار گرفت. آزمون t نشان داد که اختلاف معنی داری در سطح ۰.۵٪ بین مؤلفه رنگی شاخه های یک ساله وجود ندارد. همچنین در مورد شاخه های دو و چند ساله این اختلاف معنی دار نبود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که مولفه رنگی نمی تواند جهت تمایز بین شاخه ها مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۲).

جدول (۱) نشان می دهد که ۱۴ مرتبه تصویر برداری در فاصله ۶۰-۶۵ سانتی متری از بوته ها و ۱۲ مرتبه در فاصله ۶۵-۷۰ سانتی متری انجام شده است. بنابراین می توان گفت که در فاصله ۶۰ تا ۷۰ سانتی متر از بوته ها بیشترین تعداد تصویربرداری صورت گرفته است. که این نتیجه با فاصله های اولیه در نظر گرفته شده همخوانی دارد. این همخوانی بین مقادیر Z_c و فاصله اولیه تصویربرداری نشان می دهد که استریوویژن روشی قابل اعتماد برای تشخیص عمق تصاویر می باشد. این نتیجه با نتایج پژوهش های متعدد در زمینه استریوویژن از جمله پژوهشی که استریوویژن را در شرایط نوری غیر ایده آل به کار گرفته بودند (Nalpanitidis & Gasteratos, 2010) مطابقت دارد.

همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مولفه های رنگ R, G و B در تشخیص شاخه های یک ساله از چند ساله روشی مناسب نمی باشد برای بررسی این ویژگی ۳۰ نمونه

جدول ۲. مولفه های رنگ شاخه های یک ساله و چند ساله

مولفه های رنگ شاخه های چند ساله			مولفه های رنگ شاخه های یک ساله		
مولفه آبی	مولفه سبز	مولفه قرم	مولفه آبی	مولفه سبز	مولفه قرمز
ns	ns	ns	ns	ns	ns
۱۷۲/۸۲	۱۸۲/۰۹	۱۹۹/۰۱	۱۸۵/۰۱	۱۹۶/۹۷	۲۰۸/۹۳
۲۲/۳۱	۲۳/۸۰	۲۱/۹۵	۲۳/۸۳	۲۱/۵۱	۱۸/۲۶

ns عدم معنی داری.

باشد. ضخامت شاخه های یک ساله حدود یک سانتی متر است در حالی که شاخه های دو یا چند ساله و تنه اصلی قطری بیشتر از دو سانتی متر را دارا می باشند (Creasy & Creasy, 2009; Khajehei, 2003) و در همه تصویرهایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت شاخه های یک ساله به درستی توسط نرم افزار به کار گرفته شده تشخیص داده شدند.

ارزیابی الگوریتم

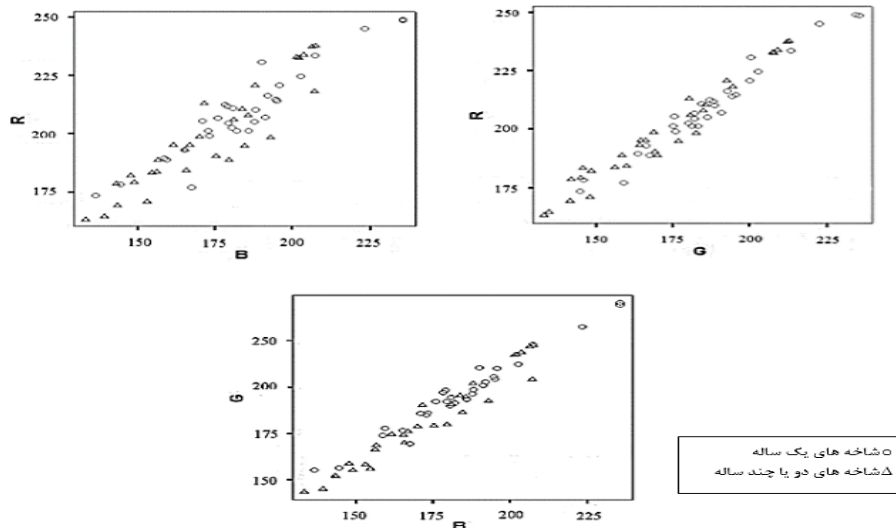
پس از نوشتن الگوریتم مورد نظر و بهینه سازی مراحل مختلف آن الگوریتم مورد ارزیابی قرار گرفت و دقت آن بررسی شد. برای ارزیابی الگوریتم بوته های موجود در تصویرهای ورودی به صورت دستی هرس شدند سپس از تصویرهای اولیه به عنوان ورودی

از سوی دیگر نمودارهای پراکندگی سه مؤلفه رنگی R، G و B مربوط به شاخه های یک ساله و شاخه های دو و چند ساله در شکل (۹) نشان داده شده است. بر اساس این نمودارها نیز مشخص گردید که مولفه های رنگ بدست آمده با همدیگر دارای تداخل می باشند و این مولفه ها دارای همپوشانی کامل هستند و نمی توان یکی از آن ها را به عنوان شاخصی مناسب برای شناسایی شاخه های یک ساله مورد استفاده قرار داد.

اما استفاده از ضخامت شاخه ها روشی مناسب برای تشخیص شاخه های یک ساله می باشد. چرا که ضخامت این شاخه ها از تنه اصلی و شاخه های دو یا چند ساله کمتر می

نقطه قطع استخراج شده از ۲۰ تصویر، در مجموع ۷ نقطه هرس به اشتباه تشخیص داده شد. این نتایج نشان می دهد که دقت الگوریتم نوشته شده برابر با ۹۷/۲ درصد است.

الگوریتم نوشته شده استفاده شد تا با استفاده از الگوریتم بوته مورد نظر هرس گردند. در مرحله بعد تصویر خروجی از الگوریتم با تصویری که به صورت دستی هرس شده بودند مقایسه گردید نتایج حاصل از ارزیابی این الگوریتم نشان داد که در بین ۲۵۴



شکل ۹. نمودارهای پراکنندگی مولفه های رنگی مربوط به شاخه های یک ساله و شاخه های دو و چند ساله

تاکستان ها می شود. بنابراین هم زمان مورد نیاز و هم هزینه های مورد نیاز برای انجام هرس تاکستان ها کاهش می یابد. همچنین استفاده از روش استریووزن، روشی مناسب برای تشخیص عمق تصاویر می باشد. و این روش بسیاری از مشکلات موجود در روش های معمول فاصله یابی را ندارد.

نتیجه گیری

به طور کلی می توان نتیجه گرفت که با به کارگیری الگوریتم نوشته شده در این پژوهش و استفاده از آن در یک ماشین هرس هوشمند می توان شاخه های یک ساله را با دقت ۹۷/۲ درصد تشخیص داد و نقاط قطع بوته ها را مشخص نمود. این کار باعث کاهش نیروی کار مورد نیاز برای انجام هرس زمستانه

REFERENCES

- Ashraf, A. F. (2013). Stereo vision depth estimation algorithm in uncalibrated rectification. *International Journal of video & image processing and network security*. 13: 1-7.
- Bouguet, J. Y. (2012). Camera Calibration Toolbox for Matlab. Computational Vision at the California Institute of Technology. Available from: http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/. Accessed 28 October 2012.
- Creasy, G. L., and Creasy, L. L. (2009). Grapes. CABI Publishing. 295 pages.
- Dogi, B. (2005). Stereo Vision: A way of metering and metering systems overcome the problems in the current. *Journal of Mechanical Engineering*.
- Heydari, A. (2010). Image Processing in MATLAB. Publisher BehAvaran. 288pages.
- Khajehei, M. (2003). New method of planting vine. Alhora publications. 73 pages.
- Kitamura, S., Oka, K. & Takeda, F. (2005). Development of Picking Robot in Greenhouse Horticulture. Nippon Kikai Gakkai Robotikusu, Mekatoronikusu Koenkai Koen Ronbunshu: 3176-1-3179.
- Mahmoudzadeh, H., Rasouli, V., Ghorbanian, D. (2010). Effect of Some Training Systems on Vegetative Growth, Fruit Yield and Fruit Quality of *Vitis vinifera* cv. Sefid Bidaneh in Takestan Region. *Seed and Plant Improvement Journal*. 25(1): 373-387.
- Mao, W., Baoping, Ji., Zhang, X., Zhan, j. & Xiaoan, Hu. (2009). Apple Location Method For the Apple Harvesting Robot. *Image and Signal Processing*: 1 - 5.
- Mudenagudi, U. & Chaudhuri, S. (1999). Depth Estimation Using Defocused Stereo Image Pairs. *Computer Vision* 1: 483 - 488.
- Nalpantidis, L., and A. Gasteratos. (2010). Stereo vision for robotic applications in the presence of non-ideal lighting conditions. *Image and Vision Computing* 28: 940-951.
- Porika, H., M. Jagadeesha., and M. Suchithra. (2015). Effect of pruning severity on quality of grapes

- Cv. red globe for summer season. *Advances in crop science and technology*. S1-400.
- Rovira-Más, F., Han, S. Wei, j. & Reid, J. F. (2007). Autonomous Guidance of a Corn Harvester using Stereo Vision. *Agricultural Engineering International*.
- Shapiro, L. G., and Stockman, G. C. (2001). *Computer Vision*. Prentice-Hall. 580 pages.
- Soni, D. P., Ranjana, M., Gokul, N. A., Swaminathan, S. & Nair, B. B. (2010). Autonomous Arecanut Tree Climbing and Pruning Robot. *Emerging Trends in Robotics and Communication Technologies*: 278-282.
- Tanigaki, k., Fujiura, T., Akase, A. & Imagawac, J. (2008). Cherry-harvesting robot. *Computers and Electronics In Agriculture* 63: 65-72.
- Vannucci, D., Cini, E., Cioni, A. & Vmmi, m. (1990). A Prototype for the Fully Mechanized Winter Pruning of Grape Vines. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 46: 1-11.
- Zareh, Sh. (2005). The production and efficiency of grape Khorasan province. *Agricultural Economic and Development*. 13. 279-306.