دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی کشاورزی

طراحی و ساخت یک سامانه برخط به منظور اندازه‌گیری سفتی خرما مبتنی بر روش غیر مخرب ضربه

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

علیرضا حیدری

اساتید راهنما

دکتر مرتضی صادقی

دکتر سید احمد میره‌ای

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی آقای علیرضا حیدری

تحت عنوان

طراحی و ساخت یک سامانه برخط به منظور اندازه‌گیری سفتی خرما مبتنی بر روش غیر مخرب ضربه

در تاریخ ۱۳۹۲/۳/۸ توسط کمیته تخصصی ذیل مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مرتضی صادقی
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر سید احمد میره‌ای
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر عباس همت
۴- استاد داور	دکتر امین الله معصومی
۵- استاد داور	دکتر ناصر همدمی
۶- سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد مهدی مجیدی

خداوند منان را سپاس می‌گویم که مرا در مرحله جدیدی از زندگی‌ام یاری رساند. از اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر مرتضی صادقی و جناب آقای دکتر سید احمد میره‌ای که با سعه‌صدر و راهنمایی‌های بی‌دریغشان و همچنین جناب آقای دکتر عباس همت که با مشاوره‌های بی‌دریغشان همواره به من یاری رسانیده‌اند و طی مراحل این تحقیق از هیچ‌گونه کوششی فروگذاری نکرده‌اند، سپاسگزارم.

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات تمامی کارکنان محترم دانشکده کشاورزی و تمامی دوستانم که در طول دوران تحصیل من با بزرگواری خود اینجانب را همراهی کرده‌اند، تشکر کنم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این
پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

خانواده گران‌قدرم که در تمامی مراحل زندگی با صبر و شکیبایی مرا پشتیبانی کرده‌اند.

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

فهرست مطالب ..... هفت

چکیده ..... نه

فصل اول: مقدمه و اهداف

۱-۱-مقدمه ۱

۱-۲- اهداف ۳

فصل دوم: مرور منابع

۲-۱- خرما ۴

۲-۱-۱- گیاه‌شناسی خرما ۴

۲-۱-۲- مورفولوژی نخل خرما ۵

۲-۱-۳- میوه خرما ۶

۲-۱-۴- ترکیبات شیمیایی خرما ۶

۲-۱-۵- موارد مصرف خرما ۶

۲-۱-۶- خرمای ایران ۷

۲-۱-۷- رقم مضافتی ۷

۲-۲- روش‌های تعیین خواص کیفی محصولات کشاورزی ۸

۲-۳- کاربرد روش غیر مخرب ضربه در تعیین خواص مکانیکی محصولات کشاورزی ۱۰

۲-۴- تحلیل رگرسیونی ۱۹

۲-۴-۱- تاریخچه ۲۰

۲-۵- جنبه‌های جدید بودن طرح ۲۱

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- تهیه، نگهداری و آماده‌سازی نمونه‌ها ۲۲

۳-۲- سامانه اندازه‌گیری سیگنال ۲۴

۳-۲- ۱- سامانه حمل و پرتاب نمونه ۲۴

۳-۲-۲- سامانه جمع آوری داده‌های سیگنال ضربه ۲۹

۳-۳- آزمایش‌ها اندازه‌گیری سفتی ۳۶

۳-۴- تحلیل داده‌ها ۳۷

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- مشخصات سفتی نمونه‌ها ۵۱

۴-۲- برازش ۵۲
۴-۲-۱- مدل‌سازی سفتی با استفاده از مشخصه‌های سیگنال ضربه الف- تعیین اهمیت مؤلفه‌ها ۵۲
۴-۲-۲- مدل‌سازی سفتی با استفاده از اطلاعات کل سیگنال ضربه ۵۹
۴-۲-۳- مدل‌سازی سفتی با استفاده از مشخصه‌های سیگنال ضربه تا زمان ۲۰۰ میلی ثانیه ۷۰

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری ۷۸
۵-۲- پیشنهادها ۷۹
پیوست ۱ ..... ۸۰
مراجع ۸۳

چکیده

خرما یکی از قدیمی‌ترین درختان شناخته شده برای انسان است. این درخت علاوه بر اینکه منبعی غنی از مواد غذایی مورد نیاز است، از این منظر که یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی در مناطق خشک و بیابانی است دارای اهمیت است. کشور ایران از لحاظ سطح کشت وسیع‌ترین و از لحاظ مقدار تولید دومین رتبه را در بین کشورهای جهان دارا می‌باشد. بنابراین، این محصول یکی از منابع مهم درآمد ارزی برای اقتصاد کشور است. درجه بندی این محصول در حال حاضر در کشور به صورت دستی انجام می‌شود. در حین انجام عملیات درجه بندی صدماتی به محصول وارد می‌شود که از کیفیت و بازار پسندی آن مخصوصاً برای صادرات می‌کاهد. بدین منظور طراحی و ساخت سامانه غیر مخرب ارزیابی کیفی خرما می‌تواند از جنبه افزایش درآمد از طریق افزایش کیفیت محصول ارائه شده به بازار و همین طور از طریق صرفه جویی در هزینه‌های کارگری باعث رونق اقتصاد کشاورزی در این مناطق شود. در این تحقیق یک سامانه برخط به منظور اندازه‌گیری سفتی خرما مبتنی بر روش غیر مخرب ضربه، متشکل از دو بخش مکانیکی و الکترونیکی طراحی و ساخته شد. هدف نهایی تعامل این دو سامانه ضبط سیگنال خروجی از بارسنج در آزمون غیر مخرب بر روی رایانه بود. نمونه‌های خرمای رقم مضافتی در ۴ مرحله متفاوت رسیدگی (کیمری، خارک، رطب و خرما) تهیه و در کوتاه‌ترین زمان ممکن در دو سوی متفاوت و در ۳ سرعت (۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه) تحت آزمون غیر مخرب ضربه قرار گرفتند. از آن‌جا که سفتی خرما در مراحل رسیدگی بسیار به مرحله مورد نظر وابسته است، این ویژگی به عنوان ملاکی برای تعیین رسیدگی محصول در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری سفتی در روش شاهد، نمونه به دو نیمه تقسیم و هر نیمه به صورت جداگانه طبق استاندارد آزمون مگنس- تیلور تحت آزمایش مخرب نفوذ با قطر سطح تماس ۴ میلی متر با استفاده از دستگاه جامع آزمون کشش-فشار قرار گرفت. بیشینه نیروی لازم برای نفوذ به میوه به عنوان شاخص سفتی نمونه در نظر گرفته شد. به منظور مدل‌سازی سفتی خرما با استفاده از سیگنال ضربه از سه روش مختلف استفاده شد. ابتدا ۳ مؤلفه از نیم موج اول سیگنال (بیشینه مقدار، مدت و سطح زیر نمودار) تعریف و برازش غیر خطی بر روی آن‌ها انجام شد. نتایج حاکی از این بود که رابطه پیش‌بینی کننده توانایی قابل قبولی برای تخمین سفتی مشاهدات جدید ندارد. سپس از روش حداقل مربعات جزئی با استفاده از کل سیگنال ضربه استفاده شد که نتایج بهتری را برای پیش‌بینی سفتی در بر داشت. همچنین ضرایب کالیبراسیون نشان داد که داده‌های موجود در کل سیگنال تا زمان مشخصی (حدود ۲۰۰ میلی ثانیه) در تعیین سفتی مؤثرند. با استفاده از این نتایج و فاکتورهای تعریف شده در مرحله قبل رگرسیون چند متغیره خطی بر روی مؤلفه‌های ۲۰ نیم موج اول سیگنال انجام شد. بهبود نتایج مدل‌سازی بیانگر صحت فرضیات قبل بود. همچنین با توجه به نتایج مشابه برازش مدل‌های مختلف برای هر دو پهلو و کل داده‌ها، می‌توان نتیجه گیری کرد که نتایج مدل‌سازی مستقل از محل برخورد بوده و روش توسعه یافته قابلیت کاربرد برای درجه‌بندی محصول را دارد. در پایان با در نظر گرفتن ملاحظات مهندسی مربوط به سیستم جداسازی و اینکه سرعت پایین‌تر خطر آسیب رساندن به محصول را کمتر می‌کند، توصیه می‌شود که از سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه در توسعه صنعتی سیستم استفاده گردد.

واژگان کلیدی: آزمون غیر مخرب، حداقل مربعات جزئی، خرما، خواص رئولوژی، سفتی، ضربه

فصل اول
مقدمه و اهداف

۱-۱-مقدمه

خرما یکی از قدیمی‌ترین درختان میوه است که قدمت پیدایش آن به دوران دوم زمین شناسی (میانه زیستی[1]) باز می‌گردد. منشأ این گیاه نواحی جنوب غربی آسیا و بین‌النهرین ذکر شده و کاشت آن به دلیل ساختار مقاوم فیزیولوژیکی در برابر شوری، گرما و خشکی در مناطق گفته شده رواج یافته است. در حال حاضر حدود ۳۳ کشور در جهان، تولید کننده خرما هستند که بر اساس گزارش سازمان خوار و بار جهانی (فائو[2]) در سال ۲۰۰۹ ایران به لحاظ مقدار تولید با برداشت ۱۰۸۸۰۴ تن محصول پس از مصر در رده دوم و از لحاظ سطح زیر کاشت با مساحت ۲۴۴۴۲۹ متر مربع وسیع‌ترین سطح کاشت خرما را در جهان به خود اختصاص داده است.

به دلیل ارزش غذایی بالا و همچنین اهمیت صادرات خرما به عنوان یکی از منابع تحصیل ارز برای کشور، مکانیزه کردن فرآیند درجه‌بندی آن امری ضروری به نظر می‌رسد. مکانیزه کردن درجه‌بندی خرما می‌تواند با صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در استفاده از نیروی انسانی، نقش مهمی در افزایش بازدهی اقتصادی محصول و همچنین در بهینه‌سازی زمان انبارمانی و شرایط مناسب برای انتقال محصول داشته باشد. شاخص‌های کیفی متنوعی برای ارزیابی کیفیت در محصولات کشاورزی از جمله خرما ارائه شده است. در مورد یک محصول کلایمکتریک[3] مانند خرما، شاخص‌هایی از قبیل رطوبت، قند و سفتی به

[1] Mesozoic
[2] Food and Agriculture Organization (FAO)
[3] Climacteric

عنوان شاخص‌های مهمی در تعیین کیفیت و همچنین مقدار رسیدگی محصول گزارش شده‌اند [۲]. در مورد خرما با پیشرفت در مراحل رسیدگی، همزمان با تغییرات رنگ، سفتی نمونه دچار افت محسوسی می‌شود به صورتی که می‌توان آن را به عنوان ملاکی برای تعیین رسیدگی محصول مد نظر قرار داد. امروزه برآورد سفتی در خرما عمدتاً توسط عامل انسانی انجام می‌شود که اولاً در برگیرنده مقدار زیادی خطا بوده و ثانیاً ممکن است منجر به له‌شدگی و تغییر فرم در بافت خرما شود.

به طور کلی روش‌های ارزیابی شاخص‌های کیفی در محصولات کشاورزی را می‌توان به دو دسته روش‌های مخرب[۱] و غیر مخرب[۲] تقسیم کرد. در روش‌های مخرب محصول طی اندازه‌گیری ویژگی کیفی تخریب می‌شود (برای مثال بریده شده و یا سوراخ می‌شود)، در حالی که در روش‌های غیر مخرب محصول در خلال اندازه‌گیری ویژگی کیفی سالم باقی می‌ماند. در روش‌های غیر مخرب یک ویژگی فیزیکی یا شیمیایی تأثیر پذیر از شاخص کیفی مورد نظر، با روشی غیر تخریبی اندازه‌گیری شده و در مرحله بعد، با انجام آزمایش‌های مخرب و تعیین دقیق شاخص کیفی مورد نظر (به عنوان روش شاهد)، مدل‌هایی استخراج و توسعه داده می‌شوند که ویژگی فیزیکی یا شیمیایی را به شاخص مورد نظر ارتباط می‌دهند.

روش تعیین سفتی در محصولات کشاورزی عمدتاً شامل استفاده از آزمون نفوذ مگنس- تیلور[۳] (MTF) می‌باشد که روشی مخرب محسوب می‌شود. امروزه روش‌های غیر مخرب متنوعی برای تخمین سفتی در محصولات کشاورزی توسعه یافته‌اند. به عنوان مثال، از روش اولتراسونیک برای سیب (کیم و همکاران، ۲۰۰۹) [۱۶]، روش اپتیکی NIR[۴] برای سیب (لمرتین و همکاران، ۲۰۰۰) [۲۰]، روش پاسخ صوتی ضربه برای سیب (دوپرات و همکاران، ۱۹۹۷) [۹] و روش پاسخ مکانیکی ضربه برای کیوی (رانی و همکاران ۲۰۱۰) [۲۱] استفاده شده است.

برای توسعه مدل‌های تخمین سفتی در هر کدام از روش‌های غیر مخرب اشاره شده، از روش‌های تحلیلی و آماری متنوعی استفاده شده است. روش‌هایی مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی[۵] (PCA)، حداقل مربعات جزئی[۶] (PLS) و همچنین روش شبکه‌های عصبی مصنوعی[۷] (ANN) برای استخراج مدل‌های تخمین سفتی استفاده شده است.

---

[1] Destructive or Invasive Methods
[2] Non-destructive or Non-invasive Methods
[3] Magness-Taylor Firmness
[4] Near Infrared
[5] Principal Component Analysis
[6] Partial Least Squares
[7] Artificial Neural Networks

با توجه مطالب ذکر شده، توسعه یک سامانه به نحوی که بتواند سفتی محصول خرما را به صورت سریع، دقیق و غیر مخرب تعیین نماید، می‌تواند نقش مهمی در توسعه سیستم‌های درجه‌بندی و بسته‌بندی این محصول ارزشمند داشته باشد.

۱-۲- اهداف:

اهداف انجام این تحقیق را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

الف- طراحی، ساخت و توسعه یک سامانه برخط به منظور اندازه‌گیری پاسخ محصول خرما به ضربه.

ب- اندازه‌گیری و مدل‌سازی سفتی خرما با استفاده از روش‌های آماری مختلف به منظور بدست آوردن الگویی برای تخمین سفتی حاصل از آزمون ضربه.

فصل دوم
مرور منابع

در این فصل ابتدا توضیحاتی در مورد محصول خرما ارائه خواهد شد و اهمیت این محصول در کشور بررسی می‌شود. در ادامه بیان مختصری در مورد روش‌های گوناگون در زمینه تعیین خواص کیفی محصولات کشاورزی و روش غیر مخرب ضربه ارائه می‌شود. سپس برخی از تحقیقات پیشین انجام شده در زمینه‌های مشابه به طور خلاصه ذکر خواهد شد.

۲-۱- خرما

۲-۱-۱- گیاه‌شناسی خرما

خرما درختی چند ساله و دو پایه است یعنی گل‌های نر و ماده روی پایه‌های جداگانه قرار دارند. همچنین خرما گیاهی است از تیره گرمسیری جزء زیرشاخه نهاندانگان، رده تک لپه‌ای‌ها و خانواده پالماسه[1]. تیره نخل در دوره کرتاسه ظاهر شده و در طول دوره گسترش تنوع یافته است. در این خانواده قریب ۲۰۰ جنس و ۴۰۰ گونه وجود دارند. مراکز اصلی انتشار نخل‌ها عبارتند از: آسیا، آفریقا، آمازون، سواحل استوایی آفریقا، هند و مالزی. ارتفاع درخت نخل گاهی به ۳۰ متر و یا بیشتر نیز می‌رسد [۳].

1Palmaceae

۲-۱-۲- مورفولوژی نخل خرما

نخل‌ها درختانی با تنه‌ای استوانه‌ای بدون انشعاب[1] و در انتهای تنه دارای یک دسته برگ با رگبرگ‌های شاخه‌ای و یا پنجه‌ای هستند. ارقام مختلف خرما معمولاً ۴ تا ۵ سال پس از کاشت پا جوش، شروع به میوه دهی می‌کنند. ارقام گوناگون بسته به شرایط زراعی ده‌ها سال عمر کرده و در بعضی از مناطق، سن نخل‌های خرما تا ۲۰۰ سال نیز گزارش شده است. درخت خرما، برای رشد مداوم به دست کم ۱۰ درجه سلسیوس دما نیاز دارد و در دماهای کمتر، رشد آن متوقف می‌شود. سرمای ۷- درجه سلسیوس برای برگ‌ها کشنده است ولی تنه درخت و جوانه انتهایی که توسط الیاف پوشیده شده است تا ۱۵- درجه را تحمل می‌کند.

خرما دارای ریشه افشانی است که قطری بین ۸ تا ۱۰ میلی‌متر دارد و تا عمق ۲/۵ متری در خاک نفوذ می‌کند. نمو ریشه نخل خرما، مانند سایر گیاهان تک لپه‌ای بدین صورت است که ریشه اصلی تقریباً از بین رفته و سپس به جای آن، ریشه‌های ثانوی در ناحیه طوقه ظاهر می‌شود. خرما گیاهی بسیار سازگار است. از صفات بارز آن می‌توان به پایداری بسیار زیاد در برابر شوری و شرایط غرقاب اشاره کرد و ریشه آن حتی پس از خشک شدن نخل نیز به حیات خود ادامه می‌دهد.

برگ خرما در قسمت بالای درخت قرار گرفته و بخش تاج نخل خرما را تشکیل می‌دهد. منشأ پیدایش برگ، جوانه‌ای نزدیک به انتهای نخل است که به تدریج رشد کرده و برگ را تولید می‌کند. هر برگ یک محور مرکزی به نام رگبرگ اصلی دارد که بر روی آن ۱۰۰ تا ۲۵۰ برگ چه قرار گرفته‌اند. دم برگ که در انتهای رگبرگ اصلی قرار دارد در محل اتصال به تنه، غلاف مثلثی شکلی را تشکیل می‌دهد.

گل خرما از سن ۵ تا ۱۰ سالگی به بعد به صورت خوشه‌های مرکب در داخل غلاف چوبی بیضی شکلی به نام اسپات[2] در زاویه بین دم برگ‌ها و تنه پدیدار می‌شود. برای تشکیل میوه کافی باید حتماً گرده‌افشانی به طور مصنوعی توسط انسان انجام شود. در این روش، ۳ تا ۵ درخت نر می‌تواند گرده مورد نیاز حدود ۱۰۰ درخت ماده را تأمین کند. به دلیل وجود خاصیت متازنیا[3] (تأثیر مستقیم دانه گرده بر خارج از گیاهک و ذخیره غذایی هسته)، بالا بودن کیفیت درخت نر در مرغوب شدن میوه حاصل بسیار مهم است. خوشه ماده خرما دارای تعداد زیادی گل (بین ۸ تا ۱۰ هزار گل) است [۳].

1Stipe

2Spath

3Metaxenia

۲-۱-۳- میوه خرما

میوه خرما جزء میوه‌های سته می‌باشد که از دو قسمت متمایز تشکیل شده است. ابتدا یک قسمت خارجی که اطراف هسته را فرا می‌گیرد. این قسمت گوشتی بوده و محتوی مواد غذایی و دارای طعم شیرین است و به آن پریکارپ[1] می‌گویند. قسمت دوم، هسته‌ای سخت با پوست نازک است. میوه‌ها به شکل خوشه‌ای بزرگ از شاخه آویزان می‌گردند [۱]. بر حسب رقم و شرایط رشد، وزن میوه از حدود ۱۲ الی ۶۰ گرم و طول آن از ۱۸ الی ۱۱۰ میلی‌متر تغییر می‌کند. مراحل رسیدگی میوه خرما عبارتند از:

کیمری[2]، میوه نارس و سبز رنگ است.

خارک[3] که مرحله تغییر رنگ میوه است.

رطب[4] که در این مرحله میوه نرم شده و تولید قند در آن انجام می‌شود.

خرما[5] یا تمر که مرحله آخر رسیدگی خرما است [۱۸].

۲-۱-٤- ترکیبات شیمیایی خرما

خرما از لحاظ ترکیبات شیمیایی دارای ۲۵ درصد ساکاروز، ۵۰ درصد گلوکز و ۲۵ درصد باقی‌مانده متشکل از مواد آلبومینوئیدی، پکتین و آب می‌باشد. بعلاوه این محصول دارای ویتامین‌های مختلف از جمله ویتامین‌های A، B، C، E و مقداری املاح معدنی نیز می‌باشد. صد گرم خرمای تازه دارای ۱۶۳ کیلو کالری ۰/۹ گرم پروتئین، ۰/۳ گرم چربی، ۳۸ گرم گلوسید، ۳۰ میلی‌گرم فسفر، ۱/۳ میلی‌گرم آهن، ۵۱ میلی‌گرم کلسیم و ۱۰ میلی‌گرم ویتامینC می‌باشد. خرما همچنین دارای قند زیادی است. حدود ۷۰ درصد میوه را کربوهیدرات تشکیل می‌دهد که ۶۰ تا ۶۵ درصد آن قندهای گلوکز و فروکتوز و ۲/۵ درصد فیبر غذایی است. یک کیلوگرم خرما، دارای ۳۴۷۰ کالری انرژی است [۴].

۲-۱-۵- موارد مصرف خرما

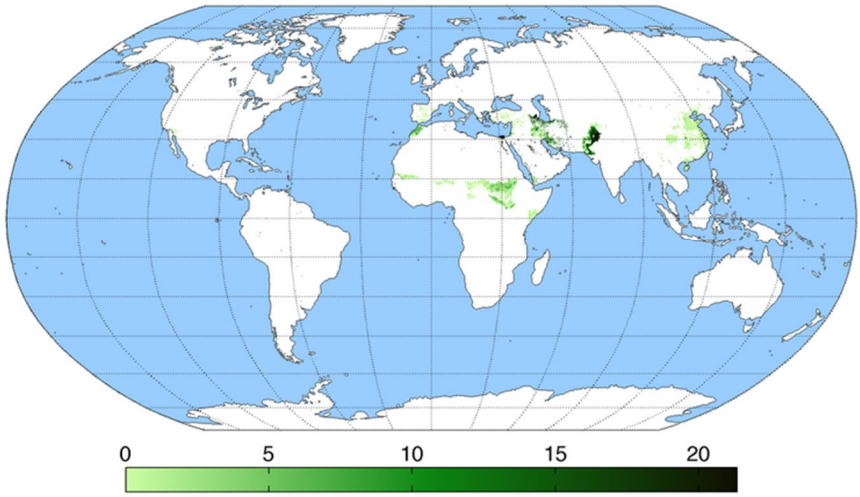
درخت خرما خواص بی‌شماری دارد و گفته می‌شود که از تمام قسمت‌های این درخت می‌توان استفاده کرد. از برگ و شاخه درخت خرما سبد و فرش، از هسته آن نان و از میوه خرما شربت و عسل تهیه می‌کنند. نخل‌ها نقش مهمی در اقتصاد ضعیف مردم مناطق استوایی دارند و از نظر تأمین غذا و صنایع محلی حائز اهمیت فراوان هستند. خرما در الجزایر، مصر، ایران و برخی از کشورهای عربی میوه‌ای خوراکی به حساب می‌آید. از شیره عده‌ای از نخل‌ها مانند رافیا در تهیه نوشیدنی‌ها استفاده می‌شود [۴].

---

[1] Pericarp
[2] Kimri
[3] Khalal
[4] Rutab
[5] Tamr

۲-۱-٦- خرمای ایران

بر طبق آمار سازمان خوار و بار جهانی (فائو) ایران دومین تولید کننده بزرگ خرما در جهان است. مقدار تولید خرما در مناطق مختلف جهان در شکل ۲-۱ مشخص شده است.



شکل ۲-۱- مقدار متوسط تولید خرما (کیلوگرم/هکتار)در مناطق مختلف جهان

ارقام مهم خرمای ایرانی عبارتند از :

مهتری، سلانی، نوقدیم، کلک سرخ، نوعروس، خروی پس باغ، مُسلّی، زامَردان، شهمران، پنجه عروس، مُرداسنگ، بَگشی، شاهانی، زرد لار، خاسئو (خواصوئی)، گنتار، لولو، کبکاب، لَشت- نِلسو، شکری، زرک، آلو مهتری، خضراوی، برهی، چشم گاوی، خلاص، بالیده، پیوا، فرد، هلو، جوه، غوه، مرزبان، خنیزی، کلوته، مضافتی، آزاد، نغال، خصاب، خشتی و زاهدی.

۲-۱-۷- رقم مضافتی

رقم مضافتی در ایران بعد از سعمران و شاهانی از مهم‌ترین ارقام خرمای اقتصادی کشور است. موطن اصلی آن در ایران شهرستان بم در استان کرمان می‌باشد. تولید سالانه این رقم بین ۳۰ تا ۴۵ هزار تن می‌باشد. رطب خرمای مضافتی دارای بالاترین کیفیت از نظر اندازه و طعم در بازارهای داخلی است. مضافتی از ارقام بسیار عالی‌تر و نیمه تر، به رنگ قرمز تیره متمایل به سیاه بوده و دارای کیفیت بسیار

خوبی می‌باشد. نخل رقم مضافتی دارای تاج باز است و محور اصلی برگ‌ها دارای رنگ کهربایی زرد و همچنین خارهای طویلی است که نوک آن‌ها به طرف زمین قرار دارد [۳].

۲-۲- روش‌های تعیین خواص کیفی محصولات کشاورزی

در بازار مصرف میوه دو عامل قیمت و کیفیت تعیین کننده میزان فروش هستند. ارزیابی و درجه‌بندی کیفی محصولات از فرآیندهای پس از برداشت است که با توجه به رشد تقاضا برای محصولات سالم و با کیفیت بالا، مورد توجه قرار گرفته است. با اینکه کیفیت معیاری است وابسته به سلیقه‌ی فرد، ولی می‌توان با درجه بندی کیفی بر اساس معیارهای عینی تفاوت در نظرات را کاهش داد [۶]. شاخص‌های کیفیت به دو دسته‌ی معیارهای درونی و ظاهری تقسیم بندی می‌شوند. برخی از این معیارها در جدول ۲-۱ آورده شده‌اند.

جدول ۲-۱ شاخص‌های درونی و ظاهری مؤثر در تعیین کیفیت محصولات کشاورزی (کیوهانگ و همکاران، ۲۰۰۶) [۷]

شاخص‌های ظاهری	اندازه	وزن، حجم، ابعاد
	شکل	کرویت، نسبت قطر به عمق
	رنگ	یکنواختی، شدت
	عیوب	آبدیدگی، زخمی شدن، خال
شاخص‌های درونی	طعم	شیرینی، ترشی، گسی، عطر
	بافت	سفتی، تردی، آبداری
	ماده مغذی	کربوهیدرات، پروتئین، ویتامین و خواص تابع
	عیوب	حفره درونی، هسته آبدیده[1]، سرمازدگی، فساد

به طور کلی اندازه‌گیری این شاخص‌ها می‌تواند با استفاده از دو دسته آزمایش‌های مخرب و غیر مخرب تعیین گردد.

۲-۲-۱ روش‌های مخرب

در روش‌های مخرب، نمونه طی مراحل تعیین شاخص تخریب شده و دیگر قابل استفاده نمی‌باشد. از روش‌های مخرب مکانیکی می‌توان به آزمایش‌ها برش، نفوذ و فشار اشاره کرد. از این آزمایش‌ها همچنین به عنوان روش مرجع در توسعه روش‌های غیر مخرب استفاده می‌شود ([۶] و [۵]).

[1] Water Core

۲-۲-۲ روش‌های غیر مخرب

روش‌های غیر مخرب به آن دسته از روش‌ها گفته می‌شود که در آن محصول پس از تعیین و یا اندازه‌گیری ویژگی کیفی سالم باقی می‌ماند. از جمله مهم‌ترین روش‌های غیر مخربی که در محصولات کشاورزی از آن‌ها استفاده می‌شود، می‌توان به روش‌های نوری[۱]، رادیوگرافی[۲]، فراصوتی[۳] و ضربه[۴] اشاره کرد. علاوه بر کاربرد کشاورزی، این روش‌ها، ابزاری کارآمد در بسیاری از علوم از جمله مکانیک، مهندسی آسیب، برق، عمران، پزشکی و حتی هنر هستند. در ادامه به برخی از این روش‌ها اشاره کلی می‌شود.

الف) روش نوری

در روش‌های نوری از دو طیف نور مرئی (۷۰۰-۴۰۰ نانومتر) و مادون قرمز (۲۵۰۰-۷۰۰ نانومتر) استفاده می‌شود. در این روش از بازتابش، عبور، جذب و یا پراکنش طیف نور توسط محصول در طیف‌های ذکر شده استفاده می‌شود، تا برخی خواص درونی یا بیرونی محصول تخمین زده شود [۷].

ب) رادیوگرافی

روش رادیوگرافی در حقیقت بازرسی داخلی محصولات کشاورزی است. در این روش ابتدا اشعه با انرژی بالا به محصول تابانده می‌شود. سپس انرژی اشعه خروجی اندازه‌گیری می‌شود که شدت آن وابسته به انرژی اولیه اشعه، ضریب جذب، چگالی محصول و ضخامت نمونه است. با توجه به محتوای رطوبتی بالا در میوه‌ها و سبزیجات، آب نقش اصلی را در مقدار انرژی جذب شده از پرتو دارد. تغییرات در چگالی داخلی محصول ناشی از وجود عیوب، صدمات، آفات در محصول یا خوردگی نمونه است. بدین ترتیب با اندازه‌گیری انرژی پرتو خروجی و تحلیل آن می‌توان به خصوصیات مورد نظر نمونه دست یافت [۵].

ج) فراصوت

امواج فراصوت می‌توانند در برخورد با نمونه و اثر متقابل با آن، بازتابیده شده و یا منکسر یا پراشیده شوند. سرعت انتشار امواج، میرایی و مقدار بازتاب سه پارامتر مهم در ارزیابی مشخصات بافت و خصوصیات کشاورزی محصول به وسیله روش فراصوت هستند. به دلیل ساختمان مواد کشاورزی و وجود فاصله‌های هوایی در میوه‌ها و سبزیجات، عبور دادن امواج فراصوت با انرژی کافی از درون نمونه برای حصول اندازه‌گیری‌های کارآمد، عملی دشوار است [۱۲,۵].

د) روش ضربه

---

[1] Optical Methods
[2] Radiographic
[3] Ultrasonic
[4] Impact

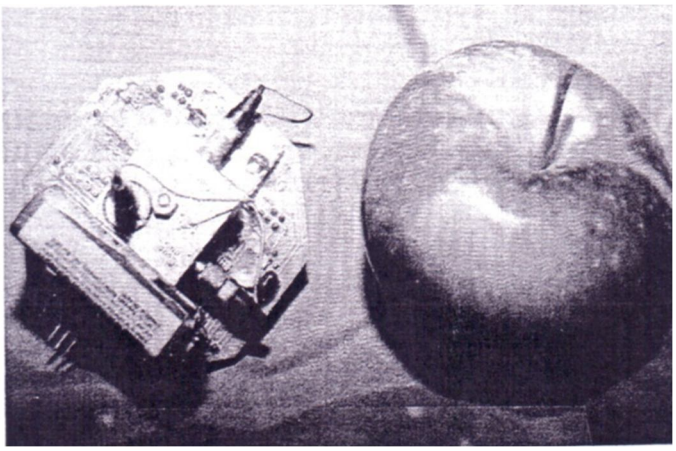
در این روش، محصول کشاورزی دست‌خوش یک ورودی دینامیکی مانند ضربه می‌شود. این ضربه می‌تواند ناشی از سقوط آزاد محصول از یک ارتفاع مشخص، پرتاب محصول و یا یک برانگیزش کنترل شده باشد. در این مرحله خصوصیاتی مانند جابجایی، نیرو یا شتاب در نقاط مختلف محصول توسط یک شتاب سنج و یا بارسنج به عنوان خروجی متناظر اندازه‌گیری می‌شود. سپس این خروجی توسط واحد جمع‌آوری داده ضبط می‌شود. در نهایت با استفاده از روش‌های تحلیلی مقادیر بدست آمده با مقدار معلومی که توسط آزمایش‌های مرجع اندازه‌گیری می‌شود، مقایسه می‌شوند. بدین طریق کارآیی روش در تخمین نتایج مشخص می‌شود [۵].

در ادامه به مرور برخی از منابع مهم در زمینه کاربرد روش ضربه در تشخیص خواص کیفی محصولات کشاورزی پرداخته می‌شود.

۲-۳- کاربرد روش غیر مخرب ضربه در تعیین خواص مکانیکی محصولات کشاورزی

زاپ و همکاران (۱۹۹۰) برای مطالعه ضربه‌های وارده بر میوه در حین انتقال آن، از یک کره شبیه میوه که در داخل آن یک مدار شتاب سنج وجود داشت استفاده کردند (شکل ۲-۲).

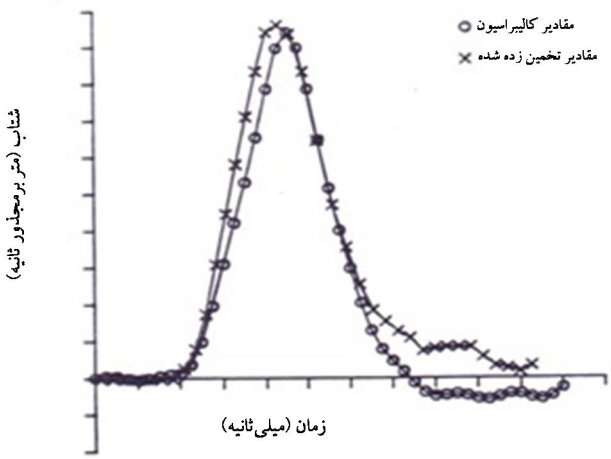
با تحلیل شتاب‌های ثبت شده بالای یک مدت مشخص می‌توان مقیاسی از صدمات وارده به میوه ناشی از ضربه را بدست آورد. این سامانه شامل یک کره ۸۹ میلی‌متری بود که در داخل آن یک شتاب سنج سه محوره، یک پردازشگر نیمه‌هادی اکسید فلزی مکمل[1] (CMOS)، یک واحد تبدیل A/D و۳۲ مگابایت حافظه قرار گرفته بود که همگی برای مقاومت مکانیکی بهتر، موم اندود شده بودند.



شکل۲-۲- سامانه اندازه‌گیری ضربه (زاپ و همکاران، ۱۹۹۰)

[1]Complementary Metal Oxide Semiconductor

نرخ نمونه برداری شتاب سنج ۳۹۰۶ هرتز و حداکثر شتاب قابل اندازه‌گیری ۱۰ برابر شتاب گرانش بود. در هر مرتبه انجام آزمایش از ۱۰ نمونه استفاده شد. نمونه‌ای از جریان سیگنال خروجی از شتاب سنج به صورت ولتاژ خروجی بر حسب زمان در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.



شکل۲-۳- موج خروجی ثبت شده از شتاب سنج (زاپ و همکاران، ۱۹۹۰)

پارامترهای محاسبه شده در هر بار اندازه‌گیری عبارت بودند از: سرعت ضربه، سرعت برخورد مجدد و ارتفاع پرتاب. با محاسبه این موارد انرژی که به میوه در هنگام برخورد وارد می‌شود محاسبه شده و از این طریق آسیب وارده به میوه مشخص می‌شد.

آزمایش‌ها نشان داد که سرعت پرتاب و ارتفاع پرتاب عوامل اصلی تغییر حداکثر شتاب بودند. برای مثال برای نقطه ماکزیمم ۱۰ برابر شتاب گرانش با تغییرات سرعت ۰/۸۵ متر بر ثانیه، ناحیه کوبیدگی به قطر ۱۳ میلی‌متر ایجاد شد [۲۲].

جارن و همکاران (۲۰۰۲) تحقیقی را در زمینه کاربرد آزمون ضربه در طبقه‌بندی دو میوه سیب و هلو بر اساس رسیدگی انجام دادند. دستگاه طراحی شده عبارت بود از یک میله استیل ۵۰ گرمی با سر گرد و قطر ۰/۹۸ سانتی‌متر که از ارتفاع ۴ سانتی‌متری بر روی نمونه‌های هلو و ۳ سانتی‌متری بر روی نمونه‌های سیب رها می‌شد. این میله فلزی مجهز به یک شتاب سنج بود که می‌توانست مقدار نیرو در هنگام ضربه به نمونه را اندازه‌گیری کند (شکل ۲-۴).