# سیستم های درجه بندی کیفی مبتنی بر خواص درونی محصولات کشاورزی

رسول خدابخشیان کارگر[۱]، باقر عمادی[۲]

۱- دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی ، دانشگاه فردوسی مشهد،
ra_kh695@stu-mail.um.ac.ir
۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

**چکیده**

بسیاری از محصولات کشاورزی بر اثر امراض یا آفات دچار آسیب شده و کیفیت داخلی این محصولات پایین آمده و در نتیجه نیاز به جدا کردن محصول سالم از غیر سالم و یا جدا کردن محصول در گروه های مختلف می شود. خصوصیات ظاهری (خارجی) نمی توانند معیار خوبی برای بررسی کیفیت این محصولات باشد. در این تحقیق روش های سریع، دقیق و غیر مخرب برای درجه بندی محصولات کشاورزی بر اساس ویژگی های درونی آن ها ارائه شده است. این روش ها بدون آسیب رساندن یا از بین بردن محصولات، بازرسی و تعیین ویژگی های آن ها را ممکن می سازند. در این مقاله علاوه بر بیان این روش ها، به مروری بر کاربردهای این روش ها در شاخه های مختلف کشاورزی پرداخته شده است. توسعه این روش ها در ایران با توجه به اهمیت آن در کاهش ضایعات و کنترل محصولات کشاورزی امری ضروری است. نتایج این مطالعه برای مهندسان کشاورزی، مهندسان خطوط تولید، مهندسان صنایع غذائی و دیگر محققان در صنایع کشاورزی و صنایع غذائی مفید خواهد بود.

**واژه های کلیدی:** آزمون های غیر مخرب، پردازش تصویر و سیگنال، درجه بندی کیفی، محصولات کشاورزی.

## ۱- مقدمه

درجه بندی کیفی محصولات کشاورزی شامل دو روش عمده، سیستم های درجه بندی کیفی مبتنی بر خواص ظاهری محصولات کشاورزی و سیستم های درجه بندی کیفی مبتنی بر ارزیابی کیفی درونی که امتیاز برجسته ای در سال های اخیر پیدا کرده می باشد (Alfatni *et al*., 2011). در این بین، روشهای متعددی تاکنون برای درجه بندی کیفی محصولات کشاورزی بر مبنای ارزیابی خواص درونی آنها به طور غیر مخرب ابداع شده‌اند که تنها برخی از آنها توانسته شرایط فوق را برآورده ساخته و از لحاظ فنی و صنعتی توجیه داشته باشند (Benedetti *et al*., 2008). روشهای اپتیکی، مکانیکی، شیمیایی و امواج الکترومغناطیسی و صوتی در توسعه آزمونهای غیرمخرب نقش اساس داشته‌اند. اما روشهای بکار رفته قادرند پارامترهای محدودی از میوه‌ها را کاوش کنند. بنابراین لازم است شرایط حاکم در این روشها به دقت بررسی شده و در گزارش یا ثبت نتایج آزمایش لحاظ شوند. همچنین در روشهای غیر مخرب ممکن است بیش از یک فاکتور بر داده بدست آمده تأثیر بگذارد که اندازه‌گیری را با خطا مواجه

خواهد ساخت و به همین دلیل این سیستم‌ها نیاز به کالیبراسیون (واسنجی) قوی خواهند داشت. در ذیل، سامانه‌های درجه بندی کیفی غیر مخرب مبتنی بر خواص درونی رایج در کشاورزی به اختصار شرح داده می‌شوند.

## ۲- سیستم درجه بندی کیفی مبتنی بر خواص درونی

کیفیت میوه به هر دو نوع متغیرهای درونی (استحکام، محتوای قند، محتوای اسید و عیوب درونی) و خارجی (شکل، اندازه، عیوب و آسیب های ظاهری) مرتبط می باشد. درجه بندی درونی میوه یکی از سیستم های درجه بندی کیفی مبتنی بر خواص درونی میوه مورد استفاده در کشاورزی می باشد همانند آنچه در شکل ۱ نمایش داده شده است.

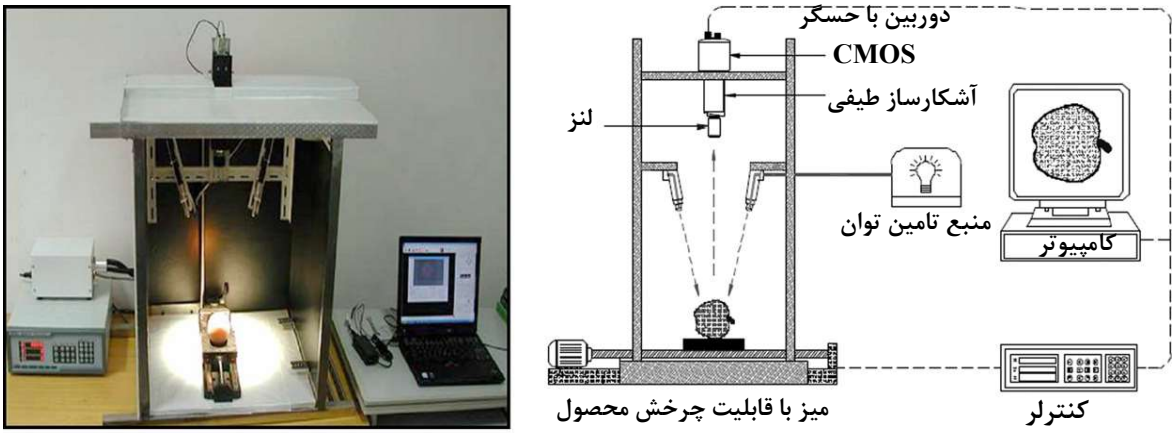
**شکل ۱.** ظاهر و درون میوه های گوجه فرنگی در مراحل مختلف رسیدگی (Qin *et al*., 2012).

ویژگی های درونی مانند رطوبت، قند، اسیدیته و مانند اینها اطلاعات ارزشمندی درباره رسیدگی میوه که به آسانی توسط ویژگی های ظاهری میوه قابل تشخیص نمی باشد را ارائه می کنند. یک روش راستی آزمائی کیفی خودکار از طریق بازرسی کیفی محصولات کشاورزی با استفاده از حسگرهای مخصوص برای برآورد محتوای اسید و قند ابداع شده است (Njoroge *et al*., 2002). آنها یک حسگر اشعه ایکس را برای تشخیص عیوب بیولوژیکی ممکن مورد استفاده قرار دادند. یک سیستم تجزیه و تحلیل ریشه درخت بید توسط طیف سنجی امپدانس الکتریکی (EI) نیز) به اجرا رسیده است (Cao *et al*., 2010).

### ۲-۱- طراحی سیستم

با هر دو روش بازرسی کیفی بر اساس ویژگی های ظاهری و درونی، دستیابی به اهداف مشابه با تفاوت های جزئی در طراحی سیستم و انواع حسگرهای تعبیه شده در سیستم به منظور اندازه گیری ویژگی های کیفی حاصل می شود. به عنوان نمونه مفاهیم اساسی سیستم های درجه بندی طراحی شده به منظور ارزیابی محصوات کشاورزی با استفاده از یک سیستم تصویربرداری ابرطیفی در شکل ۲ نشان داده است. سیستم ترکیبی از موارد زیر می باشد: یک ایستگاه آزمون نمونه، حسگر مخصوص و یک سیستم تغذیه نوار نقاله ای. از طریقی یک کامپیوتر با سرعت بالا به منظور پردازش و تجزیه و تحلیل سیگنال های نمونه با

استفاده از نرم افزار مخصوص برای اکتساب نتایج کیفی و یک سیستم اکتساب داده واسط بین حسگر و کامپیوتر با پردازش سیگنال دیجیتال مورد نیاز می باشد.




الف ب

**شکل ۲.** سیستم تصویربرداری ابرطیفی برای ارزیابی محصولات کشاورزی. الف) سیستم تصویربرداری ابرطیفی توسعه یافته ؛ ب) طرح سیستم (Zhao *et al*., 2009).

## ۲-۲ مراحل پردازش سیگنال

مراحل کلی مورد بحث در پردازش سیگنال سیستم های درجه بندی کیفی مبتنی بر خواص درونی محصولات کشاورزی شامل: اکتساب داده ( حسگرهای الکترونیکی)؛ پیش پردازش (مبدل آنالوگ به دیجیتال)، پردازش سیگنال و استخراج ویژگی و دسته بندی می باشند. دریک مطالعه گزارش شده است که یک حسگر طعم الکترونیکی مصنوعی قابل حمل با استفاده از روش های پردازش سیگنال دیجیتال این هدف را به انجام خواهد رساند (Abdullah *et al*., 2006).

## ۳- مواد و روشها

سیستم درجه بندی کیفی مبتنی بر خواص درونی محصولات کشاورزی یک سیستم مورد استفاده بـه منظـور انـدازه گیـری انواع مختلف سیگنال های خواص درونی میوه ها با استفاده از انواع مختلف حسگرها در ترکیب با روش های مخصـوص براسـاس این خواص می باشد. در این مقاله، کاربرد روش های سیستم بازرسی درونی برای محصولات کشاورزی به صورت انتقادی بررسـی شده اند. نتایج این مطالعه برای مهندسان کشاورزی، مهندسان خطوط تولید، مهندسان صنایع غـذائی و دیگـر محققـان در صـنایع کشاورزی و صنایع غذائی مفید خواهد بود. بررسی های متعدد بر روی سیستم های درجه بندی کیفـی مبتنـی بـر خـواص درونـی محصـولات کشـاورزی در ایـن مقالـه بـه منظـور پوشـش یـک طیـف وسـیعی از مطالعـات پیشـین روی اسـتفاده از روش هـای الکترومغناطیس به منظور تعیین محتوای رطوبتی و خواص دی الکتریکی مواد جهت اندازه گیـری کیفیـت محصـولات کشـاورزی انجام شده است. یک بررسی انتقادی از اندازه گیری روش ها و کاربردهای خواص الکتریکی بـرای ارزیـابی کیفـی غیـر مخـرب و طیف سنجی نزدیک مادون قرمز به همراه روش های ابزاری پیشرفته و طیف سنجی نزدیک مادون قرمز برای پـرورش و فـرآوری گندم انجام گرفته است. یک مطالعه استفاده از روش مافوق صوت در تکنولوژی مواد غذائی نیز بررسی شده است. پتانسیل استفاده از رادیوگرافی در فرآیند پس از برداشت به منظور تشخیص عیوب درونی در میوه هـا مطالعـه شـده اسـت. همچنـین اسـتفاده از Nuclear Magnetic Resonance (NMR)، Magnetic Resonance Imaging (MRI) و اشـعه ایکـس در ارزیـابی درونـی محصولات کشاورزی تحقیق شده است. روش های ذکر شده به همراه مزایا و معایب هر کـدام بـرای کـاربرد در ارزیـابی خـواص درونی محصولات کشاورزی در جدول ۱ به طور کامل شرح داده شده اند.

**جدول ۱.** مزایا و معایب روش های سیستم درجه بندی کیفی مبتنی بر خواص درونی استفاده شده برای محصولات کشاورزی

| روش | مزایا | معایب | منبع |
|---|---|---|---|
| اشعه ایکس و توموگرافی کامپیوتری | – تصویربرداری سه بعدی غیرمخرب<br>– عدم نیاز به آماده سازی نمونه ها<br>– سرعت در استخراج اطلاعات<br>– نمایش و ذخیره سازی به صورت دیجیتالی<br>– انتقال سریع در کاربردها | – رزولوشن محدود<br>– نیاز به کالیبراسون سطوح خاکستری<br>– عدم امکان نفوذسنجی پرتو برای نمونه های با اندازه بزرگ<br>– نیاز به کامپیوترهای قوی<br>– تجزیه یونی امکان فساد محصول را به همراه دارد | Kalender *et al*. (2006) |
| کاوش ظرفیت خازنی و ظرفیت خودالقائی | – قابلیت مقاومت در مقابل نوسان<br>– سرعت بالا<br>– هزینه پایین<br>– کاربری آسان<br>– قابل استفاده در کشاورزی دقیق | – نیاز به تعیین خواص دی الکتریکی محصول مورد نیاز می باشد. | Soltani *et al*. (2006) |
| ناگذرائی الکتریکی[1] | – قابلیت در ارزیابی کیفی<br>– قابلیت آشکارسازی تغییرات فیزویلوژی در مدت رسیدگی محصول | – نیاز به تعیین خواص ناگذرائی الکتریکی محصول مورد نیاز می باشد. | Liu *et al*.(2006) |
| مایکروویو | – ایمن و غیرمخرب در مقایسه با سایر روش ها<br>– به طور موفقیت آمیزی در صنایع غذائی مورد استفاده قرار گرفته است. | – نوسانات چگالی موجب خطاهای معنی داری در ارزیابی کیفی می شود.<br>– عدم امکان پایدار نمودن چگالی به دلیل حرکت محصول روی نوار نقاله | Trabelsi *et al*. (1998) |
| MRI | – قابلیت استفاده در محیط طبیعی<br>– امکان تولید تصاویر با رزولوشن بالا از ساختار درونی | – هزینه بالا<br>– نیاز به تجهیزات دقیق<br>– نیاز به اپراتورهای آموزش دیده | Hart *et al*. (2003) |
| پرتوافشانی[2] | – زمان پردازش کم<br>– تغییرات ایجاد شده در طعم، مزه، ظاهر و بافت محصول ناچیز می باشد.<br>– سازگار با محیط | – هزینه بالا<br>– متغیر با زمان<br>– نیاز به اپراتورهای آموزش دیده | Kimambo (2007); Alothman *et al*. (2009) |
| مافوق صوت | – سرعت بالا در کاربرد | – مشکل در انتقال انرژی از درون میوه<br>– نیاز به تامین توان بالا<br>– محدود شده توسط سطوح و چگالی | Abbott (1999) |
| طیف سنجی NIR[3] | – تجزیه و تحلیل سریع<br>– درگیری کمتر اپراتور<br>– منافع زیست محیطی<br>– امکان بهبود دقت<br>– قابلیت اتوماسیون | – نیاز به روش های پیش پردازش و پس پردازش بالا جهت استخراج اطلاعات ارزشمند | Roggo *et al*.(2007) |

[1] Electrical impedance (EI)
[2] Radiation
[3] Near Infra Red

### ۳-۱-اندازه گیری های رطوبت میوه

محتوای رطوبتی محصولات کشاورزی یک شاخص درجه بندی مناسب می باشد. این موضوع توسط محققان متعددی گزارش شده است. یک حسگر برای اندازه گیری محتوای رطوبتی یک محیط کشت توسط Lock (2011) اختراع شد. خدابخشیان و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۱۲) به بررسی اثرات رطوبت بر روی خواص فیزیکی، مکانیکی و آیرودینامکی دانه و مغز آفتابگردان پرداختند. به صورت مشابه اثرات محتوای رطوبتی بر روی خواص فیزیکی محصولات مختلف توسط محققان متعددی گزارش شده است (Amin *et al.*,2004; Garnayak *et al.*, 2008; Bamgboye and Adebayo, 2012).

به منظور مطالعه الگوی حدف رطوبت در درون یک گندم در مدت فرآیند خشک کردن، تصویربرداری تشدید مغناطیسی هسته (MRI) برای ثبت تصاویر MR[4] در فواصل زمانی برابر مورد استفاده قرار گرفت و الگوهای رطوبت از تصاویر MR دانه های گندم تجزیه و تحلیل شد (Ghosh *et al.*, 2006). استفاده از پروب های خازنی به منظور پایش مداوم و با دقت آب خاک در تولید هندوانه با آبیاری قطره ای توسط Mccann *et al.* (2007) بررسی شد. امپدانس الکتریکی یک رابطه مناسبی با برآورد کیفی محصولات کشاورزی داشت. گذردهی الکتریکی میوه خرما و محتوای رطوبتی بوسیله یک حسگر هم محور بی انتها اندازه گیری شد. شکل ۴ حسگر مورد استفاده به همراه نمونه مورد آزمون را نشان می دهد. محققان دیگری طیف سنجی امپدانس الکتریکی را به منظور اندازه گیری طیف امپدانس برش های محصولات کشاورزی در مدت خشک کردن برای مرتبط نمودن پارامترهای امپدانس و محتوای رطوبتی در دوره های مختلف خشک کردن را مورد استفاده قرار داده اند ( Kumar *et al.*, 2006; Mizukami *et al.*, 2007; Nelson and Trabelsi, 2009). یک مقایسه مطالعه روش ها به منظور تعیین محتوای رطوبتی در محصول توسط El-Sayd and Makawy (2010) انجام شد و مشخص گردید که فرکانس های مایکروویو بهتر از فرکانس های پایین تر برای هدف مورد نظر می باشند. یک تصویربرداری NMR به منظور بررسی نقش انتقال شیشه ای روی حالت های انتقال رطوبت در خشک کردن مداوم و متناوب ماکارونی توسط Xing *et al* (2007) مطالعه شد. Chen-Mayer and Tosh (2007) نشان دادند که دماسنج فراصوت با رزولوشن بالا یکی از روش های مهم مورد استفاده به منظور اندازه گیری دوز جذب شده در کالریمتر های آب می باشد.

### ۳-۲ اندازه گیری های قند میوه

همانطور که پیش از این ذکر گردید، محتوای قند را می توان به عنوان یک ماتریس برای ارزیابی کیفی و بلوغ میوه استفاده نمود (Lin and Ying, 2009). این موضوع در تحقیقات متعددی نشان داده شده است. محتوای قند سیب با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات در تبدیل موجک طیف NIR پیش بینی شده است (Nicolai *et al.*, 2007). طیف سنجی NIR (۷۰۰ تا ۱۱۰۰

[4] Magnetic Resonance

نانو متر) روی هندوانه به منظور بررسی ضریب همبستگی و مقادیر پیش بینی خطای استاندارد، که به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۴۲ بریکس بدست آمده اجرا شد (Abebe, 2006). ترکیب طیف سنجی IR و طیف سنجی NMR به همراه روش تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی برای تعیین سریع مرحله رسیدگی توت فرنگی با استفاده از غلظت های سه قند جزئی (آلفا- گلوکز، بتا-گلوکز و سوکروز) به منظور ارزیابی خصوصیات طیفی NMR در هر مرحله رسیدگی استفاده شده است (Kwak *et al.*, 2007). این مطالعه نشان داد که غلظت قند از اوایل تا اواخر مراحل رشد افزایش می یافت. هر دو طیف سنجی IR[5] و NMR به منظور روشن نمودن فعالیت های متابولیکی مورد استفاده برای تعیین مرحله بلوغ مهم می باشند.

طیف سنجی ناگذرائی الکتریکی (EI) بر اساس محتوای قند در مطالعات محصولات کشاورزی استفاده شده اند. دیزما-ایگلسیاس (۲۰۰۴) ارزیابی رسیدگی هندوانه از طریق روش ناگذرائی پالس آکوستیک را مطالعه نمودند. نتایج نشان دد که پارامترهای آکوستیک بهترین توانائی را به منظور تشخیص اختلالات درونی را دارند. علاوه بر این، بررسی حساسیت دی الکتریک برای تعیین کیفیت میوه توسط Nelson *et al.* (2008) به منظور آزمون گذردهی الکتریکی هندوانه در مراحل مختلف بلوغ اجرا شد. برآورد کیفی میوه های کشاورزی با استفاده از تصویربرداری مایکروویو توسط محققان مختلفی در سرتاسر جهان به طور گسترده استفاده شده است، توسعه تصویربرداری غیر مخرب توزیع قند میوه با بکارگیری یک توموگرافی کامپیوتری مایکروویو پالس صدادار[6] Baki *et al.* (2010) اجرا شده است. آنها تایید نمودند که توزیع قند در درون گلابی واریته ژاپنی با توجه به زمان برداشت تغییر می کند. به طور مشابه، تغییرات و کیفیت رسیدگی میوه گوجه فرنگی تحت تاثیر توسط تابش UV از طریق مکانیسم وابسته و مستقل اتیلن در مدت رسیدگی ارزیابی شد (Becatti *et al.*, 2009).

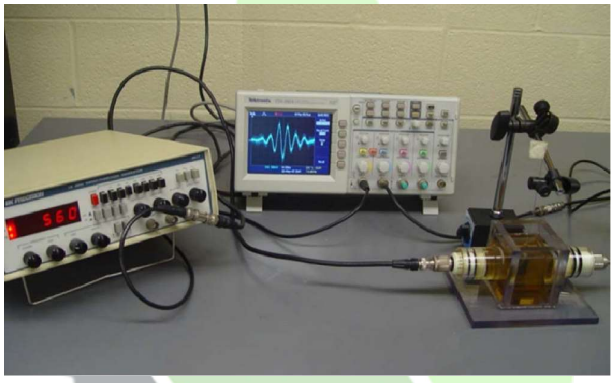
علاوه بر این، تغییرات ساختار پس از برداشت برای میوه کیوی واریته Hayward بر اساس قند با استفاده از MRI بررسی شد. مطالعه نشان داد که MRI یک ابزار مفید برای شناسائی کوچکترین تغییرات بافت مرتبط با تحرک آب می باشد. اندازه گیری غیر مخرب محتوای قند سیب با استفاده از روش تصویربرداری ابرطیفی انجام شد. روش تصویربرداری ابرطیفی به طور بالقوه در ارزیابی محتوای قند سیب هنگامی که ضریب همبستگی بین نتایج پیش بینی تصویربرداری ابرطیفی و نتایج اندازه گیری مرجع برابر با ۰/۹۱ بوده مفید گزارش شد (Zhao *et al.*, 2009).

### ۳-۳ اندازه گیری های اسیدیته میوه

ضریب اسیدیته میوه شاخص درونی دیگری از کیفیت میوه می باشد. محققین روش های گوناگونی با اسیدیته میوه های مختلف را به منظور بررسی آن روشی که ممکن است برای یک آزمون قابل اطمینان و سریع یک تعداد زیادی نمونه مناسب بوده مورد استفاده قرار دادند. به تازگی، Vachova *et al.* (2009) غلظت قند و اسیدیته در میوه ها را با استفاده از کروماتوگرافی مایع با

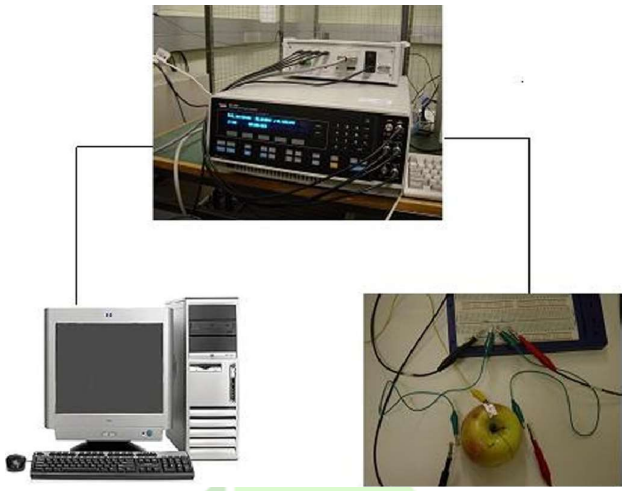
[5] Infra Red
[6] Chirp pulse microwave computed tomography (CPMCT)

کارآئی بالا و آشکارسازهای مادون قرمز به منظور ارزیابی بهترین ضریب اسیدیته و طعم شیرینی برای لیمو تعیین نمودند. به عنوان یک تغییرپذیری از ضریب اسیدیته مذکور بر اساس ارزیابی کیفی، Wolf and Zaina (2002) محتوای متیل سلنو- آمینو اسید برای مواد غذائی بر مبنای طیف سنجی جرمی ایزوتروپ پایدار را مطالعه نمودند. اندازه گیری های ظرفیت خازنی و مافوق صوت برای تشخیص روغن باقی مانده همانند آنچه در شکل ۳ نشان داده شده مورد استفاده قرار گرفتند (Sarangi, 2007). امپدانس الکتریکی یکی دیگر از مهم ترین روش های استفاده شده برای برآورد و اندازه گیری اسیدیته میوه می باشد. Repo *et al.* (2004) گزارش نمودند که خواص امپدانس الکتریکی برگ ها به طور قابل توجهی در فصول رشد هنگامی که برگ های دیگر گسترش یافته تغییر می کند. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، Fang *et al.* (2007) به طور جامع استفاده از طیف سنجی امپدانس الکتریکی را به منظور تشخیص خواص الکتریکی بافت گیاهی بررسی نمودند.



**شکل ۳.** سیستم اندازه گیری مافوق صوت استفاده شده (Sarangi, 2007).

کاربرد فرآوری مایکروویو پیوسته به منظور اسیدی کردن محصولات صیفی می تواند مصرف انرژی و آب را کاهش دهد و به موجب آن پایداری تولید محصولات اسیدی شده همانند آنچه توسط Koskiniemi (2010) گزارش شده را بهبود دهد. یک تعداد زیادی از تحقیقات به منظور بررسی فرآیندهای غیر مخرب مانند NMR و توموگرافی کامپیوتری برای تعیین کیفیت میوه بر مبنای اسید آسکروبیک میوه انجام شده اند (Wang *et al.*, 2012) ارزیابی آردی شدن در سیب و هلو با استفاده از روش های MRI توسط Barreiro *et al.*(2000) انجام گردید.



**شکل ۴.** سیستم اندازه گیری امپدانس الکتریکی (Fang *et al*., 2007).

### ۳-۴ اندازه گیری های رسیدگی میوه

پژوهش در تعیین رسیدگی میوه به طور فزاینده ای در صنعت مواد غذائی برجسته شده است. کیفیت بازار محصولات صنایع غذائی و کشاورزی را می توان بر مبنای پارامتر رسیدگی محصول برآورد نمود. بینائی ماشین برای بازرسی درونی یک روش کنترل خودکار تعیین رسیدگی میوه با کمک حسگرهای مخصوص مبتنی بر خواص درونی میوه می باشد. امروزه، کاربرد سیستم بینی الکترونیکی[۷] در رسیدگی محصولات کشاورزی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. نظیر یک چنین سیستمی به منظور بازرسی میوه انبه در سه دسته با توجه به حالت های مختلف رسیدگی میوه استفاده شده است (Salim, 2005). طیف سنجی مادون قرمز نزدیک نیز برای ارزیابی رسیدگی میوه بررسی شده است (Mireei *et al*., 2010). ارزیابی کیفی موز در طول مدت رسیدگی با استفاده از ظرفیت خازنی توسط Soltani *et al*. (2010) به منظور توسعه یک روش غیر مخرب به منظور کنترل ارزیابی رسیدگی مطالعه شد. علاوه بر این، امپدانس الکتریکی یکی دیگر از روش های مورد استفاده برای برآورد کیفی رسیدگی میوه می باشد ( Liu *et al*., 2008). کاربرد روش مافوق صوت برای بازرسی کیفی میوه بر مبنای استحکام توسط Flitsanov *et al*.(2000) مطالعه شد. روش های MRI و توموگرافی کامپیوتری به طور گسترده در بازرسی کیفی میوه مطالعه شده اند ( Abbott, 1999; Butz *et al*., 2005).

[7] Electronic nose

### ۳-۵ اندازه گیری های آسیب میوه

آسیب درونی میوه یکی از مسائل تاثیر گذار بر روی کیفیت محصول می باشد. بسیاری از مراکز مختلف تحقیقات کشاورزی در سراسر جهان بر روی توسعه سیستم های درجه بندی درونی محصولات کشاورزی به منظور مقابله با پدیده آسیب درونی میوه مانند آسیب هلو متمرکز شده اند (Yang *et al*., 2006). Xing and Guyer (2008) یک مکانیزم به منظور شناسائی هجوم حشرات درونی به میوه گیلاس ترش با استفاده از طیف سنجی انتقالی را ارائه دادند. روش غیرمخرب اشعه ایکس به منظور ارزیابی بیماری حالت زجاجی در آناناس مورد استفاده قرار گرفته است (Haff el al., 2006). تشخیص آسیب یخ زدگی درونی در میوه های مختلف با استفاده از روش های رسمی تعیین شده با توجه به اسانداردهای مختلف توسط روش های گوناگون انجام شده است. تشخیص خودکار آلودگی سیب بر مبنای تصویربرداری چندطیفی ماهتابی توسط Kim *et al.* (2005) انجام شده است. تشخیص آسیب درونی در میوه پرتقال با استفاده از بینائی ماشین و تشعشع ماهتابی ماوراء بنفش توسط Slaughter *et al.* (2008) به انجام رسید. همچنین، یک مطالعه استفاده از NMR بر روی قهوه ای شدن درونی گلابی انجام شد (Hernandez *et al*., 2007). روش MRI برای بازرسی آنلاین میوه آسیب دیده و سالم نیز توسط این محققان بررسی شد (Hernandez *et al*., 2007).

### ۴- بحث و نتیجه گیری

این مقاله در واقع بررسی روش های جدید که ممکن است در پردازش سیگنال برای درجه بندی درونی محصولات کشاورزی به کار گرفته شده می باشد. سیستم های درجه بندی به طور کلی روش های مهندسی بهبود یافته از پردازش تصویر و سیگنال خواص درونی محصولات مانند محتوای قند، سطح اسیدیته و یا محتوای رطوبت را بکار می گیرند.

اندازه گیری های رطوبت شاخص های کارآمد از ویژگی ها و خصوصیات میوه بوده و از این رو می تواند در کاربردهای مختلف به منظور بدست آوردن اطلاعات مفید میوه استفاده شود. یک تعداد قابل توجهی تحقیق روابط بین پاسخ محصول و شرایط رطوبتی با استفاده از روش های متفاوتی مانند مایکروویو، طیف سنجی مادون قرمز نزدیک، MRI، ظرفیت خازنی و هدایت الکتریکی در این مقاله ارائه شده اند. اندازه گیری های قند هنوز نیاز به تجزیه و تحلیل در بسیاری از محصولات کشاورزی داشته و اینکه محتوای قند را می توان به عنوان یک شاخص به منظور ارزیابی کیفی میوه و رسیدگی بکار گرفت. بررسی منابع نشان داد که طیف سنجی مادون قرمز نزدیک یک روش قابل اطمینان برای اندازه گیری محتوای قند بر مبنای تعیین سطح موج بحرانی محتوای قند می باشد. از سوی دیگر، روش های دیگری مانند مایکروویو تصویربرداری غیر مخرب از توطیع قند میوه را فراهم نمود. از دیگر خصوصیات قابل اندازه گیری برای بازرسی کیفی محصولات میزان اسیدیته می باشد. این پارامتر نیز توسط روش های ذکر شده اندازه گیری و روابط کیفی مطلوبی بدست آمده است. از آنجائیکه کیفیت بازار محصولات شاورزی بر مبنای رسیدگی

آنها می باشد در این مقاله نیز به سیستم های درجه بندی کیفی مبتنی بر تشخیص رسیدگی پرداخته شده است. سیستم بینی الکترونیکی مورد استفاده قرار گرفته و ثابت شدکه این سیستم قلبلیت تعیین رسیدگی میوه را در هر مرحله ای از بلوغ دارا می باشد. روش های متعددی برای تشخیص آسیب درونی میوه استفاده شده اند لیکن برخی از آنها توصیه شده اند. به عنوان مثال، درصد دقت نتایج برای تجزیه و تحلیل طیفی نفوذپذیری نشان داد که آن یک پتانسیل قوی برای تشخیص آفات در میوه را دارا می باشد، روش اشعه ایکس نیز قابلیت تشخیص آفات درونی سیب را نشان داده است. همچنین تشعشع ماهتابی ماوراء بنفش و تصویربرداری چندطیفی در تشخیص سطوح آسیب دیده در شرایط یخ زدگی میوه قابلیت خوبی داشتند.

**منابع**

1- Abbott, J. A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology 15: 207–225.
2- Abebe, A. T. 2006. Short communication: Total sugar and maturity evaluation of intact watermelon using near infrared spectroscopy. Journal of Near Infrared Spectroscopy 14: 67–70.
3- Abdullah, M. Z., A. S. A. Rahman., A. Y. M. Shakaff., and A. M. Noor. 2006. Discrimination and classification of Eurycoma longifolia jack in medicinal foods by means of a DSP-based electronic taste sensor. Transactions of the Institute of Measurement and Control 26: 19–39.
4- Alfatni, M. S., A. R. M. Shariff., M. Z. Abdullah., O. M. B Saeed., and O. M. Ceesay. 2011. Recent methods and techniques of external grading systems for agricultural crops quality inspection – . International Journal of Food Engineering 7: 1–40.
5- Alothman, M., R. Bhat., and A. A. Karim. 2009. Effects of radiation processing on photochemical and antioxidants in plant produce. Trends in Food Science & Technology 20: 201–212.
6- Amin, M. N., M. A. Hossain., and K. C. Roy. 2004. Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. Journal of Food Engineering 65: 83–87.
7- Baki, S. R. M. S., M. Z. M. Annuar., I. M. Yassin., H. A. Hassan., and A. Zabidi. 2010. Nondestructive classification of watermelon ripeness using MEL-frequency cepstrum coefficients and multilayer perceptrons. In Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Shah Alam, Malaysia.
8- Bamgboye, A. I., S. E. Adebayo. 2012. Seed moisture dependent on physical and mechanical properties of Jatropha curcas. Journal of Agricultural Technology 8: 13–26.
9- Barreiro, P., C. Ortiz., M. Ruiz-Altisent., J. Ruiz-Cabello., M. E. Fernandez-Valle., I. Recasens., and M. Asensio. 2000. Mealiness assessment in apples and peaches using MRI techniques. Journal of Magnetic Resonance Imaging 18: 1175–1181.
10- Benedetti, S., S. Buratti., A. Spinardi., S. Mannino., and I. Mignani. 2008. Electronicnose as a non-destructive tool to characterise peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life. Postharvest Biology and Technology 47: 181–188.
11- Becatti, E., K. Petroni., D. Giuntini., A. Castagna., V. Calvenzani., G. Serra., A. Mensuali-Sodi., C. Tonelli., A. A. Ranieri. 2009. Solar UV-B radiation influences carotenoid accumulation of tomato fruit through both ethylene-dependent and -independent mechanisms. Journal of Agricultural and Food Chemistry 57: 10979–10989.
12- Butz, P., C. Hofmann., and B. Tauscher. 2005. Recent developments in non-invasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis. Journal of Food Science 70: 131–141.
13- Cao, Y., T. Repo., R. Silvennoinen., T. Lehto., and P. Pelkonen. 2010. Analysis of the willow root system by electrical impedance spectroscopy. Journal of Experimental Botany 62: 351–358.
14- Chen-Mayer, H. H., R. E. Tosh. 2007. A High-Resolution Ultrasonic Thermometer for Measuring Absorbed Dose in Water Calorimeters. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, pp. 1–8.
15- El-Sayd, N.I., and M. M. Makawy. 2010. Comparison of methods for determination of moisture in food. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 6: 906–911

16- Fang, Q., X. Liu., and I. Cosic. 2007. Bioimpedance study on four apple varieties. In: Proceedings of the 13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography (ICEBI), Hermann Scharfetter, Robert Merva.
17- Flitsanov, U., A. Mizrach., A. Liberzon., M. Akerman., and G. Zauberman. 2000. Measurement of avocado softening at various temperatures using ultrasound. Postharvest Biology and Technology 20: 279–286.
18- Garnayak, D. K., R .C. Pradhan., S. N. Naik., and N. Bhatnagar. 2008. Moisture dependent physical properties of Jatropha seed (Jatropha curcas L.). Journal Industrial Crops and Products 27: 123–129.
19- Ghosh, P. K., D. S. Jayas., M. L. H. Gruwel., and N. D. G. White. 2006. Magnetic resonance imaging studies to determine the moisture removal patterns in wheat during drying. Canadian Biosystems Engineering 48: 13–18.
20- Haff, R. P., D. C. Slaughter., Y. Sarig., and A. Kader. 2006. X-ray assessment of translucency in pineapple. Journal of Food Processing and Preservation 30: 527–533.
21- Hart, A. G., R. W. Bowtell., W. Kockenberger., T. Wenseleers., and F. L. W. Ratnieks. 2003. Magnetic resonance imaging in entomology: a critical review. Journal of Insect Science 3: 1–9.
22- Hernandez-Sanchez, N., B. P. Hills., P. Barreiro., and N. Marigheto. 2007. An NMR study on internal browning in pears. Postharvest Biology and Technology 44: 260– 270.
23- Hernandez-Sanchez, N., P. Barreiro., M. Ruiz-Altisent., J. Ruiz-Cabello., and M. E. Fernandez-Valle. 2004. Detection of freeze injury in oranges by magnetic resonance imaging of moving samples. Applied Magnetic Resonance 26: 431–445.
24- Kalender, W. 2006. X-ray computed tomography. Physics in Medicine & Biology 51: R29–R43.
25- Kimambo, C. Z. M.. 2007. Development and performance testing of solar cookers. Journal of Energy in Southern Africa 18: 41–51.
26- Kim, M. S., A. M. Lefcourt., Y. R. Chen., and Y. Tao. 2005. Automated detection of fecal contamination of apples based on multispectral fluorescence image fusion. Journal of Food Engineering 71: 85–91.
27- Khodabakhshian, R., B. Emadi., and M. H. Abbaspour Fard. 2010. Some engineering properties of sunflower seed and its kernel. Journal of Agricultural Science and Technology 4: 37-46.
28- Khodabakhshian, R., B. Emadi., M. H. Abbaspour Fard., and M. H. Saiedirad. 2012. The effect of variety, size and moisture content of sunflower seed and its kernel on their terminal velocity, drag coefficient and Reynold's number. International journal of food properties 15: 262-273.
29- Koskiniemi, C. B. 2010. Development of a 915 MHZ Continuous Microwave Process for Pasteurization of Packaged Acidified Vegetables. Food Science, North Carolina State University, p. 152.
30- Kumar, P., S. P. Singh., R. Manohar., and J. P. Shukla. 2006. Moisture dependent electrical parameter as an indicator of germination of seed: a case study of poppy seed. International Journal of Agricultural Research 1: 534–544.
31- Kwak, C. W., D. H. Choung., S. R. Min., S. W. Kim., J. R. Liu., and H. Chung. 2007. Fast determination of the ripeness stage of strawberries using infrared spectroscopy combined with principal component analysis. Analytical Sciences 23: 895–899.

32- Lin, H., and Y. Ying. 2009. Theory and application of near infrared spectroscopy in assessment of fruit quality: a review. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety 3: 130–141.
33- Liu, X. 2006. Electrical Impedance Spectroscopy Applied in Plant Physiology Studies. School of Electrical and Computer Engineering, RMIT University, p. 102.
34- Lock, M.G. 2011. Moisture Content Sensor and Related Methods Patent Genius. Delta-T Devices Limited, Cambridge, GB, UK.
35- Liu, X., Q. Fang., S. Zheng., and I. Cosic. 2008. Electrical impedance spectroscopy investigation on banana ripening. Acta Horticulture (ISHS) 804: 159–166.
36- Mccann, I., E. Kee, J. Adkins., E. Ernest., and J. Ernest. 2007. Effect of irrigation rate on yield of drip-irrigated seedless watermelon in a humid region. Scientia Horticulturae 113: 155–161.
37- Mizukami, Y., K. Yamada., Y. Sawai., and Y. Yamaguchi. 2007. Measurement of fresh tea leaf growth using electrical impedance spectroscopy. Agricultural journal 2: 134–139.
38- Mireei, S. A., S. S. Mohtasebi., R. Massudi., S. Rafiee., A. S. Arabanian., and A. Berardinelli. 2010. Non-destructive measurement of moisture and soluble solids content of Mazafati date fruit by NIR spectroscopy. Australian Journal of Crop Science 4: 175–179.
39- Nelson, S. O., W. Guo., and S. Trabelsi. 2008. Investigation of dielectric sensing for fruit quality determination. In: Proceedings of the IEEE Sensors Applications Symposium, Atlanta, GA.
40- Nelson, S. O., and S. Trabelsi. 2009. Influence of water content on RF and microwave dielectric behavior of foods. Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy 43: 13–23.
41- Nicolai, B. M., K. I. Theron., and J. Lammertyn. 2007. Kernel PLS regression on wavelet transformed NIR spectra for prediction of sugar content of apple. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 85: 243–252.
42- Njoroge, J. B., K. Ninomiya., N. Kondo., and I. Toita. 2002. Automated fruit grading system using image processing. In: Proceedings of the S1CE02-0822, Auk, Osaka.
43- Qin, J., K. Chao., and M. S. Kim. 2012. Nondestructive evaluation of internal maturity of tomatoes using spatially offset Raman spectroscopy. Postharvest Biology and Technology 71: 21–31.
44- Repo, T., E. Oksanen., and E. Vapaavuori. 2004. Effects of elevated concentrations of ozone and carbon dioxide on the electrical.
45- Roggo, Y., P. Chalus., L. Maurer., C. Lema-Martinez., A. E. Edmond., and N. Jent. 2007. A review of near infrared spectroscopy and chemometrics in pharmaceutical technologies. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 44: 683–700.
46- Salim, S. N. M., A. Y. M., Shakaff., M. N. Ahmad., A. H. Adom., and Z. Husin. 2005. Development of electronic nose for fruits ripeness determination. In: Proceedings of the 1st International Conference on Sensing Technology, Palmerston North, New Zealand.
47- Sarangi, M. A. 2007. Oil Debris Detection Using Capacitance and Ultrasonic Measurements. Mechanical Engineering, University of Akron, p. 53.
48- Slaughter, D. C., D. M. Obenland., J. F. Thompsona., M. L. Arpaia., and D. A. Margosan. 2008. Non-destructive freeze damage detection in oranges using machine vision and ultraviolet fluorescence. Postharvest Biology and Technology 48: 341–346.

49- Soltani, M., R. Alimardani., and M. Omid. 2010. Prediction of banana quality during ripening stage using capacitance sensing system. Australian Journal of Crop Science 4: 443–447.
50- Soltani, M., R. Alimardani., and M. Omid. 2011. Use of dielectric properties in quality measurement of agricultural products. Nature and Science 9: 57–61.
51- Trabelsi, S., A. W. Kraszewski., and S. O. Nelson. 1998. A microwave method for on-line determination of bulk density and moisture content of particulate materials. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 47: 127–132.
52- Vachova, A., Z. P. Ka., and D. Lukešova. 2009. The selection of the optimal rate of acid and sweet taste for lemon flavoured drops. Czech Journal of Food Sciences 27:330–332.
53- Wang, Z., X. Teng., and C. Lu. 2012. Carbonate interlayered hydrotalcites-enhanced peroxynitrous acid chemiluminescence for high selectivity sensing of ascorbic acid. Analyst 137: 1876–1881.
54- Wolf, W., and H. Zainal. 2002. Methylseleno-amino acid content of food materials by stable isotope dilution mass spectrometry. Food and Nutrition Bulletin 23: 120–123.
55- Xing, H., P. S. Takhar., G. Helms., and B. He. 2007. NMR imaging of continuous and intermittent drying of pasta. Journal of Food Engineering 78: 61–68.
56- Xing, J., and D. Guyer. 2008. Detecting internal insect infestation in tart cherry using transmittance spectroscopy. Postharvest Biology and Technology 49: 411– 416.
57- Yang, E.-C., M. M. Yang., L. H. Liao., W. Y. Wu., T. W. Chen., T. M. Chen., T. T. Lin., and J. A. Jiang. 2006. Non-destructive quarantine technique- potential application of using X-ray images to detect early infestations caused by oriental fruit fly (Bactrocera dorsalis) (diptera: Tephritidae) in fruit. Formosan Entomology 26: 171–186.
58- Zhao, J., S. Vittayapadung., Q. Chen., S. Chaitep., and R. Chuaviroj. 2009. Nondestructive measurement of sugar content of apple using hyperspectral imaging technique. Maejo International Journal of Science and Technology 3: 130–142.

# Quality grading systems based on internal properties of agricultural produce

Rasool Khodabakhshian[1*] and Bagher Emadi [2]

1- Phd Student, Department of mechanics of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, ra_kh695@stu-mail.um.ac.ir
2- Associate Professor, Department of mechanics of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

**Abstract**

Many of agricultural produce damaged by pest and diseases and internal quality of them decrease, so it is necessary to classify of intact produce and damaged produce. External properties of could not be a good measure of the quality of these produce. In this study, rapid, accurate and non-destructive methods for grading of agricultural produce on the base of internal properties are considered. These methods determine properties of agricultural produce without any damage to them. In addition to the described methods in this paper, an overview of the applications of these methods in the various branches of agriculture is discussed. Development of these methods in Iran is essential due to its importance in reducing of waste and controlling of agricultural produce. The results of this study will benefit for agricultural engineer, engineers in production lines, engineers food industry and other researchers in agriculture and food industry.

**Keywords:** Quality grading, agricultural produce, non-destructive tests, image and signal processing.