کیفیت سنجی محصولات کشاورزی با استفاده از تصویربرداری تشدید مغناطیسی

رسول خدابخشیان کارگر[1]، رضا باغبانی[2]

[1] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیو سیستم دانشگاه فردوسی مشهد؛ ایمیل: Khodabakhshian@um.ac.ir

[2] دپارتمان مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده تربت حیدریه، دانشگاه فنی و حرفه ای استان خراسان رضوی- ایران؛ ایمیل: Rbaghbani@tvu.ac.ir

چکیده

در طول چند دهه گذشته، روش های زیادی برای بازرسی محصولات کشاورزی توسط محققین مختلف انجام گرفته است. این روش ها مبتنی بر یافتن ویژگی های متفاوت فیزیکی که در رابطه با شاخص های رسیدگی محصولات بوده می باشند. روش های مورد استفاده برای بدست آوردن کیفیت میوه، توسط آزمون های غیر مخرب جایگاه ویژه ای پیدا کرده اند. در سالهای اخیر دید ماشین، روشهای اپتیکی، طیف سنجی، انتشار صوت، روش فراصوت و غیره، در حال گسترش و توسعه می‌باشد که هر کدام برای اندازه‌گیری پارامتر کیفی خاصی کاربرد دارند. از مدرنترین روش‌های مذکور می توان به تصویربرداری تشدید مغناطیسی اشاره کرد. توانائی این روش به منظور انتقال از درون محصول و آشکار نمودن ویژگی های پنهان یا معایب به استفاده گسترده از این این فن آوری در صنایع غذائی برای بازرسی کنترل کیفیت منجر شده است. در این مقاله علاوه بر پرداختن به اصول و نحوه کار این روش، به مروری بر کاربردهای آن در بازرسی محصولات کشاورزی پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: آزمون غیر مخرب، تصویربرداری تشدید مغناطیسی، محصولات کشاورزی، پارامترهای کیفی.

Quality evaluation of agricultural produce using magnetic resonance imaging

Rasool Khodabakhshian kargar[1], Reza Baghbani[2]

[1]Assitant Professor at Mechanical Engineering of Biosystem Department, Email: Khodabakhshian@um.ac.ir

[2] Department of Mechanical Engineering Biosystem,Torbat-e Heydarieh Branch, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran Email: Rbaghbani@tvu.ac.ir

ABSTRACT

During the last decades, many methods have been performed for inspection of agricultural produce by different researchers. These methods are based on knowing of different physical properties of agricultural produce during ripening process. Among the used methods to obtain fruit quality, non-destructive tests have found a special place. In recent years, machine vision, optical methods, spectroscopy, acoustic emission, ultrasound methods, etc have been developed. Magnetic resonance imaging (MRI) is one of the new imaging techniques. The capability of this method to pass through the produce and detect latent infection or diseases has resulted in using of this technology in food industry. In this study, principles of MRI technology and applications in agriculture for inspection of agricultural produce are presented.

Keywords: Non-destructive test, Magnetic resonance imaging, Agricultural produce, Quality Parameters

۱- مقدمه

امروزه با توجه به رشد دائمی جمعیت جهان و تقاضای روز افزون به محصولات غذائی ضرورت کشاورزی مکانیزه و مدرن بیش از پیش نمایان می شود. با توجه به این افزایش تقاضا و از بین رفتن مرزهای تجاری در سال های اخیر حجم مبادلات محصولات غذائی در جهان بسیار افزایش داشته است. از طرفی بسیاری از کشورهای توسعه یافته مانند ژاپن و اتحادیه اروپا به منظور برآورده نمودن تقاضاهای مردم، استانداردهای سطح بالائی برای کیفیت و سلامتی محصولات غذائی وارداتی تعریف کرده اند. لذا برای تسخیر بازار جهانی و رقابت با دیگر کشورها در صادرات محصولات غذائی باید در راستای پذیرش و توسعه بیشتر فناوری پس از برداشت حرکت کرد. در این بین، ارزیابی کیفی و درجه بندی محصولات کشاورزی یکی از فعالیتهای پس از برداشت است که با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات سالم و با کیفیت بالاتر، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (Ariana et al., 2008; Gowen et al., 2008).

در چهار دهه اخیر روش های متعددی برای ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی به صورت غیر مخرب ابداع شده‌اند که تنها برخی از آنها توانسته شرایط مطلوب را برآورده ساخته و از لحاظ فنی و صنعتی توجیه داشته باشند. روش های اپتیکی، مکانیکی، شیمیایی و امواج الکترومغناطیسی و صوتی در توسعه آزمونهای غیر مخرب نقش اساسی داشته‌اند، اما روش های بکار رفته قادرند پارامترهای محدودی از میوه‌ها را کاوش کنند. بنابراین لازم است شرایط حاکم در این روش ها به دقت بررسی شده و در گزارش یا ثبت نتایج آزمایش لحاظ شوند. کی از این روش ها که امروزه کاربردهای ویژه ای در کیفیت سنجی محصولات کشاورزی پیدا کرده است تصویربرداری تشدید مغناطیسی[1](MRI) می باشد (Khodabakhshian et al., 1394). تصویربرداری تشدید مغناطیسی مبتنی بر اصول تشدید مغناطیسی هسته[2](NMR) ، یک روش طیف سنجی مورد استفاده به منظور بدست آوردن اطلاعات فیزیکی و شیمیایی درباره مولکول ها، می باشد. MRI یک روش تصویربرداری است که اصولا برای ساخت تصاویری سیگنال NMR از اتم های هیدروژن در یک شی مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به بار معنایی منفی همراه با کلمه هسته در اواخر دهه ۱۹۷۰، این روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی به جای تصویربرداری تشدید مغناطیسی هسته (NMRI) نامیده می شود. فلیکس بلاچ و ادوارد پورسل برای اولین بار پدیده تشدید مغناطیس در مورد هسته های اتم را به طور مستقل در سال ۱۹۴۶ کشف نمودند. این دو دانشمند به خاطر این کار در سال ۱۹۵۲ جایزه نوبل را دریافت کردند. در دوره زمانی بین سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰، NMR ابداع شد که از آن برای تشخیص ساختمان فیزیکی و شیمیایی مولکولها استفاده شد (Khodabakhshian et al., 1394). به طور خلاصه روش MRI مراحل ذیل را دنبال می کند: قرار دادن شی در میدان مغناطیس؛ ارسال امواج رادیویی به قسمت مورد نظر (۲ تا ۱۰ میلی ثانیه)؛ دریافت امواج رادیویی از پیش ارسال شده به شی و در نهایت تبدیل داده RF اندازه گیری شده به تصویر. هدف از این مقاله ارائه یک بررسی متمرکز روی استفاده از تصویربرداری تشدید مغناطیسی برای بازرسی کیفی محصولات کشاورزی می باشد.

۲- فیزیک MRI

هسته هایی که تعداد نوکلئون های آنها فرد است (مجموع پروتون و نوترونهای هسته را نوکلئون می‌گویند) به دور محور خود حرکت چرخشی دارند این ویژگی را ویژگی اسپین و این هسته ها را هسته فعال تشدید مغناطیسی می گویند. به علاوه این هسته ها را می توان مانند یک مغناطیس کوچک با قطبهای N و S در نظر گرفت. به این دلیل گفته می شود هسته یک دو قطبی مغناطیسی است و این ویژگی مغناطیسی ذاتی را همان مغناطیس می گویند. پس هسته فعال تشدید مغناطیسی دارای دو ویژگی اسپینی و ممان مغناطیسی است. در واقع اسپین یک ویژگی اساسی ذاتی مانند بار الکتریکی یا جرم می باشد. اسپین در مضارب ۱/۲ بیان شده و می تواند مثبت یا منفی باشد. پروتون ها، الکترون ها و نوترون ها دارای اسپین می باشند. الکترون های جفت نشده، پروتون ها و نوترون ها هر کدام دارای یک اسپین ۱/۲ می باشند. برای درک اینکه چگونه ذرات با اسپین در یک میدان مغناطیسی رفتار می کنند، یک پروتون دارای اسپین را به عنوان یک بردار گشتاور مغناطیسی که موجب می شود پروتون نظیر یک آهن ربای کوچک با یک قطب شمال و جنوب رفتار کند در نظر بگیرید. در صورت عدم وجود هر گونه میدان مغناطیسی خارجی، اندازه حرکت زاویه ای اسپین نوکلئون دارای جهت گیری تصادفی در محیط های اتمی و مولکولی می باشد

زمانی که پروتون در یک میدان مغناطیسی خارجی قرار می گیرد، بردار اسپین ذره، خودش را با میدان خارجی در یک ردیف قرار می دهد، درست مانند یک آهن ربا می باشد. آنجا یک وضعیت انرژی پایین یا حالتی که قطب ها در وضعیت N-S-N-S و یک وضعیت انرژی بالا در موقعیت N-N-S-S وجود دارد.

این ذره می تواند انتقال بین دو حالت انرژی با جذب یک فوتون را متحمل شود. یک ذره در پایین ترین حالت انرژی (حالت پایدار) یک فوتون را جذب نموده و در یکی از حالت های انرژی بالاتر آن را به پایان می رساند. انرژی این فوتون دقیقا باید با اختلاف انرژی بین این دو حالت برابر باشد. انرژی ،E،

[1]Magnetic Resonance Imaging
[2]Nuclear Magnetic Resonance

یک فوتون توسط ثابت جهانی پلانک (J.s ۳۴-۱۰×۶/۶۲۶)، ν، به بسامد، f، مرتبط می شود:

$$E = h\nu \quad (۱)$$

هنگامی که انرژی فوتون با اختلاف انرژی بین دو حالت اسپین برابر شود جذب انرژی رخ می دهد. در طیف سنجی NMR، ν بین ۶۰ و ۸۰۰ مگاهرتز برای هسته هیدروژن می باشد. در MRI بالینی، ν بین ۱۵ و ۸۰ مگاهرتز برای تصویربرداری هیدروژن می باشد.

زمانی که گونه های معینی از هسته مانند پروتون ها، کربن ۱۳ (C ۱۳، یک ایزوتروپ عمده کربن) و فلورین ۱۹ (F ۱۹، یک ایزوتروپ عمده فلورین) در میدان مغناطیسی استاتیکی قوی (B) قرار می گیرند آن ها تشعشع الکترومغناطیس را در محدوده فرکانس رادیوئی جذب می کنند. یک چنین هسته ای، اسپین- فعال[1] نامیده می شود. فرکانس های دقیقی که در آن هسته اسپین- فعال تشدید شده را می توان انتخاب نموده و توسط دستگاه نمایش داد. تحمیل یک گرادیان مغناطیسی خطی به میدان مغناطیسی خارجی موجب تغییر فرکانس تشدید پروتون شده و در نتیجه موقعیت هسته تشدید یافته را می توان تعیین نمود و به صورت تصویر نشان داد (چن و همکاران، ۱۹۸۹؛ کلارک و همکاران، ۱۹۹۷).

در وضعیت تعادل، بردار مغناطیسی خالص در جهت میدان مغناطیسی کاربردی BO قرار گرفته و مغناطیس تعادلی MO نامیده می شود. در این وضعیت، مولفه Z مغناطیس MZ برابر با MO می باشد. MZ به مغناطیسی طولی (مولفه بردار جمع اسپین ها در محور طولی نرمال) اشاره می کند. در این جا هیچ گونه مغناطیس متقاطع (MX یا MY) وجود ندارد. ثابت زمانی توصیف کننده چگونگی برگشت MZ به مقدار تعادل آن زمان آسایش اسپین- شبکه[2](T1) نامیده می شود (یا به عبارت دیگر مدت زمانی که طول می کشد تا MZ افزایش یافته و ۰/۶۳ از مقدار اولیه خود را باز یابد). معادله حاکم بر این رفتاربه عنوان یک تابعی از زمان t پس از جابجایی آن برابر است با:

$$M_Z = M_O(1-e^{-t/T_1}) \quad (۲)$$

T1 زمان کاهش اختلاف بین مغناطیس طولی (MZ) و مقدار تعادل آن با یک ضریب e می باشد. اگر مغناطیس خالص در امتداد محور Z– قرار بگیرد، آن به طور تدریجی به موقعیت تعادل آن در امتداد محور Z+ در یک میزان کنترل شده توسط T1 خواهد برگشت.

ثابت زمانی توصیف کننده برگشت به تعادل از مغناطیس در صفحه عرضی، MXY (یا به عبارت دیگر مولفه بردار جمع اسپین ها در صفحه عرضی)، زمان آسایش اسپین- اسپین[3] T2، نامیده می شود (یا به عبارت دیگر مدت زمانی که طول می کشد تا MXY به ۰/۳۷ مقدار بیشینه اولیه خود کاهش یابد).

$$M_{XY} = M_{XY}Y_O e^{-t/T_2} \quad (۳)$$

هر دو فرآیند آسایش اسپین- شبکه و آسایش اسپین- اسپین به طور هم زمان با تنها این محدودیت که T2 کمتر یا برابر با T1 بوده اتفاق می افتند.

یک سیستم MR شامل اجزاء ذیل می شود: (۱)یک آهنربای بزرگ به منظور تولید میدان مغناطیسی، (۲) سیم پیچ های تنظیم کننده shim coils که جهت همگون کردن میدان مغناطیسی اصلی بکار می روند، (۳) یک سیم پیچ فرکانس رادیویی (RF) برای انتقال یک سیگنال رادیویی در بخشی از بدن که به تصویر کشیده شده ، (۴) یک سیم پیچ گیرنده برای تشخیص سیگنال های رادیویی برگشتی، سیم پیچ های گرادیانی به منظور تامین محلی سازی سیگنال ها و (۶) یک رایانه برای بازسازی سیگنال های رادیویی در تصویر نهایی (برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به مقالات تخصصی رادیولوژی مراجعه شود). شدت سیگنال بر روی تصویر MR توسط ۴ فاکتور اساسی تعیین می شود: (۱) چگالی پروتون، (۲) زمان آسایش T1، (۳) زمان آسایش T2 و (۴) جریان. چگالی پروتون، تمرکز پروتون ها در بافت به شکل آب و مولکول ها (چربی، پروتئین و غیره) می باشد. زمان های آسایش T1 و T2 مسیری که پروتون ها به حالت های آسایش پس از پالس RF اولیه برگشته را تعریف می کنند.

۳- تشکیل تصویر

اساس نهفته در تمامی فن آوری های تصویربرداری تشدید مغناطیسی معادله تشدید می باشد که نشان دهنده این مطلب است که فرکانس (بسامد) تشدید، ν (به عنوان فرکانس لارمور نیز معروف می باشد)، یک اسپین با میدان مغناطیسی، B0، متناسب می باشد:

$$\upsilon = \gamma B_0 \quad (۴)$$

که γ نسبت ژیرومغناطیسی[4]می باشد. هر هسته دارای نسبت ژیرومغناطیسی ویژه خود می باشد. به عنوان مثال این نسبت برای هیدروژن برابر با ۴۲/۵۸ MHz/Tesla می باشد.

---

[1]Spin-active
[2]Spin-lattice relaxation time
[3]Spin- spin relaxation time
[4]Gyromagnetic ratio

گرادیان میدان مغناطیسی موقعیت تصویربرداری نواحی اسپین را ممکن می سازد. یک گرادیان میدان مغناطیسی یک تغییر در میدان مغناطیسی با توجه به موقعیت می باشد. یک گرادیان میدان مغناطیسی می توان یک بعدی یا چند بعدی باشد. مفیدترین نوع گرادیان در تصویربرداری تشدید مغناطیسی یک گرادیان میدان مغناطیسی خطی یک بعدی می باشد. یک گرادیان میدان مغناطیسی خطی یک بعدی در امتداد محور x در یک میدان مغناطیسی، B0، نشان می دهد که میدان مغناطیسی در جهت x در حال افزایش می باشد. در اینجا طول بردارها نشان دهنده بزرگی میدان مغناطیسی می باشد. نمادها برای یک گرادیان میدان مغناطیسی در جهات x، y و z عبارتند از Gx، Gy و Gz.

نقطه ای در مرکز آهن ربا که در آن (x,y,z) برابر ۰،۰،۰ بوده هم مرکز[1]آهن ربا نامیده می شود. میدان مغناطیسی در هم مرکز برابر با B0 بوده و فرکانس تشدید ν می باشد. هنگامی که گرادیان میدان مغناطیس خطی اعمال می شود، نواحی مختلف در جسم میدان های مغناطیسی مختلفی را تحمل می کنند نتیجه یک طیف NMR با بیش از یک سیگنال می باشد. دامنه سیگنال متناسب با تعداد اسپین ها در یک صفحه عمود بر گرادیان می باشد. این روش کدگذاری فرکانسی نامیده شده و باعث می شود فرکانس تشدید با موقعیت اسپین متناسب شود.

$$\upsilon = \gamma(B_0 + xG_x) = \nu_0 + \gamma x G_x \quad (۵)$$

$$x = \frac{\nu - \nu_0}{\gamma G_x} \quad (۶)$$

یکی از اشکال اولیه تصویربرداری تشدید مغناطیسی که به اثبات رسیده روش پس افکنش[2]می باشد. در روش پس افکنش، ابتدا جسم مورد آزمون در میدان مغناطیسی قرار می گیرد. یک گرادیان میدان یک بعدی در چندین زاویه (بین ۰ و ۳۵۹ درجه) اعمال شده و طیف NMR برای هر گرادیان ثبت می شود. از زمانی که که این داده ها ثبت شده اند، داده ها می توانند از طریق فضا در حافظه رایانه پس افکنش شوند. پس از نگهداشتن شدت پس زمینه، یک تصویر را می توان دید. طرح پس افکنش واقعی تبدیل رادون معکوس[3]نامیده می شود. اصلی ترین کاربرد MRI برای بررسی آناتمی انسان و حیوان می باشد، از این رو برخی اصطلاحات مرتبط با تصویربرداری و پردازش تصویر با اشاره به موضوع تصویربرداری بدن استخراج شده اند.

۴- کاربرد MRI برای تشخیص کیفیت محصولات کشاورزی

کاربرد MRI در تشخیص کیفیت مواد کشاورزی به صورت غیر مخرب جدید می باشد. بسیاری از کارهای تحقیقاتی با استفاده از دستگاه های MRI پزشکی انجام شده اند و نرم افزارهای توسعه یافته برای تجزیه و تحلیل ساختمان بدن (آناتومی) انسان را بکار گرفته اند (شکل ۱).

Figure 1. A MRI device used to acquire MRI images from mango

شکل ۱- یک دستگاه MRI باز که برای اکتساب تصاویر MRI از انبه بکار گرفته شده است.

(Brusewitz et al., 1987) یک حسگر NMR ۱۰/۷ مگا هرتز را برای اندازه گیری محتوای رطوبتی گندم استفاده نمودند. آن ها نشان دادند که یک نسبت بین دو مقدار حداکثر القاء نزولی آزاد[4](FID) را می توان به منظور تعیین محتوای رطوبتی با یک محدوده خطای ۰/۲ + درصد بکار گرفت. و

[1]Isocenter
[2] Backprojection
[3]Inverse Radon transform
[4]Free Induction Decay

دریافتند که خروجی های NMR را می توان برای تعیین محتوای رطوبتی گندم، ذرت، سویا و بادام زمینی استفاده نمود. آن ها یک مدل پیش بینی محتوای رطوبتی با استفاده از FID و اندازه گیری های انعکاس اسپین را به عنوان متغیرهای مستقل توسعه دادند. مقادیر ضریب تبیین مدل ها کمتر از ۰/۹۷ بود.

یک میوه تغییرات متعددی در مدت فرآیند بلوغ را تحمل می کند. نشان داده که هنگامی که یک میوه به بلوغ بیش از حد می رسد، محتوای آب کاهش می یابد در حالی که محتوای روغن افزایش می یابد. تحرک هسته هیدروژن آب و روغن نیز ممکن است تغییر کند. این تغییرات در میوه می تواند منجر به تغییرات در T1 و T2 آب و روغن در میوه شده و در نتیجه اندازه گیری های NMR را تحت تاثیر قرار می دهد.

بر این اساس، (Chen et al., 1993) یک پیش نویس مناسب برای یک حسگر NMR برخط برای ارزیابی بلوغ میوه آووکادو سالم تثبیت نمودند. (Sonego et al., 1995) به آشکارسازی آفت woolly breakdown میوه های شلیل نگهداری شده در سردخانه پرداختند و ناهنجاری ها را به عنوان مناطق تاریک مرتبط با چگالی پروتون پایین تشخیص دادند. با این حال، توسعه این آفت تحرک آب در بافت میوه ها را تحت تاثیر قرار نداد. (Clark et al., 1997) کاربردهای متعدد مرتبط با مطالعه میوه و سبزیجات و همچنین توسعه های جدید که اصول MRI را به عنوان حسگرهای برخط در موقعیت های پس از برداشت بکار گرفته شده را بررسی نمودند. آن ها تلاش های موفق کسب وضوح تصاویر MR بالا برای تعیین محتوای رطوبتی، محتوای روغن، محتوای قند، لهیدگی ها، مناطق خشک، آب گزیدگی[1] آفت کرم، کیفیت درونی، مرحله بلوغ برای میوها و سبزیجات گوناگون را شرح دادند.

(Kim et al., 1999) امکان سنجی استفاده از MRI را به عنوان یک روش دسته بندی یا درجه بندی برای محصولات غذایی سالم بررسی نمودند و به ساخت و آزمون یک نمونه اولیه حسگر در خط با استفاده از روش های NMR سرعت بالا پرداختند. آن ها به این نتیجه علاقه مند بودند که تحرک، همبستگی بین داده های NMR و فاکتورهای کیفی در میوه تحت تاثیر قرار می دهد. آن ها دو کاربرد نمونه را مورد بررسی قرار دادند. یکی استفاده از اطلاعات طیفی NMR برای پیش بینی یک فاکتور کیفی، اندازه گیری نسبت روغن به آب در میوه آووکادو به منظور پیش بینی بلوغ بود. کاربرد دیگراستفاده از تصویرسازی یک بعدی برای تشخیص حضور یک حفره (آفت) در گیلاس ها بود.

(Barreiro et al., 2000) میوه های سیب را برای آردی بودن و میوه های هلو را برای ساختار کرکی[2] با استفاده از روش های MRI و مکانیکی آزمون نمودند. سیب های آردی نسبت به سیب های ترد تمایل بیشتری به هیستوگرام های اریب داشتند، در حالی که هیستوگرام های میوه های هلوی کرکی با از دست دادن ظاهر گوسی تمایل به صاف شدن بیشتر داشتند. این حقیقت را می توان به عنوان یک تغییر فیزیولوژیکی تحت آردی بودن یا کرک داری درک کرد. (Gonzalez et al., 2001) توسعه قهوه ای شدن بافت درونی ناشی از سطوح بالای دی اکسید کربن در ذخیره سازی سیب های واریته Fuji در اتمسفر کنترل شده را مطالعه نمودند. آن ها گزارش کردند که اندازه گیری های آسایش اسپین- اسپین (T2) تصاویر با کنتراست بهتر بین بافت عادی و بافت با قهوه ای شدن درونی را نسبت به تصویر تولید شده با استفاده از اختلاف ها در چگالی پروتون یا اندازه گیری های آسایش اسپین-شبکه (T1) ارائه می دهند. آن ها گزارش کردند که توانستند تصاویر معنی داری در ۴۰-۲۰ ثانیه با کاهش قابلیت تشخیص فضایی و زمان بین اسکن های (پویش های) تکراری بدست آورند. آن ها نتیجه گرفتند که توسعه سریع فن آوری MRI در آینده نزدیک امکان استفاده از MRI را برای تشخیص غیر مخرب آفاتی مانند قهوه ای شدن بافت درونی فراهم می کند. با این حال آنچه مسلم است این می باشد که تجهیزات MRI که برای یک چنین کاربردهایی استفاده شده گران و به نسبت پیچیده می باشند. بنابراین، دریافت تشدید مغناطیسی غیر تصویری میدان پایین[3]که هزینه پایین تری را به دنبال داشته، ساده تر بوده و نیازمند پردازش سیگنال کمتری می باشد باید به طور کامل برای تعیین اینکه توانایی تشخیص چه آفات و معایب را داشته و چه محدودیتهایی را به همراه دارد بررسی شود.

(Lammertyn et al., 2003) از MRI برای پایش توسعه قهوه ای شدن بافت درونی در میوه گلابی واریته Conference در مدت ذخیره سازی استفاده نمودند. آن ها در واقع دو فن آوری توموگرافی رایانه ای اشعه ایکس و MRI را برای تشخیص گلابی های آفت زده در مدت ۶ ماه انبارداری بکار گرفته و گزارش نمودند که کنتراست بین بافت سالم و آفت زده بر روی تصاویر MR بیشتر از اسکن های اشعه ایکس بود.

(Cho et al., 2008) اثرات قهوه ای شدن درونی و آب گزیدگی روی سیگنال آسایش اسپین- اسپین سیب کامل تعیین نمودند. آنها حسگر MR غیر تصویری را برای آزمون سیب های تحت تاثیر آب گزیدگی، قهوه ای شدن درونی همراه با سیب های تحت تاثیر قرار نگرفته استفاده کردند. (Lammertyn et al., 2003) تغییرات فیزیولوژیکی زیر سلولی درونی مرتبط با رسیدگی و آردی شدن در سیب ها را با فن آوری های پاشیدگی و آسایش NMR دو بعدی جدید بررسی نمودند. آن ها نشان دادند که اندازه گیری آسایش (آسایش سنجی[4]) دو بعدی تغییرات فیزیولوژیکی زیر سلولی را بهتر از اندازه گیری آسایش یک بعدی نشان می دهند. به طور خاص، در مطالعه آن ها نشان داده شد که T1 مقدار حداکثر مرتبط با دیواره سلول در سیب های آردی بسیار بیشتر از سیب های تازه و سالم بود. تشدید مغناطیس هسته (NMR) برای استفاده در اندازه گیری رطوبت چندین نمونه از غلات ارزیابی شده است. اندازه

[1]Watercore
[2]Wooly structure
[3]Low-field non-imaging magnetic resonance sensing
[4]Relaxometry

گیری محتوای رطوبتی مبتنی بر این اصل است که چگالی سیگنال NMR هیدروژن متناسب با تعداد پروتون کل در نمونه می باشد. خوشرو و همکاران (۱۳۸۸) از تصویربرداری MRI به منظور ارزیابی غیر مخرب میوه انار برای تعیین شاخص های بلوغ، کیفیت و آسیب درونی استفاده نمودند. آن ها گزارش نمودند که این فن آوری روش مناسبی برای تعیین شاخص های درونی بلوغ و شناسائی آسیب های درونی انار می باشد.

(Aspect AI; 2010) نشان داده است که با استفاده از فن آوری های MRI سریع می توان ویژگی های درونی مختلف میوه ها و سبزیجات را تشخیص داد. این ویژگی ها نه تنها موارد فیزیکی مانند حضور یک جسم خارجی یا آسیب فیزیکی/فیزیولوژیکی بلکه همچنین پارامترهای بیوشیمیایی مشخص مانند سطوح قند را می توان به سیگنال های MRI مرتبط نمود. کاربرد و موفقیت این روش در جدول ۲ خلاصه شده است. نتایج برخی کاربردهای موفق MRI برای مشاهده آسیب ها و آفات درونی در شکل های ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده اند.

جدول ۱-کاربرد موفق MRI سریع در تشخیص ویژگی های درونی (منبع: Aspect AI; 2010).

Table 1. A successful MRI application to distinguish internal features (source: :Aspect AI; 2010)

ویژگی ها	سیب ها	مرکبات	گوجه فرنگی های تازه	سیب زمینی ها	میوه های برش خورده تازه	میوه های هسته دار
توخالی/شکاف خوردگی[1]	+	+	+	+		+
آفات و حشرات	+	+	+	+	+	+
لهیدگی و ترک ها	+	+	+	+		+
پوسیدگی	+	+	+	+	+	+
فساد قارچی[2]		+	+	+	+	+
قهوه ای شدن	+			+	+	+
اندازه بذر		+			+	
بلوغ			+		+	
سطح قند	+	+	+		+	+
آردی شدن/بافت	+	+	+		+	+

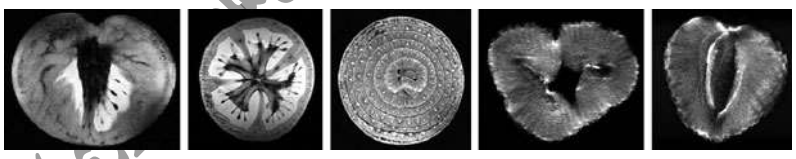

Figure 2. The visible structure of the tomato, Onions and Strawberries in MRI (source: http://people.web.psi.ch/kuehne/)

شکل ۲- ساختار درونی مرئی گوجه فرنگی، پیاز و توت فرنگی در MRI (منبع: http://people.web.psi.ch/kuehne/).

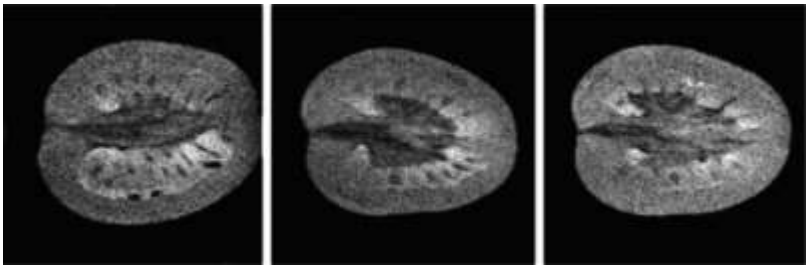

Figure 3. The visible structure of the tomato in MRI (source: Aspect AI, 2010)

[1]Hollow/split pit
[2]Mold damage

شکل ۳- ساختار درونی مرئی گوجه فرنگی در MRI (منبع: Aspect AI, 2010).

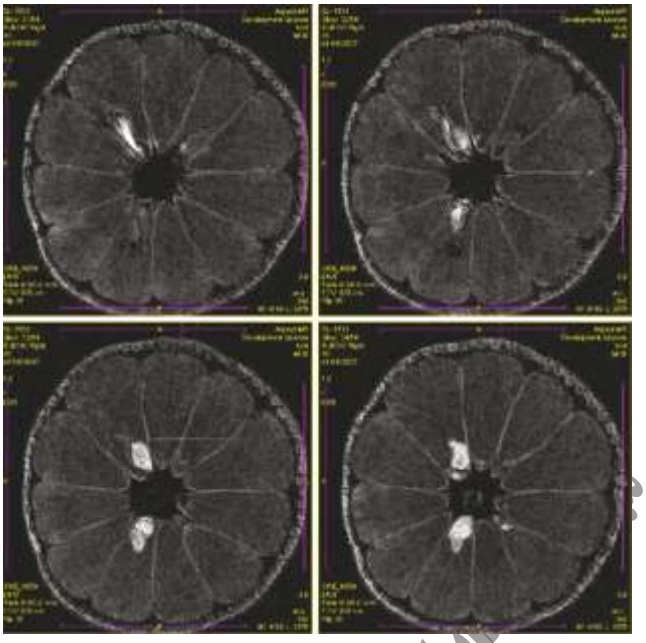

Figure 4. The visible structure of the citrus in MRI (source: Aspect AI, 2010)

شکل ۴- ساختار درونی مرئی مرکبات در MRI (منبع: Aspect AI, 2010).

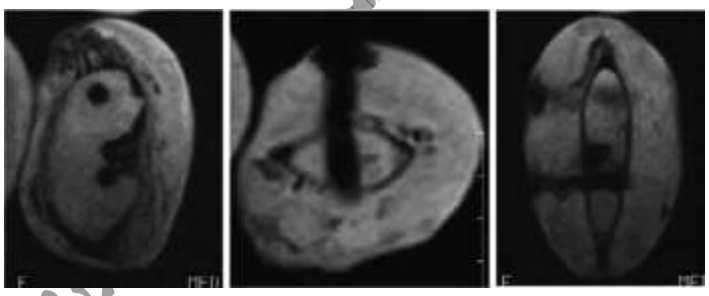

Figure 5. Pivotal views, Coronal and Sagittal Mangoes in MRI scan representing physical and physiological pests

شکل ۵- نماهای محوری، کورونال و ساژیتال انبه در پویش MRI نشان دهنده آفات فیزیکی و فیزیولوژیکی.

نتیجه‌گیری

جدول ۱ جایگاه MRI و پارامترهای کیفی قابل اندازه‌گیری توسط این روش را نمایش می‌دهد. MRI به عنوان روشی کارا و سریع و با ملاحظه برتریهای آن نسبت به روشهای دیگر غیر مخرب می‌تواند ابزاری سودمند در اندازه‌گیری غیرمخرب پارامترهای کیفی محصولات کشاورزی محسوب شود. تجزیه و تحلیل در تحقیقات پیشین، نشان داد که MRI می‌تواند به خوبی جهت بررسی کیفی پارامترهای محصولات کشاورزی استفاده شود. توسعه MRI در صنعت کشاورزی آن قدر فراگیر شده است که به تمامی شاخه های کشاورزی از قبیل صنایع غذایی، محصولات زراعی و باغی، خاکشناسی و علوم دامی به نوعی رسوخ کرده است. از آنجا که بالا بودن کیفیت محصولات کشاورزی در جهان از جایگاه مهمی برخوردار می باشد، لذا برای توسعه صادرات محصولات کشاورزی در ایران بیش از پیش باید به توسعه تحقیقات این آزمون های در صنعت کشاورزی پرداخت. از سوی دیگر توسعه این نوع آزمون ها در ایران با توجه به اهمیت آن در کاهش ضایعات و کنترل محصولات کشاورزی امری ضروری می باشد.

منابع

1- Ariana, D.P., & Lu, R. (2008). Quality evaluation of pickling cucumbers using hyperspectral reflectance and transmittance imaging: Part I. Development of a prototype. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 2(3), 144–656
151.

2- Gowen, A.A., O'Donnell, C.P., Taghizadeh, M., Cullen, P.J., Frias, J.M., & Downey, G. (2008). Hyperspectral imaging combined with principal component analysis for bruise damage detection on white mushrooms (Agaricus bisporus). Journal of Chemometrics, 22(3–4), 259–267.

3-Khodabakhshian, R, 1394, nondestructive method for measuring the quality of agricultural products from principles to implementation, publisher of Agricultural Extension and Education, Tehran, Iran. (Persian)

4- Chen P, McCarthy MJ, Kauten R (1989) NMR for internal quality evaluation of fruits and vegetables. Trans ASAE 32(5):1747–1753.

5- Clark CJ, Hockings PD, Joyce DC et al (1997) Application of magnetic resonance imaging to preand post-harvest studies of fruits and vegetables. Postharvest Biol Technol 11:1–21.

6- Brusewitz GH, Stone ML (1987) Wheat moisture by NMR. Trans ASAE 30(3):858–862.

7- Chen P, McCarthy MJ, Kauten R et al (1993) Maturity evaluation of avocados by NMR methods. J Agr Eng Res 55:177–187.

8- Sonego L, Ben-Arie R, Raynal J et al (1995) Biochemical and physical evaluation of textural characteristics of nectarines exhibiting woolly breakdown: NMR imaging, X-ray computed tomography and pectin composition. Postharvest Biol Technol 5:187–198.

9- Kim SM, Chen P, McCarthy MJ et al (1999) Fruit internal quality evaluation using on-line nuclear magnetic resonance sensors. J Agric Eng Res 74:293–301.

10- Barreiro P, Ortiz C, Ruiz-Altisent Met al (2000) Mealiness assessment in apples and peaches using MRI techniques. Magn Reson Imaging 18:1175–1181.

11- Gonzalez JJ, Valle RC, Bobroff S et al (2001) Detection and monitoring of internal browning development in ‘fuji’ apples using MRI. Postharvest Biol Technol 22:179–188.

12- Lammertyn J, Jancsok P, Dresselaers T et al (2003) Analysis of the time course of core breakdown in ‘conference’ pears by means of MRI and X-ray CT. Postharvest Biol Technol 29:19–28.

13- Cho BK, Chayaprasert W, Stroshine RL (2008) Effects of internal browning and watercore on low field (5.4 MHz) proton magnetic resonance measurements of T2 values of whole apples. Postharvest Biol Technol 47:81–89.

14- ASPECT AI (2010). Aspect AI: MRI applications – agriculture. http://www.aspect-ai.com/applications/agriculture.php/. Accessed 18 Jan 2010.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران