

Comparison of different Magnetic Resonance Imaging (MRI) protocols from Quince fruit

FATEME NOSHAD¹, ALI ASGHARI^{2*}, MOHSEN AZADBAKHT³, AZIM GHASEMNEZHAD⁴

1.Department of Bio-System Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: Nov. 27, 2019- Revised: Jan. 6, 2020- Accepted: Jan. 12, 2020)

ABSTRACT

The Magnetic Resonance Imaging is one of the non-destructive methods to study quality indices and fruit maturity, that uses different protocols to show the density and structure in which the hydrogen atoms is placed. In this research the MR images of intact, bruised and infested tissues, and seeds of none-infested and infested quince fruits by different MRI protocols were compared and the best protocol was introduced. So by using two T₁ and T₂ protocols, MR imaging was carried out from 18 loaded quince fruits. The quasi-static loading was performed at three levels of 300, 500 and 700 Newton. Then the fruits were stored for 30 and 50 days in a 4°C refrigerator. Imaging was carried out after each storage period. The ImageJ software was used to determine the contrast of T₁ and T₂ imaging protocols of the intact and bruised tissues and seeds of none-infested, infested and loaded fruit samples. The comparison of these images was concluded that the seeds and the intact area of none-infested Quince fruit in T₁ images were sharper than T₂ images. Also, the loaded area bruising of none-infested fruits in the T₂ images was more recognizable than T₁ images.

Keywords: Quasistatic Loading, Non-destructive method, T₁ and T₂ protocols, Infested fruit

مقایسه پروتکل‌های مختلف تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) از میوه به

فاطمه نوشاد^۱، علی اصغری^{۱*}، محسن آزادبخت^۱، عظیم قاسم نژاد^۱

۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۲۲)

چکیده

روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI)، یکی از روش‌های غیرمخرب تعیین کیفیت و بلوغ میوه‌ها است، که با پروتکل‌های متفاوتی، تراکم و ساختاری که اتم‌های هیدروژن در آن قرار گرفته را نشان می‌دهد. در تحقیق حاضر تصاویر MRI گرفته شده با این پروتکل‌ها از بافت گوشت، بخش کوفته شده و هسته میوه بدون آفت و آفت‌زده "به" مقایسه و بهترین پروتکل معرفی شد. به این منظور از ۱۸ عدد میوه "به" بارگذاری شده هنگام انبارداری، با استفاده از دو پروتکل T₁ و T₂ تصویربرداری تشدید مغناطیسی انجام گردید. بارگذاری‌های میوه "به" در سه سطح نیروی ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ نیوتن به صورت شبه استاتیکی انجام شده و سپس در دوره‌های ۳۰ و ۵۰ روزه در دمای ۴°C انبارداری شدند. پس از پایان هر دوره انبارداری عکس‌برداری انجام شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ImageJ، تضاد تصاویر T₁ و T₂ از بافت سالم و کوفته شده و دانه میوه‌های "به" بدون آفت، آفت‌زده و بارگذاری شده، تعیین شد. از مقایسه این تصاویر چنین نتیجه‌گیری شد که دانه‌ها و بافت سالم بدون آفت میوه "به" در تصاویر T₁ از تصاویر T₂ واضح‌تر بودند، همچنین کوفتگی ناحیه بارگذاری شده در میوه‌های بدون آفت در تصاویر T₂ قابل تشخیص‌تر از تصاویر T₁ بود.

واژه‌های کلیدی: بارگذاری شبه استاتیکی، روش غیرمخرب، پروتکل‌های T₁ و T₂، آفت زدگی میوه.

مقدمه

میوه "به" با نام علمی *M. Cydonia Oblonga* میوه‌ای با طعم اسیدی و دارای مقدار بسیار زیادی فیبر و پکتین می‌باشد (Thomas et al., 2003). در حال حاضر، میوه "به" به عنوان یکی از مهمترین منابع دارای ترکیبات سلامتی بخش به خاطر دارا بودن خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و التیام دهنده زخم‌ها مطرح می‌باشد (Costa et al., 2009). یکی از عواملی که باعث افت کیفیت میوه "به" می‌گردد آفت بوده و از آفات رایج میوه به، "کرم به" می‌باشد، این کرم "به" با نام علمی (*Lep* : *Euzophera bigella Zaller (pyrallidae)* است که هر ساله خسارت عمده‌ای به این میوه وارد می‌کند. همچنین آفات دیگر رایج این میوه، کرم سیب، (*C. (Lep: Olethreutidae)* *pomonella L.* بوده، کرم سیب در واقع تخم‌خوار می‌باشد و برای رسیدن به دانه از بافت میوه نیز تغذیه می‌کند (Radjabi, 1989). دانه میوه "به" غالباً در توده غیر عادی کوچکی توسط موسیلاژ به یکدیگر می‌چسبند که به صورت یک پوسته سفید رنگ بر سطح دانه‌ها قابل رویت می‌باشد (Patel et al., 2011). با توجه به شایع بودن این آفت‌ها در میوه "به" و همچنین نیروهای فشاری و ضربه‌ای بیرونی در حین برداشت، جابجایی و غیره، می‌بایست از

روش‌های ارزیابی غیرمخرب در درجه‌بندی کیفی میوه "به" کمک گرفت. روش‌های ارزیابی غیرمخرب به عنوان روشی ایده‌آل در ارزیابی محصولات کشاورزی می‌باشند. زیرا باعث کاهش هزینه نهایی محصولات کشاورزی می‌شوند. بسیاری از محققان با استفاده از روش‌های غیرمخرب، شاخص‌های کیفیت و بلوغ میوه‌هایی نظیر سیب، آووکادو، انبه، گوجه فرنگی و غیره را مطالعه کرده‌اند (Chen et al., 1996; Musse et al., 2009; Slaughter, 2009; Defraeye et al., 2013). در میان دیگر روش‌های ارزیابی کیفی روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی^۱ (MRI) به دلیل غیرمخرب بودن و قابل اعتماد بودن در ارزیابی کیفیت آنلاین، جایگزین دیگر روش‌ها شده و به موضوعی برای مطالعه و تحقیق تبدیل شده است (Létal et al., 2003). این روش به دلیل داشتن مزایایی همچون تمایز فوق‌العاده بافت نرم در مقایسه با تصویربرداری اشعه ایکس، بررسی مرحله رسیدن و بلوغ میوه‌جات، بررسی تهاجم پاتوژن‌ها، بررسی خصوصیات شیمی بافتی، بررسی انتقال و انتشار آب و انتشار اکسیژن در محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است (Srivastava et al., 2018). یکی از مهمترین کاربردهای تکنیک تصویربرداری تشدید مغناطیسی، به عنوان روشی غیرمخرب جهت بررسی بافت میوه‌جات در طی نگهداری و ذخیره‌سازی می‌باشد با این تکنیک می‌توان بافت

محتوی آب روشن و بافت های محتوی چربی به رنگ خاکستری نیمه پررنگ هستند (McRobbie *et al.*, 2017). محققین زیادی با استفاده از تصویربرداری تشدید مغناطیسی روی محصولات کشاورزی تحقیقاتی انجام دادند در پژوهشی اثر نیرو و زمان انبارداری بر انتشار حجم کوفتگی گلایی درگزی با کمک داده های تصویری به دست آمده از تصویربرداری تشدید مغناطیسی را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که نیروی اعمالی منجر به افزایش خطی حجم کوفتگی در طول دوره انبارداری می شود در حالیکه اثر زمان نگهداری بر انتشار کوفتگی غیرخطی می باشد (Razavi *et al.*, 2018). در آزمایشی از تصویربرداری تشدید مغناطیسی نیز به عنوان یک ابزار غیرمخرب برای نظارت بر کبودی طی زمان در میوه های آوکادو استفاده کردند. این روش به عنوان یک ابزار حرفه ای برای شناسایی آسیب های داخلی در میوه های آوکادو نشان داده شده است، استرس فیزیکی ناشی از فشرده سازی، افزایش محتوای مایعات آزاد را افزایش داد و در ناحیه سفید رنگ (درخشان) در تصاویر T_1 با وزن تصویربرداری تشدید مغناطیسی ۱/۱ نشان داد (Sanchez *et al.*, 2003; Mazhar *et al.*, 2015). همچنین در آزمایش دیگری توسعه قهوه ای شدن بافت درونی ناشی از سطوح بالای دی اکسید کربن در ذخیره سازی سیب های رقم Fuji در اتمسفر کنترل شده را بررسی کردند و چنین نتیجه گیری شد که اندازه گیری های T_2 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 T_1 ارائه می دهند (Gonzalez *et al.*, 2001). قهوه ای شدن داخلی یک ناهنجاری فیزیولوژیکی است که در طول دوره نگهداری سیب با اتمسفر کنترل شده رخ می دهد. این ناهنجاری را در تصویربرداری تشدید مغناطیسی می توان بر اساس اختلافات در چگالی پروتون، T_2 و ضریب نفوذ شناسایی کرد. ضریب نفوذ به عنوان مناسب ترین پارامتر برای شناسایی قهوه ای شدن داخلی شناسایی شد (Defraeye *et al.*, 2013).

پروتوکل تصویر برداری MRI بر اساس ماده مورد تصویربرداری انتخاب می شود، هدف از انجام تحقیق حاضر این است که هر پروتکل MRI برای کدام قسمت از میوه "به" مثل بافت، دانه، ناحیه کوفته شده و ناحیه آفت زده عملکرد بهتری دارد و تصاویر واضح تری از آن ها استخراج می شود. بنابراین در نواحی ذکر شده میوه "به"، دو پروتکل تصویربرداری T_1 و T_2 با هم مقایسه گردیدند.

داخلی میوه جات را نیز مورد بررسی قرار داد (Létal *et al.*, 2003). تکنیک غیرمخرب مذکور می تواند توزیع و تحرک پروتون را در مولکول آب و دیگر متابولیت های متمرکز در بافت بیولوژیکی مورد بررسی قرار دهد. با این روش می توان تغییر غلظت روغن و آب را در ماده غذایی و محصول کشاورزی تعیین کرد که این حالت معمولاً با بلوغ، آسیب و پوسیدگی میوه در ارتباط است که با تعیین این فاکتور به راحتی می توان به بلوغ یا فساد میوه پی برد (Ishida *et al.*, 2004). معمولاً سه نوع پروتکل در تصویربرداری تشدید مغناطیسی استفاده می شود: در این روش از دو پروتکل T_1 و T_2 استفاده شد که T_1 تفاوت دو بافت چربی و آب، به صورت روشن تر بودن آب نسبت به بافت چربی و T_2 در این روش نیز مانند وزن دهی T_1 است که چربی و آب قابل تفکیک بوده با این تفاوت که چربی روشن تر و آب تیره تر در تصویر ظاهر می گردد (Blink, 2004; McRobbie *et al.*, 2017). تصاویر با وزن T_1 ($T_1.w$): تصاویری که در آن ها تمایز بین بافت ها عمدتاً ناشی از اختلاف T_1 بافت باشد. تصاویر با وزن T_2 ($T_2.w$): تصاویری که تمایز بین بافت ها در آن ها بیشتر ناشی از اختلاف T_2 بافت ها می باشد. تصاویر با وزن دانسیته پروتونی ($PD.W^1$): تصاویری که در آن ها ایجاد تمایز بین بافت ها عمدتاً به علت اختلاف چگالی پروتون ها است. در این تصاویر، بافت هایی که تراکم پروتون ها در واحد حجم بیشتر باشد، روشن تر از بافت هایی با تراکم پروتون کم تر نشان داده می شود. نوع تصویر به وسیله پارامترهای TE^2 و TR^3 تعیین می شود. TE زمان اکو است که بین بکارگیری پالس ۹۰ درجه و پیک سیگنال اکو است و TR هم زمان بین تکرارهای پالس است (Blink, 2004). به طور کلی T_1 ، T_2 دو پارامتر زمانی کاملاً مجزا، قابل تشخیص و اندازه گیری بعد از تحریک با پالس RF هستند که مقایسه بین این دو زمان و نسبت آنها در حالات مختلف مبنای تصویرسازی به روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی می باشد (Blink, 2004; Clare *et al.*, 2007). با در نظر گرفتن ساختار بافت مورد تصویربرداری از نظر تراکم مولکولهای آب و هیدروکربن، پروتکل تصویر برداری MRI تعیین می شود. لذا در این تحقیق سعی شده است تا بهترین پروتکل برای قسمت بافت، بخش کوفته شده و هسته میوه به با پروتکل های مورد نظر برای میوه های بدون آفت و آفت زده تعیین شود. علاوه بر این تفاوت حساسیت میوه آفت زده "به" در بارگذاری خارجی نسبت به میوه سالم بررسی شده است.

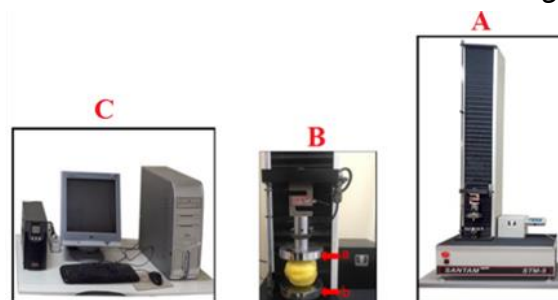
در تحقیقاتی که انجام دادند به این نتیجه رسیدند که در تصاویر T_2 مایعات بیشترین شدت سیگنال را دارند و بافت های

روش‌ها

آماده‌سازی و بارگذاری نمونه

در این آزمایش ابتدا میوهی "به" وارسته نیشابور از بازار محلی (مهر-۱۳۹۷) استان گلستان-گرگان تهیه و برای جلوگیری از آسیب در طی حمل و نقل، کاغذ پیچ و درون جعبه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شده و تا زمان مصرف، درون یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Azadbakht et al., 2016). سپس برای اندازه‌گیری رطوبت در درون آن قرار گرفت و رطوبت آن‌ها اندازه‌گیری شد. میزان رطوبت اندازه‌گیری شده بر پایه وزن تر برای گوشت میوه "به" $78/98\%$ ، برای پوسته $69/65\%$ و برای هسته "به" $31/96\%$ بود.

در این آزمایش تعداد (۱۰۰ میوه به) میوه "به" برای آزمایش انتخاب شد و از میان این میوه‌ها با استفاده از روش غیرمخرب تصویربرداری تشدید مغناطیسی، تصویربرداری گردید. و به دو گروه میوه‌های به سالم و آفت زده تقسیم شدند که از میان آنها تعداد ۹ عدد میوه "به" بدون آفت و ۹ عدد میوه "به" آفت‌زده به کمک تصویربرداری تشدید مغناطیسی انتخاب شد. برای ایجاد ناحیه کوفته شده ناشی از بارگذاری استاتیکی، از دستگاه آزمون کشش - فشار مدل Santam-STM5 با نیروسنج 5000^{21} نیوتنی استفاده شد. این بارگذاری‌ها با سرعت ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه با فک‌های صفحه‌ای انجام شد. با توجه به آزمون‌های اولیه روی میوه به، نیروهای ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ نیوتن برای بارگذاری میوه‌های سالم و آفت زده انتخاب گردیدند (در سه تکرار). چرا که مشاهده شد نیروی بیش از این مقدار باعث شکست کامل میوه شده و از طرفی نیروی کمتر از حدود ۳۰۰ نیوتن هم اثر محسوسی بر روی میوه به نداشت. در این آزمایش میوه‌های "به" به صورت افقی در بین دو صفحه قرار گرفته و هنگام بارگذاری، مقادیر نیرو و تغییر شکل میوه ثبت گردید (شکل ۱).



شکل ۱- دیاگرام بارگذاری شبه استاتیکی میوه "به"

A: دستگاه اینسترون. B: فک لبه پهن بارگذاری (a: فک متحرک. b: فک ثابت). C: کامپیوتر متصل به دستگاه

تصویربرداری

تصویربرداری‌های تشدید مغناطیسی با دو پروتوکل T_1 و T_2 انجام گردید، تا تفاوت انواع این تصویربرداری‌ها برای تشخیص ناحیه‌های بدون آفت، آفت‌زده و کوفته شده میوه "به" و همچنین قابلیت تشخیص اجزا و بافت‌های مختلف آن بررسی شود. سپس میوه‌های "به" پس از بارگذاری در دوره‌های ۳۰ و ۵۰ روزه درون یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انبارداری شد. پس از پایان هر دوره از انبارداری تصویربرداری تشدید مغناطیسی با پروتوکل‌های T_1 و T_2 با استفاده از دستگاه تصویربرداری تشدید مغناطیسی مدل Alltech Echostar 1.5T در مرکز پزشکی تصویربرداری آراد شهر گرگان انجام شد. این تصاویر با میدان دید 350×350 میلی‌متر و فاصله ۰، ضخامت ۳ میلی‌متر، عمق پیکسل ۳ میلی‌متر و $TR=905$ ms و $TE=10$ ms برای T_1 و $TR=5598$ ms و $TE=100$ ms برای T_2 تهیه شدند. تعداد برش‌ها برای تصویربرداری ۲۴ تا در نظر گرفته شد. برای مقایسه تضاد در تصاویر T_1 و T_2 از نرم افزار ایمیج جی^{۳۳} استفاده شد. با کمک این نرم‌افزار نمونه‌هایی از بافت بدون آفت، بافت آفت‌زده، دانه‌های "به" و بافت کوفته شده بر اثر بارگذاری انتخاب شده و هیستوگرام این نمونه‌ها با هم مقایسه شدند. تا تضاد در این بافت‌ها در انواع تصویربرداری تشدید مغناطیسی با هم مقایسه شوند.

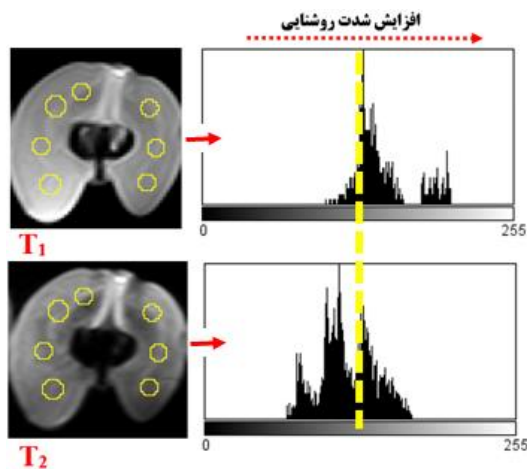
تجزیه و تحلیل آماری

در این آزمایش فاکتورهای مستقل شامل نیروی بارگذاری و دوره انبارداری بودند که این دو فاکتور بر روی گروه میوه‌های به آفت زده و بدون آفت انجام شد و بعد از این مرحله گذراندن دوره‌های انبارداری از میوه‌های به عکس برداری شد که فاکتورهای وابسته بافت سالم میوه، بافت کبودی میوه، دانه‌های میوه برای میوه‌های آفت زده و بدون آفت بدست آمد که تمامی فاکتورها به دو بخش تصاویر T_1 و T_2 تقسیم شد. تمامی آزمایشات نیز در سه تکرار انجام شد و برای تحلیل داده‌ها از آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و جهت مقایسه نمونه‌ها از آزمون LSD در سطح ۹۵٪ با استفاده از نرم افزار SAS 9.2 استفاده شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱، آنالیز واریانس مقدار تاثیر متغیرهای نیروی بارگذاری، مدت انبارداری و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار شدت روشنایی در تصاویر گرفته شده با پروتکل T_1 و T_2 برای دانه میوه به؛ و بافت‌های سالم و کوفته شده در میوه‌های بدون آفت و آفت

Thayyil et al., 2012; McRobbie) هستند (۱۵۰۰-۲۰۰۰ms)
(et al., 2017).



شکل ۲- هیستوگرام تصاویر تشدید مغناطیسی با پروتکل T₁ و T₂ بافت سالم میوه "به" بدون آفت

زده نشان داده شده است.

بافت سالم بدون آفت با پروتکل T₁ و T₂

یک نمونه از تصاویر با پروتکل‌های T₁ و T₂ مربوط به بافت سالم میوه "به" بدون آفت و همینطور هیستوگرام یک نمونه از ناحیه انتخاب شده آنها در شکل ۲ نشان داده شده است. این تصاویر از میوه‌های "به" بدون آفت فاقد اعمال نیرو تهیه شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود در تصویر با پروتکل T₁ شدت روشنایی بیشتر از تصویر با پروتکل T₂ است. همچنین انحراف معیار هیستوگرام نمونه با پروتکل T₂ بیشتر از پروتکل T₁ است که نشان دهنده نوسانات بیشتر در تصاویر با پروتکل T₂ هستند. بدین صورت می‌توان گفت که تصاویر وزنی گرفته شده با پروتکل T₁ کاملاً متفاوت هستند. یعنی بافت‌هایی با T₁ بلند، ضعیف‌ترین سیگنال را دارند، که باعث روشن شدن تصاویر T₁ می‌شوند. به عبارت دیگر پیکسل‌های روشن در تصاویر با پروتکل T₁ مربوط به T₁‌های کوتاه

جدول ۱- آنالیز واریانس کوفتگی میوه "به" تحت بارگذاری شبه استاتیکی و دوره انبارداری

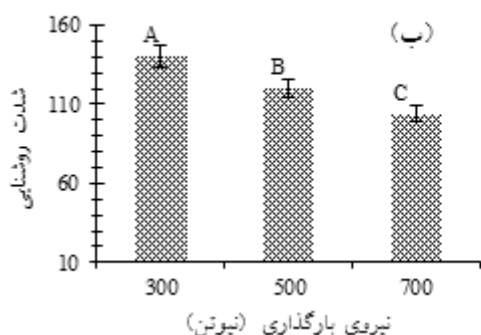
متغیرها	df	تصویر T ₁ از بافت سالم میوه بدون آفت	تصویر T ₂ از بافت سالم میوه بدون آفت	تصویر T ₁ از بافت کوفته شده میوه بدون آفت	تصویر T ₂ از بافت کوفته شده میوه بدون آفت
بارگذاری	۲	۱۴۲۷/۸۸*	۳۰۷۸/۴۹**	۷۴/۸۶ ns	۱۰۱/۶۲ ns
انبارداری	۲	۲۰۶۶/۳۸**	۲۶۵/۱۸ ns	۱۰۸۴۸/۵۴**	۵۴۷۲/۴۳**
بارگذاری × انبارداری	۴	۷۴۰/۰۱۴*	۳۸۴/۳۵ ns	۵۴/۳۳ ns	۳۲/۶۶ ns
خطا		۲۳۵/۰۰۵	۱۷۱/۵۷	۱۰۲/۷۳	۳۸/۲۰
ضریب تغییرات		۱۳/۶۱۵	۱۰/۷۷۶	۲۵/۵۰۱	۲۲/۲۶۲
متغیرها	df	تصویر T ₁ از دانه بدون آفت	تصویر T ₂ از دانه بدون آفت	تصویر T ₁ از بافت سالم آفت‌زده	تصویر T ₂ از بافت سالم آفت‌زده
بارگذاری	۲	۳۱۸۱/۸۰**	۱۶۲/۱۱۱**	۴۸۲/۹۱ ns	۲۲۹۶/۷۶*
انبارداری	۲	۲۹۸/۴۱ ns	۵۴۵/۸۹۴**	۶/۸۹۲ ns	۲۹۹۱/۲۵**
بارگذاری × انبارداری	۴	۱۴۴۸/۳۱**	۹۷/۷۸**	۸۴۹/۵۷ ns	۳۶۴/۳۸ ns
خطا		۹۷/۰۰۶	۹/۱۱	۷۰۷/۷۸	۴۹۶/۱۹
ضریب تغییرات		۱۵/۴۳۶	۲۶/۴۴۴	۲۰/۰۹۸	۱۸/۶۸۱
متغیرها	df	تصویر T ₁ از بافت کوفته آفت‌زده	تصویر T ₂ از بافت کوفته آفت‌زده	تصویر T ₁ از دانه آفت‌زده	تصویر T ₂ از دانه آفت‌زده
بارگذاری	۲	۵۷۴/۵۲**	۵۰/۷۰*	۴۰۴۶/۴۰**	۸۰۹/۴۸**
انبارداری	۲	۱۰۷۵۰/۹۴**	۴۴۰/۹۴۰**	۶۴۰۰/۲۰**	۵۰۶/۶۷**
بارگذاری × انبارداری	۴	۱۹۳/۵۴**	۱۴/۶۱ ns	۳۳۸/۷۸*	۳۱۲/۸۵**
خطا		۲۸/۷۹	۹/۵۳	۹۹/۲۲	۳۵/۴۲
ضریب تغییرات		۱۳/۹۷۸	۱۲/۴۵۲	۱۷/۰۳۱	۱۸/۵۵۶

** معنی دار در سطح ۱ درصد، * معنی داری در سطح ۵ درصد و ns عدم معنی داری

($p < 0.01$) و اثر متقابل آن‌ها ($p < 0.05$) معنی دار شدند (شکل ۳- الف). با توجه به نتایج به دست آمده با افزایش مدت انبارداری و

با توجه به نتایج به دست آمده برای بافت سالم میوه "به" بدون آفت با پروتکل T₁ فاکتور بارگذاری ($p < 0.05$) و انبارداری

سالم میوه "به" بدون آفت با پروتکل T₂ نیز فقط نیروی بارگذاری (p<۰/۰۱) معنی دار شد و دوره انبارداری و همچنین اثر متقابلشان معنی دار نشد. نتایج مقایسه میانگین بافت سالم بدون آفت با پروتکل T₂ در شکل (۳-ب) نشان می دهد که بین هر سه نیروی بارگذاری تفاوت معنی داری وجود دارد و بیشترین مقدار روشنایی در نیروی بارگذاری ۳۰۰ نیوتن بود و هرچه میزان نیروی بارگذاری افزایش پیدا کرد، میزان شدت روشنایی بافت سالم میوه "به" بدون آفت با پروتکل T₂ به سمت تیرگی رفت.



شکل ۳- الف. اثر متقابل نیروی بارگذاری و مدت انبارداری بر شدت روشنایی بافت سالم میوه "به" بدون آفت با پروتکل T₁

ب. مقایسه میانگین اثر نیروی بارگذاری بر شدت روشنایی بافت سالم میوه "به" بدون آفت با پروتکل T₂

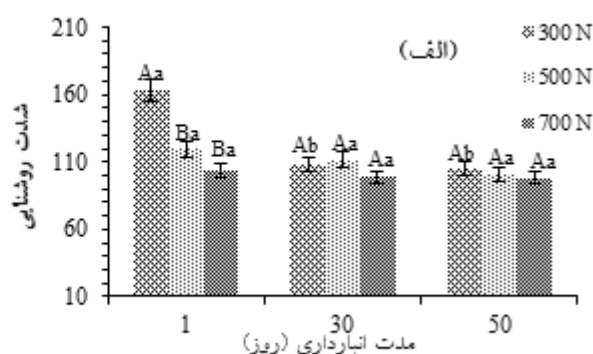
حروف مشابه بزرگ نشان دهنده عدم معنی داری در یک مدت انبارداری ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم معنی داری در یک نیروی بارگذاری ثابت می باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده برای بافت سالم میوه "به" آفت زده با پروتکل T₁ هیچ کدام از فاکتورها معنی دار نشد اما با پروتکل T₂ اثر دو فاکتور نیروی بارگذاری و دوره انبارداری (p<۰/۰۱) معنی دار شد. با توجه به شکل ۵ و نیروهای بارگذاری می توان بیان کرد که با افزایش نیروی بارگذاری شدت روشنایی بافت سالم میوه "به" آفت زده به سمت تیرگی می رود، البته بین نیروهای ۵۰۰ و ۷۰۰ نیوتن تفاوت معنی داری از لحاظ آماری مشاهده نشد اما این دو نیرو تفاوت معنی داری با نیروی ۳۰۰ نیوتن داشتند. همچنین می توان مشاهده کرد که با افزایش دوره انبارداری میزان شدت روشنایی بافت سالم میوه "به" آفت زده تیره تر می شود و البته تفاوت معنی داری از لحاظ آماری بین نمونه های دوره یک روز و دوره انبارداری پس از ۳۰ روز وجود ندارد اما این دو تفاوت معنی داری از لحاظ آماری با انبارداری پس از ۵۰ روز داشتند.

بافت کوفته شده بدون آفت با پروتکل T₁ و T₂

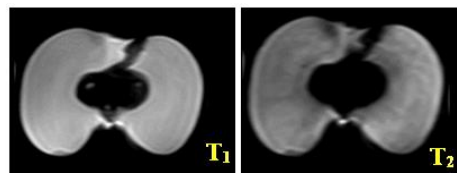
همانطور که در شکل ۶ دیده می شود ناحیه دارای کوفتگی در تصویر با پروتکل T₂ واضح تر می باشد. این امر به دلیل خروج بیشتر مولکول های آب و کم شدن رطوبت از سلول های این ناحیه و

نیروی بارگذاری میزان روشنایی (از ۰ به سمت ۲۵۵) بافت سالم میوه "به" با پروتکل T₁ کاهش پیدا کرد و مقدار آن تیره تر شد (به سمت صفر رفتن) که نشان دهنده تغییر رنگ بافت به علت فشار می باشد. از لحاظ آماری در دوره انبارداری ۳۰ و ۵۰ روزه تفاوت معنی داری بین نیروی های بارگذاری مشاهده نشد، همچنین برای نیروهای ۵۰۰ و ۷۰۰ نیوتن در دوره انبارداری ۱، ۳۰ و ۵۰ روز از لحاظ معنا داری تفاوتی با یکدیگر نداشتند و در تمامی دوره های انبارداری یک گروه آماری که نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری است مشاهده شد با توجه به نتایج برای بافت



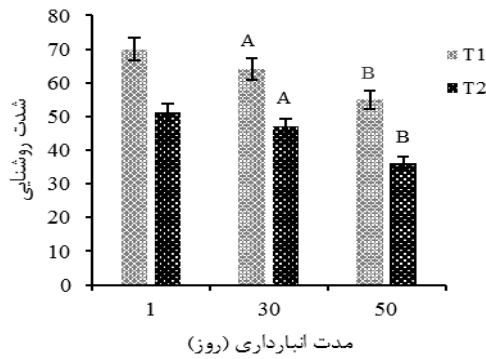
بافت سالم آفت زده با پروتکل T₁ و T₂

شکل ۴ یک نمونه از تصاویر با پروتکل های T₁ و T₂ مربوط به بافت آفت زده میوه "به" را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود کانال عبور آفت در تصاویر T₁ و T₂ کاملاً مشخص می باشد هرچند که به دلیل وجود بقایای هیدروکربنی آفت، جزئیات کمتری از کانال در تصاویر T₁ قابل تشخیص بود. سفیره آفت میوه "به" در ابتدا به سمت دانه های "به" وارد می شود و با توجه به اینکه دانه های "به" در تصاویر T₁ دیده می شوند، جزئیات آفت-زدگی دانه ها نیز در این نوع از تصویربرداری مشخص تر است. همچنین در آزمایشی مشابه با تحقیق حاضر، هایبشی و همکاران (۲۰۱۱) آلودگی میوه های سیب برداشت شده توسط پروانه میوه هلو (*Carposina sasakii* Matsumura) را با استفاده از روش غیرمخرب تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) و پروتکل های T₁ و T₂ بررسی کردند (Haishi et al., 2011).



شکل ۴- مقایسه تصاویر تشدید مغناطیسی T₁ و T₂ بافت آفت زده میوه "به"

با کنتراست بهتر بین بافت عادی و بافت با قهوه‌ای شدن درونی را نسبت به تصویر تولید شده با استفاده از اختلاف‌ها در چگالی پروتون یا اندازه‌گیری‌های T_1 ارائه می‌دهند (Gonzalez *et al.*, 2001). این نتایج مشابه نتایج هرناوندز سانچس (۲۰۰۷) روی قهوه‌ای شدن داخلی میوه گلابی با استفاده از پروتکل T_2 بود (Hernández-Sánchez *et al.*, 2007).

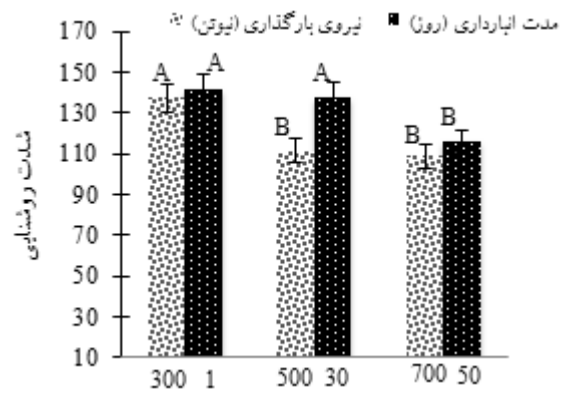


شکل ۷- مقایسه میانگین اثر مدت انبارداری بر شدت روشنایی تصاویر پروتکل T_1 و T_2 بافت کوفته شده میوه "به" بدون آفت

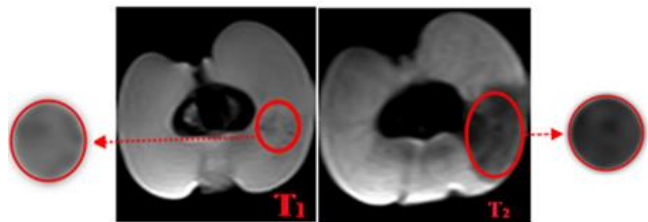
بافت کوفته شده آفت‌زده با پروتکل T_1 و T_2

شکل ۸ تفاوت بین تصاویر تشدید مغناطیسی با پروتکل‌های T_1 و T_2 از ناحیه کوفته شده میوه "به" آفت‌زده را نشان می‌دهد همانطور که در شکل دیده می‌شود بافت کوفته شده آفت‌زده با پروتکل T_1 واضح‌تر است چرا که بافت آفت‌زده با ایجاد فضای خالی توسط آفت در گذشت زمان رطوبت خود را از دست می‌دهد همچنین ناحیه بارگذاری شده نیز به علت کاهش رطوبت تیره‌تر می‌شود به این دلیل که با زیاد شدن فاصله‌ی زمانی بعد از بارگذاری رطوبت کاهش پیدا می‌کند (Diels *et al.*, 2017). با توجه به نتایج بافت کوفته شده میوه "به" آفت‌زده با پروتکل T_1 برای هر دو فاکتور نیروی بارگذاری و دوره انبارداری ($p < 0.01$) معنی‌دار شد و اثر متقابل این دو فاکتور نیز معنی‌دار بود. همچنین با توجه به شکل ۹ می‌توان نتیجه گرفت که میزان شدت روشنایی بافت کوفته شده میوه "به" با افزایش دوره انبارداری کاهش پیدا کرد و این برای هر سه نیروی بارگذاری مشاهده شد. بین نیروهای بارگذاری تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری برای نمونه‌ها در دوره انبارداری پس از یک روز مشاهده نشد و همچنین دوره انبارداری ۳۰ روزه بین نیروهای بارگذاری شده ۳۰۰ و ۷۰۰ نیوتن تفاوت معنی‌دار آماری نداشت و در دوره انبارداری ۵۰ روزه بین هر سه نیروی بارگذاری تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده شد علاوه بر این با توجه به نتایج به‌دست آمده اثر پارامترهای نیروی بارگذاری ($p < 0.05$) و دوره انبارداری ($p < 0.01$) بر بافت کوفته شده میوه "به" آفت‌زده با پروتکل T_2 معنی‌دار بودند و اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار نبود. با توجه به شکل ۱۰ کاملاً مشخص است که

جذب شدن توسط دیگر نواحی در مدت ۵۰ روز انبارداری می‌باشد ولی در تصویر با پروتکل T_1 تفاوت چندانی در ناحیه کوفته شده نسبت به بقیه نواحی دیده نمی‌شود چرا که نواحی بارگذاری شده محتوی آب کمتری (زمان T_2 کوتاه‌تر) را در مقایسه با نواحی بدون بارگذاری با محتوی آب بالاتر (زمان T_2 بلندتر) نشان می‌دهند (McRobbie *et al.*, 2017).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر نیروی بارگذاری و مدت انبارداری برای شدت روشنایی تصاویر با پروتکل T_2 از بافت سالم میوه "به" آفت‌زده

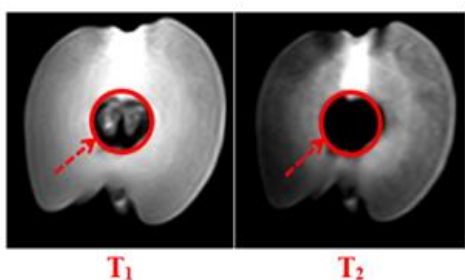


شکل ۹- تفاوت بین تصاویر تشدید مغناطیسی T_1 و T_2 از ناحیه کوفته شده میوه به پس از ۵۰ روز انبارداری

برای بافت کوفته شده میوه "به" بدون آفت با پروتکل T_1 فقط دوره انبارداری ($p < 0.01$) معنی‌دار شد و نیروی بارگذاری و اثر متقابلشان معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین در شکل ۷ نشان می‌دهد که هر چه دوره انبارداری افزایش پیدا می‌کند شدت روشنایی بخش کوفته شده میوه با پروتکل T_1 تیره‌تر می‌شود و تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری بین آنها وجود دارد. فقط دوره انبارداری ($p < 0.01$) برای بافت کوفته شده میوه "به" بدون آفت با پروتکل T_2 معنی‌دار بود و نیروی بارگذاری و اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار نبود. با توجه به شکل ۷ با افزایش دوره انبارداری میزان تیرگی برای بافت کوفته شده افزایش پیدا می‌کند و تفاوت معنی‌داری بین دو دوره انبارداری ۳۰ و ۵۰ روز مشاهده می‌شود. گنزالس و همکاران (۲۰۰۱) در آزمایشی مشابه بر روی سیب‌های رقم Fuji، توسعه کبودی بافت درونی ناشی از سطوح بالای دی اکسید کربن در ذخیره‌سازی با اتمسفر کنترل شده را بررسی کردند و چنین نتیجه‌گیری کردند که اندازه‌گیری‌های T_2 تصاویر

دانه بدون آفت با پروتکل T₁ و T₂

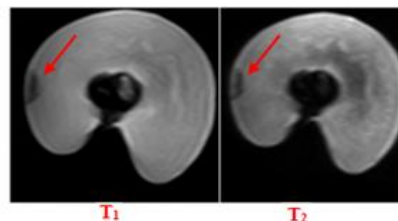
یک نمونه از تصاویر T₁ و T₂ مربوط به دانه میوه "به" در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در تصویر T₁ دانه‌های میوه "به" کاملاً واضح هستند ولی در تصویر T₂ دانه‌ها به سختی دیده می‌شوند، به دلیل اینکه لایه‌ای از موسیلاژ روی دانه‌های "به" را پوشانده است، در تصاویر T₁ این دانه‌ها با تفکیک بیشتری دیده می‌شوند، چرا که موسیلاژ زنجیره هیدروکربنی است و هیدروکربن‌ها در تصاویر T₁ بهتر دیده می‌شوند. همچنین بافت‌های محتوی چربی در تصاویر T₂ خاکستری متوسط هستند و به همین دلیل وضوح دانه‌ها در تصاویر T₂ کمتر می‌باشد. هر دو زمان آسایش T₁ و T₂ برای هر بافتی مختص به آن بافت است. زمان‌های T₁ کوتاه، به صورت سیگنال‌هایی روشن ظاهر می‌شوند و برعکس زمان‌های T₂ کوتاه، به صورت سیگنال‌هایی تاریک در تصاویر تشدید مغناطیسی ظاهر می‌شوند در تصاویر T₁ مایعات بسیار تیره هستند، بافت‌های متکی بر آب خاکستری متوسط و بافت‌های متکی بر چربی بسیار روشن هستند (McRobbie et al., 2017).



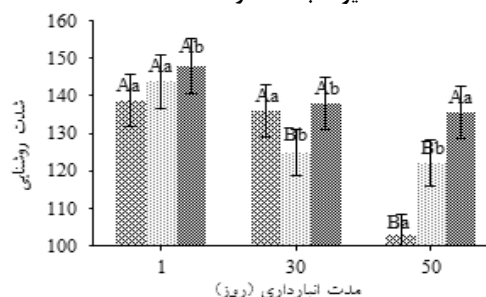
شکل ۱۱- تفاوت بین تصاویر تشدید مغناطیسی T₁ و T₂ از دانه میوه "به"

برای دانه میوه "به" بدون آفت با پروتکل T₁ نیروی بارگذاری (p < 0.01) معنی‌دار شد اما دوره انبارداری معنی‌دار نشد و همچنین اثر متقابل آن‌ها (p < 0.01) معنی‌دار شد که در شکل (۱۲-الف) اثر متقابل این دو فاکتور برای این بخش نشان داده شده است. دانه‌هایی که بافت آن‌ها تحت نیروی بارگذاری ۳۰۰ نیوتن بوده نسبت به دو نیروی بارگذاری دیگر روشن‌تر است و در دوره انبارداری ۵۰ روز این تفاوت آماری کاملاً مشهود است و در دوره انبارداری ۳۰ روز تفاوت معنی‌داری بین نیروی‌های بارگذاری مشاهده نشد. برای دانه میوه "به" بدون آفت با پروتکل T₂ اثر فاکتورهای نیروی بارگذاری و دوره انبارداری (p < 0.01) معنی‌دار شده، همچنین اثر متقابل این دو فاکتور نیز معنی‌دار شد شکل (۱۲-ب). نتایج بدست آمده نشان داده که هرچه دوره انبارداری به سمت ۵۰ روز سوق پیدا کرده، میزان روشنایی دانه میوه "به" سالم با پروتکل T₂ بیشتر می‌شود همچنین برای نمونه‌ها در دوره

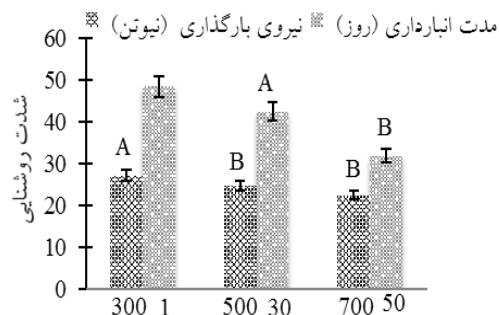
با افزایش نیروی بارگذاری میزان بافت کوفته شده در میوه "به" آفت‌زده تیره‌تر شد و بین نیروهای ۳۰۰ و ۷۰۰ نیوتن برای مقدار مشخص شده از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. همچنین با افزایش دوره انبارداری از ۳۰ به ۵۰ روز میزان شدت روشنایی بافت کوفته شده میوه تیره‌تر شده و تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری بین این دو دوره انبارداری دیده می‌شود. در آزمایشی که مظهر و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تصویربرداری تشدید مغناطیسی روی میوه آوکادو انجام دادند به این نتیجه رسیدند که این روش به عنوان یک ابزار حرفه‌ای برای شناسایی آسیب‌های داخلی در میوه‌های آوکادو نشان داده شده است همچنین استرس فیزیکی ناشی از فشرده‌سازی، افزایش محتوای مایعات آزاد را افزایش داد و در ناحیه سفید رنگ (درخشان) در تصاویر T₁ با وزن تصویربرداری تشدید مغناطیسی ۱/۱ نشان داد (Mazhar et al., 2015).



شکل ۸- تفاوت بین تصاویر تشدید مغناطیسی T₁ و T₂ از ناحیه کوفته شده میوه "به" آفت‌زده

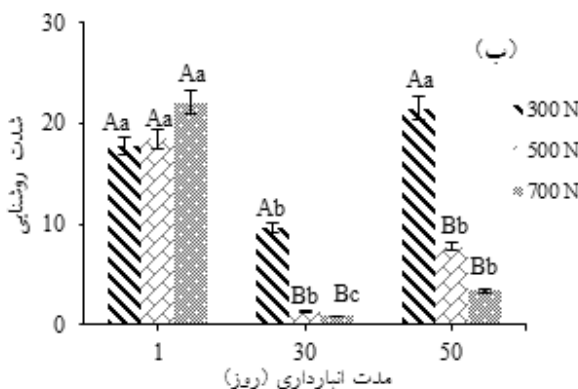


شکل ۹- اثر متقابل نیروی بارگذاری و مدت انبارداری بر شدت روشنایی بافت کوفته شده میوه "به" آفت‌زده با پروتکل T₁ حروف مشابه بزرگ نشان دهنده عدم معنی‌داری در یک مدت انبارداری ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم معنی‌داری در یک نیروی بارگذاری ثابت می‌باشد.

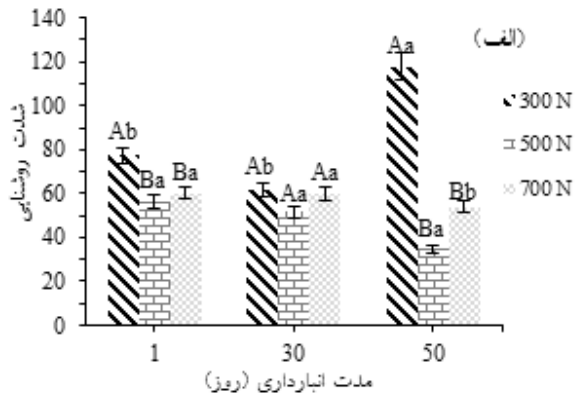


شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر نیروی بارگذاری و مدت انبارداری برای شدت روشنایی تصاویر با پروتکل T₂ از بافت کوفته شده میوه "به" آفت‌زده

معنی داری بین نیروهای بارگذاری شده ۵۰۰ و ۷۰۰ با ۳۰۰ نیوتن وجود داشت.



انبارداری یک روز تفاوت معنی داری بین نیروهای بارگذاری مشاهده نشد اما برای دوره انبارداری ۳۰ و ۵۰ روز تفاوت



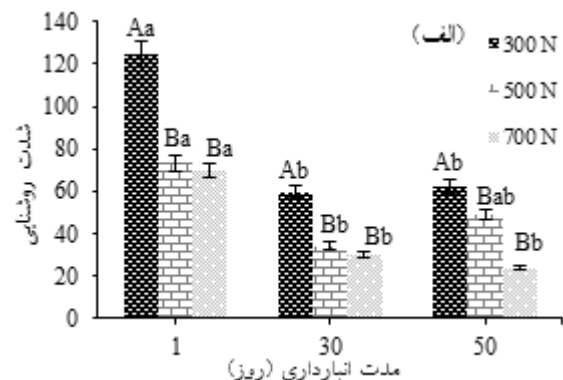
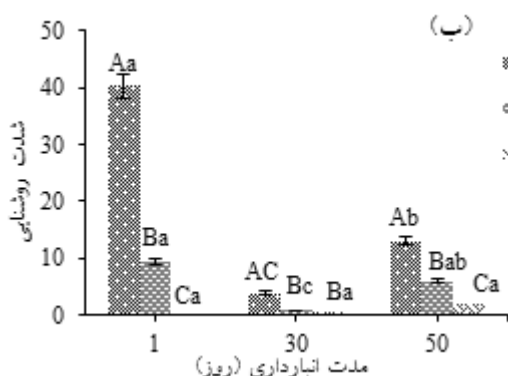
شکل ۱۲- اثر متقابل نیروی بارگذاری و مدت انبارداری بر شدت روشنایی دانه میوه "به" بدون آفت. (الف) با پروتکل T₁. (ب) با پروتکل T₂

حروف مشابه بزرگ نشان دهنده عدم معنی داری در یک مدت انبارداری ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم معنی داری در یک نیروی بارگذاری ثابت می باشد.

دانه آفت زده با پروتکل T₁ و T₂

(۱۳-ب) می توان بیان کرد که با افزایش دوره انبارداری در هر نیروی بارگذاری میزان روشنایی دانه میوه "به" آفت زده افزایش پیدا کرد اما این افزایش از لحاظ آماری برای نیروهای بارگذاری ۳۰۰ و ۵۰۰ نیوتن در دوره انبارداری ۳۰ و ۵۰ روزه تفاوت معنی داری داشت و برای نیروی بارگذاری ۷۰۰ نیوتن تفاوت معنی دار آماری مشاهده نشد. همچنین برای نمونه ها در دوره انبارداری یک روزه و دوره انبارداری ۵۰ روزه تفاوت معنی داری بین هر سه نیروی بارگذاری برای مقادیر روشنایی دیده شد اما برای دوره انبارداری ۳۰ روزه بین دو نیروی ۵۰۰ و ۷۰۰ نیوتن تفاوت معنی دار آماری وجود نداشت اما این دو نیرو با نیروی ۳۰۰ نیوتن تفاوت معنی دار آماری داشتند.

با توجه به نتایج می توان بیان کرد که فاکتورهای نیروی بارگذاری و دوره انبارداری ($p < 0.01$) معنی دار بودند و اثر متقابل آن ها ($p < 0.05$) معنی دار شد. با توجه به شکل (۱۳-الف) با افزایش دوره انبارداری در هر نیروی بارگذاری میزان روشنایی دانه میوه "به" آفت زده کاهش پیدا کرد اما این کاهش از لحاظ آماری برای هیچکدام از دوره های انبارداری ۳۰ و ۵۰ روز دارای تفاوت معنی داری نبود، اما در یک دوره انبارداری ثابت تفاوت معنی داری بین نیروی بارگذاری ۳۰۰ نیوتن با دو نیروی بارگذاری دیگر در هر دو دوره انبارداری بود. با توجه به نتایج می توان بیان کرد که فاکتورهای نیروی بارگذاری و دوره انبارداری ($p < 0.01$) معنی دار بود و اثر متقابلشان ($p < 0.01$) معنی دار شد. با توجه به شکل



شکل ۱۳- اثر متقابل نیروی بارگذاری و مدت انبارداری بر شدت روشنایی دانه میوه "به" آفت زده. (الف) با پروتکل T₁. (ب) با پروتکل T₂

حروف مشابه بزرگ نشان دهنده عدم معنی داری در یک مدت انبارداری ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم معنی داری در یک نیروی بارگذاری ثابت می باشد.

انبارداری تشخیص دهد که طبق نتایج به دست آمده میزان تیرگی بافت طی مدت انبارداری بیشتر شده است. همچنین با توجه به نتایج، میزان شدت روشنایی تصاویر بافت سالم بدون آفت در

نتیجه گیری

همچنین نتایج بافت سالم بدون آفت نشان داد که پروتکل T₁ توانسته تفاوت بافت سالم میوه "به" بدون آفت را در طی مدت

پروتکل T₂ استفاده شود. با توجه به نتایج بهتر است برای بررسی دانه میوه بدون آفت و آفت‌زده از پروتکل T₁ استفاده شود چرا که میزان تضاد در و روشنایی تصویر دانه در این بخش بیشتر می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج پروتکل T₂ میزان شدت روشنایی این بخش برای بررسی دانه به شدت کاهش یافته و همین امر می‌تواند میزان خطا را برای بررسی بخش کوفته شده و آفت‌زده و یا بخش‌هایی که دچار کبودی بیشتر هستند بالا ببرد از این‌رو برای بررسی دانه میوه، پروتکل T₁ بهتر می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از مدیریت و پرسنل مرکز تصویربرداری آراد شهر گرگان، به دلیل همکاری در انجام تصویربرداری‌های این تحقیق صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

REFERENCES

- Azadbakht, M., Torshizi, M.V., Ziaratban, A. & Ghajarjazi, E. (2016). Application of artificial neural network (ANN) in predicting mechanical properties of canola stem under shear loading. *Agricultural Engineering. international*. 18, 413-425.
- Blink, E.J. (2004). Basic MRI physics. (2nd).
- Chen, P., McCarthy, M.J., Kim, S.-M. & Zion, B. (1996). Development of a high-speed NMR technique for sensing maturity of avocados. *Transactions of the ASAE*. 39, 2205-2209.
- Clare, S., Weiskopf, N., Sitaram, R., Josephs, O., Veit, R., Scharnowski, F., Goebel, R., Birbaumer, N., Deichmann, R., Mathiak, K. & Clare, S. (2007). Functional magnetic resonance imaging: Methods and applications. *Magnetic Resonance Imaging*. 25, 989-1003.
- Costa, R.M., Magalhães, A.S., Pereira, J.A., Andrade, P.B., Valentão, P., Carvalho, M. & Silva, B.M. (2009). Evaluation of free radical-scavenging and antihemolytic activities of quince (*Cydonia oblonga*) leaf: A comparative study with green tea (*Camellia sinensis*). *Food and Chemical Toxicology*. 47, 860-865.
- Defraeye, T., Lehmann, V., Gross, D., Holat, C., Herremans, E., Verboven, P., Verlinden, B.E. & Nicolai, B.M. (2013). Application of MRI for tissue characterisation of "Braeburn" apple. *Postharvest Biology and Technology*. 75, 96-105.
- Diels, E., Dael, M. Van, Keresztes, J., Vanmaercke, S., Verboven, P., Nicolai, B., Saeys, W., Ramon, H. & Smeets, B. (2017). Postharvest biology and technology assessment of bruise volumes in apples using X-ray computed tomography. *Postharvest Biology and Technology*. 128, 24-32.
- Gonzalez, J.J., Valle, R.C., Bobroff, S., Biasi, W. V., Mitcham, E.J. & McCarthy, M.J. (2001). Detection and monitoring of internal browning development in 'Fuji' apples using MRI. *Postharvest Biology and Technology*. 22, 179-188.
- Haishi, T., Koizumi, H., Arai, T., Koizumi, M. & Kano, H. (2011). Rapid detection of infestation of apple fruits by the peach fruit moth, *Carposina sasakii* Matsumura, larvae using a 0.2-T dedicated magnetic resonance imaging apparatus. *Applied Magnetic Resonance*. 41, 1-18.
- Hernández-Sánchez, N., Hills, B.P., Barreiro, P. & Marigheto, N. (2007). An NMR study on internal browning in pears. *Postharvest Biology and Technology*. 44, 260-270.
- Ishida, N., Naito, S. & Kano, H. (2004). Loss of moisture from harvested rice seeds on MRI. *Magnetic Resonance Imaging*. 22, 871-875.
- Létal, J., Jiráček, D., Šuderlová, L. & Hájek, M. (2003). MRI "texture" analysis of MR images of apples during ripening and storage. *Food Science and Technology*. 36, 719-727.
- Mazhar, M., Joyce, D., Cowin, G., Brereton, I., Hofman, P., Collins, R. & Gupta, M. (2015). Non-destructive 1H-MRI assessment of flesh bruising in avocado (*Persea americana* M.) cv. Hass. *Postharvest Biology and Technology*. 100, 33-40.
- McRobbie, D.W., Moore, E.A., Graves, M.J. & Prince, M.R. (2017). *MRI from picture to proton*. Cambridge university press.
- Musse, M., Quéllec, S., Devaux, M.-F., Cambert, M., Lahaye, M. & Mariette, F. (2009). An investigation of the structural aspects of the tomato fruit by means of quantitative nuclear magnetic resonance imaging. *Magnetic Resonance Imaging*. 27, 709-719.
- Patel, N., Rathod, B., Shah, V. & Mahajan, A. (2011). *Cydonia vulgaris* Pers.: A review on diversity, cultivation, chemistry and utilization. *Journal of*

- Pharmaceutical Sciences Letters*. 3, 51–61.
- Radjabi, G. (1989). Insects attacking rosaceous fruit trees in Iran. *Vol. III. Publication of Plant Pest & Diseases* Research Institute. (In Farsi)
- Razavi, M.S., Asghari, A., Azadbakh, M. & Shamsabadi, H.A. (2018). Analyzing the pear bruised volume after static loading by Magnetic Resonance Imaging (MRI). *Scientia Horticulturae*. 229, 33–39.
- Sanches, J., Biscegli, C.I., Durigan, J.F., Simões, M.L. & Silva, W.T.L. (2003). Diagnosis of mechanical injuries in avocados by Magnetic Resonance Imaging. *Proceedings V World Avocado Congress*. 695–700.
- Slaughter, D.C. (2009). Nondestructive maturity assessment methods for mango: A review of literature and identification of future research needs. *Agricultural and Biological Engineering*. 1–18.
- Srivastava, R.K., Talluri, S., Beebi, S.K. & Kumar, B.R. (2018). Magnetic resonance imaging for quality evaluation of fruits: a review. *Food Analytical Methods*. 11, 2943–2960.
- Thayyil, S., De Vita, E., Sebire, N.J., Bainbridge, A., Thomas, D., Gunny, R., Chong, K., Lythgoe, M.F., Golay, X. & Robertson, N.J. (2012). Post-mortem cerebral magnetic resonance imaging T1 and T2 in fetuses, newborns and infants. *European Journal of Radiology*. 81, e232–e238.
- Thomas, M., Guillemin, F., Guillon, F. & Thibault, J.F. (2003). Pectins in the fruits of Japanese quince (*Chaenomeles japonica*). *Carbohydrate Polymers*. 53, 361–372.