ارزیابی بافتی محصولات کشاورزی به روش مکانیکی آکوستیکی

پدرام شعاع[1*]، عباس همت[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
pedramshoa@gmail.com

چکیده

ارزیابی بافت یکی از اصول کلیدی در تعیین کیفیت محصولات کشاورزی می‌باشد. نقش اساسی بافت را می‌توان در تعیین زمان برداشت، شرایط انبارداری و همچنین شرایط فرآوری محصولات و نیز بازار پسندی دانست. بافت با توجه به القای احساس تردی، نرمی و یا سفتی می‌تواند نقش اساسی در ترغیب مشتری را بازی کند. در این میان تردی به دلیل حس تازه گی و کیفیتی که به مصرف کننده می‌دهد، جایگاه مهمی را داراست. ترد به محصولی کمی سخت و شکننده با تولید صدایی مشخص در حین شکست گفته می‌شود که به دو دسته محصولات ترد خشک مانند چیپس و ترد مرطوب مانند سیب دسته بندی می‌شوند. آنالیز بافت محصولات ترد از سه مرحله آزمون چشایی، آزمون مکانیکی و تحلیل مورفولوژیک تشکیل می شود که به دلیل هزینه و وقت زیادی که آزمون چشایی به خود اختصاص می‌دهد، تمایل به سمت مدل سازی نتایج آزمون چشایی با استفاده از داده‌های آزمون-های نوین ابزاری و تحلیل رایانه‌ای رفته است. آزمون ابزاری مورد بررسی در این مطالعه شامل سه قسمت مکانیکی، آکوستیکی و پردازش داده بوده که به ترتیب با استفاده از دستگاه آزمون جامع کشش و فشار، سامانه‌ی آکوستیکی و رایانه صورت می‌گیرد. در این مطالعه به بررسی روش‌ها و مطالعات انجام شده در بخش ارزیابی بافت به روش مکانیکی و آکوستیکی خواهیم پرداخت.

واژه‌های کلیدی: آنالیز بافت، تردی، آزمون چشایی، آزمون مکانیکی آکوستیکی

مقدمه

بافت یکی از خصوصیات کلیدی در ارزیابی میزان کیفیت و بازار پسندی محصولات تازه و فرآوری شده کشاورزی می‌باشد. از گذشته تا کنون خصوصیات بافتی محصولات فرآوری شده و خام کشاورزی مورد توجه تولید کنندگان، انبار داران، دست‌اندرکاران فرآوری مواد غذایی، فروشندگان و همچنین مصرف کنندگان بوده است (Szczesniak, 1988). این خصوصیات برای کنترل کیفیت از مرحله‌ی رسیده شدن و برداشت تا ارزیابی عملکرد در قسمت پس از برداشت مانند عمر انبار مانی، دما و اتمسفر بهینه‌ی نگهداری، مورد استفاده محققین قرار می‌گیرد (Chen and Opara, 2013). در مورد محصولات غذایی تازه، مانند میوه ها و

سبزیجات، این امر تحت عنوان میزان سفتی که شاخصی برای برداشت میوه محسوب می‌شود بیان شده و این سفتی لازم برای برداشت با توجه به میزان انبارمانی و پسند مشتری تعیین می‌شود. ولی در مورد مواد غذایی فرآوری شده تعیین ویژگی های بافتی در کنترل فرآیند هایی از قبیل سرخ کردن و خشک کردن و نیز بررسی تغییرات در ترکیب مواد فرآوری شده غذایی برای رسیدن به خصوصیات ایده آل و بازار پسندی بیشتر ، نقش بسزایی را ایفا می‌کند (Konopacka and Plocharski, 2004). آنالیز بافت یکی از پرکاربرد ترین روشها در بررسی کیفیت مواد غذایی و همچنین مهندسی پس از برداشت می‌باشد. آنالیز بافت به دو صورت حسی (آزمون چشایی) و ابزاری (آنالیز داده های دستگاه کشش و فشار) انجام می‌گیرد. تلاش های بسیاری در زمینه ارتقای بازده آزمون چشایی مواد غذایی برای آنالیز بافت انجام شده ولی هزینه بری ، بستگی داشتن این نوع آزمایشات به افراد گروه و وقت گیر بودن آن، این گونه آنالیز ها را به سوی استفاده از وسایل و تجهیزات آزمایشگاهی کشانده است. اما هنوز هم رابطه ی بین نتایج گروه چشایی و آنالیز آزمایشگاهی برای آمیختن بعد های مختلف از این دانش و کسب نتایج نوین مورد بحث است (Costa *et al*., 2011).

ویژگی های بافتی توسط انسان در غالب چهار حس بینایی، لامسه، احساس لرزش و شنوایی دریافت می‌شود. از جمله احساساتی که انسان در هنگام مصرف مواد غذایی به آن علاقه زیادی دارد، احساس تردی هنگام جویدن است (Vickers, 1983). اگر یک محصول ترد مانند بادام یا چیپس، هنگام جویدن از خود صدایی ساطع نکند، بی شک یا مانده و بی کیفیت است و یا ترکیب و فرآیند تولید آن اشتباه بوده است (Duizer, 2001). به دلیل علاقه شدید مصرف کنندگان به محصولات ترد مطالعه روی این خصوصیت کیفی بسیار باز و در حال انجام است. بسیاری از محققین تعبیری برای تردی بیان کرده‌اند ولی ترد، به طور کلی به محصولی با کمی سختی، شکنندگی و با تولید صدایی مشخص هنگام گسیختگی اطلاق می‌گردد. مقاومت مشخصی در برابر دندان، نشر آوایی خاص و در آخر شکننده (Luyten *et al*., 2004).

درک برای اولین بار دریافت که ویژگی صوتی در بافت های ترد مهمترین نقش را بازی می‌کند (Drake, 1965). صدایی که یک ماده‌ی ترد هنگام خرد شدن از خود بروز می‌دهد به عوامل میکروسکوپی و ماکروسکوپی بستگی دارد. ویژگی‌های میکروسکوپی همان آرایش قرار گیری سلول‌ها، پیوندهای شیمیایی و ترک های داخلی می‌باشند. از این منظر محصولات ترد به دودسته ی محولات ترد مرطوب (سلولی) مانند سیب، که داخل سلول هایشان آب وجود دارد، و محصولات ترد خشک مانند بیسکویت و چیپس که در داخل سلول هایشان هوا وجود دارد تقسیم بندی می‌شوند. محصولات ترد مرطوب از یک سری سلول متورم شده با دیواره‌ی سلولی کشسان و مقاوم در برابر فشار مایعات داخل سلول، تشکیل شده‌اند. با افزایش نیروی اعمالی به محصول تنش به دیواره‌ی سلولی وارد شده و پس از عبور از منطقه کشسان دیواره‌ی سلولی گسیخته شده و فشار موجود بر روی محتوای سیالی شکل از بین خواهد رفت. با کاهش فشار، مایع منبسط شده و به یک باره به سوی بیرون جریان پیدا می‌کند و باعث فشردن موضعی هوای اطراف خود می‌شود. در نتیجه یک موج یا جریان هوایی در محیط اطراف، که همان نشر صوت می‌باشد را ایجاد می‌کند. با برخورد این موج به هر سطحی مانند گوش انسان ایجاد فشار کرده که اصطلاحا به آن فشار صوت گفته می‌شود.

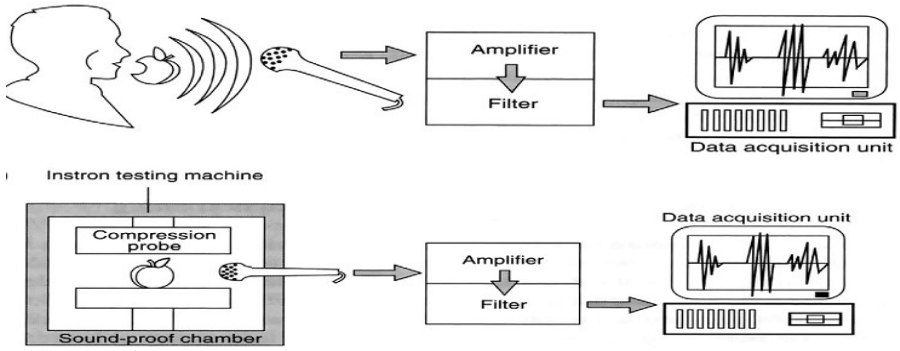
محصولات ترد خشک نیز از یک سری بسته های هوایی که توسط دیواره های سلولی بسیار ترد احاطه شده اند تشکیل می‌شود. با اعمال نیرو و افزایش تنش دیواره ها دچار خمش شده، می‌شکند. هرکدام از دیواره ها که از این اعمال نیرو جان سالم به در برد در غالب تکه هایی به حالت اولیه خود بر می‌گردند. این مجموعه حرکات باعث یک لرزش موضعی شده که هوا را در غالب یک موج صوتی به جریان در می آورد. این صدا باعث درک تردی توسط انسان می‌شود. در برخی محصولات نیز مانند محصولاتی که در روغن سرخ می‌شوند، هم هوا و هم مایع که همان روغن است در بافت وجود دارد (Vickers and Bourne, 1976; Duizer, 2001). برای اندازه‌گیری میزان تردی هر نمونه دو روش اساسی ذکر شده‌ی ابزاری و آزمون حسی استفاده می‌شود. استفاده از آزمون ابزاری در دنیای ماشینی امروزه توجیحاتی مانند کاهش هزینه، آسان و سریع بودن کار و دارای نتایج ثابت در هر وضعیت را به دنبال دارد (Roudaut *et al*., 2002).

از آنجایی که جویدن باعث تخریب ساختار و چیدمان سلول‌ها می‌شود، لذا از آزمون مخرب مکانیکی برای تحلیل این فرآیند استفاده می‌شود. آزمون مخرب مکانیکی شامل قرار دادن نمونه تحت فشار و یا کشش ناشی از اعمال نیرو توسط پراب است. از آزمون‌هایی که در ارزیابی تردی مواد کشاورزی استفاده می‌شود میتوان به آزمون فشاری، کششی، پیچشی و خمش سه نقطه‌ای اشاره کرد. هر کدام از پارامترهای آزمون مکانیکی را می‌توان به یکی از خصوصیات حسی مرتبط ساخت. به عنوان مثال از بیشینه نیرو میتوان به سختی ماده و یا از سطح زیر نمودار تا نقطه شکست به عنوان انرژی فرآیند چاوش نام برد. در مطالعه‌ای رابطه‌ی خوبی میان نسبت کار تا نقطه شکست به کار کل با میزان تردی گزارش شده توسط آزمون چشایی، گزارش شد (Szczesniak, 1963).از عیوب این آزمون میتوان به فقدان رابطه‌ی کامل با نتایج آزمون حسی و همچنین ضعف در انجام آن برای محصولاتی با اشکال نا متعارف اشاره کرد که این امر را با افزودن بعد آکوستیکی به آزمون می‌توان بهبود بخشید. برای برقراری رابطه‌ای مستحکم میان آوای منتشر شده از نمونه و پارامترهای بدست آمده از آزمون مکانیکی (ابزاری)، که همان پارامترهای شکست می-باشند، محققین شناخت ساختار داخلی محصولات و یا همان علم مورفولوژی را پیشنهاد کردند (Saeleaw and Schleining, 2011). برخی محققین مبحث مورفولوژی مرتبط با این قسمت، را به سه پارامتر تخلخل، اندازه و شکل سلول ها و تعداد دیواره های سلولی شکسته محدود کردند (Luyten *et al*.,2004). پریمو و همکاران در یافتند که ساختار سلولی خمیر تاثیر بسزایی بر بافت، شکل و خصوصیات مکانیکی و سرانجام تردی پوسته وگوشت نان دارد. پس مطالعه میکرو ساختار مواد سلولی با توجه به تاثیر آن بر صدای منتشر شده و در نتیجه تردی و رضایتمندی مشتری، نقش مهمی را در این علم بازی می‌کند. برای مطالعه بر روی ساختار محصول در ابعاد میکرو و نانو متر بایستی بتوان تصاویری قابل فهم برای تجزیه و تحلیل در این بخش فراهم آوریم. علم امروز تصویر برداری با میکروسکوپ الکترونی (SEM[1])، پرتو نگاری اشعه ایکس در ابعاد میکرو و نانو (μct[2], ηct[3]) و

[1] scanning electron microscopy
[2] micro computed tomography
[3] nano computed tomography

میکروسکوپ الکترونی محیطی(ESEM[1]) که ساختار سطحی و داخلی نمونه را بصورت بسیار نزدیک (در حد نمایش دیواره های سلولی) به ما نمایش میدهد، فراهم آورده است. امروزه از روش پرتو نگاری اشعه ایکس در ابعاد میکرو و نانو به دلیل عدم نیاز به تهیه نمونه برای عکس برداری، قدرت نفوذ پرتوها در شکل کامل نمونه، قدرت تفکیک بالا و همچنین ارائه تصاویر سه بعدی از ساختار نمونه بیشتر استفاده می‌شود (Primo-Martín *et al.*, 2010).

در آنالیز بافت به روش نوین به بررسی خصوصیات مکانیکی و آکوستیکی به صورت توام پرداخته می‌شود. محققین پدیده‌ی نشر صوت هنگام گسیختگی مکانیکی محصولات ترد را با استفاده از قانون اول و دوم ترمودینامیک تحلیل کردند. آنها بین رفتار کشسانی نمونه و نشر صوت هنگام شکست ارتباط خوبی یافتند. مواد ترد در فرآیند شکست و دقیقا قبل از وقوع آن در یک وضعیت بسیار ناپایدار که موجب ایجاد لرزش در بدنه آنها می‌شود به سر می‌برند. در این لحظه می‌توان اتم‌ها را با فنرهایی به هم متصل فرض کرد که توانایی ایجاد لرزش با بقیه اتم‌ها و همچنین هوای اطراف خود را دارد. با شکست نمونه پیوند برخی از این اتم‌ها شکسته و باعث گسیختگی دیواره سولی که تشکیل داده بودند می‌شود. بقیه اتم‌ها که به این گسیختگی نرسیدند با توجه به خاصیت الاستیک خود به حالت پایدار قبلی برمی‌گردند. این گونه موج صوتی ایجاد می‌گردد (Chakra *et al.*, 1996). همانطور که گفته شد درک اولین شخصی بود که به بررسی صوت هنگام گسیخته شدن مواد غذایی علاقه مند شد. او دریافت که دامنه‌ی میانگین صوت با تردی رابطه‌ی مناسبی دارد (Drake, 1965). ویکر نیز به ضبط صدای جویدن محصولات ترد پرداخت. او دریافت که هرچه محصول ترد تر باشد، دامنه و همچنین تعداد قله بیشتری در نمودار صوتی خود دارد (Vickers and Bourne, 1976).



شکل ۱. دو روش اصلی ضبط صدای گسیختگی

همچنین بسیاری از محققان رابطه‌ی خوبی میان رطوبت نمونه (غلات) و شدت صوتی که از نمونه خارج می‌شود، مشاهده کردند (Roudaut *et al.*, 1998). برخی میزان تردی چند نوع بیسکویت را بوسیله ترکیب دستگاه آنالیز بافت (نمونه بسیار ساده دستگاه آزمون کشش و فشار) و تراز سنج صدای صوت با استفاده از تعداد پیک های صوتی به همراه بیشینه تراز فشار صوتی و مشتق دوم نمودار نیرو جابجایی بررسی کردند. آنها رابطه‌ی خوبی میان گزارشات آزمون چشایی و تعداد رویدادهای صوتی در کل، واحد زمان

[1] environmental scanning electron microscopy

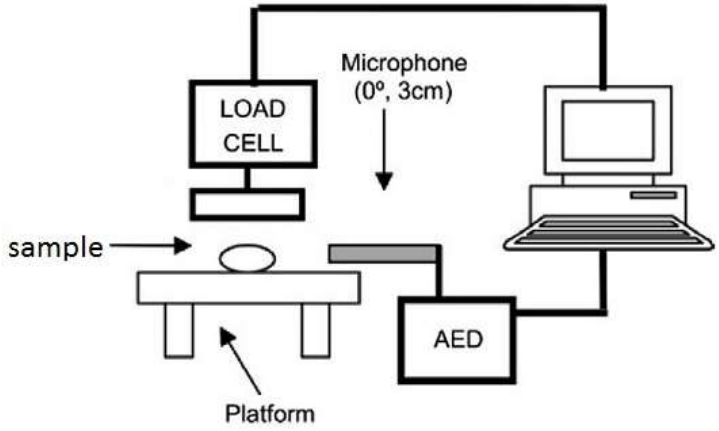
و واحد مساحت یافتند ولی فرکانس رویدادهای صوتی بیشتر به تمییز قرار دادن نوع بیسکوییت‌ها کمک میکرد. همچنین بلندی صدای نمونه در هنگام فشار توسط دستگاه بیشتر از وقتی بود که در دهان افراد گروه آزمون چشایی جویده می‌شد (Chen *et al.*, 2005). میزان تردی کورن فلکس را با استفاده از دستگاه جامع تست کشش و فشار (سلول کرامر) و سیستم ضبط صدای گسیختگی، بررسی شد و این نتیجه که فلک های ترد دارای صدایی با دامنه بالا، تعداد پیک های صوتی بیشتر و نیروی گسیختکی متعادل تری نسبت به فلک های غیر ترد دارند نیز گزارش شد (Chaunier *et al.*,2005). تردی بادام بو داده شده در آون ۲۰۰ درجه با زمانهای مختلف سرخ شدن را با همان پارامتر های قبلی ولی با روشی تحلیل متفاوت (PCA[1]) در تحلیل داده-های حاصله نیز بررسی کردند (Varela *et al.*, 2006). میزان تردی نان در رطوبت های مختلف نیز بررسی شد. آنها دریافتند که در رطوبت های پایین تر و تردی بیشتر کار تا گسیختگی، کمتر و تعداد پیک های صوتی و نیرویی بیشتر می‌باشد (Primo-Martín *et al.*, 2010). با استفاده از دستگاه تست جامع کشش و فشار و بررسی صوتی، میزان تردی نوعی بیسکوییت در رطوبت های مختلف با استفاده از رابطه فرمی مدل شد. آنها دریافتند که با افزایش میزان رطوبت، تعداد پیک‌های صوتی، سطح زیر نمودار نیرو و دامنه‌ی صوتی در حوزه ی زمان و همچنین طول این نمودار ها و فرکانس صدای خروجی از نمونه کاهش می‌یابد (Arimi *et al.*, 2010). تانیواکی و همکاران تردی چیپس را با همین تجهیزات بررسی کردند ولی در غیبت نقطه‌ی گسیختگی اصلی آن. آنها دریافتند تعداد پیک های نیرویی و دامنه آنها با تعداد پیک های صوتی در همان نقطه رابطه داشته و انرژی تخلیه شده بعد از این پیک در غالب انرژی کرنشی و صوتی از نمونه خارج می‌شود. آنها تاکیید داشتند که تردی را باید در تمام مسیر گسیختگی و نه فقط در نقطه‌ی گسیختگی اصلی بررسی کرد (Taniwaki and Kohyama, 2012). در مطالعه‌ای دیگر تردی نوعی نان با استفاده از روش مکانیکی، صوتی و تماسی بدست آورده شد (روش تماسی در ادامه ذکر می‌شود) (Gondek *et al.*, 2013). برخی به تحقیق در باره‌ی میزان تردی از طریق قرار دادن یک میکروفون داخل گوش انسان و ضبط صدای حاصل از جویدن پرداختند. آنها دانگ‌های متفاوتی از جویدن مواد با تردی متفاوت مشاهده کردند (De Belie *et al.*,2003). تردی مهمتری خصوصیت بافتی محصولات کم رطوبت و خشک است و استفاده از روش آنالیز بافت ترکیبی مکانیکی آکوستیکی بهترین توصیف از تردی را نسبت به هر روش تنهای دیگری به ما میدهد.

مواد و روش‌ها

امروزه از تجهیزات صوتی در ارزیابی بافت محصولات غذایی به وفور استفاده می‌شود. ازآنجایی که صدای تولیدی توسط جویدن به عوامل فردی از قبیل اندازه فک و سر، سطح درگیری نمونه با دندان، الگوی جویدن و یا باز یا بسته بودن دهان بستگی

[1] principal component analysis

شدیدی دارد لذا از آزمون با دستگاه بیشتر استقبال می‌شود (Taniwaki *et al.*, 2010). لذا برای این امر از سامانه‌ای مطابق شکل استفاده می‌شود.



شکل ۲. سامانه‌ی آنالیز بافت مکانیکی- آکوستیکی (Varela *et al.*, 2006)

همانطور که انسان با گوش خود صدا، با دندان نیرو و با مغز خود هر دو مورد قبلی را تحلیل کرده و تفسیری از میزان تردی به ما می‌دهد، به ترتیب میکروفون، نیرو سنج و رایانه نیز می‌تواند این فرآیند را شبیه سازی و گزارشی مطلوب ارائه کند (Taniwaki et al., 2006). قسمت اولیه‌ی سامانه از یک دستگاه آزمون جامع کشش و فشار که با اعمال نیرو با سرعتی از پیش تعیین شده بر نمونه، عکس‌العمل آن را توسط یک نیرو سنج ثبت می‌کند، تشکیل شده است. برای شبیه سازی هرچه بهتر فرآیند چاوش از نیروی فشاری عمود بر نمونه استفاده می‌شود. با اعمال نیرو بر نمونه همانطور که گفته شد دیواره ها دچار شکست و ایجاد لرزش در خود می‌شوند که این لرزش از دو دو طریق هوا و پراب دستگاه که به ترتیب شبیه ساز حس لرزش توسط گوش و اعصاب دندان هستند انتقال می‌یابد. در سامانه شکل ۲ به بررسی لرزش انتقالی توسط هوا که همان صوت است پرداخته می‌شود. هر سامانه‌ی صوتی از سه بخش موج صوتی تولید شده، واحد آشکار ساز که شامل ضبط و پردازش صوت است و واحد استخراج موارد خواسته شده از داده‌های صوتی می‌باشد. با توجه به شکل ۲ دو دسته داده‌ی مکانیکی و آکوستیکی که هرکدام توسط مبدل نیرویی و مبدل صوتی به سیستم کنترل وارد می‌شود وجود دارد. سامانه‌ی کنترلی برای داده‌های مکانیکی پارامتر هایی مانند بیشینه نیرو و کار تا نقطه شکست و برای کنترل آکوستیکی مانند انرژی در هر فرکانس و توزیع انرژی در حوزه زمان را گزارش می‌کند.

مطابق شکل سامانه‌ی صوتی مورد استفاده از یک میکروفون[1] بسیار دقیق که عمدتا از نوع پیزوالکتریک (مبدل الکتروآکوستیکی که فشار صوتی را به ولتاژ تبدیل می‌کند)، یک پیش تقویت کننده[2]، واحد پردازش سیگنال و واحد نمونه برداری و ذخیره نتایج

[1] prepolarized free field microphone
[2] preamplifier

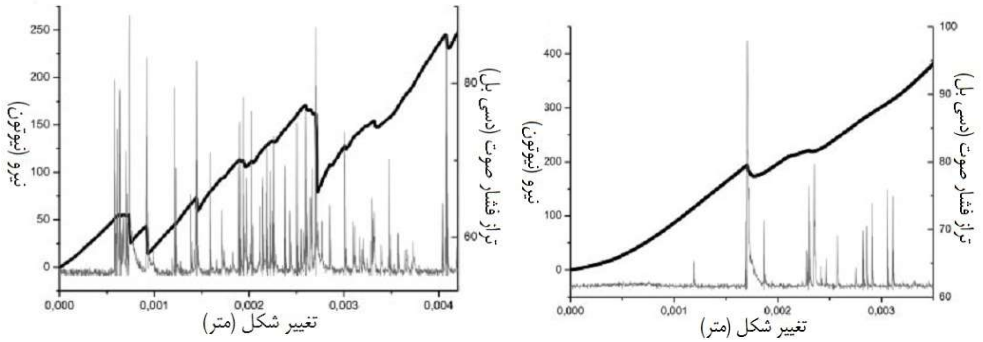
بدست آمده، تشکیل می‌شود (Piazza *et al.*,2007). در مطالعه‌ای به بررسی زاویه و همچنین فاصله میکروفون تا نمونه پرداختند. آنها دریافتند زاویه میکروفون تاثیر کوچکی بر سیگنال داشت ولی با افزایش فاصله قدرت سیگنال به طور معنی داری کاهش یافت (Chen *et al.*,2005). به دلیل اینکه سیگنال خروجی میکروفون و همچنین نیرو سنج آنالوگ است باید از آن نمونه برداری کرده تا دیجیتال شود. نرخ نمونه برداری و کیفیت سامانه‌ی نمونه‌برداری نیز تاثیر بسزایی در این بخش دارد به صورتی که کمینه‌ی آن ۲۰۰ داده بر ثانیه و حالت بهینه‌ی آن ۵۰۰ داده بر ثانیه است (Norton *et al.*,1998; Chen *et al.*, 2005).

نتایج و بحث

برای درک و فهم بهتر داده‌های بدست آمده از نمودار نیرویی باید پس زمینه‌ی علم مکانیک را در ذهن خود داشته باشیم. با افزایش نیرو در نمودار محصولات ترد یک سری پیک نیرویی مشاهده می‌شود که هر کدام بیانگر شکست دیواره‌ی سلولی هستند در حالی که در نمودار محصولات انعطاف پذیر تا نقطه‌ی گسیختگی اصلی هیچ قله‌ی نیرویی مشاهده نمی‌شود چرا که دیواره‌های سلولی، انعطاف زیادی در مقبل تغییر شکل نشان می‌دهند (Saeleaw and Schleining, 2011). برای مثال برخی از شیب نمودار نیرو تغییر شکل تا نقطه‌ی شکست به عنوان سختی و یا تردی نام بردند. همچنین افت نیرو بعد از قله‌ی اصلی نیرو در این نمودار را با سطحی که گسیخته می‌شود مرتبط ساختند و این افت را با آزاد سازی انرژی کرنشی معادل دانستند (Varela *et al.*, 2006; Vincent *et al.*, 1998).

موجی که توسط هوا منتقل می‌شود در غالب امواج صوتی و فراصوتی است و بررسی هر کدام، رابطه‌ای با فرآیند شکست به ما ارائه می‌دهد. برای مثال قبل از رسیدن نمودار نیرویی به قله خود، آغاز شکست سلول‌های ضعیف تر را از نمودار صوتی شاهدیم. یا درجه‌ی تخریب نمونه را از انرژی آکوستیکی آزاد شده یا بلندی صدا می‌توان دریافت. از فرکانس یا همان دانگ صوت در هر مرحله می‌توان پی به نوع گسیختگی در نمونه برد (Saeleaw and Schleining, 2011). در این زمینه محققین به اندازه‌گیری پارامترهایی از قبیل میانگین دامنه صوت، تعداد رخدادهای صوتی، طول زمانی که نمونه از خود تحت بار صدا آزاد می‌کند، انرژی آکوستیکی که نمونه از خود آزاد می‌کند و یا استخراج فرکانس‌های اصلی صدا با استفاده از تبدیل فوریه به حوزه‌ی فرکانس و یا ترکیبی از چند مورد پرداخته اند (Duizer, 2001).

با توجه به تحقیق وارلا و همکاران در تعیین تردی بادام می‌توان از نمودار نیرو تغییر شکل که با نمودار تراز فشار صوتی در حوزه-ی زمان که به شکل همزمان رسم شده مواردی را دریافت.



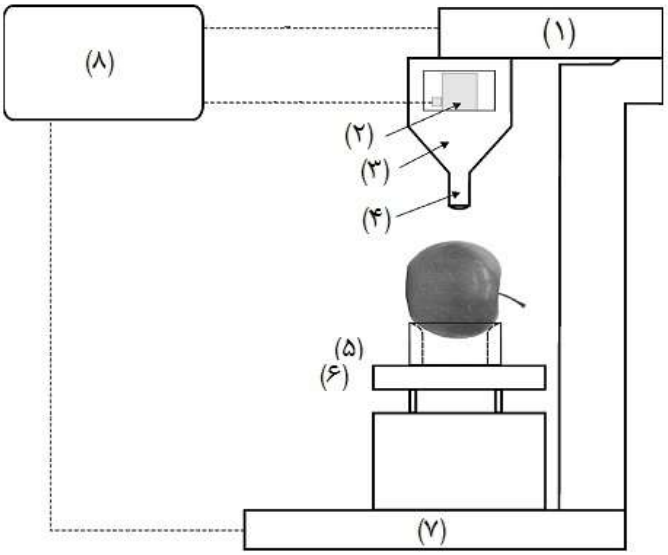
شکل ۳. راست: بادام خام چپ: بادام سرخ شده

با توجه به شکل نمونه‌ی سرخ شده دارای پیک‌های نیرویی و همچنین صوتی بیشتری است و دامنه‌ی این پیک‌ها نیز نسبت به نمونه‌ی خام بیشتر بوده که حاکی از افزایش تردی آن است. پیک‌های صوتی و نیرویی در ابتدای نمودار مربوط به پوسته بادام و در انتهای نمودار که نیروی بیشتری نیز دارد مربوط به گوشت اصلی بادام است. پارامترهای اساسی برای هر دو نمودار مکانیکی و آکوستیکی باید استخراج شود. پارامترهای مکانیکی عبارتند از بیشینه‌ی نیرو در نمودار، تعداد پیک‌های نیرویی و سطح زیر نمودار، و پارامتر های آکوستیکی عبارتند از تعداد پیک‌های صوتی یا همان رخدادهای صوتی، دامنه‌ی بیشینه‌ی پیک صوتی، میانگین دامنه-ی پیک‌های نیرویی و نمودار صوت در حوزه فرکانس (Saeleaw and Schleining, 2011).

روش‌های دیگر

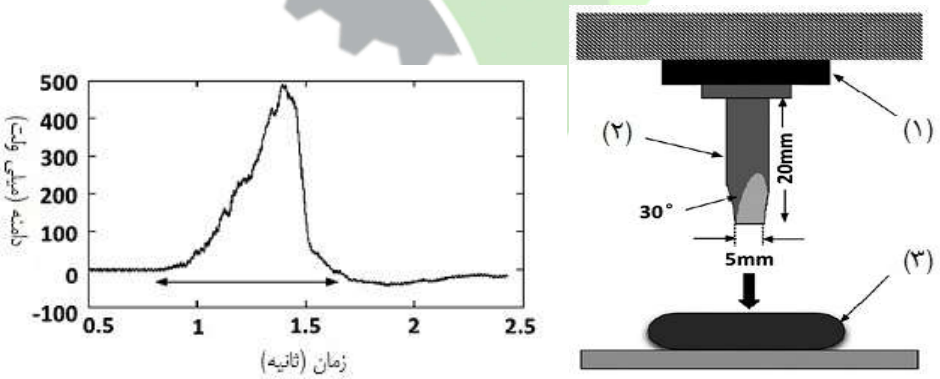
مسیر دوم انتقال لرزش همانطور که گفته شد از راه دندان و استخوان‌های فک می‌باشد که با توجه به دستگاه آزمون جامع این لرزش بایستی پس از گذر از پراب دستگاه اندازه‌گیری شود. برای این امر، سنسورهای آکوستیکی تماسی[1] که در ارزیابی سازه-های بتنی مورد استفاده قرار میگیرد به کار برده میشود (Zdunek *et al.*,2010). محققین در این مطالعه به بررسی رابطه بین پارامترهای بدست آمده از این آزمون و آزمون چشایی پرداختند و مدلی برای تخمین نتایج آزمون چشایی در هفت واریته سیب و تیمار های مختلف انبار داری استخراج شد.

[1] contact acoustic sensor



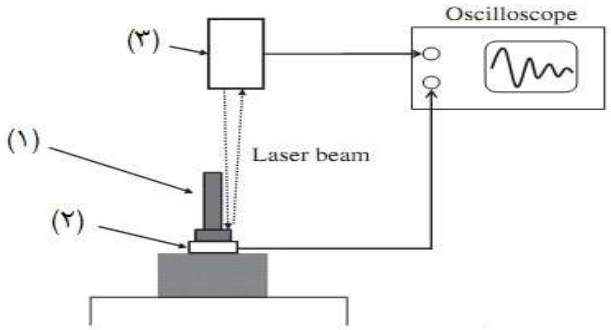
شکل ۴. (۱): نیرو سنج (۲): سنسور آکوستیک امیشن (۳): نوک محفظه‌ی آکوستیک (۴): پراب آزمون سفتی (۵): پایه‌ی نگهدارنده‌ی تفلونی (۶): پایه‌ی بالا رونده (۷): موتو محرک پایه (۸): واحد کنترل سامانه (نمایش پارامترهای آکوستیکی و سفتی نمونه) (Zdunek *et al.*,2010)

این آزمون با روشی دیگر، بوسیله‌ی اتصال یک واحد پیزوالکتریک بین پراب فرو رونده در میوه و قسمتی که پراب را به نیرو سنج متصل می‌کند نیز انجام می‌شود(شکل ۵). لرزش پراب از طریق واحد پیزوالکتریک به ولتاژ و بقیه مراحل نیز بصورت سامانه-های ذکر شده صورت می‌پذیرد. مقادیری مانند سطح زیر نمودار پاسخ زمانی پیزو الکتریک، به عنوان پارامترهایی با تردی گزارش شده از آزمون چشایی مقایسه می‌گردد(Taniwaki *et al.*,2009).



شکل ۵. سمت راست: سامانه‌ی اندازه‌گیری لرزش (۱): واحد پیزوالکتریک (۲): پراب با زاویه ۳۰ درجه در نوک (۳): نمونه سمت چپ: نمودار پاسخ زمانی پیزوالکتریک

روشی دیگر که می‌توان در این بخش استفاده کرد، ارسال پرتو لیزر به سطحی متصل به پراب می‌باشد. با کالیبراسیون رابطه‌ی بین سرعت پرتوی تابیده شده و بازتاب شده ، می‌توان لرزش را بررسی نمود (Iwatani *et al.*,2013).



شکل ۶. (۱): پراب دستگاه (۲):نمونه (۳): لرزش سنج لیزری دوپلر

جزئیات روش‌های انتقال لرزش از طریق پراب به صورت مفصل در مراجع ذکر شده موجود می‌باشد.

نتیجه گیری کلی

ارزیابی بافت یکی از مهمترین روش‌های تعیین کیفیت و بازار پسندی محصولات غذایی می‌باشد که به دو روش آزمون چشایی و آزمون ابزاری صورت می‌گیرد. به علت هزینه و زمان زیادی که آزمون چشایی به خود اختصاص می‌دهد، صرفه با استفاده از آزمون ابزاری می‌باشد. ولی نتایج این آزمون باید با استفاده از نتایج آزمون چشایی کالیبره شده تا بتواند احساس انسان از خوردن یک ماده‌ی غذایی را شبیه سازی کند. در این میان چون احساس تردی یکی از پرطرفدار ترین مزه‌ها بوده لذا از آزمون مکانیکی به همراه بررسی آکوستیکی که هم احساس جویدن و هم احساس صدای ماده ترد را شبیه سازی می‌کند استفاده می‌شود. ارزیابی تردی محصولات غذایی مسئله‌ای باز بوده و بسیاری از محققان در پی ایجاد رابطه‌ای مستحکم میان نتایج آزمون چشایی و ابزاری بوده و در حال گسترش این علم می‌باشند.

منابع

1. Arimi, J.M., E. Duggan, M. O'Sullivan, J.G. Lyng, E.D. O'Riordan. 2010. Effect of water activity on the crispiness of a biscuit (Crackerbread): mechanical and acoustic evaluation. Food Research International. 43 (6), 1650–1655.
2. Chakra, W., K. Allaf, A.B. Jemai. 1996. Characterization of brittle food products: application of the acoustic emission method. Journal of Texture Studies. 27 (3), 327–348.
3. Chaunier, L., P. Courcoux, G.D. Valle, D. Lourdin. 2005. Physical and sensory evaluation of cornflakes crispness. Journal of Texture Studies. 36 (1), 93–118.
4. Chen, J., C. Karlsson, M. Povey. 2005. Acoustic envelope detector for crispness assessment of biscuits. Journal of Texture Studies. 36 (2), 139–156.

5. Chen, L., and, U. Opara. 2013. exture measurement approaches in fresh and processed foods — A review. Food Research International, 51,823–835.
6. Costa, F., L. Cappellin, S. Longhi, W. Guerra, P. Magnag, D. Porro, C. Soukoulis, S. Salvi, R. Velasco, F. Biasioli, F. Gasperi. 2011. Assessment of apple (Malusdomestica Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. Postharvest Biology and Technology. 61 (1), 21–28.
7. De Belie, N., M. Sivertsvik, J. De Baerdemaeker, 2003. Differences in chewing sounds of dry-crisp snacks by multivariate data analysis. Journal of Sound and Vibration. 266 (3), 625–643.
8. Drake, B.K. 1965. Food Crushing Sounds: Comparisons of Objective and Subjective Data. journal of Food Science. 30, 556–559.
9. Duizer, L.,. 2001. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. Trends in Food Science & Technology.12 (1), 17–24.
10. Gondek, E., E. Jakubczyk, E. Herremans, B. Verlinden, M. Hertog, T. Vandendriessche, P. Verboven, A. Antoniuk, E. Bongaers, P. Estrade,B.M. Nicolai. 2013. Acoustic, mechanical and microstructural properties of extruded crispbread. Journal of Cereal Science. 58, 132-139.
11. Iwatani, S. I., H. Akimoto, N. Sakuria. 2013. Acoustic vibration method for food texture evaluation using an accelerometer sensor. journal of food engineering. 115, 26-32.
12. Konopacka, D., and, w.j. Plocharski. 2004. Effect of storage conditions on the relationship between apple firmness and texture acceptability. Postharvest Biology and Technology. 32 (2), 205–211.
13. Luyten, H., J.J. Plijter, T.V. Vliet. 2004. Crisp/Crunchy crusts of cellular foods: a literature review with discussion. Journal of Texture Studies. 35 (5), 445– 492.
14. Norton, C.R.T., J.R. Mitchell, J.M.V. Blanshard. 1998. Fractal determinatin of crisp or crackly textures. Journal of Texture Studies. 29 (3), 239–253.
15. Piazza, L., J. Gigli, D. Ballabio. 2007. On the application of chemometrics for the study of acoustic–mechanical properties of crispy bakery products. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 86 (1), 52–59.
16. Primo-Martín, C., G. van Dalen, M.B.J. Meinders, A. Don, R.H. Hamer, T. van Vliet. 2010. Bread crispness and morphology can be controlled by proving conditions. Food Research International . 43 (1), 207–217.
17. Roudaut, G., C. Dacremont, , M.L. Meste. 1998. Influence of water on the crispness of cereal-based foods: acoustic, mechanical, and sensory studies. Journal of Texture Studies. 29 (2), 199–213.
18. Roudaut, G., C. Dacremont, B. Vallès Pàmies, B. Colas, M. Le Meste. 2002. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. Trends in Food Science & Technology. 13 (6–7), 217–227.
19. Saeleaw, M., and, G. Schleining. 2011. A review: crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic-mechanical destructive techniques. Journal of Food Engineering. 105 (3), 387–399.
20. Szczesniak, A.S.,. 1963. Classification of textural characteristics. Journal of Food Science. 28 (4), 385–389.

21. Szczesniak, A.S., 1988. The meaning of textural characteristics – crisp . Journal of Texture Studies. 19 (1), 51–59.
22. Taniwaki, M., T. Hanada, N. Sakurai. 2006. Device for acoustic measurement of food texture using a piezoelectric sensor. Food Research International. 39 (10), 1099–1105.
23. Taniwaki, M., T. Hanada, , N. Sakurai. 2009. Postharvest quality evaluation of ‘‘Fuyu’’ and ‘‘Taishuu’’ persimmons using a nondestructive vibrational method and an acoustic vibration technique. Postharvest Biology and Technology 51 (1), 80–85.
24. Taniwaki, M., N. Sakurai, H. Kato. 2010. Texture measurement of potato chips using a novel analysis technique for acoustic vibration measurements. Food Research Internationa. 43 (3), 814–818.
25. Taniwaki, M., K. Kohyama. 2012. Mechanical and acoustic evaluation of potato chips crisp using a versatile texture analyzer. Journal of Food Engineering 112, 268e273.
26. Varela, P., J. Chen, S. Fiszman, M.J.W. Povey. 2006. Crispness assessment of roasted almonds by an integrated approach to texture description: texture, acoustics, sensory and structure. Journal of Chemo metrics. 20 (6–7), 311–320.
27. Vickers, Z.M. and, M.C. Bourne. 1976. A Psycho acoustical Theory of Crispness. Journal of Food Scienc. 41, 1158 –1164-
28. Vickers, Z.M.,. 1983. Pleasantness of food sounds. Journal of Food Science. 48 (3), 783 786.
29. Vincent, J.F.V., 1998. The quantification of crispness. Journal of the Science of Food and Agriculture. 78 (2), 162–168.
30. Zdunek, A., J. Cybulska, , D. Konopacka, , K. Rutkowski. 2010. New contact acoustic emission detector for texture evaluation of apples. Journal of Food Engineering. 99, 83–91.

Review of Textural Analyses using Mechanical-Acoustic Measurements

Pedram Shoa[1*] Abbas Hemmat[2]

1- MS student, Department of Farm Machinery, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
2- Professor, Department of Farm Machinery, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
*Email: pedramshoa@gmail.com

Abstract

Texture is one of key quality measurements in fresh and processed agricultural products. textural properties have important role in food production chain such as perfect harvesting time, postharvest conditioning, processing operations and acceptability of consumer. as the feeling of crispness, mildness or crunchiness comes from texture, it can be an important in consumer acceptance. among these, crispness gives the sense of freshness and therefore is most important attribute affecting consumer acceptability. crisp product, is a hard, brittle comestible with producing a typical sound at fracture point which divided to dry and wet crisp products such as potato chips, and apples. Currently crispness is measured with sensory, mechanical and morphological variables, but costly and time consuming sensory tests tends experts to use new instrumental methods with computer analysis. in this study, acoustic mechanical measurement method were investigated for texture analyzing of crisp products that uses universal testing machine with help of acoustic envelopment detector and computer analysis.

keywords: crispiness, mechanical acoustic test, sensory test, texture analyzing