تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۵

فراصوت تشخیصی، روشی غیرمخرب در کیفیت سنجی محصولات کشاورزی-غذایی

محمدرضا زارع‌زاده[۱]، محمد ابونجمی[۲]*

[۱] دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
[۲] دانشیار، گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
* abonajmi@ut.ac.ir

چکیده

روش‌های متعددی برای ارزیابی کیفیت و تعیین تقلب در مواد غذایی و محصولات کشاورزی وجود دارد. این روش‌ها می‌تواند به صورت مخرب و یا غیرمخرب باشد. مزیت سامانه های غیرمخرب، استفاده از نمونه پس از آزمون بوده همچنین می‌توان تمام مواد را مورد آزمون قرار داد، درحالی‌که در روش مخرب به علت تخریب ماده، بایستی آزمایش‌ها بر روی نمونه‌ها صورت گیرد. یکی از آزمون‌های غیرمخرب روش فراصوتی است که می‌تواند در تعیین کیفیت محصولات کشاورزی و دامی و فرآورده‌های آن‌ها مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌توان با فناوری فراصوت از ایمنی مواد غذایی همچون وجود مواد خارجی مثل سنگ، شیشه و.. اطلاع حاصل کرد. فراصوت یک روش تشخیصی غیر مخرب، سریع، کم هزینه، قابل حمل و دوستدار محیط زیست می‌باشد که به آسانی قابل استفاده توسط هرشخص بوده و استفاده از آن، نیاز به مهارت خاص و پیچیده ندارد. در این بررسی کاربردهای فراصوت تشخیصی به سه دسته تقسیم بندی شده و هرکدام به طور مجزا بحث شده است. این طبقه بندی شامل تشخیص تقلب و تعیین کیفیت محصولات کشاورزی، محصولات دامی و طیور و روغن ها، آب میوه ها و مایعات می باشند. در انتها چالش‌ها و مشکلات استفاده از روش فراصوتی بحث و جمع‌بندی شده و روش‌های کاهش این مشکلات و بهینه کردن و افزایش راندمان آورده شده است.

واژگان کلیدی: فراصوت، غیرمخرب، مواد غذایی، کیفیت، تقلب

۱- مقدمه

کیفیت مواد غذایی از جنبه‌ها و پارامترهای مختلفی بررسی و ارزیابی می‌گردند که هدف نهایی، کسب حداکثر رضایت مصرف‌کنندگان است. این پارامترها به دسته‌های کلی مکانیکی، ظاهری و درونی تقسیم می‌شوند. برای اندازه‌گیری این پارامترهای مختلف و بسته به نوع ماده غذایی و ویژگی‌های ماده بسته‌بندی، روش‌های مختلفی همچون ماشین‌بینایی برای بررسی پارامترهای ظاهری، فراصوتی برای تشخیص و تعیین خواص درونی و یا تشخیص اشیای خارجی در مواد غذایی بسته بندی شده، ماشین-بویایی برای تعیین خواص بویایی، آزمون ضربه برای تعیین خواص آسابانی محصولاتی مثل غلات، طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (NIR)[۱] و بسیاری روش‌های دیگر می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند [۱-۷]. ملاک انتخاب مواد غذایی برای مصرف‌کنندگان در مرحله‌ی اول بر اساس ظاهر آن ماده غذایی می‌باشد، چون ظاهر و رنگ محصول در آن لحظه در اغلب مواقع تنها فاکتورهای کیفی در دسترس بوده که اطلاعات مستقیم از ماده‌ی غذایی را در اختیار قرار می‌دهند. ارزیابی کیفی مواد غذایی به خصوص زمانی که ظاهر ماده‌ی غذایی و محصول کشاورزی رابطه‌ای با کیفیت آن ندارد، به سختی صورت می‌گیرد. روش‌های مختلف ارزیابی کیفی مواد غذایی و محصولات کشاورزی شامل روش‌های مخرب[۲] و غیرمخرب[۳] می‌شود. آزمایش‌هایی غیرمخرب محسوب می‌شوند که اثرات مخرب فتوفیزیکی، حرارتی، شیمیایی، مکانیکی و فتوشیمیایی نداشته باشند[۸]. اغلب تقلب‌های متداول امروزی، بیشتر در مواد غذایی پرمصرف مانند روغن‌های گیاهی، آب‌لیمو، فرآورده‌های غلات، فرآورده‌های لبنی، فرآورده‌های گوشتی، ادویه‌جات، عسل، چای و برخی فرآورده‌های کنسروی مانند رب گوجه فرنگی صورت می‌گیرد که ارزیابی دقیق و سریع میزان اصالت آنها حائز

[1] Near Infrared
[2] Destructive
[3] Non-Destructive

www.SID.ir

اهمیت است؛ این موضوع بخصوص زمانی‌که محصول دارای قیمت بالا می‌باشد، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند[۹ و ۱۰].

در این مقاله کاربرد فراصوت تشخیصی در تعیین کیفیت و تشخیص تقلب در محصولات کشاورزی، دامی و نوشیدنی-ها به عنوان یک روش موثر، کم هزینه و قدرتمند بررسی و بحث خواهد شد.

۲- فراصوت

این روش بر مبنای اختلاف سرعت عبور صوت، ضریب تضعیف و ... که در مواد مختلف مشاهده می‌شود، عمل می-کند. برای این کار از یک فرستنده امواج فراصوتی در یک سمت و یک گیرنده امواج در طرف مقابل آن استفاده می-شود و یا تنها از یک عدد حسگر ارسال و دریافت[1] موج استفاده می‌شود. فراصوت امواج درون محدوده ۲۰ کیلوهرتز تا ۱۰ مگاهرتز را شامل می‌شود که مطابق شکل۱ به سه ناحیه اصلی طبقه بندی می‌شوند: فراصوت فرکانس پایین-توان بالا (۲۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز)، فراصوت توان متوسط - فرکانس متوسط (۱۰۰ کیلوهرتز تا یک مگاهرتز) و فراصوت فرکانس بالا - توان پایین (یک تا ده مگاهرتز). معمولاً از فراصوت تشخیصی[2] با توان پایین برای شدت‌های کمتر از یک وات بر سانتی‌متر مربع استفاده می‌شود که می‌تواند برای آنالیز غیر تهاجمی و پایش انواع مواد غذایی و همچنین اشیای خارجی در طی فرایند فرآوری و انبارداری جهت حصول اطمینان از کیفیت بالا و ایمنی مورد استفاده قرار گیرد [۱۲ و ۱۳]. فراصوت قدرتی (بسامد ۱۰۰-۲۰ کیلوهرتز و توان $W.cm^{-2}$ ۱۰۰۰۰-۱۰) کاربردهای مختلفی در صنایع غذایی دارند و شامل خشک کردن، استخراج روغن، هموژنیزاسیون، برش، گاززدایی، ترد کردن گوشت، فیلتراسیون، تعیین کیفیت تخم‌مرغ، تشکیل امولسیون، استریلیزاسیون تجهیزات، کریستالیزاسیون چربی‌ها، تمیز کاری سطوح، شستشوی عمقی[3]، به عنوان کاتالیزور واکنش‌های اکسیداسیون و استخراج ترکیبات مولد عطر و طعم می‌باشد. البته فناوری‌های صوتی در بررسی مواد غذایی (تردی، سفتی و بافت)، تعیین خواص فیزیکی(اندازه، شکل، حجم و رطوبت)، درجه بندی و جداسازی مواد غذایی و.. نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد

سرعت فراصوت نسبت به ساختار مولکولی و ارتباطات بین مولکولی بسیار حساس است که از این نظر برای تعیین ترکیبات، ساختار و حالت فیزیکی، تشخیص اشیای خارجی و عیوب در مواد غذایی فرآوری و بسته بندی شده مناسب است. سرعت فراصوت در مواد جامد بیشتر از سرعت آن در مایعات و در مایعات بیشتر از آنِ گازها می‌باشد. هرچه ماده متراکم‌تر باشد، انتشار موج فراصوت سریع‌تر خواهد بود [۱۴-۲۳]. انرژی فراصوت به طور معناداری با فاصله ای که در محیط طی می‌کند، کاهش می‌یابد که نتیجه‌ای از کاهش دامنه سیگنال با طول مسیر می‌باشد. علاوه بر سرعت، ضریب تضعیف و امپدانس آکوستیکی، پارامترهای دیگری هستند که به جنس ماده بستگی دارند. وقتی امواج فراصوتی در یک ماده حرکت می‌کنند، به تدریج انرژی خود را از دست می‌دهند که تحت عنوان تضعیف بیان می‌شود. ضریب تضعیف (α) مطابق فرمول ۱ به دست می‌آید[۱۱]:

$$A=A_0 e^{-\alpha x} \qquad (1)$$

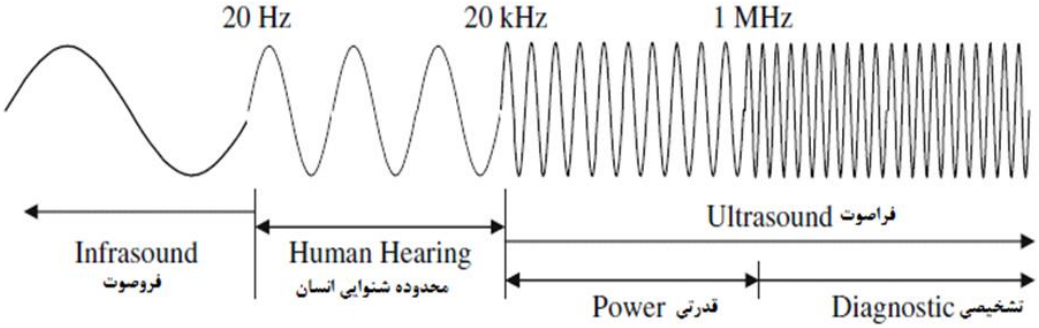
که در آن A_0 و A به ترتیب مقدار دامنه‌ی اولیه موج و دامنه‌ی موج تضعیف شده و x فاصله ای می‌باشد که موج در داخل ماده طی نموده است.

اصولا تضعیف با ضریب تضعیف که دارای واحد 1/cm یا dB/cm می‌باشد، شناخته می‌شود. پدیده‌ی تضعیف در اثر عواملی مثل ۱- بازتاب[4]، ۲- شکست[5]، ۳- جذب[6] و ۴- پراکندگی[7] اتفاق می‌افتد (شکل۲). فناوری فراصوت برای تشخیص تقلب مواد غذایی، یک روش ایمن، غیرتهاجی، ارزان و اغلب قابل حمل است که می‌تواند در تشخیص تقلب در روغن‌های خوراکی و سرخ کردنی، انواع میوه وآب‌میوه، انواع گوشت، نان و.. مورد استفاده قرار گرفته و برخلاف برخی روش‌های دیگر، باعث فساد فیزیکی یا بهداشتی نمی-گردد [۲۴]. جدول۱ لیستی از ضرایب تضعیف چند ماده را نشان می‌دهد.

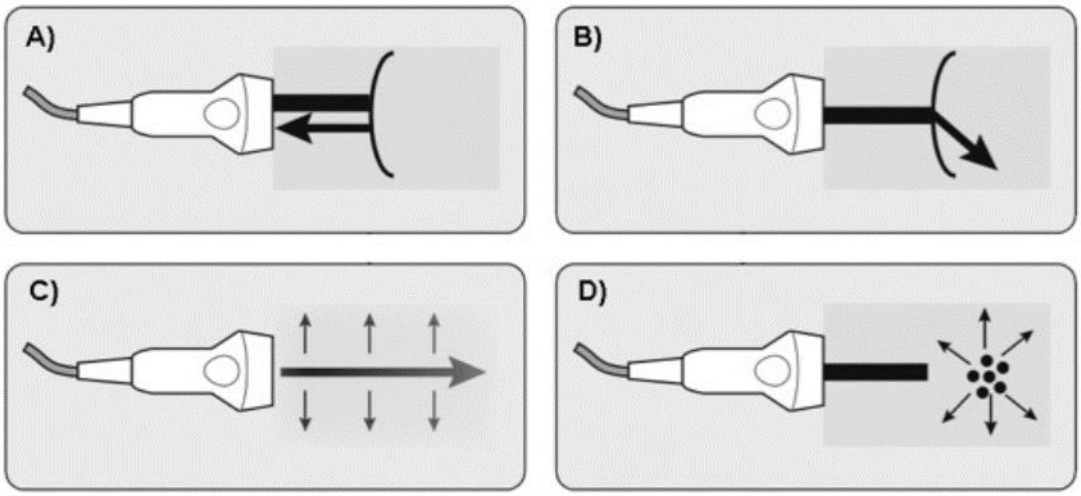
---

[1] Pulse-Echo
[2] Diagnostic ultrasound
[3] Deep washing
[4] reflection
[5] refraction
[6] absorption
[7] diffraction

www.SID.ir

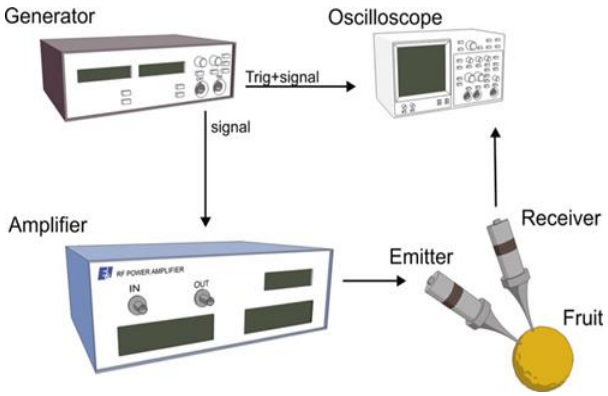


شکل ۱- دامنه فرکانسی طیف صوتی [۱۱]



شکل ۲- ۱. بازتاب، ۲. شکست، ۳- جذب و ۴- پراکندگی در امواج فراصوتی

کاربردهای فراصوت در صنایع غذایی روز به روز در حال افزایش است. ازجمله‌ی این کاربردها می‌توان در خشک کردن[۲۵]، هموژن کردن[۲۶]، فرآوری [۲۷]، از بین بردن میکروارگانیسم‌ها [۲۸]، تهیه امولسیون‌ها[۲۹]، استخراج روغن [۳۰]، اسانس و رنگدانه، تشخیص تقلب و تعیین کیفیت مواد غذایی، میزان رسیدگی محصولات کشاورزی [۳۱] و.. اشاره نمود. این موارد در دو دسته‌ی کلی فراصوت تشخیصی و فراصوت قدرتی[1] طبقه بندی می‌شوند. به کارگیری امواج فراصوتی برای کیفیت‌سنجی، نیازمند دانستن و اندازه گیری ویژگی های فراصوتی ماده مورد نظر است. با توجه به روش‌های اندازه‌گیری، ویژگی‌های فراصوتی مورد اندازه گیری متفاوت است. مهم‌ترین متغیر مورد اندازه‌گیری در حوزه زمان و میرایی، سرعت امواج و نوسانات سیگنال‌های عبوری/انعکاسی و ارسال در فرکانس و اندازه پرتو داده شده است. این دو خاصیت مهم را به طور خلاصه، سرعت فازی امواج فراصوتی و ضریب تضعیف یا میرایی می‌نامند که کاربردهای خاص آن‌ها در توصیف و ردیابی عیب، چگالی، خواص کشسانی مکانیکی است.



شکل ۳- سامانه فراصوتی تشخیصی [۵۲]

[1] Power Ultrasound

www.SID.ir

جدول شماره ۱- ویژگی‌های آکوستیکی چند ماده مختلف [۳۲-۳۷ و ۱۷]

Material	Velocity [m/s]	Impedance [kg/m² s] × 10⁶	Attenuation [Np/m]	Note
Air[1]	343	0.0004	138	1 MHz
Aluminum[1]	6320	17	0.21	1 MHz
Glass (crown)[4]	5660	14.15	2	10 MHz
Oriented nylon[3]	2600	2.9	148.5	5 MHz
Plexiglass[1]	2670	3.2	23	1 MHz
Polypropylene[3]	2740	2.4	58.7	5 MHz
Polystyrene[4]	2350	2.47	23	2.5 MHz
Polyvinylidene chloride (PVDC)[3]	2380	4.2		
PZT-5H (Lead zirconate titanate)[5]	4175	31.4	576	24 MHz
Stainless steel[2]	5660	45.45		
Water[1]	1480	1.48	0.025	1 MHz
Avocado[6]	338.1 ± 55.7		258 ± 43	50 kHz transducer, first day fruit
Cheddar cheese[7]	1669 ± 10			1 MHz transducer, 250-day average
Cherry marmalade: processed[8]	1420 ± 30	1.63 ± 0.03		5 MHz transducer
Cherry marmalade: unprocessed[8]	1330 ± 30	1.44 ± 0.03		5 MHz transducer
Chunk cheese: Jämtgård[8]	1842 ± 70	1.73 ± 0.06	7.97 ± 0.22	5 MHz transducer
Corn-oil-in-water[9]	1477		29	3 MHz, 20 wt % oil droplet mean diameter 1.5 μm
Margarine: extra salty[8]	1118 ± 20	1.21 ± 0.02	8.93 ± 0.46	5 MHz transducer
Margarine: normal salty[8]	1145 ± 130	1.28 ± 0.03	2.36 ± 0.44	5 MHz transducer
Mahon cheese (fresh)[10]	1645 ± 20			1 MHz transducer, 60-day average
Mahon cheese (half ripened)[10]	1676 ± 12			1 MHz transducer, 90-day average
Mahon cheese (ripened)[10]	1715 ± 25			1 MHz transducer, 240-day average
Processed cheese: Grevé[8]	1323 ± 20	1.38 ± 0.02	9.05 ± 0.37	5 MHz transducer
Processed cheese: Naturelle[8]	1311 ± 50	1.32 ± 0.04	3.72 ± 0.34	5 MHz transducer
Canned peach[11]	1550 ± 30	2.02	690 ± 45	Mean value of frequency 4–12 MHz, $dv_p/df \sim 0$
Peach syrup[11]	1575 ± 5	1.69	3	10 MHz
Sobrassada from Mallorca[12]	1626 ± 6			1 MHz transducer, 80 day average
Tomato ketchup[13]	1658			2.25 MHz transducer, 100 wt % concentration

۳- تشخیص تقلب و تعیین کیفیت با فراصوت

همان‌طور که قبلا بحث شد، تعیین کیفیت و تشخیص تقلب مواد با فراصوت بر اساس استخراج ویژگی هایی از سیگنال اکتسابی از موج فراصوتی در ماده است که پس از عبور از ماده دچار تغییر شده‌اند. به بیان دیگر مقدار تغییر خصوصیت موج فراصوتی ارسال شده و دریافتی از ماده، سنجیده و به کیفیت آن ارتباط داده می‌شود (شکل ۳). جهت بررسی تفصیلی، بررسی کیفیت و تقلب در مواد غذایی در بخش‌های الف. محصولات کشاورزی، ب. محصولات دامی و طیور و ج. روغن‌ها، آبمیوه‌ها و مایعات آورده می‌شوند:

۳-۱- تشخیص تقلب و تعیین کیفیت محصولات کشاورزی

تاکنون تحقیقات زیادی برای ارزیابی کیفی انواع میوه و تعیین خواص فیزیکی، شیمیایی، بیوشیمیایی و مکانیکی آن‌ها با استفاده از فناوری فراصوت صورت گرفته است (جدول ۲). کاربرد فراصوت تشخیصی روی میوه و سبزیجات شامل دو جنبه می‌باشد: اول بررسی کل میوه و دوم بررسی قسمتی از میوه برش خورده. یکی از مزایای مهم این کار، تخمین زمان برداشت محصول بوده که برای جلوگیری از تلفات بیش رسیدگی در حین برداشت بسیار حائز اهمیت است. مطابق نظر بسیاری از نویسندگان، استفاده از فرکانس‌های زیر ۲۰۰ کیلوهرتز، بهترین نتیجه را در زمان استفاده از فراصوت تشخیصی روی میوه و سبزیجات به دست می‌دهد [۴۰-۴۲]. تحقیق بر روی میوه هلو نشان داد که رابطه‌ی خوبی بین ضریب تضعیف و سرعت امواج فراصوت با سفتی، میزان pH و اسیدیته وجود دارد. [۴۳]. موریسون و ابیرات [۴۴] توانستند کیفیت پرتقال را با استفاده از فناوری فراصوت ارزیابی کرده و بدینوسیله زمان صحیح برداشت محصول و نیز مدت زمان انبارمانی[1] محصول را بهینه نمودند. فرکانس سامانه فراصوتی آن‌ها ۱۰۰ کیلوهرتز بوده و آزمایش به روش پالس-اکو صورت گرفت.

استفاده از روش فراصوتی در تشخیص پوکی سیب زمینی توسط ژیوانووانگ و همکاران[۴۵] صورت پذیرفت. آن‌ها به کمک یک جفت مبدل فراصوت ۵۰ کیلوهرتز ۰,۲۲ کیلوواتی غده‌ها را در معرض موج فراصوت قرار دادند و از میزان کاهش شدت صوت (میرایی موج) پس از عبور از بافت سیب‌زمینی برای معین کردن معیاری برای جداسازی سیب‌زمینی‌های پوک از غیر پوک استفاده نمودند. مطابق نتایج، توانایی این روش برای تشخیص پوکی به پوکی‌هایی

[1] Shelf life

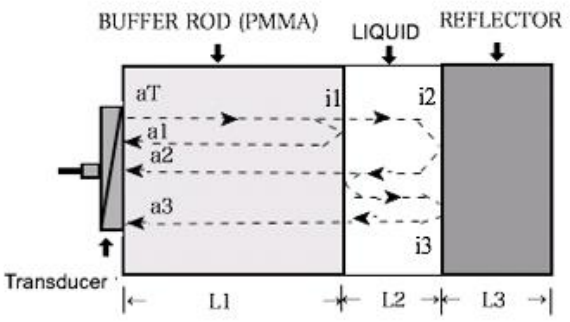
www.SID.ir

با حجم حداقل ۰٫۵ سانتیمتر مکعب محدود می‌باشد. همچنین آن‌ها نشان دادند که ویژگی های اندازه گیری شده سیب زمینی مانند مدول الاستیسیته، طول غده، قطر، و وزن رابطه‌ی ضعیفی با پارامترهای فراصوتی مانند سرعت، ضریب میرایی و ولتاژ مربع میانگین ریشه دارد .همچنین با توجه به احتمال بالاتر وجود پوکی در سیب زمینی های درشت، با حذف سیب زمینی های دارای وزن کمتر از300 گرم ، دریافتند که می توان تنها 80 درصد جرم کلی سیب-زمینی‌ها را باید از نظر وجود پوکی آزمایش کرد. . معمار دستجردی و همکاران [۵۸] نیز کیفیت میوه گلابی را به صورت غیر مخرب و با روش امواج فراصوت عبوری بررسی نمودند. آن‌ها دریافتند رابطه ای خطی بین سفتی و سرعت امواج فراصوت وجود دارد و با افزایش میزان سفتی میوه، سرعت امواج افزایش می یابد همچنین مشاهده کردند که رابطه ای منفی بین سفتی و ضریب تضعیف وجود دارد و با افزایش میزان رسیدگی یعنی کاهش سفتی، ضریب تضعیف به صورت نمایی افزایش می یابد.

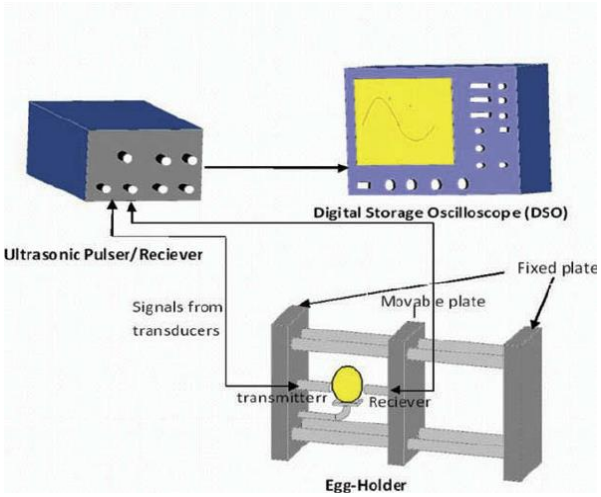
۳-۲- تشخیص تقلب و تعیین کیفیت محصولات دامی و طیور

مقالات متعددی فراصوت تشخیصی (LPU) را برای مطالعه‌ی ترکیبات ماهی و طیور به کار برده اند. مک کلمنت و سایر نویسندگان برای تخمین محتوای رطوبت و مقدار پروتئین فیله ماهی ارتباط بین ویژگی‌های فراصوتی ماهی و خصوصیات آن را بررسی نمودند[۴۶ و ۴۷]. یکی از پرمصرف‌ترین خوراکی‌های مردم جهان، تخم مرغ است. به همین دلیل لازم است از تاریخ تولید و انقضای تخم مرغ اطلاع داشت. ابونجمی و همکاران [۴۸] در سال ۲۰۰۹ کیفیت سنجی شاخص های تازگی تخم مرغ خوراکی را با استفاده از اندازه گیری سرعت فازی سیگنال امواج فراصوت و میرایی در داخل ماده تخم مرغ بررسی نمودند. آن‌ها دریافتند با افزایش زمان نگهداری تخم‌مرغ‌ها، عدد هاو و شاخص زرده کاهش و عمق حفره هوایی افزایش می‌یابد. همچنین سرعت فازی سیگنال‌های صوتی در شرایط مختلف محیطی کاهش می‌یابد. به طوری که سرعت از ۱۵۷۱ متر بر ثانیه در روز اول به ۱۵۴۰ متر بر ثانیه در شرایط نگهداری در یخچال و ۱۵۱۴ متر بر ثانیه در شرایط نگهداری در محیط آزمایشگاه پس از سه هفته است.

فرکانس نامی دستگاه مورد استفاده آنها ۱۵۰ کیلوهرتز بود (شکل۵).



شکل ۴- شماتیک روش پالس-اکو در فراصوت تشخیصی



شکل ۵- تعیین تازگی تخم مرغ با فراصوت [۴۸]

همچنین کرتس و همکاران[۴۹] توانستند به کمک فراصوت ۲۵۰ کیلوهرتزی کیفیت پنیر را ارزیابی کنند. آن‌ها پارامترهای TOF[1]، پراکندگی امواج و دامنه را بررسی نمودند و همبستگی بین دامنه سیگنال و زمان نگهداری و انرژی سیگنال با زمان نگهداری (انبار داری) را به ترتیب برابر $R^2=0.93$ و $R^2=0.99$ به دست آوردند.

سینگ و ویودی[۵۰] نیز تغییر سرعت عبور موج فراصوت در عسل را بررسی نمودند و ارتباط مستقیمی بین سرعت فراصوت و بعضی خصوصیات عسل مثل چگالی، ویسکوزیته و همگنی آن پیدا کردند و از این طریق توانستند تقلب در آن را تشخیص دهند.

۳-۳- تشخیص تقلب و تعیین کیفیت روغن‌ها، آبمیوه‌ها و مایعات

اخیراً تقلب در نوشیدنی‌ها و روغن‌های خوراکی با افزودن مواد ارزان قیمت و یا آب به ماده افزایش یافته است. برخی تولیدکنندگان به دلیل قیمت ارزان‌تر به جای استفاده از

[1] Time Of Flight

www.SID.ir

طعم دهنده و ترکیبات طبیعی از رنگ و طعم‌های مصنوعی در تولید محصولات خود استفاده می‌کنند. مطابق استاندارد استفاده از هرگونه شیرین‌کننده مصنوعی، طعم‌دهنده مصنوعی، رنگ مصنوعی و نگهدارنده در نوشیدنی‌های میوه‌ای غیرمجاز است. در بعضی محصولات مثل آب‌لیمو گاهاً در تولید آن اصلاً لیمویی استفاده نمی‌شود و عملاً با استفاده از اسانس و اسید مبادرت به تهیه آن می‌کنند. همچنین در محصولاتی باارزش مانند روغن زیتون، متقلبان با مخلوط کردن آن با روغن‌های ارزان قیمتی همچون پالم و روغن نباتی معمولی و یا روغن تفاله زیتون سودهای زیادی را کسب می‌کنند. جورج و همکاران [۵۱] در سال ۲۰۱۷ توانستند تقلب در روغن VCO[1] (روغن نارگیل) را به وسیله فراصوت تشخیص دهند. آنها روغن‌های نارگیل با خلوص های ۵ تا ۱۰۰ درصد (ترکیب شده با روغن های پالم و روغن آفتاب‌گردان) را تهیه و خصوصیات فراصوتی آن‌ها را بررسی نمودند و با آموزش سامانه توانستند درصد تقلب روغن را به دست آوردند. آن‌ها از مبدل یک مگاهرتزی مدل Olympus 5077PR و سامانه پالس-اکو استفاده نمودند. از یک دفلکتور جهت حداکثر بازتاب استفاده نمودند و همپوشانی های امواج برگشتی را با تغییر فاصله مسیر طی شده امواج در داخل روغن، به حداقل رساندند. ژائو و همکاران [۵۲] در سال ۲۰۰۳ با استفاده از فناوری فراصوت، امکان‌سنجی تشخیص اشیای خارجی را در چند نوشیدنی از جمله آب بررسی نمودند. آنها با استفاده از یک سامانه فراصوتی با فرکانس نامی ۱۵ مگاهرتز و با نرم افزار LABVIEW توانستند اشیای خارجی اندازه ذرات بین ۲۵ تا ۱۰ میلیمتر مربع مثل فلز، تکه‌های شیشه و پلاستیک را با سامانه پالس-اکو تشخیص دهند.. جهت متصل کردن سنسور با جداره ظرف حاوی مایع (یکپارچه سازی و حذف فاصله‌های هوایی[2] احتمالی)، از واتر جت استفاده شد. آنها نتیجه گرفتند عواملی چون تضعیف سیگنال، پیچیدگی هندسه نازل، بی ثبات بودن محرک ولتاژ، اختلاف در فاصله بین نازل و کف ظرف به خاطر نامرتب بودن کف ظرف باعث بروز خطا در تشخیص اشیای خارجی می‌شوند.

جدول شماره ۲: چند نمونه از مهمترین پژوهشهای تعیین کیفیت با فراصوت

ماده غذایی	نتیجه	فرکانس	حالت	منبع
روغن نارگیل	تشخیص تقلب	1 MHz	Pulse-echo	George et al., 2017
چند مایع (آب، آب نمک، الکل و..)	تاثیرگذاری دما، طول زنجیره کربنی، شکل مولکولی و نیروی بین مولکولی روی پارامترهای فراصوتی	100 Hz	Pulse-echo	William A. Cooke, 2016
روغن زیتون	تعیین ویژگی های روغن زیتون	2.25 MHz	Pulse-echo	Alouache et al., 2015
پرتقال	تعیین کیفیت میوه	100 kHz	Pulse-echo	Morrison & Abeyratne, 2014
هلو	تعیین میزان رسیدگی میوه	75 kHz	Pulser-receiver	معمار دستجردی و همکاران، ۱۳۹۳
سیب زمینی	تشخیص پوکی	50 kHz	Pulser-receiver	Jivanuwong, 1998
روغن سرخ کردنی (USBO, PHSBO)	تعیین زمان و دمای سرخ کردن، درجه هیدروژناسیون	5 MHz	Pulser-receiver	Izbaim et al., 2010
تخم مرغ	تعیین تازگی تخم مرغ	150 kHz	Pulser-receiver	Abonajmi et al., 2009
گوجه فرنگی	تعیین سفتی و TSS[3]	50 kHz	No data	Mizrach 2007
روغن زیتون	تعیین پایداری اکسیداسیون	20 kHz	No data	Cañizares-Mac´ıas et al., 2004
ماهی تازه	تعیین نقاط تمرکز چربی در ماهی	2 MHz	Pulse-echo	Probert and Shannon 2000

[1] Virgin Coconut Oil
[2] Air Gap
[3] Total soluble solids

www.SID.ir

۴- چالش های روش فراصوتی

روش فراصوتی مزایای زیادی دارد؛ این روش سریع، دقیق، غیرمخرب و غیرتهاجمی است. همچنین این روش می تواند به آسانی برای اندازه گیری برخط[1] کالیبره شود که کمک مهمی در عملیات بازرسی فرآوری مواد غذایی می‌تواند ایفا نماید. یکی از اصلی ترین معایب این روش، افزایش دما به علت جذب انرژی[2] می‌باشد که به اثر حرارتی معروف است[3]. عیب دیگر کاویتاسیون است که اثر غیر حرارتی[4] می‌نامند؛ حباب های کوچک هوا در نمونه می‌تواند امواج فراصوتی را تضعیف و مانع از عبور موج گردد[۵۳]. این مشکل گاهی اوقات با انتخاب روش انعکاس (پالس-اکو[5]) به جای روش ارسال-دریافت[6] قابل حل می‌باشد. پدیده‌ی کاویتاسیون همان طور که در بعضی موارد مانع از حصول کیفیت بالای کار می‌گردد، گاهی اوقات می‌تواند بسیار مفید باشد و یا به طور عمدی ایجاد گردد. سامانه‌های شستشوی عمقی با فراصوت[7] از موارد دیگری است که از این پدیده‌ی کاویتاسیون بهره می‌گیرد و در شستشوهای خاصی که نیاز به دقت و کیفیت بالا دارد، مثل شستشوی مدارهای الکترونیک و یا شستن قسمت‌های داخلی محصولات کشاورزی همچون کاهو و کرفس که قابل دسترس نمی-باشند، به کار می‌رود. همچنین اطلاعات زیادی درباره‌ی خواص ترموفیزیکی (مثل دانسیته، تراکم پذیری، ظرفیت گرمایی و انتقال حرارت) ماده‌ی مورد آزمون به منظور تعیین خواص فراصوتی آن، مورد نیاز است. مساله‌ی مهمی دیگری که در هنگام استفاده از سامانه های فراصوتی باید دقت نمود عدم عبور امواج فراصوت از هوا و نیاز به یک ماده واسط[8] برای عبور موج فراصوتی از نمونه مورد آزمون میباشد. (در سامانه‌های فراصوتی Air Coupled این مشکل مطرح نمیباشد)[۵۴]. سامانه های تشخیصی فراصوتی نیاز به یک واسط جهت یکپارچه نمودن سنسور با ماده‌ی مورد آزمون دارند، جهت این اتصال می‌توان از روغن [۳۵]، آب [۱۷ و ۵۲] و غیره استفاده نمود. علت استفاده از این روش امکان وجود هوا در محل اتصال پراب فراصوتی با ماده مورد آزمون می‌باشد. در آزمون‌های تشخیصی فراصوت بایستی دقت نمود که دمای ماده‌ی مورد آزمایش ثابت نگه داشته شود و درصورتی‌که دما تغییر نمود بایستی با محاسبه و اعمال ضرایب در نتایج حاصل شده، اصلاحات لازم را اعمال نمود. زیرا خواص فراصوتی مواد متناسب با تغییر دما دچار تغییر می‌شوند و نادیده گرفتن این مورد ممکن است نتیجه گیری اشتباه را موجب گردد. بیشترین نوع استفاده از فراصوت تشخیصی روش پالس-اکو می‌باشد. در این روش فرستنده و گیرنده یکی بوده و در یک طرف ماده‌ی مورد آزمایش قرار می‌گیرد. پراب فراصوت پس از ارسال موج به ماده، امواج برگشتی را دریافت می‌کند و سامانه با مقایسه امواج ارسالی و دریافت شده، خصوصیات فراصوتی ماده را تشخیص می‌دهد. در این حالت ممکن است امواج برگشتی چندین بار بازتاب نموده و ایجاد همپوشانی و خطا نمایند. جهت به حداقل رساندن و کاهش این خطا، جورج و همکاران [۵۱] با تغییر دادن و به حد بهینه رساندن فاصله‌ی طی شده توسط موج در داخل ماده‌ی مورد آزمون (اندازه‌ی L2 در شکل شماره ۴)، نتیجه‌ی مطلوبی کسب نمودند .

۵- نتیجه گیری

کیفیت و ایمنی مواد غذایی پارامتر بسیار مهم در انتخاب و خرید و مصرف مواد غذایی از جانب مشتریان بوده و افزایش کیفیت و عدم وجود تقلب در محصولات کشاورزی و دامی و فرآورده‌های آن‌ها از جانب تولید کنندگان و فروشندگان، ارتباط مستقیمی با مقدار و حجم فروش آن‌ها خواهد داشت. پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد، فراصوت می‌تواند به عنوان یک روش قدرتمند برای بازرسی مواد غذایی و کشاورزی به کار رود. دامنه کاربرد فراصوت تشخیصی در کیفیت‌سنجی صنایع غذایی از تعیین رسیدگی و زمان صحیح برداشت میوه تا تشخیص مقدار و اندازه‌ی اشیای خارجی در داخل مواد غذایی بسته بندی

---

[1] Online
[2] energy absorption
[3] Thermal effect
[4] Non-thermal effect
[5] Pulse-echo
[6] Pulser-receiver
[7] Deep washing
[8] Couplant

www.SID.ir

شده و کیفیت گوشت یا تخمین تازگی تخم مرغ و.. به صورت غیرمخرب و در کمترین زمان قابل حصول باشد. نتایج نشان می‌دهد فراصوت برای ارزیابی و تشخیص کیفی محصولات کشاورزی - مواد غذایی با بیشترین دقت و در کمترین زمان جایگزینی مطمئن نسبت به روش‌های پر هزینه موجود باشد.

۶- منابع

[1] Abdolabbas Jafari, Atefeh Fazayeli, Mohammad Reza Zarezadeh (2014). Estimation of orange skin thickness based on visual texture coarseness. Biosystems engineering 117, 73-82

[2] Aboonajmi, M. A. Akram, T. Nishizu, N Kondo, SK Setarehdan, A. Rajabipour (2010). An ultrasound based technique for the determination of poultry egg quality. Research in Agricultural Engineering 56 (1), 26-32

[3] Zarezadeh M. R. Abounajmi M. (2018). Detection of foreign bodies in processed food and beverage by means of ultrasound. International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng. Antalya, Turkey.

[4] Su Won Park, Soo Jin Lee, You Sin Sim, Jin Young Choi, Eun Young Park and Bong Soo Noh. (2017). Analysis of ethanol in soy sauce using electronic nose for halal food certification. Food Sci. Biotechnol. 26(2): 311-317

[5] Wentao Zhang, Jishuang Chen, Lemma Dadi Bekele, Yiliang Liu, Gregory Joseph Duns, Leilei Jin. (2016). Physical and Mechanical Properties of Modified Wheat Straw-Filled Polyethylene Composites BioResources Vol. 11, No 2

[6]ابونجمی، محمد. (۱۳۹۴). آزمون‌های غیرمخرب و کاربرد آن در صنایع غذایی و کشاورزی. نشریه علمی - ترویجی انجمن بازرسی غیرمخرب ایران - سال اول - شماره ۱.

[7] Aboonajmi, M., Jahangiri, M., & Hassan-Beygi, S. R. (2015). A Review on Application of Acoustic Analysis in Quality Evaluation of Agro-food Products. *Journal of food processing and preservation*, *39*(6), 3175-3188

[8] Kamruzzaman M. ElMasry G. Sun D.W. and Allen P. (2012). Nondestructive Prediction and Visualization of Chemical Composition in Lamb Meat Using NIR Hyperspectral Imaging and Multivariate Regression. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 16: 218-226.

[۹] بیگ‌محمدی ز. (۱۳۹۰). تقلبات مورد استفاده در صنایع غذایی و روش‌های شناسایی آن‌ها. اولین سمینار ملی امنیت غذایی. دانشگاه آزاداسلامی واحد سوادکوه. اردیبهشت ۱۳۹۰. صفحات ۲۸ تا ۲۹.

[10] Abolghasemi, R., B. Emadi, M. H. Aghkhani, and S. H. Beiraghi Toosi. (2009. Determination of peach maturity using ultrasonic waves. Journal of Food Science and Technology Research 5: 63-74.

[11] Rao, M.A.; Rizvi, S.S.H.; and Datta A.K. (2005). Engineering properties of foods (3rd ed.), CRC Press.

[12] Mcclements D. J. (1995). 'Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing', Trends in Food Science & Technology, 6, 293–9.

[13] Mason T.J., Luche J.L. (1996). Ultrasound as a new tool for synthetic chemists. In R. Van Eldik & C.D. Hubbard (Eds.). Chemistry under extreme or non-classical onditions (pp. 317– 380). New York: John Wiley & Sons - Inc. and Spektr um Akademischer Verlag.

[14] Buckin, V., O'Driscoll, B., Smyth, C., Alting, A. C., & Visschers, R. W. (2003). Ultrasonic spectroscopy for materials analysis: Recent advances. Spectroscopy Europe, 15(1), 20-25.

[15] Ernest Bernat-Maso, Elitsa Teneva, Christian Escrig and LluísGil. (2017). Ultrasound transmission method to assess raw earthen materials. Volume 156, Pages 555-564

[16] Benedito J, carcel J A, Gonzalez R and mulet A (2002). Application of low intensity ultrasonics to cheese manufacturing processes', Ultrasonics, 40, 19–23.

[17] Haeggstrom E. and Luukkala M. (2001). 'Ultrasound detection and identification of foreign bodies in food products', Food Control, 12, 37–45.

[18] Zhao, Bosen. Basir, Otman A. and Mittal, Graves.S. (2009). Detection of occluded small objects in glass bottles filled with beverages via ultrasound center frequency tracing. LWT-Food Science and Technology 42:162-167

[19] Otman. A. Basir and B. Zhao (2004). Detecting foreign bodies in food. Chapter 12 Ultrasound. 204-223.

[20] Miralles, R., Jover-Andreu, M. and Bosch, I. (2006).Morphological image processing for echo detectionon ultrasonic signals: an application to foreign bodies detection in the alimentary industry. Proceedings ofthe 14th European Signal Processing Conference, p.1-4. Florence, Italy.

[21] Meftah, Hrairi. and Mohd Azimin, Elias. (2012). Detection of foreign bodies in canned foods using ultrasonic testing. International Food Research Journal 19(2): 543-546.

[22] Laugier, P. and Hayat, G. (2011). Introduction to the physics of ultrasound. Bone Quantitative Ultrasound Ed. 468pp Springer

[23] Ashokkumar, M. and Mason, T.J. (2007). Sonochemistry IN Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley and Sons Inc.

[24] Ginesu, G., Giusto, D. D., Märgner, V. and Meinlschmidt,P. (2004). Detection of Foreign Bodies in Food byThermal Image Processing. IEEE Transactions onIndustrial Electronics 51: 480-490.

[25] Musielak, G., Mierzwa, D., & Kroehnke, J. (2016). Food drying enhancement by ultrasound–A review. Trends in Food Science & Technology, 56, 126-141.

[۲۶] آصفی، نارملا ؛ جعفریان، پریسا ، (۱۳۹۱). اثر هموژنیزاسیون با روش فراصوت درظرفیت نگهداری آب ماست. فصلنامه علمی پژوهشی علوم غذایی و تغذیه. دوره ۱۰، بهار ۹۲ - شماره پیاپی ۳۸

[27] Kentish, S., & Feng, H. (2014). Applications of power ultrasound in food processing. Annual review of food science and technology, 5, 263-284.

[28] Ferrario, M., Alzamora, S. M., & Guerrero, S. (2015). Study of the inactivation of spoilage microorganisms in apple juice by pulsed light and ultrasound. Food microbiology, 46, 635-642.

[۲۹] نجف نجفی, مسعود؛ رسول کدخدایی و سیدعلی مرتضوی، (۱۳۸۷). بررسی عوامل مؤثر بر تشکیل و ثبات نانوامولسیون O/W تولید شده با امواج فراصوت، هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، مشهد، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان رضوی

[30] Goula, A. M., Papatheodorou, A., Karasavva, S., & Kaderides, K. (2018). Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pomegranate seeds. Waste and Biomass Valorization, 9(1), 1-11

www.SID.ir

[31] Dolatowski, Z. J., Stadnik, J., and Stasiak, D. (2007). Applications of Ultrasound in Food Technology. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. 6(3) 2007, 89-99.

[32] Shung K. K., Smith M B and Tsui B M W (1992) Principles of Medical Imaging, San Diego, and Academic Press, 85–91.

[33] Birks A. S. and green r e (1991) Ultrasonic Testing (Nondestructive Testing Handbook), 2nd ed, American Society for Nondestructive Testing, 256–62, 326–7 and 837–40.

[34] Onda Corporation, currently Onda Corporation/Specialty Engineering Associates, website: http://www.ultrasonic.com/ (2003)

[35] Kaye G. W. C. (1986). Tables of Physical and Chemical Constants and Some Mathematical Functions, New York, Longman, 76.

[36] Wang H-F, Jiang W-H and Cao W-W (1999). 'Characterization of lead zirconate titanate piezoeceramic using high frequency ultrasonic spectroscopy', J. Appl. Physics, 85(12), 8083–91.

[37] Mizrach A. and Flitsanov U. (1999) 'Nondestructive ultrasonic determination of avocado softening process', Journal of Food Engineering, 40, 139–44.

[38] Benedito J., carcel J., Gisbert M. and Mulet A. (2001). 'Quality control of cheese maturation and defects using ultrasonics, Journal of Food Science, 66, 100–4.

[39] Alouache, B., Khechena, F. K., Lecheb, F., & Boutkedjirt, T. (2015). Characterization of olive oil by ultrasonic and physico-chemical methods. Physics Procedia, 70, 1061-1065

[40] Sarkar, N., Wolfe, R., (1983). Potential of ultrasonic measurements in food quality evaluation. Trans. ASABE 26 (2), 624–629.

[41] Povey, M., (1998). Ultrasonics of food. Contemp. Phys. 39 (6), 467–478.

[42] Mizrach, A. (2008). Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes. Postharvest Biology and Technology, 48(3), 315–330.

[43] Cooke, W. A. (2016). Development of Ultrasonic Techniques for Characterization of Liquid Mixtures

[44] Morrison, D. S., & Abeyratne, U. R. (2014). Ultrasonic technique for Nondestructive quality evaluation of oranges. Journal of Food Engineering, 141, 107-112.

[45] Jivanuwong, S. 1998. Nondestructive Detection of Hollow Heart in Potatoes Using Ultrasonics. Virginia Polytechnic Institute and State University.

[46] Ghaedian, R., Coupland, J. N., Decker, E. A., & McClements, D. J. (1998). Ultrasonic determination of fish composition. Journal of Food Engineering, 35(3), 323–337.

[47] Ghaedian, R., Decker, E. A., & McClements, D. J. (1997). Use of ultrasound to determine cod fillet composition. Journal of Food Science, 62(3), 500–504.

[48] Aboonajm, Mi., S.K.Setaredan, T.Nishizu, N.Kondo. (2014). Prediction of Poultry Egg Freshness Using Ultrasound. International Journal of food properties.17 (9), 1889-1899:

[49] Kertesz, I., Simon, N., Kaszab, T., Muha, V. Z., & Felfoldi, J. (2015). Ultrasonic Method for Cheese Quality Evaluation. In 2015 ASABE Annual International Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

[50] Singh, V. R., & Dwivedi, S. (1995). Ultrasonic detection of adulteration in fluid foods. Proceedings RC IEEEEMBS &14th BMESI (pp. 1.73–1.74).

[51] George, T., Rufus, E., & Alex, Z. C. (2017). Artificial Neural Network Based Ultrasonic Sensor System For Detection Of Adulteration In Edible Oil. Journal of Engineering Science and Technology, 12(6), 1568-1579.

[52] Zhao, B., Basir, O. A., & Mittal, G. S. (2003). Detection of metal, glass and plastic pieces in bottled beverages using ultrasound. Food Research International, 36(5), 513-521.

[53] Barnett., SB, Ter Haar GR, Ziskin MC, Rott H-, Duck FA, Maeda K. (2000). International recommendations and guidelines for the safe use of diagnostic ultrasound in medicine. Ultrasound Med Bio; 26: 355–366.

[54] Fathizadeh Z. and Aboonajmi M. (2017). Nondestructive Air-coupled Ultrasound Measurement in the Food Industries Proceedings of the 4th Iranian International NDT Conference Feb 26-27, 2017, Olympic Hotel, Tehran, Iran

[55] Jimenez, N., Picó, R., Camarena, F., Redondo, J., & Roig, B. (2012). Ultrasonic evaluation of the hydration degree of the orange peel. Postharvest biology and technology, 67, 130-137.

[56] Cooke, W. A. (2016). Development of Ultrasonic Techniques for Characterization of Liquid Mixtures

[57] Ikeda, T.; Yoshizawa, S.; Koizumi, N.; Mitsuishi, M.; Matsumoto, Y. (2016). Focused ultrasound and Lithotripsy. In Therapeutic Ultrasound; Springer: Cham, Switzerland, pp. 113–129.

[۵۸] معمار دستجردی رسول ,مینایی سعید ,خوش تقاضا محمدهادی، (۱۳۹۱). کیفیت سنجی میوه گلابی رقم شاه میوه به صورت غیر مخرب با استفاده از امواج فراصوتی. نشریه ماشین های کشاورزی، نیمسال دوم، دوره ۴، شماره۲.

www.SID.ir

Diagnostic Ultrasound, a Nondestructive Approach for Quality Evaluation of Agro-food Products

Mohammad Reza Zarezadeh[1], Mohammad Aboonajmi[1]
[1] Department of Agro-technology, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract:

There are many approaches to food quality and safety evaluation and adulteration detection of agro-food products. These ways include destructive and Nondestructive. After Nondestructive tests, foods can be used and also we can apply all experiment case study for testing but in destructive test we can test just afew samples. Ultrasound is one of Nondestructive tests which can use in quality evaluation and fraud detection of agricultural, livestock and poultry products. Also from detection of foreign body in packaged and canned foods to microbial contaminant detection by ultrasound technique is available. Diagnostic ultrasound in food science is fast, low cost, portable and easy to lean. In this work, evaluation and application of diagnostic ultrasound has been classified in three parts which include: a. agricultural products b. livestock and poultry products and c. vegetable oils, juices and other drinking. At the end on paper challenge and some difficulties in ultrasound are given and some problems for solve and reduction of these challenges are given.

Keywords: Nondestructive test, Ultrasound, food, Quality evaluation

www.SID.ir