بررسی امکان استفاده از امواج تراهرتز
در کیفیت سنجی محصولات کشاورزی و صنایع غذایی

رضا شهبازی [1*]، محمد ابونجمی [2]،

۱. دانشجو دکترا مهندسی مکانیک بیوسیستم انرژی های تجدید پذیر،پردیس ابوریحان ،دانشگاه تهران، تهران، ایران
(shahbazi.reza36@ut.ac.ir)

۲. دانشیار،گروه فنی،پردیس ابوریحان،دانشگاه تهران،تهران ،ایران (abonajmi@ut.ac.ir)

چکیده

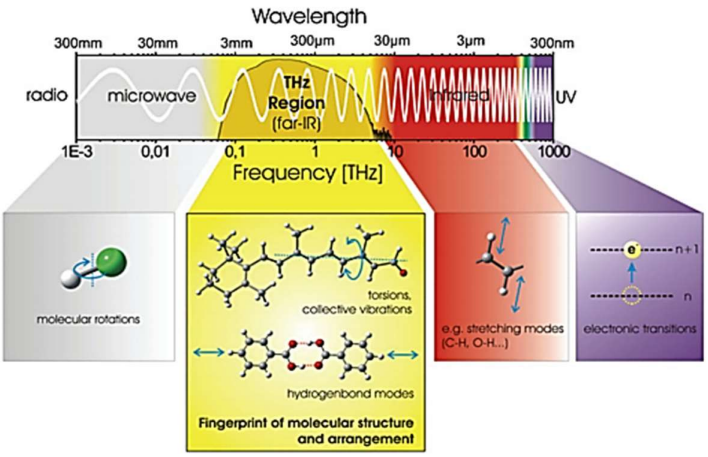
کیفیت وسنجی محصولات کشاورزی یکی از دغدغه های مهم در صادرات و مصرف می باشد.انجام وسنجش کیفیت با کمک حواس پنجگانه دارای هزینه زیاد و زمان بر می باشد.برای اطمینان به مصرف کنندگان برای ایمن بودن مصرف محصولات غذایی ، به یک روش تشخیص ایمن ، سریع ، قابل اعتماد و غیر مخرب نیاز است. امواج THzکه دارای خصوصیات مایکروویو و مادون قرمز است ، می تواند در بسیاری از بسته بندی ها مورد استفاده در کشاورزی و صنایع غذایی نفوذ کرده ونقاط ضعف محصول را نمایان کند. با توجه به پیشرفت های فن آوری در سالهای اخیراستفاده از قابلیت جذب و انعکاس امواج و همچنین استفاده از تصویربرداری طیفی THz سرعت تشخیص ناخالصی در مواد غذایی امکان پذیر شده است. در سالهای اخیر ، نشان داده شده است که تصویربرداری THz به عنوان ابزاری غیر مخرب در حال ظهور برای بازرسی مواد غذایی از پتانسیل بالایی برخوردار است. طیف سنجی THzاز نظر کیفی و کمی محصولات غذایی کمک شایانی می تواند به بازرسی و کنترل کیفیت انجام دهد. از دیگر کاربردهای فناوری THz در صنایع غذایی می توان به تشخیص ترکیبات سمی اشاره کرد. در این مقاله نقاط قوت و ضعف این روش با نگاهی به دورنمای این فناوری مورد بحث قرار میگیرد.

کلمات کلیدی:امواج THz ،آزمون های غیر مخرب،کیفیت سنجی،طیف سنجی

بررسی امکان استفاده از امواج تراهرتز
در کیفیت سنجی محصولات کشاورزی و صنایع غذایی

۱ – مقدمه

امواج THz [1] ، معمولا به محدوده فرکانس ۰.۱ THz الی ۱۰ THz که برابر با طول موجهای ۰.۱تا ۱mm اطلاق میشود، به واسطه کاربردهای فراوان نظیر تصویربرداری و طیف سنجی (۱)، امنیت و فناوری اطلاعات توجهات بسیاری را به خود معطوف ساخته است. طیف THz بین ناحیه مادون قرمز و مایکروویو قرار دارد.شکل شماره ۱ نشان دهنده ناحیه طیف الکترومغناطیسی THz است، که بین نواحی مادون قرمز و مایکروویو قرار دارد.



شکل ۱:نمایش ناحیه قرار گیری امواج THz (۲)

۲-۱روش تولید امواج THZ

[1] Terahertz

به صورت کلی سه روش عمده برای تولید تابش THzوجود دارد، که عبارتند از

الف- روشهای اپتیکی

ب-تولید تابش تراهرتز به وسیله لیزرهای آبشاری کوانتومی

پ- تولید تابش تراهرتز به وسیله قطعات الکترونیکی جامد.

در جدول شماره ۱روش تولید THz با توان متوسط و دامنه قابل استفاده بیان شده است(۳).

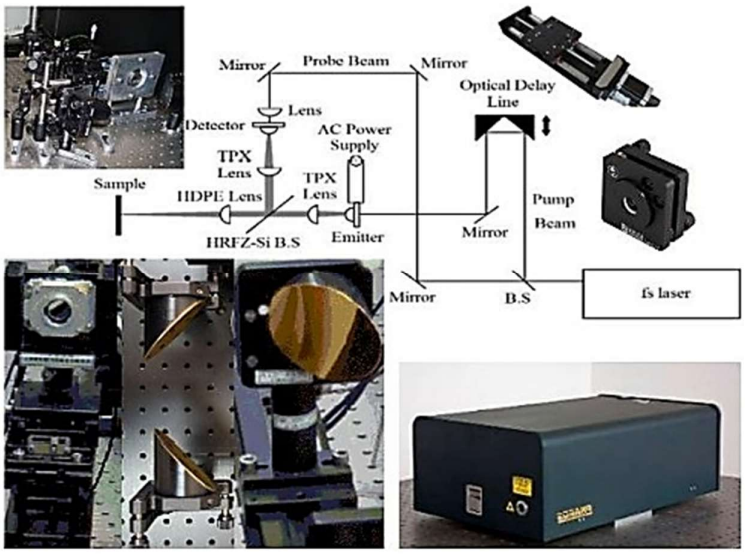
جدول شماره ۱:نمایش منبع تولید ،توان ودامنه قابل استفاده(۳)

منبع	انواع روش تولید	توان متوسط	دامنه قابل استفاده	نوع خروجی
لیزر	Quantum cascade laser	mW	THz۱۰-۲	CW or Pulsed
	P-type germanium laser	laser Few tens of a mW up to 10 W	THz٤-۱	CW
	Silicon-based laser	µW	THz ٥-۰.٥	Pulsed
	Free electron lase	Tens of watts to 200 W	THz۲.٥-۱.۲٥	Pulsed
اپتیکال	Photoconductive switch	W mW	۱۰۰ GHz و ۱.۰ THz	Pulsed
	Optical rectification	µW	Thz۰.۸	Pulsed
الکترونیک	Backward-wave oscillator	mW	۰.۹-تا - ۱.۱ THz	CW/Pulsed
	Gunn diode	0.1-1 mW	THz۱	CW
	Resonant tunneling diode	60 µW	THz۲.۳	CW/Pulsed
	Direct multiplied sources	200-500 mW	THz۰.۳-۰.۱	Pulsed, CW
		>0.5 mW	THz۱.٥	

۳-۱ویژگی های امواج تراهرتز

ویژگیهای امواج THz ،یک تابش غیریونیزان است و باعث نگرانی های جهت آسیب رساندن نمی شود(٤) همچنین قادر به نفوذ عمیق در بسیاری از مواد آلی بدون ایجاد آسیب است. پالس کوتاه THz می تواند از مصنوعات و منسوجات از جمله کاغذ (٥)و کارتن، لباس و مواد بسته بندی رایج عبور کند آب و مواد فلزی، جاذب قوی امواج THz هستند .انرژی امواج THz از انرژی امواج ایکس بسیار کمتر است بنابراین خطر یونیزه کردن بافتهای زنده را ندارد. میتوان گفت امواج نامرئی THz جانشین بی ضرراشعه ایکس است .طول موج کوتاه THz وضوح فضایی نسبتا بهتری از امواج مایکروویو ارایه می دهد. پرتو THz به عنوان یک آشکار ساز مناسب سرطان با توانایی تشخیص دقیق و صحیح عمق و شکل تومور مورد استفاده قرار میگیرد(٦).استفاده از یک لیزر فمتوثانیه میتوان یک سیستم طیف سنجی حوزه زمانی (THz –TDS)جهت تولید و آشکارسازی پالسهای THz را طراحی و راه اندازی نمود .در این سیستم باریکه اپتیکی به دو بخش شکافته می‌شود، یکی تحت عنوان پالس پمپ اپتیکی با گسیلنده برخورد کرده و پالس THz تولید می‌کند(۷). شکل شماره ۲ شماتیک سیستم طیف سنجی حوزه زمانی تر(TDS-THZ)استفاده از امواج THz به دو صورت ، طیف سنجی به صورت عبوری و انعکاسی انجام می گردد. بسته به ماهیت نمونه وآزمایش و کاربر مورد نیاز یکی از این دو نوع سیستم طیف سنجی در انجام آزمون غیرمخرب بکار می‌رود. امواج THz توسط فلزات و مواد رسانا بصورت کامل منعکس می‌شود که برای تشخیص عیوب اینگونه مواد بایستی از آزمون غیرمخرب

تراهرتز به شیوه انعکاسی استفاده شود. همچنین این امواج توسط آب و مواد قطبی بصورت کامل جذب می‌شود که از این خاصیت برای کنترل کیفی پوشش سطوح با دقت بسیاربالا استفاده می شود با وجود کاربردهای بالقوه ، فناوری THz دارای محدودیت هایی از جمله نفوذ کم و اثر پراکندگی را می توان نام برد. (۸).



شکل شماره ۲:شماتیک سیستم طیف سنجی حوزه زمانی(THz –TDS) به همراه تصاویر و تجهیزات آن(۹)

پژوهش های متعددی در دنیا با استفاده از امواج THz انجام گردیده است.جان اف فدریک و همکاران در سال ۲۰۰۵ استفاده از امواج THz را در مسائل امنیتی مورد بررسی قرارداده اند.آنها به این نتیجه رسیدند که می توان از امواج THz جهت شناسایی مواد منفجره،سلاح ومواد مخدر استفاده کرد(۹).در سال ۲۰۲۰ پژوهشگران با استفاده از امواج THz اقدام به بررسی ارزیابی عملکرد هیدروکربن شیل نفت کرده اند ،نتایج نشان می دهد که ساختارهای کربن موجود در کروژن ها نفت نه تنها ماده رسانایی در شیل های نفتی هستند بلکه منبع اصلی جذب THz نیز هستند.که به عنوان وسیله ای غیر تماسی برای توصیف محتوای آلی در شیل نفت ، RTA برای بهینه سازی استفاده جامع از این منبع غیرمتعارف مفید می باشد (۱۰). هدف از این مطالعه بررسی استفاده امواج THz در صنایع کشاورزی می باشد که بتوان استفاده از روش غیر مخرب با استفاده از THz را در کشاورزی وصنایع وابسته توسعه داد تا محصولات با کیفیتی به مصرف کننده عرضه کرد.

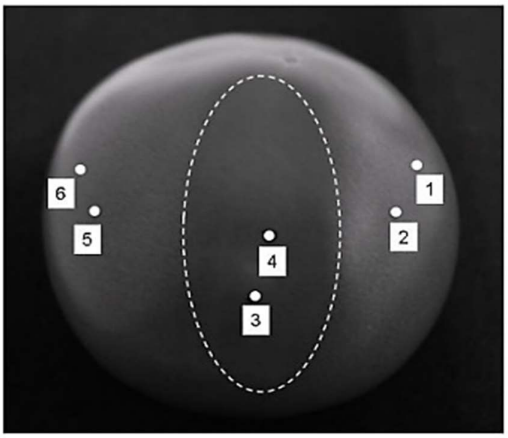
۲-مطالعات انجام شده در بخش کشاورزی با امواج تراهرتز

مطالعات متعددی جهت به کاربردن امواج تراهرتز در کیفیت سنجی و افزایش ایمنی مصرف کننده انجام گرفته است که در ذیل می توان به آن اشاره کرد.

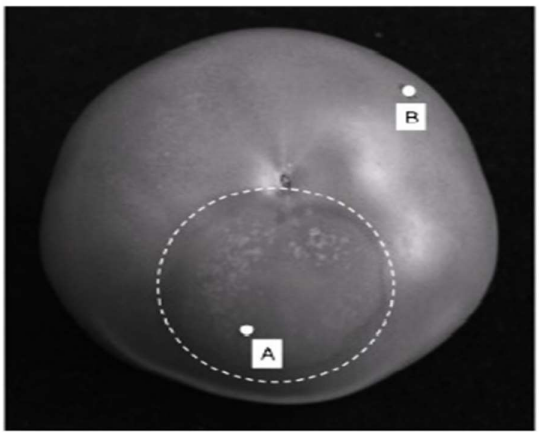
۱-۲ارزیابی کیفیت بیرونی و درونی محصولات کشاورزی

با استفاده از امواج THz به دوصورت کیفیت سطحی و کیفیت درونی محصول مورد مطالعه قرار گرفته شده است.در ارزیابی محصولات کیفی سطحی همچون لهیدگی سطحی و پوسیدگی و لهیدگی زیر پوست محصول بررسی شده است.با استفاده از امواج THz و با سنجش میزان جذب این امواج توسط قسمت های آسیب دیده و درصد انعکاس این موج می توان آسیب سطحی و زیر پوست محصول را که به چشم قابل روئیت نیست تشخیص داد.درمحصولات کشاورزی بخصوص باغی، لهیدگی سطحی با انعکاس امواج THz از قسمت های سالم محصول می توان تشخیص داد که در شکل شماره ۳ نشان داده می شود.با مطالعه انجام شده برروی گوجه فرنگی درصدانعکاس

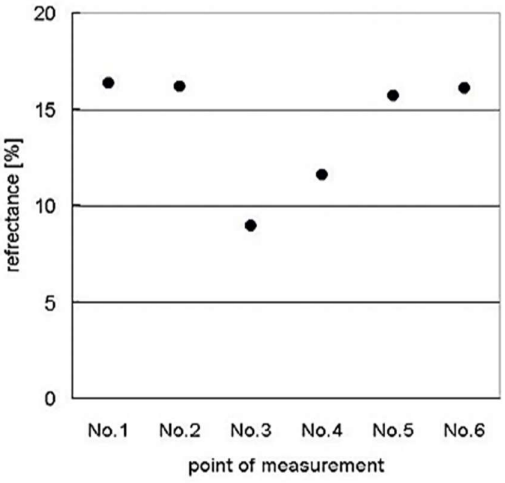
امواج THz در قسمت سالم گوجه فرنگی بیشتر از قسمت‌های له شدگی می باشد.در قسمت پوسیدگی و له شدگی زیر سطحی که در شکل شماره ٤ نشان داده می شود به دلیل وجود گاز در اثر پوسیدگی انعکاس امواج در قسمت پوسیدگی زیر سطحی بیشتر از قسمت سالم می باشد(١١) که در شکل شماره (٥) وشکل شماره(٦) نمایش داده می شود.



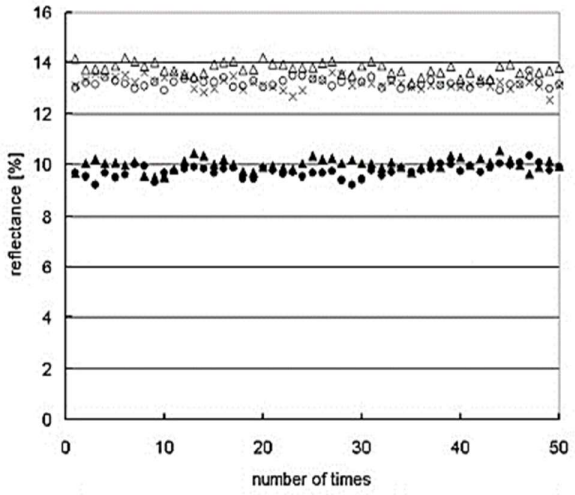
شکل شماره ٣ نمایش نقاط لهیدگی سطحی با اعداد ٣ و ٤(١١)



شکل شماره ٤:سطح پوسیدگی زیر پوسته گوجه فرنگی که با A نمایش داده شده است.(١١)

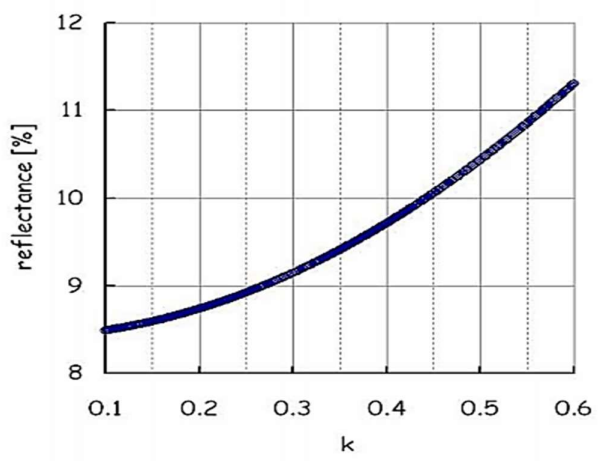


شکل شماره ٥:نمایش درصد انعکاس موج THz(نقاط سالم بیشتر ١٥ درصد انعکاس دارند) (١١)



شکل شماره ٦:نمایش میزان انعکاس موج THz در پوسیدگی زیر سطحی گوجه فرنگی(سطح سالم حدود ١٠ درصد و سطح پوسیده حدود ١٤ درصد انعکاس دارد)(١١)

در سنجش کیفیت درونی محصول (گوجه فرنگی) بررسی میزان قند محصول را با استفاده از امواج THz و روش BRIX محصول مورد بررسی قرار داده شده است که نتیجه به این صورت بوده است که محصولی که دارای قند بیشتری می باشد انعکاس امواج THz کمتری دارد که با این روش می توان با استفاده از درصد قند محصول کیفیت سنجی کرد . در شکل شماره ٧، k ضریب انقراض بازتابی امواج تراهرتز می باشد که با افزایش میزان قند و افزایش ضریب k میزان جذب امواج بالا رفته در نتیجه قابلیت تشخیص درصد قند محصول و کیفیت درونی محصول رامی‌توان سنجش کرد.(١١)



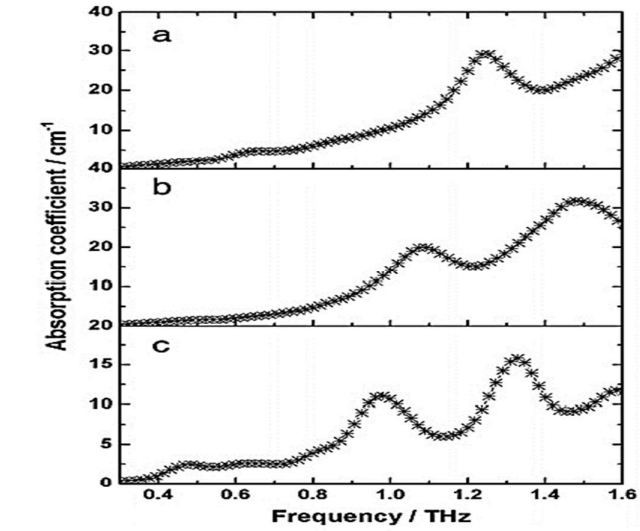
شکل شماره ۷:منحنی رابطه درصد انعکاس موج THzوضریب انقراض K(۱۱)

۲-۲.شناسایی کمی و کیفی سموم درمحصولات کشاورزی

استفاده امواج تراهرتز به دلیل قابلیت جذب شدن و انعکاس قابلیت بسیار مناسب جهت شناسایی سموم در محصولات را دارد.

۱-۲-۲.شناسایی سموم نیتروفن(Nitrofen) ،تیاکلوپرید(Thiacloprid) و استامی پرید(Acetamipyrid)

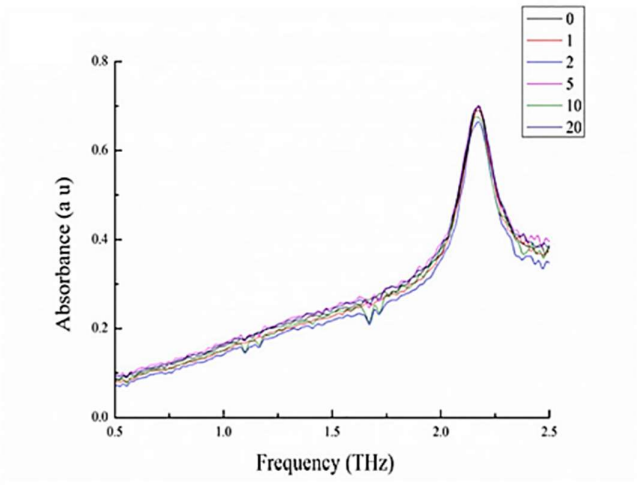
با استفاده از امواج THz می توان سم موجود در محصولات کشاورزی را تشخیص دارد.در تشخیص نیتروفن(Nitrofen) ،تیاکلوپرید(Thiacloprid) و استامی پرید(Acetamipyrid) می توان از امواج THz استفاده کرد.نیتروفن یک نوع سم علف کش هست که در مبارزه با علف های هرز مورد استفاده قرار می گیرد.تیکاکلوپرید و استامی پرید سموم دفع آفات می باشد.درتشخیص سموم ذکر شده می توان از طیف سنجی دامنه زمانی-THz (TDS)به دلیل ویژگیهای منحصر به فرد آن ، به عنوان ابزاری در دسترس برای شناسایی و تجزیه و تحلیل ترکیبات مورد استفاده قرار گرفته است. طیف THz نیتروفن تشخیص داده شد و مقایسه دو سموم دفع آفات دیگر (تیاکلوپرید و استامی پیریید) برای نشان دادن مشخصات منحصر به فرد آفت کش با استفاده از امواج THz ارائه شد. در مطالعه انجام شده ، طیف انعکاسی THz نیتروفن و دارای ویژگی های متمایز در مقایسه با دو ماده دیگر (تیاکلوپرید و استامی پیریید) دارد ، از جمله سه قله (پیک) جذب ۰.٤۸ ، ۰.۹۸ و ۱.۳۳ امواج THzمی باشد که در شکل شماره ۸ قسمت C مربوط به نیتروفن نشان داده می شود. شکل های a وb به ترتیب مربوط به سموم تیاکلوپرید (Thiacloprid)و استامی پرید (Acetamipyrid) که دارای دو قله و یک قله جذب THz را دارند. بنابراین طیف سنجی THzیک روش مو ثر برای شناسایی مواد سمی است(۱۲).



شکل شماره۸: نمایش قله (پیک) های مختلف سموم را در اثر امواج THz (۱۲)

۲-۲-۲.تشخیص سم آفلاتوکسین (Aflatoxin) در روغن سویا با استفاده از طیف سنجی تراهرتز

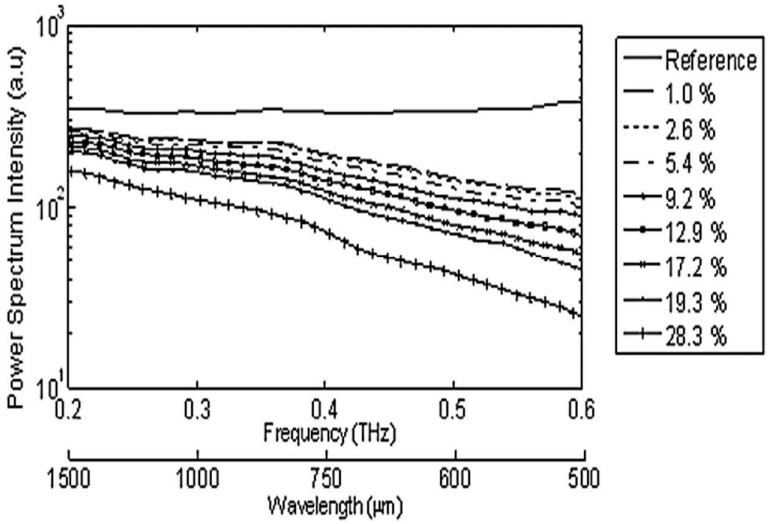
روغن سویا غالباً توسط آفلاتوکسین B1 (AFB1) آلوده می شود که به عنوان ماده سرطان زا می باشد .امکان تعیین سریع AFB1 در روغن سویا با طیف سنجی تراهرتز مورد بررسی قرار گرفته است . در این بررسی شش نمونه مختلف روغن سویا با AFB1 در غلظت های ۰ تا ۲۰ میکروگرم بر کیلوگرم (۰ ، ۱ ، ۲ ، ۵ ، ۱۰ ، ۲۰ میکروگرم / کیلوگرم) با افزودن مقدار مناسب از محلول استاندارد موجود AFB1 به روغن سویا خالص مورد بررسی قرار گرفته است . با استفاده ازقاعده جذب و انعکاس امواج THz می توان درصد(غلظت) سم آفلاتوکسین را درروغن سویا تشخیص داد.در شکل شماره ۹ می توان با استفاده ازقله(پیک) های مختلف با درصد سم های مختلف میزان غلظت سم در روغن سویا را تشخیص داد(۱۳).



شکل شماره ۹:نمایش قله (پیک) های سم آفلاتوکسین با غلظت های مختلف (۱۳)

۳-۲- سنجش رطوبت در مواد غذایی

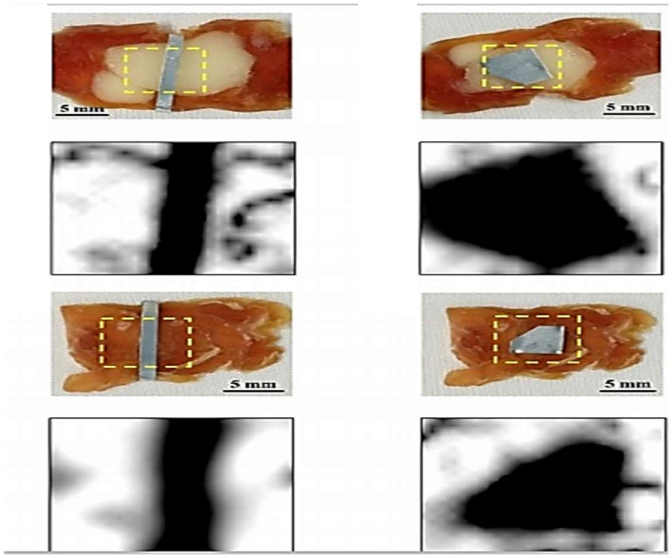
در قطعات نان(ویفر) استفاده از THz یک روش کمی و غیرتهاجمی برای اندازه گیری میزان رطوبت وزنی کمتر از ۲۵ درصد وزنی می باشد. بررسی انجام شده بر روی ویفرهای مواد غذایی جامد گزارشی ارائه شده است .در سنجش میزان رطوبت از روش تابش THz استفاده شده است. فرکانسهای بالای THz به دلیل اندازه منافذ موجود در ویفر تحت تأثیر پراکندگی قرار می گیرند .جذب انتخابی این قسمت از طیف الکترومغناطیسی توسط آب ، پتانسیلی را برای یک روش غیرتهاجمیTHz ایجاد و آزمایش را بسیار دقیق نشان می دهد .در این بررسی از امواج THz با نمونه معمولی ویفرکه با درصد رطوبت استاندارد به عنوان مرجع استفاده می شودکه درشکل شماره۱۰ نمایش داده می شود.با عبور امواج THz از ویفرهای مختلف با درصد رطوبت مختلف قطعات نان و میزان جذب امواج THz می توان درصد رطوبت را در محصولات بسته بندی تشخیص داد. در شکل شماره ۱۰ منحنی‌های مربوط به درصد رطوبت موجود در نان مشخص شده است.نمونه ای که درصد وزنی رطوبت بیشتری دارد مقدار جذب امواج تراهرتز بیشتری را دارد(١٤).



شکل شماره۱۰:نمایش رفتار THz در برخورد با رطوبت موجود در ویفر(١٤)

٤-٢.تشخیص مواد خارجی(فلزات) در محصولات غذایی

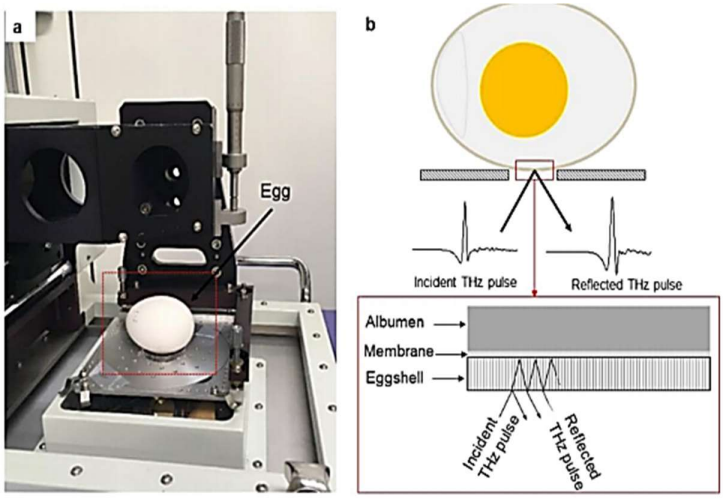
تشخیص دقیق و سریع مواد خارجی در محصولات غذایی برای اطمینان از کیفیت و ایمنی مواد غذایی ضروری است. تصویربرداری THz یک فناوری نوظهور برای تشخیص غیر مخرب در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می گیرد. در مطالعه انجام شده امکان مکان یابی آلودگی ها در سوسیس و کالباس با استفاده از روش تصویر برداری THz امکان پذیر شده است.فلز به دلیل ماهیت جذب امواج تراهرتز قابلیت تشخیص در مواد غذایی را دارد.در شکل شماره ۱۱ قطعه فلزی با ابعاد ۵ میلی متر را با استفاده از امواج THz تشخیص داده شده است که می توان در بسته بندی ها و تولید صنایع غذایی استفاده و به کار برد تا ایمنی مصرف کننده افزایش یابد(۱۵).



شکل شماره ۱۱:تصویر نشان داده شده قطعه فلزی موجود در سوسیس با استفاده از امواج THz (۱۵)

۵-۲-سنجش ضخامت پوسته تخم مرغ

پوسته های تخم مرغ نقش مهمی درمحافظت از محتوای داخلی که به عنوان منبع اصلی مواد معدنی برای رشد جنین داخل تخم مرغ دارد. تخمهای با پوسته تخم مرغ ضخیم تر ممکن است توسط کشاورزان و خریداران برای جوجه ریزی ترجیح داده شوند. دلیل این امر این است که تخم مرغ های دارای پوسته ضخیم تر ، ممکن است جوجه های سالم تری تولید کنند. تخم مرغی که دارای پوست ضخیم تراست در خود مواد معدنی زیادی دارد، همچنین پوست ضخیم از محتویات داخلی در برابر اشعه ماورا بنفش (قرار گرفتن در معرض نور خورشید) بهتر محافظت می کند.بنابر این تحقیق در مورد ضخامت پوسته تخم مرغ واندازه گیری ضخامت پوسته تخم مرغ به دلیل عدم وجود روش مناسبی برای اندازه گیری غیر مخرب نیازمی باشد. درسنجش ضخامت پوسته تخم مرغ از آنجا که امواج THz ازفاصله بین هوای پوسته تخم مرغ و همچنین از مرز داخلی پوسته تخم مرغ انعکاس می شود استفاده می گردد. سیگنال های تداخل حاصل به ضخامت پوسته تخم مرغ بستگی دارد. بنابراین ، می توان ضخامت پوسته را از فاصله نوسان در حوزه فرکانس تخمین زد . شکل شماره ۱۲ نمایش دستگاه اندازه گیری(a) و (b) موج ورودی و خروجی THz را نشان می دهد. روش سنجش و منحنی ضخامت پوسته تخم مرغ را می توان با استفاده ازقله (پیک) ایجاد شده درمنحنی خروجی می توان ضخامت استاندارد تخم مرغ را تشخیص داد(۱۶).



شکل شماره ۱۲ نمایش دستگاه اندازه گیری(a) و شکل (b) موج ورودی و خروجی (۱۶)THz

به طور کلی می توان پژوهش های ذکر شده جهت استفاده از THz را در آزمون های غیر مخرب بخش کشاورزی را در جدول شماره ۲ به صورت خلاصه بیان کرد.

جدول شماره ۲:خلاصه گزارش استفاده ازامواج تراهرتز در آزمونهای غیر مخرب در بخش کشاورزی

ردیف	نوع آزمون	نتیجه	روش استفاده THz	فرکانس	تعداد نمونه های جهت آزمایش	روش ثانویه مورد استفاده در آزمایش	مشخصات دستگاه آزمایش: فرکانس (THz)	حالت ماده آزمایش	منبع
۱	ارزیابی کیفیت بیرونی و درونی محصولات کشاورزی	قابلیت تشخیص لهیدگی سطحی و درونی – تشخیص میزان قند محصول	THZ-TDS	۱-۱.۸	۲	Brix mater	۰.۲-۲	جامد	Yuichi Ogawa et al.,206
۲	شناسایی کمی و کیفی سموم درمحصولات کشاورزی	.شناسایی سموم نیتروفن (Nitrofen)، تیاکلوپرید (Thiacloprid) و استامی پرید (Acetamipyrid)	THZ-TDS	۰-۱.٦	١٤	Ipls(PLS)	sapphire laser (Femtosource) provides 100 fs pulses with a repetition rate of 80 MHz	مایع	Wang Qiang and Ma Ye-hao.,2013
		تشخیص سم آفلاتوکسین (Aflatoxin)در روغن سویا با استفاده از طیف سنجی تراهرتز	THZ-TDS	۰.۰۵-۲.۵	۱۰۰	BPNN -LS ،SVM ،PLS	۰.۱-۵	مایع	Wei Liu et al.,2019

۳	سنجش رطوبت در مواد غذایی	سنجش درصد وزنی رطوبت داخل ویفر نان	THz-TDS	۰.۲-۰.٦	۲نوع نمونه با تخلخل های ۷۷ و۸۸ درصد	_____	۰.۱-٤	جامد	P Parasoglou et al.,2010
٤	.تشخیص مواد خارجی(فلزات) در محصولات غذایی	تشخیص فلز در سوسیس	THZ-TDS	۰-۱.٤	۱	_____	۰.۱-۳.۵	جامد	Chen Wang et al.,2018
۵	سنجش ضخامت پوست تخم مرغ	تشخیص ضخامت پوست تخم مرغ	THZ-TDS	۰.۲۰٤-. ۱.۲۰۳	_____	_____	۰.۲-۲	جامد	Alin Khaliduzzaman et al.,2020

استفاده از امواج تراهرتز محدودیت هایی نیز دارد،به طور مثال درپژوهش انجام گرفته برروی کیفیت سنجی کیفی میوه ها(گوجه فرنگی) امواج THz به دلیل اینکه وابسته به رطوبت هست با کاهش رطوبت محصول نتایج حاصل ازپژوهش می تواند تغییر کند همچنین در مطالعه انجام شده برروی ویفر با افزایش درصد تخلخل امواج THz (بیشتر از۰.٦THz) ایجاد اختشاش در امواج می‌گردد که که دقت آزمایش را کاهش می‌دهد.

نتیجه و بحث:

باتوجه به بررسی های انجام گرفته می توان به این نتیجه رسید که استفاد از روش آزمون های غیر مخرب با امواج THz ،قابلیت افزایش ایمنی محصولات تولیدی جهت افزایش ضریب اطمینان مصرف کننده استفاده کرد. امواج THz با نفوذ پذیری مناسب می تواند در افزایش سرعت بررسی بسته بندی های مواد غذایی کمک کرد. با استفاده از روش های غیر مخرب امواج THz در خط تولید می توان از وجود مواد فلزی در داخل محصولات که قابلیت تشخیص با چشم را ندارند استفاده کرد.با استفاده از امواج THz می توان به راحتی سموم داخل مواد غذایی را شناسایی کرد که خود این سموم عامل ایجاد سرطان در انسان است.در زمینه استفاده از امواج THz در عرصه آزمون های غیر مخرب در کشاورزی و صنایع غذایی بسیار بایستی تحقیق و پژوهش شود تا بتوان در همه زمینه های کشاورزی و صنایع غذایی این نوع روش آزمون را بکار برد.

منابع:

[1] Yuxin Huang , Ranjan Singh , Lijuan Xie and Yibin Ying .,” Attenuated Total Reflection for Terahertz Modulation, Sensing, Spectroscopy and Imaging Applications: A Review.,applied sciences.,2020

[2] S. Mathanker, P. Weckler,N. Wang ., “Terahertz (THz) Applications in Food and Agriculture: A Review.,” American Society of Agricultural and Biological Engineers ., Vol. 56(3): 1213-1226.,2013

[3] Leili Afsah-Hejri, Elnaz Akbari, Arash Toudeshki, Taymaz Homayouni, Azar Alizadeh, Reza Ehsani., Terahertz spectroscopy and imaging: A review on agricultural applications., Computers and Electronics in Agriculture.,Volume 177, October 2020, 105628

[4] John F Federici , Brian Schulkin , Feng Huang , Dale Gary , Robert Barat , Filipe Oliveira and David Zimdars., “THz imaging and sensing for security applications—explosives, weapons and drugs”., Semicond. Sci. Technol. S266–S280.,2005

[5] Anselm Deningera , Axel Roggenbucka , Stephanie Schindlera , Iván Cámara Mayorgab , Holger Schmitzc , Joachim Hembergerc , Rolf Güstenb , and Markus Grüningerc.," Cw THz Spectrometer with High SNR and MHz Frequency Resolution" 2009 .,34th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves.,2009
[7] Chiou, C.P., Thompson, R.B., Winfreew, W.P., Madaras, E.I., Seebo, J. (2006). Modeling and Processing of Terahertz Imaging in Space Shuttle External Tank Foam Inspection. Quant. Eval, 412, 484– 491
[9] John F Federici , Brian Schulkin , Feng Huang , Dale Gary , Robert Barat , Filipe Oliveira and David Zimdars.," THz imaging and sensing for security applications—explosives, weapons and drugs"., Semicond. Sci. Technol. 20 (2005) S266–S280.,2005
[10]. Xinyang Miao, Mengxi Chen, Honglei Zhan, Kun Zhao, Wenzheng Yue., Evaluating the Hydrocarbon Yield of Oil Shale Using Electrically Tunable Terahertz Wave"., Energy Resour. Technol. Jan 2021, 143(1): 013004 (6 pages).,.2020.
[11] Yuichi Ogawa, Shin'ichiro Hayashi, Naoshi Kondo, Ninomiya.,Kodo Kawase, "Feasibility on the quality evaluation of agricultural products with terahertz electromagnetic wave".,2006
[12] Wang Qiang , Ma Ye-hao.," Qualitative and quantitative identification of nitrofen in terahertz region"., Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems.,127(2013)43-48.
[13] Wei Liua , Pengguang Zhaoa , Chaosheng Wua , Changhong Liua , Jianbo Yangc , Lei Zheng.," Rapid determination of aflatoxin B1 concentration in soybean oil using terahertz spectroscopy with chemometric methods"., Food Chemistry.,293(2019)213-219
[14] P Parasoglou , E P J Parrott, J A Zeitler, J Rasburn3 and H Powell, L F Gladden and M L Johns.," Quantitative Water Content Measurements in Food Wafers Using Terahertz Radiation"., Terahertz Science and Technology, ISSN 1941-7411.,vol.3, No.4, 2010.
[15] Chen Wanga, Ruiyun Zhoua, Yuxin Huanga, Lijuan Xiea, Yibin Yinga.," Terahertz spectroscopic imaging with discriminant analysis for detecting foreign materials among sausages".,2018
[16] Alin Khaliduzzaman, Keiji Konagaya , TetsuhitoSuzuki , Ayuko Kashimori , Naoshi Kondo1 and YuichiOgawa.," A Nondestructive Eggshell Thickness Measurement Technique Using Terahertz Waves"., Scientific Reports.,2020.

[٦]پریناز پناهی جانیار، ناصر سپهری جوان،آصف خیراندیش.،" تولید تابش تراهرتز بوسیله تحریک پالسمون پالریتونهای سطحی گرافن در سیستمهای اسمیت –پارسل"پایان نامه .، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش اتمی مولکولی زمینه پلاسما.،دانشگاه محقق اردبیلی.،١٣٩٨
[٨]حمیدرضا زنگنه ،فرزاد مرادیان نژاد د،امید پناهی ،محسن گلزارشهری ،سید محمدعلی مرتضوی ، علی سوری.،" تکنولوژی نوین آزمون غیرمخرب با استفاده از امواج تراهرتز".،فنآوری آزمون های غیر مخرب.

Investigating using THZ method for quality assessment of agro-food products

Abstract:
Quality and measurement of agricultural products is one of the major concerns in exports and consumption. Performing and measuring quality with the help of the five senses is costly and time consuming. A safe, fast, reliable and non-destructive diagnostic method is needed to reassure consumers about the safety of food products. THz waves, which have microwave and infrared properties, can penetrate many packages used in agriculture and food industry and highlight the weaknesses of the product. Due to technological advances in recent years, the use of the ability to absorb and reflect waves as well as the use of THz spectral imaging has made it possible to quickly detect impurities in food. In recent years, THz imaging has been shown to have great potential as an emerging non-destructive tool for food inspection. THz spectroscopy in terms of quality and

quantity of food products can be a great help in inspection and quality control. Other applications of THz technology in the food industry include the detection of toxic compounds. In this article, the strengths and weaknesses of this method are discussed by looking at the perspective of this technology.
Key words: THz waves, non-destructive tests, quality measurement, spectroscopy.

*Reza Shahbazi
E-mail:shahbazi.reza36@ut.ac.ir