



مروری بر کاربردهای تصویر برداری غیرمرئی X-ray و طیف سنجی مادون قرمز نزدیک در ارزیابی غیرمخرب کیفیت انار

احسان شیدائی^۱، پوریا بازیار^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری تهران، [sheidaee.ehsan@ut.ac.ir](mailto:sheidae.ehsan@ut.ac.ir)
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری تهران، pourya.bazyar@ut.ac.ir

چکیده

انار با دارا بودن ارزش غذایی زیاد و با دانه های به نام آریل (Arils) که با رنگ های قرمز، سفید و بین این دو شناخته می شود و در تجارت جهانی بسیار مورد توجه است. تضمین کیفیت، یکی از مهم ترین اهداف هر صنعتی می باشد، لذا نیازمند روش کم هزینه و غیرمخرب برای سنجش کیفیت این محصول می باشیم. هدف این مطالعه، مروری بر روش های معمول و غیرمخرب شامل تصویر برداری غیر مرئی X-ray و طیف سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR) جهت ارزیابی کیفیت انار می باشد. طیف سنجی X-ray روشی مناسب برای بدست آوردن حجم اجزاء داخلی انار می باشد و به این طریق می توان نسبت به سالم بودن ساختار داخلی انار پی برد. طیف سنجی NIR روشی مناسب برای ارزیابی کیفیت داخلی میوه انار با پوست ضخیم بوده و همچنین تجزیه و تحلیل مواد شیمیایی موجود در دانه و پوسته انار در زمان نگهداری و استفاده از مشتقات انار (مانند آب انار) مورد توجه می باشد.

کلمات کلیدی: انار، ارزیابی کیفیت، طیف سنجی اشعه ایکس، پردازش عکس، طیف سنجی NIR

A review of the applications of non-visible X-ray imaging and infrared spectroscopy in the non-destructive evaluation of pomegranate quality.

Ehsan Sheidaee, pourya bazyar
Sheidaee.Ehsan@ut.ac.ir, pourya.bazyar@ut.ac.ir

ABSTRACT

Pomegranate with a high nutritional value and with seeds called Arils, which are red, white and between them, are very important in world trade. Quality assurance is one of the most important goals of any industry. Therefore, we need a low-cost, non-destructive method to measure the quality of this product. The purpose of this study is to review common and non-destructive methods including Non-visible X-ray imaging and Near-Infrared Spectroscopy (NIR) for evaluating the quality of pomegranate. Non-visible X-ray imaging is a suitable method for obtaining the amount of internal pomegranate components, and thus it can be seen that the internal structure of the pomegranate is intact.

NIR spectroscopy is a suitable method for evaluating the quality of domestic pomegranate fruit with a thick skin, as well as analysis of the chemicals in pomegranate seeds and shells during storage and the use of pomegranate derivatives (such as pomegranate juice).

Keywords: Pomegranate, Quality Evaluation, Non visible X-ray imaging, Image Processing, NIR spectroscopy



۱- مقدمه

انار (*Punica granatum L.*) از خانواده Punicaceae است، یکی از قدیمی‌ترین میوه‌هایی است که به طور وسیع در بسیاری از کشورهای گرمسیری و نیمه گرمسیری کشت می‌شود. (Fadavi et al., 2006) در ایران کشت انار به طور وسیع در مناطق مرکزی و در شهرهای یزد، ساوه، شیراز و اصفهان انجام می‌شود. انار توجه بسیاری از مصرف کنندگانی که علاقه‌مند به غذای مغذی با طعم عالی هستند را نیز به خود جلب کرده است (Patil., 1976). بخش خوراکی میوه که آریل نام دارد حدود ۵۲ درصد وزن میوه را تشکیل می‌دهد، که شامل ۷۸ درصد آب میوه و ۲۲ درصد بذر می‌باشد. میوه انار طیف وسیعی از ویژگی‌های دارویی مانند اثرات ممانعت‌کنندگی از سرطان، بیماری‌های قلبی و عروقی و اثرات ضد توموری، ضد ویروسی و ضد باکتری در ممانعت از تورم لثه را دارا می‌باشد. این اثرات سودمند مربوط به خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالای انار می‌باشد. (Martinez et al., 2006).

کیفیت یعنی مجموعه‌ای از تمام ویژگی‌هایی که وقتی با هم ترکیب می‌شوند، می‌تواند باعث رضایت مشتری شود. بدیهی است که همواره نگرانی‌هایی درباره ایمنی و مسائل مربوط به کیفیت این محصول وجود دارد (Shewfelt and Bruckner., 2000). فاکتورهای پایه و عمده که به طور معمول برای ویژگی‌های کیفیت استفاده می‌شوند عبارتند از: اندازه، شکل، رنگ، مزه، بافت، طعم و عاری بودن از عیب و مواد خارجی. با توجه به این که تعداد زیادی از فاکتورهای کیفیت محصولات کشاورزی به خواص بیوفیزیکی آنها مرتبط هستند، روش‌های غیر مخرب برای ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی بر اساس خواص بیوفیزیکی گسترش یافته‌اند (Chen and Sun, 1991). برخی از انارهای چیده شده از یک باغ ممکن است از نظر میزان درصد پوست و میزان حجم آب با یکدیگر متفاوت باشند. باید توجه داشت رسیدن انار، افزایش سطح اسیدپسته، رنگ-پذیری و آبدار شدن همگی به تغییر دما و سرد شدن نسبی آن بستگی دارد. از اینرو باغداران در برداشت انار تابع شرایط دمایی بوده و تغییر دما نیز خود عامل خسارت نسبی به میوه‌های رسیده و افزایش میزان میوه‌های ترکیده و زخمی می‌باشد. مطالعات انجام شده در زمینه روش غیرمخرب نسبت به روش مخرب می‌توان به هزینه کمتر، نیاز کمتر به افراد متخصص، صرفه جویی در وقت و غیره اشاره کرد. مهم ترین سامانه‌های غیرمخرب در ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و صنایع غذایی شامل ماشین بینایی^۱، بینی الکترونیک^۲، فراصوت^۳ و طیف سنج مادون قرمز (IR)^۴ (Jha, 2010). در این مقاله سامانه‌های غیرمخرب طیف سنجی اشعه X و طیف سنجی مادون قرمز نزدیک NIR^۵ و مهم ترین پژوهش‌های صورت گرفته شده با این روش‌ها جهت ارزیابی کیفیت انار بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شده است.

۲- تصویربرداری غیرمرئی X-ray در ارزیابی کیفیت انار

1-2- تصویربرداری غیرمرئی X-ray

اشعه ایکس هنگامی که الکترون‌های با سطح انرژی بالا به یک ماده هدف مشخص به طور معمول تنگستن برخورد نموده تولید می‌شوند. یک لامپ اشعه ایکس طراحی مشابه با لامپ برق داشته بجز اینکه الکترون‌های جاری شده از افروزه حرارتی در معرض یک ولتاژ بالا قرار گرفته و موجب شتاب گرفتن آنها و برخورد با ماده هدف مشخص در سطح انرژی بالا می‌باشد. هنگامی که از سرعت این سطوح انرژی بالایی از الکترون در ماده هدف کاسته شد، الکترون‌های اتم‌های ماده هدف، ابتدا تحریک شده و سپس به حالت تراز اصلی با انتشار پرتوهای ایکس تنزل می‌یابند. اشعه ایکس دارای دو ویژگی مهم در عملکرد دستگاه اشعه ایکس می‌باشد: انرژی و جریان. انرژی به حداکثر انرژی که یک فوتون اشعه ایکس را می‌توان هنگام تحریک لامپ تصرف نموده اشاره می‌کند. (بطور کلی بین ۲۰ و ۱۰۰ کیلو الکترون ولت در بازرسی مواد غذایی) و قدرت نفوذ پرتوی اشعه ایکس را تعریف می‌کند. جریان، اندازه گیری شده در میلی آمپر، با تعداد فوتون‌های اشعه ایکس که تولید شدند مرتبط می‌باشد. منبع تغذیه دارای یک توان نامی حداکثر (محصولی از انرژی و جریان) بوده و یک تعادل بنابراین بین انرژی و جریان مورد نیاز

1 - Arils

2 - Machin vision

3 - Electronic nose

۴ - Ultrasonic

۵ - Infrared Spectroscopy

۶ - Near Infrared Spectroscopy

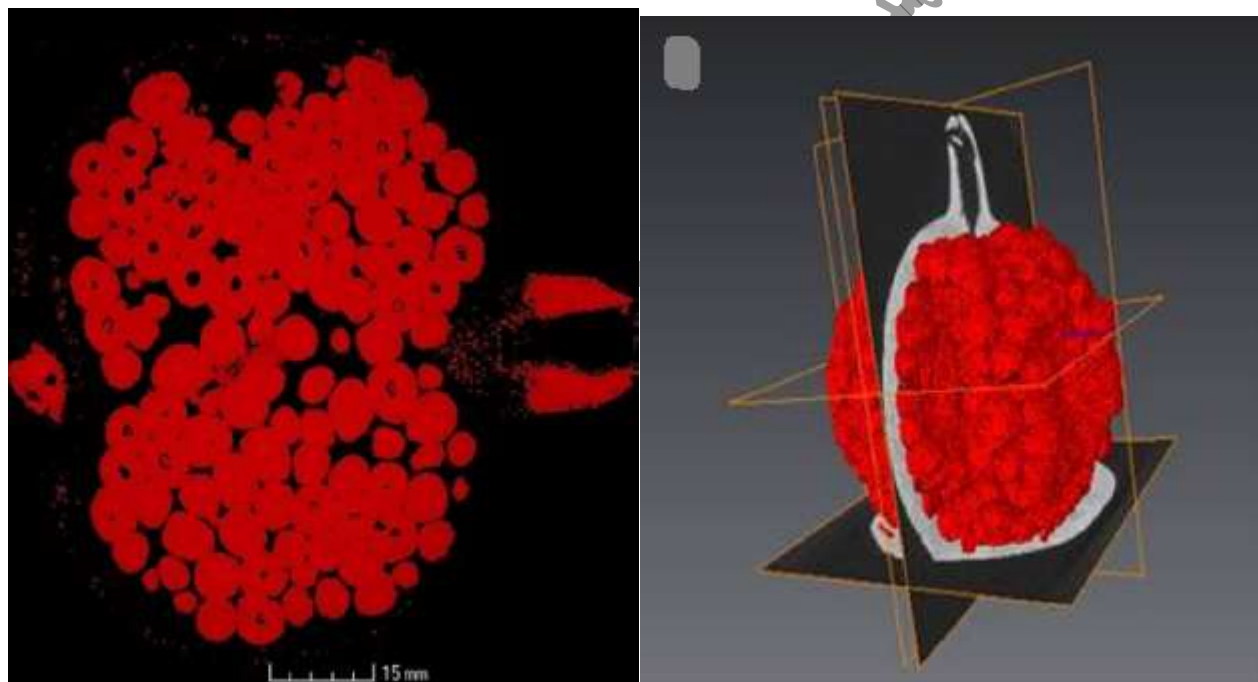
می باشد. (Edwards,2007)

اولین آشکارساز اشعه ایکس یک ورق کاغذ پوشش داده شده با پلاتینوسیانید باریم استفاده شده توسط روننگن در سال ۱۸۹۵ بود. کاغذ در اثر برخورد با اشعه ایکس نور مهتابی از خود پس داد و منجر به کشف اولیه آن شد. ماشینهای پوشش خطی با دو پرتو متعام دوگانه، به طور اساسی یک نمونه ساده از پوشش توموگرافی کامپیوتری، به منظور تقلیل مشکلات صوتی و اجازه تشخیص اجسام آلوده نازک که اغلب توسط ماشینهای پوشش خطی معمولی قابل تشخیص نبوده استفاده شده است. (Graves et al., 1994)

اشعه از چند جهت بر جسم تابیده شده و همزمان شدت اشعه خروجی از تمام ردیفها بوسیله آشکارساز اندازه گیری می شود. جهت بازسازی تصویر داده های بدست آمده توسط روش های ریاضی (حل روابط چند مجهولی) تجزیه و تحلیل می شوند و در نهایت جرم حجمی (ضریب تضعیف) هر قسمت بدست می آید و از روشهای بازسازی تصویر که شامل: (۱) روش ماتریس معکوس^۶ (۲) روش بازگردان تصویر^۸ (۳) روش تبدیل فوریه

۲-۲- پردازش عکس:

پردازش تصویری اشعه ایکس برای بازسازی تصاویر ۳D برای مقاصد اندازه گیری حجم با استفاده از نرم افزار گرافیکی (Studio max,2.1) مورد استفاده قرار گرفت. نوبتهای گرفته شده از داده های اشعه ایکس حذف و با استفاده از روش فیلتر کردن 5×5 و با جمع کردن برش ها ۳D در سراسر، حجم هر منطقه به صورت خودکار محاسبه شد. (شکل ۱)



شکل ۱- پردازش تصویر

Figure 1. Image processing

۲-۳- کاربرد X-ray در ارزیابی کیفیت انار:

در پژوهشی از تصویر برداری غیرمرئی X-ray برای بدست آوردن ساختار و ویژگی های داخلی میوه انار انجام شده است. جهت انجام این تحقیق ۱۲ نمونه انار با اندازه یکنواخت استفاده شده و برای تحلیل ویژگی های درونی از دستگاه توموگرافی کامپیوتری اشعه ایکس (CT) همراه با تکنیک های تجزیه و تحلیل تصویر می باشد. با استفاده از تصاویر ۳D، حجم های اشغال شده توسط قسمت های arils,albedo و فضای هوایی بدست آمد و موارد بدست آمده با آزمون t مستقل فیشر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. (Magwaza,2014)

از این روش در مطالعه دیگر برای تشخیص بیماری های پروانه ای و قارچی در میوه انار مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع ۶۰ میوه انار که تعدادی دارای بیماری های لارو پروانه ای و دانه های سیاه می باشد را شناسایی شده است. این نمونه ها را با استفاده از دستگاه توموگرافی و تجزیه

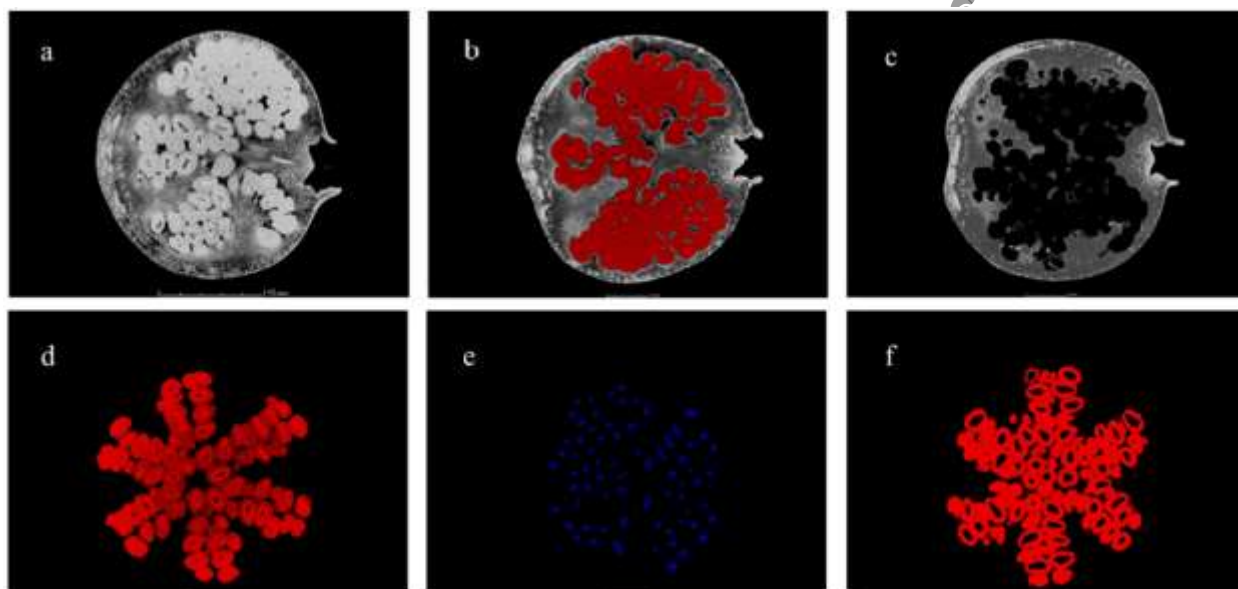
و تحلیل تصاویر 3D ، میزان تراکم قسمت های مختلف میوه انار و تراکم پروانه لارو و نتایج مورد نظر بدست آمده است. (Arendse,2016)

در تحقیقی دیگر با استفاده از دستگاه میکرو سی تی اسکن برای تخمین حجم اجزاء انار از جمله Arils , Albedo در دو رقم ایرانی (Salmanizadeh et al., 2014) انجام گرفته است. ('Rabab Toresh', 'Rabab Malas')

7- matrix inversion

8- Back projection

در این تحقیق برای تخمین محتوا و حجم میوه آب انار بوده و از ترکیب دو روش پردازش تصویر و اشعه ایکس می باشد. ابتدا ۲۳ میوه انار با استفاده از دستگاه میکرو سی تی اسکن که براساس تولید اشعه ایکس با ولتاژ منبع ۲۴۵ کیلوولت و جریان ۳۰۰ میکروآمپر انجام و سپس عملیات پردازش تصویر برای تخمین حجم آب انار می باشد. طبق شکل ۲ مشاهده می شود: (a) قطعه ای برش داده شده از انار به حالت 2D ، (b) قسمت آریل که بخش خوراکی می باشد، به رنگ قرمز تبدیل می شود. (c) قسمت آریل حذف و پوسته بدست می آید. (d) قسمت آریل بدست می آید. (e) شناسایی و استخراج هسته دانه های انار (f) هسته های دانه های انار جدا و قسمت آبدار آریل بدست می آید. (Arendse, 2018)



شکل ۲ - مراحل مختلف تجزیه و تحلیل تصویر

Figure 2. different steps of image analysis

۳- طیف سنجی NIR در سنجش کیفیت انار:

1-3- طیف سنجی NIR:

محدوده انرژی موج مادون قرمز ما بین 10^{11} - 2.65×10^{11} تا 10^{20} - 7.96×10^{20} و طول موج 750 تا 2500 nm از امواج الکترومغناطیسی می باشد که برحسب نزدیکی آن به نور مرئی به سه بخش فرورسرخ نزدیک^۹ (NIR)، فرورسرخ میانه^{۱۰} (MIR) و فرورسرخ دور^{۱۱} (FIR) تقسیم می شود. انرژی فوتون های این نواحی در اتم ها و گروه هایی که پیوند کوالانسی^{۱۲} دارند باعث ارتعاشات کششی (تغییر در طول پیوند) و خمشی (تغییر در زاویه پیوند) می شود. (موتق، ۱۳۸۷- جوانبخت و همکاران ۱۳۸۶)

کشف انرژی مادون قرمز نزدیک به هرشل^{۱۳} در قرن نوزدهم نسبت داده شده است، هرچند که اولین کاربرد صنعتی در دهه ۱۹۵۰ آغاز شد. طیف سنجی مادون قرمز نزدیک در ابتدا تنها به عنوان یک واحد مکمل به تجهیزات نوری دیگر که طول موج هایی مانند ماوراء بنفش، مرئی را استفاده نموده یا طیف سنج های میانه مادون قرمز استفاده شدند. در دهه ۱۹۸۰، یک سیستم طیف سنجی مادون قرمز نزدیک مستقل، مجزا



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

ساخته شد، اما کاربرد آن بیشتر بر روی تجزیه و تحلیل شیمیایی متمرکز بود. با معرفی فیبر های نوری در اواسط ۱۹۸۰ و توسعه آشکارسازهای تک‌رنگ در اوایل دهه ۱۹۹۰، طیف سنجی مادون قرمز نزدیک به یک ابزار قدرتمند برای تحقیقات علمی تبدیل شد. امروزه این روشی رسمی به منظور تعیین محتوای پروتئینی گندم موجود می باشد.

^۹- Near infrared

¹⁰- Mid- infrared

¹¹- Far infrared

¹²-Covalent bond

¹³- Herschel

طیف سنجی NIR در مورد برهم‌کنش تابش NIR با ماده بحث می کند که برای این منظور، اغلب از طیف های جذبی استفاده شود. طیف NIR یک ترکیب می تواند اطلاعات اساسی در مورد ساختار مولکولی و حالت شیمیایی ماده ارائه دهد. (جمشیدی، ۱۳۹۱) محققان چندین مطالعه بالقوه با طیف سنجی NIR برای اندازه‌گیری کیفیت داخلی در میوه های پوست ضخیم مورد مطالعه انجام داده اند . اندازه‌گیری غیرمخرب در میوه های دارای پوست ضخیم که توسط نویسندگان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است . به عنوان مثال، اندازه‌گیری های غیر مخرب محتوا SSC، طالبی سالم و برش خورده. (Dull et al, 1989) De Oliveira و همکاران (2014) کارایی NIR را برای پیش بینی کیفیت داخلی در سه گونه از میوه های مختلف (زردآلو، گوجه فرنگی، و میوه شور) مقایسه می کند. نتایج نشان می دهد که NIR می تواند برای ارزیابی کیفیت داخلی زردآلو استفاده شود، اما برای ارزیابی کیفیت داخلی در میوه ها با پوست ضخیم و ساختار داخلی ناهمگون (گوجه فرنگی) مناسب نیست. با توجه به منابع، قدرت نفوذ در طول موج ۷۰۰-۹۰۰ نانومتر در محدوده ۲ تا ۳ میلیمتر و در محدوده طول موج ۹۰۰-۱۹۰۰ نانومتر، ۴ میلیمتر است.

2-3- تجهیزات طیف سنجی NIR

تجهیزات اسپکتروسکوپی NIR، اسپکتروفوتومتر^{۱۴}، فیبرهای نوری^{۱۵} و مدهای اسپکتروسکوپی^{۱۶} می باشد. دستگاهی که اطلاعات بدست آمده از اندازه گیری های عبوری یا بازتابی نمونه را به شکل یک طیف جذبی فراهم می کند، اسپکتروفوتومتر نامیده می شود. بطور کلی اسپکتروفوتومترها شامل یک منبع نور، تکفام ساز و آشکارساز هستند. منبع های نوری از نوع نوارگسترده^{۱۷} (حرارتی) و نوار باریک^{۱۸} (غیر حرارتی) بوده که منابع حرارتی تابش را در یک ناحیه ی طیفی پیوسته تولید می کنند. (Wang and Paliwal, 2007) فیبرهای نوری دستهای از مواد هستند که در آنها نور به دلیل شکست از یک نقطه به نقطه ی دیگر، بدون آن که مسیر مستقیمی طی کند، منتقل میشود. این مواد به شکلی بوده که در ناحیه ی طول موج مورد نظر، شفاف باشند. (جمشیدی، ۱۳۹۱) بر اساس توزیع تابش در یک نمونه بیولوژیک از سه مد اندازه‌گیری مختلف برای اسپکتروسکوپی NIR استفاده می شود که عبارتند از: مد بازتاب، مد عبور و مد برهمکنش. در مد بازتاب ، منبع تابشی و آشکارساز با یک زاویه ی ویژه نسبت به هم و در یک طرف نمونه قرار می-گیرد (Schaare and Fraser , 2000). مد عبور برای اندازه گیری پرتو های عبور کرده از نمونه و به دو شیوه ی عبور کامل و عبور نیمه به کار گرفته می شود. در مد عبور کامل، منبع نور درست در مقابل آشکارساز و در سمت دیگر نمونه قرار داده می شود و در مد عبور نیمه ، راستای منبع تابش و آشکارساز عمود بر یکدیگر هستند (Noh and Choi, 2006). در مد برهم کنش ، منبع نور و آشکارساز هر دو در یک طرف نمونه به شکل موازی با یکدیگر و به گونه ای قرار می گیرد که نور تابش از بازتاب آینه ای نمی تواند به طور مستقیم به آشکارساز برسد. (جمشیدی ، ۱۳۹۱ و Nicolai et al., 2007)

۳-۳- کاربرد NIR در ارزیابی کیفیت انار:

در پژوهشی از طیف سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR) برای بررسی وجود بیماری قارچی در میوه انار می باشد، برای این منظور ۴۰۰ نمونه انار را به چهار گروه ۱۰۰ تایی که دارای خصوصیات مورفولوژیکی متفاوت به علت چیدن میوه در زمان های مختلف تفکیک شده است. چهار طیف برای هر نمونه با استفاده از دستگاه آوانتس^{۱۹} ساخت روسیه ، را به داخل جسم فرستاده می شود و سپس با استفاده از روش های پیش پردازش، تجزیه و تحلیل داده ها خطی با روش PLS-DA و SIMACA برای طبقه بندی میوه های سالم و آلوده انجام و تفاوت های این دو به خوبی نشان داده شده است. (Rasool Khodabakhshian, 2016)

در این تحقیق پوسیدگی پوسته انار که در هنگام ذخیره سازی و حمل و نقل تجاری ظاهر می شود مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا ۱۴۰



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

نمونه در فواصل برداشت متفاوت جمع آوری شده و به دو قسمت تقسیم و به مدت ۵ ماه با رطوبت نسبی $91 \pm 4\%$ ذخیره سازی شده است. نتایج

^{۱۴}-Spectrophotometer

^{۱۵}-Optical Fibers

^{۱۶}-Spectroscopy modes

^{۱۷}-Broad band

^{۱۸}-Narrow band

^{۱۹}-Avantes

نشان می دهد که میوه هایی که دارای فنول و تانین بیشتری است در برابر افزایش پوسیدگی پوست مقاوم است و تفاوت میوه سالم و ناسالم از طیف-سنج FT-NIR بدست آمده و با تحلیل های PCA و OPLS-DA نتایج مورد نظر بدست می آید. (Ebrahiema Arendsea et al, 2018) این تحقیق در مورد آب انار صورت گرفته و برای تشخیص صفات ارگانولپتیک و فتوشیمیایی آب انار با استفاده از طیف مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز میانه (MIR) می باشد. تعداد نمونه های در مجموع ۳۰۰۰۰ انار بوده که آگیری شده و سپس با استفاده از کاغذ واتمن، عمل فیلتر روی آب انار صورت گرفته تا ذرات بزرگ حذف شود. این نمونه ها با استفاده از طیف سنج FT-NIR و FT-MRI با فرکانس ۱۰ KHZ مورد اسکن قرار گرفت. سپس این نمونه ها با ابزار تحلیلی و الگوریتم های رگرسیون Altman, Bland و Passion Bablock انجام و هیچ اختلافی بین این موارد وجود نداشت، در نهایت این روش طیف سنجی یک ابزار غیرمخرب برای پیش بینی پارامترهای کیفیت آب انار می باشد. (Ebrahiema Arendsea et al, 2018)

این پژوهش در آفریقای جنوبی انجام گرفته و تعداد ۳۰۰ میوه انار از باغات چیده شده و سپس در دمای 23 ± 3 درجه سانتی گراد، قسمت آریل ها از پوسته جدا شده است. این نمونه ها در حالت طیف سنجی NIR در بین طول موج ۸۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر با دستگاه Bruker Optics انجام و ۶۴ اسکن برای هر طیف صورت گرفته است. پارامترهای رنگ و استحکام Arils بدست آمده و سپس آنالیزهای شیمیایی برای تعیین غلظت فنولی بر روی آب انار از روش کالیبرتری بدست آمده است نهایتاً میزان شدت رنگ، فنولیک، آنتسیانین و ویتامین C با استفاده از تحلیل-ها بدست آمد. (Ebrahiema Arendse et al, 2017)

در این تحقیق تغییرات خواص مختلف میوه را در مراحل مختلف بلوغ، رسیدگی و انبارداری مشاهده شده و می توان با بررسی مواد جامد محلول، اسیدیته و PH به مرحله مناسب جهت برداشت میوه دست پیدا کرد. لذا در کل ۴۰۰ میوه انار با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز NIR بررسی و از مدلسازی PLS برای پیش بینی این خصوصیات ها انجام گرفته است. نتایج طیف سنجی برای تشخیص هر یک از ۴ مرحله بلوغ دانه انار، یک باند اصلی ۷۶۰ نانومتر را در طیف هر مرحله بلوغ مشخص نمود. این نوع باند قابل تخصیص به اورتون سوم کششی پیوند OH، در مورد آب می باشد. برای پیشگویی درصد کل مواد جامد محلول، PH به ترتیب از تبدیل متغیرهای نرمال استاندارد با فیلتر میانه با درجه ۳ و مشتق اول، فیلتر میانه با درجه ۴ و مشتق دوم با ضریب همبستگی ۰/۹۲ بدست آمده است. در نهایت این روش بسیار سریع و دارای پتانسیل بسیار قوی می باشد. (خدابخشیان، ۱۳۹۴)

۴- نتایج:

این مقاله سعی بر این بود که تحقیقاتی که در زمینه روش های غیرمخرب طیف سنجی های X-ray و NIR جهت ارزیابی کیفیت انار انجام گرفته به صورت کلی معرفی شده و سپس نتایج این پژوهش ها ارائه و بحث شوند. نتایج این پژوهش ها بیانگر این مسئله است که پتانسیل سی تی اسکن توموگرافی و تحلیل تصویر را به عنوان تکنیک مفید برای تجزیه و تحلیل توزیع ساختاری و مقدار خوراکی به بخش غیر خوراکی از میوه های انار را نشان داده است. استفاده از CT با تجزیه و تحلیل تصویر در مطالعه حاضر به عنوان یک ابزار امیدوارکننده برای ویژگی های غیرمخرب ساختارهای داخلی میوه ی انار نشان داده شده است. بنابراین، این فن آوری تصویربرداری ایکس رلی و طیف سنجی مادون قرمز نزدیک، غیرمخرب و غیرتماس، توانایی تشخیص حضور مواد ناشناخته با تراکم متفاوت با بافت های میوه مانند لارو و حشرات و عفونت های بیماری و وجود اختلالات فیزیولوژیکی را دارا می باشد روش های غیرمخرب در ارزیابی کیفیت انار قابل مقایسه با روش مخرب نبوده و به دلیل برخورداری از ویژگی هایی همچون دقت بالا و دخیل نبودن کاربر در صنعت جایگاه بهتری پیدا کرده است. با توجه به این که طیف سنجی NIR می تواند حجم اجزاء انار را پیش بینی کند و آفات داخلی انار را شناسایی کند و مشابه اهمیت عملکرد طیف سنجی X-ray بوده و هم در مورد ساختار شیمیایی مواد بحث کند دارای اهمیت زیادی است و پژوهش های ذکر شده نیز این نتیجه را تایید می کند و امید است که در آینده پژوهش های گسترده تر و با نتایج بهتر



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



صورت گیرد.

۵- منابع و مأخذ:

نوری، ح.، گلی زاده، م.، امید، م.، رفیعی، ش. مروری بر کاربردهای ماشین بینایی، بینی الکتریکی و طیف سنجی مادون قرمز در ارزیابی غیرمخرب کیفیت پنبیر. نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون. سلیمانی زاده، ف. ۱۳۹۱. تعیین مقدار کمی پارامترهای بیو فیزیکی دو رقم میوه انار محلی با استفاده از فناوری غیرمخرب اشعه ایکس. پایان نامه ارشد، گروه ماشین های کشاورزی، دانشگاه شیراز.

[Magwaza, L., & Opara, U. \(2014\). Investigating non-destructive quantification and characterization of pomegranate fruit internal structure using X-ray computed tomography. Postharvest Biology and Technology, 95, 1-6.](#)

[Arendse, E., Fawole, A., Magwaza, L., & Opara, U. \(2017\). Non-destructive prediction of external quality attributes of fruit with thick rind. Food Engineering, 217, 11-23.](#)

[Khodabakhshian, R., Emadi, B., Khojastehpour, M., & Golzarian, M. \(2016\). Carob moth, Ectomyelois ceratoniae, detection in pomegranate using visible/near infrared spectroscopy. Computers and Electronics in Agriculture, 129, 9-14.](#)

[Arendse, E., Fawole, A., Magwaza, L., Nieuwoudt, H., & Opara, U. \(2018\). Comparing the analytical performance of near and mid infrared spectrometers for evaluating pomegranate juice quality. LWT - Food Science and Technology, 91, 180-190.](#)

[Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Manley, M., & Opara, U. \(2013\). Evaluation of parameters affecting modified atmosphere packaging engineering design for pomegranate arils. International Journal of Food Science and Technology, 48, 2315-2323.](#)

[Alfatni, M. S. M., Shariff, A. R. M., Abdullah, M. Z., Marhaban, M. H. B., & Saaed, O. M. B. \(2013\). The application of internal grading system technologies for agricultural products—review. Journal of Food Engineering, 116, 703-725.](#)

[Arendse, E., Fawole, A., Magwaza, L., Nieuwoudt, H., & Opara, U. \(2017\). Development of calibration models for the evaluation of pomegranate aril quality by Fourier-transform near infrared spectroscopy combined with chemometrics. Biosystems Engineering, 159, 22-32.](#)

[Maskan, M. \(2006\). Production of pomegranate \(Punica granatum L.\) juice concentrate by various heating methods: colour degradation kinetics. Journal of Food Engineering, 72, 218-224.](#)

[Arendse, E., Fawole, A., Magwaza, L., & Opara, U. \(2016\). Estimation of the density of pomegranate fruit and their fractions using X-ray computed tomography calibrated with polymeric materials. Biosystems Engineering, 148, 148-156.](#)

[Behling, R., Gruner, F. \(2018\). Diagnostic X-ray sources—present and future. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 878, 50-57.](#)

[Arendse, E., Fawole, A., Magwaza, L., Nieuwoudt, H., & Opara, U. \(2018\). Evaluation of biochemical markers associated with the development of husk scald and the use of diffuse reflectance NIR spectroscopy to predict](#)



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



[husk scald in pomegranate fruit. Scientia Horticulturae,232, 240-249.](#)

[Endrizzi,M.\(2018\). X-ray phase-contrast imaging. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A; Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment,878, 88-98.](#)

[Arendse,E., Fawole,A., Magwaza,L.,Nieuwoudt,H.,&Opara,U.\(2018\). Fourier transform near infrared diffuse reflectance spectroscopy and two spectral acquisition modes for evaluation of external and internal quality of intact pomegranate fruit. Postharvest Biology and Technology,138, 88-98.](#)

[Opara, L.U., Al-Ani, M.R.,& Al-Shuaibi, Y.S.\(2009\). Physico-chemical properties, vitaminC content, and antimicrobial properties of pomegranate fruit \(Punica granatumL.\). Food Bioprocess Technol,2, 315–321](#)

[Wang, J., Nakano, K., Ohashi, S., Takizawa, K.,& He, J.G.\(2010\). Comparison of different modes of visible and near-infrared spectroscopy for detecting internal insect infestation in jujubes. Journal of Food engineering,101, 78–84.](#)

[Zhang, L., &McCarthy, M.J.\(2013\). Assessment of pomegranate postharvest quality using nuclear magnetic resonance. Postharvest Biology and Technology, 77, 59–66.](#)

[Aindongo, W.V., Caleb, O.J., Mahajan, P.V., Manley, M.,& Opara, U.L.\(2014\). Effects of storage conditions on transpiration rate of pomegranate aril-sacs and arils.South African Journal of Plant and Soil,31, 7-11.](#)

[Kotwaliwale, N., Singh, K., Kalne, A., Jha, S.N., Seth, N.,& Kar, A.\(2014\). X-ray imaging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. Journal of Food Science and Technology, 51, 1-15.](#)

[Arendse,E., Fawole,A., Magwaza,L.,&Opara,U.\(2016\). Non-destructive characterization and volume estimation of pomegranate fruit external and internal morphological fractions using X-ray computed tomography. Food Engineering,186, 42-49.](#)

[Mphahlele, R.R., Fawole, O.A., Stander, M.A., &Opara, U.L.\(2014b\). Preharvest and postharvest factors influencing bioactive compounds in pomegranate \(Punica granatum L.\)-A review. Scientia Horticulturae,178, 114-123.](#)

[Wetzstein, H.Y., Zhang, Z., Ravid, N.,& Wetzstein, M.E.\(2011\). Characterization of attributes related to fruit size in pomegranate. HortScience ,46, 908-912.](#)

[Fawole, O. A., & Opara, U. L. \(2013b\). Effects of storage temperature and duration on physiological responses of pomegranate fruit. Industrial Crops and Products, 47, 300-309.](#)

[Magwaza, L. S., & Opara, U. L. \(2014\). Investigating nondestructive quantification and characterization of pomegranate fruit internal structure using X-ray computed tomography. Postharvest Biology and Technology, 95, 1-6.](#)

[du Plessis, A., Meincken, M., & Seifert, T. \(2013\). Quantitative determination of density and mass of polymeric materials using microfocuss computed tomography. Journal of Nondestructive Evaluation, 32, 413-417.](#)

[Zhang, L., & McCarthy, M. J. \(2012\). Blackheart characterization and detection in pomegranate fruit using NMR relaxometry and MR imaging. Postharvest Biology & Technology, 67, 96-101.](#)

[Fawole, O. A., & Opara, U. L. \(2013a\). Changes in physical properties, chemical and elemental](#)



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

[composition and antioxidant capacity of pomegranate \(cv. Ruby\) fruit at five maturity stages. Scientia Horticulturae, 150, 37–46.](#)

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