امکان سنجی استفاده از جذب اشعه ایکس به عنوان یک روش غیر مخرب برای تعیین برخی از شاخص‌های کیفی میوه انار

فرهاد سلمانی‌زاده[1]، سید مهدی نصیری[2]، عبدالعباس جعفری[2]، مجید راحمی[3]

1 - دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شیراز

2 - استادیار بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شیراز

3 - استاد بخش علوم باغبانی، دانشگاه شیراز

fsalmani@ymail.com

چکیده

در این تحقیق عکس برداری مقطعی بوسیله خاصیت جذب اشعه ایکس به عنوان یک روش غیر مخرب برای تخمین برخی شاخص‌های کیفی میوه انار بررسی شد. بدین منظور از سه واریته میوه انار محلی استان فارس شامل رباب ملس، رباب ترش و خانی کازرون استفاده شد و تصاویر مقطعی حاصل از اشعه ایکس میوه های انار با استفاده از دستگاه اسکن توموگرافی کامپیوتری تهیه گردید و عدد سی تی که بیانگر مقدار جذب اشعه ایکس است، مربوط به تصاویر با استفاده از نرم افزار K-PACS استخراج گردید. شاخص‌های کیفی نظیر میزان آنتوسیانین، مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و میزان pH واریته‌های مختلف انار اندازه گیری شد. سپس تخمین شاخص های کیفی بر اساس عدد سی تی بدست آمده از تصاویر توموگرافی میوه‌های انار در قالب مدل‌های رگرسیون خطی برآورد شد. نتایج نشان داد که ضرایب تبیین برای تعیین شاخص های کیفی در تمامی مدل ها بالای 90/0 درصد به دست آمد . همچنین برای واریته های مختلف عدد سی تی همبستگی مثبتی با اسیدیته قابل تیتراسیون و همبستگی منفی با میزان آنتوسیانین، pH و مواد جامد محلول داشت. معادلات تخمین مربوط به رقم رباب ملس بیشترین دقت را دارا بود (97/1، 94/7، 96/3، 94/6 درصد به ترتیب برای میزان آنتوسیانین، قند کل، اسیدیته و pH). برای تمامی ارقام معادله تخمین میزان آنتوسیانین بیشترین ضریب تبیین را دارا بود (97/1، 94/3 و 96/0 به ترتیب برای ارقام رباب ملس، رباب ترش و خانی کازرون). بنابراین عدد سی تی می‌تواند به عنوان یک شاخص مفید برای تخمین شاخص‌های کیفی میوه انار به کار گرفته شود.

کلمات کلیدی

جذب اشعه ایکس، عدد سی‌تی، انار، کیفیت درونی، توموگرافی

مقدمه

انار (*Punica granatum* L.) یکی از مهمترین محصولات تجاری می باشد که به طور گسترده در مناطقی از آسیا، شمال آفریقا، مدیترانه و خاورمیانه کشت می شود [Sarkhosh et al., 2009]. ایران با تولید 670000 تن انار در سال 2005 یکی از تولیدکنندگان و صادرکنندگان عمده آن در جهان می‌باشد [Holland et al., 2010]. میوه انار

غالبا به صورت تازه یا فرآوری شده در قالب آب، مربا، شربت و سس مصرف می‌شود. قسمت خوراکی میوه که آریل[1] نام دارد در حدود 60-55 درصد از وزن کل میوه را دارا می‌باشد که حدود 85-75 درصد آب و 25-15 درصد بذر را شامل می‌شود [Al-Maiman and Ahmad, 2002]. آب میوه به علت داشتن مقادیر قابل توجهی از مواد جامد محلول، قندهای احیاء، قند کل، آنتوسیانین [2]، ترکیبات فنولی [3]، اسید اسکوربیک [4] و پروتئین ها از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد [Kulkarni et al., 2004]. فاکتورهای پایه و عمده که به طور معمول برای ویژگی های کیفیت میوه استفاده می شوند عبارتند از : اندازه، شکل، رنگ، مزه، بافت، طعم و عاری بودن از عیب و مواد خارجی . از آنجایی 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]. محققان تکنیک های متنوعی برای ارزیابی کیفیت داخلی میوه مانند : پاسخ تشدید مغناطیسی (NMR)، روشهای نوری، روشهای صوتی، تابش مادون قرمز و اشعه ایکس را امتحان کرده اند. بعضی از این روشها در صنعت غذا با موفقیت گسترش پیدا کرده اند. جذب اشعه یکی از خواص محصولات غذایی می باشد که می تواند به عنوان یک روش پایه برای تجزیه و تحلیل غیر مخرب کیفیت محصولات غذایی استفاده شود [Eufemio et al., 1999]. توماس[5] و همکاران (1995) توانستند با اشعه ایکس انبه هایی را که توسط حشرات از داخل آسیب دیده بودند از انبه های سالم جدا کنند. بارسلون[6] و همکاران (1999) در تحقیقی که روی هلو انجام دادند با استفاده از تکنولوژی سی تی اسکن[7] تغییرات کیفیت داخلی هلو را در زمان های مختلف رسیدگی اندازه گیری کردند. آنها توانستند رابطه‌ای خطی بین ضریب جذب [8] با چگالی، رطوبت، مواد جامد محلول و مقدار pH به دست بیاورند. کاروناکاران[9] و همکاران (2004) پژوهشی بر روی گندم انجام دادند و با استفاده از اشعه ایکس توانستند جرم دانه گندم را تعیین کنند. رابطه بین مقدار پیکسل های خاکستری در آنالیز عکس ها به صورت نگاتیو و جرم دانه دارای ضریب تبیین 0/77 بود. کومار و بال[10] (2007) برای پیدا کردن ترک در دانه برنج از اشعه ایکس استفاده کردند . الگوریتم بکار گرفته شده در این مطالعه قادر بود تعداد ترک های افقی، عمودی، و کل ترک ها را به ترتیب با دقت 97٪، 98٪ و 97٪ محاسبه کند و نمایش دهد . کوتوالیویل[11] و همکاران (2007) برای تعیین کیفیت گردو از اشعه ایکس استفاده کردند. آنها در این پژوهش به این نتیجه رسیدند که متوسط شدت پیکسل یک پارامتر مناسب برای تعیین کیفیت مغز گردو می باشد. انارهای چیده شده از یک باغ ممکن است به علت شوری خاک یا عوامل ژنتیکی از نظر برخی از ویژگی های کیفی مانند رنگ دانه‌ها یا مزه با یکدیگر متفاوت باشند. بنابراین هدف اصلی این تحقیق بررسی رابطه جذب اشعه ایکس با بعضی از خواص کیفی میوه انار می‌باشد.

مواد و روشها

[1]- Aril
[2] - Anthocyanin
[3] - Phenolic compounds
[4] - Ascorbic acid
[5]- Thomas
[6]- Barcelon
[7]- CT Scane
[8]- CT number
[9]- Karunakaran
[10]- Kumar and Bal
[11]- Kotwaliwale

انتخاب ارقام

برای انجام این پژوهش ارقام رباب ملس، رباب ترش (زارچ) و خانی کازرون متعلق به استان فارس انتخاب شدند. رقم رباب معروف ترین و گسترده ترین رقم تجاری مورد کشت در استان فارس می باشد. میوه‌های انار به طور تصادفی از پنج درخت بالغ چیده شدند . سپس میوه های انار بلافاصله به سردخانه واقع در بخش علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انتقال و در دمای 7-6 درجه سلسیوس نگه‌داری شدند.

آزمون غیر مخرب اشعه ایکس

به منظور تهیه تصاویر سی تی‌اسکن از نمونه های انار در حالی که به پهلو و پشت سر هم قرار داشتند ، تصویربرداری در مرکز تصویربرداری تابا واقع در شهر شیراز با استفاده از دستگاه سی تی اسکن (مدل VCT-64 slices) انجام شد. واحد استاندارد برای اندازه گیری شدت جذب اشعه ایکس در سیستم های سی‌تی اسکن واحد هانسفیلد یا عدد سی‌تی می باشد. عدد سی‌تی با معادله زیر تعریف می شود:

$$\text{عدد سی تی} = \frac{K(\mu_p - \mu_w)}{\mu_w}$$

که μ_p ضریب جذب خطی اشعه ایکس نمونه (m^{-1})، μ_w ضریب جذب خطی اشعه ایکس آب (m^{-1}) و k عدد ثابت با مقدار 1000 می‌باشد. در عدد سی تی ضریب جذب خطی اشعه ایکس آب با مقدار صفر به عنوان مرجع استفاده می شود. زمانی که مقدار k برابر 1000 باشد به عدد سی تی یک واحد هانسفیلد گفته می شود. عدد سی-تی بر اساس ضرایب جذب خطی اشعه ایکس استوار است [Ogawa et al., 1998]. سنجش عدد سی‌تی بوسیله‌ی روشنایی‌های تصویر احیاء شده بیان می شود. در این تحقیق اسکن های مختلف از قسمت های مختلف میوه‌های انار (قسمت‌های ابتدایی، میانی و انتهایی) با استفاده از دستگاه سی تی اسکن گرفته شد. سپس اعداد سی تی مربوط به گوشت آریل میوه توسط نرم افزار K-PACS استخراج گردید. برای تهیه تصاویر از 18 عدد میوه برای هر رقم استفاده شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی میوه انار

مواد جامد محلول در آب میوه یا مقدار قند کل آب میوه بر اساس درجه بریکس با رفراکتومتر دیجیتالی (مدل ATAGO, Japan) اندازه‌گیری شد. از روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم 0/1 نرمال و معرف فنل فتالئین برای اندازه گیری اسیدیته قابل تیتراسیون آب انار بر اساس اسید غالب (اسید سیتریک) استفاده گردید. درجه اسیدی (pH) توسط pH متر ثبت شد. میزان آنتوسیانین به روش اسپکتوفتومتری (مدل D20) با استفاده از روش اختلاف pH در طول موج 520 و 700 نانومتر تعیین گردید [Lee et al., 2005]. شاخص طعم نیز از تقسیم قند کل به اسیدیته بدست آمد.

کلیه داده‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه 16/1 مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و تحلیل آماری و مقایسه میانگین ها با استفاده از روش توکی در سطح احتمال 5 درصد صورت گرفت. برای تعیین

مدل های رگرسیون خطی تخمین شاخص های کیفی بر اساس اعداد سی تی از نرم افزار Graph Pad نسخه 5/1 استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های کیفی میوه انار

طبق جدول 1 نتایج نشان داد که بین ارقام از نظر میزان آنتوسیانین، اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، شاخص طعم، pH و عدد سی‌تی تفاوت معنادار وجود دارد ($P<0/05$).

جدول1- مقایسه میانگین شاخص های کیفی ارقام مختلف میوه انار

ارقام	صفات					
	مواد جامد محلول (٪)	pH	اسیدیته قابل تیتراسیون (g/100ml juice)	آنتوسیانین (mg/100ml juice)	شاخص طعم	عدد سی تی
رباب ملس	19/05±0/13[a]	3/85±0/03[a]	0/33±0/02[a]	22/31±0/81[a]	64/75±6/51[a]	60/44±1/11[a]
رباب ترش	16/99±0/19[b]	3/71±0/05[b]	0/99±0/05[b]	2/39±0/25[b]	17/62±1/06[b]	78/66±0/58[b]
خانی کازرون	17/16±0/11[b]	3/74±0/04[ab]	0/53±0/03[c]	22/14±1/64[a]	34/03±2/15[c]	71/61±0/64[c]

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف لاتین مشابه مشخص شده‌اند در سطح احتمال 0/05 اختلاف معنی‌داری ندارند.

بیشترین و کمترین مقدار آنتوسیانین مربوط به ارقام رباب ملس و رباب ترش بود (22/31 و 2/39 میلی گرم در 100 میلی لیتر آب میوه). میزان آنتوسیانین با افزایش رسیدگی میوه در آریل افزایش می یابد [Kulkarni et al., 2004]. بیشترین و کمترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون مربوط به ارقام رباب ترش و رباب ملس بود (0/99 و 0/33 گرم در 100 میلی لیتر در آب میوه). این نتایج با نتایج ورس[1] و همکاران (1976) مطابقت داشت. بیشترین و کمترین مقدار مواد جامد محلول مربوط به ارقام رباب ملس و رباب ترش بود (19/05 و 16/99 درصد). این نتایج با نتایج مارتینز[2] و همکاران (2006) و کام[3] و همکاران (2009) مطابقت داشت. بیشترین و کمترین مقدار شاخص طعم مربوط به ارقام رباب ملس و رباب ترش بود (64/75 و 17/62). المیمان و احمد[4] (2002) گزارش کردند که با افزایش رسیدگی میوه انار شاخص طعم آن آفزایش می یابد. بیشترین و کمترین مقدار pH مربوط به ارقام رباب ملس و رباب ترش بود (3/85 و 3/71). بیشترین و کمترین مقدار عدد سی تی مربوط به ارقام رباب ترش و رباب ملس بود (78/66 و 60/44).

معادلات تخمین شاخص‌های کیفی میوه انار

[1]- Veres
[2]- Martinez
[3]- Cam
[4]- Maiman and Ahmad

معادلات رگرسیون خطی جهت تخمین شاخص های کیفی بر اساس عدد سی تی برای ارقام مختلف میوه انار در جداول 2، 3 و 4 ارائه شده‌اند. طبق این جداول ضرایب تبیین معادلات تخمین مربوط به میزان آنتوسیانین، قند کل، اسیدیته و pH به ترتیب 97/1، 94/7، 96/3 و 94/6 برای رقم رباب ملس، 94/3، 90/1، 92/5 و 91/4 برای رقم رباب ترش و 96/0، 92/4، 93/4 و 90/2 برای رقم خانی کازرون بدست آمد. همانطور که از جداول مشخص است برای تمامی ارقام اسیدیته دارای رابطه خطی مثبت و میزان آنتوسیانین، قند کل و pH دارای رابطه خطی منفی با عدد سی تی می باشند. این نتایج با نتایج بارسلون و همکاران (1999) و افومیو و همکاران (1999) مطابقت داشت. تولنر[1] وهمکاران (1992) به یک رابطه خطی مثبت بین محتوای رطوبتی و چگالی در میوه سیب با شدت جذب اشعه ایکس دست یافتند. افومیو و همکاران (1999) گزارش کردند که بین میزان آنتوسیانین، قند کل و pH با عدد سی‌تی همبستگی قوی وجود دارد.

جدول2- معادلات رگرسیون خطی جهت تخمین شاخص‌های کیفی میوه انار رقم رباب ملس بر اساس عدد سی‌تی

	آنتوسیانین	قند کل	اسیدیته	pH
معادله	y= -0/73x+66/83	y= -0/12x+26/32	y= 0/02x-0/94	y= -0/03x+5/54
مقدار t عرض از مبدا	33/66**	60/81**	-15/06**	54/46**
مقدار t ضریب زاویه	-22/38**	-16/95**	20/41**	-16/67**
R^2(%)	97/1	94/7	96/3	94/6

** معنی‌داری در سطح احتمال 0/01

جدول3- معادلات رگرسیون خطی جهت تخمین شاخص‌های کیفی میوه انار رقم رباب ترش بر اساس عدد سی‌تی

	آنتوسیانین	قند کل	اسیدیته	pH
معادله	y= -0/39x+33/71	y= -0/3x+41/13	y= 0/08x-5/49	y= -0/07x+9/26
مقدار t عرض از مبدا	17/39**	20/47**	-11/82**	21/89**
مقدار t ضریب زاویه	-16/21**	-12/03**	14/01**	-13/06**
R^2(%)	94/3	90/1	92/5	91/4

** معنی‌داری در سطح احتمال 0/01

جدول4- معادلات رگرسیون خطی جهت تخمین شاخص‌های کیفی میوه انار رقم خانی کازرون بر اساس عدد سی‌تی

	آنتوسیانین	قند کل	اسیدیته	pH
معادله	y= -2/35x+190/42	y= -0/17x+29/61	y= 0/04x-2/37	y= -0/06x+8/10
مقدار t عرض از مبدا	22/24**	32/96**	-12/25**	21/75**
مقدار t ضریب زاویه	-19/67**	-13/95**	15/01**	-11/74**
R^2(%)	96/0	92/4	93/4	90/2

** معنی‌داری در سطح احتمال 0/01

منابع

Al-Maiman, S.A., and Ahmad, D. (2002). Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit maturation. *Food Chemistry*, 76: 437-441.

[1]- Tollner

Barcelon, E.G., Tojo, S., and Watanabe, K. (1999). X-ray CT imaging and quality detection of peach at different physiological maturity. *Transactions of the ASAE*, 42: 435-441.

Cam, M., Hisil, Y., and Durmaz, G. (2009). Characterisation of pomegranate juices from ten cultivars grown in Turkey. *International Journal of Food Properties*, 12: 388-395.

Chen, P., and Sun, Z. (1991). A review of non-destructive methods for quality evaluation and sorting of agricultural products. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 49: 85-98.

Eufemio, G., Tojo, S., and Watanabe, K. (1999). Relating X-ray absorption and some quality characteristics of mango fruit (*Mangifera indica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 3822-3825.

Holland, D., Hatib, K., and Bar- Ya'akov, I. (2010). Pomegranate: botany, horticulture, breeding. *Horticultural Reviews*, 32: 127-191.

Karunakaran, C., Jayas, D.S., and White, N.D.G. (2004). Mass determination of wheat kernels from X-ray images. *ASAE Annual meeting*, Paper number: 043120.

Kotwaliwale, N., Weckler, P.R., Brusewitz, G.H., Kranzler, G.A., and Maness, N.O. (2007). Non-destructive quality determination of pecans using soft X-rays. *Postharvest Biology and Technology*, 45: 372-380 .

Kulkarni, A.P., Aradhya, S.M., and Divakar, S. (2004). Isolation and identification of a radical scavenging antioxidant–punicalagin from pith and carpellary membrane of pomegranate fruit. *Food Chemistry*, 87: 551-557.

Kumar, P.A., and Bal, S. (2007). Automatic unhulled rice grain crack detection by X-ray imaging. *Transactions of the ASABE*, 50: 1907-1911.

Lee, J., Durst, R.W., and Wrolstad, R.E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC international*, 88: 1269-1278.

Ogawa, Y., Morita, K., Tanaka, S., Setoguchi, M., and Thai, C.N. (1998). Application of X-ray CT for detection of physical foreign materials in foods. *Transactions of the ASAE*, 41: 157-162 .

Sarkhosh, A., Zamani, Z., Fatahi, R., and Ranjbar, H. (2009). Evaluation of genetic diversity among Iranian soft-seed pomegranate accessions by fruit characteristics and RAPD markers. *Scientia horticulturae*, 121: 313-319.

Thomas, P., Kannan, A., Degwekar, V.H., and Ramamurthy, M.S. (1995). Non-destructive detection of seed weevil-infested mango fruits by X-ray imaging. *Postharvest Biology and Technology*, 5: 161-165.

Tollner, E.W., Hung, Y.C., Upchurch, B.L., and Prussia, S.E. (1992). Relating X-ray absorption to density
and water content in apples. *Transactions of the ASAE*, Paper number: 35.

Veres, M. (1976). Study of the mechanical and chemical composition of cultivated pomegranate. *Hrana Ishrana*, 17: 426-432.