مطالعه فرایندتولید پودر خرما بر پایه افزودنی‌های آرد گندم، ذرت و مالتو دکسترین و اندازه گیری پارامترهای فیزیک و شیمیایی آن

زهرا نجار[1*]، حمید توکلی پور[2]، مسعود شفافی زنوزیان[3]

[1] دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران
[2] دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران
[3] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: 92/10/3 تاریخ پذیرش:93/2/11

چکیده

خرما (*L. phoenixdactylifera*) میوه هسته‌دار حاصل از درخت نخل خرما بوده که به خانواده *Palmaceae* تعلق دارد. خرمای مضافتی سومین رقم خرمای اقتصادی کشور است . به منظور رسیدن به رطوبت مطلوب و حفظ کیفیت در طول حمل و نقل و انبارداری فرآیند خشک کردن خرما الزامی است . در این تحقیق اثر نوع افزودنی شامل آرد ذرت ، آرد گندم و مخلوطی از آرد ذرت ، آرد گندم و مالتودکسترین و دمای فرآیند خشک کردن در سه سطح 50 ، 60 و 70 درجه سانتیگراد بر روی تغییرات فیزیکو شیمیایی فرمولاسیون پودر خرما مورد بررسی قرار گرفته است . نتایج نشان داد که نوع افزودنی روی خصوصیات حلالیت وتوزیع پذیری پودر خرمای تولیدی معنی‌دار بود ($P<0/01$) ، همچنین نتایج نشان داد که دمای هوای خشک کردن روی توزیع‌پذیری پودر خرمای تولیدی معنی‌دار بود ($P<0/01$) ، به طوری که بیشینه‌ی مقدار این پارامتر در دمای خشک کردن 70 درجه سانتیگراد مشاهده گردید . علاوه بر این ، نوع افزودنی روی شاخص‌های رنگ L ، a و ΔE و دمای هوای خشک کردن روی شاخص‌های رنگ b ، ΔE و BI پودر خرمای تولیدی ، معنی‌دار ($P<0/01$) گردید .

واژه های کلیدی: پودر خرما، خشک کردن، فرمولاسیون، توزیع‌پذیری، تکنولوژی پس از برداشت.

مسوول مکاتبات: snajjar50@yahoo.com

1- مقدمه

خرما (*L. phoenixdactylifera*) میوه هسته‌دار حاصل از درخت نخل خرما بوده که به خانواده *Palmaceae* تعلق دارد (9) ایران همواره یکی از کشورهای تولید کننده خرما بوده و در حال حاضر در سال 2013 با یک میلیون تن تولید سالیانه جایگاه ویژه‌ای در تولید خرما در جهان دارد، بعلاوه میزان کمی از خرما در صنایع تبدیلی به کار می‌رود و 30 درصد خرمای کشور نامرغوب بوده و به مصرف دام می‌رسد(1) . میوه خرما دارای طعم شیرین و دلپذیر بوده ، بسیار مغذی و سرشار از کالری و انواع ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشد . مقدار کالری که هرگرم خرما تولید می‌کند حدود 2500 -3000 کالری است (2) . خرما یک منبع خوب برای ویتامین‌ها و درشت مغذی[1] نظیر فسفر ، آهن ، پتاسیم و مقدار قابل توجهی کلسیم است (2) . خرمای مضافتی سومین رقم خرمای اقتصادی کشور بعد از سعمران و شاهانی است که در نقاط مختلف کشور کشت می‌شود اما موطن اصلی آن بم در استان کرمان می‌باشد این خرما بهترین نوع خرما از لحاظ بازار داخلی محسوب می‌شود . خرمای مضافتی به دلیل داشتن رطوبت زیاد ، نسبت به فساد میکروبی حساس است به همین علت این میوه را باید در سردخانه نگهداری نمود ، عدم استفاده از سردخانه در حین نگهداری و بازاریابی در مناطق گرم باعث فساد مقدار قابل توجه ای از این رقم خرمای با ارزش می شود برای این منظور در این تحقیق خشک کردن خرما مورد بررسی قرار گرفت تا بهترین دما وزمان وپوشش مناسب برای خشک کردن که تاثیر سوئی برکیفیت محصول نداشته باشد تعیین گردد لذا اهمیت این تحقیق گذشته از مشخص کردن شرایط بهینه خشک کردن صنعتی درکارخانه ها ، جلوگیری از ضایعات این رقم از خرما وحذف نیاز به سردخانه برای نگهداری آن درنتیجه صرفه جویی اقتصادی است . در صورت مساعد بودن شرایط محیطی فرآیند خشک کردن ممکن است با پهن کردن خرما در سینی‌هایی در معرض آفتاب انجام شود . کنترل شرایط خشک کردن نقش مهمی در کیفیت خرمای نهایی دارد به طوری که خشک شدن آهسته خرما می‌تواند باعث ترش شدن و آلودگی ثانویه آن شود . در صورت خشک شدن سریع ، خرما پوسته پوسته شده ، پوست از بافت آن جدا شده و دچار پیچ خوردگی می‌شود . در نتیجه میکروارگانیسم‌ها و آفات به سهولت از پوست عبور می‌کنند و باعث آلودگی خرما می‌شوند (11) .از خرمای خشک شده در تهیه شیرینی ، اسنک (تنقلات)، محصولات قنادی و نانوایی استفاده می‌شود (2) . پژوهش‌های مختلفی در زمینه خشک کردن محصولات کشاورزی توسط محققین مختلف منتشر شده است . مصباحی و همکاران (1385) فرآیند خشک کردن انگور و تولید کشمش به روش‌های مختلف از جمله استفاده از خشک‌کن خورشیدی و کابینتی را مورد بررسی قرار دادند . آنها ضمن بررسی پارامترهای مختلف موثر بر خشک کردن تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن را بر کیفیت محصول تولیدی مورد مطالعه قرار دادند (14) . احمدنیا و سحری (1387) استفاده از پودر خرما در تافی شکلاتی را مورد بررسی قرار دادند . در این بررسی از خرمای رقم شاهانی به عنوان یک ترکیب جایگزین شکر در نسبت‌های 25 ، 50 ، 75 و 100 درصد، در فرمولاسیون تافی شکلاتی استفاده شد . سپس بافت ، رنگ ، انرژی تولیدی محصول اندازه گیری و با نمونه‌ی شاهد (100% شکر) مقایسه گردید . نتایج آماری نشان داد که تافی تولیدی با جایگزین 50 درصد بالاترین رتبه را نسبت به تافی معمولی دارد (1) . افشاری و همکاران (1391) به بررسی روند تغییرات رنگ خرمای مضافتی طی خشک کردن به منظور انتخاب دمای بهینه هوای خشک‌کن پرداختند که در این تحقیق نمونه‌های خرمای مضافتی با خشک‌کن کابینتی در سرعت جریان هوای $1\ m.s^{-1}$ و در 5 سطح دمایی خشک شدند در حین خشک کردن تغییرات مواد جامد محلول ، میزان قهوه‌ای شدن ، اسیدیته ، pH و پارامترهای رنگ‌سنجی (L، a و b) در نمونه‌ها اندازه‌گیری و مورد مطالعه قرار گرفت ، نتایج بدست آمده بیانگر آن بود که مواد جامد محلول کل ، میزان قهوه‌ای شدن و اسیدیته طی خشک کردن افزایش و pH کاهش می‌یابد (2) . شوکر و همکاران (1984) از عصاره خرما به عنوان جایگزین بخشی از ساکارز در یخمک[2] ، شربت میوه و بستنی استفاده کردند و مشاهده کردند که جایگزینی 15% عصاره خرما با بریکس 20 بهترین نتیجه را به همراه داشت (1) . در تحقیقی دیگر فالاد[3] و همکاران (2007) تاثیر واریته‌ها و دماهای مختلف را بر خشک کردن خرما مورد بررسی قرار دادند . نتایج نشان داد طی خشک کردن رطوبت

1 - Macroelements

2 - Sorbet

3 - Falade et al. (2007)

خرما به صورت پیوسته در حال کاهش می‌باشد و رقم خرما بر آن تاثیر می گذارد (17) .

سعی شد در این تحقیق با استفاده از جاذب الرطوبه هایی همچون آردگندم ، آرد ذرت ، و ترکیبی از آرد ذرت وارد گندم ومالتو دکسترین امکان کلوخه شدن خرما رادرحین خشک کردن به حداقل برسانیم ، همچنین اهداف از انجام این تحقیق تعیین غلظت بهینه جاذب الرطوبه های فوق الذکر برای خشک کردن بهینه خرما ، تعیین دمای بهینه هوای داغ برای خشک کردن خرما می باشد. در این تحقیق بررسی تاثیر دما و پوشش‌های آرد گندم ، آرد ذرت ، ترکیبی از آرد ذرت وآرد گندم ومالتودکسترین بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر خرما به عنوان یک راهکار برای کاهش فعالیت آبی و بهبود افزایش ماندگاری خرمای مضافتی با استفاده از هوای داغ مورد ارزیابی قرار گرفت سپس دما و پوشش بهینه و مناسب برای خشک کردن این واریته خرما مشخص گردد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- آماده‌سازی ماده اولیه

به منظور انجام این پژوهش خرمای واریته مضافتی که ارقام غالب و مرغوب شهرستان بم و شهداد کرمان می‌باشد، از بازار محلی به صورت فله خریداری گردید . ویژگی‌های واریته خرمای مضافتی در جدول 1 نشان داده شده است .

جدول 1- ویژگی‌های اندازه گیری شده خرمای مضافتی.

پارامتر %	مقدار
رطوبت	17/03
قنداحیاءکننده	16/80
فیبر	6/91
پروتئین	1/742
چربی	4/058
pH	5/5

2-2- روش تهیه پودر خرما

نمونه‌های خرما از بازار محلی به صورت فله خریداری شد و در کیسه‌های پلاستیکی مربوطه به آزمایشگاه منتقل گردید . سپس مواد خارجی از قبیل کاه و خاشاک و سنگ‌ریزه‌های احتمالی موجود در خرما جداسازی گردید . جداسازی هسته و کلاهک و پوست‌گیری توسط دست صورت گرفت . سپس خرماهای آماده شده جهت تهیه خمیر خرما مورد استفاده قرار گرفت. بدین صورت که برای بدست آوردن خمیر خرما با بافت یکنواخت از دستگاه چرخ گوشت (پارس خزر، مدل MT-1200 ، ساخت ایران) استفاده و فرآیند چرخ کردن 3 مرتبه انجام گرفت . بعد از چرخ کردن خرما و آماده شدن خمیر مربوطه ، آرد گندم در سه نسبت مختلف خمیر خرما به آرد 30:70، 20:80 و 10:90 به خمیر خرما اضافه گردید، همچنین به طور مشابه در مورد آرد ذرت نیز از سه نسبت خمیر خرما به آرد 30:70، 20:80 و 10:90 استفاده شد. همچنین یک فرمولاسیون ترکیبی از خمیر خرما، مالتودکسترین ، آرد ذرت و آرد گندم به نسبت 5:5:5:85 نیز تهیه گردید. سپس جهت تهیه فرمولاسیون‌های مختلف، خمیرهای حاصله تا تشکیل یک خمیر با بافت یکنواخت و همگن مخلوط (ورز دادن) گردید . سپس خمیرهای حاصل بر روی فویل آلومینیوم با ضخامت 5 میلی‌متر با وردنه پهن شد. به منظور اعمال شرایط مناسب جهت انتقال حرارت ، خمیرهای پهن شده به تکه‌های کوچک با ابعاد 5×5 سانتیمتر تقسیم گردید . قطعات تهیه شده به منظور فرآیند خشک کردن در خشک‌کن هوای داغ (Memmert, UNE 400 PA, Scheabach, Germany) در دماهای 50 ، 60 و 70 درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید. پس از اتمام فرآیند خشک کردن، نمونه‌ها تا دمای محیط در دسیکاتور سرد و سپس توسط دستگاه آسیاب (, Mingsan , MS-648 Taiwan)، خمیر خرمای خشک شده به پودر تبدیل شد . عمل آسیاب کردن خمیر خرما تا رسیدن به اندازه ذرات 400 میکرون ادامه یافت . مدت زمان آسیاب کردن تا رسیدن به اندازه ذرات مورد نظر 2 دقیقه بود. در شکل زیر مراحل تهیه پودر خرما به ترتیب کارهای انجام گرفته آورده شده است .

تهیه خمیر خرما ----> هسته گیری وجدا نمودن کلاهک و پوست----> تهیه خمیرخرما(بوسیله چرخ گوشت) ----> فرمولاسیون با نسبت های مختلف خرما، آرد ذرت، آرد گندم و مالتودکسترین----> خشک کردن درآون هوای داغ

شکل 1- مراحل تهیه پودر خرما

در جدول 2 مشخصات تیمارهای بکار رفته در تولید پودرخرما نشان داده شده است.

جدول 2- مشخصات تیمارهای بکار رفته در تولید پودرخرما.

کد	نوع افزودنی
F_1	-
F_2	آرد ذرت10%
F_3	آرد ذرت 20%
F_4	آرد ذرت30%
F_5	آرد گندم10%
F_6	آرد گندم20%
F_7	آرد گندم30%
F_8	مالتودکسترین+آردذرت+آردگندم

2-3- تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی پودر خرما تولیدی

2-3-1- پارامترهای فیزیکی

2-3-1-1- محتوای رطوبت

رطوبت نمونه‌های پودر خرما به روش استاندارد AOAC (1990) از طریق قرار دادن نمونه‌ها در آون (Kavoosh Mega,model ventel,Iran) ، در دمای 0/5±105 درجه سانتیگراد تا دستیابی به وزن ثابت اندازه‌گیری شدند (16) .

2-3-1-2- حلالیت[1]

به منظور تعیین حلالیت پودر خرما ، 13 گرم پودر خرما در 100 میلی‌لیترآب مقطر (دمای 24 درجه سانتیگراد) ریخته و به مدت 90 ثانیه مخلوط می‌نماییم . محلول حاصله به مدت 15دقیقه به حال سکون قرار گرفته سپس محلول توسط یک قاشق به مدت 5 ثانیه کاملاً مخلوط و بلافاصله در لوله سانتریفوژ تا خط نشان مربوطه پر و به مدت 5 دقیقه در 900 rpm عمل سانتریفوژ کردن (Sigma ,model 2-16k , Germany) صورت می گیرد . پس از سانتریفوژ کردن ، فاز شناور به آرامی از فاز ترسیب شده ، جدا شده به طوری که در انتهای لوله سانتریفوژ 5 میلی‌لیتر فاز شناور باقی بماند ، در ادامه 25 میلی‌لیتر آب مقطر به لوله اضافه و به آرامی آن را تکان داده تا رسوب در آب پخش شود . مجدداً عمل سانتریفوژ کردن در شرایط تعریف شده انجام گرفته و در نهایت 12 میلی‌لیتر از فاز شناور را به درون پلیت ریخته و در آون در دمای 105 درجه سانتیگراد تا ثابت شدن دو توزین متوالی ، عمل آون‌گذاری را ادامه می‌دهیم . در نهایت حلالیت نمونه توسط معادله (1) محاسبه گردید .

$$S(\%) = \frac{w_2 - w_1}{0.25} \times 100 \qquad (1)$$

در این معادله ، S : درصد حلالیت ، w_1 : وزن پلیت خالی و w_2 : وزن پلیت بعد از آون‌گذاری می‌باشند (15) .

2-3-1-3- توزیع‌پذیری[2]

یکی از ویژگی‌های مهم پودرها توانایی پراکنده شدن در آب می‌باشد . برای دستیابی به این ویژگی ، لازم است که پودر رطوبت‌پذیر[3] بوده و کلوخه شدن[4] آن در حد مطلوب باشد . جهت اندازه‌گیری ضریب توزیع‌پذیری از روش IDF استفاده گردید . بدین صورت که 34 گرم پودر به 250 میلی‌لیتر آب مقطر در دمای 25 درجه سانتیگراد اضافه و به مدت 20 ثانیه به صورت دستی مخلوط گردید . سپس محلول حاصله از صافی 150 میکرون عبور داده شد . مقدار پودری که از صافی عبور و در حلال (آب مقطر) حل شده است با مقدار کل مواد جامد مایع صاف شده معادل بوده و به عنوان ضریب توزیع‌پذیری بیان می‌گردد . در نهایت درصد توزیع‌پذیری نمونه توسط معادله (2) محاسبه گردید .

$$Dispersebility(\%) = \frac{m_2 - m_1}{w} \times 100 \qquad (2)$$

در این معادله ، m_1 : وزن پلیت خالی ، m_2 : وزن پلیت بعد از آون‌گذاری و w : وزن نمونه اولیه می‌باشند (20) .

2-3-1-4- زاویه ریپوز تخلیه[5]

به منظور تعیین زاویه ریپوز تخلیه از یک جعبه‌ی چوبی به ابعاد 5×5×5 سانتی‌متر مجهز به درب کشویی استفاده شد . ابتدا جعبه با پودر خرما پر شد . با استفاده از یک تیغه‌ی فلزی و با حرکت زیگزاگ سطح پودر خرما در داخل ظرف با سطح ظرف مماس گردید و سپس درب کشویی به سرعت به طرف بالا کشیده شد .

1 - Solubility

2 - Dispersebility
3 - Humectants
4 - Caking
5 - Funneling (emptying) repose angle

پس از تخلیه ، پودر خرما به صورت سطح شیب‌دار قرار گرفت و با استفاده از رابطه (3) زاویه‌ی پایداری تخلیه محاسبه گردید .

$$q_e = \tan^{-1}\left[\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1}\right] \quad (3)$$

در این معادله ، θ_e : زاویه ریپوز تخلیه (درجه)،h : ارتفاع عمودی کپه یا توده‌ی تشکیل شده از پودر خرما (سانتی‌متر) و x : فاصلهٔ افقی می‌باشند . لازم به ذکر است که اندیس‌های 1 و 2 بیانگر دو نقطه شیب‌دار تشکیل شده توسط پودر خرما می‌باشند (8) .

2-3-1-5- تخلخل و اندازه‌گیری رنگ

تخلخل یک ویژگی مهم بافت و کیفیت محصول خشک شده می‌باشد و توسط روش‌های مختلفی تعیین می‌گردد . یکی از این روش‌ها ، روش نوری بوده که میزان تخلخل را از لحاظ منافذ میکروسکوپی موجود در نمونه تعیین می‌نماید . برای اندازه‌گیری میزان تخلخل پودر خرما از نرم افزار گرافیکی Image J استفاده گردید . روش تجزیه و تحلیل این نرم افزار بر اساس مقایسه بین 2 فاز (خلل و فرج و بخش جامد) تصویر مورد استفاده می‌باشد . برای اندازه‌گیری میزان تخلخل ابتدا از پودر خرما در شرایط استاندارد از لحاظ نوری ، عکس تهیه گردید . تجهیزات لازم برای عکس‌برداری شامل دوربین دیجیتال (Sony,model Dsc-H9،) و جعبه چوبی (که جداره‌های داخلی آن توسط رنگ سیاه جهت جلوگیری از انعکاس نور و تهیه عکس با کیفیت بالا پوشیده شده است) می‌باشند . جهت تامین نور مورد نیاز برای عکس‌برداری از لامپ فلورسنت (45 وات سفید) استفاده گردید . بعد از تهیه عکس‌های مورد نیاز ، عکس‌ها به کامپیوتر منتقل شده و در نرم‌افزار مربوطه جهت اندازه‌گیری تخلخل ، بارگذاری گردید (12).

به منظور اندازه‌گیری رنگ پودر خرمای تهیه شده ، از روش Image J استفاده گردید . بدین منظور ابتدا تصویر به روش شرح داده شده در فوق ، عکس‌برداری شده و پس از انتقال به نرم افزار مربوطه مقادیر L ، a و b تعیین گردید . در این سیستم رنگ‌سنجی ، پارامتر L میزان روشنایی را در محدوده‌ی 0 (سیاه) تا 100 (سفید) اندازه‌گیری می‌نماید . همچنین دو پارامتر a و b به ترتیب نشان دهنده‌ی سبزی تا قرمزی و آبی تا زردی نمونه بوده که به ترتیب در محدوده‌ی 120- (سبز) تا 120+ (قرمز) و 120- (آبی) تا 120+ (زرد) قرار دارد . تغییرات کلی رنگ پودر خرما (ΔE) توسط رابطه (4) محاسبه گردید.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (4)$$

در این رابطه ، مقادیر L_0 ، a_0 و b_0 مقادیر نمونه مرجع (یعنی خمیر خرمای فرموله شده) قبل از خشک کردن می‌باشند (23) .

به منظور اندازه‌گیری شاخص قهوه‌ای شدن[1] پودر خرمای تولید طی فرآیند خشک کردن از رابطه5 که توسط مارتینزدر سال2002 پیشنهاد شده است استفاده شد . شاخص قهوه‌ای شدن با استفاده از رابطه زیر اندازه‌گیری شد (23) .

$$BI = \frac{(x - 0.31)}{0.17} \times 100 \quad (5)$$

در این رابطه x به صورت زیر محاسبه می‌گردد :

$$x = \frac{(a + 1.75L)}{(5.645L + a - 3.012b)} \quad (6)$$

2-3-2- پارامترهای شیمیایی

در این پژوهش برخی از پارامترهای شیمیایی بر روی خرمای تازه انجام گرفت . اندازه‌گیری قند خرما توسط روش استاندارد مانسن و والکر[2] انجام شد (3). اندازه‌گیری چربی خرما توسط روش استاندارد سوکسله انجام گرفت (3) . اندازه‌گیری پروتئین خرما طبق روش استاندارد ماکروکلدال انجام شد (6) .

2-4- ارزیابی حسی

آزمون ارزیابی حسی به وسیله‌ی یک گروه ارزیاب حسی متشکل از 10 نفر از متخصصان صنایع غذایی انجام پذیرفت . کلیه‌ی ارزیابی‌ها به روش آزمون حسی محصول‌گرا[3] (روش امتیازدهی[4] شدت یک ویژگی)[5] و با امتیازبندی هدونیک[6] پنج نقطه‌ای صورت گرفت . بدین ترتیب که پرسشنامه‌هایی تهیه شده و از هر فرد 5 سؤال پرسیده شد و برای هر سؤال 5 گزینه به عنوان پاسخ موجود بود . سؤالات مطرح شده عبارتند از رنگ ، طعم و مزه ، پذیرش آروما ، احساس دهانی و پذیرش کلی . همچنین لازم به ذکر است گروه سنی ارزیاب‌ها متشکل از مرد و زن با سن 25 تا 50 سال بود .

1 - Browning Index (BI)
2 - Munson & walker method
3 - Product-Oriented Testing (POT)
4 - Scoring
5 - Single Stimulus
6 - Hedonic

5-2- آنالیز آماری

جهت تجزیه و تحلیل آماری نمونه‌ها از طرح کاملاً تصادفی در سطح احتمال 99 درصد استفاده گردد . جهت مقایسه میانگین تیمارها از آزمون حداقل اختلاف معنادار[1] (LSD) استفاده شد . کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری با نرم افزار Statistix نسخه 8 صورت گرفت . همچنین لازم به ذکر است که متغیرهای مستقل فرآیند شامل دمای هوای خشک کردن (در سه سطح 50، 60 و 70درجه سانتی گراد)،نوع ترکیب فرمولاسیون" شاهد، مالتودکسترین(در یک سطح)،گندم(در سه سطح) و ذرت (در سه سطح)"می باشد. کلیه آزمایشات جهت کاهش خطاهای آزمایشی در 2 تکرار صورت پذیرفت.

3- نتایج و بحث

3-1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

لازم به توضیح است که ، با توجه به اینکه بیشینه توزیع‌پذیری پودر خرما به افزودنی F_1 متعلق بود (جدول3) ، می توان چنین استنباط کردکه یکی از خاصیت‌ها و ویژگی‌های مهم پودرها ، توانایی پراکنده شدن در آب می‌باشد . برای بدست آوردن یک پراکندگی خوب در پودرها لازم است که پودر رطوبت‌پذیر بوده و پدیده کلوخه شدن آن در حد مطلوب باشد . پودری که دارای پراکندگی بالایی است در مقابل پودر با پراکندگی پایین ، زمان کمتر یا نیروی کمتر برای پخش شدن در مایع نیاز دارد . بنابراین نتایج آماری نشان داد که بین تیمارها از نظر ضریب پراکندگی نمونه‌ها ، اختلاف معنی‌داری وجود دارد ، که نشان‌دهنده این مطلب است که با افزایش آرد در فرمولاسیون، پروتئین موجود در فرمولاسیون (بخصوص گلوتن موجود در آرد) افزایش یافته بنابراین پروتئین بیشتری دناتوره شده و این مسئله سبب کاهش توزیع‌پذیری پودرهای فرموله شده نسبت به نمونه شاهد شده است (22) . خاک سفیدی و همکاران (1392) تاثیر شرایط عملیاتی خشک کردن صنعتی و سنتی را روی ویژگی‌های فیزیکی پودر کشک زرد مورد بررسی قرار دادند . آنها گزارش نمودند که با افزایش دما دناتوره شدن پروتئین‌ها زیاد بوده که باعث گردیده پودرهای تولیدی دیرتر آب جذب کرده و پخش شوند بنابراین توزیع پذیری کاهش می‌یابد (7) . این دلایل با نتایج بدست آمده در این پژوهش قابل قبول می‌باشد . به علاوه ، با توجه به اینکه جزء اصلی مواد پوشش‌دهنده (یعنی آرد ذرت و آرد گندم) در فرمولاسیون را پروتئین تشکیل می‌دهد و همچنین یکی از مواد موجود در خرما چربی می‌باشد ، دلیل کاهش حلالیت را با افزایش مقدار آرد در فرمولاسیون می‌توان به تثبیت جزئی پروتئین‌ها در سطح بین پروتئین و لیپید و بر همکنش بین مواد لیپیدی و پروتئین نسبت داد (10) . گالو و همکاران (2011) تاثیر شرایط عملیاتی خشک کردن پاششی را روی ویژگی‌های فیزیکی پودر عصاره Rhamnus purshiana مورد بررسی قرار دادند . آنها گزارش نمودند که با افزایش دمای هوای ورودی به دلیل کاهش رطوبت و ویژگی جاذب الرطوبه[2] بودن محصول ، میزان زاویه ریپوز افزایش می‌یابد (18) .با افزودن آرد به خرما جذب آب آزاد نمونه توسط آرد بیشتر می‌شود جذب آب آزاد آرد تابع مقدار پروتئین و پنتوزان موجود در آن است زیرا گلوتن 2/8 برابر وزن خشک خود آب جذب می‌کند . بنابراین با افزایش مقدار آرد در فرمولاسیون پودر خرمای تولیدی ، جذب آب توسط آرد بیشتر شده و این سبب کاهش رطوبت نمونه‌های فرموله شده نسبت به نمونه شاهد می‌گردد (4). این دلایل با نتایج بدست آمده در این پژوهش قابل قبول می‌باشد . به طوری که افزایش میزان ترکیبات افزودنی (آرد گندم و آرد ذرت) سبب جذب آب آزاد موجود در خرما شده و در نتیجه میزان رطوبت کاهش و به مجرد آن زاویه ریپوز افزایش می‌یابد . گالو و همکاران (2011) در پژوهش خود اظهار نمودند که ویژگی‌های جریان[3] محصولات خشک شده به طور مستقیم به رفتار آنها طی نگهداری ، جابجایی و فرآوری ارتباط دارد . بر طبق دستورالعمل ملی و دارونامه ایالت متحده[4] (USP 30-NF 25) در مورد زاویه ریپوز، اگر زاویه ریپوز بین 25 تا 30 درجه باشد جریان پودر را عالی ، بین 31 تا 35 درجه جریان پودر خوب و بین 36 تا 40 درجه جریان پودر را مناسب و برای پودر با مقادیر بالاتر از 41 درجه را بد طبقه‌بندی نمودند (18) . بنابراین در مورد پودر خرما با توجه به موارد فوق بهترین نوع افزودنی ، افزودنی‌های F_1، F_2 و F_3 می‌باشد .

1 - Least Significant Difference (LSD)

2 - Hygroscopicity

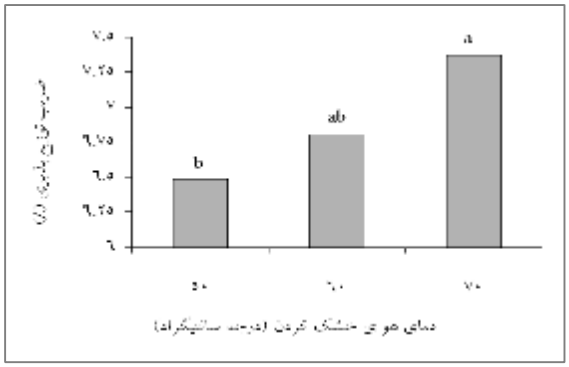
3 - Flow properties

4-United States Pharmacopeia and National Formulary (USP 30-NF 25)

جدول 3- مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پودر خرما تحت تأثیر نوع افزودنی با استفاده از آزمون LSD (P< ۰/۰۱).

نوع افزودنی	زاویه ریپوز (°)	توزیع‌پذیری (%)	حلالیت (%)	رطوبت (%)	تخلخل (%)
F_1	15/21 h	8/138 a	36/935 a	13/71 a	7/252 a
F_2	29/04 g	7/708 ab	36/005 b	7/683 e	12/72 a
F_3	39/28 f	6/833 bcd	32/000 c	5/878 f	10/78 a
F_4	52/10 c	6/146 cd	24/000 d	4/002 g	12/83 a
F_5	49/38 e	7/199 ab	32/000 c	10/00 b	8/100 a
F_6	53/12 b	6/190 cd	24/000 d	9/802 c	7/017 a
F_7	57/52 a	5/926 d	23/000 e	7/972 d	10/31 a
F_8	49/76 d	6/964 bc	36/000 b	9/948 b	7/000 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.



شکل 1- تاثیر دمای هوای خشک کردن بر توزیع‌پذیری پودر خرما.

با توجه به تأثیر معنی‌دار (P<0/01) نوع افزودنی × دمای هوای خشک کردن روی خصوصیات حلالیت و توزیع‌پذیری پودر خرما ، بیشینه‌ی مقادیر این خصوصیات به ترتیب متعلق به پودر خرما در دمای 50 درجه سانتیگراد و افزودنی F_1 و پودر خرما در دمای 70 درجه سانتیگراد و افزودنی F_2 بود (جدول 4) (شکل2) . نتایج نشان داد که افزایش دمای هوای خشک کردن ، سبب کاهش حلالیت می‌گردد . توکلی‌پور (1389) اظهار داشت که افزایش دمای فرآیند خشک کردن به دلیل غیر طبیعی شدن پروتئین‌ها[1] سبب کاهش میزان حلالیت پودر خرمای تولیدی می‌گردد (5) . همچنین توکلی‌پور (1389) بیان نمود که افزایش ذرات پودر توان حل شدن را کاهش می‌دهد ، چون این ذرات برای خشک شدن ، به زمان بیشتری نیاز دارند بنابراین ، پروتئین بیشتری غیر طبیعی شده و توان حل شدن نیز کاهش می‌یابد .

دلایل فوق با نتایج این پژوهش موافق می‌باشد . همانطور که مشاهده گردید با افزایش میزان افزودنی (آرد ذرت و آرد گندم) ، آب آزاد موجود در خرما کاهش یافته و در نتیجه این حالت سبب کاهش اندازه ذرات و کاهش پدیده‌ی کلوخه‌ای شدن ذرات می‌گردد (5) .

با توجه به تأثیر معنی‌دار (P<0/01) نوع افزودنی روی شاخص‌های رنگ L ، a و ΔE پودر خرما، بیشینه‌ی مقادیر این شاخص‌های رنگ به ترتیب متعلق به افزودنی‌های F_4 ، F_1 و F_4 بود (جدول 5). با توجه به جدول 5 مشخص گردید که افزایش درصد آرد ذرت و گندم به فرمولاسیون پودر خرما ، سبب افزایش میزان تغییرات کلی رنگ (ΔE) نمونه شد که همانطور که مشاهده می‌شود میزان این تغییرات در نمونه پودر خرما فرموله شده با آرد ذرت بالاتر می‌باشد . دو سوبسترای آغازین در شروع واکنش قهوه‌ای شدن مایلارد ، حضور ترکیبات قندی و ترکیبات پروتئینی می‌باشد .

بنابراین با افزایش میزان آرد به دلیل افزایش مقادیر سوبسترای لازم جهت شروع این واکنش ، میزان تغییرات کلی رنگ (ΔE) در نمونه پودر خرما افزایش می‌یابد (13) . که همانطور که مشاهده می‌گردد میزان این تغییرات در نمونه فرموله شده با آرد ذرت بالاتر بوده که این حالت به دلیل حضور بیشتر واکنشگرهای آغازین در آرد ذرت می‌باشد (13) .

1 - Protein denaturation

جدول 4- مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پودر خرما تحت تأثیر نوع افزودنی × دمای هوای خشک کردن با استفاده از آزمون LSD (P< 0/01).

دما (°C)	نوع افزودنی	توزیع‌پذیری (%)	حلالیت (%)
50	F_1	7/543 ^{abcde}	37/005 ^{a}
	F_2	6/915 ^{cdefgh}	36/005 ^{c}
	F_3	6/394 ^{cdefgh}	32/000 ^{d}
	F_4	6/005 ^{efgh}	24/000 ^{e}
	F_5	6/403 ^{cdefgh}	32/000 ^{d}
	F_6	5/792 ^{fgh}	24/000 ^{e}
	F_7	5/461 ^{h}	23/000 ^{f}
	F_8	7/349 ^{abcdef}	36/000 ^{c}
60	F_1	8/457 ^{ab}	36/850 ^{b}
	F_2	7/375 ^{abcdef}	36/010 ^{c}
	F_3	6/391 ^{cdefgh}	32/000 ^{d}
	F_4	5/595 ^{gh}	24/000 ^{e}
	F_5	7/211 ^{abcdefg}	32/000 ^{d}
	F_6	6/374 ^{cdefgh}	24/000 ^{e}
	F_7	6/018 ^{efgh}	23/000 ^{f}
	F_8	7/050 ^{bcdefgh}	36/000 ^{c}
70	F_1	8/415 ^{ab}	36/950 ^{a}
	F_2	8/835 ^{a}	36/000 ^{c}
	F_3	7/715 ^{abcd}	32/000 ^{d}
	F_4	6/840 ^{bcdefgh}	24/000 ^{e}
	F_5	7/985 ^{abc}	32/000 ^{d}
	F_6	6/405 ^{cdefgh}	24/000 ^{e}
	F_7	6/300 ^{defgh}	23/000 ^{f}
	F_8	6/495 ^{cdefgh}	36/000 ^{c}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

جدول 5- مقایسه میانگین شاخص‌های رنگ پودر خرما تحت تأثیر نوع افزودنی با استفاده از آزمون LSD (P< 0/01).

نوع افزودنی	شاخص‌های رنگ		
	L	A	ΔE
F_1	40/168 ^{c}	9/143 ^{a}	00/000 ^{b}
F_2	52/280 ^{b}	2/904 ^{bc}	19/793 ^{a}
F_3	61/697 ^{a}	1/626 ^{bc}	25/230 ^{a}
F_4	62/898 ^{a}	-1/399 ^{c}	30/770 ^{a}
F_5	51/552 ^{b}	3/307 ^{bc}	19/224 ^{a}
F_6	54/930 ^{ab}	1/513 ^{bc}	26/358 ^{a}
F_7	62/510 ^{a}	0/795 ^{c}	28/357 ^{a}
F_8	53/479 ^{b}	6/172 ^{ab}	19/282 ^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

با توجه به تأثیر معنی‌دار (P<0/01) دمای هوای خشک کردن روی شاخص‌های رنگ b، ΔE و BI پودر خرما ، بیشینه‌ی مقادیر این شاخص‌های رنگ به ترتیب متعلق به دماهای خشک کردن 70 درجه سانتیگراد ، 70 درجه سانتیگراد و 50 درجه سانتیگراد بود (جدول 6). بررسی تاثیر دمای هوای خشک کردن روی تغییرات کلی رنگ (ΔE) نشان داد که افزایش دمای هوای خشک کردن سبب افزایش تغییرات کلی رنگ (ΔE) پودر خرما گردید . دما در افزایش قهوه‌ای شدن نقش بسیار مهمی دارد و افزایش آن باعث بالا رفتن قهوه‌ای شدن می‌شود و هر چه دما بالاتر باشد شدت تغییرات بیشتر خواهد بود . در حین خشک کردن خرما واکنش‌های شیمیایی نظیر مایلارد ، کاراملیزه شدن ، پلیمریزه شدن و تجزیه شدن ترکیباتی نظیر قندها و پروتئین‌ها اتفاق می‌افتد که رنگ محصول خشک شده را تحت تأثیر قرار می‌دهند (19) . افزایش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی در تحقیق سِورینی و همکاران (2005) در مورد خشک کردن سیب زمینی مشاهده گردید که محققین آن را به واکنش مایلارد ارتباط دادند (21) . نتایج مشابه در تحقیق ایبراز و همکاران (1999) بر روی حرارت دادن پوره هلو مشاهده شد (19) .

جدول 6- مقایسه میانگین شاخص‌های رنگ پودر خرما تحت تأثیر دمای هوای خشک کردن با استفاده از آزمون LSD (P< 0/01).

دمای خشک کردن	شاخص‌های رنگ		
(درجه سانتیگراد)	B	ΔE	BI
50	23/296 ^{b}	10/132 ^{c}	-26/221 ^{a}
60	35/329 ^{a}	20/995 ^{b}	-41/599 ^{b}
70	39/794 ^{a}	32/253 ^{a}	-40/916 ^{b}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

3-2- بهینه‌سازی فرآیند تولید پودر خرما

جهت تعیین شرایط بهینه (از لحاظ نوع پوشش و دمای خشک کردن) فرآیند تولید پودر خرما ، تیمارهای تحت بررسی با برخی از مهمترین شاخص‌های کیفی فرآورده نهایی (نظیر تغییرات کلی رنگ (ΔE) ، رطوبت ، زاویه ریپوز ، حلالیت ، توزیع پذیری) امتیازدهی گردید . شرایط بهینه برای بهترین پودر خرما تولیدی ، کمترین تغییرات کلی رنگ ، کمترین محتوای رطوبت ، زاویه ریپوز بین 25 تا 30 درجه برای پودر با جریان عالی (طبق دستورالعمل ملی و دارونامه ایالت متحده) ، بیشترین حلالیت و بیشترین توزیع پذیری بود . به طوری که در مورد شاخص تغییرات کلی رنگ بیشترین امتیاز به تیمار با کمترین تغییرات کلی رنگ و در مورد رطوبت ، بالاترین امتیاز به تیمار با کمترین رطوبت ، در مورد زاویه ریپوز بالاترین امتیاز به تیمار با جریان پودر عالی (طبق دستورالعمل ملی و دارونامه ایالت متحده) ، در مورد حلالیت بالاترین امتیاز به تیمار با بیشترین حلالیت و در مورد توزیع پذیری بالاترین امتیاز به تیمار با بیشترین توزیع پذیری تعلق گرفت . حال با توجه به قیود فوق ، فرآیند امتیازدهی تیمارها مورد بررسی و نتایج در جدول 7 ثبت گردید .

بعد از فرآیند امتیازدهی ، شرایط بهینه مربوط به تیماری است که از لحاظ شاخص‌های کیفی مورد بررسی بیشترین امتیاز لازم را کسب نماید . در مجموع از بین 24 تیمار مورد بررسی تنها تیمارهای (F_2 در دماهای 50 و 60 درجه سانتیگراد با 14 امتیاز) کلیه امتیازات و قیود مربوطه را کسب و به عنوان بهترین تیمار معرفی گردید (لازم به توضیح است که با توجه به معنی‌دار نشدن تخلخل ، این پارامتر در امتیازدهی محسوب نشد).

جدول 7- امتیازدهی فرآیند تولید پودر خرما.

دما (°C)	نوع افزودنی	ΔE	رطوبت	زاویه ریپوز	حلالیت	توزیع‌پذیری	مجموع امتیازات
50	F_1	****	-	-	****	***	11
	F_2	****	**	****	***	*	14
	F_3	*	***	**	**	-	8
	F_4	**	-	*	*	-	4
	F_5	***	****	*	**	-	10
	F_6	***	*	-	*	-	5
	F_7	**	**	-	-	-	4
	F_8	****	*	*	***	***	12
60	F_1	****	-	-	***	****	11
	F_2	**	**	****	***	***	14
	F_3	*	***	**	**	-	8
	F_4	-	****	*	*	-	6
	F_5	**	-	*	**	**	7
	F_6	-	*	-	*	-	2
	F_7	*	-	-	-	-	1
	F_8	*	*	*	***	**	8
70	F_1	****	-	-	****	****	12
	F_2	-	**	****	***	****	13
	F_3	-	***	**	**	***	10
	F_4	-	****	*	*	*	7
	F_5	-	-	*	**	***	6
	F_6	-	*	-	*	-	2
	F_7	-	**	-	-	-	2
	F_8	-	-	*	***	-	4
جمع امتیازات		38	36	27	47	33	181

4- نتیجه گیری

ایران همواره یکی از کشورهای تولید کننده خرما در جهان به شمار می‌رود . اما با این وجود ، میزان کمی از خرما در صنایع تبدیلی به کار رفته و بیش از 30 درصد خرمای کشور نامرغوب بوده و به مصرف دام می‌رسد . با توجه به ضایعات بالای این محصول ارزشمند بکارگیری فرآوری‌های پس از برداشت نظیر تولید پودر خرما ، کنسانتره خرما ، حلوای خرما و بخصوص خرمای خشک شده و غیره ضروری به نظر می‌رسد .

در این پژوهش، فرآیند تولید پودر خرما بر پایه افزودنی‌های آرد گندم ، ذرت و مالتو دکسترین مورد بررسی قرار گرفت . به طورکلی نتایج نشان دادکه بیشینه‌ی مقدار توزیع پذیری در دمای خشک کردن 70 درجه سانتیگراد مشاهده گردید . علاوه بر این در مجموع از بین 24 تیمار مورد بررسی تنها تیمارهای F_2 که مربوط به پوشش آرد ذرت با نسبت 10% می باشد ، در دماهای 50 و 60 درجه سانتیگراد با 16 امتیاز کلیه امتیازات و قیود مربوطه را کسب و به عنوان بهترین تیمار جهت فرآیند تولید پودر خرما معرفی گردید .

5- منابع

1- احمدنیا ، آ. و سحری ، م ، ع . 1387. استفاده از پودر خرما در فرمولاسیون تافی شکلاتی . فصلنامه علوم و صنایع غذایی . دوره5 . شماره3 .

2- افشاری جویباری، ح . مجذوبی ، م . مصباحی ، غ . نیا کوثری ، م . فرحناکی ، ع . 1391. بررسی اثر دما و سرعت جریان هوا بر خشک کردن خرمای مضافتی بوسیله خشک‌کن کابینتی . نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران . جلد 8 . شماره 4 . صفحه 393 - 398 .

3- بلقیسی ، س . عزیزی ، م . ظهوریان ، گ ، هادیان ، ز . 1387 .ارزیابی خواص فیزیکی فیلم خوراکی پروتئین آب پنیر –مونو گلیسیرید و اثر پوشش‌دهی آن بر افت رطوبت و ویژگی حسی گوشت تازه گوسفند . مجله علوم تغذیه وصنایع غذایی ایران . شماره 3، صفحات 93 -83. .

4- پایان ، ر. 1385. مقدمه‌ای به تکنولوژی فرآورده‌های غلات ، انتشارات آییژ .

5- توکلی‌پور، ح . 1389. خشک کردن مواد غذایی اصول و روش ها ، انتشارات آییژ .

6- حسینی ، ز. 1386. روش‌های متداول در تجزیه‌ی موادغذایی . مرکز نشر دانشگاه شیراز .

7- خاک سفیدی ، ی. 1392. مقایسه روش‌های مختلف خشک کردن و تاثیر آن بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کشک زرد تولید شده در منطقه سیستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد . علوم وصنایع غذایی . دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار .

8- رضوی ، س، م ، ع . اکبری ، ر . 1391. خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و موادغذایی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد .

9- زارع ، ف. آذین ، م. نیک‌پور، ه . مظلومی، م . ت . 1384. بررسی تیمار آنزیمی در بهبود فرآیند قندگیری از خرما . چهارمین همایش ملی بیوتکنولوژی جمهوری اسلامی ایران . کرمان .

10- زاهدی، ی . صداقت، ن . قنبرزاده، ب . 1391. خواص فیزیکی فیلم‌های امولسیون خوراکی روغن پسته کیک پروتئین گلوبولین و اسیداستئاریک .

11- شهدادی، ف. میرزایی، ح. مقصودلو، ی. قربانی، م. دارایی گرمه خانی، ا. 1390. تاثیر فرایند خشک کردن بر میزان ترکیبات فنولی و فعالیت انتی‌اکسیدانی دو رقم خرمای کلوته و مضافتی (*Dactylifera phoenix*). شماره3 . صفحات 67-74.

12- شهیدی ، ف . محبی، م. احتیاطی، ا . 1389. تحلیل تصاویر رقمی مغز نان بربری غنی شده با آرد سویا . نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی ایران . جلد6. شماره4 . صفحه 247-253.

13- فاطمی، ح. 1383. شیمی موادغذایی. شرکت سهامی انتشار، صفحات 97-91 .

14- مصباحی، غ . زمردیان، ع . داداش‌زاده، م. فرحناکی، ع . 1385. بررسی مقایسه‌ای تولید کشمش به وسیله خشک‌کن خورشیدی و سایر روش‌های خشک کردن ، مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران ، 2 ، 74-61 .

15- AL-Farsi, M., Alasalvar, C., Morris, A., Baron, M. and Shahidi, F. 2005.Compositional and sensory characteristics of three native sun-dried date (Phoenix dactylifera L.) Varieties grown in oman. Journal of Agricultural and Food Chemistry. (53): 7586-7591.

16- A.O.A.C. 1990.Official Methods of Analysis Association of Analytical Chemists.Washington D.C. USA. 991.25.

17- Falade, K.O. and Abbo, E.S. 2007. Airdryingand rehydration characteristics of date palm fruits (Phoenix dactylifera L.). Journal of Food Engineering.(31): 724–730.

18- Gallo, L., Llabot, J.M., Allemandi, D., Bucalá, V., Piña, J. 2011. Influence of spray-drying operating conditions on Rhamnus purshiana (Cáscara sagrada) extract powder physical properties. Journal of Powder Technology. 208: 205–214.

19- Ibarz, S.G., Pagan, A.J. and Giner, J.1999. Non-enzymatic browning in peach puree during heating. Food Research International.(32): 335-343.

20- Kulkarni, S.G., Vijayanand, P., Aksha, M., Reena, P. and Ramana, K.V.R. 2008. Effect of dehydration on the quality and storage stability of immature dates (Pheonix dactylifera). Swiss Society of Food Science and Technology. (41):278–283.

21- Severini, C., Baiano, A., De Pilli, T., Carbone, B. F. and Derossi A. 2005.Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. Journal of Food Engineering. (68): 289–296

22- Shyam S. Sablani ،Ashok K. Shrestha, Bhesh R. Bhandari. A new method of producing date

powder granules:Physicochemical haracteristics of powder. 416-421.
23- Wright, B. J., Zevchak, S.E., Wright, J. M. and Drake, M. A. 2009. The impact of agglomeration and storage on flavor and flavor stability of whey protein concentrate 80% and whey protein isolate. Journal of Food Science, 74, 17–29
24- Yam, K.L. and Papadakis. S.E. 2004. Asimple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. Journal of Food Engineering. (61): 137–142.