اثرات دما و رطوبت نسبی محیط انبار بر روی شاخص های کیفی پسته در طول دوره انبار مانی

حمید توکلی‌پور[1*]، علیرضا بصیری[2]، احمد کلباسی اشتری[3]

1- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار

2- استادیار، پژوهشکده صنایع شیمیایی، سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران

3- دانشیار گروه صنایع غذایی دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران ، کرج، پردیس دانشکده‌های کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

چکیده

در این پژوهش ، اثرات دما و رطوبت نسبی محیط انبار بر روی میزان رطوبت ، عدد پر اکسید و درصد اسیدهای چرب آزاد پسته بررسی گردید . شرایط محیط انبار در چهار سطح دمایی 5 ، 15 ،25 و $35^{o}C$ و در محدوده رطوبت نسبی 11 تا 87 درصد شبیه سازی شد . اثرات پارامترهای مذکور بر روی شاخص های کیفی در ابتدای دوره و در فاصله های زمانی ثابت 15 روزه در دوره انبار مانی 90 روزه مورد بررسی و سنجش قرار گرفت . تجزیه و تحلیل آماری بر روی یافته ها انجام و شرایط بهینه انبارداری پسته تعیین شد و تغییرات شاخص های کیفی در طول دوره انبار مانی نشان داده شد. با استفاده از مدل سینتیکی واکنش اکسایش چربی پسته ، سرعت واکنش به صورت یک معادله دیفرانسیلی مرتبه اول ارائه و ثابت های سرعت واکنش اکسایش اسیدهای چرب پسته در دامنه دمایی 5 تا $35^{o}C$ در محدوده 0/145 تا 0/567/month تعیین شد . همچنین با استفاده از رابطه آرنیوس ، انرژی فعالسازی واکنش معادل Ea= 31/459 kJ/mol محاسبه گردید.

کلید واژگان: پسته، انبارمانی، فاکتورهای کیفی، ثابت های سینتیکی، انرژی فعالسازی

1- مقدمه

درخت پسته از گیاهان خانواده آناکاردیاسه[1] است که درمناطق نیمه گرمسیری رشد می کند . کشت و کار این گیاه در کشور ما از سابقه تاریخی برخوردار است [1] .درخت پسته دارای گونه های متعددی است که نوع خوراکی آن ارزش اقتصادی داشته وپیستاسیاورا[2] نام دارد. به دلیل مقاومت بالای درخت پسته به شرایط نامساعد محیطی در نواحی کویری کشور، طی سالیان اخیر کشت آن به دلیل ارزش افزوده بالا در این مناطق رو به توسعه است . پسته یکی از محصولات کشاورزی مهم ایران است و در میان صادرات غیر نفتی کشور، بعد از فرش مقام دوم را احراز می کند. همچنین ایران بزرگترین تولیدکننده و صادرکننده این محصول در جهان به شمار می رود [3و2]. رطوبت پسته در هنگام برداشت 35 الی 40 درصد است که باید توسط فرآیند خشک کردن به مقدار رطوبت 4 الی 6 درصد کاهش یابد [4] . فراوری پسته از مرحله برداشت تا انبارداری و بسته بندی بیشتر به شیوه سنتی انجام می گیرد ولی اقدامات مفیدی برای مکانیزه کردن کشت و برداشت آن و ایجاد پایانه های ضبط پسته در برخی از مناطق پسته خیز کشو ر در حال انجام است. پس ا ز دستیابی به رطوبت ایمن[3] در طی فرایند خشک کردن، مراحل جابجایی، انبارداری و بسته بندی برای حفظ شاخص های بهینه پسته،

*مسئول مکاتبات: htavakoli@iaus.ac.ir

1. Anacardiacea
2. Pistacia vera L
3. Safety moisture

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-23]

تعیین کننده می باشد . بر طبق آمار رسمی ، از کل تولیدات بخش کشاورزی بیش از 30 درصد آن به دلیل کمبود و یا فقدان صنایع تبدیلی و یا انبارداری نامناسب از چرخه بهره برداری خارج و از دست می رود . عوامل متعددی در دوره انبار مانی تاثیر دارد که می توان از درجه حرارت و رطوبت نسبی محیط انبار ، ترکیب شیمیایی ، میکرو ارگانیسم های عامل فساد و آنزیم های طبیعی موجود در مواد غذایی را نام برد [5].از مهمترین ترکیبات پسته ، چربی آن است که میزان آن در ارقام ایرانی دردامنه 63/3-47/65 % است . لیپیدهای پسته دارای اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع است . اسید پالمتیک (8/4 – 10/87%)از مهمترین اسیدهای چرب اشباع و اسید های اولئیک (71/23-51/8%) ،اسید لینولئیک (35/16-17/36%)و اسید لینولنیک (0/4-0/1 %) از مهمترین اسیدهای چرب غیر اشباع پسته هستند. بنابراین از مجموع اسیدهای چرب غیر اشباعی[1] پسته حدود71 درصد آنرا تک گانه و حدود 27 درصد انرا اسیدهای چرب چند گانه تشکیل می دهد [7و6] . کلروفیل موجود در پسته ارقام ایران در حدود 29/5mg در g 100 است که در مجاورت نور یا تابش می تواند اکسیژن یگانه[2] یا عامل شروع واکنش های اکسایش نوری را تولید نماید [8 و7]. همچنین ممکن است آنزیم های لیپاز[1] و لیپواکسی ژناز[2] همراه پسته و فعال در طی فرایند خشک کردن باعث بروز واکنش های مخرب گردد . بنابراین در صورت فراهم شدن شرایط مساعد محیطی از نظر درجه حرارت ، رطوبت نسبی و نور ، واکنش های مولد فساد مانند لیپولیز ، اکسایش خود به خودی[3] ، اکسایش نوری[4] و اکسایش آنزیمی [5] شروع گردیده و رادیکالهای آزاد تشکیل میگردد. تولید این رادیکالها و همچنین تولید ترکیبات جانبی از قبیل اسیدهای چرب آزاد ، هیدروپراکسیدها ، آلدئیدها ، کتن ها و الکل های فرار موجب انجام واکنش های تجزیه ای در لیپیدهای پسته شده و طعم و بوی نامطلوب مانند مزه تند[6] را در محصول به وجود می آورند[10و9 و8].از طرف دیگر در صورت فراهم شدن شرایط مساعد ، کپک زدگی و تولید سموم به ویژه آفلاتوکسین ، حمله حشرات ، تغییر رنگ ، جذب بوهای خارجی ، تخریب بافت و بروز طعم های کهنگی و تندی باعث افت شدید کیفیت محصول شده و پسته را در مدت زمان کمتر از یک ماه غیر قابل مصرف می کند . از رایج ترین روشها برای کنترل واکنش های اکسایش ، کاهش غلظت اکسیژن محیط انبار همراه با تغییر ترکیب گازهای فضای انبار (انبار با فضای کنترل شده[7]) و یا وارد کردن گازهای بی اثر در حین بسته بندی (بسته بندی در فضای اصلاح شده[8]) می باشد [11] .روش دیگری برای انبارش پسته ، ذخیره سازی آن در رطوبت تک لایه[9] است ، چون رطوبت تک لایه با شبکه ماده غذایی پیوند قوی دارد و نمی تواند مانند فاز آبی به عنوان محیط واکنش عمل نماید . در این مقدار رطوبت ، سرعت واکنش های مولد فساد ، به اندازه ای پایین است که سبب پایداری مواد غذایی در طول دوره انبار مانی می شود [12 و 8] .اثرات شرایط محیط انبار بر شاخص های کیفی پسته در طول دوره انبارداری توسط چند تن از محققین بررسی گردیده است . در یک تحقیق ، انبارش پسته کامل (رقم قاضی آنتپ[10]) برای نمونه های ذخیره شده در فضای کنترل شده (شامل 2درصد هوا و 98 درصد دی اکسید کربن) در میزان رطوبت تک لایه تحت دماهای 10 و 20 $30^{o}C$ و شرایط متعارف محیطی بررسی شده است . حداکثر اکسایش چربی در شرایط متعارف محیطی و بیشترین پایداری پسته طی انبار داری در فضای دی اکسید کربن به ویژه در دماهای پایین تر مشاهده شده است. در پژوهشی که به همین منظور انجام گرفته درصد اتلاف اسیدهای چرب لینولئیک و لینولنیک در سه دمای مختلف با روش کروماتوگرافی گازی اندازه گیری و میزان تخریب آنها نیز توسط واکنش اکسایش مرتبه اول مدل سازی و ثابت های سرعت واکنش و انرژی فعال سازی در دامنه دمایی مورد بررسی تعیین گردید[9].

در پژوهش دیگری که توسط همین محققین انجام گرفت ، عدد پر اکسید و درصد اسیدهای چرب آزاد لیپیدهای پسته در طول دوره انبارداری ، اندازه گیری و واکنش اکسایش آنها به صورت یک واکنش درجه اول مدل سازی و ثابت های سرعت

1. Lipase
2. Lipoxygenase
3. Autooxidation
4. Photooxidation
5. Enzymatic oxidation
6. Rancid flavour

7. Controlled atmosphere storage
8. Modified atmosphere packaging
9. Monolayer moisture content
10. Gaziantep variety

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-23]

واکنش در دامنه دمایی مورد بررسی تعیین گردید . نتایج این بررسیها نشان داد که با افزایش دما ، نسبت ثابت های سرعت هوا به دی اکسید کربن به سمت یک میل کرده و تفاوت معنی داری بین انبارداری در هوا و دی اکسید کربن در دمای 30^oc وجود ندارد . همچنین انرژی فعالسازی نیز در شرایط مذکور محاسبه گردید [10] .در تحقیق دیگری ، اثرات دمای محیط انبار در طول انبار مانی بر روی ویژگیهای پسته رقم کرمان (بومی کالیفرنیا) در دماهای 0 ، 5 ، 10 ، 20 و 30^oC به مدت 6 الی 12 ماه در فاصله های زمانی منظم همراه با آزمون های شیمیایی و حسی انجام گرفت است [13] .نتایج تحقیق مذکور نشان داد که نمونه های پسته که به مدت 6 ماه در دماهای 0 ، 5 ، 10 ، 20^oC نگهداری شده بود ، از نظر ترکیبات شیمیایی و آزمون های حسی تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشته ولی نسبت به نمونه هایی که در دمای 30^oC نگهداری شده از نظر طعم و بافت تفاوت معنی داری داشت .هر چند نمونه های پسته ای که در دمای 30^oC ذخیره شده بود تردتر بود لیکن درجه تندی بیشتری داشتند .همچنین نمونه هایی که در $30\ ^oC$ به مدت 12 ماه نگهداری شده بود میزان رطوبت کمتر و درصد قند بیشتری نسبت به دماهای پایین تر داشت .در صورت مناسب بودن شرایط محیطی انبار، بیشترین پایداری محصول در دامنه رطوبت 4-6 درصد رخ می دهد . در پژوهش حاضر ، اهداف زیر دنبال گردیده اند :

(1) بررسی تغییرات شاخص های کیفی پسته در طول دوره انبار مانی .

(2) تعیین شرایط بهینه انبارمانی پسته از نظر درجه حرارت و رطوبت نسبی و حفظ کیفیت مطلوب برای محصول پسته .

(3) مدل سازی سینتیکی واکنش اکسایش چربی پسته و تعیین ثابت های سرعت و انرژی فعالسازی واکنش در دامنه دمایی تحت بررسی .

2- مواد و روشها

2-1- مواد

پسته: پسته رقم اوحدی[1] (از ارقام مهم کرمان) برای این تحقیق انتخاب گردید. این رقم سهم زیادی از صادرات پسته را به خود اختصاص میدهد . پسته های رقم اوحدی درجه بندی شده و انواع سالم و خندان آن جهت انبارداری مورد استفاده قرار گرفت.

مواد شیمیایی: از نمکهای کلرید لیتیوم ($LiCl$) ، کلرید منیزیم ($MgCl_2$) ، نیتریت سدیم ($NaNO_2$) و کلرید پتاسیم (KCl) جهت تامین رطوبت نسبی ثابت در دماهای مورد آزمایش استفاده گردید . کلیه نمکهای مذکور و سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در تعیین شاخص های کیفی از درجه خلوص بالایی برخوردار بود . از نمکهای مذکور محلول های فوق اشباع به میزان کافی تهیه گردید تا رطوبت نسبی مشخصی در محیط ایجاد شود. رطوبت نسبی محلول های فوق اشباع تابعی از دما است و در جدول 1 ارائه شده است (14) .

جدول 1 رطوبت نسبی محلول اشباع نمکهای مورد آزمون

نمک	معادله رگرسیون	R^2
$LiCl$	$\ln a_w = \frac{500.95}{T} - 3.85$	0.976
$MgCl_2$	$\ln a_w = \frac{303.35}{T} - 2.13$	0.995
$NaNo_2$	$\ln a_w = \frac{435.96}{T} - 1.88$	0.974
KCl	$\ln a_w = \frac{367.58}{T} - 1.39$	0.967

2-2- روشها

2-2-1- روش انبار مانی

اثرات پارامترهای محیطی انبار شامل دما در دامنه 5 تا 35^oC و رطوبت نسبی هوا در دامنه 11 تا 87 درصد بر روی شاخص های کیفی پسته در طول دوره انبار مانی مورد بررسی قرار گرفت . دلیل انتخاب درجه حرارتهای فوق ارزیابی رفتار پسته در انبار سرد ، دمای اتاق و نیز انبارش در مناطق گرمسیر (برای مثال انبارهای موقت جهت صادرات پسته از بنادر جنوبی کشور) میباشد ودر مورد رطوبت نسبی مطابق جدول 1 چون رطوبت نسبی متغیر وابسته و دما متغیر مستقل است ، به طور خود به خود رطوبت های نسبی فوق الذکر بر روی محلول های اشباع نمک ایجاد می شوند وتنها در این حالت انتخاب

1. Ohadi variety

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-23]

نوع نمکها حائز اهمیت است که دامنه 0 تا 100 درصد رطوبت نسبی را پوشش دهد. برای شبیه سازی محیط انبار ، از محفظه های نیم لیتری پلاستیکی درب دار ، محتوی 150 میلی لیتر محلول اشباع نمک ذکر شده در بخش مواد استفاده گردید . برای ثابت نگهداشتن درجه حرارت ، محفظه های مذکور در انکوباتورهای مجهز به ترموستات قرار داده شد.110-120 گرم پسته توسط ترازو با دقت 0/001g ± توزین و بر روی توری های استیل قرار گرفته وتوری ها نیز به صورت معلق در محفظه ها تعبیه شد . برای جلوگیری از رشد کپکها در رطوبت های نسبی بالای 50 درصد ، لوله های موئین حاوی تولوئن در محفظه ها قرار گرفت . قبل از جایگذاری نمونه ها در محفظه ها ، شاخص های کیفی اندازه گیری و تغییرات آنها در فواصل منظم 15روزه در طول دوره انبار مانی سنجیده شد . نحوه نمونه گیری بدین ترتیب بود که ابتدا پسته های هر محفظه کاملا مخلوط شده و سپس به طور تصادفی 15- 17 گرم نمونه برداشته شده و در کیسه های سلوفانی بسته بندی و درب آنها کاملا مسدود گردید . بسته های حاوی نمونه ها در محل تاریک و سرد نگهداری و آزمون های تعیین شاخص های کیفی بر روی آنها انجام گرفت . حداکثر مدت انبار مانی 3 ماه بود که وضعیت اشباع نمکها در طول این مدت کنترل گردید .

2-2-2- تعیین شاخص های کیفی پسته در طول دوره انبار مانی

مقدار رطوبت: مقدار رطوبت نمونه های پسته توسط روشهای استاندارد اندازه گیری شد [15].

استخراج روغن از نمونه های پسته: برای این کار از حلالهای کلروفرم / متانول (2:1V/V) استفاده و استخراج حلالها در دمای پایین و در محیط تاریک انجام گرفت. سپس حلالها تحت تاثیر خلاء و در دمای 30 از روغن جدا گردید [10و9].

عدد پراکسید: میزان پر اکسید روغن پسته توسط روش تیتراسیون یدومتری تعیین گردید[15و16و17].

اسیدهای چرب آزاد: درصد اسیدهای چرب آزاد روغن پسته با روش تیتراسیون و بر مبنای اسید اولئیک اندازه گیری شد [16و15].

2-2-3- تجزیه و تحلیل آماری

اثرات پارامترهای دما و رطوبت نسبی بر روی شاخص های کیفی پسته به صورت آزمایش فاکتوریل 4×4 و در قالب طرح کاملا تصادفی و در چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت . آنالیز داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام شد . برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه ای دانکن[1] استفاده گردید.

3- نتایج و بحث

3-1- اثر شرایط انبار مانی بر شاخص های کیفی پسته

3-1-1- میزان رطوبت پسته

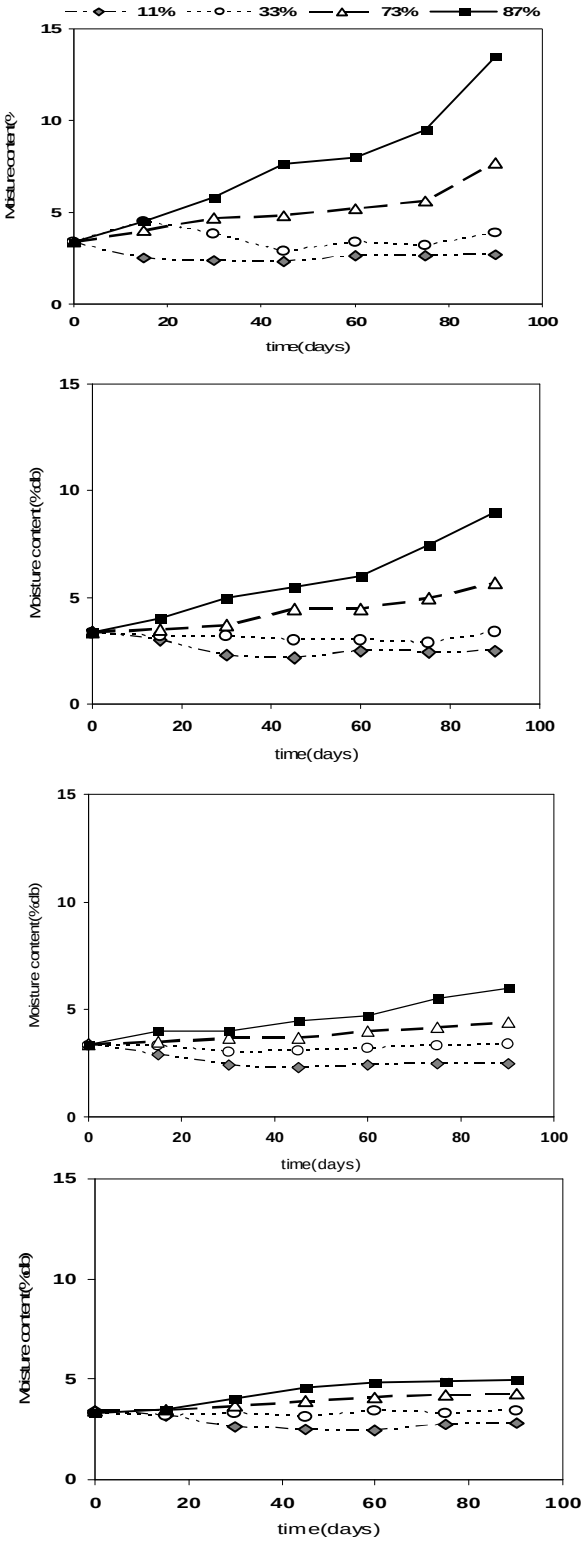
منحنی تغییرات رطوبت پسته (در مبنای خشک) در طول دوره انبار مانی در چهار دمای تحت بررسی در رطوبت های نسبی مختلف محیط انبار به در شکل 1نشان داده شده است . همانطور که دیده می شود با افزایش دما در یک دامنه رطوبت نسبی معین ، روند تغییرات میزان رطوبت نزولی است که با افزایش دما این روند نزولی با سرعت بیشتری ادامه می یابد.همچنین با افزایش رطوبت نسبی فضای انبار میزان رطوبت افزایش یافته است [17].

3-1-2 - عدد پر اکسید

منحنی تغییرات عدد پر اکسید پسته بر حسب میلی اکیوالان در کیلوگرم (meq/kg) برای چهار دمای تحت بررسی و رطوبت های نسبی مختلف در طول دوره انبار مانی در شکل 2 ارائه شده است . نتایج نشان داد که در یک دمای معین و در رطوبت های نسبی حدود بالا و پایین ، عدد پر اکسید نسبت به رطوبت های نسبی متوسط افزایش بیشتری می یابد که این افزایش برای رطوبت نسبی 80%بیشتر از 11% و برای رطوبت نسبی 65 % بیشتر از 32 % است . همچنین در یک دامنه رطوبت نسبی معین ، عدد پر اکسید با افزایش درجه حرارت ، افزایش یافت که نشان دهنده تاثیر دما بر افزایش سرعت واکنش های اکسایش لیپید است . در مورد دلایل این تغییرات می توان چنین نتیجه گیری نمود که در رطوبت نسبی 11% به

1. Duncan's multi-range tests

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-23]



شکل 1 نمودار تغییرات میزان رطوبت پسته در دماها و رطوبت های نسبی مختلف.

دلیل پایین تر بودن مقدار رطوبت پسته نسبت به رطوبت تک لایه (Mo)، اکسایش لیپیدهای پسته به علت عمل رادیکال های آزاد در فعالیت آبی (aw) کم تشدید می گردد . در دامنه رطوبت نسبی 32- 33 % به دلیل تناظر با رطوبت تک لایه محصول ، عوامل کلات کننده[1] و ضد اکسنده ها[2] به صورت محلول درآمده و سرعت اکسایش را کاهش می دهد . همچنین به دلیل پیوندهای هیدروژنی آب با رادیکال های آزاد حاصل از واکنش اکسایش چربی پسته ، سرعت اکسیداسیون کاهش می یابد . در دامنه رطوبت نسبی62-73% ، فعالیت کاتالیزوری فلزات به واسطه عمل آبپوشی[3] و تشکیل هیدروکسیدهای نامحلول کم شده و بنابراین سرعت اکسایش باز هم نسبت به رطوبت نسبی 11% کاهش می یابد ولی سرعت اکسیداسیون از دامنه رطوبت نسبی 32-33 % بیشتر است . در دامنه رطوبت نسبی82-87% ، کاتالیزور های فلزی محلول می شوند ، محصول متورم شده و در نهایت تعداد مراکز فعال جهت اکسیداسیون پسته بیشتر شده و سرعت اکسایش با شدت بیشتری افزایش می یابد [17].

3-1-3 - درصد اسیدهای چرب آزاد

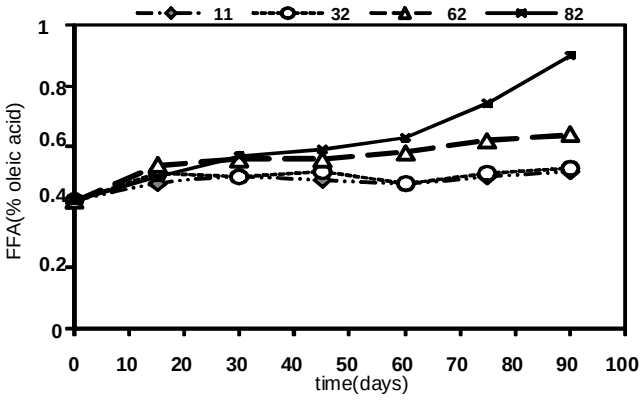
نمودار تغییرات درصد اسیدهای چرب آزاد پسته در طی دوره انبار مانی در شکل 3 به عنوان نمونه ارائه شده است . نتایج نشان داد که در یک دمای معین با افزایش رطوبت نسبی هوا ، درصد اسیدهای چرب آزاد در مجموع افزایش می یابد [17] . در یک دامنه رطوبت نسبی معین نیز ، در دماهای بالاتر درصد اسیدهای چرب آزاد افزایش یافت که خود بیانگر این واقعیت است که درجه حرارت و رطوبت نسبی بر واکنش لیپولیز اثر کمکی داشته و سرعت واکنش لیپولیز را افزایش می دهند [12].

3- 3- تعیین شرایط بهینه در انبار مانی پسته

برای تعیین شرایط بهینه انبار داری پسته ، تیمارهای تحت بررسی با استفاده از شاخص های کیفی فوق الذکر امتیاز بندی و نتایج حاصل در جدول 2 ارائه شده است [17] .قابل ذکر است که در دو دمای 25 و $35^{o}C$و دامنه رطوبت نسبی 82-87% ، کپکهاطی دوره انبار مانی روی پسته رشد و نمو

1. Chelating agents
2. Antioxidants
3. Rehydration

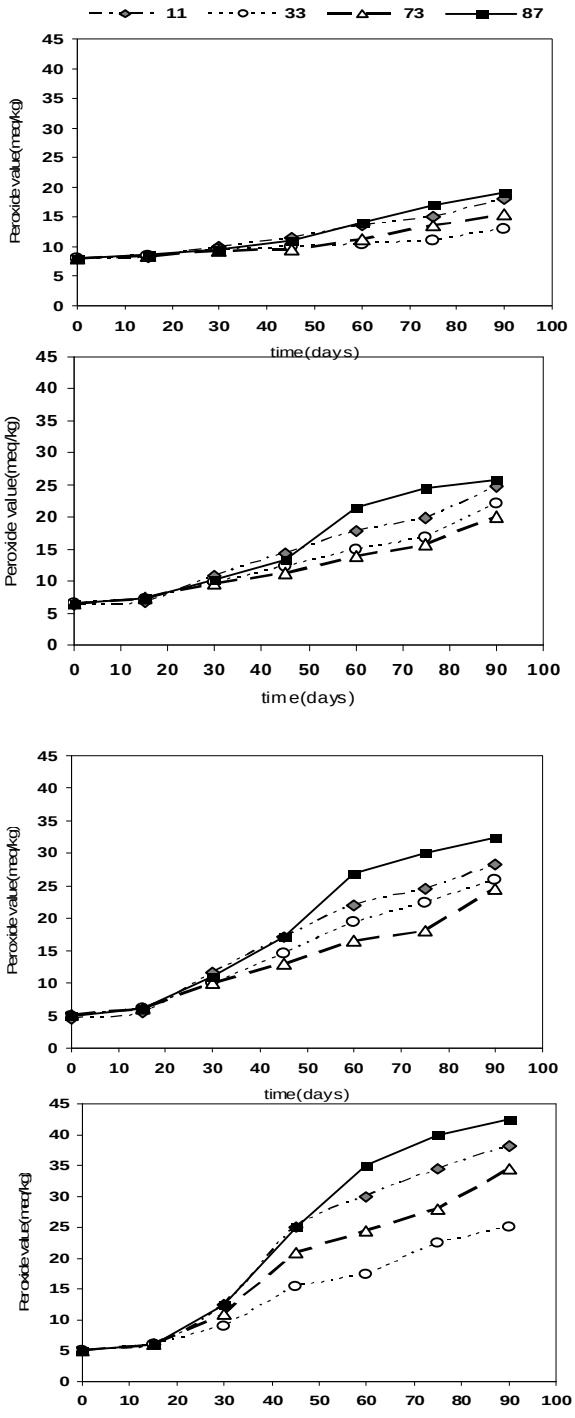
[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-23]



شکل 3 نمودار تغییرات درصد اسیدهای چرب آزاد در طول انبار داری در دمای 35 درجه سانتیگراد.

کرده [20 و 21] و بنابراین هر دو تیمار مردود هستند ولی برای دقت بیشتر ، در امتیاز بندی تیمارها در نظر گرفته شده اند . حد مجاز برای شاخص های کیفی تحت بررسی با استفاده از استانداردهای ملی و بین المللی برای محصول پسته و نتایج تحلیل های آماری به دست آمده است [15 و 18 و 19] . برای مثال عدد پراکسید زیر 20 ، درصد اسیدهای چرب آزاد زیر 0,5 درصد و رطوبت میان 4-6 درصد هر کدام به عنوان یک ستاره در جدول امتیازات منظور گردید.

همانطور که در جدول 1 دیده می شود ، تنها 4 تیمار از 16 تیمار مورد بررسی در هر سه شاخص کیفی (مقدار رطوبت ، عدد پر اکسید و درصد اسیدهای چرب آزاد) امتیازات کامل را کسب کرده اند .بنابراین تیمارهایی که شرایط انبار مانی آنها در دو دمای 5 و $15^{o}c$ و در دامنه های رطوبت نسبی 32 - 33% و 65- 70 % بودند به عنوان شرایط بهینه برای انبارداری پسته انتخاب شدند . قابل ذکر است که نتایج فوق در دوره زمانی انبار مانی سه ماهه حاصل شده و ممکن است شاخص های کیفی در زمانهای طولانی تر تغییرات متفاوتی داشته باشد . نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بهتر است در دماهای پایین



شکل2 نمودار تغییرات عدد پر اکسید در طول انبارمانی پسته در دماها و رطوبت های نسبی مختلف

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-23]

جدول 2 امتیاز بندی تیمارهای انبار مانی پسته

تیمار	درصد رطوبت (% d.b)	عدد پراکسید (meq/kg)	درصد اسیدهای چرب آزاد (برحسب اسید اولئیک)	جمع امتیازات
a_1b_1	---	*	*	**
a_1b_2	*	*	*	***
a_1b_3	*	*	*	***
a_1b_4	---	*	*	**
a_2b_1	---	---	*	*
a_2b_2	*	*	*	***
a_2b_3	*	*	*	***
a_2b_4	*	---	*	**
a_3b_1	---	---	*	*
a_3b_2	*	---	*	**
a_3b_3	*	---	*	**
a_3b_4	*	---	*	**
a_4b_1	*	---	*	**
a_4b_2	*	---	*	**
a_4b_3	*	---	*	**
a_4b_4	*	---	---	*

b: رطوبت نسبی در چهار سطح (b_1=%11, b_2=%32-33, b_3=%62-73, b_4=%82-87)

a: دما در چهار سطح (a_1=5 ºC, a_2=15 ºC, a_3=25 ºC, a_4=35 ºC)

رطوبت نسبی 32-33% که فعالیت آبی متناظر با رطوبت تک لایه است ، استفاده گردد.

3-4- تعیین ثابت های سرعت واکنش اکسایش چربی پسته

مهمترین واکنش تخریبی پسته که در طول دوره انبار مانی منجر به افت کیفیت محصول می شود ، مکانیسم اکسایش رادیکالی و تشکیل هیدرو پر اکسیدها می باشد . سینتیک واکنش اکسایش چربی و تشکیل پر اکسید توسط روابط زیر بیان می گردد [8 و 10].

$$\frac{dc}{dt} = kc \quad (1)$$

$$k = k_0 \exp(\frac{E_a}{RT}) \quad (2)$$

که در آن C غلظت پر اکسید تولید شده در اثر واکنش اکسایش چربی در زمان t ، k ثابت سرعت واکنش ، k_0 ثابت سرعت واکنش در دمای مبنا ، E_a انرژی فعال سازی واکنش و R ثابت جهانی گازها است . چون پسته در دامنه رطوبت نسبی 32 – 33% بیشترین پایداری را در حین انبار مانی دارد ، بنابراین ثابت سرعت واکنش اکسایش در دامنه دمایی 5 تا 35^oc و دامنه رطوبت نسبی یاد شده محاسبه گردید . غلظت C نمایانگر عدد پر اکسید اندازه گیری شده در طول دوره انبار مانی است . با انتگرال گیری از رابطه (1) و گرفتن لگاریتم از طرفین رابطه (2) ، روابط زیر به دست می آید:

$$\ln \frac{C}{C_0} = kt \quad (3)$$

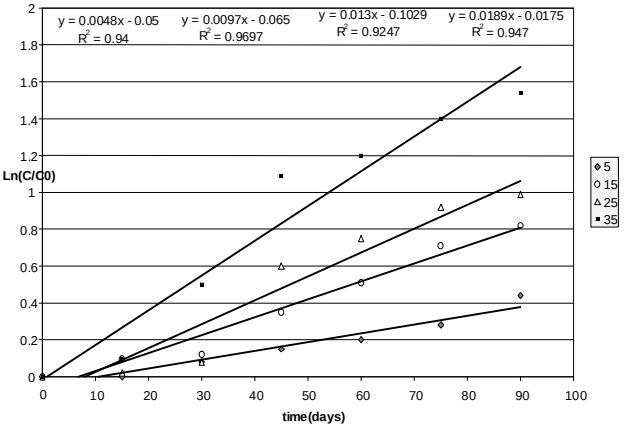
[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-23]

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R}(\frac{1}{T}) \quad (4)$$

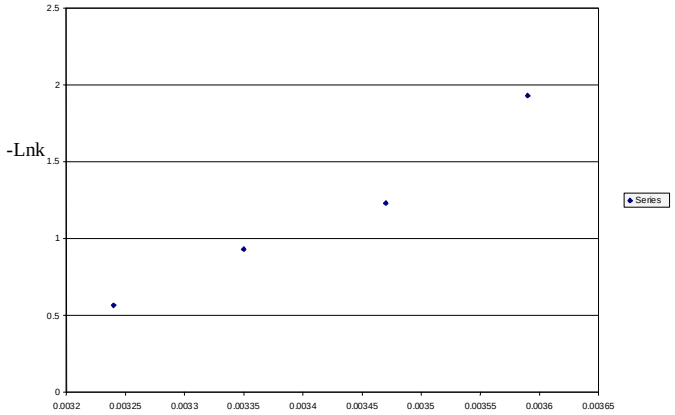
بنابراین با رسم $\ln \frac{C}{C_0}$ بر حسب زمان وبرازش نقاط حاصل با معادله خط راست (شکل 4) از طریق تحلیل رگرسیون[1] ثابت k در دماهای تحت بررسی تعیین و در جدول3 ارائه گردید. همانطور که در این جدول مشاهده می شود با افزایش دما ، ثابت سرعت واکنش (k) نیز افزایش یافته و تابعیت k بر حسب دما به صورت رابطه آرنیوس[2] (رابطه 2) بیان می شود با استفاده از رابطه (5) ، با رسم lnk بر حسب عکس دمای مطلق (1/ T) و برازش نقاط حاصل با معادله خط راست (شکل 4) از طریق تحلیل رگرسیون (شکل 5) انرژی فعال سازی در سیستم یکای CGS ، 7/518kcal/mol = E_a و در سیستم یکای SI ، 31/459kJ/mol = E_a تعیین میشود .

جدول 3 مقادیر ثابت سرعت k در دماهای مختلف

	5 ºC	15ºC	25ºC	35ºC
C_0 (meq/kg)	3/153	3/281	3/153	3/281
k ($month^{-1}$)	0/145	0/292	0/394	0/567
SD	0/046	0/053	0/126	0/140



شکل 4 ترسیم $\ln \frac{C}{C_0}$ بر حسب زمان انبارمانی



شکل 5 ترسیم $\ln k$ بر حسب $\frac{1}{T}$

4- منابع

[1] Abrishami, M. H.1994. Persian Pistachio, A Historical Approach. University Press Center, Tehran. Iran.

[2] Sheibani, A. 1998. Study on Industrial Problems of Iranian Pistachio. Journal of Water, Soil and Machine, 38(5):35-37.

[3] Anonymous. A Short Glance to Iran's Pistachio. 1998. Ministry of Agriculture, Horticultural Division, Tehran, Iran.

[4] Kader, A. A. et al.1982. Studies Related to the Description and Evaluation of Pistachio Nut [5] Imandel, K. A. et al.1995.Deterioration Factors and Food Preservation Conditions in Cold Store. Tehran University Press. Quality.J. Amer.Soc.Hort.Sci.107(5):812-816.

Pistachio Kernels. Dept [6] Agar , I. T. et al. 1997. Lipid Characteristics of Turkish and of Horticulture , Faculty of Agriculture,Univ. of Cukurova , Adana , Turkey .

[7] Hosseini Shokraii,E. 1977.Chemical Composition of the Pistachio Nuts (Pistacia vera L.) Kerman, Iran.J.Food.Sci.42:244-245.

[8] Taub,J. A., and R. P. Singh, 1997.Food Storage Stability. CRC Press.

[9] Maskan, M. and Karatas, S.1998. Fatty Acid Oxidation of Pistachio Nuts Stored Under Various Atmospheric Conditions and Different Temperatures.J. Sci.Food. Agric. 77:334-340.

1. Regression analysis
2. Arrhenius relationship

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-23]

[10] Maskan,M. and Karatas,S.1999. Storage Stability of Whole Split Pistachio Nuts(Pistacia vera L.) at Various Conditions. Food Chemistry. 66:227-233.
[11] Rezaeian,I. et al.1996. Study on Pistachio Shelf Life Under Various Storage Conditions. Kerman Industrial Bureau.
[12] Reid, D.S.1992.Water Relations of Foods: A Key to Product Stability. In "Advances In Food Engineering."R. P. Singh et al.(Eds.).CRC Press.
[13] Mortazavi,A. et al.1997.Fungal Toxins. Ferdowsi University Press.
[14] Rahman , S. 1995. Food Properties Handbook, CRC Press.
[15] AOAC . 1990. Official Methods of Analysis (15th edn.). Association of Official Analytical Chemists .
[16] Hosseini, Z.1990. Methods of Food Analysis. Shiraz University Press.
[17] Tavakolipour,H.2000. Effective Factors in Dehydration Process and Storage Conditions of Pistachio Nuts (Pistacia vera L.). PhD Thesis,Islamic Azad University.
[18] ISIRI.1997.Pistachio Charactristics, Publication No.15.
[19] BS.1987. British Standard Institution, London, UK.
[20] Mojtahedi, H. et al.1980. Store Relative Humidity at Rafsanjan and Study on Possibility of Pistachio Pollution to Aflatoxin after Harvest.Journal of Plant Disease 16(1-4).
[21] Boutrif, E.1995. Aflatoxin Prevention Programs. Food Quality and Standrad Service, FAO.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-23]

Effects of Temperature and Relative Humidity on Pistachio Quality Factors during Storage Time

Tavakolipour, H. [*1], Bassiri, A. R. [2], Kalbasi Ashtari, A. [3]

1-PhD, Assistant Professor, Food science and Technology Department, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran.
2- PhD , Assistant Professor, Institute of chemical technologies, Iranian Research organization of science and technology, No 71, Forsat St., Enghelab Ave. Tehran, Iran.
3- Ph.D, Associate Professor, Food Science and Technology Department, College of Biosystem Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

In this research, the effects of storage temperature and relative humidity were studied on quality factors of pistachio nuts including moisture content, peroxide value and free fatty acids. The required experiments were carried out in form of 4*4 factorial experiments in a completely randomized design (CRD) and repeated 4 times. Storage conditions were simulated in temperatures of 5, 15, 25, and 35C, and relative humidity in range of 11 to 87%. Determination of quality factors were carried out at the startup and with 15 days intervals during storage time. Statistical analysis was done and changes of pistachio quality aspects were presented as variation intensity curves versus storage time. By using kinetic analysis of oxidation for pistachio lipids, the reaction rate of oxidation was modeled as a first order differential equation. The constants of oxidation rate in storage temperature of 5 to 35 C were in range of /145 to ./567/month. By using Arrhenius relationship, Activation energy for oxidation reaction of pistachio's lipid was equal to Ea =31/459 kJ/mol.

Keywords: Pistachio Nut, Storage Conditions, Quality Factors, Kinetic Constants, and Activation Energy

[*]Corresponding author E-mail address: h.tavakolipour@gmail.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-23]