مجله پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی
سال دوم/ شماره سوم/ پاییز و زمستان ۱۳۹۲ (۵۵-۶۵)

تغییر مهم‌ترین خواص کیفی خرمای استعمران تحت تأثیر دما و رطوبت در طول سه ماه انبارمانی

مجید رهنما[۱*]، محمد هادی خوش تقاضا[۲]، برات قبادیان[۳] و موحد سپهوند[۴]

چکیده

عدم یکنواختی رطوبت خرما هنگام برداشت، عدم فرآوری مناسب، آفت زدگی و فساد محصول در طول دورهٔ انبارداری، سبب مشکلاتی در صادرات این محصول شده است. به کارگیری خشک‌کن و اعمال تیمارهای حرارتی، مناسب‌ترین روش برای یکنواختی رطوبت و ضدعفونی آن است. هدف از این پژوهش، حفظ خواص کیفی خرما در طی انبارمانی است که با استفاده خشک‌کن خورشیدی مجهز به سیستم جاذب رطوبت انجام می‌شود. در این پژوهش رطوبت خرمای استعمران در چهار سطح دمایی ۴۰، ۵۰، ۶۰ و $70^{o}C$ به سه سطح رطوبت تعادلی ۱۴، ۱۶ و ۱۸٪ بر پایه خشک رسید و تأثیر این تیمارها بر خواص کیفی خرما (pH، درصد جدا شدن پوست، قند کل و درصد مواد جامد محلول) در طول سه ماه انبارمانی بررسی شد. با مقایسه مقادیر به دست آمده با تیمار شاهد و میوه تازه، افزایش رطوبت محصول سبب کاهش pH می‌شود. تیمار اعمالی دما و رطوبت سبب شده است که درصد مواد جامد محلول (نسبت به شاهد) افزایش پیدا نکند. تیمارهای اعمالی روی مقدار قند کل و تیمارهای دما و رطوبت روی درصد جداشدن پوست از میوه تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ نداشته است.

واژه‌های کلیدی: چرخ جاذب، خشک‌کن خورشیدی، ضدعفونی، قند کل.

ارجاع: رهنما م. خوش تقاضا م. ه. قبادیان ب. و سپهوند م. ۱۳۹۲. تغییر مهم‌ترین خواص کیفی خرمای استعمران تحت تأثیر دما و رطوبت در طول سه ماه انبارمانی. مجله پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲(۳):۵۵-۶۵.

۱- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۳- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
*** نویسنده مسؤل:** Rahnamam2002@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۰۳

مقدمه

خرما یکی از مهم‌ترین محصولات تولیدی در جنوب کشور است. در حال حاضر ایران از نظر تولید خرما بعد از مصر در مقام دوم و از نظر صادرات این محصول در مقام دهم جهان قرار دارد (اندره و زید، ۲۰۰۲ و ناوارو، ۲۰۰۶). سطح زیر کشت خرما در ایران ۲۱۸۰۰۰ هکتار است. خوزستان، بوشهر، فارس و کرمان از مهم‌ترین منطقه‌های تولید خرما در سطح کشور هستند (پژمان، ۱۳۸۰ و کاشانی، ۱۳۷۱). با توجه به میزان تولید خرما در ایران و مهم بودن این محصول از نظر تجاری، لازم است کیفیت محصول تازه چیده شده در طول دوره انبارمانی حفظ شود. با توجه به اینکه رطوبت این محصول یکی از مهم‌ترین فاکتورها در انبارمانی است، می‌توان با تنظیم رطوبت، کیفیت محصول را حفظ و در وقت مناسب به بازار عرضه کرد. همچنین خرما میوه‌ای است که نمی‌توان آن را در فرایند خشک کردن، مدت زمانی طولانی، در معرض حرارت با دمای بالا قرار داد زیرا رنگ آن تیره می‌شود و فعالیت بعضی از آنزیم‌ها که در بهبود بافت و ظاهر خرما مؤثر هستند کم می‌شود. بنابراین لازم است خرما سریع خشک شود.

مهم‌ترین خواص فیزیکی و کیفی خرما که در انبارمانی بررسی می‌شوند، عبارتند از: فعالیت آبی، pH، مقدار قند کل، مقدار مواد جامد، رنگ، سفتی بافت، بریکس[1] و درصد جدا شدن پوست میوه (احمد و همکاران، ۱۹۸۲؛ احمد و همکاران، ۱۹۸۶؛ نلسون و همکاران، ۱۹۷۳ و عمر و الباسومی، ۱۹۸۴).

خرما محصولی است که در سه مرحلهٔ خلال، رطب و تمر استفاده قرار می‌شوند که رطوبت آن‌ها به‌ترتیب برابر ۵۰ تا ۶۰، ۳۵ تا ۴۰ و کمتر از ۲۵٪ است. در مرحله خلال و رطب، به‌دلیل رطوبت بالا، فعالیت آنزیمی افزایش یافته و سبب نرم و تیره شدن خرما می‌شود (ناوارو، ۲۰۰۶)، ولی خرمایی که رطوبت آن کمتر از ۲۵٪ است، فعالیت آنزیمی متوقف شده و می‌توان آن را به مدت زیادی حتی در دمای اتاق نگهداری کرد (رگ، ۱۹۵۷ و ۱۹۵۸). خرما باید قبل از انبارداری ضدعفونی شود تا آفت‌های مزرعه‌ای و انباری به محصول صدمه نزنند. بعد از ضدعفونی، خرما درجه‌بندی شده، شستشو، خشک و بسته‌بندی می‌شود.

خرما بعد از برداشت ممکن است تحت تأثیر عامل‌هایی چون حمله حشرات، آلودگی میکروبی و تیره‌شدن قرار گیرد که باید ضدعفونی شود. روش‌هایی چون تدخین[2]، تیمار حرارتی[3]، سرمادهی[4] و پرتوافکنی[5] برای ضدعفونی وجود دارد. در روش تدخین از گاز متیل بروماید یا فسفین استفاده می‌شود. در تیمار حرارتی محصول مدتی کوتاه تحت تأثیر گرما قرار می‌گیرد، در سرمادهی میوه به‌مدت طولانی در انبارِ با دمای پایین، برای به عقب انداختن فرایندهای شیمیایی قرار می‌گیرد. اگر رطوبت میوه بالا است بیشتر در برابر حملات میکروبی قرار گرفته و شرایط برای رشد تخم حشرات و آفات انباری آماده می‌شود. همچنین فعالیت آنزیمی سبب تیره شدن و کاهش کیفیت محصول می‌شود. بنابراین رطوبت محصول باید به مقدار مناسب برسد تا کمترین صدمه به محصول وارد شود.

در سال‌های اخیر برای کاهش صدمات ناشی از حرارت با دمای بالا، تداوم عمل خشک کردن در شب و کاهش زمان خشک کردن، خشک‌کن‌های مجهز به سیستم‌های جاذب رطوبت پیشنهاد شده است. به‌عنوان مثال، طی پژوهشی دابوس و جویس (۲۰۰۵) اعلام کردند، در فرآیند خشک کردن گل‌ها و برگ درختان، کاهش زمان خشک‌شدن موجب تغییر کمتر رنگ گیاه شده و سبب حفظ رنگ ظاهری گیاه می‌شود که ناشی از کاهش فعالیت شیمیایی در مدت زمان کم خشک کردن است. آن‌ها در این پژوهش، مناسب‌ترین دما، برای خشک کردن این گیاهان را ۶۰°C تا ۸۰°C معرفی کردند. اگر دما از ۶۰°C بیشتر شود برخی از آنزیم‌ها که در قهوه‌ای شدن رنگ گیاه تأثیر دارند، غیرفعال یا کم فعال می‌شوند.

رطوبت و دما دو فاکتور عمده‌ای است که در ماندگاری خرما تأثیر دارند. به‌عنوان مثال خرمای رقم دگلت نور می‌تواند به مدت یک سال در دمای صفر درجه سلسیوس، ۸ ماه در دمای ۵°C، ۳ ماه در دمای ۱۵°C و ۱ ماه در دمای ۲۷°C نگهداری شود (رگ، ۱۹۵۷). رگ در سال ۱۹۷۵ اعلام کرد که برای خرمای دقلت نور یک تغییر رطوبت از ۲۰ به ۲۴٪ مقدار تیره‌شدن میوه را چهار برابر تسریع می‌کند (رگ، ۱۹۵۷). کولاول و ایمانوئل (۲۰۰۷) سه رقم خرما را در چهار سطح دمایی ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰

1- Brix

2- Fumigation
3- Heat treatment
4- Refrigeration
5- Irradiation

درجه سلسیوس با سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه تا رطوبت ۲۵٪ خشک کردند. فرایند خشک کردن سه روز طول کشید و بهترین دما برای خشک کردن از نظر حفظ بافت، رنگ و ترکیبات خرما ۷۰°C گزارش شد.

بنابراین لازم است تأثیر تعییر دما و رطوبت بر خواص میوه خرما بررسی شود. از اینرو در این پژوهش رطوبت خرما با استفاده از خشک‌کن خورشیدی به سه سطح ۱۴، ۱۶ و ۱۸٪ بر پایه تر در چهار سطح دمایی ۴۰ °C، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ رسید و تأثیر آن بر خواص کیفی خرما بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از خشک‌کن خورشیدی با سیستم کنترل رطوبت طراحی و ساخته شده در دانشگاه تربیت مدرس برای اعمال تیمارهای دما و رطوبت استفاده شد. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه نور مستقیم روی رنگ محصول تأثیر دارد و رطوبت نیز باید کنترل می‌شد خشک‌کن ساخته شده از نوع خورشیدی غیرمستقیم و فعال بود (اکچوکو و نورتون، ۱۹۹۹). این خشک‌کن مجهز به سیستم تغییر رطوبت با چرخ جاذب رطوبت برای کاهش رطوبت هوای ورودی به محفظه خشک‌کن مجهز بود (شکل ۱).

شکل ۱- نمایی کلی از دستگاه ساخته شده و نحوه ارتباط قطعات با یکدیگر

تنظیم رطوبت خرما برای تعیین خواص کیفی در طول سه مـاه انبارمانی

بعد از بازدید از شرکت‌های فعال در بخش فرآوری و صادرات خرمای تجاری استعمران در شهرهای اهواز، خرمشهر، آبادان و شادگان، و پژوهش درباره رطوبت مناسب خرما برای انبارمانی و صادرات، محدوده مناسب رطوبت برای خرمای تجاری استعمران ۱۳ تا ۱۹٪ بر پایه خشک (d.b.) تعیین شد. بنابراین آزمایش‌های مربوط به تنظیم رطوبت خرما برای تعیین خواص کیفی خرما در طول سه ماه انبارمانی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار سطح دمایی و سه سطح رطوبت نهایی بر طبق جدول ۱ با سه تکرار انجام شد.

جدول ۱- سطح‌های مختلف و پارامترهای مربوط به تعیین خواص کیفی خرمای استعمران در طول دوره انبارمانی

ردیف	پارامتر	سطح‌های انتخابی			
		۱	۲	۳	۴
۱	دما (°C)	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
۲	رطوبت نهایی (%d.b.)	۱۵-۱۳	۱۷-۱۵	۱۹-۱۷	-

نحوه تهیه و انبارداری نمونه‌ها

نمونه‌ها از نخلستانی در شهرستان شادگان و با تأیید مؤسسه تحقیقات خرما و میوه‌های گرمسیری در شهریورماه ۸۸ برداشت شد. در مجموع ۴۰ نمونه ۶۰۰ گرمی (مقدار نمونه لازم برای تعیین صفات کیفی) که ۳۶ نمونه برای اعمال تیمار دما و رطوبت، سه نمونه برای شاهد و یک نمونه به‌عنوان نمونه اولیه به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد. رطوبت خرماهای برداشت شده ۰/۲۸ ± ۱۵/۷۸٪ بر پایه خشک اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه در زمان خشک‌کردن محصول خرما سه روز با آون خلاء در دمای ۷۰°C است (داوسون، ۱۹۶۲) امکان تعیین رطوبت خرما در طول فرایند وجود نداشت، از رابطه (۱) برای تعیین وزن نهایی نمونه (W_f) و از رابطه (۲) نیز برای تعیین رطوبت لحظه‌ای (M) نمونه‌ها استفاده شد (شان‌موگاما و ناتاراجان، ۲۰۰۶).

$$W_f = \frac{(1+M_{f\,d.b.})W_i}{(1+M_{i\,d.b.})} \quad (۱)$$

$$M = \frac{W}{W_i}(1 + M_{i\,d.b.}) - 1 \quad (۲)$$

در رابطه‌های بالا W، W_i، $M_{i\,d.b.}$ و $M_{f\,d.b.}$ به‌ترتیب جرم در هر لحظه (kg)، جرم اولیه (kg)، رطوبت اولیه و رطوبت نهایی نمونه بر حسب اعشار و بر پایه خشک (d.b.) است. در هر آزمایش سه عدد خرما برای مشخص کردن روند کاهش وزن نمونه‌ها، در ساعت اول هر ۲۰ دقیقه، و در ساعت‌های بعدی هر ۳۰ دقیقه توزین شد و بعد از رسیدن به رطوبت مورد نظر، با آون خلاء خشک و رطوبت واقعی آن‌ها تعیین شد.

برای سطح رطوبتی ۱۳-۱۵٪ نمونه‌ها با خشک‌کن و با استفاده از سیستم جاذب رطوبت، تا رطوبت ۱۴٪ خشک شدند و برای سطح رطوبتی ۱۷-۱۹٪ با استفاده از رطوبت ساز، رطوبت نمونه‌ها به ۱۸٪ رسانده شد. برای سطح رطوبتی ۱۵-۱۷٪ با توجه به اینکه رطوبت اولیه خرما ۰/۲۸ ± ۱۵/۷۸٪ بود، نیازی به کاهش یا افزایش رطوبت نمونه‌ها نبود، فقط تیمار حرارتی مربوط به ضدعفونی اعمال شد تا مشخص شود در اثر اعمال تیمار ضدعفونی آیا خواص کیفی خرما در طول انبارمانی تغییر خواهد کرد. برای جلوگیری از افزایش یا کاهش رطوبت نمونه‌ها در زمان اعمال تیمار، با استفاده از منحنی همدمای تعادلی به دست آمده برای خرمای استعمران، در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰°C رطوبت نسبی داخل محفظه خشک‌کن با رطوبت‌ساز به حدود ۵۵٪ رسانده شد (رهنما و همکاران، ۱۳۹۰) و مدت زمان اعمال تیمار حرارتی برای دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس به‌ترتیب برابر ۱۰۸۰، ۲۴۰، ۷۵ و ۲۵ دقیقه درنظر گرفته شد (اندره و زید، ۲۰۰۲).

نمونه‌ها بعد از اعمال تیمارهای حرارتی و رطوبتی ذکر شده در جدول ۱، از دستگاه خارج و داخل کیسه نایلونی قرار داده شد و سپس کیسه‌ها داخل کارتن‌های ۳۰۰ گرمی مخصوص خرما که در بازار وجود دارد قرار گرفت و در اتاق معمولی انبار شد. بعد از هر ماه از انبارمانی از هر کارتن ۱۰۰ گرم خرما جدا و در فریزر با دمای ۱۸ °C- برای تعیین خواص کیفی آن در طول مدت زمان انبارمانی نگهداری شد (بی‌نام، ۲۰۰۲). خواص کیفی مورد بررسی نمونه‌ها در طی انبارداری عبارتند از: pH، قند کل، درصد مواد جامد محلول، و درصد جدا شدن پوست از میوه. این خواص بعد از چیدن محصول به‌عنوان میوه تازه اندازه‌گیری شد و با شاهد و بقیه تیمارها مقایسه و بررسی شدند. درصد مواد جامد محلول در میوه[1] (بریکس) با استفاده از دستگاه رفراکتومتر ATAGO- PAL-3 با محدوده کار ۰ تا ۹۳٪ بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم نمونه، مقدار pH با استفاده از دستگاه pH متر TOADK- HM-60G با دقت ۰/۰۰۱ و قند کل با استفاده از روش فهلینگ براساس استاندارد ملی ایران[2] اندازه‌گیری شد (بی‌نام، ۱۳۸۵). درصد جدا شدن پوست از میوه نیز بر حسب نسبت وزن میوه هایی که پوست آن‌ها جدا شده به وزن کل نمونه و با استفاده از ترازوی دیجیتال مدل AND_BK_300i ساخت ژاپن با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

برای تحلیل آماری با توجه به اینکه در تیمار شاهد فقط فاکتور زمان تأثیر داشته است (تیمارهای دما و رطوبت اعمال نشده است) ابتدا اثر فاکتور رطوبت- دما (تیمار TM) در زمان انبارمانی بررسی شد. اگر اثر متقابل (زمان× TM) در سطح ۵٪ معنی‌دار بود، اثر تک‌تک تیمارها در زمان‌های مختلف انبارمانی به طور جداگانه بررسی و در صورت معنی‌دار نبودن اثر متقابل (زمان× TM)، اثر کلی تیمارها به‌صورت فاکتوریل سه گانهٔ دما، رطوبت و زمان مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت (لیتل و هیلز، ۱۹۷۸ و مونتوگومری، ۲۰۰۱). آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام و با نرم‌افزار SPSS_13

1- Total Soluble Solid (Tss)
2- ISIRI

تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

مقدار درصد رطوبت (.d.b٪) نمونه‌های خرما بعد از فرایند خشک کردن تا رطوبت تعادلی ۱۴٪، اعمال تیمار حرارتی در رطوبت تعادلی ۱۶٪ و رطوبت دهی نمونه‌ها تا رطوبت تعادلی ۱۸٪، در هر چهار دمای مورد آزمایش در جدول ۲ و نتایج حاصل از تجزیه واریانس میانگین اثر دمای فرایند تنظیم رطوبت و رطوبت تعادلی (TM) نسبت به مدت زمان انبارمانی بر مقدار pH، بریکس (Tss)، درصد جدا شدن پوست از میوه و قند کل در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود اثر متقابل زمان × TM در سطح ۵٪ برای pH، درصد مواد جامد محلول (Tss)، درصد جدا شدن پوست از میوه و قند کل اختلاف معنی‌داری نداشت، بنابراین برای پارامترهای ذکر شده، نیازی به بررسی اثر تک‌تک تیمارهای مذکور نیست و کل تیمارها به‌صورت یکپارچه (فاکتوریل سه‌گانه دما، رطوبت و زمان انبارمانی) با هم مقایسه شدند و کنتراست شاهد و میوه تازه با بقیه تیمارها استخراج و از آزمون دانت برای مقایسه آن‌ها استفاده شد که نتایج به دست آمده در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به اینکه در جدول ۳ اثر تیمار زمان در درصد جدا شدن پوست معنی‌دار شد بر طبق جدول ۴ آزمون دانت برای پارامتر مذکور فقط نسبت به زمان انجام شد. سپس به طور جداگانه به بررسی تک‌تک پارامترهای کیفی با توجه به نتایج جدول ۴ پرداخته شد.

مقدار pH

با توجه به جدول ۴ اثر رطوبت در سطح احتمال ۱٪ روی مقدار pH تفاوت معنی‌داری داشت و بنابراین می‌توان گفت که رطوبت در تغییر pH نمونه تأثیر داشته است. شکل ۲ مقایسه میانگین با آزمون دانکن صفت pH اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف رطوبتی به همراه آزمون دانت برای شاهد و میوه تازه با رطوبت را در سطح احتمال ۵٪ نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، در تیمار رطوبتی ۱۸٪، pH تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار رطوبتی ۱۴٪، شاهد و میوه تازه داشته است. این مطلب نشان می‌دهد که اعمال تیمار رطوبتی ۱۸٪ سبب کاهش معنی‌دار مقدار pH شده است. نتایج نشان می‌دهد در صورتی که تیماری اعمال نشود (شاهد) pH تغییری در اثر تیمار زمان یا دما نخواهد داشت. زیرا بر طبق جدول بالا، مقدار pH از نظر تیمار زمان و دما تفاوت معنی‌داری با هم، با میوه تازه و شاهد نداشته است. پس می‌توان در رطوبت‌های پایین با اعمال تیمارهای مختلف دمایی محصول را دراز مدت انبار کرد، بدون اینکه تغییری در pH ایجاد شود. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که افزایش رطوبت محصول سبب کاهش pH می‌شود. زیرا افزایش رطوبت سبب کاهش اسیدیته و در نتیجه pH می‌شود (اندره و زید، ۲۰۰۲ و گلشن و فولادی، ۲۰۰۶).

جدول ۲- درصد رطوبت نمونه‌ها (.d.b%) بعد از فرایند تنظیم رطوبت برای خرمای رقم استعمران

	رطوبت نمونه‌ها (.d.b%)		
دمای فرایند	فرایند خشک‌شدن (۱۴٪)	تیمار حرارتی (۱۶٪)	فرایند رطوبت‌دهی (۱۸٪)
۴۰°C	۱۴/۳۲	۱۵/۸۶	۱۸/۰۳
۵۰°C	۱۴/۷۶	۱۶/۰۶	۱۸/۰۲
۶۰°C	۱۳/۶۲	۱۵/۹۲	۱۸/۲۲
۷۰°C	۱۴/۳۱	۱۵/۹۸	۱۸/۴۷

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین اثر تیمار دما- رطوبت (TM) نسبت به زمان انبارمانی بر خصوصیات اندازه‌گیری شده

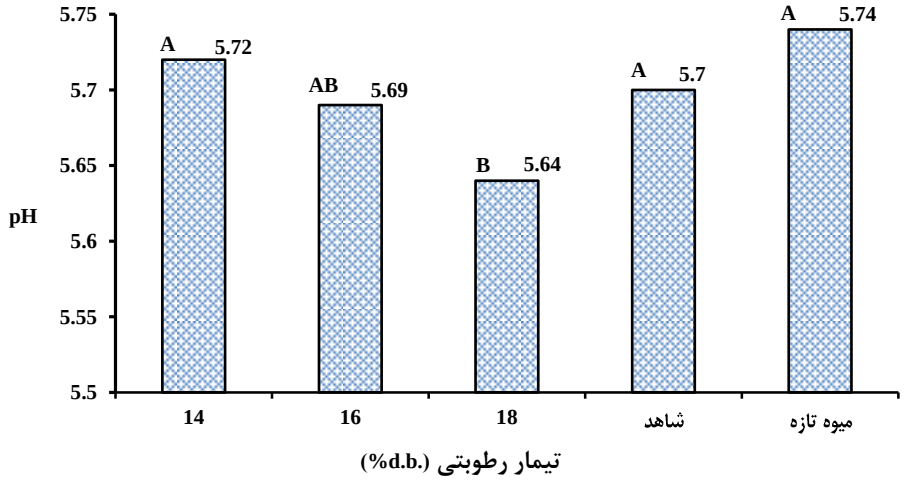
منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	pH	Tss	جدا شدن پوست	قندکل
TM	۱۱	۰/۰۱۸ ns	۱۷/۰۴ ns	۰/۰۱۹ ns	۲۴/۱۱ ns
زمان	۲	۰/۰۳۰۶ ns	۱/۶۵ ns	۰/۴۳۱ **	۲۳/۹۵ ns
زمان × TM	۲۲	۰/۰۰۹۶ ns	۱۱/۱۲ ns	۰/۰۱۷ ns	۱۷/۷۶ ns
خطا	۷۲	۰/۰۱۰۳	۹/۸۹۱	۰/۰۱۶	۲۷/۳۴

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح‌های احتمال ۱، ۵٪ و عدم معنی‌داری است.

جدول ۴- تجزیه واریانس میانگین پارامترهای کیفی خرمای استعمران در اثر دما و رطوبت و زمان انبارمانی

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات خطا			
		PH	قند کل	Tss	درصد جداشدن پوست
دما	۳	۰/۰۰۶۷۸۹ ns	۷/۶۱ ns	۲۱/۲۱ ns	۰/۰۱۹۸۵ ns
رطوبت	۲	۰/۰۵۷۷ **	۵۷/۷۳ ns	۰/۵۲۷ ns	۰/۰۲۶۷۷ ns
زمان	۲	۰/۰۳۰۶۵ ns	۳۲/۵۹ ns	۱/۶۵ ns	۰/۴۶۹۵ **
دما × رطوبت	۶	۰/۰۱۰۶۸ ns	۲۲/۴۱ ns	۲۰/۴۶ ns	۰/۰۱۶۸۴ ns
دما × زمان	۶	۰/۰۱۳۳۶ ns	۵/۹۳ ns	۲/۷۲۶ ns	۰/۰۱۲۰۷ ns
رطوبت× زمان	۴	۰/۰۰۹۷۰۹ ns	۶/۷۱ ns	۲۰/۲۸۶ ns	۰/۰۲۷۶۶ ns
دما × رطوبت× زمان	۱۲	۰/۰۰۸۹۴۱ ns	۲۷/۳۶ ns	۱۲/۲۶۵ ns	۰/۰۱۳۲۵ ns
خطا	۷۲	۰/۰۱۱۶۰۹	۲۷/۳۴	۹/۹۰۵	۰/۰۱۵۲۵
میوه تازه Vs ترکیب رطوبت و دما	۱	۰/۰۲۹ ns	۱۷۹/۶۲ ns	۳۰۷/۱۸**	-
شاهد Vs ترکیب رطوبت و دما	۱	۰/۰۰۱۵ ns	۷۹/۱۸ ns	۷۰/۸*	-
میوه تازه Vs زمان	۱	۰/۰۲۹ ns	۲۳۵/۱۷**	۳۷۵/۵**	۰/۴۶ **
شاهد Vs زمان	۱	۰/۰۰۱۵ ns	۷۹/۱۸ ns	۹/۸ ns	۰/۰۳۳ ns

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح‌های احتمال ۱، ۵٪ و عدم معنی‌داری است.

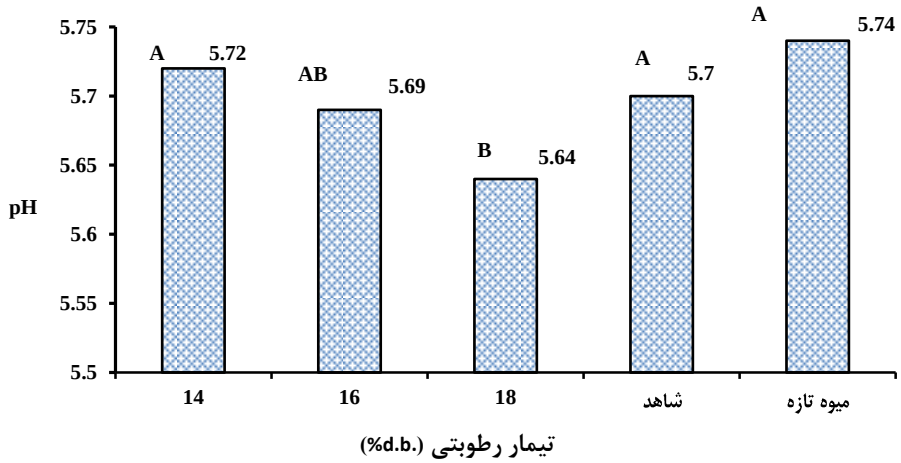


شکل ۲- مقایسه میانگین میزان pH در رطوبت‌های مختلف در سطح ۵٪ با شاهد و میوه تازه

قند کل

با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که هیچ یک از منابع تغییرات اثر معنی‌داری در مقدار میانگین قند کل ندارند. این مطلب به این معنی است که تیمارهای اعمالی در طول سه ماه انبارمانی بر قند کل تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ نداشته‌اند. مقدار قند کل محصول تازه چیده شده در زمان آزمایش ۵۲/۷ درصد به دست آمد که با مقایسه آن با تیمارهای اعمالی دیده شد که تغییر معنی‌داری با تیمارها و شاهد داشته است ولی با مقایسه شاهد با بقیه تیمارها نیز تفاوت معنی‌داری در قند کل مشاهده نشد. دلیل این است که خرما بعد از رسیدن که با کاهش رطوبت همراه است، ترکیبات آن (که بیشتر قندی است) تغییر زیادی نمی‌کند و اگر تغییر زیادی در دما و رطوبت ایجاد شود (دمای بالاتر از ۸۰°C و رطوبت بیشتر از ۲۵٪)، ترکیبات، رنگ و طعم به علت فعالیت‌های آنزیمی تغییر خواهد کرد(داوسون، ۱۹۶۲ و اندره و زید، ۲۰۰۲).

شکل ۳ مقایسه میانگین قند کل را نسبت به زمان انبارمانی و با شاهد و میوه تازه نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود بعد از یک ماه انبارمانی قند تمام تیمارها و شاهد افزایش معنی‌داری با میوه تازه داشته است. ولی این تغییرات در ماه‌های بعدی جزیی بوده است. افزایش قند کل در ماه اول به این دلیل است که در دوره انبارمانی خرما، فرایند تولید گلوکز با آنزیم سلولاز ادامه دارد و سبب افزایش قند خرما می‌شود. ولی به‌دلیل اعمال تیمار حرارت و رطوبت، فعالیت این آنزیم کم شده و تبدیل قند در ماه‌های بعد متوقف شده است (اندره و زید، ۲۰۰۲).



شکل ۳- مقایسه میانگین درصد قند کل نسبت به زمان انبارمانی در سطح احتمال ۵٪

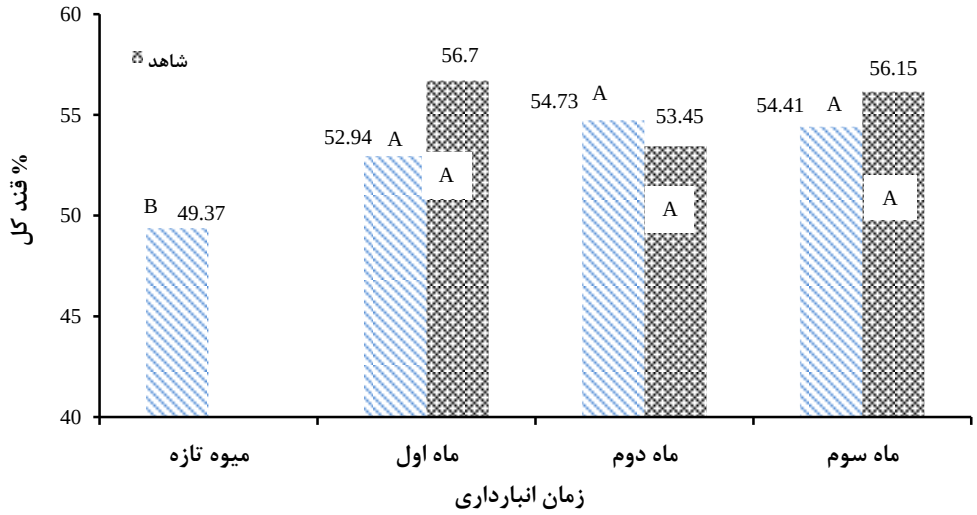
درصد مواد جامد محلول

با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که هیچ یک از منابع تغییرات، اثر معنی‌داری در مقدار میانگین مواد جامد محلول ندارد. این مطلب به این معنی است که تیمارهای اعمالی روی مواد جامد محلول تغییر معنی‌داری در سطح ۱٪ به وجود نیاورده است. ولی همان‌طور که مشاهده می‌شود با سطح احتمال ۵٪ تمام تیمارهای دما و رطوبت و زمان انبارمانی تأثیر معنی‌داری روی درصد مواد جامد محلول در مقایسه با میوه تازه چیده شده دارند و نشان می‌دهد که تیمارهای دما، زمان و رطوبت سبب افزایش معنی‌داری در درصد مواد جامد محلول نسبت به میوه تازه شده است. شکل‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب مقایسه میانگین درصد مواد جامد محلول نسبت به زمان انبارمانی، تیمار دمایی و تیمار رطوبتی با روش دانکن و مقایسه میانگین شاهد و میوه تازه با بقیه تیمارها را با آزمون دانت نشان می‌دهد.

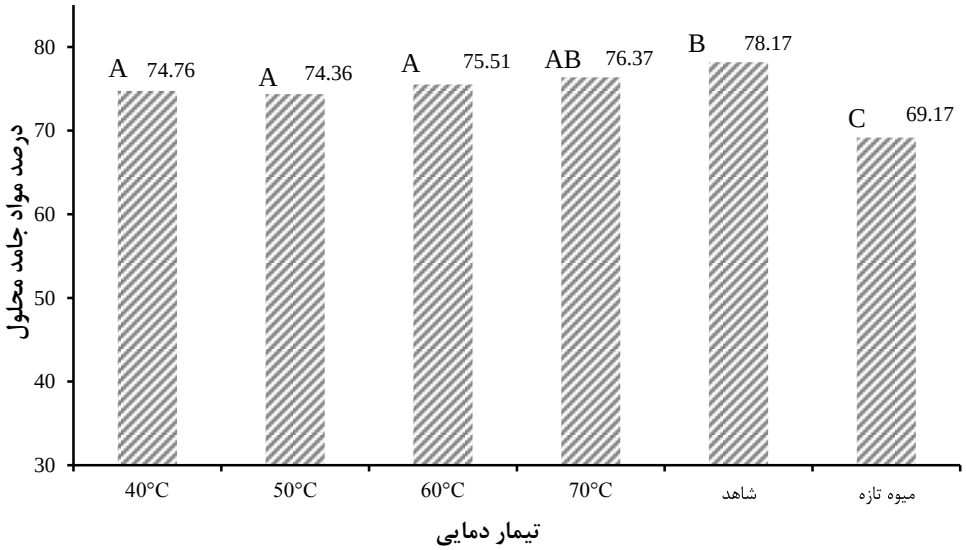
شکل ۴ مقایسه میانگین درصد مواد جامد محلول را نسبت به زمان انبارمانی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، گذشت زمان سبب افزایش درصد مواد جامد محلول محصول شده و با میوه تازه بعد از یک ماه اختلاف معنی‌داری پیدا کرده است. دلیل، کاهش رطوبت نمونه با گذشت زمان (جدول ۴) و در نتیجه کاهش مقدار آب محصول است.

شکل‌های ۵ و ۶ مقایسه میانگین درصد مواد جامد محلول

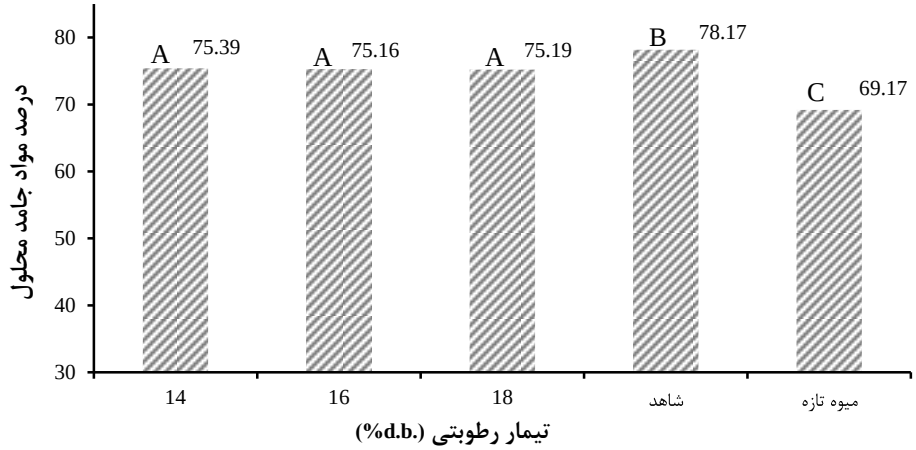
(Tss) نسبت به تیمارهای دمایی و رطوبتی در سطح احتمال ۵٪ را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در هر دو شکل، مقدار درصد مواد جامد محلول میوه تازه خیلی کمتر از شاهد و تیمارها است. دما و رطوبت باعث شده است که درصد مواد جامد محلول افزایش پیدا نکند. زیرا در حالت عادی با رسیدگی میوه درصد مواد جامد محلول با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند و سپس متوقف می‌شود(اندره و زید، ۲۰۰۲). تیمارهای دما و رطوبت اعمالی باعث کند شدن این فرایند در مقایسه با شاهد شده است. تأثیر دمای ۷۰°C در این فرایند کم بوده است. علت آن غیر فعال شدن آنزیم‌های تبدیل کننده سلولاز به گلوکز است که فرایند افزایش درصد مواد جامد محلول را بر عهده دارد (داوسون، ۱۹۶۲).



شکل ۴- مقایسه میانگین درصد مواد جامد محلول (Tss) نسبت به زمان انبارمانی در سطح احتمال ۵٪



شکل ۵- مقایسه میانگین درصد مواد جامد محلول (Tss) نسبت به تیمارهای دمایی

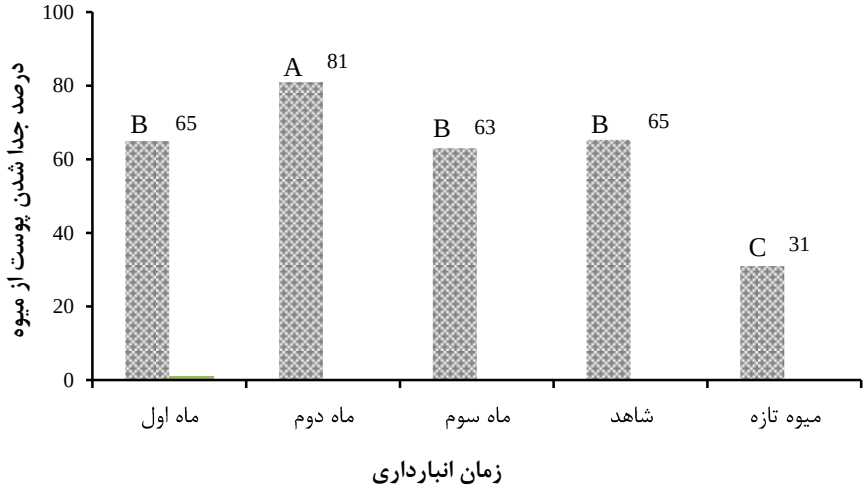


شکل ۶- مقایسه میانگین درصد مواد جامد محلول (Tss) نسبت به تیمارهای رطوبتی

درصد جداشدن پوست از میوه

با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که بجز زمان، هیچ یک از منابع تغییرات اثر معنی‌داری در مقدار میانگین درصد جدا شدن پوست از میوه نداشته است. این مطلب به این معنی است که تیمارهای اعمالی (بجز زمان انبارمانی) روی درصد جداشدن پوست از میوه تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ ندارند.

شکل ۷ مقایسه میانگین درصد جدا شدن پوست از میوه تیمارهای اعمالی، شاهد و میوه تازه نسبت به زمان انبارمانی با استفاده از آزمون دانکن را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود درصد جدا شدن پوست از میوه در ماه دوم تغییر معنی‌داری با بقیه ماه‌ها داشته است و مقدار آن در این ماه بیشتر از دو ماه دیگر است. مقدار درصد جدا شدن پوست شاهد برابر ۶۵٪ است، که با ماه‌های اول و سوم تفاوت معنی‌داری ندارد. مقدار جدا شدن پوست خرمای تازه چیده شده ۳۱٪ محاسبه شد که از تمام تیمارها کمتر بود. علت اینکه درصد جدا شدن پوست از میوه در محصول تازه چیده شده بسیار کمتر از شاهد و بقیه تیمارها است، این است که خرما در سال انجام آزمایش‌ها به‌دلیل خشک‌سالی کیفیت مناسبی نداشت. داده‌های مربوط به شاهد نیز بر این مطلب دلالت دارد.



شکل ۷- مقایسه میانگین درصد جداشدن پوست از میوه نسبت به زمان انبارمانی

نتیجه‌گیری

- رطوبت بر خلاف دما و زمان انبارمانی، تأثیر معنی‌داری در مقدار pH نمونه داشت. و رطوبت بالا سبب کاهش مقدار pH شده است. مقدار pH دمایی محصول را طولانی‌مدت انبار کرد بدون اینکه تغییری در pH ایجاد شود. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که رطوبت بالای محصول در تغییر pH تأثیر گذار است.
- هیچیک از منابع تغییرات اثر معنی‌داری در مقدار میانگین قند کل و درصد مواد جامد محلول نداشته است. این مطلب به این معنی است که تیمارهای اعمالی روی مقدار قند کل و درصد مواد جامد محلول تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ نداشته است. ولی اعمال تیمار دما و رطوبت از افزایش از نظر تیمار زمان انبارمانی و تیمار حرارتی تفاوت معنی‌داری با هم، با میوه تازه و شاهد نداشته است. این مطلب بیانگر آن است که می‌توان در رطوبت‌های پایین با اعمال تیمارهای مختلف درصد مواد جامد محلول در مقایسه با میوه تازه و شاهد جلوگیری کرده است.
- نتایج نشان داد که بجز زمان، هیچ یک از منابع تغییرات اثر معنی‌داری در مقدار میانگین درصد جدا شدن پوست از میوه نداشته است. این مطلب به این معنی است که تیمارهای اعمالی (بجز زمان انبارمانی) روی درصد جداشدن پوست از میوه تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ نداشته است.

منابع

۱. بی‌نام. ۱۳۸۵. آب میوه‌ها. روش‌های آزمون. استاندارد ملی ایران. مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. تجدید نظر اول. ۳۸ ص.

۲. پژمان ح. ۱۳۸۰. راهنمای خرما. آموزش کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی. ۲۸۶ ص.

۳. رهنما م. خوش‌تقاضا م. ه. قبادیان ب. و احمدی‌زاده س. ۱۳۹۰ میزان رطوبت تعادلی و گرمای ایزوستریک جذب و دفع خرمای استعمران. مجله علوم و صنایع غذایی. ۱(۸)-۱۹-۳۰.

۴. کاشانی م. ۱۳۷۱. صادرات خرما. موانع و راهکارها. زیتون شماره ۱۴۴. ۱۰۲ ص.

5. Ahmed M. S. H. Al-Hakkak Z. S. Al-Maliky S. K. Kadhum A. A. and Lamooza S. B. 1982. Irradiation processes in food irradiation. Food Science and Technology. Abstracts 14 8c 331 J.
6. Ahmed M. S. H. Hameed A. A. and Kadhum A. A. 1986. Disinfestation of Commercially Packed Dates by A Combination Treatment. Acta Alimentaria. 15:221-226.
7. Andre B. and Zaid A. 2002. Date palm cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper. 156 rev.1. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome. 455 p.
8. Anonymous. 2002. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. United Nations Environment Programme (UNEP). Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. 455 p.
9. Dowson V. H. W. 1962. Composition and ripening of dates in date handling. processing and packaging. FAO Publication 72 Rome. 392 p.
10. Dubois P. and Joyce D. 2005. Drying cut flowers and foliage. Department of Agriculture Western Australia. 89 p.
11. Ekechukwu O. V. and Norton. B. 1999. Review of solar energy drying system II: An overview of solar drying technology. Energy Conversion and Management. 40:615-655.
12. Golshan T. A. and Fooladi M. H. 2006. A Study on the physico-chemical properties of Iranian Shamsaei date at different stages of maturity. World Journal of Dairy and Food Sciences. 1:28-32.
13. Kolawole O. F. and Emmanuel S. A. 2007. Air-drying and rehydration characteristics of date palm (Phoenix dactylifera L.) fruits. Journal of Food Engineering. 79: 724-730.
14. Little T. M. and Hills F. J. 1978. Agricultural experimentation, design and analysis. John Wiley and Sons Inc. 350 p.
15. Montgomery D. C. 2001. Design and Analysis of Experiments. 5th edition, John Wiley & Sons, Inc. 684 P.
16. Navarro S. 2006. Post harvest treatment of dates. Stewart Post harvest Review. An International Journal for reviews in Postharvest Biology and Technology.
17. Nelson H. D. Lindgren D. L. and Vincent L. E. 1973. Fumigation of field run and processed dates with aluminium phosphide and methyl bromide. Date Growers' Institute, Vol. 50. 151 p.

18. Omar A. M. A. Al Bassomy M. 1984. Persistence of phosphine gas in fumigated Iraqi dates. Journal of Food Safety. 6(4):253-260.
19. Rygg G. L. 1957. The relation of moisture content to rate of darkening in Deglet Noor dates. Date Growers' Institute. 34:13-14.
20. Rygg G. L. 1958. Influence of handling procedures and storage and transit temperatures on improving and maintaining quality of dates. Date Growers' Institute. 35:2-5.
21. Shanmugama V. and Natarajan E. 2006. Experimental investigation of forced convection and desiccant integrated solar dryer. Renewable Energy. 31:1239-1251.