ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲۴ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

بررسی و تعیین ضرایب انتشار رطوبتی موثر زرشک (*Berberis Vulgaris*) در طی فرآیند خشک شدن لایه نازک

شیوا گرجیان، تیمور توکلی هشجین، محمدهادی خوش‌تقاضا
گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
M88_gorjian@rocketmail.com

چکیده

به منظور بررسی تاثیر سطوح مختلف دما، سرعت و پیش‌تیمار بر ضریب انتشار رطوبتی موثر زرشک در طی فرآیند خشک شدن، آزمایشی با سه سطح دما (شامل t_1=۶۰، t_2=۷۰ و t_3=۸۰ درجه سلسیوس) و سه سطح سرعت (شامل v_1=۰/۳، v_2=۰/۵ و v_3=۱ متر بر ثانیه) برای نمونه‌های شاهد، تیمار شده با شوک حرارتی و امولسیون "۶٪ کربنات پتاسیم + ۳٪ روغن زیتون" در ۳ تکرار در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و به صورت فاکتوریل اجرا گردید. انتقال رطوبت از نمونه‌ها توسط مدل انتشار فیک بیان شد تا ضریب پخش موثر رطوبت (D_{eff}) محاسبه شود. بیشترین مقدار این ضریب برای نمونه‌های تیمار شده با امولسیون در دمای ۸۰°C و سرعت ۱ متر بر ثانیه و برابر با $۹/۶۷\times۱۰^{-۱۲}$ متر مربع بر ثانیه به دست آمد. تحلیل آماری نشان داد که دما و پیش‌تیمار بیشترین تاثیر را در کاهش زمان خشک‌شدن در سطح معنی‌دار ۱٪ داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: زرشک- لایه نازک- ضریب انتشار رطوبت- مدل انتشار

۱- مقدمه

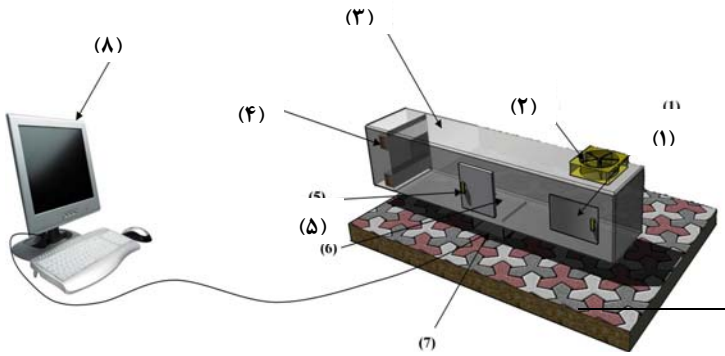
میوه زرشک (Berberis Vulgaris) به عنوان گیاه دارویی در جهان شناخته شده است. امروزه، گفته می‌شود این گیاه درد مفصلی و روماتیسم را تسکین می‌بخشد. در درمان انواع عفونتها نظیر عفونت گلو، مجاری ادراری، مجاری معده ای-روده‌ای، ریه‌ها، عفونت‌های مخمری و اسهال می‌تواند مؤثر واقع شود. عصاره میوه زرشک صفرابر، تصفیه کننده خون، خوشبو کننده دهان، متعادل کننده اعمال روده، ضد نقرس و مسهل، مسکن حرارت معده، تنظیم کننده ترشح صفرا، کاهش دهنده فشار خون، ضد التهاب و اسپاسم و نشاط‌آور است [۱]. زرشک تازه به رنگ قرمز روشن، گوشتی، بیضوی‌شکل و دارای طعمی ترش است. زرشک بومی مناطق معتدل و نیمه استوایی اروپا، آسیا، افریقا، آمریکای شمالی و آمریکای جنوبی می‌باشد. کشور ایران بزرگترین تولیدکننده زرشک در دنیا می‌باشد که در این میان استان خراسان جنوبی با در اختیار داشتن نزدیک به ۹۷ درصد از اراضی زیرکشت این محصول، تولید ۹۵ درصد از زرشک دنیا را در اختیار دارد [۲]. به طور کلی زرشک بی‌دانه به عنوان یک محصول غذایی به غیر از ایران در سایر کشورهای جهان چندان شناخته شده نیست، ولی انواع دانه‌دار آن به صورت خودرو در مناطق مختلف یافت می شوند. مصرف زرشک به صورت تازه‌خوری به دلیل مزه ترش آن معمول نیست. با تهیه فرآورده‌های متنوع نظیر مربا، مارمالاد، آبمیوه، نوشابه، سس، ژله و... از زرشک ضمن جذب تولید مازاد بر مصرف و ایجاد ارزش افزوده، می‌توان آن را به نام ایران به بازارهای بین المللی معرفی نمود [۳].

خشک کردن به فرآیند از دست رفتن رطوبت همزمان با انتقال حرارت و جرم اطلاق می‌شود [12]. این فرآیند پیچیده به عوامل مختلفی نظیر دما و سرعت هوا، رطوبت نسبی هوا، نرخ جریان هوا، طبیعت فیزیکی و محتوای رطوبت اولیه مواد و فشار و دمای محیط وابسته است [9]. در طی عمل خشک کردن مواد تر انتقال حرارت و جرم به صورت همزمان در داخل مواد جامد و در لایه مرزی عامل خشک‌کننده انجام می‌شود. آگاهی از رفتار خشک شدن در طراحی، شبیه‌سازی، و بهینه‌سازی فرآیند خشک شدن مهم است [17]. در مرحله خشک شدن با شدت ثابت، بده انتقال حرارت و جرم، اساسا به مکانیزم انتقال در لایه مرزی بستگی دارد، ولی در مرحله خشک شدن با شدت نزولی، عامل کنترل کننده‌ی خشک کردن، مقاومت انتقال در داخل مواد است. از نظر ترمودینامیکی، فرآیند خشک کردن را می‌توان به عنوان فرآیندی در نظر گرفت که در آن وقتی پتانسیل شیمیایی فاز مایع و فاز گاز به‌عنوان عاملی برای تبدیل فاز، با هم برابر می‌شوند، فرآیند متوقف شده و به تعادل می-رسد [٤]. انتشار پدیده‌ایست که طی آن ماده از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر در اثر حرکت تصادفی مولکول‌ها منتقل می‌شود. انتشار رطوبت هم به سبب همین حرکت تصادفی مولکول‌ها اتفاق می‌افتد. در طی فرآیند خشک شدن محصولات کشاورزی، انتقال رطوبت عمدتا از طریق فرآیند انتشار صورت می‌گیرد. در فرآیند خشک‌شدن، انتشار مکانیزمی است برای انتقال رطوبت از داخل ماده به سطح که به دنبال آن انتقال جرم به سبب انتقال رطوبت از داخل جسم به محیط اطراف انجام می‌شود [10]. مکانیزم انتقال جرم در مواد غذایی پیچیده است. به همین دلیل مدلسازی منحنی‌های خشک‌شدن در مرحله نزولی با این فرض انجام می‌شود که مکانیزم اصلی انتشار رطوبت، طبیعی است. بنابراین ضریب انتشار رطوبتی موثر تخمین زده شده با استفاده از نتایج آزمایشات تجربی، یک پارامتر موثر است که شامل تاثیرات فرضیه‌های شناخته شده و پدیده‌هایی است که اثرات آن‌ها تا کنون شناخته نشده است [18]. روش‌های زیادی برای محاسبه ضریب انتشار در فرآیند خشک‌شدن موجود است، رایج‌ترین

روش برای محاسبه این پارامتر استفاده از قانون دوم فیک[1] برای یک کره است با این فرض که اصولا انتقال رطوبت به سبب انتشار و بدون هیچ محدودیت خارجی انتقال جرم صورت می‌گیرد. همچنین فرض بر این است که چروکیدگی قابل اجتناب است و انتشار با زمان و مکان تغییر نمی‌یابد [10]. زرشک به‌دلیل دارا بودن پوشش مومی نمی‌تواند به راحتی رطوبت را از سطح خود عبور دهد. آماده‌سازی باعث از بین رفتن و یا تغییر ترکیبات لایه مومی‌شکل در سطح زرشک می‌شود و نفوذپذیری پوست را نسبت به انتقال رطوبت تحت تاثیر قرار می‌دهد. نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده روی زرشک نشان داد که ضریب پخش رطوبتی موثر این محصول با افزایش دما، در یک سرعت ثابت افزایش می‌یابد [8]. مولا و فلاحی [٦]، ابتدا سینتیک خشک‌شدن دانه‌های زرشک را مورد بررسی قرار داده و سپس چگونگی خشک کردن زرشک در یک خشک‌کن بستر سیال آزمایش کردند و پارامترهای موثر بر افزایش و راندمان این نوع خشک‌کن مشخص گردید. آن‌ها عقیده داشتند که - خشک‌کن بستر سیال نسبت به سایر روشها به مراتب کارایی بالاتری دارد و بهتر می‌تواند خصوصیات کیفی زرشک را حفظ نماید. وازکوئز (Vazquze) و همکاران [19] محلول کربنات پتاسیم و روغن اولئات و همچنین محلول هیدروکسید سدیم در آب را به عنوان پیش‌تیمار برای انگوراستفاده کردند و گزارش کردند که هر دوی این پیش‌تیمارها، ذرات چسبیده را حذف کرده، لایه مومی را برداشته و بنابراین مقاومت به انتشار آب در پوست انگور را کاهش می‌دهند. بهتر است ابتدا انگورها بمدت ۱۰ ثانیه در آب قرار گیرند تا آلودگی‌های آنها شسته شده و محلول پیش‌تیمار دیرتر آلوده شود. در این تحقیق دو هدف عمده دنبال می‌شود؛ یکی تعیین ضریب انتشار رطوبتی موثر زرشک در طی فرآیند خشک شدن لایه نازک و دیگری بررسی پارامترهای موثر بر این ضریب تحت شرایط مختلف آزمایشگاهی به عنوان یک پارامتر مهم که نقشی اساسی در روند خشک شدن این محصول دارد.

۲- مواد و روش‌ها

زرشک‌های تازه و رسیده از نوع پفکی و بدون هسته از یک مغازه محلی در استان خراسان جنوبی تهیه شدند. نمونه‌ها به منظور کاهش اثرات فعالیتهای میکروبی تا قبل از شروع آزمایش در دمای ٤°C در یخچال نگهداری شدند. زرشک‌های نرسیده یا فاسد به منظور یکنواخت شدن نمونه‌ها برای خشک کردن به طور دستی جدا شدند. در این تحقیق از خشک‌کن لایه نازک در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد. قسمت‌های مختلف خشک‌کن مورد استفاده شامل: ۱- دریچه کنترل جریان هوا، ۲- فن گریز از مرکز، ۳- اتاقک هوای گرم، ٤- گرمکن‌ها، ٥- دریچه دسترسی به نمونه‌ها، ٦- سینی مشبک محصول، ۷- سیستم کنترل کننده دما با دقت ±۰/۱°C ۸- ترازوی دیجیتال، ۹- کامپیوتر جهت ذخیره مقادیر وزنی می‌باشد (شکل ۱).



[1] - Second Fick's law

شکل ۱: نمای شماتیکی خشک‌کن هوای داغ با جر
گرم، (۴) گرمکن‌ها، (۵) دریچه دسترسی به نمون

در این تحقیق برای بررسی تاثیر دما و سرعت هوای ورودی به خشک‌کن و نوع پیش‌تیمار بر کیفیت رنگ محصول خشک-شده طرحی در قالب طرح فاکتوریل کاملا تصادفی با سه تکرار استفاده شد. فاکتور اول دمای هوا در سه سطح (٦٠، ٧٠ و ٨٠ درجه سلسیوس)، فاکتور دوم سرعت هوای ورودی به محفظه خشک‌کن در سه سطح (٠/٣، ٠/٥ و ١ متر برثانیه)، و فاکتور سوم تیمار آماده‌سازی در سه سطح شاهد (P_0)، شوک حرارتی با آب داغ در دمای ٨٥ °C (P_1) و امولسیون ٣٪ روغن زیتون و ٦٪ کربنات پتاسیم در دمای ٥٠°C (P_2) استفاده شد. محتوای رطوبت اولیه با استفاده از روش آون داغ به روش وزنی تعیین گردید. بدین منظور نمونه‌های ٢٠ گرمی در دمای ٢± ١٠٥ درجه سلسیوس به مدت ٤ ساعت (تا زمانی که تغییرات بین دو مرحله متوالی توزین نمونه‌ها بسیار کم و ناچیز شود) درون آون قرار گرفته و رطوبت اولیه میوه زرشک تعیین شد. نتایج نشان داد که محتوای رطوبت اولیه ٧٣/٤٤٪ بر پایه تر بوده است. به منظور اعمال پیش‌تیمار اول (P_1)، حبه‌های زرشک در داخل آب ٨٥ °C غوطه‌ور شدند. مدت زمان غوطه‌وری نمونه‌ها ٦٠ ثانیه بود. پس از اتمام این زمان بلافاصله کیسه توری حاوی حبه-های زرشک از آب خارج شده و در داخل آب سرد با دمای ١٠°C به مدت زمانی برابر با مدت زمان غوطه‌وری در آب داغ (٦٠ ثانیه) فرو برده شدند. به منظور افزایش نفوذپذیری پوسته، همچنین از امولسیون تهیه شده از ٣٪ روغن زیتون و ٦٪ کربنات پتاسیم استفاده شد (P_2). محلول حاصل از آب مقطر و کربنات پتاسیم روی گرمکن قرار داده شد تا دمای آن به ٥٠°C برسد. ٣ میلی لیتر روغن زیتون خوراکی به آرامی به محلول اضافه شد. در تمام مدت اضافه کردن باید امولسیون دائما به‌هم زده شود [19]. مدت زمان غوطه‌وری نمونه‌ها در امولسیون ٢ دقیقه بود. با دانستن جرم و رطوبت اولیه محصول و رطوبت نهایی مطلوب (١٨-١٧٪ بر پایه تر) [٥]، طبق رابطه (١) جرم آب بخار شده بدست آمد، می‌توان مقدار جرم نهایی محصول خشک شده را از حاصل تفریق این دو جرم بدست آورد.

$$m_v = m_0 \frac{x_0 - x_f}{100 - x_f} \quad (1)$$

در این رابطه m_v جرم رطوبت تبخیر شده (kg)، m_0 جرم اولیه محصول (kg)، x_0 درصد میزان رطوبت اولیه و x_f درصد میزان رطوبت مطلوب نهایی بر پایه تر زرشک است. مقادیر ضریب انتشار موثر به کمک معادله (٢) با استفاده از روش شیب‌ها محاسبه شد. معمولا این شیب با رسم نمودار داده‌های تجربی به شکل ln(MR) در مقابل زمان (t) قابل محاسبه است. با استفاده از معادله(٣)، نمودار ln(MR) در مقابل زمان خط راستی است با شیب:

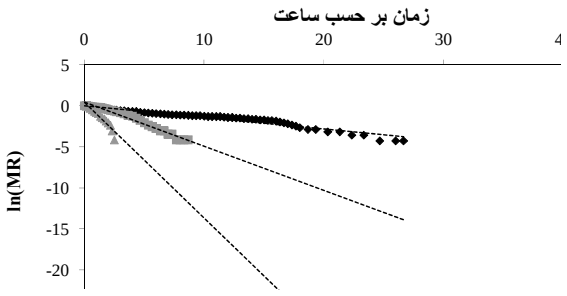
$$Slope = \frac{\Pi^2 D_{eff}}{r^2} \quad (2)$$

حجم (v) یک دانه زرشک به کمک روش جابجایی تولوئن برای ١٠٠ دانه محاسبه شد. شعاع معادل دانه‌های زرشک با مساوی قرار دادن حجم یک دانه زرشک با حجم یک کره با شعاع $٣/٥٧ \times ١٠^{-٤}$ متر محاسبه شد [13].

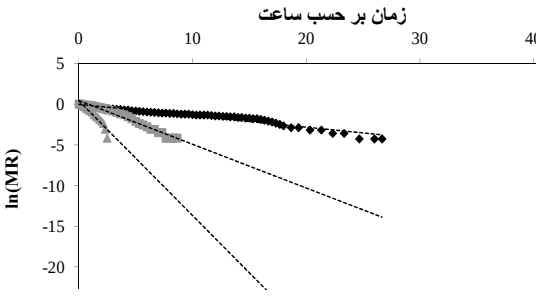
$$v = \frac{4}{3}\pi r_e^{\,3} \qquad (۳)$$

۳- نتایج و بحث

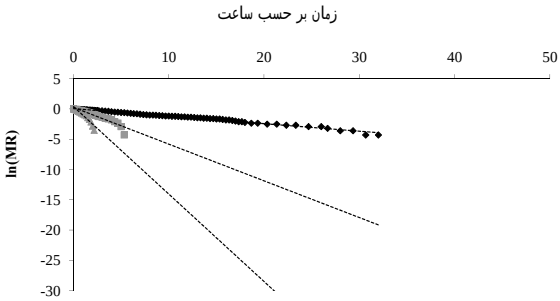
به منظور تعیین ضرایب انتشار رطوبتی موثر مقادیر ln(MR) محاسبه و نمودار این مقادیر در برابر زمان تحت شرایط مختلف آزمایشگاهی رسم ترسیم شد. سپس یک خط راست به داده‌ها برازش و معادله خط تعیین شد. اشکال (۲) تا (٤) مقدار ln(MR) را در مقابل زمان در مقادیر ثابت سرعت و مقادیر مختلف دما برای نمونه شاهد نشان می‌دهند.



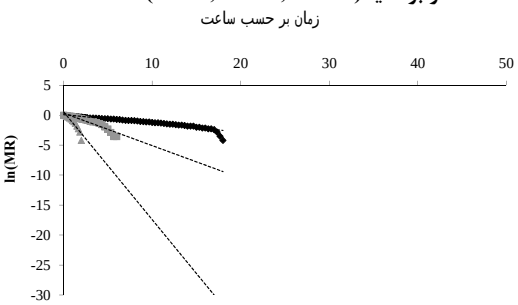
شکل ۲:ln(MR) در مقابل زمان نمونه‌های شاهد درسرعت ۰/۳ متر بر ثانیه(▲۸۰°C, ■۷۰°C, ◆۶۰°C)



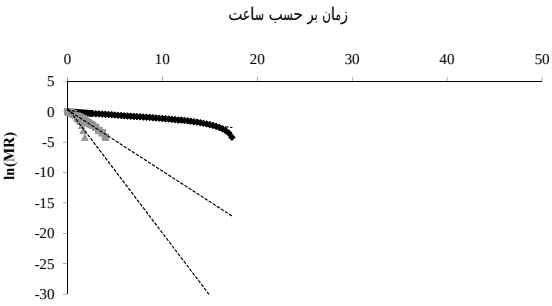
شکل ۳:ln(MR) در مقابل زمان نمونه‌های شاهد درسرعت ۰/۵ متر بر ثانیه(▲۸۰°C, ■۷۰°C, ◆۶۰°C)



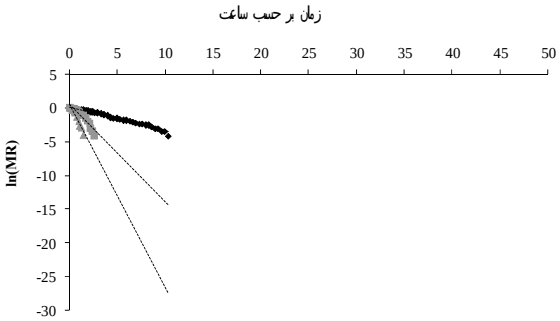
شکل ۴:ln(MR) در مقابل زمان نمونه‌های شاهد درسرعت ۱ متر بر ثانیه(▲۸۰°C, ■۷۰°C, ◆۶۰°C)



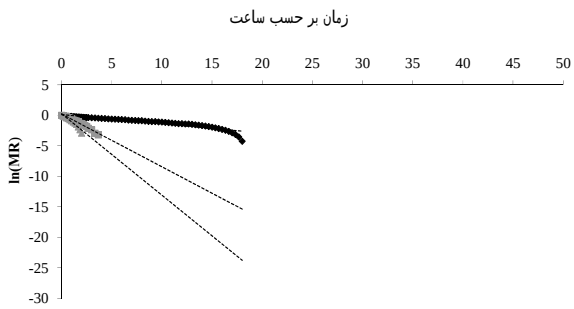
شکل ۵:ln(MR) در مقابل زمان نمونه‌هاي تيمار شده با P_1 درسرعت ۰/۳ متر بر ثانیه (▲۸۰°C, ■۷۰°C, ◆۶۰°C)



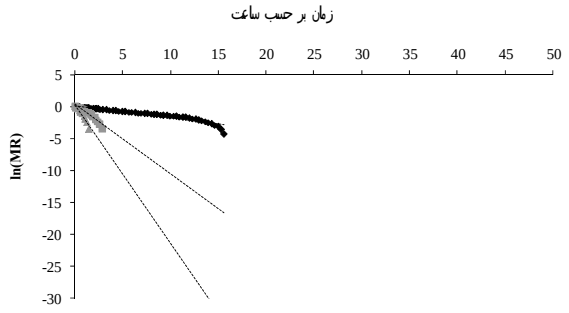
شکل ۶:ln(MR) در مقابل زمان نمونه‌هاي تيمار شده با P_1 درسرعت ۰/۵ متر بر ثانیه (▲۸۰°C, ■۷۰°C, ◆۶۰°C)



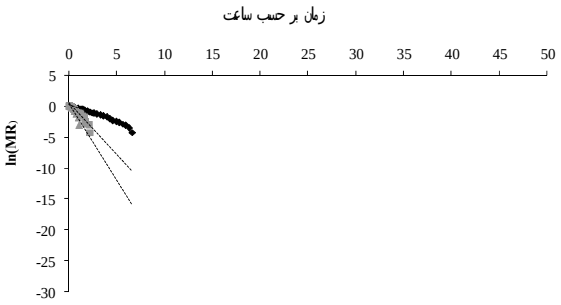
شکل ۷:ln(MR) در مقابل زمان نمونه‌هاي تيمار شده با P_1 درسرعت ۱ متر بر ثانیه (▲۸۰°C, ■۷۰°C, ◆۶۰°C)



شکل ۸:ln(MR) در مقابل زمان نمونه‌هاي تيمار شده با P_2 درسرعت
۰/۳ متر بر ثانيه (●۶۰°C، ■۷۰°C، ▲۸۰°C)



شکل ۹:ln(MR) در مقابل زمان نمونه‌هاي تيمار شده با P_2 درسرعت
۰/۵ متر بر ثانيه (●۶۰°C، ■۷۰°C، ▲۸۰°C)



شکل۱۰:ln(MR) در مقابل ز
۱ متر بر ثانيه (C

با افزایش دما شیب خط افزایش می‌یابد به طوریکه در سرعت ۰/۳ متر بر ثانیه مقادیر ضریب انتشار رطوبتی موثر ، در دمای ٦۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس به ترتیب $۲/۵۷\times۱۰^{-۱۳}$، $۱۰/۰۳\times۱۰^{-۱۲}$ و $۳/۹۵\times۱۰^{-۱۲}$ متر مربع بر ثانیه می‌باشند. در نتیجه دما به عنوان یک عامل موثر در افزایش انتشار رطوبت از نمونه عمل می‌کند. در سرعت ۰/۵ متر برثانیه این مقادیر در دمای ٦۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر با $٤/۹۲\times۱۰^{-۱۳}$، $۱/۹۳\times۱۰^{-۱۲}$و $۵/۰۳\times۱۰^{-۱۲}$ متر مربع بر ثانیه می‌باشند. در مقایسه با سرعت ۰/۳ متر بر ثانیه، در سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه افزایش یافته است. در سرعت ۱ متر بر ثانیه این مقادیر به ترتیب $۵/۳۵\times۱۰^{-۱۳}$، $۱/۹۵\times۱۰^{-۱۲}$و $٦/٤۲\times۱۰^{-۱۲}$ متر مربع بر ثانیه می‌باشند که روندی افزایشی را نشان می‌دهند. در مقایسه با نمونه‌های شاهد مقادیر ضریب انتشار افزایش پیدا کرد. به دلیل وجود ترک‌هایی که در اثر اعمال شوک حرارتی در پوسته زرشک بوجود آمده است، انتشار رطوبت از آن سریعتر انجام می‌شود. در نمونه‌های تیمار شده با شوک حرارتی نیز ضرایب انتشار رطوبت با افزایش دما و سرعت که اثر دما به مراتب بیشتر است، افزایش یافت، به طوریکه مقدار این ضریب در سرعت ثابت ۱ متر بر ثانیه در دمای ٦۰°C، $۱/۲٦\times۱۰^{-۱۲}$، در دمای ۷۰°C، $۵/۱۷\times۱۰^{-۱۲}$ و در دمای ۸۰°C، $۸/۸۷\times۱۰^{-۱۲}$ متر مربع بر ثانیه به دست آمد(شکل‌های ۵ تا ۷).. همچنین مقادیر ضریب انتشار رطوبت برای نمونه‌های تیمار شده با امولسیون روغن زیتون و کربنات پتاسیم به ترتیب $۹/٦۷\times۱۰^{-۱۲}$ در دمای ۸۰°C و سرعت ۱ متر بر ثانیه و $۵/۳۳\times۱۰^{-۱۲}$ در دمای ٦۰°C و سرعت ۰/۳ متر بر ثانیه

می‌باشند. نتایج حاصل نشان می‌دهند که استفاده از امولسیون روغن زیتون و کربنات پتاسیم باعث افزایش بیشتر ضریب انتشار رطوبت در نمونه‌ها می‌شود. و این به دلیل همان تاثیری است که در افزایش خارج شدن رطوبت نه تنها از پوست بلکه از مجراهای درونی موجود در میوه دارد که باعث افزایش این ضریب و در نتیجه کاهش زمان خشک شدن نمونه‌های تیمار شده با امولسیون می‌شود [19] (شکل‌های ۸ تا ۱۰).

این امر واضح است که مقدار نسبت رطوبت به شکل غیرخطی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. این نشانگر این مطلب است که حرکت رطوبت تحت تاثیر انتشار است و انتشار وابسته به محتوای رطوبتی نمونه‌هاست. همه نمودارها نشانگر این مطلب هستند که انتشار مایع فرآیند خشک‌شدن را کنترل می‌کند درنتیجه نمودارها به شکل خطوط راست هستند. افزایش دما شیب خطوط را افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر ضریب انتشار موثر افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی در خشک کردن لایه نازک زرشک گزارش شده است [8]. مقادیر ضرایب انتشار رطوبتی موثر در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: مقدار ضرایب انتشار رطوبت (m^2/s) به همراه ضریب تعیین خط برازش داده شده برای آزمایشات انجام شده در شرایط مختلف.

کدنمونه	دمای هوا(°C)	v= ۰/۳ m/s	R^2	v= ۰/۵ m/s	R^2	v= ۱m/s	R^2
P_0	٦۰	۲/٥۷E-۱۳	۰/۹٦۳۳	٤/۹۲E-۱۳	۰/۹٤۲۹	٥/۳٥E-۱۳	۰/۸۹٤٦
	۷۰	۱/۰۳E-۱۲	۰/۹٦۹	۱/۹۳E-۱۲	۰/۹۷۳۱	۱/۹٥E-۱۲	۰/۹۰۳۳
	۸۰	۳/۹٥E-۱۲	۰/۹۳۸۸	٥/۰۳E-۱۲	۰/۹۰٥٦	٦/٤۲E-۱۲	۰/۸٦۱۸
P_1	٦۰	٤/٤۸E-۱۳	۰/۹۸۸٦	٥/۷۷E-۱۳	۰/۸۷۸۷	۱/۲٦E-۱۲	۰/۹۸۳۸
	۷۰	۲/۱٥E-۱۲	۰/۸۹۷۱	۳/٥۸E-۱۲	۰/۹۸۰٦	٥/۱۷E-۱۲	۰/۸۹۱۰
	۸۰	٥/۱٥E-۱۲	۰/۸۹۷٤	۷/۳۰E-۱۲	۰/۸٥۷٥	۸/۸۷E-۱۲	۰/۹٤۲۳
P_2	٦۰	٥/۳۳E-۱۲	۰/۸۷۱۰	٦/٦۲E-۱۲	۰/۹۰۲۸	۲/۰۰E-۱۲	۰/۹۷۲٥
	۷۰	۳/۱۰E-۱۲	۰/۹۷۸٥	۳/۸۷E-۱۲	۰/۹۳٤٤	٥/۹۳E-۱۲	۰/۹۲۱۹
	۸۰	٤/۷۷E-۱۲	۰/۹۳٥۸	۷/۷۲E-۱۲	۰/۹۲۰۲	۹/٦۷E-۱۲	۰/۸۷۸۱

P_0: نمونه شاهد، P_1: نمونه تیمار شده با شوک حرارتی، P_2 : نمونه تیمار شده با امولسیون روغن زیتون و کربنات پتاسیم.

٤- نتیجه‌گیری

ضریب انتشار رطوبتی موثر پارامتری است که علاوه بر اینکه به دمای هوای ورودی به خشک‌کن وابسته است به میزان سرعت هوای ورودی به خشک کن نیز بستگی دارد. به طوریکه مقدار این ضریب با افزایش این دوعامل افزایش یافت. همانطور که نتایج نیز نشان دادند در نمونه‌های شاهد در سرعت ۰/۳ متر بر ثانیه با افزایش دما مقادیر ضرایب انتشار رطوبت افزایش یافت. همچنین این مقادیر در سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه نسبت به سرعت ۰/۳ متر بر ثانیه برای نمونه‌های شاهد افزایش داشت. بیشترین مقدار ضریب انتشار رطوبت مربوط به نمونه تیمار شده با امولسیون روغن زیتون و کربنات پتاسیم در دمای ۸۰°C و سرعت ۱ متر بر ثانیه به دست آمد. که این مقدار بیش از مقداری بود که برای پیش‌تیمار شوک حرارتی به دست آمد. این به دلیل تفاوت عملکرد این دو پیش‌تیمار در نحوه خروج رطوبت از میوه زرشک می‌باشد. پیش‌تیمار اول با ایجاد ترک در پوسته مومی شکل به خروج رطوبت کمک

می‌کند، اما پیش‌تیمار دوم نه تنها منجر به از بین رفتن لایه مومی روی دانه‌های زرشک می‌شود بلکه در داخل میوه نفوذ کرده و در نتیجه عبور داخلی و خارجی آب را در میوه تسهیل می‌کند. لذا به طور موثرتری خروج رطوبت و درنتیجه مدت زمان خشک شدن را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

مراجع

۱- بی نام، ۱۳۸۷. قابل دسترس در پایگاه www.qayen.com/index.php.

۲- بی نام، ۱۳۸۷. قابل دسترس در پایگاه www.magiran.com/nptoc.asp.

۳- بی نام، ۱۳۸۷. قابل دسترس در پایگاه www.meymand.com/index.php.

٤- پهلوانزاده، ح. ۱۳۷۷. خشک کردن: اصول، طراحی و کاربرد. چاپ اول. جهاد دانشگاهی دانشگاه تربیت مدرس. ٦۷ ص.

۵- چاجی، ح. قاسم زاده، ح.رنجبر، الف. ۱۳۸۷. اثر پیش تیمار روغن اتیل اولئات و پودر کربنات پتاسیم و آب گرم بر سینتیکهای خشک شدن زرشک. *پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون.*

٦- مولا، د و فلاحی، ح. ۱۳۷٤. کاربرد بسترهای سیالی در خشک کردن زرشک، دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز. *اولین سمینار فرآیند زرشک.*

8- Aghbashlo, M., Kianmehr, M., and Akhijahani, H., 2008. Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of berberis fruit (Berberidaceae). *Energy Conversion and Management* **49**: 2865-2871.

9- Akpinar E. K, Bicer Y Yaldiz, C .2003. Thin layer drying of red pepper. *Journal of food Engineering*, **59**(1): 99-104.

10- Crank, J., 1975. The Mathematics of Diffusion, second ed. Oxford University Press. 4 p.

11- Doymaz, I., Pala M. 2003. Effect of ethyl oleate on drying characteristics of mulberry. *Nahrung/ Food*, **47**: 304-308.

12- Gügüs, F. 1994. The effect of movement of solutes on millard reaction during drying. Ph.D. Thesis. Leeds Universiry, Leeds.

13- Mohsenin NN, editor. Physical characteristics: physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publisher; 1996.

14- Pangavhane, D.R., Sawhney, and R.L., Sarsavadia, P.N. 1998. Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes. *Journal of Food Engineering.* **39**: 211-216.

15- Riva, M. and Peri, C. 1986. Kinetics of sun and air drying of different varieties of seedless grapes. *Journal of Food Technology*. **21**: 199-208.

16- Senadeera, W., B.R., Young, G., and Wijesinghe, B., 2003. Influence of shapes on drying kinetics during fludized bed drying. Journal of Food Engineering. **58**: 277-283.

17- Simal, S., Femenia, A. Garau, M. C., and Rosselló, C. 2005**.** Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*. **66**: 323-328.

18- Telis, V., Lourencon, V.A., Gabas, A.L., and Telis-Romero, J. 2006. Drying rates of Rubi grapes submitted to chemical pretreatments for raisin production. *Pesq.agropec.bras.,Brasilia*., **41**: 503-509.

19- Vazquze, G., F. Chenlo., R. Moreira and E. Cruz. 1997. Grape drying in a pilot plant with a pump. *Drying Technology*. **15**(3): 899-920.