بهینه سازی فرآیند خشک کردن پسته از طریق حرارت متناوب

ب. حمیدخانی[۱]، آ. حمیدخانی[۱]، ع. برقعی[۲]

۱- سازمان پژوهشهای علمی وصنعتی ایران، پژوهشکده کشاورزی، گروه مهندسی زراعی.
۲- دانشگاه آزاد اسلامی تهران، واحد علوم وتحقیقات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی،گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی.
bhamidkhani@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق داده های رطوبت گیری پسته با حرارت متناوب و حرارت مداوم در لایه نازک با استفاده از خشک کن های آزمایشگاهی برنامه ریزی شده، حاصل شده است. به منظور مطالعه فرآیند رطوبت گیری پسته، آزمایش ها بر اساس یک مدل آماری شامل ۳٦ تیمار آزمایشی رطوبت گیری با حرارت متناوب در سه تکرار با چهار سطح حرارتی دمای هوای ورودی ۵۰، ٦۰، ۷۰و۸۰ درجه سانتیگراد، سه سطح زمان تناوبی حرارت ۱۰، ۱۵و۲۰ دقیقه و سه سطح زمان توقف حرارت ٤۰، ٦۰ و۸۰ دقیقه بمورد اجرا گذاشته شد. همچنین رطوبت گیری پسته با حرارت مداوم با همان چهار سطح حرارتی هوای ورودی در سه تکرار به عنوان شاهد انجام شد. در هر آزمایش رطوبت نمونه پسته در خشک کن از ۳٦ به ۱۰ درصد (پایه تر) کاهش داده شد. منحنی های رطوبت گیری پسته برای کلیه تیمارهای آزمایشی ترسیم و مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در سرعت باد ثابت ۱/۲ متر بر ثانیه، رطوبت نسبی هوای ۳۹ در صد و دمای هوای ورودی ۸۰ درجه سانتیگراد ، کمینه زمان حرارت دهی ۱۹۳ دقیقه با حرارت مداوم و ۱۰۲ دقیقه با حرارت متناوب با زمان تناوبی حرارت ۱۰ دقیقه و زمان توقف حرارت ۸۰ دقیقه حاصل گردید.همچنین نتایج نشان داد که در حرارت متناوب با یک دمای معین هوای ورودی، زمان تناوبی حرارت کمتر و زمان توقف حرارت بیشتر، زمان خشک کردن را کاهش میدهند. زمان حرارت دهی با روش حرارت متناوب در مقایسه با روش حرارت مداوم،بسته به درجه حرارت هوای ورودی، زمان تناوبی حرارت و زمان توقف حرارت در محدوده این آزمایش ها، ٤۷ الی ٦۳ درصدکاهش نشان داده است.

مقدمه

فرایند خشک نمودن محصولات کشاورزی در رابطه با زمان بجز موارد خاص نسبت نزولی دارد . این فرایند متشکل از دو مرحله است:

۱–حرکت رطوبت از مغز دانه به سطح آن از طریق انتشار مایع (liquid siondiffu) که به کندی انجام می گیرد وعامل بازدارنده است .

۲–انتقال رطوبت از سطح دانه از طریق جابجایی هوا.

در این فرآیند ابتدا رطوبت سطح دانه تبخیر وسطح آن خشک می شود ولی مغز دانه هنوز مرطوب است .برقراری تعادل رطوبتی بین مغز وسطح دانه نیاز به زمان دارد تا رطوبت به صورت انتشار به سطح دانه برسد .در فاصله های زمانی غیر تعادلی رطوبت نیاز به حرارت(زیاد) نیست ولازم است که حرارت دهی کاهش یافته ویا قطع شود.در غیر این صورت افزایش دما باعث تنش رطوبتی شده ودانه آسیب دیده ویا ترک می خورد . اثرات این پدیده در بعضی محصولات با چشم غیر مسلح قابل رویت نبوده ودر فرآیندهای بعدی نمود پیدا می کند.

بالغ بر ۳٦۰ هزار هکتار باغ پسته (بارور و غیر بارور) با تولید سالیانه ۲۰۰ الی ۳۰۰ هزار تن پسته خشک در کشور وجود دارد. پسته از محصولات عمده صادراتی کشور می باشد و بیش از ۵۰ درصد میزان تولیدی به خارج صادر و سالیانه مبلغ قابل ملاحظه ای درآمد ارزی حاصل می گردد، طبق آمار سال ۱۳۷۹ صادرات پسته و مغز پسته ۳٤٦۲۲ تن و درآمد ارزی حاصل از آن بالغ بر ۱۰۷ میلیون دلار می باشد. درحال حاضر در ترمینالهای ضبط, پسته با رطوبت ٤۰-۳۵ درصد را در یک مرحله در دمای ۷۰-٦۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵-۱۰ ساعت وتا رطوبت نسبتا مطلوب در خشک کن های حرارت مداوم رطوبت گیری می نمایند. خشک کن های متداول در کشور سیستم حرارتی مداوم داشته که سوخت زیادی مصرف مینمایند و کیفیت محصولات نهایی با استاندارد های جهانی سازگار نیستند.بنابر این ارائه راه حل های جدید برای بهبود عملکرد خشک کن های صنعتی مورد نیاز است و یکی از این راه حل ها بهینه سازی فرآیند خشک کردن باحرارت متناوب و بدست آوردن پارامترهای خشک کردن برای کامل شدن این فرآیند است. تحقیقات کونز و همکاران(Kunze, 1979, Sarker,Kunze & Strouboulis, 1996) بیانگر این مطلب است که در فرآیند خشک کردن با حرارت مداوم، یک شیب رطوبتی داخل دانه ایجاد که تولید تنش کششی در سطح دانه وتنش فشاری در داخل آن می نماید. در صورتیکه میزان این تنش از مقاومت شکست دانه تجاوز نماید، دانه ترک می خورد. علت ایجاد ترک، تشکیل شیب رطوبتی در هنگام خشک کردن ویا قرار گرفتن دانه در معرض هوای مرطوب می باشد. برای جلوگیری از تنش حرارتی دانه، پس از هر دوره حرارت دهی، متعادل سازی رطوبت بین مغز و سطح دانه برقرار میگردد. هنگام متعادل سازی، رطوبت از مغز به سطح دانه انتشار میابد، بنابراین شیب رطوبتی کاهش و سرعت رطوبت گیری افزایش میابد (Nishiyama, 1987). تحقیقات بعمل آمده توسط قادر و همکاران (kader et al. 1980) نشان می دهد پسته را باید در دو مرحله یعنی ابتدا تا رطوبت ۱۲- ۱۰٪ با حرارت بالا و سپس تا رطوبت ٦- ٤ ٪با حرارت پایین انجام داد. استاندارد ملی ایران برای رطوبت پسته جهت نگهداری در انبار ٦- ٤٪ میباشد.

هدف این تحقیق بهیته سازی فرآیند خشک کردن پسته یا استفاده از حرارت متناوب و مقایسه آن با روش حرارت مداوم در آزمایشگاه به منظور کاهش زمان خشک کردن و صرفه جویی در مصرف سوخت میباشد. مبنای علمی فرآیند خشک کردن بر پایه تعادل رطوبتی بین سطح و مغز دانه استوار است. برقراری حداکثر مجاز درجه حرارت در فرآیند خشک کردن هنگام برقراری تعادل رطوبت وکاهش درجه حرارت در زمانی که رطوبت سطح و مغز دانه در تعادل با یکدیگر نیستند،محور اصلی این تحقیق بوده که در حفظ شاخص های کیفی پسته بسیار مؤثر می باشد.

مواد و روش ها

مواد اولیه

واریته پسته:در آزمایش ها از یک نوع پسته تازه دامغانی (معروف به عباسعلی)با رطوبت اولیه۳٤ درصد بر پایه تراستفاده شد(شکل۱).

تجهیزات

*ترازوی دیجیتالی مدل Sartorius PT210 ظرفیت ۲۰۰ گرم،دقت ۰.۱ گرم.

*ترازوی دیجیتالی مدل Cas Sc05P ظرفیت ۵ کیلو گرم،دقت ۱ گرم.

*آون مدل Dena محدوده حرارتی ۳۰۰-۵۰ درجه سانتیگراد،دقت $\pm 2^{\circ}c$.

*محفظه های خشک کن استوانه ای به قطر ۵ سانتیمتر وارتفاع ۱۳ سانتیمتر با یک انتهای بسته شده با توری آلومینیومی.

*خشک کن های آزمایشگاهی:

خشک کن های آزمایشگاهی از چهارواحد کاملا یگسان تشکیل شده است که هرواحد شامل قسمتهای:

۱-اتاقک , ۲-سیستم حامل , ۳- سیستم حرارتی ,٤- فن دمنده می باشد(شکل۲ و۳).

در بخش پایین سیستمهای حرارتی و فن دمنده قرار گرفته است .در سطح زیرین این بخش دریچه ورودی هوا تعبیه گردیده است که هوا از طریق آن و پس از عبور از سطحی مشبک به داخل مکیده می شود . هوای مکیده شده پس از عبور از روی سیستمهای حرارتی به بخش های میانی وارد می گردد .در این قسمت هوا مخلوط و همگن میگردد .مرز میان بخش میانی وفوقانی را ,سطح سیستم حامل تشکیل میدهد .در بالای این قسمت سیستم توزین تعبیه شده که بوسیله بازوهایی به سیستم حامل متصل می گردد .جهت دسترسی به نمونه تحت آزمایش ,در قسمت جلوی بخش فوقانی سیستم دریچه ای ایجاد گردیده که بوسیله گیره هایی مخصوص براحتی باز و بسته می گردد ودر طول آزمایش از خروج هوا ویا تبادل حرارت جلو گیری به عمل می آورد. سیستم حامل در یک ریل مملو از گلیسیرین ,غوطه ور است که بدینوسیله از جریان جانبی هوا در طول فرآیند جلوگیری به عمل آورده و تمامی هوا اجباراً فقط از لابلای ماده تحت فرآیند عبور خواهد کرد .

در هر واحد خشک کن دو منبع حرارتی تعبیه گردیده که کنترل یکی دستی و دیگری توسط کامپیوتر انجام می گیرد .وجود دو منبع حرارتی دسترسی سریع به درجه حرارتهای بالا در صورت تغییر درجه حرارت در طول فرآیند را امکان پذیر می سازد. هوادهی اجباری در داخل سیستم توسط فن انجام می گیرد .توان هوادهی این فنها در دامنه ۱۸۰ الی ۲۲۰ متر مکعب در ساعت قابل تنظیم می باشد .

سیستم توزین شامل لودسلهایی میباشد که در قسمت فوقانی هر یک از خشک کنها تعبیه شده است .جهت انتقال کامل وزن به لودسل سطح حامل باید کاملا آزاد باشد . با توجه به هوادهی نمونه در طول فرآیند وخطای ناشی از آن در سنجش وزن ,نرم افزار کنترل در هنگام ثبت داده ها فن ها را خاموش و پس از مکث کوتاهی و قطع کامل جریان هوا در داخل سیستم , توزین انجام می گیرد . پارامترهای متغیر برای خشک کردن شامل : دمای هوای ورودی , زمان خشک کردن و سزعت باد میباشد که از مشخصه های مورد نیاز برای خشک کن محسوب می گردد.برای تعیین بهینه این پارامترها از خشک کن های آزمایشگاهی استفاده شده است.

طرح آزمایشات

آزمایش ها با روش حرارت متناوب درقالب یک طرح آماری در چهار سطح حرارتی ۵۰، ٦۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتیگراد، سه سطح زمان تناوبی حرارت ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ دقیقه و سه سطح زمان توقف حرارت ٤۰، ٦۰ و ۸۰ دقیقه در سه تکرار با ۱۰۸ تیمار آزمایشی با استفاده از خشک کن های آزمایشگاهی بمورد اجرا گذاشته شده است (جدول۱) .

در این آزمایش ها خشک کردن پسته با روش حرارت مداوم نیز در چهار سطح حرارتی ۵۰، ٦۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتیگراد در سه تکرار با ۱۲ تیمار آزمایشی بعنوان شاهد انجام شد.

سرعت هوای گرم ورودی به خشک کن (ورود به محصول) برای کلیه آزمایش ها ۱/۲ متر بر ثانیه ، ثابت تنظیم گردید.

جدول (۱) : تیمارهای آزمایشی حرارت متناوب

زمان حرارت دهی (دقیقه)	۱۰	۱۵	۲۰	
میزان حرارت(درجه سانتیگراد)	۵۰	٦۰	۷۰	۸۰
زمان توقف حرارت (دقیقه)	٤۰	٦۰	۸۰	

رطوبت پسته قبل از خشک کردن بین ۳۳ الی ۳۵/۸ درصد تر متغیر بوده و رطوبت پس از خشک کردن، به ۱۰الی ۱۲ درصد تر کاهش یافت که پس از متعادل سازی، رطوبت تمامی تیمارهای آزمایشی در شرایط آزمایشگاهی به حدود ۳ درصد تر کاهش یافتند(شکل٤). وزن کلیه نمونه های آزمایشی ۱۲۰ گرم(وزن تر) و عمق بستر پسته درمحفظه های استوانه های خشک کن ۱۰ سانتیمتر ثابت بوده است.

منحنی های رطوبت گیری برای کلیه تیمار های آزمایشی ترسیم گردید. چند نمونه از این منحنی ها در شکل ۵ و ٦ ارائه شده است. پارامترهای متغیر مناسب با توجه به کیفیت تیمارهای آزمایشی انتخاب گردیدند.

نتایج و بحث

۱- محصول پسته رطوبت گیری شده با روش تناوب حرارتی در مقایسه باحرارت مداوم از شاخص های کیفی مطلوبتری برخوردار میباشد.

۲- در درجه حرارتهای مورد آزمایش، زمان خشک کردن در تمامی تیمار های آزمایشی با روش حرارت متناوب در مقایسه با حرارت مداوم کاهش بسیار مطلوبی داشته است. شکل ۵، رطوبت گیری پسته را با حرارت مداوم ومتناوب از ۳٦ به ۱۰ درصد (بر پایه تر) با هوای گرم ۵۰، ٦۰، ۷۰و ۸۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۳۹ درصد نشان میدهد. بیشینه زمان رطوبت گیری با حرارت مداوم در درجه حرارت $50^{\circ}c$ ، ٤۲۷ دقیقه و کمینه زمان رطوبت گیری ۱۰۲ دقیقه با حرارت متناوب در درجه حرارت $80^{\circ}c$ ، با زمان تناوبی حرارت ۱۰ دقیقه و زمان توقف حرارت ۸۰ دقیقه حاصل شده است.

۳- در یک درجه حرارت و زمان تناوبی حرارت معین، با افزایش زمان توقف حرارت، زمان رطوبت گیری کاهش می یابد. شکل ٦، منحنی های رطوبت گیری با حرارت متناوب را برای پسته از ۳٦ به ۱۰ در صد (بر

پایه تر) با زمان های توقف حرارت ٤٠، ٦٠ و ٨٠ دقیقه و زمان تناوبی حرارت ١٠ دقیقه با هـوای گـرم ٥٠، ٦٠، ٧٠ و ٨٠ درجه سانتیگراد ورطوبت نسبی ٣٩ در صد نشان میدهد.

٤- زمان رطوبت گیری با روش حرارت متناوب در مقایسه با حرارت مداوم در محـدوده متغیرهـای آزمایشـی، بسته به به میزان متغیر از ٤٧ تا ٦٣ در صد کاهش نشان میدهد و در نتیجه میزان مصرف سوخت نیـز بـه همـین میزان کاهش می یابد.

٥-در خشک کن حرارت متناوب می توان از هوای گرم با دمای ٨٠ درجه سانتی گراد استفاده و کیفیت پسته را نیز حفظ نمود ولی استفاده از این درجه حرارت در خشک کن های حرارت مداوم به کیفیت پسته آسیب می رساند.

پیشنهاد می شود تحقیقات بیشتری در زمینه رطوبت گیری محصولات مختلف کشاورزی با خشک کن حرارت متناوب انجام و این نوع خشک کن در صنایع تبدیلی بکار گرفته شود.

تعاریف

t دمای هوای گرم (C°)، T زمان رطوبت گیری(دقیقه)، T1 زمان تناوبی حرارت،

T2 زمان توقف حرارت، M.C. رطوبت دانه، W.B. درصد بر پایه تر

تشکر و قدردانی

برای انجام این تحقیق از امکانات مالی شورای پژوهشهای علمی کشور و امکانات فنی و مهندسی سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران استفاده شده است. لذا از مسئولین مربوطه تشکر و قدر دانی می شود. همچنین از همکاری موسسه تحقیقات پسته کشور در آزمون کیفیت نمونه های آزمایشی پسته تشکر و قدر دانی میشود.

فهرست منابع

1. Aktas, T., Polat, R. 2007. Changes in the drying characteristics and water activity values of selected Pistachio cultivars during hot air drying, Journal of Food Process Engineering, interscience.wiley.com, 30:5, 607-624.

2. Chua, K.J., Mujumdar, A.S., and Chou, S.K. 2003. Intermittent drying of bioproducts-an overview, Bioresource Technology, 90:3, 285-295.

3. Kashaninejad, M., Mortazavi, A., and Safekordi, A. 2007. Thin layer drying characteristics and modeling of Pistachio nuts, Journal of Food Engineering, Elsevier.

4. Kashaninejad, M., Tabil, L.G. and Mortazavi, A., et al. 2002. Effect of drying methods on quality of Pistachio nuts, ASAE, MBSK 02-213.

5. Kunze, O.R. 1979. Fissuring of the rice grain after heated air drying. Transactions of the ASAE, 22(5), 1197-1202, 1207.

6. Nishiyama, Y. 1987. Sphere drying model for dryer design. ASAE meeting. St. Joseph, paper no. 87-6039.

7. Nishiyama, Y., Cao, W. and Li, B. 2005. Grain intermittent drying characteristics analyzed by a simplified model, Journal of Food Engineering, 76, 272-279.

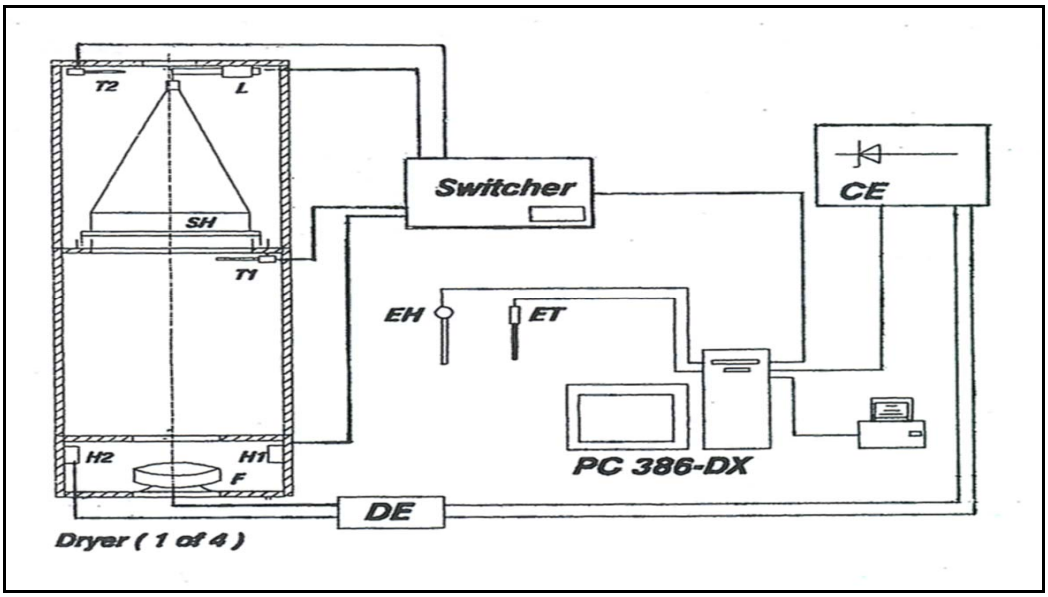
8. Sarker, N. N., Kunze, O. R. and Strouboulis, T. 1996. Transient moisture gradients in rough rice mapped with finite element model and related to fissures after heated air drying. Transaction of the ASAE, 39(2), 625-631.

9. Shei, H. J., Chen, Y. L., 1998. Intermittent drying of rough Rice, Drying Technology, 16:3, 839-851.
10. Shei, H. J., Chen, Y. L., 1999. Thin layer models for Intermittent drying of rough Rice, Cereal Chemistry, 76:4, 577-581.
11. Shei, H. J., Chen, Y. L., 2002. Computer simulation on intermittent drying of rough Rice, Drying Technology, 20:3, 615-636.

ABSTRACT

This study obtains intermittent as well as continuous thin layer drying experimental data for pistachio nut from computer controlled laboratory dryer's tests. The experiment was conducted based on a statistical model which includes 36 intermittent drying treatments in triplicate, with four levels of air temperatures 50, 60, 70 and 80°c, three levels of drying time intervals 10, 15 and 20 minutes, and three levels of tempering time intervals 40, 60 and 80 minutes. To compare with, continuous drying of Pistachio nut was performed with same four levels of air temperatures too. In each treatment pistachio nut was dried from 36 to 10 percent (w.b.) in dryer, drying curves of all treatments were drawn and compared. The results showed that at constant air velocity of 1.2 meters per second, ambient air humidity of 39 percent and air temperature of 80°c , minimum drying time is 193 minutes for continuous and 102 minutes for intermittent drying with drying time interval of 10 minutes and tempering time interval of 80 minutes.. It also showed that at a specified drying temperature, a shorter drying time interval and a longer tempering time interval, reduces the drying time for intermittent drying process. It is concluded that drying time in intermittent drying as compared with continuous drying is reduced by 47 to 63 percent, related to drying air temperatures, drying time intervals and tempering time intervals in this study.
Keywords: Intermittent drying, Drying, Pistachio nut drying, Pistachio nut

شکل ۱- واریته پسته دامغانی(عباسعلی)

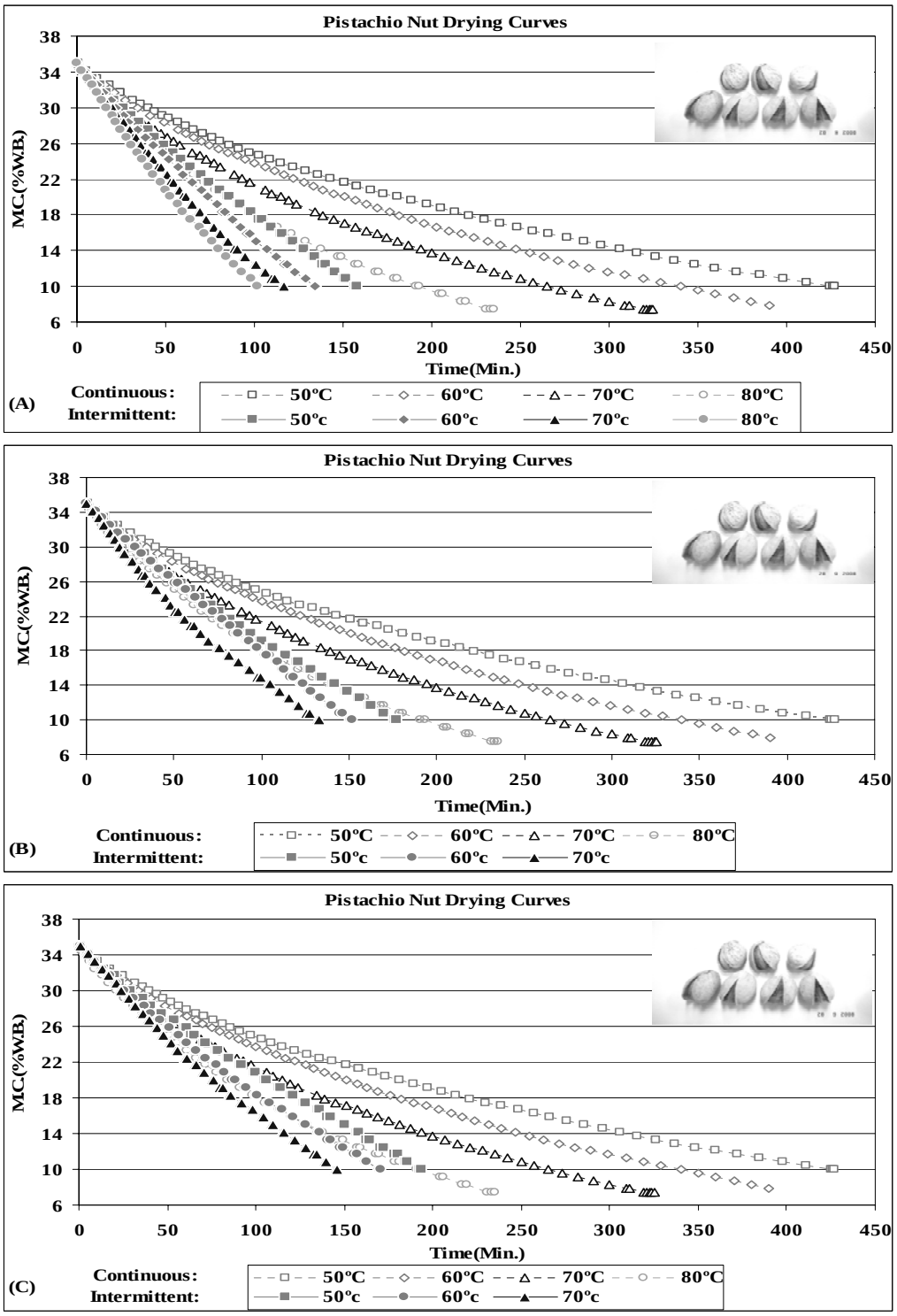


شکل ۲- نمای خشک کن آزمایشگاهی با کنترل کامپیوتری

T1 سنسور درجه حرارت هوای ورودی، T2 سنسور درجه حرارت هوای خروجی، SH سیستم حامل نمونه
H1 منبع حرارتی دستی، H2 منبع حرارتی اتوماتیک، L لودسل، F فن، EH سنسور رطوبت هوای محیط، ET سنسور دمای هوای محیط، DE پانل الکترونیکی خشک کن، CE پانل کنترل الکترونیکی

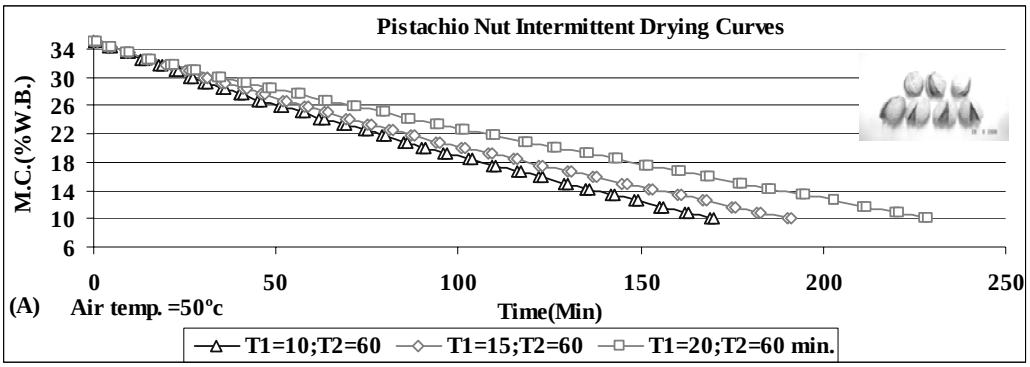
شکل۳- تصویر خشک کن های آزمایشگاهی

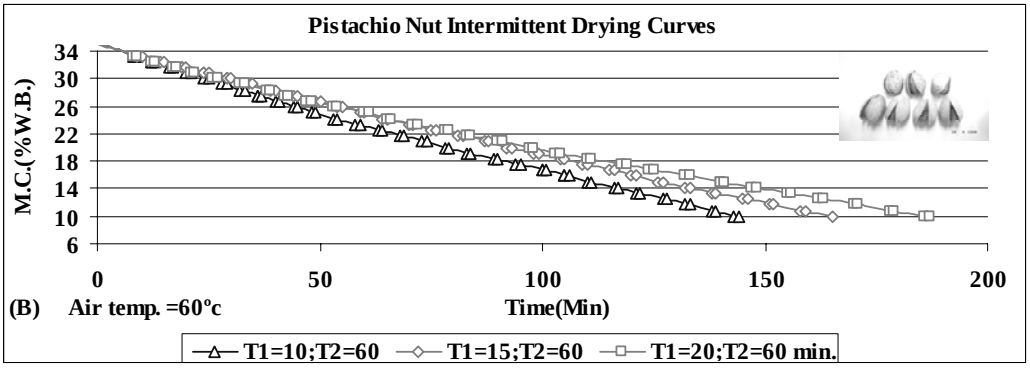
شکل ٤- تیمارهای آزمایشی پسته

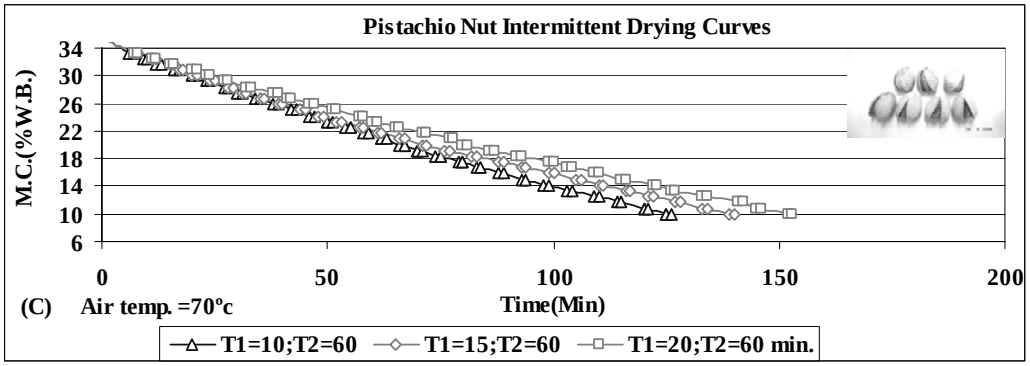


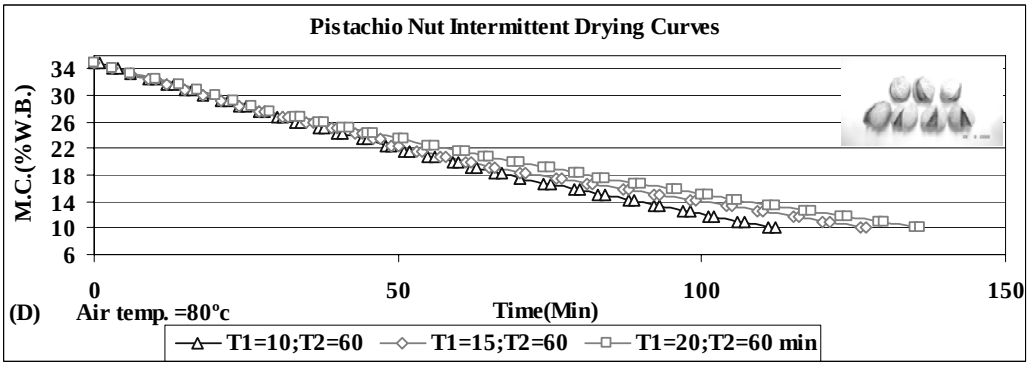
شکل۵- مقایسه منحنی های رطوبت گیری حرارت مداوم با حرارت متناوب برای پسته دامغان

(A) T1=10 min, (B) T1=15 min, (C) T1=20 min , T2= 80 Min









شکل ٦- تاثیر زمان تناوب حرارتی در زمان رطوبت گیری پسته دامغان