

بررسی وضعیت پایداری بستر مواد طی فرآیند خشک کردن چای در خشک‌کن‌های بستر سیال

محمد هادی خوش تقاضا^۱ - مرتضی صادقی^۲ - سعید مینایی^۳

چکیده

برای انجام آزمایش‌های این تحقیق از یک خشک‌کن بستر سیال آزمایشگاهی استفاده شد که در آن کنترل دبی و دمای هوای ورودی به کمک یک سیستم کنترل خودکار انجام می‌گرفت. آزمایش‌ها در دو دمای ۹۰ و ۱۱۰ °C صورت گرفت. در هر دما به منظور برقراری یک وضعیت پایدار در بستر مواد، روش کنترل دبی هوای مورد استفاده با توجه به رطوبت نسبی هوای خروجی بدست آمد. نتایج آزمایش‌های اولیه نشان داد که برای برقراری وضعیت شناوری پایدار، می‌توان در سیستم کنترل از یک رابطه درجه سوم برحسب پارامتر رطوبت نسبی هوای خروجی به منظور کنترل سرعت دمنده استفاده نمود. ارزیابی روش بدست آمده بیانگر عملکرد صحیح روش کنترل دبی هوا بود. بطوریکه در طول آزمایش‌های مجدد با اعمال روش حاصل، وضعیت پایداری در بستر ذرات برقرار بود و کانالیزه شدن بستر مواد و هم‌چنین خارج شدن ذرات از حالت سیالی مشاهده نشد.

- ۲- دانشجوی دکتری گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
- ۳- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

لغات کلیدی: پایداری، خشک‌کن بستر سیال، سیستم کنترل خودکار، دبی هوا، ذرات چای

۱. مقدمه

در ایران از خشک‌کن‌های سینی‌دار یا رفته‌ای (*ECP*)، برای خشک‌کردن چای استفاده می‌شود. در حالیکه در چند سال اخیر، سیستم جدیدی تحت عنوان خشک‌کن‌های بستر سیال (*FBD*)، پای در عرصه این صنعت نهاده‌اند. خشک‌کن‌های سینی‌دار با مشکلات چندی، از جمله خشک‌شدن غیر یکنواخت همراه هستند. در صورتی که یکی از مزایای عمده خشک‌کن‌های بستر سیال، یکنواختی در انتقال جرم و حرارت بین دو فاز جامد و گاز می‌باشد و با توجه به این خصوصیت، به‌دور از هر گونه اثر نامطلوب در فرآیند خشک‌کردن، دماهایی به مراتب بالاتر را می‌توان بکار برد.

برخلاف کاربرد وسیع خشک‌کن‌های بستر سیال برای خشک‌کردن چای سیاه، تحقیقات اندکی در ارتباط با این نوع خشک‌کن‌ها صورت گرفته است. هامپتون [۴]، تنها به یک بررسی کلی در زمینه طرز کار و ساختمان این نوع خشک‌کن‌ها پرداخته است. کرتیسینگی [۸]، شاه و گوویل [۱۱] و بدی [۳]، نیز به جنبه‌های کلی ماشین‌هایی خاص پرداخته‌اند. تحقیقات انجام شده توسط جانسون [۵]، ۶ و ۷ در آفریقا نیز هر چند اندازه‌گیری‌هایی را در زمینه خشک‌کن‌های بستر سیال تجاری به همراه نتایج مفید ارائه می‌کند، اما به هیچ وجه به اصول اساسی در زمینه راه‌اندازی و مشکلات موجود در این خشک‌کن‌ها نمی‌پردازد.

علی‌رغم مزایای روش بستر سیال، یکی از مسائلی که معمولاً در این روش وجود دارد، مسئله کنترل مناسب دبی هوای بکار رفته می‌باشد. به عبارت دیگر، مسئله ناپایداری بستر مواد در طول فرآیند خشک‌کردن مطرح است که آزمایش‌هایی در رابطه با آن گزارش نشده است و در مراجع مختلف تنها به آن اشاره شده است. کانی و لون‌اشپیل [۹] به چند نمونه از بسترهایی که در آنها کیفیت سیال‌سازی پائین است اشاره کرده‌اند و هیچ راهکاری برای حل این مسئله ارائه نکرده‌اند. مورنو و همکاران [۱۰] نیز ارتعاش را بعنوان یک راهکار برای بهبود کیفیت سیال‌سازی و اجتناب از مشکلاتی همانند کانالیزه شدن (*Channeling*) و خارج شدن بستر ذرات از حالت سیالی (*Defluidization*) مطرح کرده‌اند. تمپل و ون‌بوکستل [۱۲] نیز طی آزمایش‌هایی در ارتباط با سیال‌سازی چای در یک دستگاه بستر سیال آزمایشگاهی، برخی مشخصه‌های

سیال‌سازی این محصول از قبیل حداقل سرعت سیال‌سازی، افت فشار بستر مواد و انبساط بستر را تعیین کردند. آزمایش‌های آنها بر روی چای خشک‌شده توسط خشک‌کن LTP و با محتوای رطوبتی ۸-۱۰ درصد بر پایه‌تر صورت گرفت. سپس آنها تلاش نمودند تا اندازه‌گیری‌هایی با همان دستگاه در ارتباط با چای خشک‌نشده با محتوای رطوبتی ۷۲ درصد بر پایه‌تر انجام دهند که به دلیل کاهش سریع رطوبت موفق نبودند و تنها اشاره کردند که محتوای رطوبتی بالاتر احتیاج به دبی هوای بیشتری نیاز دارد. مسئله پایداری در خشک‌کن‌های بسترهای سیال از آنجا ناشی می‌شود که با گذشت زمان خشک‌شدن و کاهش محتوای رطوبتی محصول، وزن آن کاهش پیدا کرده و در نتیجه وضعیت سیال‌سازی آن نیز تغییر می‌کند. به عبارت دیگر نیروی پس‌آی لازم برای حفظ وضعیت سیالی محصول، مدام در حال تغییر است. این مسئله بخصوص برای محصول چای به علت داشتن ذرات سبک و کاهش رطوبت سریع آن، شدیدتر می‌باشد. بنابراین، کنترل دبی هوا به طرز صحیح در این خشک‌کن‌ها، امری ضروری بوده تا بتوان از این روش بصورت مؤثر و مفید استفاده کرد.

در این تحقیق ضمن معرفی یک سیستم کنترل خودکار رایانه‌ای با قابلیت کنترل پارامترهای خشک‌کن از قبیل دما و دبی هوای ورودی به محفظه بر طبق استراتژی از قبل تعیین شده توسط کاربر، روش کنترل دبی هوا برای برقراری وضعیت پایدار در بستر ذرات چای بعد از سیال‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌های این تحقیق یک خشک‌کن بستر سیال آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد که در شکل ۱، طرحواره و اجزاء اصلی آن در حالت سه بعدی نشان داده شده است. در این دستگاه هوای مورد نیاز برای فرآیند سیال‌سازی و خشک‌کردن ذرات، توسط دمنده‌ای سانتریفیوژ با موتور محرک سه فاز $2800\ rpm$ تأمین می‌گردد. هوای مورد نیاز پس از عبور از یک کوره حرارتی متشکل از ۱۱ المان حرارتی الکتریکی به دمای مطلوب می‌رسد. محفظه خشک‌کن با سطح مقطع $16/16 \times 0/0\ m^2$ و از جنس پلکسی‌گلاس شفاف ساخته شده است تا بتوان تغییرات وضعیت بستر مواد در حین آزمایش‌ها را براحتی مشاهده کرد.

برای کنترل دبی و دمای هوای ورودی نیز یک سیستم کنترل خودکار طراحی و ساخته شد. این سیستم از ۴ قسمت منبع تغذیه، مدار اصلی کنترل، مدار تقویت کننده حسگرها و مدار راه انداز رله‌ها تشکیل شده است. تغییر سرعت دمنده از طریق یک دستگاه تغییر سرعت فرکانسی *Topvert* مدل *7300 L2.2* صورت می‌گیرد. در واقع این دستگاه رابط میان سیستم کنترل خودکار و موتور دمنده می‌باشد. حسگرهای دما و رطوبت، عملیات اندازه‌گیری دما و رطوبت هوای ورودی و خروجی و هم‌چنین دمای بستر ذرات را انجام می‌دهند. سیستم کنترل به طور مستقیم به کامپیوتر متصل است. برنامه سیستم کنترل به زبان *Visual Basic* نوشته شده است و در یک بسته نرم‌افزاری تحت عنوان "*TMU Tea Dryer*" قرار دارد. این برنامه وضعیت لحظه‌ای حسگرهای دما، حسگر رطوبت و سرعت موتور دمنده را نشان می‌دهد و منحنی روند تغییرات آنها را در طی آزمایش ترسیم کرده و هم‌چنین قادر است نتایج آزمایش را به نرم‌افزار *Excel* انتقال دهد.

هم‌چنین به کمک این نرم‌افزار می‌توان نحوه اعمال تغییر سرعت موتور دمنده، برای کنترل دبی هوای ورودی به محفظه خشک‌کن را در سه حالت انتخاب نمود. در یک حالت موتور محرک دمنده سرعت ثابت مشخص تعیین شده را به دمنده اعمال می‌کند. در حالت دیگر سرعت موتور بصورت معادله خطی داده شده با رطوبت نسبی هوای خروجی تغییر می‌کند. در حالت سوم نیز سرعت موتور بسته به داده‌های وارد شده (۱۰۰ داده متناظر با رطوبت نسبی هوای خروجی از ۱ تا ۱۰۰٪) تغییر خواهد کرد. برای تنظیم نحوه تغییر دمای هوای ورودی نیز همانند سرعت موتور، می‌توان هر سه حالت فوق را اعمال نمود.

برای انجام آزمایش‌ها از نمونه‌های چای مرطوب *CTC (Cut, Tear and Curl)* استفاده شد، که رطوبت اولیه آنها ۶۰٪ بر پایه تر بود. قبل از شروع انجام آزمایش‌ها، عملیات تنظیم قسمت‌های مختلف در سیستم کنترل صورت گرفت. پس از آماده شدن نمونه‌ها، به منظور بدست آوردن روش کنترل دبی هوا در طول فرآیند خشک‌کردن، آزمایش‌های اولیه خشک‌کردن نمونه‌ها در دو دمای ثابت ۹۰ و ۱۱۰ °C (دماهای معمول در خشک‌کردن چای به روش بستر سیال) انجام شد. ارتفاع اولیه بستر مواد نیز ۸۰ برابر قطر سوراخ‌های صفحه

توزیع کننده در نظر گرفته شد [۲]. بنابراین با توجه به قطر سوراخ‌های صفحه توزیع کننده (1 mm)، ارتفاع بستر ذرات چای 8 cm بدست آمد.

پس از قرار دادن نمونه‌ها در محفظه، سرعت موتور دمنده به تدریج افزایش داده می‌شد، بطوریکه وضعیت سیال‌سازی و اختلاط کامل ذرات ایجاد می‌گردید. ارتفاع محصول در این حالت حدود 15 cm بود. پس از برقراری وضعیت سیال‌سازی، در طول آزمایش با کاهش رطوبت و در نتیجه وزن محصول، سرعت موتور نیز کاهش داده می‌شد. کاهش سرعت موتور به کمک شاخص ارتفاع محصول که بر روی محفظه خشک‌کن نصب شده بود، صورت می‌گرفت، بطوریکه با توجه به حفظ ارتفاع محصول، وضعیت سیال‌سازی و اختلاط کامل ذرات همواره بصورت یکنواخت باقی می‌ماند. خشک‌کردن نمونه‌ها تا رسیدن رطوبت نسبی هوای خروجی به 15% درصد ادامه می‌یافت.

۳. نتایج و بحث

جدول ۱، مراحل مختلف کاهش سرعت موتور، محدوده تغییرات رطوبت نسبی هوای خروجی و زمان خشک‌شدن در هر سرعت و همچنین کل زمان خشک‌شدن در دو دمای 90°C و 110°C را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشخص است، در مرحله افزایش رطوبت نسبی هوای خروجی (سطر اول جدول) و سپس کاهش رطوبت تا مقدار 80% برای دمای 90°C و مقدار 86% برای دمای 110°C سرعت موتور برابر با 800 rpm می‌باشد. به عبارت دیگر، در مرحله افزایش رطوبت (54% تا 95%)، سرعت موتور ثابت بود. زیرا در این مرحله تغییری در وضعیت شناور شدن ذرات مشاهده نمی‌شد و بنابراین نیازی به کاهش سرعت موتور وجود نداشت. توجیه این پدیده ارتباط نزدیکی با نحوه انتقال جرم در ماده دارد. زیرا در مراحل اولیه خشک‌کردن، سطح ماده کاملاً توسط لایه نازکی از آب پوشیده شده که به صورت آب غیر پیوندی است و با برقرار کردن تماس بین سطح ماده و هوای خشک‌کننده، تبخیر مایع اتفاق می‌افتد. به همین دلیل است که در این مرحله، رطوبت نسبی هوای خروجی رو به افزایش است. بنابراین با در نظر گرفتن مقاومت در برابر انتقال جرم، شرایط خارجی و لایه مرزی گاز، محدود کننده آهنگ خشک‌کردن است. به عبارت دیگر هر

چند رطوبت نسبی هوای خروجی افزایش پیدا کرده، ولیکن در این مرحله بیشتر رطوبت سطحی محصول خشک شده و رطوبت ذرات چای همچنان تغییر چندانی نکرده است.

در مرحله بعد با توجه به کاهش رطوبت محصول و در نهایت حفظ وضعیت سیالی ذرات، سرعت موتور نیز کاهش داده می‌شد (جدول ۱). در این مرحله، مقدار رطوبتی که از داخل ماده به سطح آن می‌رسد به تدریج شروع به کاهش یافتن می‌کند و در نتیجه از فشار بخار بالای سطح ماده نیز کاسته می‌شود و بنابراین آهنگ خشک‌شدن کاهش می‌یابد. این حالت متناظر با مرحله نزول آهنگ خشک‌شدن (*Falling drying rate*) است. به عبارت دیگر، در این مرحله آهنگ خشک‌شدن توسط شرایط داخلی و انتقال رطوبت درون ماده که بستگی به تغییرات غلظت رطوبت دارد، کنترل می‌شود. به همین دلیل رطوبت نسبی هوای خروجی رو به کاهش می‌گذارد.

از دیگر نکات قابل توجه در جدول ۱، افزایش زمان خشک‌شدن در مرحله کاهش رطوبت نسبی هوای خروجی در هر مرحله از کاهش سرعت در هر دو دمای خشک‌کردن می‌باشد که می‌تواند به دلیل روند رو به کاهش آهنگ خشک‌شدن باشد. زمان خشک‌شدن تنها در حالت گذار از مرحله اول به مرحله دوم کاهش پیدا می‌کند. چون با توجه به اینکه در مراحل ابتدایی شدت خشک‌شدن زیاد است، لذا کاهش رطوبت سریع اتفاق می‌افتد و بنابراین در زمان کمتری باید تغییر سرعت اتفاق بیفتد. در مرحله آخر کاهش سرعت که بیشترین زمان را به خود اختصاص می‌داد، به علت به تعادل رسیدن رطوبت و عدم کاهش در رطوبت محصول (برابری رطوبت هوای ورودی و خروجی) سرعت ثابت باقی می‌ماند و آزمایش خاتمه پیدا می‌کرد.

شکل ۲، تغییرات رطوبت نسبی هوای خروجی را نسبت به زمان خشک‌شدن، در دو دمای ۹۰ و ۱۱۰ °C نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو مورد، ابتدا رطوبت نسبی هوای خروجی از مقدار اولیه ۵۴٪ تا حدود ۹۵٪ افزایش پیدا کرده و سپس تا مقدار نهایی ۱۵٪ کاهش می‌یابد. از دیگر نکات مشخص در این شکل کاهش شیب منحنی در مراحل مختلف می‌باشد که مبین کاهش در آهنگ خشک‌شدن است. همچنین در دمای ۱۱۰ °C زمان خشک‌شدن نسبت به دمای ۹۰ °C، از مقدار ۱۱۰۸ s به ۸۱۸ s کاهش پیدا می‌کند. در پایان آزمایش رطوبت نهایی ذرات چای برابر ۳٪ بر پایه تر بدست آمد.

شکل‌های ۳ و ۴، روند تغییرات سرعت موتور برحسب رطوبت نسبی هوای خروجی را در مرحله کاهش رطوبت (۹۵٪ تا ۱۵٪) به ترتیب در دماهای ۹۰ °C و ۱۱۰ °C نشان می‌دهند. در این مرحله، با استفاده از داده‌های مربوط به سرعت موتور و رطوبت نسبی هوای خروجی در دماهای ۹۰ °C و ۱۱۰ °C، به ترتیب روابط رگرسیونی زیر بدست آمدند:

$$R^2 = 0.956 \quad [۸]$$

$$N = 0.0023r_h^3 - 0.4574r_h^2 + 31.72r_h - 31.963$$

$$R^2 = 0.9164 \quad [۹]$$

$$N = 0.0016r_h^3 - 0.2718r_h^2 + 17.287r_h + 292.07$$

که N سرعت موتور (rpm) و r_h درصد رطوبت نسبی هوا می‌باشد. لازم به توضیح است که با توجه به ثابت بودن سرعت موتور در مرحله افزایش رطوبت نسبی، داده‌های مربوط به این مرحله در ترسیم منحنی‌های رگرسیونی دخالت داده نشده‌اند. به عبارت دیگر، اعمال روش کنترل بدست آمده نیز در دو مرحله (حالت‌های اول و سوم نحوه اعمال تغییر سرعت موتور توسط نرم‌افزار) صورت می‌گیرد. همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، در دمای ۹۰ °C کاهش سرعت تا مقدار $400 rpm$ ادامه پیدا می‌کند که می‌تواند به دلیل افزایش زمان خشک‌شدن در مقایسه با دمای ۱۱۰ °C باشد.

بعد از بدست آمدن روابط فوق به منظور ارزیابی روش کنترل، آزمایش‌های خشک‌شدن با استفاده از نمونه‌های جدید و در شرایط یکسان با آزمایش‌های اولیه انجام شد. در ابتدا تنظیمات مختلف صورت گرفت و مقادیر سرعت موتور با مقادیر نظیر رطوبت نسبی هوای خروجی (از ۱ تا ۱۰۰٪) با استفاده از روابط ۱ و ۲، محاسبه شده و با توجه به غیرخطی بودن روابط حاصل، در جدول نرم‌افزار برای حالت سوم وارد گردید. در طی آزمایش‌ها و در مرحله افزایش رطوبت نسبی هوای خروجی، ابتدا سرعت موتور ثابت $800 rpm$ از طریق حالت اول اعمال شد و سپس با مشاهده کاهش رطوبت نسبی، انتخاب سوم و در نتیجه روابط بدست آمده اعمال شد.

شکل‌های ۵ و ۶ روند تغییرات سرعت موتور را بصورت خودکار با توجه به تغییر رطوبت نسبی هوای خروجی در طی انجام آزمایش‌های مجدد به ترتیب در دماهای ۹۰ °C و ۱۱۰ °C نشان می‌دهند. با توجه به روش اعمال شده، سرعت موتور در پایان انجام آزمایش‌ها و در دماهای ۹۰ °C و ۱۱۰ °C به ترتیب برابر با ۳۵۰ و ۴۹۵ rpm بدست آمد. هم‌چنین زمان خشک‌شدن ذرات چای در دمای ۹۰ °C برابر با ۱۰۶۵ s و در دمای ۱۱۰ °C برابر با ۷۸۳ s بدست آمد، که تفاوت بین زمان‌های خشک‌شدن ذرات چای طی انجام آزمایش‌های اولیه و آزمایش‌های مجدد، می‌تواند به دلیل کاهش پیوسته سرعت موتور از طریق سیستم کنترل باشد. پس از اعمال روش کنترل حاصل، در طول آزمایش وضعیت پایدار بستر ذرات برقرار بود و ارتفاع بستر ذرات چای نیز در حدود ۱۴ cm بود. هم‌چنین کانالیزه شدن بستر و خارج شدن بستر از حالت سیالی مشاهده نشد و تنها بخش خیلی سبک ذرات چای تحت عنوان فیبر از بستر خارج می‌شدند.

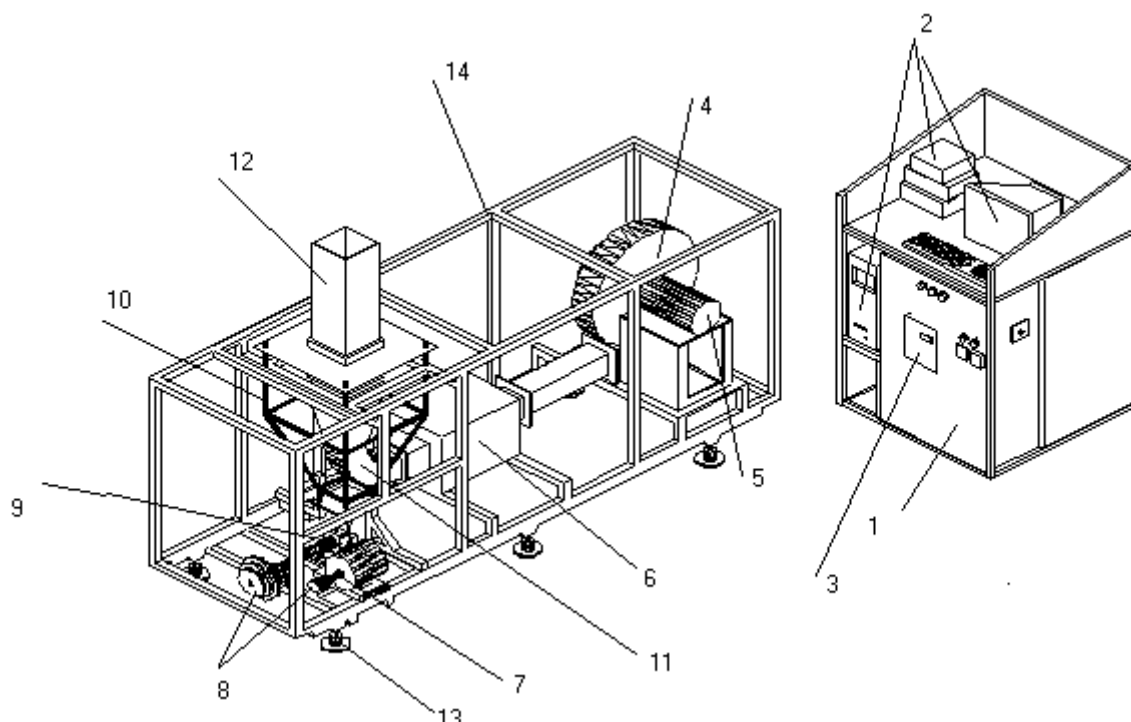
منابع:

- ۱- امیری چایجان، ر. ۱۳۷۹. طراحی و ساخت خشک‌کن بستر سیال آزمایشگاهی برای محصولات دانه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- پهلوانزاده، ح. ۱۳۷۷. خشک‌کردن: اصول، کاربرد و طراحی. (تألیف سزلا استرامیلو و تادیوز کودرا) چاپ اول. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
- 3- Bedi, R. 1995. *A new fluidized bed dryer*. *Tea International*, 3(3): 35-39.
- 4- Hampton, M. G. 1992. *Production of black tea*. In: *Tea: cultivation to consumption*, eds. Willson, K. C. and M. N. Clifford. Chapman and Hall, London.
- 5- Johnson, A. L. 1985. *Process research and biochemistry: Fluid bed drying*. *Annual Report 1983/85*, pp. 222-236. *Tea Research Foundation (Central Africa)*, Mulanje, Malawi.
- 6- Johnson, A. L. 1985. *Further comments on fluid bed drying operations*. *Tea Research Foundation (Central Africa)*, *Quarterly Newsletter*, 79, 32-36.
- 7- Johnson, A. L. 1989. *The importance of bed loading and evaporation rates in tea drying*. *Tea Research Foundation (Central Africa)*, *Quarterly Newsletter*, 93, 17-23.
- 8- Kirtisinghe, D. 1974. *The TRI-CCC fluid bed tea dryer developed in Sri Lanka*. *Tea Quarterly*, 44(4): 151-153.
- 9- Kunii, D. and O. Levenspiel. 1991. *Fluidization Engineering*. Stoneham: Butterworth-Heinemann, U. S. A.
- 10- Moreno, R., R. Rios and H. Calbucura. 2000. *Batch vibrating fluid bed dryer for sawdust particles: experimental results*. *Drying Technology*, 18(7): 1481-1493.
- 11- Shah, R. and S. K. Goyal. 1980. *Drying characteristics of tea fluidized on a vibrating bed*. *Drying 80*, *Second International Symposium*, Montreal, Canada.

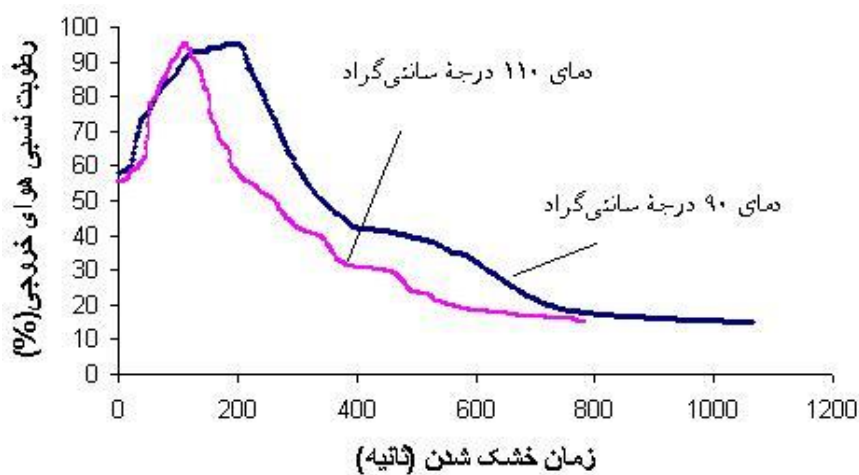
12- Temple, S. J. and A. J. B. Van Boxtel. 1999. Fluidization of tea. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74(1): 83-89.

جدول ۱. مراحل مختلف کاهش سرعت موتور، محدوده تغییرات رطوبت نسبی هوای خروجی و زمان خشک شدن در هر مرحله از کاهش سرعت و کل زمان خشک شدن

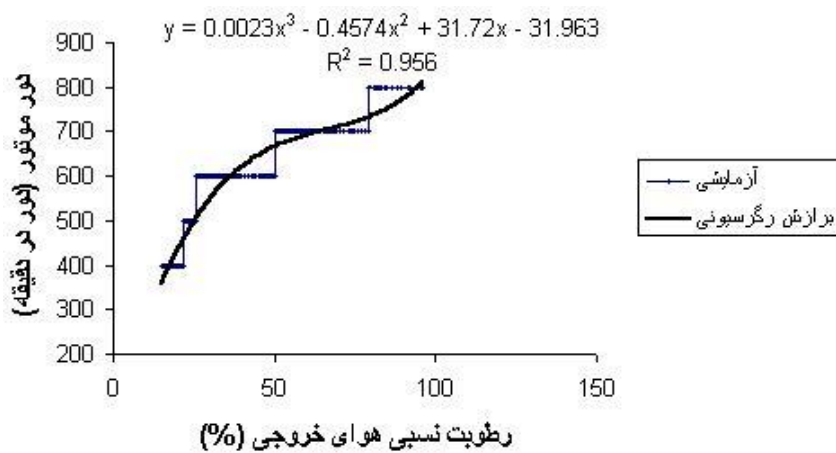
دمای $110^{\circ}C$			دمای $90^{\circ}C$		
محدوده رطوبت نسبی (%)	زمان (s)	سرعت (rpm)	محدوده رطوبت نسبی (%)	زمان (s)	سرعت (rpm)
۵۴-۹۳	۱۲۴	۸۰۰	۵۴-۹۵	۲۰۹	۸۰۰
۹۳-۸۶	۴۸	۸۰۰	۹۵-۸۰	۶۷	۸۰۰
۸۶-۴۰	۱۲۸	۷۰۰	۸۰-۵۰	۱۱۵	۷۰۰
۴۰-۲۰	۲۵۰	۶۰۰	۵۰-۲۵	۱۷۵	۶۰۰
۲۰-۱۵	۲۶۸	۵۰۰	۲۵-۲۱	۲۵۴	۵۰۰
-	-	-	۲۱-۱۵	۲۷۸	۴۰۰
جمع	۸۱۸			۱۱۰۸	



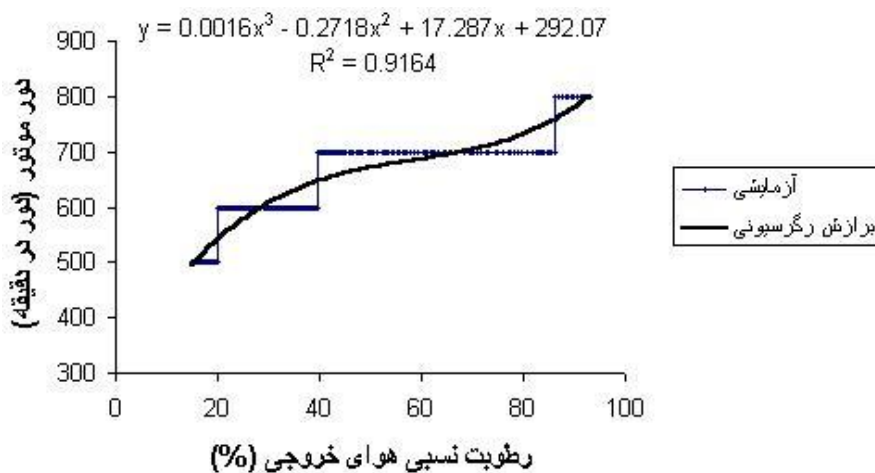
شکل 1- نقشه سه بعدی دستگاه خشک کن بستر شناور ارتعاشی (۱- تابلو برق، ۲- سیستم کنترل خودکار، ۳- دستگاه تغییر سرعت فرکانسی، ۴- دمنده، ۵- موتور دمنده، ۶- کوره الکتریکی، ۷- موتور محرک مکانیزم ارتعاش، ۸- پولی های چند شیاره، ۹- لنگ و لغزنده، ۱۰- بازوهای مرتعش، ۱۱- زانوی ۹۰ درجه، ۱۲- محفظه شناورسازی، ۱۳- پایه های مستهلک کننده لرزش، ۱۴- شاسی)



شکل ۲. تغییرات رطوبت نسبی هوای خروجی نسبت به زمان در دو دمای ۹۰ و ۱۱۰ °C

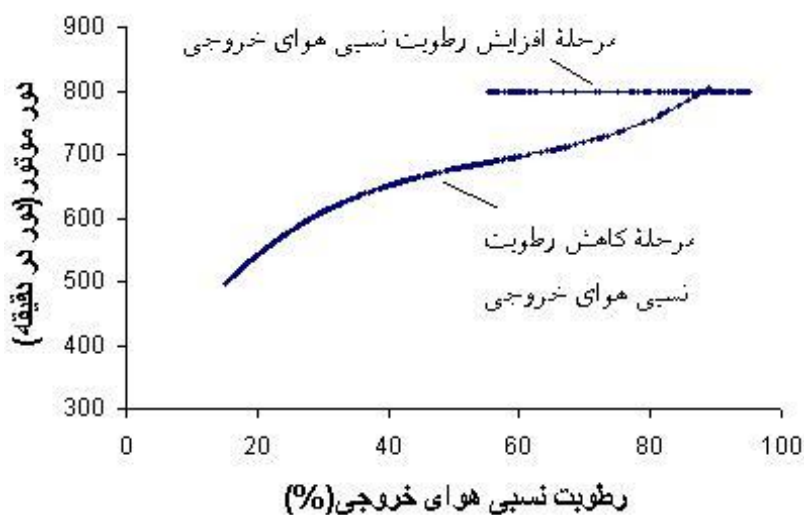


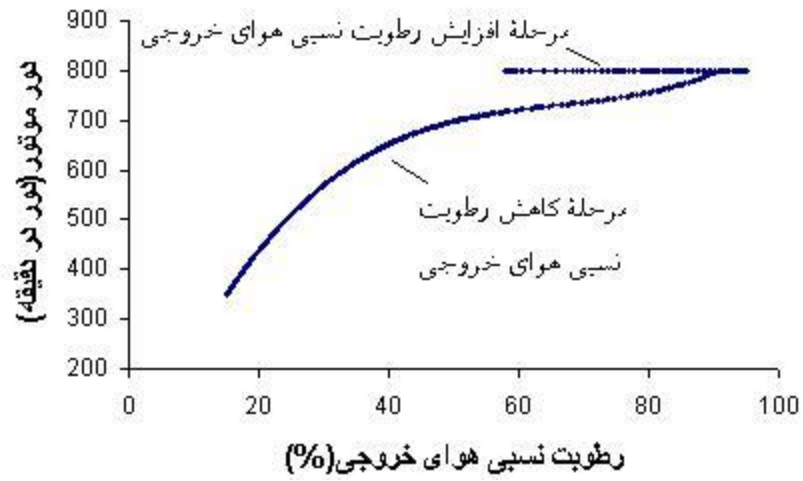
شکل ۳. تغییرات سرعت موتور نسبت به رطوبت نسبی هوای خروجی در دمای ۹۰ °C



شکل ۴. تغییرات سرعت موتور نسبت به رطوبت نسبی هوای خروجی در دمای ۱۱۰ °C

شکل ۵. تغییرات سرعت موتور با رطوبت نسبی هوای خروجی در طی آزمایش مجدد در دمای ۹۰ °C





شکل ۶. تغییرات سرعت موتور با رطوبت نسبی هوای خروجی در طی آزمایش مجدد در دمای ۱۱۰ °C