

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه سینا

دانشکده کشاورزی

گروه آموزشی مهندسی بیوسیستم

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

عنوان:

بهینه سازی فرآیند خشک کردن چند مرحله‌ای بادام در خشک‌کن‌های
میکروویو، پیوسته نیمه صنعتی و خلأی به کمک روش سطح پاسخ و الگوریتم
ژنتیک

استاد راهنما:

دکتر رضا امیری چایجان

نگارش:

میثم صفری

۳۰ دی ۱۳۹۳

کد رهگیری ثبت پروپوزال: ۱۰۹۸۱۳۰

کد رهگیری ثبت پایان نامه: ۲۲۰۲۹۱۹

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

....., Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات خارجی

..... گروه دانشکده دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

مقالات داخلی

تقدیم به

مادر و مادر عزیزم

آنان که ناتوان شدند تا به توانایی برسند
مویشان سپید شد تا رو سفید شوم
و عاشقانه سوختند تا کرم بخش وجود و رو منکر را هم باشند

,

خواهران دلوزم

که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است

جمله جمله نه! واژه واژه تورا / ای سفر کرده گفتگو کردیم
کوچه کوچه نه! خانه خانه تورا / سالیانی ست بسجود کردیم
سوره سوره نه! آیه آیه تورا / در مناجات آرزو کردیم
جمعه جمعه نه! لحظه لحظه تورا / نذبه کردیم و های و هو کردیم...

«اللهم عجل لولیک الفرج»

مَنّتِ خدایِ راعِز و جَلّ که طاعتش موجبِ قربت است و به سِکَر لَدَرش فریدِ نِعْمَت.

الهی مراد کن تادانش اندکم نه زردبانی باشد برای فزونی تکبر و غرور، نه حلقه‌ای برای اسارت و نه دست‌یاری برای تجارت، بلکه گامی باشد برای تجلیل از تو و متعالی ساختن زندگی خود و دیگران.

حال که توفیق جمع آوری و تهیه این مجموعه را یافته‌ام بر خود واجب می‌دانم از تمامی عزیزانی که در طی انجام این پژوهش از راهبانی و یاریشان بهره‌مند گشته‌ام تشکر و قدردانی کنم و برای ایشان از درگاه پروردگار مهربان آرزوی سعادت و سربلندی نمایم.

در ابتدا صمیمانه‌ترین تقدیرها تقدیم به خانواده عزیز و مهربانم که همواره حامی و مشوقم بوده‌اند و بی‌شودن روزهای سخت و آسان زندگی‌ام بدون دعای خیر و برکت وجودشان غیر ممکن بود.

از استاد راهبانی بزرگوارم جناب آقای دکتر رضا امیری چایجان که در طی این پروژه به بنده لطف داشته و با حمایت‌های بی‌دریغ و راهبانی خود در زمینه اخلاقی و علمی مرا یاری نمودند صمیمانه سپاسگزارم و از خداوند متعال برایشان آرزوی سلامتی و سربلندی دارم.

از اساتید محترم آقایان دکتر ابراهیم احمدی و دکتر حسین باقرپور که زحمات با زحمت‌ناز و داوری این مجموعه را به عهده داشتند، صمیمانه قدردانی می‌نمایم. و در نهایت از تمامی دوستان و هم‌کلاسی‌های عزیزم که در طول این مدت افتخار آشنایی و مصاحبت با آنها را داشتم، به پاس محبت‌های بی‌دریشان سپاسگزارم.

یثم صفری

مقدمه.....	۱
اهداف.....	۴
۱- بررسی منابع.....	۷
۱-۱- تاریخچه و مشخصات گیاهشناسی بادام.....	۷
۱-۱-۱- قدمت میوه بادام.....	۷
۲-۱-۱- مشخصات گیاهشناسی درخت بادام.....	۷
۳-۱-۱- مشخصات ظاهری درخت بادام.....	۷
۴-۱-۱- ارزش غذایی بادام.....	۸
۵-۱-۱- سطح زیر کشت.....	۸
۲-۱- فرآوری بادام.....	۹
۳-۱- رطوبت.....	۹
۱-۳-۱- مقدار رطوبت.....	۹
۲-۳-۱- انتقال رطوبت.....	۹
۳-۳-۱- انواع رطوبت.....	۱۰
۴-۱- انتقال حرارت و روشهای آن.....	۱۲
۱-۴-۱- هدایت (رسانش).....	۱۲
۲-۴-۱- همرفت.....	۱۳
۳-۴-۱- تابش.....	۱۴
۵-۱- فرآیند خشک کردن.....	۱۴
۶-۱- اهداف خشک کردن.....	۱۵
۷-۱- مدل سازی سینتیکی فرآیند خشک شدن.....	۱۶
۸-۱- اثر خشک کردن بر ماده غذایی.....	۱۶
۹-۱- ضریب پخش موثر و انرژی فعال سازی.....	۱۸
۱۰-۱- انرژی ویژه مصرفی.....	۱۹
۱۱-۱- چروکیدگی.....	۱۹
۱۲-۱- مبانی رنگ.....	۲۰
۱-۱۲-۱- فضای رنگی $L^*a^*b^*$	۲۱
۱۳-۱- انتخاب نوع خشک کن.....	۲۱
۱۴-۱- میکروویو.....	۲۲
۱۵-۱- خشک کردن به روش پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو.....	۲۲
۱۶-۱- عوامل موثر بر سرعت خشک شدن در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو.....	۲۳
۱-۱۶-۱- خصوصیات فیزیکی هوا.....	۲۳
۲-۱۶-۱- ویژگی های ساختمانی محصول.....	۲۴
۳-۱۶-۱- ویژگی های فیزیکی محصول.....	۲۴
۴-۱۶-۱- توان میکروویو.....	۲۵
۱۷-۱- خشک کردن به روش خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۲۵

۱۸-۱- عوامل موثر بر سرعت خشک شدن در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو	۲۵
۱-۱۸-۱- تاثیر فشار خلاء در خشک شدن	۲۵
۱۹-۱- خشک کردن به روش مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو	۲۶
۲۰-۱- عوامل موثر بر سرعت خشک شدن در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو	۲۶
۱-۲۰-۱- پرتو مادون قرمز	۲۶
۲۱-۱- طراحی آزمایش ها	۲۷
۲۲-۱- بهینه سازی	۲۷
۱-۲۲-۱- بهینه سازی به روش سطح پاسخ (RSM)	۲۸
۲-۲۲-۱- روش طرح مرکب مرکزی (CCD)	۲۹
۳-۲۲-۱- بهینه سازی به روش الگوریتم ژنتیک (GA)	۳۰
۲۳-۱- تحقیقات انجام شده در زمینه خشک کردن	۳۱
۲۴-۱- ضرورت خشک کردن بادام	۳۷
۲- مواد و روش ها	۴۱
۱-۲- خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو	۴۱
۱-۱-۲- دستگاه میکروویو	۴۳
۲-۱-۲- سیستم گرمایشی	۴۳
۳-۱-۲- سیستم حرکت تسمه نقاله	۴۴
۴-۱-۲- سیستم تولید هوا	۴۴
۵-۱-۲- ظرف خشک کن	۴۵
۶-۱-۲- ترازو	۴۵
۷-۱-۲- دماسنج، رطوبت سنج هوا و سرعت سنج هوا	۴۵
۲-۲- خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو	۴۵
۱-۲-۲- پمپ خلاء	۴۶
۲-۲-۲- لامپ مادون قرمز	۴۶
۳-۲-۲- ظرف خشک کن و کنترل دما و فشار	۴۷
۳-۲-۲- خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو	۴۷
۱-۳-۲- واحد کنترل	۴۷
۲-۳-۲- لامپ مادون قرمز	۴۸
۳-۳-۲- دمنده گریز از مرکز	۴۸
۴-۳-۲- المنت های حرارتی	۴۸
۴-۲- آماده سازی نمونه ها	۴۹
۱-۴-۲- جمع آوری نمونه ها	۴۹
۲-۴-۲- تعیین رطوبت اولیه	۴۹
۳-۴-۲- تنظیم دما، سرعت تسمه و سرعت هوای ورودی در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو	۴۹
۴-۴-۲- تنظیم دما و فشار خلاء در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو	۵۰

۵۰-۴-۲- تنظیم دما و توان لامپ‌ها در خشک‌کن مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو	۵۰
۵۰-۲- روش انجام آزمایش در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش‌تیمار میکروویو	۵۰
۵۱-۵-۲- خشک‌کردن بادام با خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش‌تیمار میکروویو	۵۱
۵۱-۶-۲- روش انجام آزمایش در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو	۵۱
۵۱-۶-۲- خشک‌کردن بادام با خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو	۵۱
۵۲-۷-۲- روش انجام آزمایش در خشک‌کن مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو	۵۲
۵۲-۱-۷-۲- خشک‌کردن بادام با خشک‌کن مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو	۵۲
۵۲-۸-۲- روند خشک‌کردن	۵۲
۵۳-۱-۸-۲- نسبت رطوبت	۵۳
۵۳-۲-۸-۲- قطر میانگین هندسی	۵۳
۵۳-۳-۸-۲- محاسبه ضریب پخش رطوبت موثر و انرژی فعال‌سازی	۵۳
۵۵-۴-۸-۲- ارزیابی مدل	۵۵
۵۷-۵-۸-۲- چروکیدگی	۵۷
۵۷-۶-۸-۲- محاسبه انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن‌های پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش‌تیمار میکروویو و مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو	۵۷
۵۸-۷-۸-۲- محاسبه انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو	۵۸
۵۸-۸-۸-۲- رنگ‌سنجی نمونه‌ها	۵۸
۵۹-۹-۲- بهینه‌سازی به روش سطح پاسخ	۵۹
۶۳-۱۰-۲- بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک	۶۳
۶۷-۳- نتایج و بحث	۶۷
۶۷-۱-۳- سینتیک خشک‌کردن	۶۷
۷۴-۲-۳- استخراج مدل سینتیک خشک‌شدن	۷۴
۷۹-۳-۳- ضریب پخش رطوبت موثر و انرژی فعال‌سازی	۷۹
۹۴-۴-۳- مدل ریاضی ضریب پخش رطوبت مؤثر	۹۴
۹۶-۵-۳- تغییرات چروکیدگی	۹۶
۱۰۲-۶-۳- مدل ریاضی چروکیدگی	۱۰۲
۱۰۴-۷-۳- انرژی مصرفی ویژه	۱۰۴
۱۰۹-۸-۳- مدل ریاضی انرژی مصرفی ویژه	۱۰۹
۱۱۲-۹-۳- بررسی تغییرات کلی رنگی	۱۱۲
۱۱۸-۱۰-۳- مدل ریاضی تغییرات کلی رنگ	۱۱۸
۱۲۱-۱۱-۳- بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن مغز بادام به روش سطح پاسخ	۱۲۱
۱۲۶-۱۲-۳- بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن مغز بادام به روش الگوریتم ژنتیک	۱۲۶
۱۲۹- نتیجه‌گیری	۱۲۹
۱۳۱- پیشنهادها	۱۳۱
۱۳۳- منابع	۱۳۳

- جدول ۱-۱- مدل‌های خشک کردن به روش لایه نازک..... ۱۷
- جدول ۱-۲- مدل‌های خشک کردن مورد استفاده به روش لایه نازک برای مغز بادام..... ۵۶
- جدول ۲-۲- سطوح کدبندی شده بیشینه، متوسط و کمینه متغیرهای مستقل در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو..... ۶۱
- جدول ۳-۲- نقشه آزمایش‌های فرآیند خشک کردن بادام برای خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو در نرم افزار دیزاین اکسپرت..... ۶۱
- جدول ۴-۲- سطوح کدبندی شده بیشینه، متوسط و کمینه متغیرهای مستقل در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۶۲
- جدول ۵-۲- نقشه آزمایش‌های فرآیند خشک کردن بادام برای خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو در نرم افزار دیزاین اکسپرت..... ۶۲
- جدول ۶-۲- سطوح کدبندی شده بیشینه، متوسط و کمینه متغیرهای مستقل در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۶۳
- جدول ۷-۲- نقشه آزمایش‌های فرآیند خشک کردن بادام برای خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو در نرم افزار دیزاین اکسپرت..... ۶۳
- جدول ۱-۳- نتایج تجزیه واریانس برای زمان خشک کردن مغز بادام در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو..... ۷۱
- جدول ۲-۳- نتایج تجزیه واریانس برای زمان خشک کردن مغز بادام در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۷۲
- جدول ۳-۳- نتایج تجزیه واریانس برای زمان خشک کردن مغز بادام در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۷۳
- جدول ۴-۳- مقادیر میانگین R^2 ، χ^2 و RMSE برای تمامی مدل‌ها برای پیش بینی سینتیک خشک کردن مغز بادام در تمام شرایط آزمایشگاهی در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو..... ۷۵
- جدول ۵-۳- مقادیر میانگین R^2 ، χ^2 و RMSE برای تمامی مدل‌ها برای پیش بینی سینتیک خشک کردن مغز بادام در تمام شرایط آزمایشگاهی در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۷۵
- جدول ۶-۳- مقادیر میانگین R^2 ، χ^2 و RMSE برای تمامی مدل‌ها برای پیش بینی سینتیک خشک کردن مغز بادام در تمام شرایط آزمایشگاهی در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۷۵
- جدول ۷-۳- نتایج بدست آمده برای مدل میدلی و همکاران برای پیش بینی سینتیک خشک کردن مغز بادام در تمام شرایط آزمایشگاهی در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو..... ۷۶
- جدول ۸-۳- نتایج بدست آمده برای مدل میدلی و همکاران برای پیش بینی سینتیک خشک کردن مغز بادام در تمام شرایط آزمایشگاهی در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۷۷
- جدول ۹-۳- نتایج بدست آمده برای مدل میدلی و همکاران برای پیش بینی سینتیک خشک کردن مغز بادام در تمام شرایط

آزمایشگاهی در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۷۸
جدول ۳-۱۰- مقادیر ضریب پخش رطوبت موثر مغز بادام در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو.....	۸۳
جدول ۳-۱۱- مقادیر ضریب پخش رطوبت موثر مغز بادام در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۸۴
جدول ۳-۱۲- مقادیر ضریب پخش رطوبت موثر مغز بادام در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۸۵
جدول ۳-۱۳- نتایج تجزیه واریانس برای ضریب پخش رطوبت مؤثر در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو.....	۸۸
جدول ۳-۱۴- نتایج تجزیه واریانس برای ضریب پخش رطوبت مؤثر در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۸۹
جدول ۳-۱۵- نتایج تجزیه واریانس برای ضریب پخش رطوبت مؤثر در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۹۰
جدول ۳-۱۶- انرژی فعال سازی برای مغز بادام در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو.....	۹۳
جدول ۳-۱۷- انرژی فعال سازی برای مغز بادام در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۹۳
جدول ۳-۱۸- انرژی فعال سازی برای مغز بادام در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۹۳
جدول ۳-۱۹- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی ضریب پخش رطوبت مؤثر در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو.....	۹۵
جدول ۳-۲۰- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی ضریب پخش رطوبت مؤثر در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۹۵
جدول ۳-۲۱- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی ضریب پخش رطوبت مؤثر در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۹۵
جدول ۳-۲۲- نتایج تجزیه واریانس برای چروکیدگی مغز بادام در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو.....	۹۹
جدول ۳-۲۳- نتایج تجزیه واریانس برای چروکیدگی مغز بادام در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۱۰۰
جدول ۳-۲۴- نتایج تجزیه واریانس برای چروکیدگی مغز بادام در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۱۰۱
جدول ۳-۲۵- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی چروکیدگی مغز بادام در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو.....	۱۰۲
جدول ۳-۲۶- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی چروکیدگی مغز بادام در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۱۰۳
جدول ۳-۲۷- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی چروکیدگی مغز بادام در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....	۱۰۴
جدول ۳-۲۸- نتایج تجزیه واریانس برای انرژی مصرفی ویژه در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو.....	۱۰۶

- جدول ۳-۲۹- نتایج تجزیه واریانس برای انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.. ۱۰۷
- جدول ۳-۳۰- نتایج تجزیه واریانس برای انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۱۰۸
- جدول ۳-۳۱- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش تیمار میکروویو..... ۱۱۰
- جدول ۳-۳۲- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۱۱۱
- جدول ۳-۳۳- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۱۱۲
- جدول ۳-۳۴- نتایج تجزیه واریانس برای تغییرات کلی رنگ نمونه‌های مغز بادام در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش تیمار میکروویو..... ۱۱۵
- جدول ۳-۳۵- نتایج تجزیه واریانس برای تغییرات کلی رنگ نمونه‌های مغز بادام در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۱۱۶
- جدول ۳-۳۶- نتایج تجزیه واریانس برای تغییرات کلی رنگ نمونه‌های مغز بادام در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۱۱۷
- جدول ۳-۳۷- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی تغییرات کلی رنگ در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش تیمار میکروویو..... ۱۱۸
- جدول ۳-۳۸- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی تغییرات کلی رنگ در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۱۱۹
- جدول ۳-۳۹- اطلاعات آماری مربوط به مدل تجربی تغییرات کلی رنگ در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۱۲۰
- جدول ۳-۴۰- نتایج بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن مغز بادام در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش تیمار میکروویو..... ۱۲۶
- جدول ۳-۴۱- نتایج بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن مغز بادام در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۱۲۷
- جدول ۳-۴۲- نتایج بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن مغز بادام در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو..... ۱۲۸

- شکل ۱-۱-۱- منحنی هم‌دمای جذب و دفع رطوبت برای یک نمونه محصول کشاورزی ۱۱
- شکل ۱-۲-۱- نمودار نمایش طیف‌های الکترومغناطیسی ۲۷
- شکل ۱-۲-۲- محفظه خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو ۴۲
- شکل ۲-۲-۲- تابلو برق دستگاه خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو ۴۲
- شکل ۳-۲-۳- قسمت میانی دستگاه خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو ۴۳
- شکل ۴-۲-۴- دستگاه میکروویو ۴۳
- شکل ۵-۲-۵- خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو ۴۶
- شکل ۶-۲-۶- خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو ۴۸
- شکل ۱-۳-۱- سینتیک خشک‌کردن مغز بادام در تمام سطوح آزمایشی (45°C ، 60°C و 75°C) در خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو ۶۸
- شکل ۲-۳-۲- سینتیک خشک‌کردن مغز بادام در تمام سطوح آزمایشی (45°C ، 60°C و 75°C) در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو ۶۹
- شکل ۳-۳-۳- سینتیک خشک‌کردن مغز بادام در تمام سطوح آزمایشی (45°C ، 60°C و 75°C) در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو ۷۰
- شکل ۴-۳-۴- اثرات متقابل دمای هوا×سرعت تسمه و توان میکروویو×سرعت تسمه بر زمان خشک‌شدن مغز بادام در خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو ۷۱
- شکل ۵-۳-۵- اثر متقابل دمای هوا×فشار خلاء و اثر توان میکروویو بر زمان خشک‌شدن مغز بادام در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو ۷۲
- شکل ۶-۳-۶- اثر دمای هوا، توان میکروویو و توان مادون قرمز بر زمان خشک‌شدن مغز بادام در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو ۷۳
- شکل ۷-۳-۷- لگاریتم نسبت رطوبت ($\text{Ln}(\text{MR})$) در مقابل زمان (ساعت) در شرایط مختلف خشک‌کردن مغز بادام در خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو (45°C ، 60°C و 75°C) ۸۰
- شکل ۸-۳-۸- لگاریتم نسبت رطوبت ($\text{Ln}(\text{MR})$) در مقابل زمان (ساعت) در شرایط مختلف خشک‌کردن مغز بادام در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو (45°C ، 60°C و 75°C) ۸۱
- شکل ۹-۳-۹- لگاریتم نسبت رطوبت ($\text{Ln}(\text{MR})$) در مقابل زمان (ساعت) در شرایط مختلف خشک‌کردن مغز بادام در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو (45°C ، 60°C و 75°C) ۸۲
- شکل ۱۰-۳-۱۰- تأثیر دمای هوا و توان میکروویو بر روی ضریب پخش موثر مغز بادام، در خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو (45°C ، 60°C و 75°C) ۸۶
- شکل ۱۱-۳-۱۱- تأثیر دمای هوا و توان میکروویو بر روی ضریب پخش موثر مغز بادام، در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو (45°C ، 60°C و 75°C) ۸۶
- شکل ۱۲-۳-۱۲- تأثیر دمای هوا و توان میکروویو بر روی ضریب پخش موثر مغز بادام، در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو ۸۶

- ۸۶..... میکروویو (45°C ، 60°C و 75°C).....
- شکل ۳-۱۳- اثرات متقابل متغیرهای مختلف بر ضریب پخش رطوبت موثر در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۸۸.....
- شکل ۳-۱۴- اثر متقابل دمای هوا \times توان میکروویو و اثر فشار خلاء بر ضریب پخش رطوبت مؤثر در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۸۹.....
- شکل ۳-۱۵- اثر متقابل دمای هوا \times توان میکروویو و اثر توان مادون قرمز بر ضریب پخش رطوبت مؤثر در خشک‌کن مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۹۰.....
- شکل ۳-۱۶- مقادیر $\text{Ln}(D_{\text{eff}})$ در مقابل $1/T_a$ برای خشک‌کردن مغز بادام در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۹۱.....
- شکل ۳-۱۷- مقادیر $\text{Ln}(D_{\text{eff}})$ در مقابل $1/T_a$ برای خشک‌کردن مغز بادام در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۹۲.....
- شکل ۳-۱۸- مقادیر $\text{Ln}(D_{\text{eff}})$ در مقابل $1/T_a$ برای خشک‌کردن مغز بادام در خشک‌کن مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۹۲.....
- شکل ۳-۱۹- مقادیر واقعی ضریب پخش رطوبت موثر در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۹۵.....
- شکل ۳-۲۰- مقادیر واقعی ضریب پخش رطوبت موثر در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۹۶.....
- شکل ۳-۲۱- مقادیر واقعی ضریب پخش رطوبت موثر در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده در خشک‌کن مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۹۶.....
- شکل ۳-۲۲- مقایسه درصد چروکیدگی در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش‌تیمار میکروویو برای تمامی سطوح آزمایشی در دماهای مختلف (45°C ، 60°C و 75°C).....
- ۹۷.....
- شکل ۳-۲۳- مقایسه درصد چروکیدگی در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو برای تمامی سطوح آزمایشی در دماهای مختلف (45°C ، 60°C و 75°C).....
- ۹۸.....
- شکل ۳-۲۴- مقایسه درصد چروکیدگی در خشک‌کن مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو برای تمامی سطوح آزمایشی در دماهای مختلف (45°C ، 60°C و 75°C).....
- ۹۸.....
- شکل ۳-۲۵- تأثیر دمای هوا بر چروکیدگی نمونه‌های مغز بادام در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۹۹.....
- شکل ۳-۲۶- تأثیر دمای هوا، توان میکروویو و فشار خلاء بر چروکیدگی نمونه‌های مغز بادام در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۱۰۰.....
- شکل ۳-۲۷- اثرات متقابل دمای هوا \times توان مادون قرمز و دمای هوا \times توان میکروویو بر چروکیدگی نمونه‌های مغز بادام در خشک‌کن مادون قرمز با پیش‌تیمار میکروویو.....
- ۱۰۱.....
- شکل ۳-۲۸- مقادیر واقعی چروکیدگی مغز بادام در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش-

- ۱۰۲..... تیمار میکروویو
 شکل ۳-۲۹- مقادیر واقعی چروکیدگی مغز بادام در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش-
 تیمار میکروویو
 شکل ۳-۳۰- مقادیر واقعی چروکیدگی مغز بادام در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار
 میکروویو
 شکل ۳-۳۱- مقایسه مقادیر انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش تیمار میکروویو برای تمامی
 سطوح آزمایشی در دماهای مختلف (45°C ، 60°C و 75°C)
 شکل ۳-۳۲- مقایسه مقادیر انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو برای تمامی
 سطوح آزمایشی در دماهای مختلف (45°C ، 60°C و 75°C)
 شکل ۳-۳۳- مقایسه مقادیر انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو برای تمامی سطوح
 آزمایشی در دماهای مختلف (45°C ، 60°C و 75°C)
 شکل ۳-۳۴- اثرات متقابل دمای هوا×توان میکروویو، دمای هوا×سرعت تسمه و توان میکروویو×سرعت تسمه بر انرژی
 مصرفی ویژه خشک‌شدن مغز بادام در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش تیمار میکروویو
 شکل ۳-۳۵- اثرات متقابل دمای هوا×توان میکروویو و دمای هوا×فشار خلاء بر انرژی مصرفی ویژه نمونه‌های مغز بادام در
 خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو
 شکل ۳-۳۶- اثرات متقابل دمای هوا×توان مادون قرمز بر انرژی مصرفی ویژه نمونه‌های مغز بادام در خشک‌کن مادون
 قرمز با پیش تیمار میکروویو
 شکل ۳-۳۷- مقادیر واقعی انرژی مصرفی ویژه در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای خشک کردن مغز بادام در خشک‌کن
 پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش تیمار میکروویو
 شکل ۳-۳۸- مقادیر واقعی انرژی مصرفی ویژه در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای خشک کردن مغز بادام در خشک‌کن
 خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو
 شکل ۳-۳۹- مقادیر واقعی انرژی مصرفی ویژه در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای خشک کردن مغز بادام در خشک‌کن
 مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو
 شکل ۳-۴۰- تأثیر دمای هوا و توان میکروویو بر روی تغییرات کلی رنگ مغز بادام، در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با
 پیش تیمار میکروویو (45°C ، 60°C و 75°C)
 شکل ۳-۴۱- تأثیر دمای هوا و توان میکروویو بر روی تغییرات کلی رنگ مغز بادام، در خشک‌کن خلاء-مادون قرمز با
 پیش تیمار میکروویو (45°C ، 60°C و 75°C)
 شکل ۳-۴۲- تأثیر دمای هوا و توان میکروویو بر روی تغییرات کلی رنگ مغز بادام، در خشک‌کن مادون قرمز با پیش تیمار
 میکروویو (45°C ، 60°C و 75°C)
 شکل ۳-۴۳- اثر توان میکروویو بر تغییرات کلی رنگ نمونه‌های مغز بادام در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش تیمار
 میکروویو
 شکل ۳-۴۴- تأثیر اثر متقابل دمای هوا×توان میکروویو و اثر فشار خلاء بر تغییرات کلی رنگ نمونه‌های مغز بادام در

- ۱۱۷..... خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....
- شکل ۳-۴۵- تأثیر دمای هوا، توان مادون قرمز و توان میکروویو بر تغییرات کلی رنگ نمونه‌های مغز بادام در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....
- ۱۱۸.....
- شکل ۳-۴۶- مقادیر واقعی تغییرات کلی رنگ در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده نمونه‌های مغز بادام در خشک کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش تیمار میکروویو.....
- ۱۱۹.....
- شکل ۳-۴۷- مقادیر واقعی تغییرات کلی رنگ در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده نمونه‌های مغز بادام در خشک کن خلاء- مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....
- ۱۲۰.....
- شکل ۳-۴۸- مقادیر واقعی تغییرات کلی رنگ در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده نمونه‌های مغز بادام در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....
- ۱۲۱.....
- شکل ۳-۴۹- منحنی مطلوبیت (سطح بهینه) در سرعت خطی تسمه ۱۰/۵۰ میلی‌متر بر ثانیه در دمای هوا و توان‌های میکروویو مختلف در خشک کن پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش تیمار میکروویو.....
- ۱۲۲.....
- شکل ۳-۵۰- منحنی مطلوبیت (سطح بهینه) در فشار خلاء ۳۳/۹۵ کیلوپاسکال در دمای هوا و توان‌های میکروویو مختلف در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....
- ۱۲۳.....
- شکل ۳-۵۱- منحنی مطلوبیت (سطح بهینه) در توان مادون قرمز ۱۵۰۰ وات در دمای هوا و توان‌های میکروویو مختلف در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو.....
- ۱۲۳.....

فهرست علائم و نمادها

واحد	عنوان	پارامتر	واحد	عنوان	پارامتر
-	ثابت‌های معادله‌های تجربی	k, g h, a b, c t, n	m	قطر بزرگ مغز بادام	A
-	شیب خط برای محاسبه E_a	K_1	m	قطر کوچک مغز بادام	B
kW	توان اسمی پمپ خلاء	L	m	قطر متوسط مغز بادام	C
-	پارامترهای رنگ	$L*a*b^*$	-	طرح مرکب مرکزی	CCD
%	رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه	M	-	طرح گردش پذیر کامپوزیت مرکزی	CCRD
%	رطوبت تعادلی	M_e	-	تعداد آزمایش‌های مربوط به تکرار نقطه مرکزی در روش سطح پاسخ	C_0
-	نسب رطوبت	MR	J/kg°C	ظرفیت گرمایی ویژه هوا	C_{Pa}
-	\dot{m} مین پیش‌بینی نسبت رطوبت است	$MR_{exp,i}$	J/kg°C	ظرفیت گرمایی ویژه بخار	C_{Pv}
-	\dot{m} مین نسبت رطوبت آزمایش	$MR_{pre,i}$	m ² /s	ثابت ضریب پخش مؤثر رطوبت	D_0
%	رطوبت اولیه	M_o	m ² /s	ضریب پخش مؤثر رطوبت	D_{eff}
kg	جرم آب حذف شده	m_v	m	قطر متوسط هندسی مغز بادام	D_g
-	تعداد آزمایش‌ها در روش سطح پاسخ	N	kJ/mol	انرژی فعال‌سازی	E_a
W	توان مادون قرمز	P_{IR}	kg _{vapor} /k _{dry air}	رطوبت مطلق	h_a
W	توان میکروویو	P_{MW}	-	تعداد پارامترها در روش سطح پاسخ	K
kPa	فشار خلاء	P_v	-	تعداد متغیرها	k
M ³ /s	دبی هوای ورودی	Q	-	شیب خط برای محاسبه D_{eff}	K_0

واحد	عنوان	پارامتر	واحد	عنوان	پارامتر
m	موقعیت محوری	x	-	ضریب تعیین	R^2
-	متغیر پاسخ در روش سطح پاسخ	y	m	شعاع کره	r_0
-	مقدار واقعی هر پارامتر	X_i	kJ/mol.°K	ثابت جهانی گازها	R_g
-	متغیر مستقل	x_j	-	ریشه میانگین مربعات خطا	RMSE
-	بیشینه مقدار پارامتر مورد نظر	X_{max}	-	روش سطح پاسخ	RSM
-	تغییرات کلی رنگ	ΔE	%	چروکیدگی	S_b
-	تغییرات پارامتر L^*	ΔL^*	J/kg	انرژی ویژه مصرفی	SEC
-	تغییرات پارامتر a^*	Δa^*	s	زمان	t
-	تغییرات پارامتر b^*	Δb^*	°C	دمای هوا	T
-	ضرایب متغیرها	β_j	K	دمای مطلق هوا	T_{abs}
-	ضریب اثرهای متقابل متغیرها	β_{ij}	°C	دمای هوای محیط	T_{am}
-	مربع کای	χ^2	m ³	حجم قبل از خشک کردن	V_0
			m ³ /kg	حجم ویژه هوا	V_h



دانشگاه بوعلی سینا
مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

بهینه سازی فرآیند خشک کردن چند مرحله ای بادام در خشک کن های میکروویو، پیوسته نیمه صنعتی و خلائی به کمک روش سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک

نام نویسنده: میثم صفری

نام استاد راهنما: دکتر رضا امیری چایجان

نام اساتید مشاور: -

دانشکده: کشاورزی

گروه آموزشی: مهندسی بیوسیستم

رشته تحصیلی: مهندسی کشاورزی

گرایش تحصیلی: مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ تصویب پروپوزال: ۱۳۹۲/۰۸/۱۲

تاریخ دفاع: ۱۳۹۳/۱۰/۳۰

تعداد صفحات: ۱۴۰

چکیده:

هدف از انجام این پژوهش بهینه سازی فرآیند خشک کردن مغز بادام در خشک کن های پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو، خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو و مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو بود. آزمایش ها در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو در سه سطح دمای هوای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سلسیوس، سه سطح سرعت خطی تسمه نقاله ۲/۵، ۶/۵ و ۱۰/۵ میلی متر بر ثانیه و سه سطح توان میکروویو ۲۷۰، ۴۵۰ و ۶۳۰ وات، در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو در سه سطح دمای هوای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سلسیوس، سه سطح فشار خلاء ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلو پاسکال و سه سطح توان میکروویو ۲۷۰، ۴۵۰ و ۶۳۰ وات و در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو در سه سطح دمای هوای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سلسیوس، سه سطح توان مادون قرمز ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ وات و سه سطح توان میکروویو ۲۷۰، ۴۵۰ و ۶۳۰ وات انجام شد. به منظور پیش بینی رطوبت در طی فرآیند خشک کردن از هفت مدل ریاضی استفاده شد. بهترین مدل برای بیان رفتار خشک شدن مغز بادام با توجه به بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار برای χ^2 و $RMSE$ انتخاب شد. نتایج نشان داد که مدل میدیلی دارای بهترین عملکرد در پیش بینی رطوبت مغز بادام در تمامی خشک کن ها بود. مقادیر ضریب پخش رطوبت موثر، چروکیدگی، انرژی مصرفی ویژه و تغییرات کلی رنگ برای مغز بادام در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو به ترتیب بین $10^{-10} \times 4/96 \text{ m}^2/\text{s}$ تا $10^{-9} \times 4/73 \text{ m}^2/\text{s}$ ، $10/86$ تا $8/17$ ، $4/76$ تا $9/46$ ، در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو به ترتیب بین $10^{-10} \times 8/03 \text{ m}^2/\text{s}$ تا $10^{-9} \times 5/33 \text{ m}^2/\text{s}$ ، $7/78$ تا $14/14$ ، $16/16$ تا $2/29 \text{ MJ/kg}$ و $2/61$ تا $8/85$ و در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو به ترتیب بین $10^{-10} \times 5/64 \text{ m}^2/\text{s}$ تا $10^{-9} \times 4/43 \text{ m}^2/\text{s}$ ، $6/51$ تا $13/07$ ، $1/10$ تا $3/25 \text{ MJ/kg}$ و $3/21$ تا $9/05$ به دست آمدند. مقدار انرژی فعال سازی به دست آمده برای مغز بادام برای خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو بین $10/29$ و $28/15$ کیلوژول بر مول، برای خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو بین $28/73$ و $51/84$ کیلوژول بر مول و برای خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو بین $15/25$ و $36/24$ کیلوژول بر مول بود. در این مطالعه برای تجزیه و تحلیل داده ها و بهینه سازی فرآیند خشک کردن مغز بادام از روش سطح پاسخ و روش الگوریتم ژنتیک استفاده شد. در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی با پیش تیمار میکروویو، مقادیر بهینه برای چروکیدگی، ضریب پخش رطوبت موثر، انرژی مصرفی ویژه و تغییرات کلی رنگ به روش سطح پاسخ به ترتیب $6/40$ ، $2/33 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ، $39/28 \text{ GJ/kg}$ ، $5/78$ ، در دمای هوای ۴۵ درجه سلسیوس، توان میکروویو $473/13$ وات و سرعت خطی تسمه $10/50$ میلی متر بر ثانیه با میزان مطلوبیت $75/2\%$ پیشنهاد شد. در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو، مقادیر بهینه برای چروکیدگی، ضریب پخش رطوبت موثر، انرژی مصرفی ویژه و تغییرات کلی رنگ به روش سطح پاسخ به ترتیب $7/81$ ، $1/25 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ، $33/95$ کیلو پاسکال با میزان مطلوبیت $54/01$ و $3/30$ ، در دمای هوای ۴۵ درجه سلسیوس، توان میکروویو 270 وات و فشار خلاء $33/95$ کیلو پاسکال با میزان مطلوبیت

۶۸٪ پیشنهاد شد. در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو، مقادیر بهینه برای چروکیدگی، ضریب پخش رطوبت موثر، انرژی مصرفی ویژه و تغییرات کلی رنگ به روش سطح پاسخ به ترتیب ۰/۶/۹۱٪، $2/26 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ ، $4/84$ و $1/91 \text{ GJ/kg}$ ، در دمای هوای ۴۵ درجه سلسیوس، توان میکروویو ۵۳۷/۱۱ وات و توان مادون قرمز ۱۵۰۰ وات با میزان مطلوبیت ۷۳/۵٪ پیشنهاد شد. در خشک کن پیوسته نیمه-صنعتی با پیش تیمار میکروویو، نقطه بهینه برای خشک کردن مغز بادام به روش الگوریتم ژنتیک، در دمای هوای ۴۵ درجه سلسیوس، توان میکروویو ۴۷۳/۶۳ وات و سرعت خطی تسمه ۱۰/۴۳ میلی متر بر ثانیه بدست آمد. در خشک کن خلاء-مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو، نقطه بهینه برای خشک کردن مغز بادام به روش الگوریتم ژنتیک، در دمای هوای ۴۵ درجه سلسیوس، توان میکروویو ۲۷۰ وات و فشار خلاء ۳۴/۰۵ کیلو پاسکال بدست آمد. در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار میکروویو، نقطه بهینه برای خشک کردن مغز بادام به روش الگوریتم ژنتیک، در دمای هوای ۴۵ درجه سلسیوس، توان میکروویو ۵۳۷ وات و توان مادون قرمز ۱۵۰۰ وات بدست آمد. با توجه به ظرفیت بالای خشک کن پیوسته نیمه-صنعتی با پیش تیمار میکروویو، پیشنهاد می شود که در فرآیند خشک کردن مغز بادام از این خشک کن استفاده شود.

واژه های کلیدی: بهینه سازی، مغز بادام، روش سطح پاسخ، روش الگوریتم ژنتیک