

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی مازندران  
مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی نوشیروانی

مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی نوشیروانی بابل  
دانشکده مهندسی مکانیک

موضوع :

بهینه سازی سیستم خشک کن شالی بستر عمودی گردشی

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد  
مهندسی مکانیک تبدیل انرژی

اساتید راهنما:

دکتر مفید گرجی و دکتر حسام طاهریان

نگارش:

محمد نیمافر

۱۳۸۷ / ۳ / ۲۳

اسفند ۸۶

۹۳۹۵۶

انجمن اطلاع رسانی علمی  
کتابخانه مرکزی

باسمه تعالی



دانشگاه مازندران  
معاونت آموزشی  
تحصیلات تکمیلی

## ارزشیابی پایان نامه در جلسه دفاعیه

مجمع آموزش عالی فنی مهندسی مازندران

شماره دانشجویی : ۸۴۵۱۷۵۱۶۰۵

نام و نام خانوادگی نازنجو : محمد نیما فر

مقطع : کارشناسی ارشد (فراگیر)

رشته تحصیلی : مهندسی مکانیک تبدیل انرژی

سال تحصیلی : نیمسال دوم ۸۷-۱۳۸۶

عنوان پایان نامه :

«بهبودن سازسی سیستم خشک کن شالی بستر عمودی گردش»

تاریخ دفاع : ۱۳۸۶/۱۲/۱۴

نمره پایان نامه (به عدد) : ۱۸/۵

نمره پایان نامه (به حروف) : هجده و نیم

هیات داوران :

استاد راهنما : دکتر مفیدگرچی

استاد راهنما : دکتر حسام طاهریان

استاد مدعو : دکتر موسی فرهادی

استاد مدعو : دکتر کورش صدیقی

نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی : دکتر محمد باقری مازندران

امضا  
امضا  
امضا  
امضا  
امضا



## تقدیر و تشکر

بر خود واجب می‌دانم از همه افرادی که در انجام این پروژه یاری و مساعدتم نموده‌اند تقدیر و تشکر کنم.

به خصوص از:

جناب دکتر مفید گرجی و جناب دکتر حسام طاهریان که همواره از رهنمودهای ارزشمندشان در مسائل مختلف زندگی برخوردار بوده‌ام و از مشاوره‌های موثر و مستمرشان در طول انجام پروژه بهره‌جسته‌ام.

جناب مهندس رامین نیمافر، جناب مهندس قدیر اسماعیلی، جناب مهندس عباس رامیار و آقای میثم محمدیان به خاطر همکاری و مشاوره‌های دلسوزانه‌شان در به پایان رساندن پروژه‌ام که از مشاوره‌های گرانبهای ایشان در انجام پروژه استفاده کرده‌ام.

تقدیم به پدر عزیزم به دلیل حمایت های بیدریغشان

و

مادر فداکارم به علت ترغیب بی پایانشان به ادامه تحصیل

## چکیده

از آنجاییکه برنج غذای اصلی بیشتر مردم را در کشورهای مختلف تشکیل می دهد، از اینرو اکثر افراد سعی در افزایش این محصول دارند. بنابر تحقیقات سازمان خوار و بار جهانی سازمان ملل (FAO)، میزان ضایعات پس از برداشت بین ۲۵-۷ درصد متغیر است که ۵-۱ درصد این ضایعات مربوط به مرحله خشک کردن می باشد. بنابراین خشک کردن فرآیند بسیار مهمی در مرحله تبدیل شالی می باشد و حفظ کیفیت و کاهش ضایعات در این مرحله ضروری است. اگر در مرحله خشک کردن مشکلات فنی وجود داشته باشد و یا این فرآیند همراه با تاخیر باشد، ضایعات و خسارات محسوسی در کیفیت و کمیت شالی مشاهده می شود. دو دلیل اصلی ضایعات در شالی در حین خشک کردن، نبودن حرارت ارسالی یکنواخت در بستر خوابیده و زمان خشک کردن است. در دستگاه خشک کن شالی بستر عمودی گردشی، انتقال حرارت به طور یکنواخت به بستر ارسال می گردد و میزان ضایعات تا حد قابل قبولی کاهش می یابد. در این تحقیق دستگاه خشک کن شالی بستر عمودی گردشی طراحی و مطالعات آزمایشگاهی بر روی آن انجام شده است. در این پژوهش، منحنی رطوبت بر حسب زمان را به دست آورده و در دماها و دبی های مختلف مورد بررسی قرار داده ایم. همچنین این آزمایش را در زمان ماندهای مختلف انجام داده و در هر آزمونی مصرف سوخت را مورد مطالعه قرار داده ایم. نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و دبی های کمتر از دبی ماگزیمم و زمان ماند ۱۵ دقیقه مصرف سوخت بهینه می شود و میزان ضایعات کاهش می یابد. با مقایسه این خشک کن با دیگر خشک کن های شالی در می یابیم این خشک کن بازده قابل قبولی دارد و در طول فرآیند خشک کردن از کیفیت محصول نکاسته و درصد شکست شلتوک به حداقل مقدار می رسد.

## فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- کشت برنج در نقاط مختلف
۳	۳-۱- کشت برنج در ایران
۳	۴-۱- شرایط مناسب برای کشت برنج
۳	۱-۴-۱- دما
۳	۲-۴-۱- نور
۳	۳-۴-۱- رطوبت
۴	۴-۴-۱- آب
۴	۵-۴-۱- خاک
۴	۵-۱- برداشت محصول
۴	۶-۱- خشک کردن
۵	۱-۶-۱- خشک کردن طبیعی
۵	۲-۶-۱- خشک کردن مصنوعی
۵	۷-۱- خشک کن های رایج در ایران
۶	۱-۷-۱- خشک کن های صندوقی
۶	۲-۷-۱- خشک کن های صندوقی کمپرسی
۷	۳-۷-۱- خشک کن های ایستاده
۸	۴-۷-۱- خشک کن با جریان مداوم
۹	۸-۱- اصول خشک کردن شالی
۹	۹-۱- انتقال حرارت
۹	۱-۹-۱- انتقال حرارت به روش هدایت
۱۰	۲-۹-۱- انتقال حرارت به روش جابجایی
۱۰	۳-۹-۱- انتقال حرارت به روش تشعشع
۱۲	فصل دوم: مطالعه و بررسی خشک کن های موجود

۱۳	۱-۲- اصول خشک کردن
۱۴	۲-۲- خشک کردن شالی در سیستم های موجود
۱۵	۳-۲- انواع خشک کن های مکانیکی و مقایسه آنها
۱۵	۱-۳-۲- خشک کن ثابت بستر افقی
۱۵	۲-۳-۲- خشک کن ثابت گردش مجدد
۱۵	۳-۳-۲- خشک کن ثابت دانشگاه لوئیزیانا
۱۶	۴-۳-۲- خشک کن بافل
۱۶	۵-۳-۲- خشک کن استوانه ای دوار
۱۸	۴-۲- نحوه انتقال حرارت بر درصد ترک
۱۸	۵-۲- تاثیر کاهش رطوبت بر درصد ترک و رطوبت بهینه
۱۹	۶-۲- بررسی میزان ترک نسبت به زمان خشک شدن
۲۰	۷-۲- بررسی و تاثیر زمان استراحت بر خشک شدن
۲۳	۸-۲- خشک کن ساخت کشور هند
۲۷	۱-۸-۲- مقایسه منحنی خشک شدن بین جریان مداوم و با زمان استراحت
۲۸	۲-۸-۲- مقایسه انتقال جرم بین جریان مداوم و با زمان استراحت
۳۰	فصل سوم: مبانی تئوری
۳۱	۱-۳- مقدمه
۳۱	۲-۳- محیط متخلخل
۳۲	۳-۳- انتقال جرم
۳۲	۱-۳-۳- قانون فیک
۳۵	۲-۳-۳- دیفیوژن پایدار از میان صفحه
۳۶	۳-۳-۳- معادله دیفیوژن جرمی
۳۷	۴-۳- تحلیل نمودار خشک شدن
۳۹	۵-۳- عدد اشمیت
۴۲	۶-۳- عدد شروود
۴۲	۷-۳- انتقال حرارت و انتقال جرم در فرآیند خشک شدن
۴۳	۸-۳- روابط انتقال حرارت و افت فشار در بستر ذرات
۴۳	۱-۸-۳- تخلخل



۴۴	۲-۸-۳- قطر هیدرولیک
۴۴	۳-۸-۳- سرعت تخلخل متوسط
۴۴	۴-۸-۳- عدد رینولدز
۴۴	۵-۸-۳- عدد ناسلت
۴۵	۶-۸-۳- ضریب افت فشار
۴۷	۷-۸-۳- روابط انتقال حرارت و انتقال جرم در محیط متخلخل (توده شالی)
۴۹	۸-۸-۳- طریقه یافتن جرم بخار در حالت تعادل
۴۹	۹-۸-۳- روش تعیین جرم بخار در حالت اشباع
۵۱	فصل چهارم: تشریح دستگاه
۵۲	۱-۴- هدف از ساخت دستگاه شالی خشک کن بستر عمودی گردشی
۵۲	۲-۴- اجزای دستگاه شالی خشک کن بستر عمودی گردشی
۵۲	۱-۲-۴- محفظه جمع کننده شالی
۵۳	۲-۲-۴- گرم کن
۵۴	۳-۲-۴- بالابر
۵۵	۴-۲-۴- کانال هدایت کننده هوای گرم
۵۶	۵-۲-۴- تابلوی الکترونیکی
۵۶	۶-۲-۴- فن
۵۶	۷-۲-۴- استوانه های گردان
۵۷	۸-۲-۴- شمارنده مشعل
۵۷	۹-۲-۴- لوله تخلیه
۵۸	۱۰-۲-۴- محفظه خشک کن
۵۸	۱۱-۲-۴- دریچه تنظیم دستی دبی خروجی
۵۸	۱۲-۲-۴- چرخ
۵۸	۳-۴- تجهیزات مورد استفاده برای آزمایش
۵۹	۱-۳-۴- رطوبت سنج
۶۲	۲-۳-۴- دستگاه رطوبت سنج هوا
۶۳	۳-۳-۴- بادسنج
۶۵	فصل پنجم: تحلیل نتایج

- ۶۶ ۱-۵- پارامترهای مستقل
- ۶۶ ۲-۵- روش کار
- ۶۶ ۳-۵- کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $55^{\circ}\text{C}$
- ۶۹ ۴-۵- کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$
- ۷۱ ۵-۵- کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $65^{\circ}\text{C}$
- ۷۳ ۶-۵- کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $70^{\circ}\text{C}$
- ۷۵ ۷-۵- مقایسه مدت زمان کارکرد مشعل در دماها و دبی های مختلف
- ۷۵ ۱-۷-۵- میزان کارکرد مشعل در دمای  $55^{\circ}\text{C}$
- ۷۶ ۲-۷-۵- میزان کارکرد مشعل در دمای  $60^{\circ}\text{C}$
- ۷۷ ۳-۷-۵- میزان کارکرد مشعل در دمای  $65^{\circ}\text{C}$
- ۷۸ ۴-۷-۵- میزان کارکرد مشعل در دمای  $70^{\circ}\text{C}$
- ۷۹ ۸-۵- مقایسه میزان مصرف سوخت در دماها و دبی های مختلف
- ۸۲ ۹-۵- مقایسه کارکرد مشعل در دماهای مختلف
- ۸۳ ۱۰-۵- مقایسه مصرف سوخت در دماهای مختلف
- ۸۴ ۱۱-۵- کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  و زمان ماندهای مختلف
- ۸۶ ۱۲-۵- مقایسه کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  و زمان ماندهای مختلف بر اساس شیب کلی نمودار
- ۸۷ ۱۳-۵- مقایسه میزان کارکرد مشعل در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  و زمان ماندهای مختلف
- ۸۷ ۱۴-۵- مقایسه مصرف سوخت در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  و زمان ماندهای مختلف
- ۸۸ ۱۵-۵- دستگاه خشک کن شالی دومرحله ای
- ۸۸ ۱۶-۵- نتایج دستگاه خشک کن شالی دومرحله ای
- ۸۹ ۱-۱۶-۵- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  بین آزمایش ۴ و خشک کن دومرحله
- ۸۹ ۲-۱۶-۵- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  بین آزمایش ۹ و خشک کن دومرحله
- ۹۱

۹۳	۵-۱۶-۳- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای C ۶۰° بین آزمایش ۱۰ و خشک کن دومرحله
۹۵	۵-۱۷- مقایسه میزان مصرف انرژی
۹۶	۵-۱۸- مدل دینامیکی دستگاه خشک کن شالی بستر عمودی گردشی
۹۸	۵-۱۸-۱- نتایج حل دینامیکی دستگاه خشک کن شالی
۹۹	فصل ششم: جمع بندی نتایج و پیشنهادات
۱۰۰	۶-۱- جمع بندی نتایج
۱۰۱	۶-۲- پیشنهادات

## فهرست علائم

مساحت جانبی ذره، $m^2$	$A$
سطح کل شالی، $m^2$	$A_s$
غلظت مولی کل	$C$
ضریب اصطکاک	$C_f$
ظرفیت حرارتی ویژه کل	$C_{mi}$
ظرفیت حرارتی ویژه شالی	$C_{sh}$
ظرفیت حرارتی ویژه آب	$C_w$
ضریب دیفیوژن	$D_{12}$
قطر هیدرولیک	$d_h$
قطر مشخصه شالی	$dp$
انتقال جرم هدایتی متوسط موضعی	$g_{m1}$
ضریب انتقال حرارت	$h$
ضریب انتقال جرم، $m/s$	$\bar{h}_m$
شار جرمی ساطع شده جسم ۱، $\frac{kg}{m^2}$	$j_1$
ضریب کولبرن	$\bar{j}_H$
پخش حرارتی	$k$
مشخصه طول	$L$
رطوبت در هر زمان در حین خشک شدن	$M$
جرم بخار در حالت اشباع	$m_{l,s}$
رطوبت تعادل	$Me$
رطوبت اولیه	$Mo$
نسبت رطوبت	$MR$
دبی مولی جسم ۱، $kmol/s$	$\dot{M}_1$
کسر جرمی جسم ۱	$m_1$
جرم شالی	$m_{sh}$
جرم کل ( $m_{sh} + m_w$ )	$m_t$
جرم آب	$m_w$
نرخ تبخیر ( $kg/s$ )	$n_A$
عدد ناسلت	$Nu$

شار حرارتی	$q$
عدد رینولدز	$Re$
عدد رینولدز برای ذرات متخلخل	$Re_h$
عدد اشمیت	$Sc$
عدد شروود	$Sh$
عدد استانتون	$St_m$
دمای متوسط	$T_m$
دمای خروجی	$T_{ao}$
سرعت تخلخل متوسط	$u_p$
حجم ذره	$V$
حجم آب موجود در شالی	$V_l$
حجم ذرات جامد (حجم شالی خشک)	$V_s$
حجم کل	$V_t$

### حروف یونانی

تخلخل	$\varepsilon$
هدایت حرارتی	$\lambda$
لزجت هوا در دمای متوسط	$\mu$
لزجت سینماتیک	$\nu$
چگالی هوا در دمای متوسط	$\rho$
اختلاف چگالی بخار در شالی، $kg/m^3$	$\rho_{A,S}$
چگالی بخار آب در هوا یا گاز ورودی، $kg/m^3$	$\rho_{A,\infty}$
چگالی شالی خشک	$\rho_s$
چگالی آب موجود در شالی	$\rho_l$
رطوبت گاز در سطح لایه آب	$\phi_s$
رطوبت گاز در بدنه اصلی جریان هوا	$\phi$
ضریب افت فشار	$\psi$
اختلاف دمای متوسط لگاریتمی	$\Delta T_{Lm}$

اندیس ها

هیدرولیکی h

ورودی i

خروجی o

## فهرست اشکال و نمودارها

### فصل اول

- شکل ۱-۱- ساقه برنج ۲  
شکل ۲-۱- خوشه گیاه برنج ۳  
شکل ۳-۱- خشک کن ایستاده با تسمه های توری ۸

### فصل دوم

- نمودار ۲-۱- رابطه میان رطوبت نسبی محیط و رطوبت شلتوک ۱۳  
نمودار ۲-۲- بررسی میزان ترک حین خشک شدن ۲۰  
شکل ۱-۲- شماتیک خشک کن ساخت کشور هند ۲۴  
شکل ۲-۲- تجهیزات اندازه گیری تغییرات دما و رطوبت ۲۵  
نمودار ۳-۲- منحنی خشک شدن با زمان استراحت ۳۰ دقیقه و با جریان مداوم ۲۷  
نمودار ۴-۲- منحنی خشک شدن با زمان استراحت ۶۰ دقیقه و با جریان مداوم ۲۷  
نمودار ۵-۲- منحنی خشک شدن با زمان استراحت ۹۰ دقیقه و با جریان مداوم ۲۸  
نمودار ۶-۲- ضریب انتقال جرم در مرحله اول، زمان استراحت و مرحله دوم ۲۸  
نمودار ۷-۲- تغییرات ضریب انتقال جرم بر حسب نسبت رطوبت ۲۹  
نمودار ۸-۲- ضریب انتقال جرم در مرحله دوم بر حسب نسبت رطوبت ۲۹

### فصل سوم

- شکل ۱-۳- شماتیک دیفیوژن یک بعدی ۳۳  
نمودار ۱-۳- شماتیک دیفیوژن یک بعدی ۳۳  
شکل ۲-۳- طرح کلی جریان پایدار از میان صفحه ۳۵  
شکل ۳-۳- مقاومت جرمی برای جریان دیفیوژن ۳۶  
شکل ۴-۳- حجم کنترل برای معادله دیفیوژن جرمی ۳۷  
نمودار ۲-۳- منحنی نرخ خشک شدن در جامدات دارای خلل و فرج ۳۸  
شکل ۵-۳- بستر حاوی ذرات متخلخل ۴۷

### فصل چهارم

- شکل ۱-۴- محفظه جمع کننده شلتوک ۵۳  
شکل ۲-۴- مشعل ۵۳  
شکل ۳-۴- مخزن سوخت ۵۴

۵۵	شکل ۴-۴-۴ - بالابر
۵۵	شکل ۴-۵-۴ - کانال هدایت کننده هوای گرم
۵۶	شکل ۴-۶-۴ - تابلوی الکترونیکی
۵۷	شکل ۴-۷-۴ - استوانه های گردان
۵۷	شکل ۴-۸-۴ - لوله تخلیه
۵۸	شکل ۴-۹-۴ - محفظه خشک کن از نمای بالا
۶۰	شکل ۴-۱۰-۴ - رطوبت سنج رسا ۳۰۰۰
۶۱	شکل ۴-۱۱-۴ - رطوبت سنج رسا ۳۰۰۳
۶۲	شکل ۴-۱۲-۴ - رطوبت سنج هوا مدل HT-۳۱۵
۶۳	شکل ۴-۱۳-۴ - دو نمونه بادسنج دیجیتالی (الف و ب)
۶۴	شکل ۴-۱۴-۴ - شکل کامل خشک کن شالی بستر عمودی گردشی

#### فصل پنجم

۶۷	شکل ۵-۱-۱ - منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای $55^{\circ}C$ و دبی $0.126 \text{ kg/s}$
۶۸	شکل ۵-۲-۲ - منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای $55^{\circ}C$ و دبی $0.164 \text{ kg/s}$
۶۹	شکل ۵-۳-۳ - منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای $60^{\circ}C$ و دبی $0.158 \text{ kg/s}$
۷۰	شکل ۵-۴-۴ - منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای $60^{\circ}C$ و دبی $0.153 \text{ kg/s}$
۷۱	شکل ۵-۵-۵ - منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای $65^{\circ}C$ و دبی $0.178 \text{ kg/s}$
۷۲	شکل ۵-۶-۶ - منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای $65^{\circ}C$ و دبی $0.124 \text{ kg/s}$
۷۳	شکل ۵-۷-۷ - منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای $70^{\circ}C$ و دبی $0.187 \text{ kg/s}$
۷۴	شکل ۵-۸-۸ - منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای $70^{\circ}C$ و دبی $0.122 \text{ kg/s}$
۷۵	شکل ۵-۹-۹ - مدت زمان کارکرد مشعل در دمای $55^{\circ}C$
۷۶	شکل ۵-۱۰-۱۰ - مدت زمان کارکرد مشعل در دمای $60^{\circ}C$
۷۷	شکل ۵-۱۱-۱۱ - مدت زمان کارکرد مشعل در دمای $65^{\circ}C$
۷۸	شکل ۵-۱۲-۱۲ - مدت زمان کارکرد مشعل در دمای $70^{\circ}C$
۷۹	شکل ۵-۱۳-۱۳ - مصرف سوخت در دمای $55^{\circ}C$
۸۰	شکل ۵-۱۴-۱۴ - مصرف سوخت در دمای $60^{\circ}C$
۸۰	شکل ۵-۱۵-۱۵ - مصرف سوخت در دمای $65^{\circ}C$
۸۱	شکل ۵-۱۶-۱۶ - مصرف سوخت در دمای $70^{\circ}C$
۸۲	شکل ۵-۱۷-۱۷ - مدت زمان کارکرد مشعل در دماهای مختلف و درپچه نیمه باز
۸۳	شکل ۵-۱۸-۱۸ - مصرف سوخت در دماهای مختلف و درپچه نیمه باز
۸۴	شکل ۵-۱۹-۱۹ - منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای $60^{\circ}C$ و زمان ماند ۱۰ دقیقه



- شکل ۵-۲۰- منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  و زمان ماند ۱۵ دقیقه ۸۵
- شکل ۵-۲۱- منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  و زمان ماند ۵ دقیقه ۸۵
- شکل ۵-۲۲- مقایسه شیب کلی نمودار در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  و زمان ماندهای مختلف ۸۶
- شکل ۵-۲۳- مقایسه کارکرد مشعل در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  و زمان ماندهای مختلف ۸۷
- شکل ۵-۲۴- مقایسه مصرف سوخت در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  و زمان ماندهای مختلف ۸۸
- شکل ۵-۲۵- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  با مرجع [۱۴] ۸۹
- شکل ۵-۲۶- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  با مرجع [۱۴] ۹۰
- شکل ۵-۲۷- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  با مرجع [۱۴] ۹۰
- شکل ۵-۲۸- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  با مرجع [۱۴] ۹۱
- شکل ۵-۲۹- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  با مرجع [۱۴] ۹۲
- شکل ۵-۳۰- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  با مرجع [۱۴] ۹۲
- شکل ۵-۳۱- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  با مرجع [۱۴] ۹۳
- شکل ۵-۳۲- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  با مرجع [۱۴] ۹۴
- شکل ۵-۳۳- مقایسه منحنی کاهش رطوبت بر حسب زمان در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  با مرجع [۱۴] ۹۴
- شکل ۵-۳۴- مقایسه میزان مصرف انرژی در خشک کن دو مرحله ۹۵
- شکل ۵-۳۵- مقایسه مصرف انرژی در خشک کن شالی بستر عمودی گردشی با مرجع [۱۴] ۹۶
- شکل ۵-۳۶- مدل سیمولینک دستگاه خشک کن شالی بستر عمودی گردشی ۹۷
- شکل ۵-۳۷- مقایسه منحنی خشک شدن در حالت تجربی و شبیه سازی ۹۸

## فهرست جداول

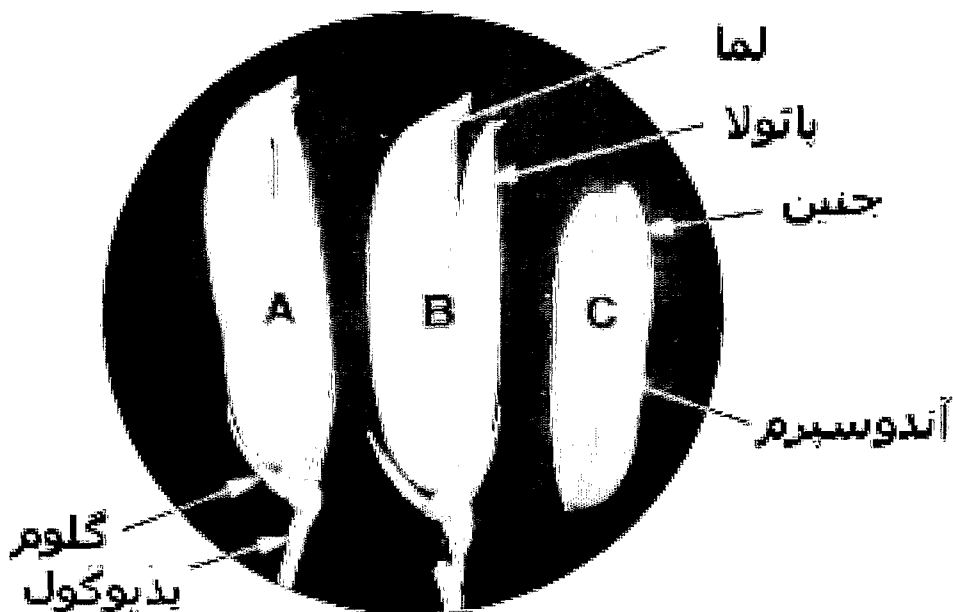
۱۷	جدول ۱-۲- مزایا و معایب انواع خشک کن های شالی
۱۹	جدول ۲-۲- بررسی میزان ترک حین خشک شدن به روش ارسال هوای گرم
۲۶	جدول ۳-۲- داده های خشک کن دو مرحله ای با زمان استراحت
۲۶	جدول ۴-۲- داده های خشک کن دو مرحله ای با جریان مداوم
۳۴	جدول ۱-۳- ضریب دیفیوژن برخی از گازها، مایعات و جامدات
۴۰	جدول ۲-۳- عدد اشمیت برخی از محلول ها و ترکیبات
۴۰	جدول ۳-۳- خصوصیات چند نوع گاز
۴۱	جدول ۴-۳- خصوصیات چند نوع محلول

# فصل اول

مقدمه

## ۱-۱- مقدمه

برنج (با نام علمی *Oryza Sativa*) یکی از مهمترین غلات و از گیاهان علفی مهم در قاره آسیاست. برنج از خانواده گرامینه ها (گندمیان) بوده، دارای انواع یک ساله و چند ساله می باشد.



شکل (۱-۱): ساقه برنج [۱۲]

دانه برنج و فرآورده های به دست آمده از آن تقریباً ۴۰ درصد غذای مورد نیاز نصف مردم دنیا را تشکیل می دهد. میوه برنج دارای غلافی سفید رنگ، قهوه ای، کهربایی، قرمز یا بنفش است که این میوه را به همراه غلاف آن شلتوک می نامند. برای قابل استفاده شدن برنج برای انسان باید شلتوک را پوست کنند، یعنی غلاف را از دانه جدا نمایند.

### ۱-۲- کشت برنج در نقاط مختلف

شواهد نشان می دهد که تقریباً ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد در کشورهای هند و چین کشت برنج متداول بوده است. پس از گندم برنج دومین غله مهم در دنیا به حساب می آید. نزدیک به ۹۰ درصد سطح زیر کشت و تولید برنج متعلق به کشورهای خاور دور می باشد. بیش از نصف محصول برنج هم در دو کشور هند و چین تولید می شود. به طور کلی کشورهای گرمسیری و نیمه گرمسیری برمه، تایلند، لائوس، اندونزی، فیلیپین، پاکستان، هند، امریکا، ژاپن، ایتالیا، مصر، برزیل، کوبا، مکزیک و استرالیا از تولید کنندگان برنج به شمار می آیند.