بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی آب و خاک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته
مهندسی مکانیک بیوسیستم

بهینه کردن فرآیند خشک‌کردن ذرت در خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم

پژوهش و نگارش:
عماد امیری

استاد راهنما:
دکتر حسینعلی تاش شمس‌ابادی

اساتید مشاور:
دکتر مهدی کاشانی‌نژاد
دکتر علی اصغری

تابستان ۱۳۹۳

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار تحقیق نظری تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود؛ بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱- قبل از چاپ تحقیق نظری خود، مراتب را قبلا به طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.
۲- قبل از چاپ تحقیق نظری در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد، ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.
۳- انتشار نتایج تحقیق نظری باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **عماد امیری** دانشجوی رشته **مکانیک بیوسیستم** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی و امضاء

تقدیم به

پدرم (اسطوره تلاش) **و مادرم** (الهه مهربانی)

که

خودشان را ناتوان کردند تا ما به توانایی برسیم

و

موهایشان را سفید کردند تا ما روسفید شویم

تشکر و قدردانی

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر حسینعلی تاش شمس آبادی که به عنوان استاد راهنما همواره اینجانب را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند، کمال تشکر را دارم از اساتید مشاورم دکتر علی اصغری و دکتر مهدی کاشانی نژاد از گروه صنایع غذایی، که در طول انجام این پژوهش همواره با رویی گشاده پذیرای بنده بودند. از داوران گرانقدر و نماینده تحصیلات تکمیلی جناب آقایان دکتر محسن آزادبخت و دکتر محمدهاشم رحمتی که زحمت بازخوانی این پایان نامه و مدیریت جلسه دفاع را تقبل نمودند و با راهنمایی های ارزنده شان در ارائه هرچه بهتر این تحقیق یاریم نموده اند کمال تشکر را دارم.

از تراشکار ماهر و زبردست، استاد نورالدین امیریان که در مراحل ساخت دستگاه خشک کن مرا یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

از دوستان عزیز و گرامی آقایان: مهندس جعفر حق بین، فرهاد عبدی گول، ولی کلیکانلو، کریم تمسکنی، و خانم ها: مهندس مهسا سادات رضوی، ندا تجری و انه کعبه می زاده که در انجام مراحل تحقیق این جانب را یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

این تحقیق به منظور خشک کردن دانه‌های ذرت با استفاده از خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم و بررسی اثر پارامترهای دمای هوای خشک‌کن و سرعت چرخش استوانه بر زمان خشک شدن، درصد شکستگی، درصد ترک و سوختگی و انرژی گسیختگی دانه‌های ذرت انجام گرفت. برای این منظور یک خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم طراحی و ساخته شد. پارامترهای دمای هوای ورودی در چهار سطح ٤٠، ٦٠، ٨٠ و ١٠٠ درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش استوانه در سه سطح ٢، ٦ و ١٠ دور بر دقیقه، تا رسیدن رطوبت دانه‌های ذرت از ٢٧ درصد به ١٣ درصد بر پایه خشک در نظر گرفته شد، و خشک کردن نمونه‌ها در سه تکرار و با آزمایش فاکتوریل ٣×٤ در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد اثر متقابل دما و سرعت چرخش استوانه در سطح یک درصد اثر معنی‌داری روی زمان خشک شدن دانه‌های ذرت داشت. کمترین زمان خشک شدن دانه‌های ذرت در دمای ١٠٠ درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش استوانه ٢ دور بر دقیقه می‌باشد. با افزایش دمای هوای خشک‌کن از ٤٠ به ١٠٠ درجه سانتی‌گراد، زمان خشک شدن دانه‌ها به کمتر از یک چهارم کاهش یافت؛ در حالی که با افزایش سرعت چرخش استوانه زمان خشک شدن افزایش پیدا کرد. در طی فرایند خشک کردن اثر متقابل دما و سرعت چرخش استوانه اثر معنی‌داری روی درصد دانه‌های شکسته ذرت نداشت و بیشترین درصد شستگی دانه‌های ذرت در سرعت چرخش ١٠ دور در دقیقه استوانه رخ داد. اثر متقابل دما و سرعت چرخش استوانه روی درصد دانه‌های ترک خورده و سوخته در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشت، که بیشترین درصد ترک و سوختگی در دمای ١٠٠ درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش ٢ دور در دقیقه می‌باشد. اثر متقابل دما و سرعت چرخش استوانه روی انرژی گسیختگی دانه‌های ذرت در سطح یک درصد اثر معنی‌داری نداشت و با افزایش دما، انرژی گسیختگی کاهش یافت. کمترین انرژی گسیختگی دانه‌ها در دمای ١٠٠ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مناسبترین دما و سرعت چرخش استوانه برای خشک کردن دانه‌های ذرت در خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم ترکیب دمای ٨٠ درجه سانتی‌گراد و سرعت استوانه ٢ دور بر دقیقه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم، ذرت، ، انرژی گسیختگی، زمان خشک شدن، دمای خشک‌کن

فهرست جداول

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه و کلیات
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- فرضیه‌ها ٤
۱-۳- اهداف ٤
۱-٤- عملیات بعد از برداشت ذرت ٥
۱-٤-۱- عملیات خشک کردن ذرت ٥
۱-٤-۲- لزوم انجام مرحله خشک کردن ذرت ٦
۱-٥- اصطلاحات مربوط به خشک کردن ٦
۱-٥-۱- مواد تر ٦
۱-٥-۲- میزان رطوبت ۷
۱-٥-۳- مقدار رطوبت بیشینه ۷
۱-٥-٤- مقدار رطوبت اولیه ۸
۱-٦- سینیتیک خشک کردن ۸
۱-۷- دیاگرام اساسی خشک‌کن‌ها ۱۰

فصل دوم: مرور منابع
۲-۱- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه خشک کردن ۱۲
۲-۲- مرور منابع در زمینه خواص فیزیکی و مکانیکی ۱٥

فصل سوم: مواد و روش‌ها
۳-۱- دستگاه خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم ۱۸
۳-۱-۱- محاسبه هوای مورد نیاز ۱۸
۳-۱-۲- محاسبه توان حرارتی خشک‌کن ۲۶
۳-۱-۳- محاسبه ابعاد خشک‌کن ۲۷
۳-۱-٤- محاسبه سرعت هوای مورد نیاز خشک‌کن ۳۲

فهرست اشکال

عنوان صفحه

۳-۲- ساختمان خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم ۳۳
۳-۲-۱- دمنده هوا ۳۴
۳-۲-۲- گرم کننده الکتریکی ۳۵
۳-۲-۳- استوانه خشک‌کن ۳۵
۳-۲-٤- سیستم چرخش استوانه و مکانیزم تخلیه ۳۷
۳-۲-۵- تابلو کنترل ۳۷
۳-۳- تهیه نمونه‌ها ۳۷
۳-۳-۱- ارقام مورد آزمایش ۳۷
۳-۳-۲- انجام آزمایشات ۳۸
۳-۳-۲-۱- ذرت شکسته ۳۸
۳-۳-۲-۲- ماده خارجی ۳۸
۳-۳-۳- دانه‌های معیوب شده از حرارت خشک‌کن ۳۹
۳-۳-٤- دانه های ترک خورده ۳۹
۳-۳-۵- انرژی گسیختگی ۴۰
۳-٤- تجزیه و تحلیل داده‌ها ٤۳

فصل چهارم: نتایج و بحث

٤-۱- اثر عوامل مختلف دما و سرعت استوانه بر زمان خشک شدن دانه‌ها ٤۵
٤-۲- اثر عوامل مختلف دما و سرعت استوانه بر درصد شکستگی دانه‌ها ٤۸
٤-۳- اثر عوامل مختلف دما و سرعت استوانه بر درصد ترک و سوختگی دانه‌ها ۵۰
٤-٤- اثر عوامل مختلف دما و سرعت استوانه بر انرژی گسیختگی دانه‌ها ۵۳

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۵۷
۵-۲- پیشنهادات ۵۸
فهرست منابع ٦۱

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ٤-١- نتایج آنالیز واریانس دو طرفه مربوط به اثر دمای هوای خشک‌کن و سرعت چرخش استوانه بر زمان خشک شدن نمونه‌ها ٤٥

جدول ٤-٢- اثرات متقابل دما در سرعت چرخش استوانه و آزمون دانکن مربوط به زمان خشک شدن (میانگین± انحراف معیار) ٤٧

جدول ٤-٣- نتایج آنالیز واریانس دو طرفه مربوط به اثر دمای هوای خشک‌کن و سرعت چرخش استوانه بر درصد شکستگی دانه‌های ذرت ٤٩

جدول ٤-٤- نتایج آنالیز واریانس سه طرفه مربوط به اثر دمای هوای خشک‌کن و سرعت چرخش استوانه بر درصد ترک و سوختگی دانه‌های ذرت ٥١

جدول ٤-٥- اثرات متقابل دما در سرعت چرخش استوانه و آزمون دانکن مربوط به درصد دانه-های ترک خورده و سوخته (میانگین± انحراف معیار) ٥٢

جدول ٤-٦- نتایج آنالیز واریانس سه طرفه مربوط به اثر دمای هوای خشک‌کن و سرعت چرخش استوانه بر انرژی گسیختگی دانه‌های ذرت ٥٤

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۱-۱- منحنی خشک شدن ۹
شکل ۱-۲- منحنی شدت خشک شدن ۱۰
شکل ۱-۳-نمودار اصلی خشککن و تشریح آنها روی نمودار **I-Y** ۱۰
شکل ۳-۱- نمودار سایکرومتریک جهت تعیین مشخصات هوای ورودی به خشک‌کن ۱۹
شکل ۳-۲- نمودار سایکرومتریک جهت تعیین مشخصات هوای خروجی از خشککن ۲۶
شکل ۳-۳- تصویر پرسپکتیو ایزومتریک خشک کن استوانهای دوار غیرمداوم ۳۳
شکل ۳-٤- شبیه سازی حرارتی دستگاه ۳٤
شکل ۳-۵- تصویر خشککن استوانهای دوار غیرمداوم ۳٤
شکل ۳-٦- محفظه داخلی استوانه خشککن ۳٦
شکل ۳-۷- دستگاه ترکیبین ٤۰
شکل ۳-۸ – ابعاد دانه ذرت ٤۱
شکل ۳-۹- نمونه یک نمودار نیرو – جابجایی ٤۲
شکل ۳-۱۰ – دستگاه تست اینسترون ٤۲
شکل ٤-۱- نمودار زمان خشک شدن در سطوح دمایی مختلف برای سرعتهای مختلف استوانه ٤۸
شکل ٤-۲- نمودار درصد شکستگی در سرعتهای مختلف استوانه ۵۰
شکل ٤-۳- نمودار درصد ترک و سوختگی در سطوح دمایی مختلف برای سرعتهای مختلف استوانه ۵۳
شکل ٤-٤- نمودار انرژی گسیختگی در دماهای مختلف ۵۵

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

ذرت گیاهی از گروه غلات می باشد که امروزه نقش مهمی را در تولیدات کشاورزی دنیا داشته و رتبه بالایی را دارد. ذرت با نام علمی *Zea mayz* یکی از غلات گرمسیری و از خانواده گندمیان[۱] متعلق به گیاهان تک‌لپه‌ای می‌باشد. ذرت پرمحصول‌ترین غله دنیا به حساب می‌آید و از لحاظ مقدار تولید پس از گندم و برنج قرار دارد. امروزه ذرت در تغذیه بسیاری از مردم دنیا نقش اساسی دارد و ایران یکی از تولید کنندگان مهم ذرت می‌باشد (چیذری و امیرنژاد، ۱۳۷۹).

ذرت به علت موارد مصرف زیاد، کیفیت و ارزش غذایی بالا در سطح وسیعی از جهان از جمله ایران کشت می‌شود و نظر به اهمیت و ارزش غذایی و اقتصادی فراوان به سلطان محصولات کشاورزی معروف است. موارد مصرف ذرت در تغذیه انسان (۲۰ تا ۲۵ درصد)، تغذیه دام وطیور (۷۰ تا ۷۵ درصد) و مصارف صنعتی و دارویی (۵ درصد) است (افکاری و همکاران، ۱۳۹۱).

ذرت از نظر سطح زیر کشت پس از گندم و برنج سومین گیاه زراعی مهم دنیا به شمار می‌رود، به گونه‌ای که در سال ۲۰۰۲ با تولید ٦۰۰ میلیون تن و میانگین عملکرد ٤۲۹٦ کیلوگرم در هکتار، نسبت به برنج و گندم برتری نشان می‌دهد. بزرگترین تولید کننده ذرت در جهان ، امریکا با ۳۰ میلیون هکتار زیر کشت می‌باشد و چین با ۲۳/٤ میلیون هکتار زیر کشت مقام دوم دنیا را در اختیار دارد. مهم ترین کشورهای صادر کننده‌ی ذرت در جهان آمریکا، چین، آرژانتین و فرانسه می‌باشند که مجموعاً حدود ۹۱/۵ درصد از کل صادرات جهانی این محصول را در اختیار دارند (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۱). کشورهای کره جنوبی و ژاپن از مهم ترین وارد کنندگان دانه‌ی ذرت بشمار می‌آیند. در ایران نیز در سال‌های اخیر استان‌های فارس، خوزستان و کرمانشاه از نظر تولید در مقام‌های نخست تا سوم قرار دارند.

براهمیت ذرت در صنایع تبدیلی روغن و انواع مواد غذایی و نشاسته و فرآورده های بسیاری که به عنوان غذای انسانی مورد استفاده قرار می گیرند تأکید می گردد و باید گفت که تقریباً ٦۵ تا ۷۰

---

۱ - *poaceae*

درصد جیره غذایی طیور کشور را ذرت دانه‌ای تشکیل می‌دهد و ذرت در واقع یک کالای استراتژیک[۱] و تعیین کننده در صنعت مرغداری کشور محسوب می شود. منابع مختلف آمار مصرف کل ذرت کشور را بالغ بردو میلیون و ۵۰۰ تا دو میلیون و ۷۰۰ هزار تن در سال پیش بینی می کنند، و با روند افزایش جمعیت و مصرف مرغداریها، این رقم نیز افزایش خواهد داشت (وزارت جهادکشاورزی، ۱۳۹۱).

ذرت به عنوان یکی از اصلی ترین و مهم ترین مواد غذایی بشر در دنیا، از اهمیت و جایگاه ویژه-ای برخوردار است. با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش قیمت این کالا در بازار بین‌المللی، اهمیت توجه و دستیابی به خودکفایی در رابطه با این محصول راهبردی، روز به روز نمود بیشتری پیدا می‌کند (عنایتی‌راد و همکاران، ۱۳۸۸).

با مکانیزه شدن عملیات برداشت، زمان برداشت محصول کاهش یافته و برنامه زمان بعدی آن نیز تغییر کرده است. عملیات برداشت معمولاً زودتر از معمول انجام می‌گیرد. بنابراین محصول برداشت شده رطوبت بیشتری داشته و ضایعات آن کمتر می‌شود، در عوض نگهداری آن به روشهای معمول غیر ممکن است و قبل از انبار کردن آنها به روش مصنوعی (صنعتی) خشک و یا تسهیلاتی در امر نگهداری آنها ایجاد گردد که امروزه از وسایل خشک کننده مصنوعی (صنعتی) با توجه به سرعت عمل و کنترل شرایط فرایند استفاده می‌گردد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰).

ذرت یک محصول راهبردی در زنجیره محصولات کشاورزی و صنایع غذایی به شمار می‌آید، ولی مشکل اصلی این محصول، چربی و رطوبت بالای آن است. واحدهای ذرت خشک کنی در واقع مرحله نهایی از مراحل تولید ذرت برشمرده می‌شوند. برای جلوگیری از فاسد شدن ذرت تر، رطوبت آن را از ۲۵ تا ۳۵ درصد باید به ١٤ درصد رساند که این کار در کارخانه‌های ذرت خشک کنی انجام می‌گیرد (چیذری و امیرنژاد، ۱۳۷۹).

مساله‌ای که پس از برداشت بذر ذرت حائز اهمیت و ضروری است اعمال فرایند خشک کردن و کاهش رطوبت آن است. نتایج نشان داده که در ایستگاهای ذرت خشک کنی موجود در کشور بطور متوسط ۱۵ درصد از بذرها بصورت دانه شکسته و خرد شده از خط تولید خارج می‌شوند. همچنین حدود ۳۰ درصد از دانه‌ها نیز در حین فرایند خشک کردن دچار ترک خوردگی می‌شوند. در این

۱ - Strategic

تحقیق یک خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم در گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان برای خشک کردن دانه‌های ذرت طراحی و ساخته شد؛ بطوری که قابلیت کنترل دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن، کنترل دور فن دمنده برای کنترل کردن دبی هوای ورودی به محفظه خشک‌کن و سرعت چرخش استوانه خشک‌کن را داشته باشد. سپس تأثیر دمای هوای خشک‌کن و سرعت چرخش استوانه بر روی میزان دانه‌های شکسته، دانه‌های ترک خورده و سوخته و انرژی گسیختگی دانه‌های ذرت در خشک کن استوانه‌ای دوار مورد بررسی قرار گرفت، تا بهترین شرایط خشک‌کردن برای انجام عملیات خشک کردن دانه‌های ذرت تعیین گردد.

۱-۲- فرضیه‌ها

۱) دمای هوای دمیده شده در خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم برای خشک کردن ذرت، روی شکسته شدن و ایجاد ترک و سوختگی دانه‌های ذرت اثر گذار است.
۲) سرعت چرخش استوانه خشک‌کن روی زمان خشک شدن دانه‌های ذرت تأثیر گذار می‌باشد.
۳) سرعت چرخش استوانه روی درصد شکستگی و درصد ترک و سوختگی دانه‌های ذرت اثر گذار می‌باشد.
٤) خشک شدن یکنواخت دانه‌های ذرت با استفاده از خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم.
٥) دمای هوا و سرعت چرخش استوانه روی انرژی گسیختگی دانه‌های ذرت اثر گذار می‌باشد.

۱-۳- اهداف

۱. طراحی و ساخت دستگاه خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم
۲. تعیین اثر سرعت چرخش استوانه روی زمان خشک شدن دانه‌های ذرت در خشک‌کن استوانه-ای دوار غیرمداوم
۳. تعیین اثر دمای هوا روی زمان خشک شدن دانه‌های ذرت در خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم.
۴. تعیین اثر متقابل دمای هوا و سرعت چرخش استوانه روی زمان خشک شدن، درصد شکستگی و درصد ترک و سوختگی دانه‌های ذرت در خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیرمداوم.

۵. تعیین اثر دمای هوا و سرعت چرخش استوانه روی انرژی گسیختگی دانه‌های ذرت در خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیر مداوم.

۱-٤- عملیات بعد از برداشت ذرت

۱-٤-۱-عملیات خشک کردن ذرت

عملیات خشک کردن عموماً به دو صورت غیرمداوم[۱] یا پیوسته و مداوم[۲] انجام می‌پذیرد. در فرایند غیرمداوم معمولاً مقداری جسم جامد تر در مجاور جریان هوا قرار می‌گیرد و این جریان هوا باعث تبخیر آب جسم تر می‌گردد. در فرایند مداوم معمولاً جسم تر و همینطور جریان گاز از داخل دستگاهی عبور می‌کنند و زمان اقامت کافی به آن جهت خشک شدن در دستگاه داده می‌شود.

مقدار رطوبت مواد در فرایند خشک کردن یکی از پارامترهای بسیار مهم در فن‌آوری خشک کردن است. کم خشک شدن ممکن است باعث تشکیل کپک، رشد باکتری‌ها و کلوخه شدن ذرات و ... شود. خشک شدن بیش از حد هم ممکن است باعث خراب شدن کیفیت مواد و مصرف زیاد انرژی گردد (پهلوان‌زاده، ۱۳۷۷).

خشک کردن ذرت اغلب با استفاده از عبور دادن هوای گرم تحت فشار از توده دانه صورت می‌گیرد. هوا، رطوبت دانه را جذب کرده و خارج می‌کند. عوامل اصلی موثر بر فرایند خشک کردن عبارتند از: جریان هوا، درجه حرارت، رطوبت نسبی هوای ورودی و درصد رطوبت دانه. در ضمن خشک شدن به تفاوت درصد رطوبت دانه و درصد رطوبت تعادلی با هوای خشک‌کن بستگی دارد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۳).

اگر دانه مدت زیادی در معرض هوای خشک‌کن با رطوبت کم و حرارت بالا قرار گیرد، رطوبت از دست داده و وزن دانه بیش از حد لزوم کاهش می‌یابد. فرایند خشک کردن شامل مراحل مختلفی می‌باشد که شامل جذب رطوبت از سطح دانه و حرکت رطوبت از داخل دانه به سطح آن است. وقتی هوای خشک به زیر توده دانه وارد می‌شود پس از گذشت مدت زمان خاصی، منطقه خشک حاصل

---

۱ - Continuous

۲ - Batch

می‌شود که سطح رطوبت آن برابر با سطح رطوبت تعادلی است. در قسمت بالای منطقه خشک، دانه، رطوبتی نزدیک به درصد رطوبت اولیه دارد که با هوایی که منطقه در حال خشک شدن را ترک می‌کند در حال تعادل است.

۱-٤-۲-لزوم انجام مرحله خشک کردن ذرت

بسته به رقم و رطوبت نسبی محیط، ذرت با رطوبت ۲۵ تا ۳۵ درصد برداشت می‌شود که به منظور افزایش قابلیت نگهداری باید به صورت مصنوعی خشک شود. خشک کردن، فرایند پیچیده‌ای است که شامل انتقال حرارت، جرم و اندازه حرکت است. این پدیده سبب تغییرات برگشت ناپذیر تخریبی و غیر تخریبی در خواص فیزیکی، شیمیایی و ظاهر مواد همچون رنگ، ویسکوزیته و شکست هیدروکربن‌ها می‌شود که این تغییرات ممکن است کیفیت محصول را کاهش دهند. به همین دلیل نیاز است که جهت خشک کردن هر محصولی بهترین روش در حالت بهینه استفاده شود، تا کمترین افت کیفیت در محصول مورد نظر ایجاد شده و عملیات در کمترین زمان ممکن انجام شود (سومچارت و همکاران، ۲۰۰۱).

کاربرد روش‌های جدید و کارا با حفظ خواص کیفی که به وسیله آن‌ها بتوان زمان خشک کردن را کم نمود، همواره مورد علاقه تولید کنندگان و دست اندرکاران فرآوری محصولات مختلف است (ملک‌جانی، ۱۳۸۹).

۱-۵- اصطلاحات مربوط به خشک کردن

۱-۵-۱-مواد تر

معمولاً موادی که در فرایند خشک کردن مورد نظر هستند شامل مواد خشک (اسکلت اصلی) و مقداری رطوبت، که بیشتر به صورت فاز مایع می‌باشد.

۱-۵-۲-میزان رطوبت

میزان رطوبت عبارت است از وزن آب درون جسم تقسیم بر وزن ماده تر و یا ماده خشک که به ترتیب رطوبت بر پایه تر و رطوبت بر پایه خشک (روابط ۱-۱ و ۱-۲) نامیده می‌شود (عبدالمطلب و همکاران، ۲۰۰۹).

$$M_W = \frac{W_w - W_d}{W_w} \qquad (۱-۱)$$

که در آن:

M_W: میزان رطوبت بر پایه تر

W_w : وزن محصول تر (kg)

W_d: وزن محصول خشک (kg)

$$M_d = \frac{W_w - W_d}{W_d} \qquad (۱-۲)$$

که در آن:

M_d: میزان رطوبت بر پایه خشک

با استفاده از رابطه‌های زیر می‌توان میزان رطوبت بر پایه تر و خشک را به هم تبدیل کرد (هاشمی سلیمانی، ۱۳۷٤).

تبدیل رطوبت بر پایه خشک به رطوبت بر پایه تر:

$$M_W = \frac{M_d}{۱+M_d} \qquad (۱-۳)$$

تبدیل رطوبت بر پایه تر به رطوبت بر پایه خشک:

$$M_d = \frac{M_w}{۱-M_w} \qquad (۱-٤)$$

۱-۵-۳-مقدار رطوبت بیشینه

مقدار رطوبت ماده در موقعی که تمام خلل و فرج ماده اشباع از رطوبت باشد.

۱-۵-٤-مقدار رطوبت اولیه

مقدار رطوبت ماده در ابتدای عمل خشک کردن (ملک‌جانی، ۱۳۸۹).

۱-٦- سینیتیک خشک کردن

سینیتیک خشک کردن درباره تغییرات زمانی مقادیر متوسط رطوبت و درجه حرارت ماده بحث می‌کند. در مقابل، دینامیک خشک شدن تغییرات منحنی‌های درجه حرارت و رطوبت در بدنه خشک کن را بررسی می‌کند. سینیتیک خشک شدن، مقدار رطوبت تبخیر شده، زمان خشک شدن، انرژی مصرفی و سایر مشخصات را تا حد امکان فقط به کمک خواص فیزیکی- شیمیایی مواد تعیین می‌کند. با وجود این، تغییرات رطوبت مواد و درجه حرارت آنها معمولاً توسط انتقال جرم و حرارت بین سطح ماده و محیط اطراف و داخل ماده کنترل می‌شود.

شدت خشک شدن که منعکس کننده تغییرات مقدار رطوبت ماده نسبت به زمان است، شدیداً تحت تأثیر پارامترهایی از فرایند خشک شدن، مانند درجه حرارت، رطوبت، سرعت نسبی هوا و فشار کل می‌باشد. فرایند خشک شدن به کمک نمودارهایی که با محورهای مختصات زیر ساخته می‌شود به خوبی توصیف می‌شود.

۱- مقدار رطوبت مواد- زمان خشک شدن (منحنی خشک شدن)

۲- دبی خشک شدن- مقدار رطوبت مواد (منحنی دبی خشک شدن)

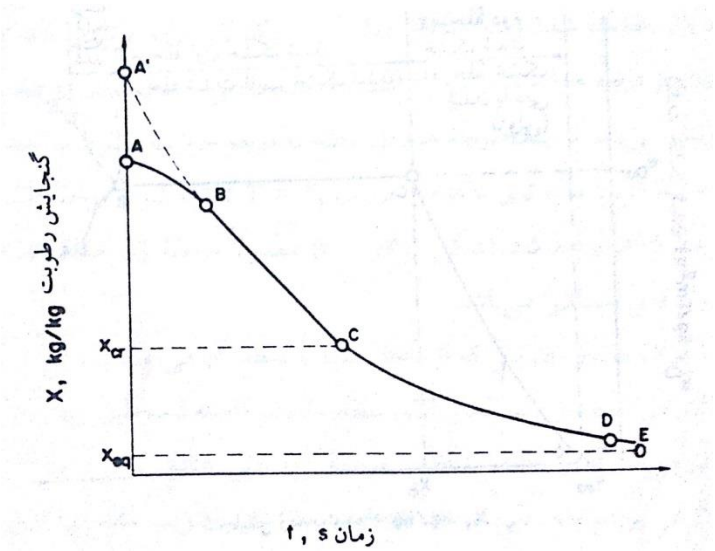
۳- درجه حرارت مواد- مقدار رطوبت مواد (منحنی درجه حرارت)

اطلاعات لازم برای تعیین این منحنی‌ها معمولاً در شرایط آزمایشگاهی با اندازه‌گیری تغییرات زمانی جرم و درجه حرارت یک نمونه از ماده به دست می‌آید. فرایند خشک شدن در حالت پایدار با استفاده از هوای داغ به عنوان عامل خشک کننده صورت می‌گیرد.

شکل (۱-۱) نمونه‌ای از منحنی خشک شدن از طریق جابجایی را نشان می‌دهد. در ابتدای مرحله خشک شدن، تغییرات رطوبت ماده با زمان با منحنی A-B بیان می‌شود. بعد از گذشت مقداری از زمان رابطه $X=f(t)$ به صورت خطی (BC) در آمده، دبی خشک شدن (شیب این خط) ثابت می‌ماند.

خطی بودن کاهش مقدار رطوبت ماده تا نقطه بحرانی C ادامه داشته، سپس خط مستقیم به منحنی تبدیل شده و به صورت مجانب تا نقطه رطوبت تعادلی ماده X_{eq} پیش می‌رود.

اولین مرحله خشک شدن (خط BC شکل ۱-۱) مرحله ثابت بودن دبی خشک شدن نامیده می‌شود. از نقطه بحرانی C مرحله دوم خشک شدن شروع می‌شود که آن را مرحله نزولی دبی خشک شدن می‌گویند (پهلوان‌زاده، ۱۳۷۷). خشک کردن اکثر محصولات کشاورزی در مرحله سرعت نزولی اتفاق می‌افتد (سابلانی و همکاران، ۲۰۰۰).

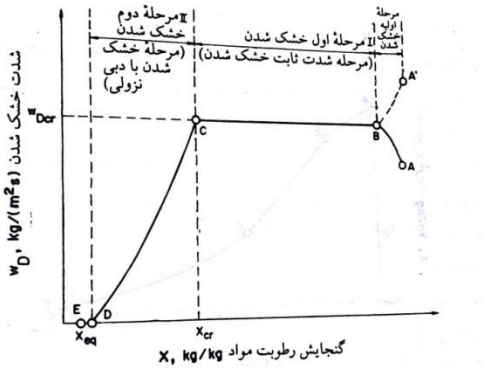


شکل ۱-۱- منحنی خشک شدن

نمودار دبی خشک شدن $W_D=f(x)$ که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است در عمل بسیار مفید است. دبی خشک شدن برابر است با مقدار رطوبت خارج شده از واحد سطح ماده خشک شده در واحد زمان:

$$W_D = -\frac{mdx}{Adt} \qquad (۱-۵)$$

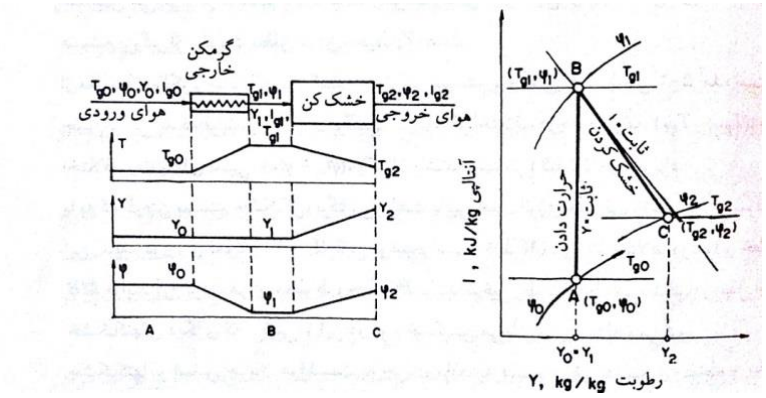
در شکل ۱-۲ می‌توان دو مرحله خشک شدن مشخص را از یکدیگر جدا کرد. توجیه شکل منحنی خشک شدن ارتباط نزدیکی با پدیده انتقال حرارت و جرم دارد (پهلوان‌زاده، ۱۳۷۷).



شکل ۱-۲- منحنی شدت خشک شدن

۱-۷- دیاگرام اساسی خشک‌کنها

دیاگرامی که در خشک‌کنها دایماً با آن سروکار داریم در شکل (۱-۳) آورده شده است. در این فرایند حالت هوا در دو مرحله تغییر می‌کند: حرارت دادن هوا در گرمکن (خط AB در شکل ۱-۳) و تغییر حالت هوا در خشک‌کن(خط BC در شکل ۱-۳) (پهلوان‌زاده، ۱۳۷۷).



شکل ۱-۳-نمودار اصلی خشک‌کن و تشریح آنها روی نمودار I-Y