

خلاصه

۷۱۶

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



انتشارات، شماره ۴۱۵

## روشهای خشک کردن مواد غذایی

گوستاو. باریوسا کانواس

هامبر تو وگا مرکادو

ترجمه:

دکتر سید علی مرتضوی - مهندس مسعود شقاقی زنونیان

با همکاری:

اکرم آریان فر - راضیه تیاژمند - شبنم اسدی نژاد

Barbosa Canovas, Gustavo V.

بریوزا - کانوواس، گوستاو و،

روشهای خشک کردن مواد غذایی / گوستاو. باربوسا کانوواس، هامبرتو و گامرکادو؛ برگردان  
علی مرتضوی، مسمود شفاعی زنوزیان؛ با همکاری اکرم آریان فر، راضیه نیازمند، شبنم اسدی نژاد. -  
مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۲.

۲۷۲ ص: مصور، جدول، نمودار. - (انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ شماره ۴۱۵)

ISBN: 964-386-006-5

۱۶۵۰۰ ریال

Dehydration of foods.

عنوان اصلی:

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.

کتابنامه.

۱. مواد غذایی -- خشک کردن. الف. وگا - مرکادو، اومبرتو،

Vega Mercado, Humberto. ب. مرتضوی، علی، ۱۳۱۶ - ، مترجم. ج. شفاعی

زنوزیان، مسمود، ۱۳۵۲ - ، مترجم. د. دانشگاه فردوسی مشهد. ه. عنوان.

۵۱۵

ح ۵ QA۴۰۳/۱۳۶

۱۳۸۲

م ۸۲-۱۳۲۸۱

کتابخانه ملی ایران



انتشارات، شماره ۴۱۵

روشهای خشک کردن مواد غذایی

تألیف

گوستاو. باربوسا کانوواس - هامبرتو و گامرکادو

ترجمه

دکتر سید علی مرتضوی - مهندس مسمود شفاعی زنوزیان

با همکاری: اکرم آریان فر - راضیه نیازمند - شبنم اسدی نژاد

ویراستار علمی

دکتر فخری شهیدی

وزیری، ۲۷۶ صفحه، ۱۰۰۰ نسخه، چاپ اول، بهار ۱۳۸۴

امور فنی و چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

## پیشگفتار مؤلف

خشک کردن مواد غذایی، از چالش‌های مهم در فرآوری مواد غذایی است و مفاهیم دامنه داری را در تحقیقات صنایع غذایی در بر می‌گیرد. اطلاعات مربوط به مبانی و کاربرد فرایند خشک کردن به طور عمده در گزارش‌های تحقیقاتی، کتاب‌ها، مطالب روزنامه‌های تجاری و سمینارها منتشر می‌شود. بدیهی است کتاب‌های متعددی جهت بررسی کامل و طبقه‌بندی شده جنبه‌های کاربردی و مبانی خشک کردن از دیدگاه تغییرات فیزیکی و شیمیایی حین فرآوری منتشر شده است. کتاب حاضر به عنوان مرجعی مفید در صنایع غذایی در مراکز علمی - دانشگاهی، الگوبندی و تهیه شده است و از دیدگاه مهندسی حاوی مطالب دسته بندی شده و روزآمد است.

کتاب شامل نه فصل، جدول‌های متعدد، شکل‌ها، نمودارها، عکس‌ها و کارهای تحقیقاتی فراوان، همراه با مثال‌های مبتنی بر اعداد و ارقام جهت درک هر کدام از مدل‌ها است. برای یکسان‌سازی در طیف وسیعی از منابع کوشش بسیار صورت گرفته است که شامل مسایل روز به همراه نکات ضروری برای درک بهتر فرایندها است.

برخی از جنبه‌های اساسی موجود در کتاب شامل مخلوط‌های هوا و آب، تئوری، تخمین و اندازه‌گیری فعالیت آب در مواد غذایی، انتقال شیشه‌ای و کاربرد آن در خشک کردن مواد غذایی، معتبرترین تئوری‌های خشک کردن مواد غذایی و خشک‌کن‌های ایده‌آل با سیرکولاسیون و بدون سیرکولاسیون هوا است. مشهورترین فنون خشک کردن مواد غذایی مانند خشک کردن پاششی، خشک کردن انجمادی، خشک کردن کابینتی و خشک کردن اسمزی به طور کامل بررسی می‌شوند. سایر روش‌ها نیز به طور خلاصه بررسی می‌گردند و راه‌کارهایی برای اصلاح عملیات خشک کردن جهت تهیه فرآورده‌هایی با بازده بالاتر ارائه می‌گردد. فصل آخر حاوی مطالبی گسترده در مورد انتخاب مواد بسته‌بندی جهت خشک کردن مواد غذایی است.

ما صمیمانه امیدواریم این کتاب گامی در جهت تحقیقات صنایع غذایی باشد و علاقه‌مندی به تحقیق، توسعه و کاربردها در زمینه خشک کردن مواد غذایی را گسترش دهد.

گوستاو باریوسا - کاتواس

هامبرتو وگا - مرکادو

## مقدمه مترجمین

افزایش جمعیت جهان و رشد بی‌رویه جمعیت نیاز به مواد غذایی را به نحوی مهارناپذیر افزایش داده و گسترش صنایع به‌ویژه صنایع غذایی را ضروری نموده است.

خشک کردن مواد غذایی، بخشی از استراتژی مهندسی صنایع غذایی است که هدف آن به‌کارگیری مجموعه عملیات واحد جهت افزایش زمان ماندگاری محصول، پاسخ سریع به نیازهای بازار مصرف، کاهش هزینه‌ها، افزایش راندمان و کیفیت است.

خشک کردن مواد غذایی بخش مهمی از برنامه آموزشی رشته علوم و صنایع غذایی است. در این کتاب مبانی و روشهای خشک کردن مواد غذایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مبانی مربوط به خشک‌کن‌های ایده‌آل، مکانیسم‌های خشک کردن و خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی مواد غذایی خشک در فصولی جداگانه مطرح شده‌اند. به علاوه در فصل‌های بعدی روشهای خشک کردن به شیوه کابینتی پاششی، انجمادی، خشک کردن اسمزی، خشک کردن خورشیدی، خشک کردن تحت خلاء، خشک کردن به طریقه مایکروویو و خشک کردن پنوماتیک و خشک کردن بستر سیال به‌طور موشکافانه‌ای بررسی شده است. موارد کاربرد اصول مطرح شده در هر فصل با ذکر مثالهای عملی مورد تأکید قرار گرفته است.

در کنار طرح مبانی خشک کردن، اطلاعات توصیفی و ترسیمی در مورد برخی از تجهیزات مورد استفاده در عملیات واحد نیز آورده شده است. کتاب حاضر نه تنها به عنوان یک کتاب درسی جهت دانشجویان صنایع غذایی مورد استفاده می‌باشد، بلکه برای مهندسمین طراح محققین و کارشناسان صنایع و کلیه دست‌اندرکاران مسائل خشک کردن مواد غذایی کاربرد دارد.

امید است این کتاب به عنوان راهبردی جهت کمک به بهبود فرآیندهای خشک کردن همچنین الهام بخشی جهت تشویق محققین و برانگیزاننده تلاشهای آنها در این زمینه باشد. در اینجا لازم می‌دانیم از سرکار خانم مهندس جهانگیری به خاطر همکاری در تصحیح متن ترجمه کتاب تشکر و قدردانی گردد. همچنین از کلیه کسانی که در مراحل مختلف ترجمه، حروفچینی و انتشار کتاب همکاری نموده‌اند صمیمانه سپاسگزاری می‌نماییم.

سید علی مرتضوی - مسعود شفافی زوزیان

# فهرست

۱۱	مقدمه‌ای بر خشک کردن مواد غذایی	فصل اول
۱۱	.....	۱ مقدمه
۱۲	.....	۱-۱ جنبه‌های تئوری
۱۳	.....	۱-۲ خشک کن‌ها
۱۵	.....	۱-۳ جمع بندی
۱۶	.....	۱-۴ منابع
۱۷	مبانی جریان‌های هوای مرطوب و خشک‌کن‌های ایده‌آل	فصل دوم
۱۷	.....	۲ مقدمه
۱۷	.....	۲-۱ مبانی جریان هوای مرطوب
۱۸	.....	۲-۱-۱ روابط گاز ایده‌آل
۱۹	.....	۲-۱-۲ مقدار رطوبت هوا
۲۰	.....	۲-۱-۳ نمودار رطوبت سنجی
۲۰	.....	۲-۱-۳-۱ دمای حباب خشک
۲۰	.....	۲-۱-۳-۲ اشباع نسبی یا رطوبت نسبی
۲۲	.....	۲-۱-۳-۳ درصد اشباع یا درصد رطوبت مطلق
۲۲	.....	۲-۱-۳-۴ حجم مرطوب یا حجم ویژه
۲۲	.....	۲-۱-۳-۵ گرمای مرطوب
۲۲	.....	۲-۱-۳-۶ انتالپی مخلوط بخار و گاز
۲۳	.....	۲-۱-۳-۷ نقطه شبنم
۲۳	.....	۲-۱-۴ شرایط هوای اشباع
۲۴	.....	۲-۱-۵ دمای اشباع آدیباتیک
۲۴	.....	۲-۱-۶ دمای حباب مرطوب
۲۷	.....	۲-۲ مخلوط کردن دو جریان هوا
۲۸	.....	۲-۳ موازنه حرارت و انرژی در خشک کن‌های ایده‌آل
۲۸	.....	۲-۳-۱ خشک کن مداوم بدون سیرکولاسیون مجدد
۳۰	.....	۲-۳-۲ خشک کن مداوم با سیرکولاسیون مجدد
۳۱	.....	۲-۴ جمع بندی
۳۱	.....	۲-۵ منابع

۳۳	فصل سوم	ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژی مواد غذایی خشک
۳۳	۳	مقدمه
۳۳	۳-۱	آب موجود در مواد غذایی
۳۵	۳-۲	تعیین مقدار آب
۳۶	۳-۳	فعالیت آب
۳۶	۳-۳-۱	ترمودینامیک فعالیت آب
۳۸	۳-۱-۱-۱	قانون رانول
۳۹	۳-۳-۲	مدل های تئوری و تجربی تخمین فعالیت آب و کاربرد آنها
۳۹	۳-۳-۲-۱	محلول های غیر الکترولیت
۴۲	۳-۳-۳-۲	محلول های الکترولیت
۴۵	۳-۳-۲-۳	مخلوط های چند جزئی
۵۳	۳-۳-۳	اندازه گیری فعالیت آب
۵۳	۳-۳-۳-۱	فشار بخار
۵۴	۳-۳-۳-۲	کاهش نقطه انجماد و افزایش نقطه جوش
۵۴	۳-۳-۳-۳	فشار اسمزی
۵۵	۳-۳-۳-۴	رطوبت سنج نقطه شبنم
۵۵	۳-۳-۳-۵	رطوبت سنج ترموکوپلی
۵۵	۳-۳-۳-۶	روش خطوط هم فشار و روش درون یابی ترمیم
۵۶	۳-۳-۳-۷	رطوبت سنج الکتریکی و مویی
۵۷	۳-۳-۳-۸	پتانسیل آب
۵۷	۳-۴	پدیده جذب و ایزوترم های جذب
۵۸	۳-۴-۱	پدیده هیسترسیس
۵۹	۳-۴-۲	تأثیر دما بر پدیده جذب
۶۰	۳-۴-۳	معادله (BET)
۶۲	۳-۴-۴	گرمای جذب و تغییر انرژی آزاد
۶۲	۳-۴-۵	مدل های تجربی و تئوری ایزوترم های جذب
۶۳	۳-۴-۵-۱	مدل هندرسون
۶۳	۳-۴-۵-۲	مدل ایگلسیاس - چیریف
۶۳	۳-۴-۵-۳	مدل (GAB)
۶۴	۳-۴-۵-۴	مدل اسمیت
۶۴	۳-۴-۶	ایزوترم جذب و استانداردهای فعالیت آب
۶۶	۳-۵	پایداری مواد غذایی
۶۶	۳-۵-۱	فساد میکروبی
۶۸	۳-۵-۲	واکنش های آنزیمی
۶۹	۳-۵-۳	واکنش های غیر آنزیمی

۷۱	..... اکسیداسیون لیپیدها	۳-۵-۴
۷۳	..... پدیده فیزیکی و ساختمانی	۳-۵-۵
۷۳	..... دمای انتقال شیشه‌ای	۳-۵-۵-۱
۷۹	..... روش‌های بررسی ساختمان مواد غذایی	۳-۳-۵-۲
۸۱	..... نابودی مواد مغذی، اجزای مولد بر و مزه در غذا	۳-۵-۶
۸۴	..... جمع بندی	۳-۶
۸۵	..... منابع	۳-۷
۹۱	..... ساز و کارهای خشک کردن	فصل چهارم
۹۱	..... مقدمه	۴
۹۲	..... فرآیند خشک کردن	۴-۱
۹۵	..... دوره سرعت ثابت	۴-۱-۱
۹۹	..... دوره سرعت نزولی	۴-۱-۲
۹۹	..... نظریه انتشار	۴-۱-۲-۱
۱۰۴	..... نظریه موینگی	۴-۱-۲-۲
۱۰۴	..... نظریه تبخیر - کندانسین	۴-۱-۲-۳
۱۰۶	..... نظریه لایکو	۴-۱-۲-۴
۱۰۹	..... نظریه فیلیپ و دوریس	۴-۱-۲-۵
۱۱۱	..... نظریه پای و برگر	۴-۱-۲-۶
۱۱۴	..... نظریه وایتکر	۴-۱-۲-۷
۱۲۲	..... مدل استرانجین - براد	۴-۱-۲-۸
۱۲۴	..... نظریه شرایط منظم	۴-۱-۲-۹
۱۲۸	..... فرآیند خشک کردن و فعالیت آب	۴-۲
۱۲۹	..... جمع بندی	۴-۳
۱۲۹	..... فهرست نشانه‌ها	۴-۴
۱۳۳	..... منابع	۴-۵
۱۳۵	..... خشک‌کن‌های کابینتی و بستری	فصل پنجم
۱۳۵	..... مقدمه	۵
۱۳۵	..... مبانی (اصول)	۵-۱
۱۳۷	..... اجزای خشک‌کن	۵-۱-۱
۱۳۷	..... موازنه جرم و حرارت	۵-۲
۱۳۸	..... خشک‌کن غیر مداوم	۵-۲-۱
۱۴۰	..... خشک‌کن غیر مداوم با سیرکولاسیون هوا	۵-۲-۲
۱۴۴	..... خشک‌کن‌های مداوم	۵-۲-۳

۱۴۵	.....	انواع خشک‌کن‌ها	۵-۳
۱۴۵	.....	خشک‌کن‌های غیر مداوم	۵-۳-۱
۱۴۶	.....	خشک‌کن کیلن	۵-۳-۱-۱
۱۴۶	.....	خشک‌کن سینی دار یا کابینتی	۵-۳-۱-۲
۱۴۷	.....	خشک‌کن دوار	۵-۳-۱-۳
۱۴۹	.....	خشک‌کن‌های مداوم	۵-۳-۲
۱۵۰	.....	خشک‌کن تونلی	۵-۳-۲-۱
۱۵۰	.....	خشک‌کن تقاله‌ای یا تسمه‌ای	۵-۳-۲-۲
۱۵۵	.....	خشک‌کن بخاری	۵-۳-۳
۱۵۵	.....	پمپ‌های حرارتی	۵-۳-۴
۱۵۶	.....	جمع بندی	۵-۴
۱۵۶	.....	فهرست لغات و اسامی	۵-۵
۱۵۷	.....	منابع	۵-۶
۱۵۹	.....	خشک‌کن پاششی	فصل ششم
۱۵۹	.....	مقدمه	۶
۱۶۱	.....	مبانی	۶-۱
۱۶۱	.....	نازل‌های فشاری	۶-۱-۱
۱۶۳	.....	نازل‌های دوار	۶-۱-۲
۱۶۷	.....	نازل‌های پنوماتیک دوسیاله	۶-۱-۳
۱۶۸	.....	واکنش متقابل بین قطره و هوای خشک	۶-۲
۱۶۹	.....	موازنه جرم و حرارت	۶-۳
۱۷۱	.....	خشک کردن قطرات	۶-۴
۱۷۱	.....	قطرات خالص مایع	۶-۴-۱
۱۷۶	.....	قطرات حاوی مواد جامد محلول	۶-۴-۲
۱۷۷	.....	قطرات حاوی مواد جامد نامحلول	۶-۴-۳
۱۷۸	.....	ریز ساختار محصول خشک‌کن پاششی	۶-۵
۱۷۹	.....	بازسازی محصول خشک‌کن پاششی	۶-۶
۱۷۹	.....	خشک‌کن پاششی پفکی	۶-۷
۱۸۳	.....	کاربرد خشک‌کن‌های پاششی در صنعت غذا	۶-۸
۱۸۳	.....	فرآورده‌های شیر	۶-۸-۱
۱۸۴	.....	قهوه فوری	۶-۸-۲
۱۸۵	.....	چای فوری	۶-۸-۳
۱۸۶	.....	بودر تخم مرغ	۶-۸-۴
۱۸۶	.....	خشک کردن پاششی آنزیمها	۶-۸-۵



۱۸۶	..... میکروارگانسیم‌ها و مخمرها	۶-۸-۶
۱۸۸	..... خشک کردن پاششی پروتئینهای آب پنیر	۶-۸-۷
۱۸۹	..... جمع بندی	۶-۹
۱۸۹	..... فهرست نشانه‌ها	۶-۱۰
۱۹۱	..... منابع	۶-۱۱
۱۹۳	<b>خشک کردن انجمادی</b>	<b>فصل هفتم</b>
۱۹۳	..... مقدمه	۷
۱۹۵	..... مبانی خشک کردن انجمادی	۷-۱
۱۹۶	..... مرحله انجماد	۷-۱-۱
۱۹۶	..... مراحل خشک کردن - خشک کردن اولیه و ثانویه	۷-۱-۲
۱۹۷	..... ترکیب انتقال جرم و حرارت	۷-۲
۱۹۷	..... مدل یکنواخت	۷-۲-۱
۲۰۴	..... مدل غیر یکنواخت	۷-۲-۲
۲۰۵	..... تغییرات ساختمانی و حفظ مواد فرار	۷-۳
۲۰۷	..... فرآیندهای مرتبط با خشک کردن انجمادی	۷-۴
۲۰۷	..... انجماد اولیه	۷-۴-۱
۲۰۸	..... تماس مستقیم	۷-۴-۱-۱
۲۰۸	..... تماس غیر مستقیم	۷-۴-۱-۲
۲۰۹	..... تغلیظ اولیه	۷-۴-۲
۲۰۹	..... کندانس کردن	۷-۴-۳
۲۱۰	..... دیفراسر کردن	۷-۴-۴
۲۱۰	..... خشک کن انجمادی صنعتی	۷-۵
۲۱۴	..... گرمادهی با مایکروویو در خشک کن انجمادی	۷-۶
۲۱۷	..... خشک کردن انجمادی اتمسفری	۷-۷
۲۱۸	..... جمع بندی	۷-۸
۲۱۹	..... منابع	۷-۹
۲۲۱	<b>خشک کردن اسمزی</b>	<b>فصل هشتم</b>
۲۲۱	..... مقدمه	۸
۲۲۲	..... مبانی	۸-۱
۲۲۳	..... موازنه حرارت و جرم	۸-۲
۲۲۵	..... محلولهای اسمزی	۸-۳
۲۲۶	..... فناوری هاردل و خشک کردن اسمزی	۸-۴
۲۲۷	..... pH به عنوان یک هاردل	۸-۴-۱

۲۲۸	مواد ضد میکروبی به عنوان هاردل	۸-۴-۲
۲۲۸	خشک کردن در هوا، خشک کردن تحت خلاء و خشک کردن انجمادی	۸-۴-۳
۲۳۰	کاربردهای خشک کن اسمزی و فناوری هاردل	۸-۵
۲۳۱	میوه‌ها	۸-۵-۱
۲۳۳	سبزیها	۸-۵-۲
۲۳۴	ماهی و فرآورده‌های گوشتی	۸-۵-۳
۲۳۵	مواد غذایی با رطوبت متوسط	۸-۵-۴
۲۳۵	آبگیری مجدد فرآورده‌های خشک اسمزی	۸-۶
۲۳۶	جمع بندی	۸-۷
۲۳۶	منابع	۸-۸
۲۴۱	سایر روش‌های خشک کردن مواد غذایی و جنبه‌های بسته‌بندی	فصل نهم
۲۴۱	مقدمه	۹
۲۴۱	خشک کردن خورشیدی	۹-۱
۲۴۴	جابجایی طبیعی یا نوع مستقیم	۹-۱-۱
۲۴۵	خشک کن یا جابجایی طبیعی غیر مستقیم	۹-۱-۲
۲۴۶	خشک کردن خورشیدی با تهریه یا جابجایی اجباری	۹-۱-۳
۲۴۸	خشک کن تحت خلاء	۹-۲
۲۴۸	خشک کن استوانه‌ای	۹-۳
۲۵۰	خشک کردن مایکروویو	۹-۴
۲۵۱	پخت اکتروژن	۹-۵
۲۵۲	اکسترودرهای تک مارپیچی	۹-۵-۱
۲۵۳	اکسترودرهای دو مارپیچی	۹-۵-۲
۲۵۵	خشک کن بایستر متحرک	۹-۶
۲۵۵	بستر متحرک غیر مداوم	۹-۶-۱
۲۵۶	بستر متحرک مداوم	۹-۶-۲
۲۵۷	خشک کن‌های پنوماتیک	۹-۷
۲۵۹	بسته‌بندی مواد غذایی خشک	۹-۸
۲۶۴	جمع بندی	۹-۹
۲۶۵	منابع	۹-۱۰
۲۶۷	ضمایم	
۲۶۷	خصوصیات بخار داغ	ضمیمه ۱
۲۶۸	خصوصیات بخار اشباع	ضمیمه ۲
۲۷۰	خصوصیات فیزیکی آب در فشار اشباع	ضمیمه ۳
۲۷۱	خصوصیات فیزیکی هوای خشک در فشار اتمسفری	ضمیمه ۴
۲۷۱	خصوصیات یخ	ضمیمه ۵