

۱۵۸۳۹۳

به نام خدا

مبانی فرآیند آبیاری اسمزی مواد غذایی و محصولات کشاورزی (اصول، مدل سازی، تجهیزات و کاربردها)

مؤلف

دکتر محسن مختارین

(عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر)



سرشناسه	: مختاریان، محسن. ۱۳۶۴-
عنوان و نام‌پدیدآور	: مبانی فرآیند آبگیری اسمزی مواد غذایی و محصولات کشاورزی (اصول، مدل‌سازی، تجهیزات و کاربردها) / تألیف محسن مختاریان.
مشخصات نشر	: تهران: انتشارات پادینا
مشخصات ظاهری	: ۱۴۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۸۵۸۸-۷۲-۶
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا.
یادداشت	: عنوان به انگلیسی: Fundamental of osmotic dehydration of food and agriculture products (principle, modelling, equipment and applications)
موضوع	: مواد غذایی -- خشک کردن
شناسه افزوده	: مختاریان، محسن، ۱۳۶۴ - مؤلف
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۶ م۳/۵/TP۳۷۱
رده‌بندی دیویی	: ۶۶۴/۰۲۸۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۰۹۵



مبانی فرآیند آبگیری اسمزی مواد غذایی و محصولات کشاورزی

(اصول، مدل‌سازی، تجهیزات و کاربردها)

مؤلف: دکتر محسن مختاریان

ویراستار: فاطمه نوشکی

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۵۸۸-۷۲-۶

ناشر: انتشارات پادینا

شمارگان: ۵۰۰ جلد - نوبت چاپ: تهران، اول ۳۹۶

چاپ و صحافی: پادینا

قیمت: ۱۳۰۰۰۰ ریال

تلفن: ۷۷۴۲۱۷۵۷ (۰۲۱) همراه: ۰۹۰۲۵۰۸۸۳۸۱

padina.pub@gmail.com www.padinapub.com

on. Padina Publication. Padina Publication. Padina Publication. Padina Publication. Pa

حق هر گونه چاپ یا کپی برداری برای مؤلف محفوظ است.

پیشگفتار مؤلف

فرآیند آبیگری اسمزی، به عملیات حذف جزئی آب موجود در بافت‌های گیاهی توسط غوطه‌ور نمودن فرآورده در محلول با فشار اسمزی بالا (هیپرتونیک) گفته می‌شود. به دلیل مزایای مرتبط با انرژی و کیفیت فرآورده، فناوری آبیگری اسمزی به عنوان یک گام فرآوری تکمیلی در چرخه یکپارچه فرآوری مواد غذایی محبوبیت کسب نموده است. اساساً فرآیند آبیگری اسمزی به طور ذاتی آهسته بوده و بنابراین یافتن روش‌هایی برای افزایش نرخ انتقال جرم بدون اینکه اثرات نامطلوبی بر روی کیفیت محصول بگذارد، یک نیاز اساسی می‌باشد. روش‌های مختلفی نظیر بکارگیری فشار هیدرواستاتیک بالا، میدان الکتریکی ضربانی، پرتوهای گاما، فراصوت، خلاء و نیروی گریز از مرکز (سانتریفوژ) مورد پژوهش قرار گرفته است. معادلات جهت پیش‌بینی ضرایب انتشار در مواد غذایی مختلف که دارای ابعاد و هندسه خاصی هستند، بحث شده است. استفاده از تیمار آبیگری اسمزی در عملیات فرآوری مواد غذایی مختلف نظیر خشک کردن، انجماد، جذب مجدد آب، سرخ کردن و تولید مربا مورد بررسی قرار گرفته است.

این کتاب مشتمل بر ده فصل با عناوین مبانی فرآیند آبیگری اسمزی، عوامل مؤثر بر فرآیند آبیگری اسمزی، مدل‌سازی فرآیند آبیگری اسمزی، روش‌های به‌کارگیری انتقال جرم در فرآیند آبیگری اسمزی، کنترل پارامترها در فرآیند آبیگری اسمزی، طراحی تجهیزات فرآیند آبیگری اسمزی، کاربردهای فرآیند آبیگری اسمزی، مزایای صنعتی فرآیند آبیگری اسمزی، محدودیت‌های فرآیند آبیگری اسمزی و آزمون‌های کاربردی در فرآیند آبیگری اسمزی بود که می‌تواند به عنوان منبع مناسبی برای ارتقاء سطح دانش دانشجویان و اساتید در رشته علوم و صنایع غذایی و متخصصان این امر مورد توجه قرار گیرد. در این کتاب سعی شده است حتی الامکان به تمامی اصول فرآیند آبیگری اسمزی به نحو صحیح اشاره شود. بدیهی است نواقص و کاستی‌هایی در کتاب حاضر دیده می‌شود که از اساتید، دانشجویان و صاحب‌نظران عزیز تقاضا می‌کنم آنها را به نحو مقتضی، منعکس نموده تا در چاپ‌های بعدی کتاب در نظر گرفته شود.

محسن مختاریان

زمستان ۱۳۹۶

۱۱	.....	مقدمه
۱۵	.....	فصل اول مبانی فرآیند آبیگری اسمزی
۱۵	.....	۱-۱- ساختاری بافت گیاهی
۱۷	.....	۲-۱- انتقال جرم در فرآیند آبیگری اسمزی
۲۱	.....	۳-۱- مکانیسم آبیگری اسمزی
۲۵	.....	۴-۱- فشار اسمزی
۲۹	.....	فصل دوم عوامل مؤثر بر فرآیند آبیگری اسمزی
۲۹	.....	۱-۲- عوامل مؤثر در فرآیند انتقال جرم
۳۰	.....	۱-۱-۲- نوع عوامل مؤثر در فرآیند انتقال جرم
۳۱	.....	۲-۱-۲- غلظت محلول اسمزی
۳۱	.....	۳-۱-۲- دمای محلول اسمزی
۳۲	.....	۴-۱-۲- ویژگی‌های مواد جامد محلول مورد استفاده در فرآیند آبیگری اسمزی
۳۳	.....	۵-۱-۲- همزدن محلول اسمزی
۳۳	.....	۶-۱-۲- ویژگی‌های هندسی ماده غذایی
۳۴	.....	۷-۱-۲- نسبت محلول اسمزی به جرم ماده غذایی
۳۴	.....	۸-۱-۲- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مواد غذایی
۳۶	.....	۹-۱-۲- فشار عملیاتی و سایر عوامل
۳۷	.....	فصل سوم مدل سازی فرآیند آبیگری اسمزی
۳۷	.....	۱-۳- مقدمه
۴۵	.....	۲-۳- مدل ها برای فرآیند آبیگری اسمزی
۴۵	.....	۱-۲-۳- تجربی و نیمه تجربی
۴۵	.....	۱-۱-۲-۳- مدل آزورا
۴۶	.....	۲-۱-۲-۳- مدل پلگ
۴۷	.....	۳-۱-۲-۳- مدل پیچ

۴۸	 مدل نفوذ ۳-۲-۱-۴
۴۸	 مدل میج ۳-۲-۱-۵
۴۹	 مدل توزیع ویبال ۳-۲-۱-۶
۴۹	 سایر مدل های تجربی /نیمه تجربی ۳-۲-۱-۷
۵۰	 مکانیکی ۳-۲-۲
۵۰	 مدل تیوپین و همکاران ۳-۲-۱-۱
۵۱	 مدل مارکوت و همکاران ۳-۲-۲-۲
۵۲	 مدل مکانیسم هیدرودینامیکی ۳-۲-۲-۳
۵۳	 مدل اسپازی و ماشیرونی ۳-۲-۲-۴
۵۳	 مدل میگوو و همکاران ۳-۲-۲-۵
۵۴	 سایر مدل های مکانیکی ۳-۲-۲-۶
۵۵	 پدیدارشناسی ۳-۲-۳
۵۵	 مدل کرانک ۳-۲-۱-۳
۵۶	 مدل هق و همکاران ۴-۳-۲-۲
۵۷	 سایر مدل های پدیدارشناسی ۴-۳-۲-۳
۵۷	 مقایسه مدل ها ۴-۲-۳
۵۷	 مقایسه براساس کاربردها ۴-۲-۱-۴
۶۲	 مقایسه ریاضی معادلات مدل ها ۴-۲-۲-۴
۶۳	 روش های نوین مدل سازی آبیگری اسمزی ۳-۳

فصل چهارم روش های بهبود نرخ انتقال جرم در فرایند آبیگری اسمزی ۶۵

۶۵	 روش های افزایش نرخ انتقال جرم ۴-۱-۱
۶۵	 بکارگیری فشار هیدرواستاتیک بالا ۴-۱-۱-۱
۶۷	 بکارگیری میدان الکتریکی ضربانی با شدت بالا ۴-۱-۲
۶۹	 بکارگیری فراصوت ۴-۱-۳
۷۰	 بکارگیری پرتوی گاما ۴-۱-۴
۷۰	 بکارگیری خلاء طی آبیگری اسمزی ۴-۱-۵
۷۱	 بکارگیری نیروی گریز از مرکز (سانتریفوژ) ۴-۱-۶

فصل پنجم کنترل پارامترها در فرآیند آبیگری اسمزی ۷۳

۱-۵ مدیریت محلول اسمزی ۷۳

فصل ششم طراحی تجهیزات فرآیند آبیگری اسمزی ۷۷

۱-۶ غوطه‌وری ماده غذایی در محلول اسمزی ۷۷

۲-۶ پاشش محلول اسمزی بر روی ماده غذایی ۸۲

۳-۶ تماس ماده تناظر کننده جامد با ماده غذایی ۸۳

۴-۶ تجهیزات تحت فشار پایین (خلأ) ۸۳

فصل هفتم آبرسانی فرآیند آبیگری اسمزی ۸۵

۱-۷ آبیگری اسمزی و خنک کردن با هوا ۸۵

۲-۷ آبیگری اسمزی و انجماد ۸۷

۳-۷ آبیگری اسمزی و فرآیند سرخ کردن ۸۹

۴-۷ آبیگری اسمزی و بازآب‌پوشی ۹۰

۵-۷ آبیگری اسمزی و تولید مربا ۹۳

فصل هشتم مزایای صنعتی فرآیند آبیگری اسمزی ۹۵

۱-۸ بهبود کیفیت ۹۵

۲-۸ بازده انرژی ۹۸

۳-۸ کاهش هزینه‌های بسته‌بندی و توزیع ۹۹

۴-۸ عدم نیاز به تیمار شیمیایی ۹۹

۵-۸ پایداری فرآورده طی انبارمانی ۱۰۰

فصل نهم محدودیت‌های فرآیند آبیگری اسمزی ۱۰۱

۱-۹ گرانبروی و چگالی محلول اسمزی ۱۰۱

۲-۹ هزینه محلول اسمزی ۱۰۱

۳-۹ توسعه آلودگی میکروبی در محلول اسمزی ۱۰۲

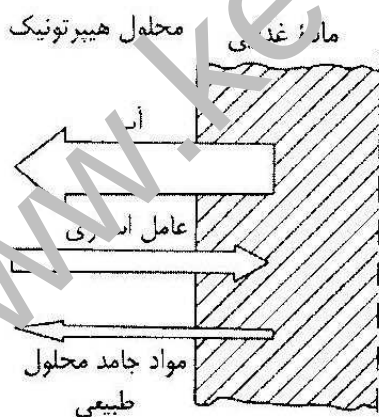
- ۹-۴- واکنش قهوه‌ای شدن مایلارد ۱۰۲
- ۹-۵- اُفت مواد مغذی طی آبگیری اسمزی ۱۰۳
- ۹-۶- جذب عوامل اسمزکننده به بافت ماده غذایی ۱۰۳

فصل دهم آزمون‌های کاربردی در فرایند آبگیری اسمزی ۱۰۷

- ۱-۱۰- آزمون‌های فیزیکی ۱۰۷
- ۱-۱-۱- رنگ ۱۰۷
- ۱-۱-۲- بافت ۱۰۸
- ۱-۱-۳- حجم ۱۱۰
- ۱-۱-۴- چروکیدگی ۱۱۱
- ۱-۱-۵- چگالی و شل و آب (SC) ۱۱۱
- ۱-۱-۶- تخلخل ۱۱۲
- ۱-۱-۷- میزان رطوبت و ماده خشک ۱۱۳
- ۱-۱-۸- ریزساختار ۱۱۳
- ۱-۱-۹- گرانروی ۱۱۴
- ۱-۲- آزمون‌های شیمیایی ۱۱۴
- ۱-۲-۱- فعالیت آب (a_w) ۱۱۴
- ۱-۲-۲- pH ۱۱۴
- ۱-۲-۳- اسیدیت ۱۱۵
- ۱-۲-۴- ویتامین C ۱۱۵
- ۱-۲-۴-۱- استاندارد کردن محلول رنگی ۱۱۶
- ۱-۲-۴-۲- استخراج ۱۱۶
- ۱-۲-۴-۳- تیتراسیون اسید آسکوربیک احیاء شده و محاسبات ۱۱۷
- ۱-۲-۵- آزمون قند (روش لین و آینون) ۱۱۸
- ۱-۲-۵-۱- استاندارد نمودن محلول فهلینگ (تعیین فاکتور فهلینگ) ۱۱۸
- ۱-۲-۵-۲- قندهای احیاکننده (قند قبل از هیدرولیز) ۱۱۹
- ۱-۲-۵-۳- آزمون قند کل ۱۲۰
- ۱-۲-۵-۴- اندازه‌گیری ساکارز ۱۲۱
- ۱-۲-۶- هیدروکسی متیل فورفورال (HMF) ۱۲۱

۱۲۲	۱۰-۲-۷- کاروتنوئید
۱۲۲	۱۰-۲-۷-۱- استخراج کاروتنوئیدها
۱۲۲	۱۰-۲-۷-۲- اندازه‌گیری مقدار کاروتنوئیدها
۱۲۳	۱۰-۲-۸- کلروفیل
۱۲۳	۱۰-۲-۹- فعالیت آنٹی اکسیدانی
۱۲۴	۱۰-۲-۱۰- ترکیبات فنولیک تام
۱۲۵	۱۰-۳-۱- آزمون‌های میکروبیولوژیکی
۱۲۵	۱۰-۴-۱- ارزیابی حسی
۱۲۷	نتیجه‌گیری
۱۲۹	منابع
۱۳۱	واژه‌نامه (انگلیسی به فارسی)
۱۳۵	واژه‌نامه (فارسی به انگلیسی)
۱۳۹	فهرست نمایه موضوعی

فرآیند آبیگری اسمزی، به عملیات حذف جزئی آب موجود در بافت‌های گیاهی توسط غوطه‌ور نمودن محصول در محلول با فشار اسمزی بالا (هیپرتونیک) گفته می‌شود. حذف آب بر اساس ماهیت ماده و پدیده غیرتخریبی اسمز در مجاورت غشاء سلولی انجام می‌گیرد. نیروی محرکه لازم جهت انتشار آب از بافت ماده غذایی به محلول اسمزی از طریق فشار اسمزی بالای محلول هیپرتونیک تأمین می‌گردد. انتشار آب از ماده غذایی، همزمان با انتشار مواد جامد از محلول اسمزی به داخل بافت ماده غذایی ولی در جهت مخالف، صورت پذیرد. با توجه به اینکه غشاء سلولی عامل انتقال اسمزی کاملاً انتخابی نمی‌باشد، برخی مواد جامد موجود در سلول‌ها نظیر اسیدهای آلی، قندهای احیاء کننده، مواد معدنی، مواد طعم‌زا و ... نیز از ماده غذایی به محلول اسمزی انتقال می‌یابد، که این عمل در خصوصیات تغذیه‌ای و آردا ولیتیکی (مغذایی) محصول مؤثر است (شکل ۱).



شکل ۱- پدیده انتقال جرم در فرآیند آبیگری اسمزی.

نرخ (سرعت) انتشار آب از مواد تشکیل‌دهنده بافت ماده غذایی به عواملی نظیر دما و غلظت محلول اسمزی، اندازه و ویژگی‌های هندسی ماده، نسبت جرم محلول اسمزی به مواد جامد در یک حد مشخص و همزدن محلول اسمزی وابسته می‌باشد. تأثیر این عوامل، بر سرعت انتقال جرم مواد غذایی طی فرآیند آبیگری اسمزی، در پژوهش‌های متعددی مورد بحث قرار گرفته است. شایان ذکر

است که این متغیرها را می‌توان فقط در دامنه بسیار کوچکی تغییر داد، با وجود اینکه این تغییرات سبب افزایش انتقال جرم می‌شود، ولی تأثیر مخربی بر کیفیت نمونه خواهد داشت. بنابراین شناسایی روش‌هایی که سبب افزایش نرخ انتقال جرم شده ولی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کیفیت محصول نداشته باشد، لازم و ضروری است.

انتقال جرم در حین فرآیند اسمز از بین غشاهای سلولی نیمه تراوای مواد بیولوژیکی صورت می‌گیرد که این امر باعث ایجاد مقاومت بالایی در انتقال جرم می‌گردد. وضعیت غشاء سلولی می‌تواند از حالت نیمه تراوا تا تراوایی کامل تغییر یابد، این پدیده تغییرات قابل توجهی در ساختار بافت سلولی ماده غذایی ایجاد می‌نماید. در طی آبیگری اسمزی مواد غذایی، این پدیده از سطح رویی تا بخش درونی مواد غذایی که در تماس با محلول اسمزی بوده، صورت گرفته و تنش اسمزی حاصله منجر به تجزیه و از هم پاشیدگی سلول می‌گردد. بیشترین عامل از هم پاشیدگی سلول را می‌توان به کاهش اندازه ایجاد شده توسط جذب آب طی فرآیند اسمزی نسبت داد که منجر به کاهش تماس بین غشاء سلولی بیرونی و دیواره سلولی می‌گردد.

اختلاف پتانسیل‌های شیمیایی مربوط به آب و مواد جامد در یک سیستم جامد-مایع (محلول) منجر به جریان ترکیب‌های مختلف ماده و مایع می‌گردد. در ۲ الی ۳ ساعت اول غوطه‌وری، بخش اعظم آب از ماده غذایی حذف شده و مواد جامد به داخل ماده غذایی وارد می‌شود. پس از آن محتوی رطوبت بین ماده غذایی و محلول اسمزی به تدریج کاهش یافته، تا در نهایت سیستم به یک حالت تعادل دینامیکی از لحاظ انتقال مولکولی برسد.

فرآیند آبیگری اسمزی را می‌توان توسط دوره‌های تعادل دینامیکی شرح داد. در دوره دینامیکی، نرخ‌های انتقال جرم افزایش و یا کاهش یافته تا اینکه به تعادل برسد. نقطه پایان فرآیند آبیگری اسمزی است یعنی نرخ خالص انتقال جرم صفر است. رحمانی (۱۹۹۰) ضرایب توزیع تعادلی را برای تأمین ترکیب به صورت زیر پیشنهاد نمود:

$$\lambda_i^e = \frac{X_i^e}{Y_i^e} \quad (1)$$

که در آن، λ_i^e ضریب توزیع و X_i^e و Y_i^e به ترتیب کسرهای جرمی تأمین ترکیب (مبنای مرطوب) در شربت اسمزی اولیه و فرآورده غذایی در نقطه تعادل می‌باشند. ضرایب توزیع برای آب را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود:

$$\lambda_w^e = \frac{X_w^e}{Y_w^e} \quad (2)$$

به طور مشابه، ضریب توزیع برای مواد جامد کل می‌تواند به صورت زیر تعریف شود:

$$\lambda_s^e = \frac{X_s^e}{Y_s^e} \quad (3)$$

ضرایب تعادلی با غلظت، دما، نوع مواد جامد محلول، شکل هندسی و نسبت ماده غذایی به شربت، تغییر می‌نماید. در مورد فرآیند آبگیری اسمزی آناناس زمانیکه دما و غلظت شربت به ترتیب از ۳۰ تا ۶۰°C و ۵۰ تا ۷۰٪ تغییر می‌کند، ضریب توزیع λ_s^e از ۰/۷۴ تا ۱/۴۳ و ضریب توزیع λ_p^e از ۰/۸۲ تا ۱/۱۲ تغییر می‌نماید. به طور مشابه، ضرایب توزیع برای آناناس، سیب‌زمینی، سیب و انبه اندازه‌گیری شدند. در مورد سیب، در غلظت ثابت شربت، با افزایش دما، ضریب توزیع آب کاهش و ضریب توزیع مواد جامد افزایش یافت. تأثیر غلظت شربت بر روی ضرایب توزیع روندی معکوس را به همراه داشت یعنی با افزایش غلظت شربت، ضریب توزیع آب افزایش یافت اما ضریب توزیع مواد جامد کاهش یافت. همچنین سابلانی^۱ و همکاران (۲۰۰۲) یک همبستگی به صورت تابع بدون بُعدی از دما و غلظت شربت توسعه دادند. سابلانی و رحمان (۲۰۰۳) همبستگی برای انبه را به صورت زیر توسعه دادند:

$$\lambda_p^e = 2.05 \left(\frac{T}{T_r} \right)^{-1.60} (Y_s^e)^{-0.97} \left(\frac{A_s}{l^2} \right)^{-0.007} \quad (4)$$

$$\lambda_s^e = 0.468 \left(\frac{T}{T_r} \right)^{2.4} (Y_s^e)^{0.317} \left(\frac{A_s}{l^2} \right)^{0.023} \quad (5)$$

که در این معادلات، T دمای فرآیند (K)، T_r دمای مرجع (۲۷۲ K)، A_s مساحت سطح نمونه (m^2) و l کوچکترین بُعد هندسی نمونه (m) می‌باشند.

آبگیری اسمزی به عنوان یک فرآیند اولیه در بسیاری از فرآیندها به عنوان یک روش غیرتخریبی، بدون تغییر در ساختار کلی ماده غذایی جهت بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای، خواص عملکردی ماده غذایی مورد استفاده قرار گرفته است. این فرآیند معمولاً به عنوان یک فرآیند اولیه در فرآیندهایی نظیر انجماد، خشک کردن انجمادی، خشک کردن تحت خلاء یا خشک کردن با هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فرآیند همچنین نسبت قند به اسید را افزایش داده و پایداری رنگدانه‌ها موجود در بافت ماده غذایی را طی آبگیری و نگهداری بهبود می‌بخشد. این فرآیند همچنین در دمای محیط قابل اجرا بوده بنابراین آسیب‌های حرارتی بافت، رنگ و طعم کاهش می‌یابد.

فرآیند آبگیری اسمزی این امکان را فراهم می‌نماید که ویژگی‌های عملکردی مواد غذایی اصلاح و بطور کلی کیفیت فرآورده نهایی بهبود یابد. از طرف دیگر این فرآیند به دلیل استفاده از دماهای

پایین سبب ذخیره انرژی می‌گردد. از سایر کاربردهای مهم این فرآیند کاهش فعالیت آبی بسیاری از مواد غذایی بوده که این امر منجر به جلوگیری از رشد میکروب‌ها می‌شود. زیرا اکثر مواد غذایی دارای مقادیر زیادی آب بوده که در حمل و نقل، بسته‌بندی و انبارمانی نقش مهمی را ایفا می‌نماید. آبیگری اسمزی یک روش شناخته شده و مقرون به صرفه از نظر انرژی برای آبیگری جزئی مواد غذایی می‌باشد زیرا در این فرآیند، هیچ گونه تغییر حالتی (فازی) روی نمی‌دهد.

به منظور مقرون به صرفه نمودن فرآیند آبیگری اسمزی از لحاظ اقتصادی، می‌توان محلول مورد نظر را مجدداً تغلیظ نمود، که این عمل می‌تواند به دو روش تبخیر یا افزودن محلول اسمزی تازه، صورت گیرد. این فرآیند یک عملیات تکمیلی بوده اگرچه به عنوان یک روش جایگزین محسوب نمی‌گردد.

در زمینه آبیگری اسمزی یوهه‌ها و سبزی‌ها پژوهش‌های کاربردی در سراسر جهان صورت گرفته است. پژوهش در زمینه آبیگری اسمزی مواد غذایی توسط پونتیک^۱ و همکاران (۱۹۶۶) انجام شده است. مقالات مروری متعددی در رابطه با عوامل مختلف فرآیند آبیگری اسمزی، نظیر مکانیسم آبیگری اسمزی، تأثیر متغیرهای عملی روی فرآیند آبیگری اسمزی، مدلسازی دفع آب و جذب مواد جامد و غیره منتشر شده است. نظر به اینکه فرآیند آبیگری اسمزی یک فرآیند زمان بر می‌باشد، محققین بسیاری در زمینه روش‌های افزایش انتقال جرم در آبیگری اسمزی تلاش‌های زیادی انجام داده‌اند. در این کتاب به بررسی مکانیسم فرآیند آبیگری اسمزی، روش‌های نوین جهت افزایش نرخ انتقال جرم فرآیند آبیگری اسمزی، مدلسازی، کاربردهای فرآیند آبیگری اسمزی، تعیین ضرایب تعادلی جذب مواد جامد و دفع آب و تجهیزات صنعتی مورد نیاز این فرآیند، می‌پردازیم.