دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدلسازی ریاضی انتقال جرم در فرآیند آبزدایی اسمزی مواد توسط یک مدل لامپ گسترش یافته

از

حدیثه تندرو صف سری

استاد راهنما :

دکتر بهروز عباسی سورکی

آذر ماه ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی

گروه مهندسی شیمی

مدلسازی ریاضی انتقال جرم در فرآیند آبزدایی اسمزی مواد توسط یک مدل لامپ گسترش یافته

از

حدیثه تندرو صف سری

استاد راهنما :

دکتر بهروز عباسی سورکی

استاد مشاور :

دکتر جواد صیاد امین

آذر ماه ۱۳۹۱

تقدیم به:

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

تشکر و قدردانی:

خداوند بزرگ را سپاس که دیدگان ما را به نور علم و معرفت روشنی بخشید.

به رسم ادب واجب است از توجه و زحمات استاد ارجمند جناب آقای دکتر بهروز عباسی، که هدایت و راهنمایی مرا در تدوین این پایان نامه به عهده گرفتند و زحمات زیادی در مدت تحصیل اینجانب متحمل شدند، صمیمانه سپاسگزاری نمایم. همچنین از استاد گرامی، جناب آقای دکتر جواد صیاد امین، که امر مشاوره پایان نامه را قبول فرمودند، بسیار ممنون و متشکرم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست جداول..... چ

فهرست اشکال..... خ

فهرست علائم اختصاری..... ر

چکیده فارسی..... ژ

چکیده انگلیسی..... س

فصل۱ : مقدمه ۱

۱-۱. مقدمه ای بر آبزدایی اسمزی.....۲

۱-۲. نگرش کلی بر روش گسترش یافته لامپ.....۳

۱-۳. اهداف.....۴

فصل۲ : آبزدایی اسمزی ۶

۲-۱. عوامل موثر بر سنیتیک انتقال جرم.....۱۰

۲-۱-۱.عوامل مرتبط با محصول.....۱۰

۲-۱-۲. عوامل مرتبط با محلول اسمزی.....۱۱

۲-۱-۳. عوامل مرتبط با محیط اسمزی.....۱۴

۲-۲. مزایای فرآیند آبزدایی اسمزی.....۱۶

۲-۲-۱. جنبه ی کیفیت مواد غذایی.....۱۷

۲-۲-۲. جنبه ی صرفه جویی در مصرف انرژی.....۱۸

۲-۲-۳. کاهش هزینه ی بسته بندی و توزیع.....۱۹

۲-۲-۴. عدم نیاز به فرآیند ها یا مواد شیمیایی..... ۱۹
۲-۲-۵. پایداری محصول در دوران ذخیره سازی..... ۲۰
۲-۳. محدودیت های فرآیند آبزدایی اسمزی..... ۲۰

فصل۳ : مروری بر منابع مطالعاتی ۲۲

فصل۴ : تعیین معادلات حاکم بر فرآیند آبزدایی اسمزی ۲۸
۴-۱. محاسبه ی غلظت های تعادلی..... ۲۹
۴-۲. محاسبه ضرایب نفوذ موثر..... ۳۱

فصل۵ : مدلسازی ریاضی انتقال جرم در فرآیند آبزدایی اسمزی ۳۵
۵-۱. مدلسازی به روش تقریب یک چند جمله ای سهموی..... ۳۶
۵-۲. مدلسازی به روش تقریب یک چند جمله ای توانی..... ۴۱

فصل۶ : مواد و روش ها ۴۸
۶-۱. آماده سازی نمونه ها..... ۴۹
۶-۲. روش انجام آزمایش..... ۵۰
۶-۳. برآورد خطا در فرآیند مدلسازی..... ۵۵

فصل۷ : ارائه نتایج و تحلیل آن ها ۵۷
۷-۱. ارزیابی نتایج حاصل از آبزدایی اسمزی سیب و گوجه گیلاسی..... ۵۸
۷-۱-۱. تحلیل اثر متغیر ها بر میزان خروج آب و جذب جامد در نمونه های سیب..... ۵۸
۷-۱-۲.مقادیر غلظت های تعادلی در نمونه های سیب..... ۶۳
۷-۱-۳. تجزیه و تحلیل ضرایب نفوذ در نمونه های سیب..... ۶۵
۷-۱-۴. تحلیل اثر متغیرها بر میزان خروج آب و جذب جامد در نمونه های گوجه گیلاسی..... ۶۷
۷-۱-۵. مقادیر غلظت های تعادلی در نمونه های گوجه گیلاسی..... ۶۹

۷-۱-۶. تجزیه و تحلیل ضرایب نفوذ در نمونه های گوجه گیلاسی..... ۷۰
۷-۱-۷. رسم نمودارهای سه بعدی تغییرات غلظت متوسط با زمان در نمونه های گوجه گیلاسی..... ۷۱
۷-۲. اعتبار سنجی مدل های لامپ گسترش یافته برای فرآیند آبزدایی اسمزی..... ۷۵
۷-۲-۱. نتایج مدلسازی بر اساس تقریب یک چند جمله ای سهموی در نمونه های سیب..... ۷۵
۷-۲-۲. نتایج مدلسازی بر اساس تقریب یک چند جمله ای سهموی در نمونه های گوجه گیلاسی..... ۸۰
۷-۲-۳. نتایج مدلسازی بر اساس تقریب یک چند جمله ای توانی در نمونه های سیب..... ۸۵
۷-۲-۴. نتایج مدلسازی بر اساس تقریب یک چند جمله ای توانی در نمونه های گوجه گیلاسی..... ۸۹
۷-۳. نتیجه گیری..... ۹۶
۷-۴. پیشنهادات برای کارهای آتی..... ۹۸

فصل۸ : مراجع و مآخذ ۹۹

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول۷- ۱.غلظت های تعادلی آب و ساکارز در نمونه های تیغه ای شکل سیب ۶۴

جدول۷- ۲. غلظت های تعادلی آب و ساکارز در نمونه های استوانه ای شکل سیب..... ۶۴

جدول۷- ۳. ضرایب نفوذ موثر آب و ساکارز در نمونه های تیغه ای شکل سیب..... ۶۶

جدول۷- ۴. ضرایب نفوذ موثر آب و ساکارز در نمونه های استوانه ای شکل سیب ۶۶

جدول۷- ۵. غلظت های تعادلی آب و نمک در نمونه های کره ای شکل گوجه گیلاسی ۷۰

جدول۷- ۶.ضرایب نفوذ موثر آب و نمک در نمونه های کره ای شکل گوجه گیلاسی ۷۱

جدول۷- ۷.میزان درصد خطای نسبی (MRE) و R^2 روش تقریب چند جمله ای سهموی و روش تحلیلی نسبت به داده های تجربی نمونه های تیغه ای شکل سیب ۸۳

جدول۷- ۸. میزان درصد خطای نسبی (MRE) و R^2 روش تقریب چند جمله ای سهموی و روش تحلیلی نسبت به داده های تجربی نمونه های استوانه ای شکل سیب ۸۴

جدول۷- ۹. میزان درصد خطای نسبی (MRE) و R^2 روش تقریب چند جمله ای سهموی و روش تحلیلی نسبت به داده های تجربی نمونه های گوجه گیلاسی ۸۴

جدول۷- ۱۰. میزان درصد خطای نسبی (MRE) و R^2 روش تقریب چند جمله ای توانی و روش تحلیلی نسبت به داده های تجربی نمونه های تیغه ای شکل سیب ۸۷

جدول۷- ۱۱. میزان درصد خطای نسبی (MRE) و R^2 روش تقریب چند جمله ای توانی و روش تحلیلی نسبت به داده های تجربی نمونه های استوانه ای شکل سیب ۸۸

جدول۷- ۱۲. میزان درصد خطای نسبی (MRE) و R^2 روش تقریب چند جمله ای سهموی و روش تقریب چند جمله ای توانی نسبت به روش تحلیلی در نمونه های تیغه ای شکل سیب..... ۸۸

.جدول۷- ۱۳. میزان درصد خطای نسبی (MRE) و R^2 روش تقریب چند جمله ای سهموی و روش تقریب چند جمله ای توانی نسبت به روش تحلیلی در نمونه های استوانه ای شکل سیب..... ۸۹

جدول۷- ۱۴. میزان درصد خطای نسبی (MRE) و R^2 روش تقریب چند جمله ای توانی و روش تحلیلی نسبت به داده های تجربی نمونه های گوجه گیلاسی..... ۹۵

جدول۷- ۱۵. میزان درصد خطای نسبی (MRE) و R^2 روش تقریب چند جمله ای سهموی و روش تقریب چند جمله ای توانی نسبت به روش تحلیلی در نمونه های گوجه گیلاسی..... ۹۵

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل۲- ۱. نمایی از مبادلات انتقال جرم در فرآیند آبزدایی اسمزی ۸

شکل۲- ۲. نمایی از انواع محلول های اسمزی ۹

شکل۵- ۱. نمایی از طرح های متقارن برای مسائل انتقال جرم ناپایا ۳۷

شکل۵- ۲. الف) نمودار تغییرات $n(\tau)$ بر حسب τ (زمان بی بعد) برای نمونه های تیغه ای و ب) نمودار تغییرات $n(\tau)$ بر حسب $\frac{\overline{\varphi}}{1-\overline{\varphi}}$ ۴۴

شکل۵- ۳. الف) نمودار تغییرات $n(\tau)$ بر حسب τ (زمان بی بعد) برای نمونه های استوانه ای و ب) نمودار تغییرات $n(\tau)$ بر حسب $\frac{\overline{\varphi}}{1-\overline{\varphi}}$ ۴۵

شکل۵- ۴.الف) نمودار تغییرات $n(\tau)$ بر حسب τ (زمان بی بعد) برای نمونه های کروی و ب) نمودار تغییرات $n(\tau)$ بر حسب $\frac{\overline{\varphi}}{1-\overline{\varphi}}$ ۴۵

شکل۶- ۱. نمونه های تیغه و استوانه نامحدود سیب و گوجه های گیلاسی کروی شکل ۵۰

شکل۶- ۲. ترازوی دیجیتالی مورد استفاده درتوزین نمونه ها ۵۱

شکل۶- ۳.شیکر انکوباتور ۵۲

شکل۶- ۴.تنظیم دور شیکر انکوباتور روی ۱۶۰ دور بر دقیقه ۵۲

شکل۶- ۵. قرارگیری نمونه های گوجه گیلاسی پس از آبکشی و توزین در اجاق الکتریکی ۵۳

شکل۷- ۱. نمودار t/wl_t بر حسب زمان برای نمونه های تیغه ای شکل سیب در دمای 40^0C و غلظت های ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ ۵۹

شکل۷- ۲. نمودار t/SG_t بر حسب زمان برای نمونه های تیغه ای شکل سیب در دمای 40^0C و غلظت های ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ ۶۰

شکل۷- ۳. نمودار t/wl_t بر حسب زمان برای نمونه های استوانه ای شکل سیب در دمای 40^0C و غلظت های ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ ۶۰

شکل۷- ۴. نمودار t/SG_t بر حسب زمان برای نمونه های استوانه ای شکل سیب در دمای 40^0C و غلظت های ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ ۶۱

شکل۷- ۵. اثر دمای محلول اسمزی بر میزان حذف آب برای نمونه های تیغه ای شکل سیب در غلظت ۳۰ درصد وزنی ۶۱

شکل۷- ۶. اثر دمای محلول اسمزی بر میزان جذب مواد جامد برای نمونه های تیغه ای شکل سیب در غلظت ۳۰ درصد وزنی ۶۲

شکل۷- ۷. اثر غلظت محلول اسمزی بر میزان حذف آب در آبزدایی نمونه های استوانه ای شکل سیب در دمای 40^0C ۶۲

شکل۷- ۸. اثر غلظت محلول اسمزی بر میزان جذب مواد جامد در آبزدایی نمونه های استوانه ای شکل سیب در دمای ^0C ۴۰ .....۶۳

شکل۷- ۹. نمودار t/wl_t بر حسب زمان برای نمونه های کروی گوجه گیلاسی در دمای ^0C۴۰ و غلظت های ۱۰٪، ۱۸٪ و۲۵٪ ۶۷

شکل۷- ۱۰. نمودار t/SG_t بر حسب زمان برای نمونه های کروی گوجه گیلاسی در دمای ^0C۴۰ و غلظت های ۱۰٪، ۱۸٪ و ۲۵٪ .۶۸

شکل۷- ۱۱. اثر غلظت محلول اسمزی بر میزان حذف آب برای نمونه های کروی شکل گوجه گیلاسی دمای ^0C۴۰.....۶۸

شکل۷- ۱۲. اثر غلظت محلول اسمزی بر میزان جذب مواد جامد برای نمونه های کروی گوجه گیلاسی در دمای ^0C۴۰.....۶۹

شکل۷- ۱۳. نمودار سه بعدی φ_{wl} بر حسب x و τ در نمونه های کروی گوجه گیلاسی..... ۷۲

شکل۷- ۱۴. نمودار سه بعدی φ_{sg} بر حسب x و τ در نمونه های کروی گوجه گیلاسی..... ۷۲

شکل۷- ۱۵. نمودار دو بعدی φ_{wl} بر حسب τ و x در نمونه های کروی گوجه گیلاسی ۷۳

شکل۷- ۱۶. نمودار دو بعدی φ_{wl} بر حسب x و τ در نمونه های کروی گوجه گیلاسی..... ۷۳

شکل۷- ۱۷. نمودار دو بعدی φ_{sg} بر حسب τ و x در نمونه های کروی گوجه گیلاسی ۷۴

شکل۷- ۱۸. نمودار دو بعدی φ_{sg} بر حسب x و τ در نمونه های کروی گوجه گیلاسی..... ۷۴

شکل۷- ۱۹. نمودار تغییرات غلظت بی بعد ساکارز جذب شده در نمونه های تیغه ای شکل سیب در دمای ^0C ۳۰.....۷۶

شکل۷- ۲۰. نمودار تغییرات غلظت بی بعد آب از دست رفته در نمونه های تیغه ای شکل سیب در دمای ^0C ۳۰.....۷۶

شکل۷- ۲۱. نمودار تغییرات غلظت بی بعد ساکارز جذب شده در نمونه های استوانه ای شکل سیب در دمای ^0C ۳۰..... ۷۷

شکل۷- ۲۲. نمودار تغییرات غلظت بی بعد آب از دست رفته در نمونه های استوانه ای شکل سیب در دمای ^0C ۳۰..... ۷۷

شکل۷- ۲۳.مقادیر پیش بینی شده جذب ساکارز با استفاده از مدل تقریب چند جمله ای نسبت به نتایج آزمایشگاهی..... ۷۸

شکل۷- ۲۴. مقادیر پیش بینی شده حذف آب با استفاده از مدل تقریب چندجمله ای نسبت به نتایج آزمایشگاهی ۷۹

شکل۷- ۲۵. مقادیر پیش بینی شده جذب ساکارز با استفاده از روش حل دقیق تحلیلی نسبت به نتایج آزمایشگاهی..... ۷۹

شکل۷- ۲۶. مقادیر پیش بینی شده حذف آب با استفاده از روش حل دقیق تحلیلی نسبت به نتایج آزمایشگاهی..... ۸۰

شکل۷- ۲۷. نمودار تغییرات غلظت بی بعد نمک جذب شده درگوجه گیلاسی در دمای ^0C ۴۰ ..... ۸۱

شکل۷- ۲۸. نمودار تغییرات غلظت بی بعد آب از دست رفته در گوجه گیلاسی در دمای ^0C ۴۰..... ۸۱

شکل۷- ۲۹. نمودار تغییرات غلظت بی بعد نمک جذب شده در گوجه گیلاسی در غلظت ۲۵٪..... ۸۲

شکل۷- ۳۰. نمودار تغییرات غلظت بی بعد آب از دست رفته در گوجه گیلاسی در غلظت ۲۵٪..... ۸۲

شکل۷- ۳۱. نمودار تغییرات غلظت بی بعد ساکارز جذب شده در نمونه های تیغه ای شکل سیب در ^0C ۳۰ و غلظت ۴۰٪ وزنی ... ۸۵

شکل۷- ۳۲. نمودار تغییرات غلظت بی بعد حذف آب در نمونه های تیغه ای شکل سیب در دمای ^{0}C ۳۰ و غلظت ۴۰٪ وزنی ۸۶
شکل۷- ۳۳. نمودار تغییرات غلظت بی بعد ساکارز جذب شده در نمونه های استوانه ای شکل سیب در دمای ^{0}C ۳۰ و غلظت ۴۰٪ وزنی.....۸۶
شکل۷- ۳۴. نمودار تغییرات غلظت بی بعد حذف آب در نمونه های استوانه ای شکل سیب در دمای ^{0}C ۳۰ و غلظت ۴۰٪ وزنی...۸۷
شکل۷- ۳۵. نمودار تغییرات غلظت بی بعد نمک جذب شده در نمونه های گوجه گیلاسی در دمای ^{0}C ۴۰و غلظت ۲۵٪ وزنی..... ۹۰
شکل۷- ۳۶. نمودار تغییرات غلظت بی بعد حذف آب در نمونه های گوجه گیلاسی در دمای ^{0}C ۴۰و غلظت ۲۵٪ وزنی..... ۹۰
شکل۷- ۳۷. نمودار تغییرات غلظت بی بعد نمک جذب شده در نمونه های گوجه گیلاسی در دمای ^{0}C ۵۰ و غلظت ۲۵٪ وزنی ۹۱
شکل۷- ۳۸. نمودار تغییرات غلظت بی بعد حذف آب در نمونه های گوجه گیلاسی در دمای ^{0}C ۵۰ و غلظت ۲۵٪ وزنی..... ۹۱
شکل۷- ۳۹. مقایسه ی مقادیر پیش بینی شده بی بعد حذف آب توسط مدل های تقریبی گسترش یافته به روش تقریب یک چند جمله ای سهموی و تقریب یک چند جمله ای توانی نسبت روش دقیق تحلیلی و نتایج آزمایشگاهی در نمونه های گوجه گیلاسی.۹۳
شکل۷- ۴۰. مقایسه ی مقادیر پیش بینی شده بی بعد جذب نمک توسط مدل های تقریبی گسترش یافته به روش تقریب یک چند جمله ای سهموی و تقریب یک چند جمله ای توانی با روش دقیق تحلیلی و نتایج آزمایشگاهی در نمونه های گوجه گیلاسی ۹۳
شکل۷- ۴۱. نمودار تغییرات غلظت بی بعد جذب نمک در نمونه های گوجه گیلاسی توسط دو مدل ساده شده ی روش تقریب یک چند جمله ای توانی برای زمان های بزرگ و همچنین زمان های کوچک و مقایسه آنها با روش دقیق تحلیلی.....۹۴
شکل۷- ۴۲. نمودار تغییرات غلظت بی بعد جذب نمک در نمونه های گوجه گیلاسی توسط دو مدل ساده شده ی روش تقریب یک چند جمله ای توانی برای زمان های بزرگ و همچنین زمان های کوچک و مقایسه آنها با روش دقیق تحلیلی.....۹۴

فهرست علائم اختصاری

C ..... غلظت مواد جامد محلول و یا رطوبت (g/100g)

C_0 ..... غلظت اولیه (g/100g)

C_e ..... غلظت تعادلی (g/100g)

D_{er} ..... ضریب نفوذ موثر شعاعی (m^2/s)

D_{es} ..... ضریب نفوذ موثر جامد (m^2/s)

D_{ew} ..... ضریب نفوذ موثر رطوبت (m^2/s)

L ..... طول (m)

r ..... شعاع (m)

R ..... شعاع خارجی استوانه (m)

S_0 ..... جرم جامد خشک اولیه (gr)

S_t ..... جرم جامد خشک در زمان t (gr)

SG ..... جامد نفوذ کرده (gr/100gr fresh fruit)

SG_t ..... جامد نفوذ کرده در زمان t (gr/100gr fresh fruit)

SG_∞ ..... جامد نفوذ کرده در در زمان بی نهایت (gr/100gr fresh fruit)

t ..... زمان (S)

W_0 ..... جرم اولیه نمونه (gr)

W_p ..... جرم ظرف (gr)

W_t ..... جرم نمونه پس از زمان t از شروع فرآیند اسمز (gr)

WL ..... آب از دست رفته (gr/100gr fresh fruit)

WL_t ..... آب از دست رفته در زمان t (gr/100gr fresh fruit)

WL_∞ ..... آب از دست رفته در زمان بی نهایت (gr/100gr fresh fruit)

علائم یونانی

x ..... شعاع بی بعد

τ ..... زمان بی بعد $(D_e t/R^2)$

φ ..... تغییرات غلظت بی بعد

μ_n ..... ریشه معادله بسل از نوع درجه اول

Bi ..... عدد بایوت انتقال حرارت $(h_p L_c/k_s)$

زیرنویس :

0 .....مقدار اولیه

e .....تعادل

P .....ظرف آزمایش

t .....در زمان t

exp .....آزمایشگاهی

s .....حل شونده

w.....آب

predicted.....پیش بینی شده

چکیده

مدلسازی ریاضی انتقال جرم در فرآیند آبزدایی اسمزی مواد توسط یک مدل لامپ گسترش یافته

حدیثه تندرو صف سری

در این تحقیق، پدیده انتقال جرم در فرآیند آبزدایی اسمزی مواد مورد بررسی تجربی قرار گرفته و یک مدل ریاضی لامپ گسترش یافته جهت پیش بینی تغییرات رطوبت و جامد حل شونده در ماده ارائه شده است. مدل لامپ گسترش یافته بر اساس روش تقریب چند جمله ای توسعه داده شده است. در این راستا دو تقریب چند جمله ای سهموی و توانی جهت دستیابی به میزان متوسط غلظت آب و جامد حل شونده در داخل ماده مورد استفاده قرار گرفته اند. همچنین حل دقیق تحلیلی قانون دوم فیک در هر سه شکل هندسی دیواره و استوانه نامحدود و کره به منظور پیش بینی توزیع غلظت در فرآیند آبزدایی اسمزی و مقایسه با روشهای تقریبی، ارائه شده است. مدل های مورد نظر با نتایج آزمایشگاهی حاصله از آبزدایی اسمزی قطعات تیغه ای و استوانه ای شکل سیب درون محلول های آب و ساکاروز در غلظت های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد وزنی و نمونه های کروی شکل گوجه گیلاسی در محلول آب و نمک در غلظت های ۱۰، ۱۸ و ۲۵ درصد وزنی و سه دمای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه ی سانتی گراد، مورد مقایسه قرار گرفته اند. غلظت های تعادلی مورد نیاز در مدل ریاضی توسط مدل آزوارا و ضرایب نفوذ موثر رطوبت و حل شونده توسط قانون دوم فیک تخمین زده شدند.

نتایج این تحقیق نشان داده می دهند که مقادیر متوسط پیش بینی شده درصد جذب مواد جامد و کاهش رطوبت توسط روش تقریب چند جمله ای سهموی تطابق نسبتا خوبی با داده های آزمایشگاهی و همچنین مقادیر پیش بینی شده توسط روش دقیق تحلیلی داشته و همچنین نتایج حاصله از مدل گسترش یافته لامپ بر اساس تقریب یک چند جمله ای توانی دقیق تر از مدل سهموی است.

کلید واژه: لامپ، آبزدایی اسمزی، تقریب سهموی، تقریب توانی، انتقال جرم.

Abstract

Mathematical Modeling of Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Materials Using an Enhanced Lumped Model

Hadiseh Tondro Safsari

In this study, mass transfer phenomenon during osmotic dehydration of materials was investigated and an improved lumped mathematical model was developed for prediction of moisture and solute variations during dehydration. Improved lumped model has been developed based on a polynomial approximation method. For this purpose, parabolic and power law profile expressions have been used to obtain the average moisture and solute concentrations in the spatial direction. Analytical solutions of Fick's second law of diffusion in infinite slab, infinite cylinder and spherical geometries were presented for prediction of concentration profiles during osmotic dehydration process. The proposed models were validated by experimental water loss and solute gain data obtained from osmotic dehydration of infinite slab and infinite cylindrical shape samples of apple in sucrose solution and spherical shape samples of cherry tomato in salt solution. Experiments of apple samples were conducted at nine combinations of three solution concentrations (30%, 40% and 50% w/w) and three temperatures (30ºC, 40ºC and 50ºC) while experiments of cherry tomato samples were conducted at three solution concentrations (10%, 18% and 25% w/w) and three temperatures (30ºC, 40ºC and 50ºC). The two-parameter model, developed by Azuara et al., was used to predict water loss and solute gain at equilibrium condition and also the moisture and solute effective diffusivities were estimated by fitting the experimental moisture loss and solid gain data to the Fick's second law of diffusion.

Results have been shown that the predicted values of average water loss and solute gain by parabolic polynomial approximation method fit approximately well to the experimental data. In addition to the results of arbitrary power law expression for the approximate solution leads to higher accuracy of concentration distribution over the whole domain of the experimental times.

Keywords: Lumped, osmotic dehydration, parabolic approximation, power law approximation, mass transfer.

فصل۱ : مقدمه

۱-۱. مقدمه ای بر آبزدایی اسمزی

اکثر میوه ها و سبزیجات، زمان برداشت مشخص و ماندگاری محدودی دارند و با توجه به فعالیت های میکروبی و بیوشیمیایی میوه های چیده شده، به سرعت در معرض فساد قرار می گیرند. بر این اساس به منظور افزایش زمان ماندگاری آن ها به چند هفته، یک سال یا بیشتر از روش های گوناگونی در حفظ و نگهداری مواد غذایی استفاده می شود. این روش ها شامل: کنسرو سازی[1]، انجماد، خشک کردن، تخمیر، پاستوریزه کردن، افزودن مواد شیمیایی، بسته بندی و تابش می باشند[Burrows, 1996]. شایان ذکر است که، کنسرو سازی، انجماد و خشک کردن، مهمترین روش هایی هستند که در مقیاس صنعتی به منظور حفظ و نگهداری مواد مورد استفاده قرار می گیرند[McMinn, etal .1999]. انتخاب روش نگهداری به نوع و جنس مواد خام و اولیه بستگی دارد[Jayaraman, etal . 1992]. این در حالیست که افزایش تقاضا به جهت عدم استفاده از مواد شیمیایی برای حفظ و نگهداری مواد غذایی از یک سو و لزوم بالا بودن میزان تولید در گستره ی وسیعی از محصولات غذایی از سویی دیگر، انگیزه های زیادی را برای استفاده از روش های خشک کردن در تولیدکنندگان ایجاد نموده است.

از دوران باستان، آبزدایی اسمزی یکی از رایج ترین روش های طبیعی و قابل اعتماد در نگهداری مواد غذایی محسوب گردیده است. همواره به دلیل واکنش هایی از جمله قهوه ای شدن آنزیمی، امکان وجود تغییراتی نامطلوب در کیفیت مواد غذایی وجود داشت، که استفاده از روش آبزدایی اسمزی سبب کند شدن نرخ این واکنش های شیمیایی گردیده است[Acker, 1969; Kouassi, etal . 2001]. در گذشته، از ساکارز، عسل و نمک به عنوان مواد کمکی در خشک کردن میوه ها و سبزیجات استفاده می گردید [Goldblith, etal. 1972; Woodroof, etal.1986] و این در حالیست که، ساکارز بیشتر به منظور حفظ کیفیت محصول خشک شده (معمولا در مقادیر کم) مورد استفاده قرار می گیرد، تا حذف آب موجود در آن.

به طور کلی خشک کردن یکی از روش های نگهداری مواد غذایی محسوب گردیده و از دلایل عمده و مهمی که سبب توجه زیاد محققان به این فرآیند در مقایسه با سایر روش ها گردیده : افزایش زمان ماندگاری ، تولید محصول با وزن و حجم کمتر، عدم نیاز به سردخانه و کاهش هزینه حمل و نقل و بسته بندی می باشند.

[1] Canning

آبزدایی اسمزی[1]، فرآیندی است که در آن با غوطه وری مواد غذایی از جمله میوه و سبزیجات در یک محلول تغلیظ شده با فشار اسمزی بالاتر، آب از درون ماده ی غذایی به صورت جزئی خارج و به درون محلول اسمزی نفوذ می کند. در واقع آبزدایی اسمزی فرآیند ی جهت خارج کردن بخشی از آب بافت گیاهی یا حیوانی می باشد که با غوطه ور کردن ماده غذایی در یک محلول هایپرتونیک[2] مناسب صورت می گیرد[Ponting, 1973]. در این فرآیند دیواره های سلول ماده ی غذایی به عنوان یک غشا نیمه تراوا عمل نموده و به علت وجود گرادیان غلظت بین محلول اسمزی و مایعات داخل سلولی نیروی محرکه ی لازم برای خروج آب از ماده ی غذایی ایجاد می شود.

هدف اصلی و بنیادین آبزدایی اسمزی مواد، کاهش محتوای آب در جهت به حداقل رساندن میزان واکنش های شیمیایی و تسهیل در توزیع و همچنین ذخیره سازی مواد غذایی است. کاهش رطوبت، بخش عمده و اصلی عملیات آبزدایی مواد غذایی می باشد. نیروی محرکه لازم جهت حذف آب، از اختلاف فشار اسمزی درون مواد غذایی و محلول اسمزی اطراف آن تامین می شود. آبزدایی اسمزی محبوب ترین و کارآمدترین راه برای کاهش رطوبت و حفظ کیفیت، رنگ، عطر و طعم مواد غذایی تحت شرایط محیط می باشد[Escriche, etal . 2000]. این فرآیند در دمای محیط نیز موثر است و از آن می توان به عنوان یک مرحله مقدماتی پیش از فرآیند های خشک کردن استفاده نمود. همچنین، نظر به اینکه تغییرات نامحسوسی در خواص ظاهری و کیفیت محصولات غذایی ایجاد می کند، اغلب در تهیه و تولید محصولات غذایی جدید از میوه و سبزی مورد استفاده قرار می گیرد.

۱-۲. نگرش کلی بر روش گسترش یافته لامپ

در طراحی ها و عملیات فنی و مهندسی همواره نیاز به مدلسازی یک فرآیند به عنوان ابزاری برای پیش بینی و انجام محاسبات وجود دارد. تعداد بسیار کمی از سیستم های معادلات دیفرانسیلی وجود دارند که راه حل های دقیق تحلیلی برای آنها قابل استفاده می باشد و حتی در برخی موارد، استفاده از این راه حل ها به دلیل پیچیده گی بسیار ناکارآمد می باشند. در نتیجه روش های تقریبی جهت تحلیل و بررسی مسائل ناپایای انتقال حرارت و جرم گسترش یافته اند، این روش ها عبارتند از : روش های عددی،

[1] Osmotic Dehydration
[2] Hypertonic