دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد- گرایش صنایع غذایی

میکروکپسوله سازی آهن- غنی سازی آرد غلات

نگارش:

مریم شیخ محمد می آبادی

استاد راهنما:

دکتر سید محمد حسینی

استاد مشاور:

دکتر فرزانه وهابزاده

بهمن ماه ۱۳۸۶

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: مریم شیخ محمد می آبادی معادل — دانشجوی آزاد ● — بورسیه ○

شماره دانشجوئی: ۸۴۱۲۲۰۴۸ — دانشکده: مهندسی شیمی — رشته تحصیلی: مهندسی شیمی

گروه: صنایع غذایی

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: سید محمد حسینی — درجه و رتبه: دکترا

نام و نام خانوادگی: — درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: فرزانه وهابزاده — درجه و رتبه: استاد تمام

نام و نام خانوادگی: — درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : میکروکپسوله سازی آهن-غنی سازی آرد غلات

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: microencapsulation of iron-wheat flour fortification

نوع پروژه: کارشناسی ○ — ارشد ● — دکتر ا ○ — سال تحصیلی:۸۶-۸۷

کاربردی ● — بنیادی ○ — توسعه‌ای ○ — نظری ○

تاریخ شروع : فروردین ۸۵ — تاریخ خاتمه : بهمن ۸۶ — تعداد واحد : ۶ — سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: غنی سازی آرد با آهن- امولسیون آب در روغن- امولسیون دوتایی آب در روغن در آب- میکروکپسوله سازی نمک آهن- روش آماری CCD

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Iron fortification of flour- W/O emulsion- W/O/W double emulsion- microencapsulation of iron salt- Central Composite Design

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۱۱۰	تصویر ● جدول ● نمودار ● نقشه ○ واژه‌نامه ○			تعداد مراجع ۴۸	تعداد صفحات ضمائم -
زبان متن	فارسی ●	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ●	انگلیسی ●	
یادداشت						

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

فهرست مطالب

صفحه

فصل اول: مقدمه

۱

فصل دوم: مروری بر منابع

۶

۲-۱-میکروکپسوله سازی ۷

۲-۱-۱-مقدمه ای بر میکروکپسوله سازی ۷

۲-۱-۲-اهداف میکروکپسوله سازی ۸

۲-۱-۳-روشهای میکروکپسوله سازی ۹

۲-۱-۴-محدودیتهای میکروکپسوله سازی ۱۰

۲-۱-۵-کاربردهای میکروکپسوله سازی در صنایع غذایی ۱۰

۲-۱-۶-میکروکپسوله سازی آهن ۱۳

۲-۲-امولسیون ۱۴

۲-۲-۱-تهیه امولسیون ۱۴

۲-۲-۲-انواع امولسیون های ساده ۱۵

۲-۲-۳-امولسیفایر ۱۶

۲-۲-۳-۱- سیستم HLB در تشکیل امولسیون ۱۶

۲-۲-۳-۲-وظایف امولسیفایرها ۲۰

۲-۲-۳-۳-گام عربی ۲۱

۲-۲-۳-۳-۱- ساختار مولکولی گام عربی ۲۲

۲-۲-۳-۳-۲-خواص گام عربی ۲۳

۲-۲-۴-شناسایی نوع امولسیون ۲۴

۲-۲-۵-خواص فیزیکی امولسیونها ۲۵

۲-۲-۵-۱-توزیع اندازه ذرات ۲۵

۲-۲-۵-۲-خواص نوری ۲۵

۲-۲-۶-امولسیون دوتایی آب در روغن در آب(W/O/W) ۲۶
۲-۳-خشک کن پاششی ۲۹
۲-۴-روش آماریCCD (Central Composite Design) ۳۰
۲-۴-۱-طراحی و انجام آزمایشات مربوط به فرایند تهیه امولسیون ۳۰
۲-۴-۲-انتخاب روش طراحی آزمایشات ۳۰
۱-۵-۳-جمع بندی ۳۳
فصل سوم: مواد و روشها ۳۴

۳-۱- مواد مورد استفاده ۳۵
۳-۱-۱- گام عربی ۳۵
۳-۱-۲- Span 60 ۳۵
۳-۱-۳- Tween 80 ۳۶
۳-۱-۴- $FeSO_4.7H_2O$ ۳۸
۳-۱-۵- روغن ذرت ۳۸
۳-۱-۶- اسید سیتریک (ویتامین C) ۳۸
۳-۲-دستگاههای مورد استفاده ۳۸
۳-۳- روش انجام آزمایش ۴۰
۳-۳-۱- روش تهیه امولسیون اولیه ۴۰
۳-۳-۲-روش تهیه امولسیون دوتایی ۴۱
۳-۳-۳-روش تهیه میکروکپسول نهایی در اسپری درایر ۴۲
۳-۴- روشهای اندازه گیری و سنجش ۴۲
۳-۴-۱- روشهای سنجش امولسیون اولیه ۴۲
۳-۴-۱-۱- روش سنجش فعالیت (activity) ۴۲
۳-۴-۱-۲-روش سنجش پایداری (stability) ۴۳
۳-۴-۱-۳-روش سنجش اندازه ذرات (Particle Size) ۴۳
۳-۴-۱-۴-روش سنجش راندمان پوشش دهی (Encapsulation Efficiency) ۴۳
۳-۴-۲- روشهای سنجش امولسیون دوتایی ۴۴

۳-۴-۲-۱- روش سنجش فعالیت ۴۴
۳-۴-۲-۲- روش سنجش پایداری ۴۴
۳-۴-۲-۳-روش سنجش راندمان پوشش دهی ۴۴
۳-۴-۳-روش سنجش میکروکپسول نهایی ۴۴
فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۵
٤-۱- تحلیل آماری نتایج به دست آمده در بررسی رفتارامولسیون اولیه W/O ٤٦
٤-۱-۱- بررسی نتایج حاصل از آزمایشات سنجش اندازه ذرات امولسیون اولیه و مدل محاسباتی ٤٩
٤-۱-۱-۱- اثر جداگانه و برهم کنش متغیرها روی اندازه ذرات امولسیون اولیه ٥٠
٤-۱-۲- بررسی نتایج حاصل از آزمایشات سنجش فعالیت امولسیون اولیه و مدل محاسباتی ٥٥
٤-۱-۲-۱- اثر جداگانه و برهم کنش متغیرها روی فعالیت امولسیون اولیه ٥٦
٤-۱-۳- بررسی نتایج حاصل از آزمایشات سنجش پایداری امولسیون اولیه و مدل محاسباتی ٥٩
٤-۱-۳-۱- اثر جداگانه هر متغیر روی پایداری امولسیون اولیه ٦٠
٤-۱-۳-۲- بررسی پایداری امولسیون W/O به روش سنجش کدورت ٦٢
٤-۱-۳-۳- اثر غلظت نمک آهن در فاز آبی روی پایداری امولسیون W/O ٦٦
٤-۱-٤- بررسی نتایج حاصل از آزمایشات سنجش راندمان پوشش دهی امولسیون اولیه و مدل محاسباتی ٦٨
٤-۱-٤-۱- اثر جداگانه و برهم کنش متغیرها روی راندمان پوشش دهی امولسیون اولیه ٦٩
٤-۲- تحلیل آماری نتایج به دست آمده در بررسی رفتار امولسیون دوتایی W/O/W ٧٣
٤-۲-۱- بررسی نتایج حاصل از آزمایشات سنجش فعالیت امولسیون دوتایی مدل محاسباتی ٧٤
٤-۲-۱-۱- اثر جداگانه و برهم کنش متغیرها روی فعالیت امولسیون دوتایی ٧٥
٤-۲-۲- بررسی نتایج حاصل از آزمایشات سنجش پایداری امولسیون دوتایی

و مدل محاسباتی ۷۸
٤-۲-۲-۱- اثر جداگانه هر متغیر روی پایداری امولسیون دوتایی ۷۸
٤-۲-۲-۲- اثر غلظت نمک آهن در فاز آبی داخلی روی پایداری امولسیون دوتایی ۸۰
٤-۲-۳- اثر غلظت گام عربی در فاز پیوسته خارجی روی راندمان پوشش دهی امولسیون دوتایی ۸۲
٤-۳- نتیجه خشک کن پاششی ۸۳
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۵
منابع ۹۰
پیوستها ۹۵

فهرست جداول **صفحه**

فصل دوم

جدول ۲-۱: مقدار HLB برای امولسیفایرهای مختلف غذایی ۱۸

جدول ۲-۲: انحلال پذیری امولسیفایرها در آب با مقادیر مختلف HLB ۱۹

جدول ۲-۳: تقسیم بندی کاربردی امولسیفایرها ۱۹

جدول ۲-۴: تاثیر اندازه ذرات روی ظاهر امولسیون ۲۶

جدول ۲-۵: طراحی آزمایشات به روش CCD برای سه متغیر ۳۱

جدول ۲-۶: طراحی آزمایشات به روش CCD برای دو متغیر ۳۲

فصل سوم

جدول ۳-۱: آنالیز ساختاری گام عربی ۳۵

جدول ۳-۲: خواص Tween 80 ۳۷

جدول ۳-۳: سطوح متغیرها در تهیه امولسیون اولیه ۴۱

جدول ۳-۴: سطوح متغیرها در تهیه امولسیون دوتایی ۴۲

فصل چهارم

جدول ۴-۱: نتایج حاصل از آزمایشات امولسیون اولیه ۴۷

جدول ۴-۲: ضرایب ترم های معنی دار جدول ANOVA برای اندازه ذرات امولسیون اولیه ۴۹

جدول ۴-۳: ضرایب ترم های معنی دار جدول ANOVA برای فعالیت امولسیون اولیه ۵۵

جدول ۴-۴: ضرایب ترم های معنی دار جدول ANOVA برای پایداری امولسیون اولیه ۵۹

جدول ۴-۵: مقادیر جذب نمونه ۹ در دو طول موج ۴۵۰ و ۸۵۰ نانومتر ۶۲

جدول ۴-۶: مقادیر جذب نمونه ۱۰ در دو طول موج ۴۵۰ و ۸۵۰ نانومتر ۶۳

جدول ۴-۷: مقادیر جذب نمونه ۱۱ در دو طول موج ۴۵۰ و ۸۵۰ نانومتر ۶۳

جدول ۴-۸: مقادیر جذب نمونه ۱۲ در دو طول موج ۴۵۰ و ۸۵۰ نانومتر ۶۳

جدول ۴-۹: مقادیر جذب نمونه ۱۳ در دو طول موج ۴۵۰ و ۸۵۰ نانومتر ۶۳

جدول ۴-۱۰: مقادیر جذب نمونه ۱۴ در دو طول موج ۴۵۰ و ۸۵۰ نانومتر ۶۴

جدول ۴-۱۱: مقادیر جذب نمونه ۱۵ در دو طول موج ۴۵۰ و ۸۵۰ نانومتر ۶۴

جدول ۴-۱۲: شیب منحنی نسبت کدورت (R) بر حسب زمان برای نمونه های ۹ تا ۱۵ ۶۴
جدول ۴-۱۳: مقادیر جذب امولسیونهای W/Oدر غلظتهای مختلف نمک آهن ۶۷
جدول ۴-۱۴: ضرایب ترم های معنی دار جدول ANOVA برای راندمان پوشش دهی امولسیون اولیه ۶۸

جدول ۴-۱۵: نتایج حاصل از آزمایشات امولسیون دوتایی ۷۴
جدول ٤-١٦: ضرایب ترم های معنی دار جدول ANOVA برای فعالیت امولسیون دوتایی ۷۵
جدول ٤-۱۷: ضرایب پارامترهای معنی دار جدول ANOVA برای پایداری امولسیون دوتایی ۷۸
جدول ۴-۱۸: میزان جذب امولسیونهایW/ W/Oدر غلظتهای مختلف نمک ۸۱
جدول ۴-۱۹: راندمان پوشش دهی امولسیونهای دوتایی با غلظت های متفاوت گام عربی در فاز پیوسته ۸۲

فهرست اشکال **صفحه**

فصل دوم

شکل ۲-۱: هسته و دیواره میکروکپسول ۷

شکل ۲-۲: اشکال مختلف میکروکپسوله ها ۸

شکل ۲-۳: شیره درختان آکاسیا قبل از فرایند تهیه گام ۲۱

شکل ۲-۴: ساختار مولکولی گام عربی ۲۳

شکل ۲-۵: نقاط مورد آزمون در طراحی CCD برای سه متغیر ۳۲

فصل سوم

شکل ۳-۱: ساختار مولکولی span 60 ۳۶

شکل ۳-۲: ساختار مولکولی Tween 80 ۳۷

شکل ۳-۳: هموژنایزر ۳۸

شکل ۳-۴: میکروسکوپ نوری ۳۹

شکل ۳-۵: میکروسکوپ الکترونی ۳۹

شکل ۳-۶: اسپری درایر ۴۰

فصل چهارم

شکل ٤-۱: نمونه هایی ازامولسیون اولیه زیر میکروسکوپ نوری ٤٦

شکل ۴-۲(الف): اثر نسبت هسته به دیواره روی اندازه ذرات امولسیون ۵۰

شکل ۴-۲(ب): اثر درصد وزنی span 60 روی اندازه ذرات امولسیون ۵۰

شکل ۴-۲(ج): اثر درصد وزنی گام عربی روی اندازه ذرات امولسیون ۵۱

شکل ۴-۳ (الف) اثر برهمکنش A و B روی اندازه ذرات امولسیون اولیه- نمودار صفحه ای ۵۲

شکل ۴-۳ (ب) اثر برهمکنش C و B روی اندازه ذرات امولسیون اولیه- نمودار صفحه ای ۵۲

شکل ۴-۳ (ج) اثر برهمکنش A و C روی اندازه ذرات امولسیون اولیه- نمودار صفحه ای ۵۳

شکل ۴-۴ (الف) اثر برهمکنش A و B روی اندازه ذرات امولسیون اولیه- نمودار رویه و پاسخ ۵۳

شکل ۴-۴(ب) اثر برهمکنش B و C روی اندازه ذرات امولسیون اولیه- نمودار رویه و پاسخ ۵۴

شکل ۴-۴ (ج) اثر برهمکنش A و C روی اندازه ذرات امولسیون اولیه- نمودار رویه و پاسخ ۵۴
شکل ۴-۵(الف): اثر نسبت هسته به دیواره روی فعالیت امولسیون ۵۶
شکل ۴-۵(ب): اثر درصد وزنی span 60 روی فعالیت امولسیون ۵۶
شکل ۴-۵(ج): اثر درصد وزنی گام عربی روی فعالیت امولسیون ۵۷
شکل ۴-۶ (الف):اثر برهمکنش B و C روی فعالیت امولسیون اولیه-نمودار رویه پاسخ ۵۸
شکل ۴-۶ (ب):اثر برهمکنش A و B روی فعالیت امولسیون اولیه-نمودار رویه پاسخ ۵۸
شکل ۴-۷(الف): اثر نسبت هسته به دیواره روی پایداری امولسیون ۶۰
شکل ۴-۷(ب): اثر درصد وزنی span 60 روی پایداری امولسیون ۶۰
شکل ۴-۷(ج): اثر درصد وزنی گام عربی روی پایداری امولسیون ۶۱
شکل ٤-۸: تغییرات شیب منحنی R بر حسب t به عنوان تابعی از A ۶۵
شکل ٤-۹: تغییرات شیب منحنی R بر t به عنون تابعی از B ۶۵
شکل ٤-۱۰: تغییرات شیب منحنی R بر t به عنوان تابعی از C ۶۶
شکل ٤-۱۱: پایداری امولسیونهای W/O بر حسب غلظت نمک ۶۷
شکل ۴-۱۲(الف):اثر نسبت هسته به دیواره روی میزان پوشش دهی امولسیون ۶۹
شکل ۴-۱۲(ب):اثر درصد وزنی span 60 روی میزان پوشش دهی امولسیون ۶۹
شکل ۴-۱۲(ج):اثر درصد وزنی گام عربی روی میزان پوشش دهی امولسیون ۷۰
شکل ۴-۱۳ (الف): اثر برهمکنش A وB روی میزان پوشش دهی امولسیون اولیه- نمودار صفحه ای ۷۱
شکل ۴-۱۳ ب): اثر برهمکنش A وC روی میزان پوشش دهی امولسیون اولیه- نمودار صفحه ای ۷۱
شکل ۴-۱۴ (الف): اثر برهمکنش A وB روی میزان پوشش دهی امولسیون اولیه- نمودار رویه پاسخ ۷۲
شکل ۴-۱۴ (ب): اثر برهمکنش A وC روی میزان پوشش دهی امولسیون اولیه- نمودار رویه پاسخ ۷۲
شکل ۴-۱۵: امولسیون W/O/W زیر میکروسکوپ نوری ۷۳
شکل ۴-۱۶(الف): اثر غلظت گام در فاز آبی خارجی روی فعالیت امولسیون دوتایی ۷۵
شکل ۴-۱۶(ب): اثر نسبت امولسیون اولیه به فاز آبی خارجی روی فعالیت امولسیون دوتایی ۷۶

شکل ٤-١٧: اثر برهمکنش عوامل موثر بر فعالیت امولسیون دوتایی- نمودارهای صفحه ای و رویه و پاسخ ٧٧
شکل ۴-۱۸(الف): اثر غلظت گام در فاز آبی خارجی روی پایداری امولسیون دوتایی ٧٩
شکل ۴-۱۸(ب): اثر نسبت امولسیون اولیه به فاز آبی خارجی روی پایداری امولسیون دوتایی ٧٩
شکل ٤-١٩: پایداری امولسیونهایW/O/Wبر حسب غلظت نمک آهن در فاز آبی داخلی ٨١
شکل ۴-۲۰: اثر غلظت گام عربی روی راندمان پوشش دهی امولسیون دوتایی ٨٢
شکل ٤-٢١: میکروکپسول تهیه شده با خشک کن پاششی (SEM) ٨٣

چکیده

افزودن ترکیبات آهن آزاد به مواد غذایی جهت غنی سازی مشکلاتی را ایجاد می کند. میکروکپسوله سازی آهن یک روش مناسب برای پرهیز از این مشکلات می باشد. روش خشک کن پاششی یکی از روشهایی است که می تواند برای انکپسولاسیون آهن به کار رود چرا که زمان تماس مواد در خشک کن بسیار کوتاه می باشد. در این پروژه به منظور میکروکپسوله سازی آهن امولسیون دوتایی آب در روغن در آب (W/O/W) تهیه شده است که فاز آبی داخلی شامل محلول گام عربی، Tween 80، $FeSO_4.7H_2O$ و اسید سیتریک، فاز روغنی شامل روغن ذرت و span 60 و فاز پیوسته خارجی نیز محلول گام عربی می باشد. به منظور ارائه یک مدل تجربی برای بررسی رفتار امولسیون اولیه و دوتایی از روش آماری Central Composite Design (CCD) استفاده شده است. برای بررسی رفتار امولسیون اولیه متغیرهای مستقل نسبت ماده هسته ای به ماده دیواره ای (A) در سه سطح ۶۰:۴۰، ۷۰:۳۰ و ۸۰:۲۰، غلظت span 60 (B) در سه سطح ۳، ۴ و ۵ درصد وزنی و غلظت گام عربی (C) در سه سطح ۳، ۵/۵ و ۸ درصد وزنی انتخاب شده اند. اثر این سه متغیر مستقل روی فعالیت، پایداری، اندازه ذرات و راندمان پوشش دهی امولسیون اولیه آب در روغن (W/O)با استفاده از مدل رگراسیون خطی چند جمله ای درجه دوم بررسی شده است. آنالیز واریانس(ANOVA) مقدار بالای ضریب همبستگی (۰/۹۹۶۶-۰/۹۹۸۴) را نشان داده است. نتایج این بخش حاکی از آن است که با افزایشA فعالیت، پایداری و راندمان پوشش دهی امولسیون کاهش و اندازه ذرات افزایش می یابد و با افزایش B و C فعالیت، پایداری و راندمان پوشش دهی امولسیون افزایش می یابد. در غلظت ۸ درصد وزنی گام عربی، ۵ درصد وزنی span 60 و نسبت هسته به دیواره ۶۰:۴۰، امولسیون اولیه بیشترین میزان پایداری و راندمان پوشش دهی را داراست. برای بررسی رفتار امولسیون W/O/W دو متغیر مستقل غلظت گام عربی در فاز پیوسته خارجی (A) در سه سطح ۴، ۷ و ۱۰ درصد وزنی و نسبت حجمی امولسیون اولیه به فاز پیوسته خارجی (B) در سه سطح ۱:۴، ۵:۸ و ۱:۱ در نظر گرفته شده است. نتایج این بخش نشان می دهد که با افزایش A وB در محدوده آزمایش شده فعالیت و پایداری امولسیون W/O/W افزایش می یابد. بیشترین میزان پایداری امولسیون دوتایی W/O/W در غلظت ۱۰ درصد وزنی گام عربی در فاز پیوسته خارجی و نسبت ۱:۱ امولسیون اولیه به فاز پیوسته خارجی می باشد.

کلید واژه ها: غنی سازی آرد با آهن، امولسیون آب در روغن، امولسیون دوتایی آب در روغن در آب ، میکروکپسوله سازی نمک آهن، روش آماری CCD

Keywords: Iron fortification of flour, W/O emulsion, W/O/W double emulsion, microencapsulation of iron salt, Central Composite Design.

فصل اول

مقدمه

کمبود آهن یکی از مشکلات عمده کشورهای در حال توسعه می باشد و بیش از یک سوم مردم جهان را تحت تاثیر قرار داده است. مطابق آمارهای ارائه شده از سوی سازمان جهانی بهداشت(WHO) هم اکنون بیش از سه میلیارد نفر در دنیا مبتلا به کم‌خونی فقر آهن هستند[۱]. یکی از روشهای موثر برای حل این معضل اساسی غنی سازی مواد غذایی با آهن است. بودول[۱] و همکارانش کم خونی فقر آهن را در زنان آمریکا ۲/۹٪ گزارش کردند که علت آن مصرف گسترده غذاهای غنی شده با آهن نظیر نان سفید، آرد ذرت و غلات می باشد و حدود۲۰٪ مصرف کل آهن، از غذاهای غنی شده با آهن در این محصولات تامین می شود[۲].

در غنی سازی انتخاب غذای مناسب برای غنی سازی بسیار مهم است، غذایی که برای غنی سازی استفاده می شود باید غذای اصلی عمده مردم منطقه باشد، غنی سازی در طعم غذا تغییر محسوس ایجاد نکند و این غذا توسط گروههای آسیب پذیر (گروههای در معرض خطر کمبود آهن) استفاده شود[۲،۳و۴]. در بسیاری از کشورهای جهان نان و دیگر محصولات آرد گندم مصرف گسترده ای برای همه سنین دارد و تقریبا هر روز مصرف می شود، مصرف بالای آن مشکل خاصی ایجاد نمی کند و هزینه تهیه آن کم می باشد. بسیاری از کشورها از سالها پیش اقدام به غنی سازی نان با آهن، ویتامینها و سایر املاح کرده اند. مطالعات انجام شده در این کشورها به ویژه کشورهای پیشرفته نظیر آمریکا و کانادا نتایج مثبتی به همراه داشته و حاکی از روند رو به کاهش کم خونی فقر آهن می باشد[۲، ۴ و۵].

در کشور ما نیز نان و سایر غذاهای تهیه شده با آرد مهمترین غذای انتخابی مردم است. بر اساس تحقیقات حدود نیمی از انرژی مصرفی روزانه مردم کشور ایران و کشورهای همسایه از طریق نان گندم تامین می شود. از طرفی گندم بیشترین میزان تولید و مصرف غلات را در جهان به خود اختصاص داده است و تکنولوژی غنی سازی آرد آسان و کم هزینه است. آرد گندم منبع خوبی از ویتامینهای B_1 (تیامین)، B_2 (ریبوفلاوین)، B_3 (نیاسین)، B_6 (پیربودکسین)، ویتامین E، آهن و روی می باشد[۵].

روش متداول غنی سازی آرد با آهن افزودن پرمیکس[۲] به آرد گندم در انتهای فرآیند آسیاب گندم و یا افزودن آن به خمیر نان، قبل از پخت می باشد. پرمیکس شامل آهن، اسید فولیک به مقدار کم و فیلر(در حدود ۹۰٪) می باشد. مخلوط کردن آهن و اسید فولیک با فیلر در دستگاهی به نام میکروفیدر انجام می گیرد[۴]. بهترین فیلر نشاسته ذرت است ولی آرد ذرت و آرد گندم نیز می توانند به عنوان فیلر استفاده شوند.آرد گندم و آرد ذرت حاوی مقداری چربی هستند ولی در نشاسته ذرت چربی وجود ندارد.

---

[۱] Bothwell TH

[۲] Premix

بیشتر مواد مغذی در لایه های خارجی دانه گندم یعنی سبوس آن وجود دارد، به همین دلیل در طول فرایند آسیاب مقدار این مواد کاهش می یابد. آرد گندمی که همراه با سبوس آن تبدیل به نان می شود، ۵۰ در صد بیشتر از حالت معمولی ویتامین و املاح معدنی دارد. برای جبران مواد از دست رفته، آرد گندم در کشورهای توسعه یافته با تیامین، نیاسین و آهن و در برخی از کشورها حتی با کلسیم، فولات، ویتامین A و D غنی می شود[۵].

ترکیبات آهنی که بعنوان منبع غنی سازی آهن استفاده می شوند به چهار دسته تقسیم می شوند:

۱) ترکیبات آهن محلول در آب

۲) ترکیبات کم محلول در آب و محلول در اسیدهای رقیق

۳) ترکیبات نامحلول در آب و کم محلول در اسیدهای رقیق

۴) ترکیبات آهن میکروکپسوله شده

ترکیبات آهن محلول در آب بیشترین میزان جذب در بدن را دارند ولی از نظر شیمیایی نیز فعالترند و تغییرات نامطلوب رنگ و طعم غذای غنی شده با این گروه از ترکیبات آهن سریعتر رخ می دهد. سولفات آهن، فروس گلوکونات[۳]، فریک آمونیوم سیترات[٤] و فروس ساکارات[٥] در این گروه قرار دارند. از این میان فروس سولفات منبع خوبی به عنوان ترکیب آهن قابل جذب می باشد. برای غنی سازی آرد گندم با آهن بیشتر ترکیبات ($FeSO_4$ (۳۰ppm) و ($FeSO_4.7H_2O$ (۶۰ppm استفاده می شود. از عنصر آهن نیز به نسبت ۶۰ppm یعنی ۶۰ میلی گرم آهن به ازای هر کیلوگرم آرد می توان استفاده نمود. فروس سولفات نسبت به عنصر آهن و $FeSO_4.7H_2O$ از کیفیت تغذیه ای بالاتری برخوردار است. مقدار آهنی که باید به آرد افزوده شود به میزان مصرف آرد و شدت کمبود آهن بستگی دارد[۲، ۴ و ۶].

ترکیبات کم محلول در آب و محلول در اسیدهای رقیق مشکلات ارگانولپتیک کمتری نسبت به گروه اول ایجاد می کنند ولی جذب کمتری نسبت به گروه اول دارند و ترکیبات کم محلول در اسیدهای رقیق جذب پایین دارند[۲].

فرایند غنی سازی مواد غذایی با آهن و ترکیبات آهن مشکلاتی از قبیل تغییرات نامطلوب رنگ و طعم و ایجاد لکه های زرد در ظاهر غذا ایجاد می کند. رسوب گذاری، ایجاد بافت شن مانند، اکسیداسیون چربی و تجزیه ویتامینها از دیگر مشکلاتی است که با افزودن آهن به مواد غذایی ممکن است روی دهد. ترکیبات آهن محلول در آب واکنشهایی با دیگر ترکیبات موجود در ماده غذایی می دهد و باعث ایجاد

[۳] ferrous gluconate

[٤] ferric ammonium citrate

[5] ferrous saccharate

رنگ و طعم نامطلوب در ماده می شود، ترکیبات آهن همچنین ممکن است باعث ایجاد طعم فلز در غذا شود، به ویژه در محصولات چرب تغییر مزه بیشتر در نتیجه اکسیداسیون چربیهاست که آهن بعنوان کاتالیست عمل می کند. تشکیل پتتان در قوطی های دربسته محتوی غذاهای غنی شده با آهن، می تواند برای تعیین توانایی ترکیبات آهن برای پیشبرد اکسیداسیون چربی در غلات، سنجیده شود. نکته دیگر این است که برخی مواد غذایی حاوی مواد باز دارنده جذب می باشند، فیتیتها، اگزالاتها، کلسیم، تانن و پلی فنلها از جمله بازدارنده های جذب در مواد غذایی می باشد. خاصیت بازدارندگی جذب در مواد بعلت تشکیل پلیمرهای بزرگ نامحلول در آب می باشد. به عنوان مثال تانن موجود در چای و فیتات موجود در نان تخمیر شده جذب آهن را کاهش می دهد. فیتات که در سبوس گندم وجود دارد از مهمترین عوامل بازدارنده جذب می باشد که طی تخمیر و ور آمدن خمیر در اثر فعالیت آنزیم فیتاز، تبدیل به اسید فیتیک می شود. استفاده از جوش شیرین در نان، تخمیر را دچار اختلال می کند. بنابراین جوش شیرین از جمله ترکیباتی است که به طور غیر مستقیم جذب آهن را مختل می کند[۲و۷].

در آرد غنی شده با آهن، ترکیبات آهن محلول در آب مثل فروس سولفات و فروس گلوکونات با انحلال پذیری در آب موجود در آرد (بعلت محتوای بالای آب در آرد: ۱۵-۱۰٪) هنگام نگهداری آرد، باعث ایجاد واکنشهای شیمیایی مختلفی در آرد می شود. به منظور جلوگیری از مشکل انحلال پذیری ترکیبات آهن در آب موجود در آرد، لیف هالبرگ[۶] و همکارانش در تحقیقی کمپلکس فریک ارتوفسفات[۷]را که در آب نامحلول است و نسبت به سایر ترکیبات نامحلول در آب جذب بهتری دارد، به عنوان منبع آهن برای غنی سازی آرد استفاده کردند[۸]. آهن ممکن است با ترکیبات سولفور یا پلی فنل در آرد واکنش دهد و باعث ایجاد رنگ مشکی-آبی شود، آهن همچنین در اکسیداسیون چربیهایی که بطور طبیعی در آرد وجود دارد، نقش کاتالیست را داشته و باعث ایجاد اثرات منفی نظیر بوی ترشیدگی می شود که آرد را از نظر ارگانولپتیک غیر قابل قبول می سازد. [۹].

به منظور پرهیز از مشکلات ذکر شده در بالا و جلوگیری از واکنشهای نامطلوب در غنی سازی مواد غذایی با آهن، تکنیک میکروکپسوله سازی بعنوان یک روش مناسب برای غنی سازی مواد غذایی با آهن، بویژه آنهایی که چربی و رطوبت بالا دارند (نظیر آرد، شیر و ...) پیشنهاد می شود[۲و۱۰و۱۱].

با استفاده از تکنیک میکروکپسوله سازی و پوشش دهی ترکیبات آهن با دیواره ای ازچربیها، روغنهای هیدروژنه شده،پلی ساکاریدها و یا اتیل سلولز می توان از واکنش میان آهن و دیگر ترکیبات موجود در

[۶] Leif Hallberg

[۷] complex ferric orthophosphate

ماده غذایی و نیز از تماس آهن با بازدارنده های جذب در مواد غذایی جلوگیری نمود. با کاربرد میکروکپسوله های آهن در آرد، آهن هنگام نگهداری آرد از تماس با سولفور، پلی فنل و چربی محفوظ می ماند و زمان ماندگاری آرد بالا می رود. در این روش ترکیبات آهن محلول در آب که جذب بالایی دارند را می توان بدون مشکل انحلال پذیری بکار برد. آرد غلات شامل پلی فنل و اسید فیتیک می باشد که با پوشش دهی ترکیبات آهن و بکارگیری میکروکپسوله های آهن برای غنی سازی آرد، از تماس آهن با بازدارنده های جذب در آرد جلوگیری می شود که این یکی از اهداف اصلی کاربرد تکنیک میکروکپسوله سازی در غنی سازی آرد غلات با آهن می باشد[۲،۱۰،۱۱،۱۲]

به منظور میکروکپسوله سازی آهن ابتدا باید یک امولسیون آب در روغن و یا امولسیون دوتایی آب در روغن در آب تهیه شود و اثر پارامترهای موثر بر روی خواص امولسیون بررسی شود[۱۳و۱۴].

هدف از پروژه حاضر تهیه امولسیون دوتایی آب در روغن در آب(W/O/W) به منظور انکپسولاسیون آهن و بررسی پارامترهای موثر بر خواص امولسیون اولیه W/O و نیز امولسیون دوتایی W/O/W می باشد. بدین منظور ابتدا یک امولسیون آب در روغن تهیه می شود که فاز آبی شامل محلول گام عربی، Tween 80، $FeSO_4.7H_2O$ و اسید سیتریک و فاز روغنی شامل روغن ذرت و span 60 می باشد و اثر پارامترهایی نظیر غلظت امولسیفایر هیدروفیل(گام عربی) و هیدروفوب(span 60) و نیز نسبت هسته به دیواره روی خواص فیزیکی امولسیون نظیر فعالیت، پایداری، اندازه ذرات و میزان پوشش دهی بررسی می شود. سپس یک فرمولاسیون ثابت از امولسیون اولیه که بیشترین میزان پایداری و راندمان پوشش دهی را داراست به منظور تهیه امولسیون دوتایی انتخاب می شود. فاز پیوسته خارجی در امولسیون دوتایی نیز محلول گام عربی باشد. اثر عواملی نظیر نسبت حجمی امولسیون اولیه به فاز پیوسته خارجی، درصد وزنی گام عربی در فاز پیوسته خارجی و غلظت نمک آهن در فاز آبی داخلی روی اکتیویته، پایداری و راندمان پوشش دهی امولسیون دوتایی W/O/W بررسی می شود. به منظور ارائه یک مدل تجربی برای بررسی رفتار امولسیون اولیه و دوتایی از روش Central Composite Design (CCD) که از جمله طرح های آزمایش متداول روش آماری رویه پاسخ (RSM) می باشد، استفاده می شود.

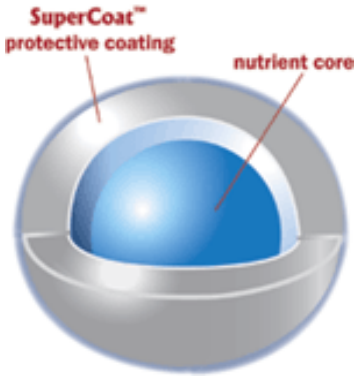
فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱- میکروکپسوله سازی

۲-۱-۱- مقدمه ای بر میکروکپسوله سازی

میکروکپسوله سازی تکنولوژی مناسبی است که امروزه بسیار توسعه یافته است و از لحاظ صنعتی و علمی توجه بسیار زیادی را به خود معطوف داشته است. میکروکپسوله سازی عبارت است از پوشش دهی مواد فعال اعم از ذرات ریز جامد، قطرات مایع و یا حباب‌های گاز با یک لایه فیلم نازک. قسمت فعال مرکزی را ماده هسته ای و قسمت خارجی پوشش دهنده را ماده دیواره ای یا حامل می گویند. در شکل ۲-۱ ماده هسته ای و دیواره ای به طور شماتیک نشان داده شده است:



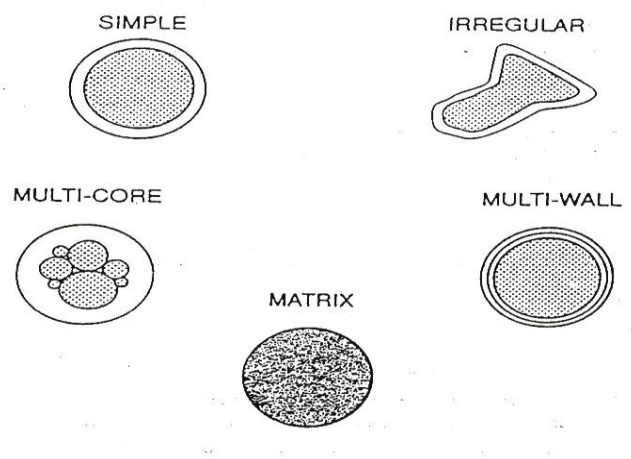
شکل ۲-۱: هسته و دیواره میکروکپسول

مواد تشکیل دهنده قسمت مرکزی میکروکپسولها عبارتند از مواد محلول در آب، مواد جامد نامحلول در آب، مایعات نامحلول در آب، محلولها و مواد جامد پراکنده در مایعات و گازها. قسمت خارجی میکروکپسولها می تواند مواد پلیمری قابل فیلم شدن (طبیعی یا سنتزی)، آمینوپلاستها، سلولز استات فتالات، اتیلن متیلن استات، ژلاتین، گام عربی، نیترو سلولز، پلی هیدروکسی سلولز، واکسها، پلی ساکاریدها، چربیها و روغنها، پروتئینها و کربوهیدراتها باشد که هر کدام از این مواد مزایا و معایبی دارند، بنابراین بسیاری از دیواره ها معمولا ترکیبی از مواد ذکر شده، می باشند. انتخاب دیواره به طبیعت ماده هسته ای، نوع فرایند میکروکپسوله سازی، مشخصات سیستمی که میکروکپسول به آن افزوده می شود به لحاظ سازگاری میکروکپسول با سیستم، مسائل ایمنی و سلامت بویژه در کاربردهای دارویی و غذایی، بستگی دارد[۱۵و۱۶].

کپسولها با توجه به نوع مواد و روشهای انجام فرایند دارای اندازه، شکل و ساختارهای متفاوتی می باشند. شکل میکروکپسولها اغلب کروی است. ساده ترین شکل حالتی است که مواد داخلی توسط غشای نازکی

با ضخامت یکنواخت پوشش داده شوند. همچنین ممکن است چندین ماده مرکزی بطور همزمان درون یک ذره میکروکپسول قرار بگیرند یا اینکه مواد مرکزی بصورت ماتریکس درون ماده پوشش دهنده محصور شوند و نیز ممکن است میکروکپسول ساختمان چند دیواره ای داشته باشد که جنس لایه ها می تواند یکسان یا متفاوت باشد. قطر میکروکپسولها از ۱ تا ۱۰۰۰ میکرون می باشد که به ذرات کوچکتر از ۱ میکرون نانو پارتیکل و به ذرات بزرگتر از ۱۰۰۰ میکرون میکروگرانول یا ماکروپارتیکل گفته می شود. این کپسولهای ریز قادرند محتویات درون خود را در زمان مشخص، تحت شرایط ویژه و به مقدار مشخصی آزاد نمایند. پارامترهای موثر برای بررسی میکروکپسول; اندازه ذرات، توزیع اندازه ذرات، شکل و پایداری میکروکپسول و ریت آزاد شدن هسته، می باشد[۱۵، ۱۶و۱۷].

مواد پوشش دهنده از لحاظ وزنی ۷۰-۱٪ وزن میکروکپسول را تشکیل می دهند ولی در کاربردها صنعتی این میزان حدود ۳۰-۳٪ درصد می باشد که بستگی به ضخامت فیلم خشک، مساحت، سطح ماده مرکزی، و سایر خصوصیات فیزیکی سیستم دارد[۱۵]. شکل ۲-۲ اشکال مختلف میکروکپسول را نشان می دهد:



شکل ۲-۲: اشکال مختلف میکروکپسوله ها

۲-۱-۲- اهداف میکروکپسوله سازی

با بکارگیری تکنولوژی میکروکپسوله سازی امکان تولید بیشتر غذاهایی که تهیه آنها از لحاظ فنی غیر ممکن بنظر می رسید، فراهم شده است. این روش فواید بسیاری برای ماده میکروکپسوله شده دارد. فقط با پوشش دهی مواد می توان بطور کلی خواص و ویژگیهای آنها را تحت شرایط طبیعی نگهداری، تغییر