

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مدیریت تحصیلات تکمیلی
دانشکده کشاورزی
گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
در رشته علوم و مهندسی صنایع غذایی گرایش فناوری مواد غذایی

عنوان:

**نانوکپسولاسیون روغن دانه مورینگا با استفاده از الکتروریسی:
ویژگی یابی، خاصیت ضد میکروبی و ضد دیابتی**

استاد راهنما:

دکتر محمد امین میری

اساتید مشاور:

دکتر محمد رضا آقچه‌لو

دکتر محمد علی نجفی

تهیه و تدوین:

عاطفه ناصری

دی ماه ۱۴۰۳

روغن استخراج شده از دانه مورینگا اولیفر، به دلیل غنی بودن از ترکیبات فعال بیولوژیکی، طیف وسیعی از اثرات درمانی از جمله مهار رشد میکروارگانیسم‌ها، کاهش آسیب‌های اکسیداتیو و تنظیم قند خون را از خود نشان می‌دهد. این روغن به دلیل خواص ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی خود شناخته شده است. در مطالعه پیش روی روغن دانه مورینگا اولیفر در مقادیر ۰، ۲.۵، ۵ و ۱۰ درصد (V/V) در نانوالیاف حاصل از الکتروریسی زئین، انکپسوله شد. نانوالیاف حاوی روغن با SEM، FTIR، XRD، TGA و BET ویژگی‌یابی شدند. مورفولوژی و قطر نانوالیاف‌های الکتروریسی شده با کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی و قطر نانوالیاف‌ها با استفاده از نرم افزار Image J اندازه‌گیری شد. خواص ضد میکروبی نانوالیاف به روش انتشار دیسک بر روی باکتری‌های باسیلوپس سرئوس، اشریشیا کلی، پseudomonas آئروینوز و استفیلوکوکوس اورئوس مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه آزاد سازی روغن از غشاء نانوالیاف در چهار شبیه‌ساز غذایی مختلف انجام شد. همچنین، خاصیت کنترل قند خون نانوالیاف تولید شده، با افزودن نانوالیاف محتوی روغن به غذای رت‌های دیابتی شده با استرپتوزوتوسین بررسی شد. تجزیه و تحلیل GC-MS به منظور شناسایی اسیدهای چرب روغن دانه مورینگا اولیفر انجام شد. نتایج نشان داد که قطر نانوالیاف حاصل از الکتروریسی زئین با افزایش غلظت روغن، افزایش یافت و بیشترین میانگین قطر مربوط به نانوالیاف حاوی ۱۰ درصد روغن بود. آنالیز طیف‌های FTIR نشان داد که پیک‌های مشخصه گروه‌های عاملی روغن مورینگا در نمونه‌های نانوالیاف الکتروریسی شده حفظ شده‌اند. این امر حاکی از آن است که روغن مورینگا با موفقیت در ماتریکس پلیمری زئین محصور شده است. علاوه بر این، برهم‌کنش‌های بین مولکولی بین روغن و زئین باعث تغییراتی در ساختار ثانویه پروتئین زئین شده است که این تغییرات در مورفولوژی نانوالیاف نیز منعکس شده است. آزمون XRD نیز نشان داد که حضور روغن باعث تغییراتی در آرایش مولکولی زئین شده و به ویژه باعث افزایش ساختار آلفا-مارپیچ در پروتئین شده است. این تغییر در ساختار پروتئین، به دلیل برهم‌کنش بین روغن و پروتئین اتفاق می‌افتد. نتایج TGA نشان داد که افزودن روغن مورینگا به طور کلی باعث افزایش مقاومت نانوالیاف در برابر حرارت می‌شود. این بهبود پایداری حرارتی به دلیل تشکیل پیوندهای بین مولکولی بین روغن و پروتئین زئین است. با این حال، افزایش بیش از حد مقدار روغن می‌تواند ساختار نانوالیاف را تضعیف کند و در نتیجه پایداری حرارتی را کاهش دهد. نتایج به دست آمده از آزمون BET نشان داد که افزودن روغن به نانو الیاف باعث افزایش اندازه حفرات و کاهش سطح ویژه و حجم کل حفرات در نانوالیاف زئین شده است. براساس آزمون کشش نتایج نشان داد که با افزایش میزان روغن به نانوالیاف زئین، استحکام، سختی و سفتی آن‌ها را به طور قابل توجهی افزایش یافت. همچنین نتایج نرخ انتقال بخار آب نشان داد که افزودن روغن مورینگا به نانوالیاف زئین باعث کاهش نفوذپذیری بخار آب می‌شود. نانو الیاف زئین حاوی ۲.۵، ۵ و ۱۰ درصد روغن راندمان کپسولاسیون به ترتیب ۵۹.۴۶، ۷۴.۴۶ و ۸۲.۹۳ درصد را نشان دادند و پایداری ذخیره‌سازی خوبی داشتند. نتایج آزمون ضد میکروبی نشان داد که روغن بارگذاری شده در نانوالیاف زئین در غلظت ۱۰ درصد، بهترین عملکرد را از خود بر علیه باکتری‌های مورد آزمایش نشان داد. نتایج آزمون ره‌ایش نیز نشان داد که سریع‌ترین آزادسازی روغن از ماتریس‌های نانوالیافی به ترتیب در n – هگزان (شبیه ساز غذای چرب)، اتانول ۱۰٪ (شبیه ساز غذای الکلی یا قلیایی)، اسید استیک ۳٪ (شبیه ساز غذای اسیدی) و آب مقطر (شبیه ساز غذای آبی) به دست آمد. براساس نتایج آزمون سمیت سلولی، نانوالیاف حاوی روغن دانه مورینگا بر روی سلول‌های فیبروبلاست انسانی (HFF) اثر سمی نداشته و زیست‌سازگاری بالایی نشان دادند. همچنین، استفاده از این نانو الیاف در جیره غذایی موش‌های دیابتی، باعث افزایش وزن شده اما تأثیر معنی‌داری بر کاهش قند خون نداشته است. با این حال، پتانسیل این نانوالیاف برای درمان دیابت همچنان مورد توجه است و نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. این شاخص‌ها می‌تواند نانوالیاف زئین حاوی روغن دانه مورینگا اولیفر را به عنوان یک گزینه ایده آل برای افزایش ایمنی مواد غذایی و افزایش خواص سلامتی بخش آن‌ها تبدیل نماید.

کلمات کلیدی: الکتروریسی، روغن دانه مورینگا اولیفر، ره‌ایش کنترل شده، پایداری ذخیره سازی.

Abstract

The oil extracted from *Moringa oleifera* seeds, rich in bioactive compounds, exhibits a wide range of therapeutic effects, including inhibition of microbial growth, reduction of oxidative damage, and regulation of blood glucose levels. Known for its antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory properties, *Moringa* seed oil was encapsulated at concentrations of 0, 2.5, 5, and 10% (v/v) in zein-based nanofibers produced via electrospinning. The nanofibers were characterized using SEM, FTIR, XRD, TGA, and BET. Morphology and diameter of the electrospun nanofibers were analyzed via scanning electron microscopy (SEM), with fiber diameters measured using ImageJ software. The antimicrobial properties of the nanofibers were evaluated against *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Staphylococcus aureus* using the disk diffusion method. The release study of the oil from the nanofiber membranes was conducted in four different food simulants. The hypoglycemic potential was assessed by incorporating the oil-loaded nanofibers into the diet of streptozotocin-induced diabetic rats. GC-MS analysis identified the fatty acid composition of *Moringa* seed oil. Results indicated that the average diameter of zein nanofibers increased with higher oil concentrations, peaking at 10% oil loading. FTIR spectra confirmed the preservation of characteristic functional groups of *Moringa* oil in the nanofibers, confirming successful encapsulation. Molecular interactions between the oil and zein altered the protein's secondary structure, reflected in morphological changes. XRD analysis revealed that the oil induced structural rearrangements in zein, notably increasing α -helix content. TGA demonstrated enhanced thermal stability due to intermolecular bonding between the oil and zein, though excessive oil weakened the nanofiber matrix. BET analysis showed increased pore size but reduced surface area and total pore volume in oil-loaded nanofibers. Tensile tests revealed significant improvements in strength, hardness, and stiffness with higher oil content. Water vapor permeability decreased with oil incorporation. Encapsulation efficiency reached 59.46%, 74.46%, and 82.93% for 2.5%, 5%, and 10% oil-loaded nanofibers, respectively, with excellent storage stability. Antimicrobial assays showed optimal activity at 10% oil concentration. Release studies indicated the fastest oil release in n-hexane (fatty food simulant), followed by 10% ethanol (alcoholic/alkaline simulant), 3% acetic acid (acidic simulant), and distilled water (aqueous simulant). Cytotoxicity tests confirmed the biocompatibility of the nanofibers with human fibroblast cells (HFF). In diabetic rats, the nanofibers promoted weight gain but did not significantly reduce blood glucose levels, warranting further investigation for diabetes management. These findings position *Moringa* oil-loaded zein nanofibers as a promising candidate for enhancing food safety and functional properties.

Keywords: Electrospinning, *Moringa oleifera* seed oil, Controlled release, storage stability.



University of zabol
Management of graduate school
School of Agriculture
Department of Food Industry Science and Engineering

**Thesis for the Master's Degree
in Food Science and Engineering Major in Food Technology**

Title:
**Nanoencapsulation of Moringa seed oil using
electrospinning: Characterization, antimicrobial
and antidiabetic properties**

Supervisor:
Dr. Mohammad Amin Miri

Advisors:
Dr. Mohammad Reza Aghcheloo
Dr. Mohammad Ali Najafi

Prepared by:
Atefeh Naseri

January 2025