



ارزیابی قدرت مهارکنندگی عصاره ریزپوشانی شده جلبک سارگاسوم بر اکسیداسیون چربی‌ها در روغن ماهی و میکروارگانیسم‌های پاتوژن

سید سعید سخاوتی زاده^۱، محمد گنجه^{۲*}، سیده صدیقه هاشمی^۳، محمدرضا مظفریان^۳

۱- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات و آموزش جهاد کشاورزی، شیراز، ایران

۲- گروه کشاورزی، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، مؤسسه آموزش عالی خرد، بوشهر، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۲

کلمات کلیدی:

آنتی‌اکسیدان

ن، پاتوژن‌ها، ریزپوشانی،

ضدمیکروبی.

DOI: 10.48311/fsct.2026.84059.0

* مسئول مکاتبات:

mohammadganje@hormozgan.ac.ir

در این پژوهش ترکیب بهینه عصاره ریزپوشانی شده جلبک سارگاسوم جهت بهبود پایداری اکسیداتیو روغن ماهی و استفاده به عنوان ترکیب ضد میکروبی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به حساسیت اکسیداتیو روغن ماهی به دلیل ترکیب اسیدچرب خاصی که دارد، استفاده از آنتی‌اکسیدان جهت افزایش مدت ماندگاری آن اجتناب‌ناپذیر است. عصاره ریزپوشانی شده، عصاره خالص و آنتی‌اکسیدان سنتزی (TBHQ) در سه غلظت ۰، ۱/۲۵ و ۲/۵ درصد به روغن ماهی افزوده شد و در بازه زمانی ۱۵ روزه مورد بررسی قرار گرفت. از روش سطح پاسخ جهت ارزیابی تاثیر متغیرهای مستقل بر میزان پراکسید و آنیزیدین به عنوان شاخص‌های اکسیداسیون و بهینه‌سازی فرایند استفاده شد. با افزایش زمان ماندگاری میزان اکسیداسیون افزایش و با افزایش غلظت میزان شاخص‌های مورد بررسی کاهش یافت. در انتخاب تیمار بهینه نیز عصاره ریزپوشانی شده جلبک و آنتی‌اکسیدان سنتزی در غلظت ۲/۵ درصد و زمان ۱۵ روز بهترین شرایط پیشنهادی بودند. همچنین با بررسی اثرات ضدمیکروبی تیمارهای ریزپوشانی شده مشخص شد تیمارهای تهیه شده با ترکیب دیواره کیتوزان و پس از آن تیمار با ترکیب دیواره پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین با نسبت ۵۰:۵۰ بیشترین قابلیت ضدمیکروبی را بر علیه باکتری‌های بیماری‌زای مورد بررسی از خود بروز دادند به گونه‌ای که می‌توان از این تیمارها به منظور تهیه آنتی بیوتیک‌های استاندارد جایگزین بهره جست.

۱-مقدمه

کیفیت و ایمنی مواد غذایی در سالهای اخیر به یکی از دغدغه‌های اصلی مصرف کنندگان، تولید کنندگان و آژانس‌های قانون‌گذاری در این حوزه تبدیل شده است. تغییر در عادات غذایی و رفتار مصرف‌کنندگان مانند افزایش تقاضا برای مواد غذایی تازه، با حداقل فرایند، طبیعی و راحت مصرف را می‌توان ناشی از همین امر ارزیابی کرد. بنابراین تولید مواد غذایی ایمن و با کیفیت بالا بخصوص در مواد غذایی حساس به فساد مانند روغن ماهی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. با توجه به ارزش غذایی بالایی که این محصول دارد در دهه‌های اخیر مصرف آن با سرعت قابل توجهی افزایش پیدا کرده و توسعه روش‌های طبیعی و مقبول برای عرضه سالم آنها به بازار را حیاتی نموده است. از طرفی تامین همزمان پایداری شیمیایی و میکروبی فرآورده‌های غذایی می‌تواند شرایط ایده‌آلی را فراهم آورد و نیاز به نگهدارنده‌های سنتزی را به حداقل برساند [۱].

یکی از مهمترین و پرمصرف‌ترین ترکیبات نگهدارنده در صنعت غذا مواد آنتی‌اکسیدانی است که به دلیل عوارض سلامتی و زیست محیطی آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی در چند دهه اخیر، تقاضا برای توسعه جایگزین‌های طبیعی و مطمئن برای آنها توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است [۲].

[۳]. به ویژه در مواد غذایی مانند روغن ماهی که به دلیل ترکیب اسید چرب آن حساسیت اکسیداسیونی بالایی دارد و استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها در آنها اجتناب ناپذیر است، این امر نمود بیشتری پیدا می‌کند [۴]. روغن ماهی منبعی غنی از اسیدهای چرب امگا-۳ غیر اشباع است که اثرات مثبت آنها بر سلامت انسان به اثبات رسیده است. این اسیدهای چرب بسیار ناپایدار بوده و به آسانی در فرآیند نگهداری اکسید می‌شوند، که منجر به کاهش ارزش تغذیه‌ای، ایجاد طعم نامطلوب و تشکیل ترکیبات سمی می‌گردد [۵]. استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها برای افزایش مدت ماندگاری روغن ماهی ضروری است، اما آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی ممکن است خصوصیات مفید مرتبط با امگا-۳ را از بین ببرند، در حالی

که در کاربرد آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی اینگونه نخواهد بود [۶].

[۷]. جلبک‌ها منابع غنی از انواع رنگدانه‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر فوکوزانتین، کلروفیل a و b، بتاکاروتن، زانتوفیل‌ها، فلاونوئیدها و کارتنوئیدها می‌باشند، که در این میان ترکیبات فنولیک از خاصیت آنتی‌اکسیدانی ویژه‌ای برخوردارند و گروهی از پلی‌فنل‌ها، مانند کاتچین، فلاونول و فلاونول گلیسرول در عصاره متانولی جلبک‌های قهوه‌ای و قرمز مشاهده شده‌اند [۸] [۹]. بنابراین، رنگدانه‌های جلبک‌های قهوه‌ای مانند سارگاسوم، با دارا بودن ترکیبات فنولی و رنگدانه‌های فلاونوئیدی، پتانسیل بالایی به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی دارند که می‌تواند در کاهش فرآیندهای اکسیداسیون در محصولات غذایی مؤثر واقع شود [۱۰]. از طرفی ریزپوشانی به عنوان یک تکنیک محافظتی تایید شده، می‌تواند مداخلات مؤثری در افزایش پایداری و ایمنی این ترکیبات داشته باشد. ریزپوشانی می‌تواند کارایی عصاره‌های گیاهی و جلبکی را در مقابل اکسیداسیون به میزان قابل توجهی افزایش دهد، زیرا باعث کنترل آزادسازی مواد فعال و افزایش پایداری در محیط‌های غذایی می‌شود [۱۱].

[۱۲]. مدلسازی فرآیندهای شیمیایی و زیستی برای مهندسی سیستم‌های فرآیندی به دلیل نقش‌های مهم آن در طراحی، بهینه‌سازی و عملیات کنترل فرآیند می‌تواند بسیار مفید باشد [۱۳]. استفاده از مدل‌های مکانیکی که بر اساس فیزیک واکنش‌های رخ داده تعریف شده‌اند معمولاً دقت مناسبی دارند ولی عموماً به دلیل پیچیدگی بالا و عدم همگرایی، کارایی زیادی ندارند. استفاده از مدل‌های نرم افزاری و کامپیوتری موسوم به مدل‌های جعبه سیاه مانند شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS)، [۱۴] [۱۵]. روش سطح پاسخ (RSM) یک تکنیک آماری مؤثر و ابزاری مهم برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل تأثیر پارامترهای متعدد بر فرآیند است. این روش قادر است واکنش‌های پیچیده بین متغیرهای فرآیندی را تخمین

Aldrich، کشور آمریکا) در سه غلظت صفر، ۱/۲۵ و ۲/۵ درصد به روغن ماهی افزوده و نمونه‌ها به مدت ۱۵ روز در دمای اتاق (۲۵°C) نگهداری شدند. مهمترین فاکتورهای مطرح در فرایند اکسیداسیون شامل پراکسید و آنیزیدین در زمان‌های ۰ و ۱۵ روز اندازه‌گیری شدند.

۲-۲-۱ محاسبه میزان پراکسید

سنجش میزان پراکسید تیمارها با استفاده از تعیین نمونه‌هایی به وزن ۱۰۰ mg و با افزودن ۹/۸ ml مخلوط کلروفرم: متانول (به نسبت ۷:۳) آغاز شد. سپس ۰/۱ ml محلول ۰/۰۲ مولار کلرید فرو در اسید کلریدریک، ۱۰٪ اضافه گردید. پس از هم زدن، نمونه‌ها سه دقیقه به حال خود رها شدند و سپس به آن‌ها ۱/۰ ml محلول ۳۰ درصد تیوسیانات آمونیوم اضافه گردید. در نهایت جذب نور در طول موج ۵۰۰ nm ثبت شد و عدد پراکسید براساس رابطه ۱ ارزیابی شد [۱۸، ۱۹].

$$PV = \frac{C \times (V - V_0) + 12.69 \times 78.8}{m} \quad (1)$$

که در اینجا، PV میزان پراکسید، C غلظت سدیم نیو سولفات (مول/لیتر)، V و V₀ به ترتیب بیانگر حجم مصرفی (میلی لیتر) تیو سولفات توسط نمونه‌ها و بلانک است و m نیز میزان روغن (گرم) می‌باشد.

۲-۲-۲ اندازه گیری شاخص آنیزیدین

به منظور اندازه‌گیری شاخص پاراآنیزیدین، ابتدا ۰/۲۵g پاراآنیزیدین در ۱۰۰ml اسید استیک محلول گردید. مقدار ۰/۵ - ۰/۷ نمونه روغن را به دقت در یک بالن ۲۵ ml توزین کرده (m) و سپس محلول پاراآنیزیدین-اسید استیک به آن اضافه شد. محلول بدست آمده در مرحله بعدی از طریق افزودن ایزواکتان به حجم رسانیده و کاملاً مخلوط گردید. جذب محلول حاصل (ایزواکتان + روغن) در طول موج ۳۵۰ nm در مقابل ایزواکتان (شاهد) ثبت شد (A_b). سپس ۵ml از محلول روغن در ایزواکتان به یک لوله آزمایش

زده و همچنین برای بهینه‌سازی طراحی فرایندها مورد استفاده قرار گیرد [۱۶].

در این مطالعه، عصاره جلبک سارگاسوم پس از استخراج و ریزپوشانی، به عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی در روغن ماهی مورد استفاده قرار گرفت و اثرات ضد اکسایشی آن با نمونه‌های بدون پوشش و همچنین با آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی مقایسه شد. برای بررسی روندها و تعیین میزان تاثیر متغیرهای مستقل و بهینه‌سازی فرایند ضد اکسایشی از روش سطح پاسخ بهره گرفته شد؛ همچنین خاصیت ضد میکروبی عصاره ریزپوشانی شده نیز با ترکیبات آنتی میکروبی استاندارد برای کنترل رشد ۹ میکروارگانیسم پاتوژن گرم مثبت و منفی مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲-۲ مواد و روش‌ها

۲-۱ جمع آوری عصاره گیری ریزپوشانی جلبک سارگاسوم

جزئیات مربوط به نحوه جمع آوری، عصاره‌گیری و ریزپوشانی جلبک سارگاسوم در مطالعه قبلی به شکل کامل شرح داده شده است [۱۷]. از بین تیمارهای ریزپوشانی مختلف یک تیمار بهینه (عصاره جلبک سارگاسوم ریزپوشانی شده با نسبت ۵۰:۵۰ پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین به عنوان دیواره و با نسبت عصاره به دیواره ۱:۱۲) جهت ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی و دو تیمار (تیمار توصیف شده برای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و تیماری با دیواره ۱۰۰ درصد کیتوزان با نسبت عصاره به دیواره ۱:۴) جهت ارزیابی آنتی‌باکتریال مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲ قدرت آنتی اکسیدانی

در این مطالعه قدرت آنتی اکسیدانی تیمارهای ریزپوشانی شده با عصاره جلبک سارگاسوم در محافظت از روغن ماهی نسبت به اکسیداسیون، مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفت. به طور خلاصه، سه نوع نگهدارنده شامل عصاره جلبک سارگاسوم ریزپوشانی شده؛ عصاره خالص بدون ریزپوشانی و یک آنتی اکسیدان سنتزی (TBHQ؛ شرکت Sigma-

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 \quad (3)$$

پاسخ توسعه یافته، که یک معادله چند جمله‌ای درجه دوم است معادله ۳ توصیف می‌شود.

در این معادله Y پاسخ پیش‌بینی شده برای هر متغیر، β_0 ضریب ثابت، β_i و β_{ii} ضرایب اثرات خطی، مربعی و متقابل و X_i و X_j بیانگر متغیرهای مستقل فرایند هستند.

۲-۴ قابلیت ضد میکروبی

بررسی اثرات ضد میکروبی تیمارهای میکروکپسوله شده بهینه به روش چاهک پلیت انجام شد. در این روش از پلیت‌های حاوی محیط کشت مولر هیتون آگار که آغشته به میکروارگانیزم بودند استفاده شد. توسط یک پیت پاستور استریل که مخصوص ایجاد چاهک است، یک حفره در محیط کشت ایجاد کرده و داخل هر چاهک با سمپلر ۰/۵ میلی‌گرم از تیمارها به طور جداگانه قرار داده شد سپس پلیت‌ها به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. ارزیابی قابلیت ضد میکروبی بر روی میکروارگانیزم‌های گرم مثبت و گرم منفی متفاوت با نگهدارنده‌های مصنوعی متناسب و استاندارد برای هر کدام و همچنین تیمارهای مالتودکسترین-پروتئین آب پنیر و کیتوزان حاوی عصاره صورت گرفت. در شکل ۴ نگهدارنده‌های مورد استفاده برای هر یک از میکروارگانیزم‌ها مشخص گردیده است. عملیات مذکور در مورد هر نمونه سه بار تکرار گردید، پس از آن، میزان قطر هاله عدم نفوذ مورد ارزیابی قرار گرفت و بر اساس میلی‌متر محاسبه و گزارش گردید [21].

۳- نتایج و بحث

اثرات خطی و برهمکنش هر یک از متغیرهای مستقل (غلظت نگهدارنده، زمان انبارمانی و نوع نگهدارنده) بر متغیرهای پاسخ (میزان پروکسید و آنیزیدین) با استفاده از روش سطح

و ۵ ml ایزواکتان، به یک لوله آزمایش دیگر منتقل شد. یک میلی‌لیتر محلول پاراآنیزیدین به هر یک از دو لوله آزمایش اضافه کرده و به خوبی مخلوط گردید. پس از ۱۰ دقیقه نگهداری در تاریکی، جذب محلول نمونه (ایزواکتان+ روغن+ پاراآنیزیدین) در برابر شاهد (ایزواکتان+ پاراآنیزیدین) قرائت گردید (As). در انتها، شاخص آنیزیدین براساس رابطه ۲ تعیین شد [۲۰].

$$AV = \frac{(25 \times (1.2 As - Ab))}{m} \quad (2)$$

که در اینجا، AV بیانگر مقدار آنیزیدین است.

۲-۳ مدل‌سازی سطح پاسخ

در این پژوهش، از روش سطح پاسخ (RSM) برای تحلیل و بهینه‌سازی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره ریزپوشانی شده جلبک سارگاسوم در روغن ماهی استفاده شد. این روش امکان ارزیابی اثرات خطی، برهمکنش و درجه دوم متغیرها بر پاسخ‌ها را فراهم می‌سازد [۱۶]. طراحی آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل کامل با استفاده از قابلیت داده‌های گذشته نرم‌افزار Design Expert نسخه ۱۳ انجام شد. در این بررسی، یک متغیر کیفی شامل نوع نگهدارنده در سه سطح (شامل عصاره جلبک سارگاسوم ریزپوشانی شده؛ عصاره خالص بدون ریزپوشانی و یک آنتی‌اکسیدان سنتزی)، و دو متغیر کمی شامل غلظت نگهدارنده‌ها در سه سطح (۰، ۱/۲۵ و ۲/۵ درصد) و زمان انبارمانی در دو سطح (۰ و ۱۵ روز) مورد استفاده قرار گرفت. متغیر پاسخ برای طراحی‌های آزمایش، شاخص‌های پراکسید و آنیزیدین بودند. بهینه‌سازی فرآیند برای به دست آوردن بهترین ترکیب از متغیرهای فرآیند برای دستیابی به بالاترین قدرت آنتی‌اکسیدانی (حداقل شاخص‌های مورد ارزیابی) انجام شد. رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی با استفاده از یک مدل سطح

ارائه شده در جدول ۲ ضرایب مربوط به زمان به شکل قابل توجهی بیشتر از ضرایب دو فاکتور دیگر است). در بررسی معناداری مدل‌های مربوط به دو شاخص پاسخ مورد نظر علاوه بر مقادیر p -value برای آنها که هر دو کمتر از ۰/۰۵ هستند، ضرایب همبستگی بیشتر از ۰/۹ و انحراف معیار به ترتیب ۴/۲۶ و ۳/۲۰ نیز بیانگر دقت قابل قبول آنها هستند. اگر مقدار ضریب همبستگی تصحیح شده^۱ با مقدار ضریب همبستگی اختلافی کمتر از ۰/۲ داشته باشند مدل دقت و تکرار پذیری قابل قبولی دارد که در این مطالعه این مقدار به ترتیب ۰/۱ و ۰/۰۵ می باشد. جهت پوشش کامل فضای طراحی نیاز است که Adeq Precision بزرگتر از ۴ باشد [۲۲] که این موضوع نیز طبق جدول ۱ محقق شده است.

پاسخ مورد آنالیز قرار گرفت. همانطور که در جدول ۱ مشخص است در بررسی اثرات خطی در هر دو پاسخ مورد نظر اثرات غلظت نگهدارنده و زمان انبارمانی معنادار بوده (p -value < 0.05) ولی اثر نوع نگهدارنده در سطح ۵ درصد اثر معناداری نداشته است. همچنین در بین اثرات برهمکنشی، تنها اثر برهمکنش غلظت و زمان معنادار بوده است. همچنین بر اساس شاخص F می توان گفت اثر زمان نسبت به دو متغیر دیگر با شدت بیشتری مقادیر پروکسید و آنیزیدین را تحت تاثیر قرار داده است. بر این اساس عباراتی که در مدل‌های ریاضی مربوط به هر پارامتر خروجی باید آورده شود مشخص می گردد (جدول ۲). هر چه متغیر مستقل دخیل در فرایند اثر معنادارتری داشته باشد در مدل مربوطه هم ضریب بالاتری را خواهد داشت (در مدل‌های

Table 1: Analysis of variance for the model for Peroxide value and Anisidine value

Source	peroxide value			Anisidine value		
	Sum of Squares	F-value	p-value	Sum of Squares	F-value	p-value
Model	1438.69	8.81	0.0027	1682.12	18.24	0.0002
A-Concentration	243.99	13.45	0.0063	134.00	13.08	0.0068
B-Time	900.44	49.62	0.0001	1381.80	134.84	< 0.0001
C-Treatment	18.60	0.5126	0.6173	32.14	1.57	0.2664
AB	255.12	14.06	0.0056	105.14	10.26	0.0126
AC	4.21	0.1160	0.8920	3.91	0.1908	0.8299
BC	16.34	0.4502	0.6527	25.13	1.23	0.3432
Residual	145.16			81.98		
Cor Total	1583.85			1764.10		
R^2		0.9083			0.9535	
Adjusted R^2		0.8052			0.9012	
Adeq Precision		8.2084			11.5868	
Std. Dev.		4.26			3.20	
C.V. %		32.12			20.49	

Table 2: Final Equation in Terms of Actual Factors

indexes	treatments	Equations
peroxide value	Encapsulated sargassum extract	6.19+0.02 Concentration+1.46 Time-0.49 Concentration * Time
	TBHQ	6.65-0.46 Concentration+1.46 Time-0.49 Concentration * Time
	UnEncapsulated sargassum extract	5.41+0.68 Concentration+1.73 Time-0.49 Concentration * Time

Anisidine value	Encapsulated sargassum extract	7.04-0.65 Concentration+1.58 Time-0.31 Concentration * Time
	TBHQ	7.78-0.60 Concentration+1.36 Time-0.31 Concentration * Time
	UnEncapsulated sargassum extract	6.89+0.34 Concentration+1.74 Time-0.31 Concentration * Time

۳-۱ بررسی تاثیر خطی و ترکیبی پارامترها

در شکل ۱ و ۲ اثرات خطی و ترکیبی تاثیر پارامترهای مستقل موثر بر میزان پراکسید و آنیزیدین روغن ماهی در طی انبارمانی ارائه شده است. چیزی که در نگاه اول می توان از مجموع نمودارها ذکر کرد این است که با افزایش غلظت ترکیبات نگهدارنده مختلف، میزان پراکسید و آنیزیدین کاهش یافته است و از طرفی با افزایش زمان انبارمانی این فاکتورها با افزایش مواجه شده اند. در مقایسه بین ترکیبات نگهدارنده نیز می توان گفت نگهدارنده سنتزی و عصاره های کپسوله شده تقریباً اثر مشابهی را ارائه داده اند در حالی که عصاره کپسوله نشده میزان نگهدارندگی کمتری را توانسته اعمال کند و میزان پراکسید و آنیزیدین در این تیمارها مقادیر بالاتری را نشان داده است. در بررسی اثرات ترکیبی زمان و غلظت نگهدارنده های مختلف بر میزان پراکسید و آنیزیدین نیز می توان گفت شیب نمودار سه بعدی در بخش مربوط به زمان در همه موارد بیشتر از بخش مربوط به غلظت بوده است که بیانگر اثر بیشتر زمان نسبت به غلظت بر این شاخص های اکسیداسیون بوده است؛ این موضوع در جدول آنالیز واریانس نیز در مقایسه مقادیر شاخص F قابل مشاهده بود. در مقایسه شاخص های پراکسید و آنیزیدین در نمودارهای سه بعدی نیز مشخصاً بالاترین مقادیر مورد نظر در بیشترین زمان انبارمانی و کمترین غلظت نگهدارنده ها مشاهده شده است. در این نمودارها هم مقادیر مربوط به عصاره های کپسوله نشده نسب به دو نگهدارنده دیگر ضعیف تر عمل کرده است و مقادیر بالاتری برای هر دو شاخص در نمودارها مشخص است.

به طور کلی، با توجه به افزایش میزان شاخص های اکسیداسیون در روغن ماهی نسبت به روغن غنی شده با ذرات میکروکپسوله، می توان نتیجه گرفت که ماتریکس

کپسوله شده توانایی کنترل اکسیداتیو را در روغن ماهی داشته است. پراکسیدها در روغن های در حال اکسایش ناپایدار بوده و به دیگر ترکیبات اکسیده تبدیل می شوند [۲۳]. در ابتدای این اکسایش، مقدار پراکسید افزایش یافته و سپس به آلدهیدها و کتون ها تبدیل می شوند [۲۴]. با توجه به این موضوع می توان این طور عنوان کرد که امکان تبدیل روند صعودی تولید پراکسیدها به حالت نزولی با افزایش مدت زمان نگهداری روغن ماهی وجود دارد؛ نتایجی که در برخی موارد تا روز ۱۵ نیز مشاهده گردید. نوع ماده دیواره استفاده شده جهت ریزپوشانی، می تواند نقش مهمی در شدت محافظت اکسیداتیو نگهدارنده تولید شده نهایی داشته باشد [۲۵]. بنابراین، با توجه به ظرفیت اندک مالتودکسترین در فرآیند امولسیون کنندگی مواد، و نقش مؤثر خصوصیات امولسیون بر ویژگی پودرهای حاصل، نتیجه گیری می شود که اضافه نمودن پروتئین آب پنیر تأثیر به سزایی بر کاهش اکسیداسیون پودرها داشته است و این انتظار می رود که با افزودن درصد پروتئین آب پنیر بر مواد دیواره خاصیت کاهندگی اکسیداسیونی میکروکپسول ها بهبود یابد. با بررسی نتایج مشخص است که عملکرد روغن ماهی حاوی عصاره های جلبکی ریزپوشانی شده با ترکیب دیواره پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین پس از تیمار غنی شده با آنتی اکسیدان مصنوعی TBHQ نسبت به اکسیداسیون بهتر از تیمارهای دیگر بود. بر این اساس می توان ذکر نمود که میکروکپسول های عصاره جلبک سارگاسوم دارای عملکرد قابل قبولی بوده و قابلیت مناسبی به عنوان آنتی اکسیدان برای محافظت از روغن ماهی دارند. در مطالعات متعدد خاصیت آنتی اکسیدانی بالای عصاره جلبک سارگاسوم تایید شده است [۱۰، ۲۶، ۲۷]. همچنین از شاخص آنیزیدین نیز برای اندازه گیری محصولات ثانویه اکسیداسیون (آلدهیدها،

مطابقت داشت. این نتایج تعجب برانگیز نیست چرا که مشخص شده است حضور همزمان مواد کربوهیدراته و پروتئینه در ساختار دیواره باعث بهبود خواص امولسیون کنندگی و ثبات اکسیداتیو ترکیبات غذایی می گردد [۳۰]. بر این اساس می توان ذکر کرد که میکروکپسول های حاصل از ریزپوشانی عصاره جلبک سارگاسوم نقش آنتی اکسیدانی قابل قبولی داشته و عملکرد آن همانند آنتی اکسیدان های مصنوعی است [۱۰].

کتون ها و سایر مواد اکسیداسیونی) استفاده می گردد [۲۸]. مقدار اکسیداسیون چربی حاصل عملکرد چند فاکتور مانند فعالیت آبی، وجود اکسیژن و وجود یا عدم وجود آنتی اکسیدان ها می باشد [۲۹]. در مطالعه حاضر، همانند شاخص پراکسید، نتایج مشابهی در رابطه با آنیزیدین دیده شد. با این حال، کمترین مقادیر این فاکتور در تیمارهای آنتی اکسیدان TBHQ و عصاره ریز پوشانی شده با ترکیب پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین مشاهده گردید که این روند نیز با نتایج بدست آمده در پژوهش انجام شده توسط دالال و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی خواص آنتی اکسیدانی جلبک های دریایی

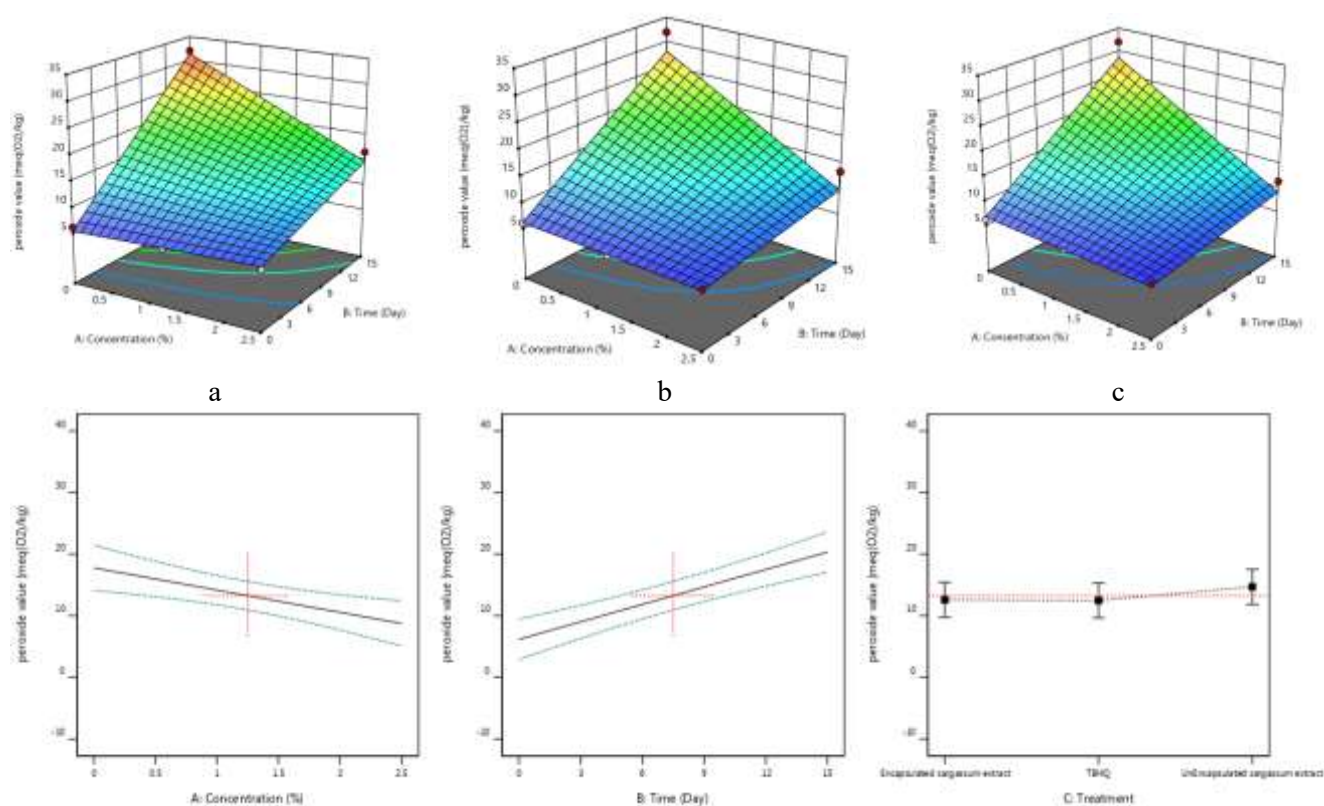


Fig. 1. Linear and simultaneous effect of process variables on the peroxide changes in fish oil; a) UnEncapsulated sargassum extract, b) Encapsulated sargassum extract and c) TBHQ

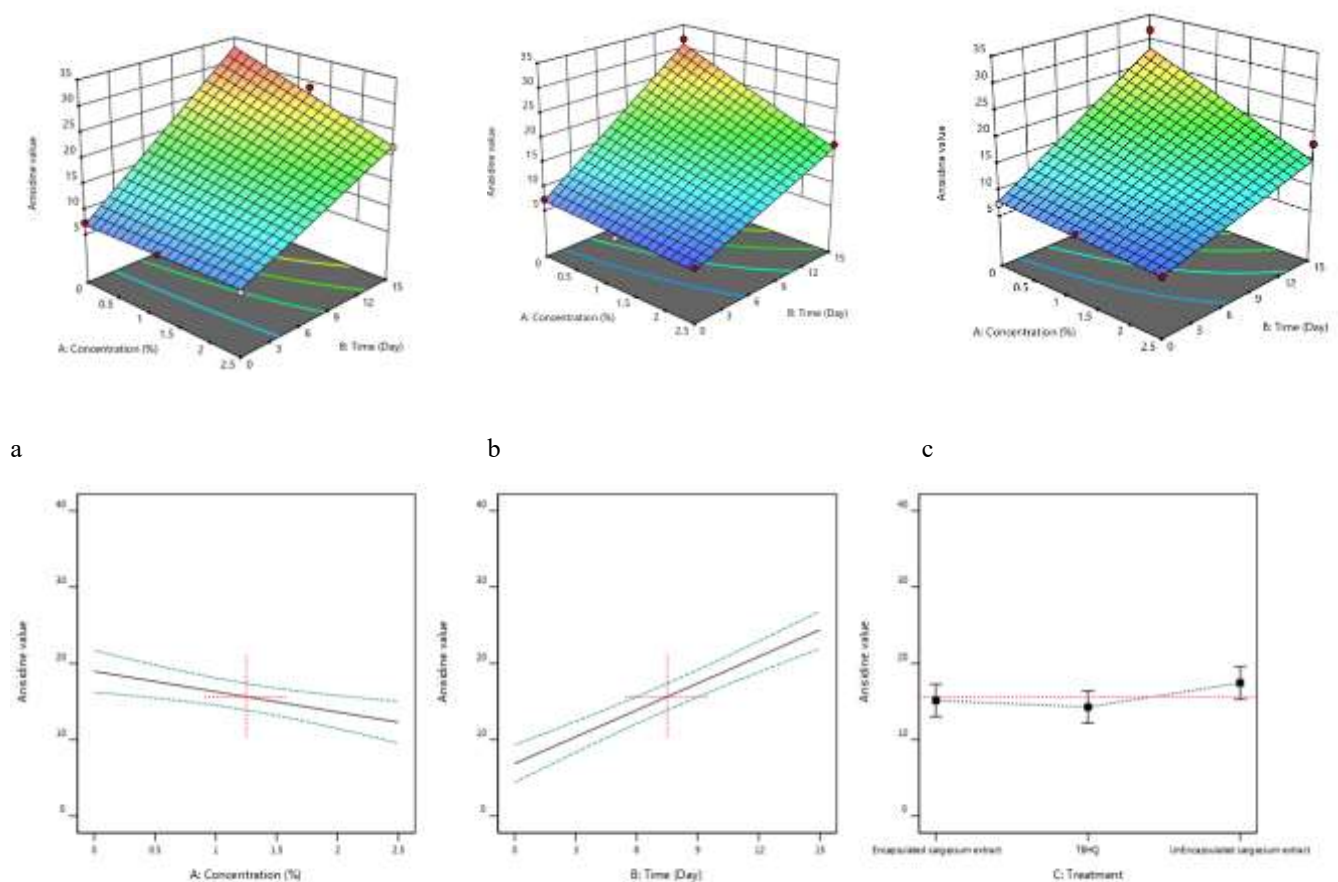


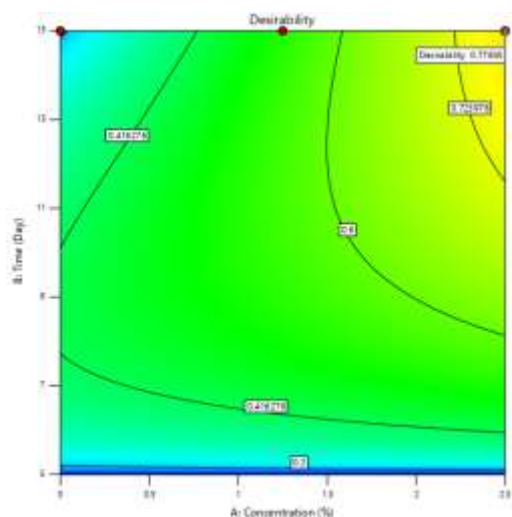
Fig. 2. Linear and simultaneous effect of process variables on the Anisidine value changes in fish oil; a) UnEncapsulated sargassum extract, b) Encapsulated sargassum extract and c) TBHQ

شاخص‌های پراکسید و آنیزیدین (به‌خصوص پراکسید) اختلاف خیلی زیادی نداشتند (شکل ۳) و می‌توان گفت با غلظت ۲/۵ درصد هر یک از این دو ترکیب و در بازه زمانی حدود ۱۵ روزه می‌توان نتایج نسبتاً مطلوبی را به دست آورد.

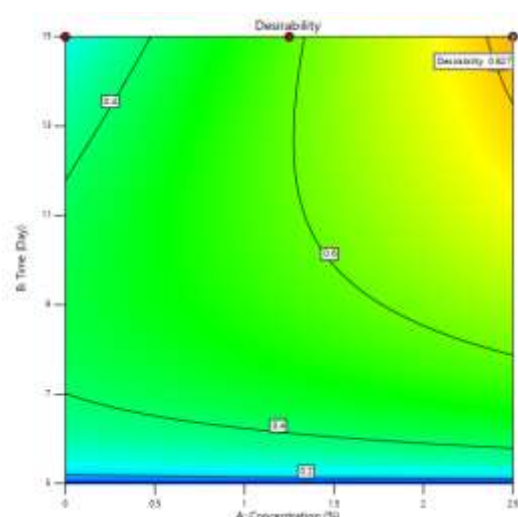
جهت تعیین شرایط بهینه فرایندی برای تحقق کمترین میزان اکسایش در روغن ماهی در طول دوره انبارمانی از قسمت بهینه‌سازی نرم افزار دیزاین اکسپرت شرایط ذکر شده در جدول ۳ تعیین گردید. بر این اساس برای به حداقل رساندن مقادیر شاخص‌های پراکسید و آنیزیدین شروطی تعیین گردید: غلظت نگهدارنده در رنج استفاده شده، زمان ماندگاری حداکثر ممکن و نوع تیمار نیز از بین موارد استفاده شده تعیین گردد. در نهایت راه‌حل‌های ارائه شده بر ارجحیت خیلی پایین TBHQ نسبت به عصاره کپسوله شده جلبک سارگاسوم حکایت داشت. هر چند میزان مطلوبیت راه حل‌های انتخابی (۰/۸۲-۰/۷۷) و مقادیر حداقلی

Table 3: Numerical optimization of Peroxide and Anisidine Value

Name	Constraints	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 4
A:Concentration	Is In Range	2.5	2.500	2.5	2.5
B:Time	Maximize	15	14.725	15	14.91
C:Treatment	Is In Range	TBHQ	TBHQ	Encapsulated Sargassum Extract	Encapsulated Sargassum Extract
Peroxide Value	Minimize	9.094	9.028	9.797	9.776
Anisidine Value	Minimize	14.845	14.688	17.332	17.262
Desirability	-	0.827	0.822	0.776	0.776



a



b

Fig. 3. Numerical optimization of Peroxide and Anisidine Value for a) Solution 3 and b) Solution 1

سه باکتری گرم مثبت با روش چاهک در پلیت (۲۴ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). جلبک‌های قهوه‌ای دارای متابولیت‌های ثانویه فعال زیستی و دیگر مواد طبیعی هستند که این مواد مسئول خاصیت ضد باکتریایی آن‌ها می‌باشند [۳۱]. همچنین نتایج به دست آمده از مطالعه‌ای نشان داد که عصاره متانولی جلبک‌های سارگاسوم دنتیفولیوم اثر متوسطی بر روی باکتری‌های گرم منفی همچون اشریشیاکلی دارند [۳۲].

۲-۳ ارزیابی ویژگی‌های ضد میکروبی

به منظور بررسی خاصیت ضد میکروبی، دو فرمولاسیون دیواره (شامل تیمار حاوی نسبت ۵۰:۵۰ پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین و دیگری کیتوزان خالص) و با کمک آنتی بیوتیک‌های استاندارد مربوط به ۶ سویه باکتری گرم منفی و

بسیاری از محققین اثر ضد میکروبی عصاره جلبک سارگاسوم علیه باکتری‌های گرم مثبت را گزارش کردند [۳۳]. در عین حال، اطلاعات کمی در مورد اثر ضد باکتریایی اشکال میکروکپسوله شده آن‌ها وجود دارد. بر همین اساس در مطالعه حاضر دو تیمار بهینه از عصاره جلبک سارگاسوم با دو دیواره متفاوت (کیتوزان با نسبت ۴:۱ با عصاره و ترکیب پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین (۵۰:۵۰) با نسبت ۱۲:۱ با عصاره) جهت سنجش قابلیت ضد میکروبی علیه ۹ سویه از باکتری‌های بیماری‌زای گرم منفی و گرم مثبت مورد بررسی قرار گرفتند. از نتایج بدست آمده از محاسبه قطر هاله بر حسب میلی متر در روش چاهک می‌توان دریافت که تیمارها در غلظت ۰/۵ میلی گرم بر میلی لیتر دارای اثرات ضد باکتریایی متفاوتی بر روی باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی مورد استفاده بودند و جهت برخی از تیمارها هیچ هاله عدم رشدی بر روی پلیت‌ها مشاهده نگردید. نتایج به دست آمده با اندازه قطر هاله بدست آمده از آنتی بیوتیک‌های استاندارد مربوط به هر سویه میکروبی مقایسه گردید و یافته‌های بدست آمده نشان داد که باکتری گرم مثبت سابتیلیس نسبت به تیمار با دیواره کیتوزان خالص حساس بوده و قطر هاله ممانعت کننده رشد بزرگتری نسبت به شاخص استاندارد با میزان به ترتیب ۱۹ میلی متر به ۱۷ میلی متر از خود نشان داده است که از نظر آماری نیز معنادار است ($P < 0/05$). این درحالی است که باکتری‌های گرم مثبت شامل استرپتوکوکوس و سرئوس نیز نسبت به این تیمار حساسیت کمتری نشان دادند و اندازه قطر هاله ممانعت کننده آن‌ها در مقایسه با قطر هاله ممانعت کننده آنتی بیوتیک‌های استاندارد باکتری‌های مذکور کمتر بود. همچنین بر اساس مقایسه هاله عدم رشد باکتری‌های گرم منفی با اندازه قطر مذکور در آنتی بیوتیک‌های استاندارد مربوطه مشخص شد باکتری‌های پروتئوس، سیتروباکتر و کلبسیلا بیشترین حساسیت را به تیمار با دیواره کیتوزان نشان دادند. لازم به ذکر است باکتری کلبسیلا به تیمار پروتئین آب پنیر-مالتودکسترین نیز حساسیت بالاتر از میزان استاندارد خود نشان داد که حاکی از عملکرد خوب تیمار در جلوگیری از

رشد باکتری مذکور در محیط کشت می‌باشد. همچنین باکتری گرم منفی سودوموناس نیز نسبت به تیمار مذکور در مقایسه با آنتی بیوتیک استاندارد خود عملکرد بهتری از خود نشان داد ($P < 0/05$). بر اساس یافته‌های بدست آمده ترکیب دیواره در قابلیت ضد میکروبی میکروکپسول‌های تهیه شده با تاثیر معناداری داشته است؛ به گونه‌ای که تیمار تهیه شده با ترکیب دیواره کیتوزان نسبت به تیمار تهیه شده با ترکیب دیواره پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین فعالیت‌های ضد میکروبی بهتری از خود نشان داد. بر اساس مطالعات صورت گرفته کیتوزان و مشتقات آن به دلیل زیست‌تجزیه پذیری، زیست‌سازگاری، فعالیت ضد میکروبی، عدم سمیت و خواص شیمیایی و فیزیکی نقش عمده‌ای در فرایندهای غذایی ایفا می‌کند [۳۴]. در مطالعات متعدد استفاده از ترکیب کیتوزان جهت تهیه فیلم‌های خوراکی مشخص شده است که این ماده نقش بسزایی در حفظ و نگهداری مواد غذایی از آلودگی‌های ناشی از باکتری‌های پاتوژن گرم مثبت و منفی را دارد که با یافته‌های مطالعه حاضر کاملاً همخوانی داشته است [۳۷-۳۴]. همچنین گوهرکانی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه خود بر روی بررسی اثر ضد میکروبی میکروکپسول‌های تهیه شده از اسانس آویشن دریافت بیشترین اثر ضد میکروبی مربوط به تیمار تهیه شده با نسبت بالاتری (۷۰٪) از ماده کیتوزان نسبت به پروتئین آب پنیر به عنوان پوشش دیواره بود که صحت اثرگذاری بیشتر کیتوزان در بروز قابلیت ضد میکروبی در این مطالعه را تأیید می‌کند [۳۸]. لازم به ذکر است نتایج نشان داد از بین کلیه سویه‌های گرم منفی و گرم مثبت مورد بررسی در مطالعه حاضر، باکتری‌های گرم منفی اشرشیا کلی و سالمونلا نسبت به کلیه تیمارهای مورد استفاده کاملاً مقاوم بودند. این نتیجه را می‌توان به مقاومت زیاد دیواره باکتری‌های گرم منفی در برابر نفوذ مواد خارجی نسبت به دیواره باکتری‌های گرم مثبت و تاثیر کمتر عصاره‌ها بر روی آن‌ها دانست [۳۹]. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که جلبک‌های قهوه‌ای سارگاسوم سواحل جنوبی ایران، منابع بالقوه از مواد فعال زیستی هستند و می‌توانند برای تولید آنتی‌بیوتیک‌های طبیعی مورد استفاده قرار گیرند. با این حال

مطالعات بیشتری برای شناسایی ترکیبات فعال زیستی در جلبک‌های دریایی مورد نیاز است.

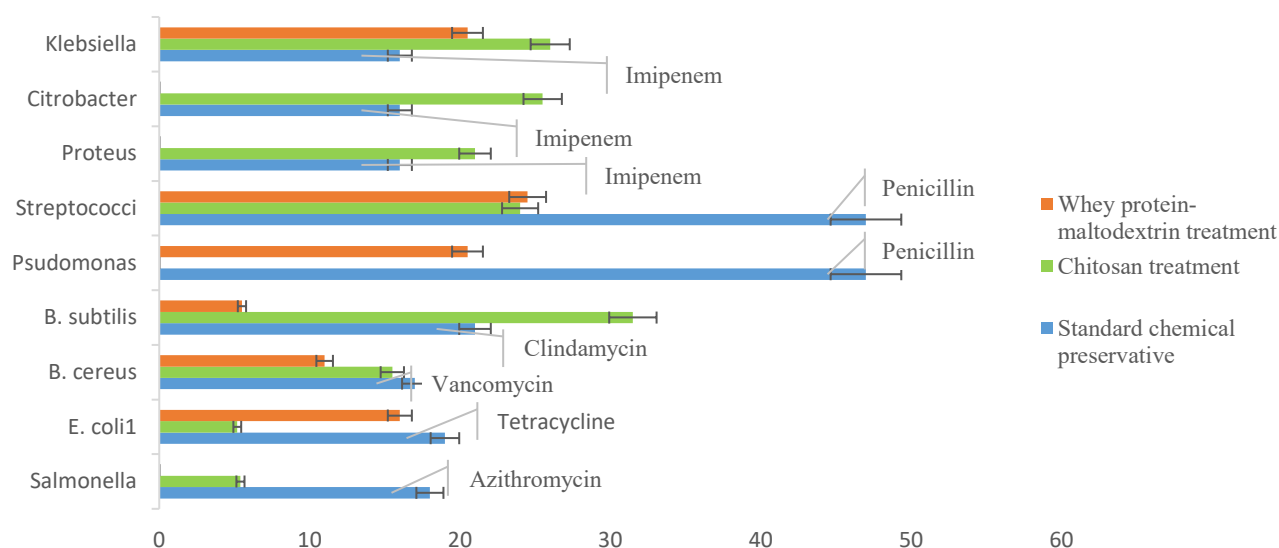


Fig. 4. Diameter of bacterial growth inhibition halo in culture medium in millimeters by well method

با آنتی‌اکسیدان تجاری TBHQ از خود نشان دادند. در آزمایش‌ها، میزان غلظت ۲/۵ درصد این میکروکپسول‌ها نسبت به ۱/۲۵ درصد تاثیرگذاری بیشتری داشت؛ یعنی با افزایش غلظت، خاصیت آنتی‌اکسیدانی بهتر شد. علاوه بر خواص آنتی‌اکسیدانی، نتایج نشان داد که این عصاره ریزپوشانی شده مخصوصاً با دیواره کیتوزان، توانایی مهار رشد چندین نوع باکتری پاتوژن گرم منفی و مثبت را دارد، و در بعضی موارد، حتی بهتر از آنتی‌بیوتیک‌های استاندارد عمل می‌کند. در کل، نتایج نشان داد که عصاره ریزپوشانی شده جلبک سارگاسوم، هم خاصیت آنتی‌اکسیدانی و هم آنتی‌میکروبی فوق‌العاده‌ای دارد و می‌تواند روشی کارآمد برای حفظ کیفیت روغن ماهی و مقابله با رشد میکروبی باشد.

۳-۳ نتیجه‌گیری

در این مطالعه، عصاره جلبک سارگاسوم پس از ریزپوشانی به منظور محافظت اکسیدانی از روغن ماهی و همچنین ارزیابی خواص ضد میکروبی مورد بررسی قرار گرفت. عصاره جلبک با کمک سیستم خشک‌کن انجمادی و مواد دیواره‌ای متفاوتی چون مالتودکسترین و پروتئین آب پنیر، به صورت میکروکپسول درآمد و برای حفاظت از روغن ماهی در برابر اکسیداسیون مورد آزمون (شاخص‌های پراکسید و آنیزیدین) قرار گرفت. نتایج نشان داد که میکروکپسول‌های حاصله، خصوصاً ترکیب پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین با نسبت ۵۰:۵۰، عملکرد آنتی‌اکسیدانی قابل قبولی در مقایسه

۵-منابع

- [1] Liguori, J., et al., *How do food safety concerns affect consumer behaviors and diets in low-and middle-income countries? A systematic review*. Global Food Security, 2022. **32**: p. 100606.
- [2] Caleja, C., et al., *A comparative study between natural and synthetic antioxidants: Evaluation*

- of their performance after incorporation into biscuits. Food chemistry, 2017. **216**: p. 342-346.
- [3] Mansuri, S., et al., *Evaluating the physicochemical properties of camelina (Camelina sativa) seed oil obtained through optimized ultrasonic-assisted extraction*. Ultrasonics Sonochemistry, 2025. **118**: p. 107371.

- [4] Xu, M., et al., *Effects of resveratrol on lipid and protein co-oxidation in fish oil-enriched whey protein isolate emulsions*. Food Chemistry, 2021. **365**: p. 130525.
- [5] Cugno, C., et al., *Omega-3 fatty acid-rich fish oil supplementation prevents rosiglitazone-induced osteopenia in aging C57BL/6 mice and in vitro studies*. Scientific reports, 2021. **11**(1): p. 10364.
- [6] Hrebien-Filińska, A., *Application of natural antioxidants in the oxidative stabilization of fish oils: A mini-review*. Journal of Food Processing and Preservation, 2021. **45**(4): p. e15342.
- [7] Bakhshabadi, H., et al., *A review of new methods for extracting oil from plants to enhance the efficiency and physicochemical properties of the extracted oils*. Processes, 2025. **13**(4): p. 1124.
- Ren, Y., et al., *Carotenoid production from microalgae: biosynthesis, salinity responses and novel biotechnologies*. Marine Drugs, 2021. **19**(12): p. 713.
- [8] Chen, Z., et al., *Recent advances of natural pigments from algae*. Food Production, Processing and Nutrition, 2023. **5**(1): p. 39.
- [9] Sanger, G., et al. *Pigments constituents, phenolic content and antioxidant activity of brown seaweed Sargassum sp. in IOP conference series: earth and environmental science*. 2022. IOP Publishing.
- [10] Jafari, S.M., et al., *Improving the storage stability of tomato paste by the addition of encapsulated olive leaf phenolics and experimental growth modeling of A. flavus*. International Journal of Food Microbiology, 2021. **338**: p. 109018.
- [11] Ganje, M., et al., *Effect of encapsulation of Lactobacillus reuteri (ATCC 23272) in sodium alginate and tomato seed mucilage on properties of ketchup sauce*. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 2024. **7**: p. 100486.
- [12] Ganjeh, M., et al., *Modeling corrosion trends in tin-free steel and tinplate cans containing tomato paste via adaptive-network-based fuzzy inference system*. Journal of Food Process Engineering, 2017. **40**(6): p. e12580.
- [13] Du, X., et al., *Mapping mineral prospectivity using a hybrid genetic algorithm-support vector machine (GA-SVM) model*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021. **10**(11): p. 766.
- [14] Ganjeh, M., et al., *Modeling the drying kinetics of onion in a fluidized bed drier equipped with a moisture controller using regression, fuzzy logic and artificial neural networks methods*. 2013.
- [15] Taheri, A., et al., *Complexation of cress seed mucilage and β -lactoglobulin; optimization through response surface methodology and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)*. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2022. **228**: p. 104615.
- [16] Sekhavatizadeh, S.S., et al., *Encapsulation of bioactive compounds from Sargassum ilicifolium: Influence of wall material type and loading content on the physicochemical and structural properties of microparticles*. Heliyon, 2025. **11**(1).
- [17] Wang, Y., et al., *Micro-encapsulation and stabilization of DHA containing fish oil in protein-based emulsion through mono-disperse droplet spray dryer*. Journal of Food Engineering, 2016. **175**: p. 74-84.
- [18] Razghandi, E., et al., *Application of pulsed electric field-ultrasound technique for antioxidant extraction from yarrow: ANFIS modeling and evaluation of antioxidant activity*. Journal of Food Processing and Preservation, 2024. **2024**(1): p. 2951718.
- [19] Nasrin, T.A.A. and A.K. Anal, *Enhanced oxidative stability of fish oil by encapsulating in culled banana resistant starch-soy protein isolate based microcapsules in functional bakery products*. Journal of Food Science and Technology, 2015. **52**: p. 5120-5128.
- [20] Ambrosio, C.M., et al., *Microencapsulation enhances the in vitro antibacterial activity of a citrus essential oil*. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 2020. **23**(5): p. 985-997.
- [21] Roudi, A.M., et al., *Response surface methodology (RSM)-based prediction and optimization of the Fenton process in landfill leachate decolorization*. Processes, 2021. **9**(12): p. 2284.
- [22] Machado, M., et al., *Vegetable oils oxidation: mechanisms, consequences and protective strategies*. Food Reviews International, 2023. **39**(7): p. 4180-4197.
- [23] Qin, K., D. Zang, and Y. Wei, *Polyoxometalates based compounds for green synthesis of aldehydes and ketones*. Chinese Chemical Letters, 2023. **34**(8): p. 107999.
- [24] Selim, K.A., et al., *The effect of wall material type on the encapsulation efficiency and oxidative stability of fish oils*. Molecules, 2021. **26**(20): p. 6109.
- [25] Cho, S.-h., et al., *The antioxidant properties of brown seaweed (Sargassum siliquastrum) extracts*. Journal of medicinal food, 2007. **10**(3): p. 479-485.
- [26] Husni, A., et al., *Characteristics and antioxidant activity of fucoidan from Sargassum hystrix: Effect of extraction method*. International journal of food science, 2022. **2022**(1): p. 3689724.
- [27] He, D. and L. Liu, *Analytical aspects of rice bran oil*, in *Rice bran and rice bran oil*. 2019, Elsevier. p. 169-181.

- [28] Heo, S.-J., *Antioxidant activity of enzymatic extracts from brown seaweeds*. 2003, 제주대학교 대학원.
- [29] Shepherd, R., A. Robertson, and D. Ofman, *Dairy glycoconjugate emulsifiers: Casein-maltodextrins*. Food Hydrocolloids, 2000. **14**(4): p. 281-286.
- [30] Zuorro, A., et al., *Natural antimicrobial agents from algae: Current advances and future directions*. International Journal of Molecular Sciences, 2024. **25**(21): p. 11826.
- [31] Helal, M.A., et al., *Biochemical composition and bioactivity of the crude extract of Sargassum dentifolium (turner) C. Agardh, of Western coast of the Red Sea, Hurghada, Egypt*. Biomass Conversion and Biorefinery, 2024. **14**(20): p. 1-20.
- [32] Jamili, S., *Antimicrobial activity of various extracts of Sargassum glaucescens on the antibiotic resistant organisms*. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2020. **19**(3): p. 1359-1372.
- [33] Dutta, P., et al., *Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications*. Food chemistry, 2009. **114**(4): p. 1173-1182.
- [34] Elsherif, W.M., G.M. Zayed, and A.O. Tolba, *Antimicrobial activity of chitosan-edible films containing a combination of carvacrol and rosemary nano-emulsion against Salmonella enterica serovar Typhimurium and Listeria monocytogenes for ground meat*. International Journal of Food Microbiology, 2024. **418**: p. 110713.
- [35] Kumar, S., A. Mukherjee, and J. Dutta, *Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives*. Trends in Food Science & Technology, 2020. **97**: p. 196-209.
- [36] Sharma, S., et al., *Chitosan-Based Films for Food Packaging Applications*, in *Functional Nanomaterials and Nanocomposites for Biodegradable Food Packaging*. 2025, Springer. p. 151-170.
- [37] Gohargani, M., A. Shirazinejad, and H. Lashkari, *The effect of chitosan-whey protein based edible coating containing bionanocomposite material and Zataria multiflora essential oil on UF-Feta type cheese shelf life*. 2021.
- [38] Breijyeh, Z., B. Jubeh, and R. Karaman, *Resistance of gram-negative bacteria to current antibacterial agents and approaches to resolve it*. Molecules, 2020. **25**(6): p. 1340.



Scientific Research

Inhibitory effects of capsulated *Sargassum ilicifolium* extract on lipid oxidation in fish oil and pathogenic microorganisms

Seyed Saeed Sekhavatizadeh ¹, Mohammad Ganje^{2*}, Seyedeh Sedigheh Hashemi³, Mohammad Reza Mozafarian³

1- Food science and technology Dep. Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Fars, Iran

2- Department of Agriculture, Minab Higher Education center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

3- Department of Food Science and Technology, Kherad Institute of Higher Education, Bushehr, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2025/06/02

Accepted: 2025/09/24

Keywords:

Microencapsulation,

Antioxidant,

Antimicrobial,

Pathogens

DOI: 10.48311/fsct.2026.84059.0

*Corresponding Author E-

mohammadganje@hormozgan.ac.ir

This research investigates the optimal formulation of microencapsulated *Sargassum* algae extract to improve the oxidative stability of fish oil and its potential use as an antimicrobial agent. Given the oxidative sensitivity of fish oil due to its specific fatty acid composition, the use of antioxidants is essential to increase its shelf life. Microencapsulated extract, pure extract, and a synthetic antioxidant (TBHQ) were added to fish oil at three concentrations: 0, 1.25, and 2.5 percent, and examined over a 15-day period. Response surface methodology was used to evaluate the effect of independent variables on peroxide and anisidine values as oxidation indices and to optimize the process. Oxidation increased with increasing storage time, while the values of the indices decreased with increasing concentration. For selecting the optimal treatment, microencapsulated algae extract and synthetic antioxidant at a concentration of 2.5% and a time of 15 days were the best suggested conditions. Furthermore, investigation of the antimicrobial effects of the microencapsulated treatments revealed that the treatments prepared with a chitosan wall composition, followed by the treatment with a wall composition of whey protein and maltodextrin at a 50:50 ratio, exhibited the highest antimicrobial activity against the pathogenic bacteria tested, suggesting that these treatments could be used to prepare alternative to standard antibiotics.