



بسته بندی فعال و افزایش ماندگاری روغن زیتون بکر با استفاده از فیلم زیست تخریب پذیر بر پایه پلی

وینیل الکل اصلاح شده با نانوذرات کلرید نقره و اسپیرولینا

عارف عرفانی<sup>۱\*</sup>، میر خلیل پیروزی فرد<sup>۱</sup>، سجاد پیرسا<sup>۱</sup>

گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

## اطلاعات مقاله

## چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

کلمات کلیدی:

روغن زیتون،

بسته بندی فعال،

فیلم آنتی اکسیدان،

نانوکامپوزیت.

DOI: 10.22034/FSCT.19.132.265

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.132.20.3

\* مسئول مکاتبات:

Areferfany@gmail.com

در این مطالعه فیلم زیست تخریب پذیر از پلی وینیل الکل تهیه گردید. از نانوذرات کلرید نقره و پودر جلبک اسپیرولینا برای اصلاح ساختار فیزیکوشیمیایی و ایجاد خواص آنتی اکسیدانی و فوتوکاتالیتیکی در فیلم استفاده شد. مورفولوژی سطحی فیلم مورد بررسی قرار گرفت. فیلم پلی وینیل الکل و کامپوزیت های آن برای بسته بندی روغن زیتون بکر استفاده شد. از طرح آماری دی-اوپتیمال برای بررسی تاثیر نوع بسته بندی و زمان نگهداری بر روی ویژگی های شیمیایی، رنگی و حسی روغن استفاده شد. ویژگی های شیمیایی (اسیدیته، عدد پرکسید، ضریب شکست و فنل کل)، ویژگی های حسی و رنگی مورد بررسی قرار گرفت. از روش سطح پاسخ برای بررسی تاثیر متغیرهای مستقل بر روی روغن و نیز مدل های ریاضی ایجاد شده استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد، در فیلم پلی وینیل الکل اصلاح شده با ذرات کلرید نقره و پلی وینیل الکل اصلاح شده با ذرات کلرید نقره و اسپیرولینا، وجود این ذرات در سطح فیلم کاملاً مشهود بود. نتایج آنالیز شیمیایی، حسی و رنگی روغن نشان داد با افزایش زمان نگهداری روغن در همه بسته بندی ها، کیفیت شیمیایی، حسی و رنگی روغن کاهش پیدا کرد. عدد پراکسید به عنوان مهمترین شاخص کیفیت روغن ها در بسته بندی معمولی در طول ۳۰ روز نگهداری از ۱ تا ۷ (mEq O<sub>2</sub>/Kg oil) افزایش یافت در حالیکه در روغن بسته بندی شده با پلی وینیل الکل اصلاح شده با کلرید نقره و جلبک اسپیرولینا این افزایش از ۱ تا ۲ (mEq O<sub>2</sub>/Kg oil) بوده است. در حالت کلی روغن های بسته بندی شده با پلی وینیل الکل اصلاح شده با کلرید نقره و جلبک اسپیرولینا کمترین تغییرات کیفی را نسبت به بسته بندی معمولی نشان دادند که نشان دهنده قابلیت این فیلم ها در کنترل کیفیت و افزایش ماندگاری روغن زیتون بکر می باشد.

## ۱- مقدمه

یکی از مهمترین پلیمرهای زیستی جایگزین پلیمرهای نفتی پلی وینیل الکل می باشد [۷-۱۰].

مواد نانو به خاطر ویژگی‌های مکانیکی مناسب به عنوان مواد پرکننده در تهیه فیلم استفاده می‌شوند. نانوذرات عمدتاً برای تامین استحکام کششی بالا، ازدیاد طول در نقطه شکست، مقاومت حرارتی و هدایت الکتریک مناسب در تهیه کامپوزیت‌های زیست تخریب پذیر استفاده می‌شوند و همچنین این مواد دارای ویژگی‌های ضد باکتریایی هستند. نانوذرات نقره و ترکیبات آنها اغلب به خاطر قابلیت ضد باکتریایی در مقابل طیف وسیع باکتریها، به عنوان عوامل آنتی‌باکتریال استفاده می‌شوند. یون‌های نقره آزاد شده توسط نانوذرات نقره به غشاء سلولی باکتری آسیب زده، از سنتز پروتئین ممانعت نموده و سبب مرگ باکتری می‌شوند. وقتی نانوذرات نقره به عنوان عوامل ضدباکتریایی برای تهیه فیلم یا پلیمر ضدباکتریایی بکار می‌روند، غلظت رهاسازی‌های نقره میتواند با اصلاح نانوذرات نقره کنترل شود [۱۱-۱۳].

کلرید نقره یک جامد بلوری سفید رنگ است که به دلیل حلالیت کم آن در آب بسیار مشهور است. این ماده به طور طبیعی به عنوان ماده معدنی کلرآرژیریت ظاهر می‌شود و در صورت قرار گرفتن در معرض نور خورشید یا گرم شدن، به نقره و کلر تجزیه می‌شود که نمونه‌ها در این حالت با رنگ خاکستری مایل به سیاه یا بنفش می‌شوند. کلرید نقره به عنوان یک عامل ضد میکروبی، در برخی از محصولات خوشبو کننده شخصی و همچنین برای حفظ طولانی مدت آب آشامیدنی در مخازن آب مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۴ و ۱۵].

اسپیرولینای رشته‌ای آبپنا سبز (ریز جلبک) منبعی با ارزش بیولوژیکی بالا است زیرا منبع غنی پروتئین، ویتامین‌ها، به ویژه ویتامین A و ویتامین B12 و سرشار از مواد معدنی به ویژه آهن است. همچنین سرشار از اسیدهای چرب ضروری به خصوص اسید گاما لینولنیک است که در سنتز پروستاگلاندین‌ها بسیار مهم است. اسپیرولینا حاوی ترکیبات بسیاری است که هم در شرایط آزمایشگاهی و هم در داخل بدن دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند مانند کاروتن، آلفا توکوفرول، فیکوسیانین، گزانتوفیل و ترکیبات فنلی. اسپیرولینا حاوی پروتئین کامل با شاخص هضم بالا است بطوری که نسبت پروتئین آن تا حدود ۶۰ درصد است. این ماده حاوی کلیه اسیدهای آمینه ضروری است و یکی از منابع

روغن زیتون به دلیل ویژگی‌های ارگانولپتیک بطورگسترده مورد استقبال قرار می‌گیرد و به صورت تازه و یا به عنوان طعم‌دهنده در غذاهای آماده مصرف می‌شود. هر چند ارزش تغذیه‌ای روغن زیتون بکر مربوط به ترکیب کلی آن شامل مواد شیمیایی مختلف از قبیل اسیدهای چرب، الکل‌های آلیفاتیک و تری‌ترپن، فیتواسترولها، توکوفرولها و ترکیبات فنولیک است با اینحال عموماً نقش ترکیبات فنولیک به عنوان عامل اصلی پذیرفته شده است. کیفیت روغن زیتون تحت تاثیر شرایط نگهداری، مواد بسته‌بندی و قرارگیری در معرض اکسیژن و یا نور است که عمر ماندگاری تجاری روغن زیتون بکر را تعیین می‌کند [۱-۳].

حین نگهداری روغن زیتون واکنش‌های دخیل شامل هیدرولیز و اکسیداسیون به شکل اتواکسیداسیون و فوتواکسیداسیون بسته به حضور نور، اکسیژن منفرد یا سه گانه، پرواکسیدانت‌ها و غیره می‌باشند. از سوی دیگر ترکیبات فنولی که عوامل اصلی پایداری روغن زیتون هستند در هنگام ذخیره آن را از اتواکسیداسیون و فوتواکسیداسیون حفاظت می‌کنند. اکسیداسیون فرآیند اصلی موثر بر کیفیت روغن زیتون است، زیرا برخی ترکیبات ناپایدار که می‌توانند ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای روغن زیتون بکر را تغییر دهند حین اکسیداسیون تولید می‌شوند. میزان تخریب اکسیداتیو روغن زیتون بکر نه تنها تحت تاثیر ترکیب شیمیایی آن است بلکه شرایط نگهداری آن نیز بر میزان تخریب اکسیداتیو روغن زیتون موثر است. بنابراین بسته‌بندی با حفاظت محصول از اکسیژن و نور اهمیت زیادی در حفظ و نگهداری آن دارد. کیفیت و عمر ماندگاری روغن خوراکی با اکسیداسیون آن محدود می‌شود و این امر فاکتور اصلی برای فساد کیفی روغن زیتون بکر حین نگهداری آن است. اکسیداسیون سبب می‌شود تا روغن رنسد شود و برای مصرف انسانی نامناسب شود. نور، دما، اکسیژن سرفضا، میزان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و اکسیژن حل شده در روغن زیتون بکر حین پرشدن در بطری از جمله فاکتورهایی هستند که بر سطح اکسیداسیون آن حین نگهداری بسیار موثرند [۴-۶]. در سال‌های اخیر استفاده از پلیمرهای زیست تخریب پذیر و دوست دار محیط زیست به عنوان جایگزین پلیمرهای نفتی توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است.

## ۲-۲- تهیه فیلم پلی وینیل الکل/کلرید

### نقره/اسپیرولینا

برای تهیه فیلم‌های کامپوزیتی، ابتدا محلول آبی پلی وینیل الکل با غلظت ۲٪ تهیه شده و نانوذرات کلرید نقره (۰٫۱۵ درصد ماده خشک) و پودر جلبک اسپیرولینا (۰٫۲ درصد ماده خشک) به صورت دستی در محلول فیلم حل و هموژن شد. سپس بوسیله اولتراسوند محلول یکنواخت حاصل شد. در ادامه محلول در درون پلیت‌های پلی استایرنی با قطر ۱۰ سانتیمتری ریخته شد و پس از گذشت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه فیلم‌ها خشک و سپس جداسازی و در کیسه‌های زیپ دار نگهداری شد (شکل ۱-الف).

### ۲-۲-۱- مطالعات ریز ساختار فیلم‌ها (SEM<sup>1</sup>)

آنالیز ریزساختاری فیلم‌ها با استفاده از دستگاه FE-SEM مدل Sigma VP (شرکت ZEISS، آلمان) انجام شد. ابتدا نمونه‌ها با طلا پوشش‌دهی شده و سپس تجزیه و تحلیل با میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام شد.

### ۲-۳- بسته بندی روغن با فیلم پلی وینیل الکل

برای بسته‌بندی روغن از شیشه‌های ۲۰ میلی لیتری با درب سیلیکونی استفاده شد. برای این منظور فیلم‌های تهیه شده در ابعاد ۱۰ در ۱۰ سانتی متر به صورت مربع بریده شده و به شکل فیزیکی دیواره داخلی بطری شیشه‌ای را پوشش داد. سپس ۱۸ میلی لیتر روغن زیتون به آن اضافه شد به طوری که فیلم در فضای بین روغن و دیواره شیشه قرار گرفت. در نهایت درب سیلیکونی قرار داده شده و به طریقی درزبندی شد که هیچ گونه نفوذ هوایی به داخل شیشه صورت نگیرد (شکل ۱-ب).

مغذی و غنی از محتوای بتاکاروتن، اسید چرب گاما لینولنیک، ویتامین‌های B، مواد معدنی، عناصر کمیاب، آنزیم‌ها و کلروفیل و همچنین سایر مواد مغذی ارزشمند مانند کاروتنوئیدها، سولفولپیدها، گلیکولپیدها، فیکوسیائین، سوپراکسید دیسموتاز، RNA و DNA است. همچنین اسپیرولینا می‌تواند به عنوان جایگزینی برای عوامل رنگ دهنده باشند [۱۶-۱۸].

در حالت کلی پلیمرهای زیست تخریب پذیر فعال حاوی نانوذرات آنتی باکتریال، مواد زیست فعال، رنگدانه‌های آنتی اکسیدان قابلیت کاربردهای فراوان در بسته بندی مواد غذایی مختلف داشته و باعث افزایش ماندگاری مواد غذایی شده و به صورت هوشمند شرایط نگهداری و بسته‌بندی مواد غذایی را نشان می‌دهند [۱۹-۲۱].

با توجه به موارد ذکر شده در بالا و آسیب پذیر بودن روغن زیتون بکر در بسته‌بندی‌های معمولی که به دلیل اکسیداسیون سریع این روغن اتفاق می‌افتد در این مطالعه از فیلم پلی وینیل الکل اصلاح شده با نانوذرات کلرید نقره و جلبک اسپیرولینا برای بسته‌بندی فعال و افزایش ماندگاری روغن زیتون بکر استفاده شد. اهمیت بالای اسپیرولینا به عنوان یک ماده آنتی اکسیدان و همچنین خاصیت فوتوکرومیک کلرید نقره، در این مطالعه فیلم فعالی که همزمان هم خاصیت آنتی اکسیدانی/آنتی باکتریال دارد و هم هم خاصیت فوتوکرومیک دارد تهیه شد. نتایج بدست آمده تاثیر بسیار مثبت فیلم پلی وینیل الکل اصلاح شده با نانوذرات کلرید نقره و جلبک اسپیرولینا در افزایش ماندگاری و کنترل کیفیت روغن زیتون بکر در طول مدت نگهداری را نشان داد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد شیمیایی

روغن زیتون بکر از شرکت دانه خاک سلامت (ارومیه، ایران) تهیه شد. کلرید نقره با درجه خلوص ۹۹٪ از شرکت پارسیان مرک نوین، پودر جلبک اسپیرولینا از شرکت اسپرو بوشهر، پلی وینیل الکل، گلیسرول، نیترات کلسیم، کربنات سدیم و سایر ترکیبات شیمیایی استفاده شده از شرکت‌های مرک (آلمان) و آلدریج (آمریکا) تهیه شدند.

1. Scanning electron microscopy



**Fig 1** Examples of prepared films (A) and packaging of virgin olive oil with prepared films (B)

۲۵۰ میلیلیتری ریخته شد. ۳۰ میلیلیتر محلول استیک اسید/کلروفرم با نسبت ۳:۲ به ارلن اضافه شده و ارلن تا زمانیکه روغن حل شود تکان داده شد. سپس ۰/۵ میلیلیتر محلول یدید پتاسیم اشباع به ارلن اضافه شد و به مدت یک دقیقه در شرایط فاقد نور قرار داده شد. سپس ۳۰ میلیلیتر آب مقطر به ارلن افزوده شد و ۰/۵ میلیلیتر محلول شناساگر نشاسته ۱ درصد اضافه شد. محلول نهایی با تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تا از بین رفتن رنگ آب یتیر شد. برای تیتراسیون شاهد همه مراحل فوق بدون افزودن نمونه روغن انجام شد. در نهایت عدد پراکسید طبق فرمول زیر محاسبه می شود [۲۴].

$$PV = \left( \frac{S - B}{W} \right) \times N \times 1000$$

PV: عدد پراکسید بر حسب میلی اکی والان اکسیژن در کیلوگرم نمونه روغن

S: میزان تیترازول مصرفی در نمونه

B: میزان تیترازول مصرفی در شاهد

N: نرمالیت تیترازول مصرفی بر حسب اکی والان بر لیتر

W: وزن نمونه روغن بر حسب گرم

#### ۲-۴-۴-۴- محتوای فنل کل

تعیین میزان ترکیبات فنولی کل محتوای فنولی کل با روش رنگ سنجی و با استفاده از معرف فولین سیوکالتو تعیین شد. به این منظور یک گرم از هر نمونه با سه میلیلیتر محلول متانول: آب (به

#### ۲-۴-۴-۲- آزمون های روغن

##### ۲-۴-۴-۱- اسیدیته

برای اندازه گیری اسیدیته از روش شماره Cd (AOCS, 1993) 3-63 استفاده شد. برای انجام این تست، ابتدا ۵ گرم روغن با ۲۰-۳۰ میلی لیتر اتانول یا الکل خنثی دیگری مخلوط و با افزودن چند قطره فنل فتالین با سود ۰/۱ نرمال تا ظهور رنگ صورتی تیتراگردید. میزان عدد اسیدیته از رابطه زیر به دست آمد [۲۲].

$$A = \frac{28.2 \times N \times 100 \times V}{1000 \times W} \times 100$$

در رابطه فوق N: نرمالیت سود مصرفی، V: حجم سود مصرفی به میلی لیتر، W: وزن نمونه به گرم، A: اسیدهای چرب آزاد بر حسب اسید اولئیک در ۱۰۰ گرم نمونه

##### ۲-۴-۴-۲- ضریب شکست

برای اندازه گیری ضریب شکست نمونه های روغن، این نمونه ها در دستگاه رفراکتومتر و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفته و ضریب شکست آنها طبق طبق روش استاندارد (AOCS, 1993) Cc 7-25 ثبت گردید [۲۳].

##### ۲-۴-۴-۳- عد پراکسید

اندازه گیری عدد پراکسید طبق روش AOCS به شماره Cd8-53 انجام شد. ۵ گرم روغن زیتون در یک ارلن مایر

اصلاح شده با کلرید نقره، ۴- بسته‌بندی با فیلم پلی وینیل الکل اصلاح شده با اسپیرولینا و ۵- بسته‌بندی با فیلم پلی وینیل الکل اصلاح شده با کلرید نقره و اسپیرولینا استفاده شد. زمان نگهداری نیز ۳۰ روز بود که آزمون‌ها در روز ۱، ۱۵ و ۳۰ مورد بررسی قرار گرفت. از روش سطح پاسخ برای بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل (نوع بسته‌بندی و زمان نگه‌داری) و متغیرهای وابسته و مدل‌سازی استفاده شد. آنالیز داده‌ها در سطح احتمال ۹۵ و رسم منحنی‌های و مدل‌های ریاضی با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت-۱۰ انجام شد.

**Table 1** List of experiments based on D-Optimal design

Run	Factor A: Storage time (Day)	Factor B: Packaging type
1	30	Control
2	1	PVA/Sp*
3	15	PVA/AgCl
4	1	PVA
5	30	PVA
6	1	PVA/AgCl/Sp
7	1	PVA/AgCl
8	30	PVA/Sp
9	15	PVA/AgCl/Sp
10	15	PVA/Sp
11	30	PVA/AgCl
12	1	Control
13	15	Control
14	15	PVA
15	30	PVA/AgCl/Sp

\* Polyvinyl alcohol (PVA); Spirulina (Sp)

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- مطالعه مورفولوژی سطحی فیلم

مورفولوژی سطحی پلیمرها و کامپوزیت‌ها با تکنیک‌های SEM قابل بررسی و آنالیز می‌باشد. شکل ۲، تصاویر SEM مربوط به فیلم پلی وینیل الکل و کامپوزیت‌های آن را نشان می‌دهد. مطابق نتایج SEM، فیلم پلی وینیل الکل خالص ساختاری منظم و بدون خلل و فرج و ترک سطحی دارد که بیانگر ساختار منسجم و فشرده فیلم می‌باشد. در فیلم پلی وینیل الکل اصلاح شده با

نسبت ۹۰ به ۱۰) مخلوط و به مدت ۴ دقیقه همزده شد و سپس به مدت ۵ دقیقه در سانتریفوژ با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت و ۲۰ میکرولیتر از فاز بالای استخراج متانولی با ۸/۲ میلیلیتر آب و ۰/۵ میلیلیتر معرف فولین مخلوط و بعد از ۵ دقیقه یک میلیلیتر کربنات سدیم ۱۰ درصد به مخلوط فوق اضافه و به مدت یک ساعت در دمای اتاق و درجای تاریک قرار داده شد. پس از این مدت، جذب نمونه‌ها در دمای اتاق با دستگاه اسپکتروفوتومتر ماورای بنفش در ۷۶۵ نانومتر قرائت گردید. جهت رسم منحنی استاندارد از اسید گالیک (صفر تا ۱۰۰۰ میکروگرم در میلیلیتر) استفاده شد و محتوای فنولی کل به صورت میلیگرم اسید گالیک در هر کیلوگرم نمونه گزارش شد.

#### ۲-۴-۵- خواص حسی

ویژگی‌های حسی نمونه‌های روغن شامل رنگ، بافت، عطر و طعم و امتیاز کلی توسط ۲۰ ارزیاب در قالب تست هدونیک توصیفی ۵ نقطه‌ای (۱- خیلی کم، ۲- کم، ۳- متوسط، ۴- زیاد، ۵- بسیار زیاد) بررسی شدند.

#### ۲-۴-۶- خواص رنگی

برای اندازه‌گیری رنگ سطحی از دستگاه رنگ سنج (Colorimeter Minolta model CR-410 Japan) استفاده شد. ابتدا دستگاه توسط صفحه‌ی سفید استاندارد کالیبره شد. سپس روغن بر روی یک کاغذ سفید قرار گرفته و میزان رنگ آن‌ها با استفاده از دستگاه رنگ سنج اندازه‌گیری شد. این دستگاه چهار طول موج در محدوده‌ی امواج ناحیه مرئی را اندازه می‌گیرد. نتایج شامل اندازه سه بعد رنگ با شاخص‌های کمی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  می‌باشد، که به ترتیب نمایانگر روشنایی (از  $L^*=0$  برای سیاه تا  $L^*=100$  برای سفید)، سبز تا قرمز ( $a^*=-60$ ) برای سبز تا  $a^*=60$  برای قرمز) و آبی تا زرد (از  $b^*=-60$  آبی تا  $b^*=60$  برای زرد) می‌باشند.

#### ۲-۵- آنالیز آماری

در این مطالعه برای مطالعه تاثیر نوع بسته‌بندی و زمان نگه‌داری بر روی خواص شیمیایی، حسی و رنگی روغن زیتون بکر از طرح آماری دی-اوپتیمال مطابق جدول ۱ استفاده شد. بدین منظور ۵ نوع بسته‌بندی شامل ۱- بسته‌بندی معمولی، ۲- بسته‌بندی با فیلم پلی وینیل الکل خالص، ۳- بسته‌بندی با فیلم پلی وینیل الکل

اصلاح شده با اسپیرولینا و پلی وینیل الکل اصلاح شده با ذرات کلرید نقره و اسپیرولینا، وجود این ذرات در سطح فیلم کاملاً مشهود می باشد. در این فیلم ها ذرات به شکل دانه ای و تقریباً یکنواخت پخش شده اند. اندازه ذرات کلرید نقره در این دو فیلم در حدود ۳۰ تا ۱۰۰ نانومتر تخمین زده می شود. در فیلم پلی وینیل الکل

اصلاح شده با اسپیرولینا و پلی وینیل الکل اصلاح شده با ذرات کلرید نقره و اسپیرولینا، وجود این ذرات در سطح فیلم کاملاً مشهود می باشد. در این فیلم ها ذرات به شکل دانه ای و تقریباً یکنواخت پخش شده اند. اندازه ذرات کلرید نقره در این دو فیلم در حدود ۳۰ تا ۱۰۰ نانومتر تخمین زده می شود. در فیلم پلی وینیل الکل

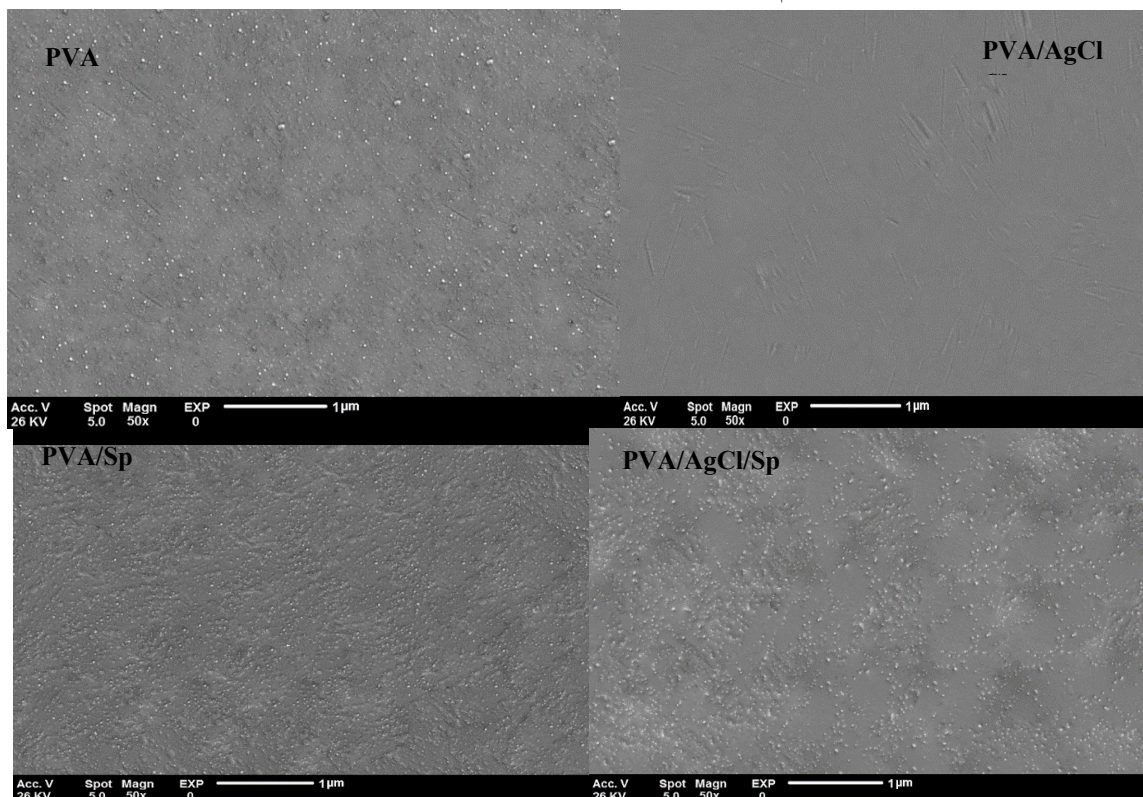


Fig 2 SEM images of polyvinyl alcohol film and its composites

اندیس اسیدی عبارتست از تعداد میلی گرم پتاس لازم برای خنثی کردن اسید های چرب آزاد موجود در یک گرم ماده چرب. در اندیس اسیدی قدرت اسیدی مهم بوده و نوع اسید چرب مهم نیست. اما در اسیدیته تعیین می شود که در ۱۰۰ گرم ماده چرب چند گرم اسید چرب آزاد وجود دارد. مقدار اسیدیک پارامتر متداول در مشخصات چربی ها و روغن ها است و به عنوان گرم اسیدهای چرب آزاد در ۱۰۰ گرم روغن تعریف می شود (برحسب اسید اولئیک که اصلی ترین اسید چرب موجود در روغن بیان میشود). افزایش مقدار اسیدیته در یک نمونه از روغن یا چربی نشان دهنده هیدرولیز تری گلیسیریدها است. چنین واکنشی با عملکرد آنزیم لیپاز رخ می دهد و نشان دهنده شرایط نامناسب تولید و نگهداری است (به عنوان مثال، درجه حرارت بالا، رطوبت نسبی و آسیب بافت).

### ۳-۲- اسیدیته، ضریب شکست، عدد پراکسید و محتوای فنل کل

منحنی های برهمکنش خطی به عنوان یک نمایش گرافیکی از روابط بین دو متغیر عددی و غیر عددی ایست که در دو بعد استفاده می شود. با توجه به اینکه در این مطالعه زمان نگهداری روغن به عنوان متغیر عددی و نوع بسته بندی به عنوان متغیر غیر عددی در نظر گرفته شده است، شکل های ۳ تا ۵ و جداول ۲ تا ۴، منحنی های برهمکنش خطی و مدل های ریاضی (به همراه ضریب رگرسیون و ضریب رگرسیون اصلاح شده) ارتباط بین برخی خواص فیزیکوشیمیایی، حسی و رنگی و متغیرهای مستقل (زمان نگهداری و نوع بسته بندی) در روغن زیتون بکر را نشان می دهند.

وینیل الکل اصلاح شده با اسپیرولینا و کلرید نقره کمترین تغییرات را در اسیدیتته، ضریب شکست و عدد پراکسید نشان می دهد که کلرید نقره و اسپیرولینا مانع اکسیداسیون روغن شده اند. با توجه به خاصیت آنتی اکسیدانی قوی اسپیرولینا و خاصیت فوتوکاتالیتیکی کلرید نقره، این دو ماده مانع از فرسایش اکسیداسیونی روغن می شود.

پلی فنل ها به عنوان دسته از فلانوئیدها هستند که به عنوان مواد آنتی اکسیدان در روغن ها، اسانس ها و سایر ترکیبات گیاهی وجود دارند. این ترکیبات به عنوان ترکیبات ضدسرطان یکی از شاخص های کیفیت روغن زیتون می باشد. هرچه محتوای فنل کل روغن بیشتر باشد خاصیت آنتی اکسیدانی آن بالاتر بوده و کیفیت روغن نیز مطلوب تر خواهد بود.

با بررسی منحنی برهمکنش محتوای فنل کل و نیز بررسی مدل ریاضی مربوط به آن مشخص شد که با گذشت زمان محتوای فنل کل در همه بسته بندی های روغن کاهش داشته است ولی میزان این کاهش در روغن های بسته بندی شده با فیلم های پلی وینیل الکل اصلاح شده با کلرید نقره و پلی وینیل الکل اصلاح شده با اسپیرولینا و کلرید نقره کمترین مقدار را دارد. این نتیجه نشان دهنده این است که کلرید نقره و اسپیرولینا از اکسید شدن فنل های کل و تخریب این ترکیبات آنتی اکسیدان جلوگیری کرده و کیفیت روغن زیتون بکر را حفظ می کند.

Malherbi و همکاران (۲۰۲۲) فیلم نشاسته اصلاح شده با اسانس های گیاهی را تهیه کرده و از آن برای بسته بندی فعال روغن زیتون استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که ویژگی های شیمیایی و اکسیداتیو روغن زیتون در بسته بندی فعال نسبت به بسته بندی معمولی پایداری بیشتری دارد. نتایج تحقیق آنها با نتایج تحقیق حاضر کاملاً همخوانی دارد [Nogueira, ۲۵]. همکاران (۲۰۲۲) تاثیر بسته زیست تخریب پذیر فعال ساخته شده از آرد لویا و عصاره دانه آکای روی کیفیت روغن زیتون را بررسی کرده اند. آنها نشان دادند که استفاده از مواد زیست فعال در ساختارهای پلیمرهای بسته بندی میتواند منجر به افزایش ماندگاری روغن زیتون شود که نتایج تحقیق آنها نتایج تحقیق حاضر را تایید می کند [۲۶].

از جمله راه های شناسایی و تشخیص ترکیبات آلی استفاده از ثابت فیزیکی ضریب شکست نور در یک مایع مجهول میباشد. سرعت انتقال نور در محیطهای مختلف متفاوت است. انحراف شعاع نور در هنگام عبور از حد فاصل دو محیط مختلف یکی از نتایج مستقیم و قابل رویت این اختلاف است. انحراف نور به علت تغییر سرعت آن است. زاویه شکست نور (زاویه انحراف) به دانسیته محیط، نوع مولکولهای موجود، درجه حرارت محیط و طول موج نور بستگی دارد. چنانچه محیطی مانند هوا به عنوان مقیاس انتخاب شود و زوایای شکست با یک طول موج یکنواخت در یک درجه حرارت یکسان اندازه گیری شود، در این صورت زوایای اندازه گیری شده یکی از خواص محیط ثانوی در حد فاصل مربوط است و میتوان از آن به عنوان یک خصلت مشخص جسم سازنده آن محیط استفاده کرد.

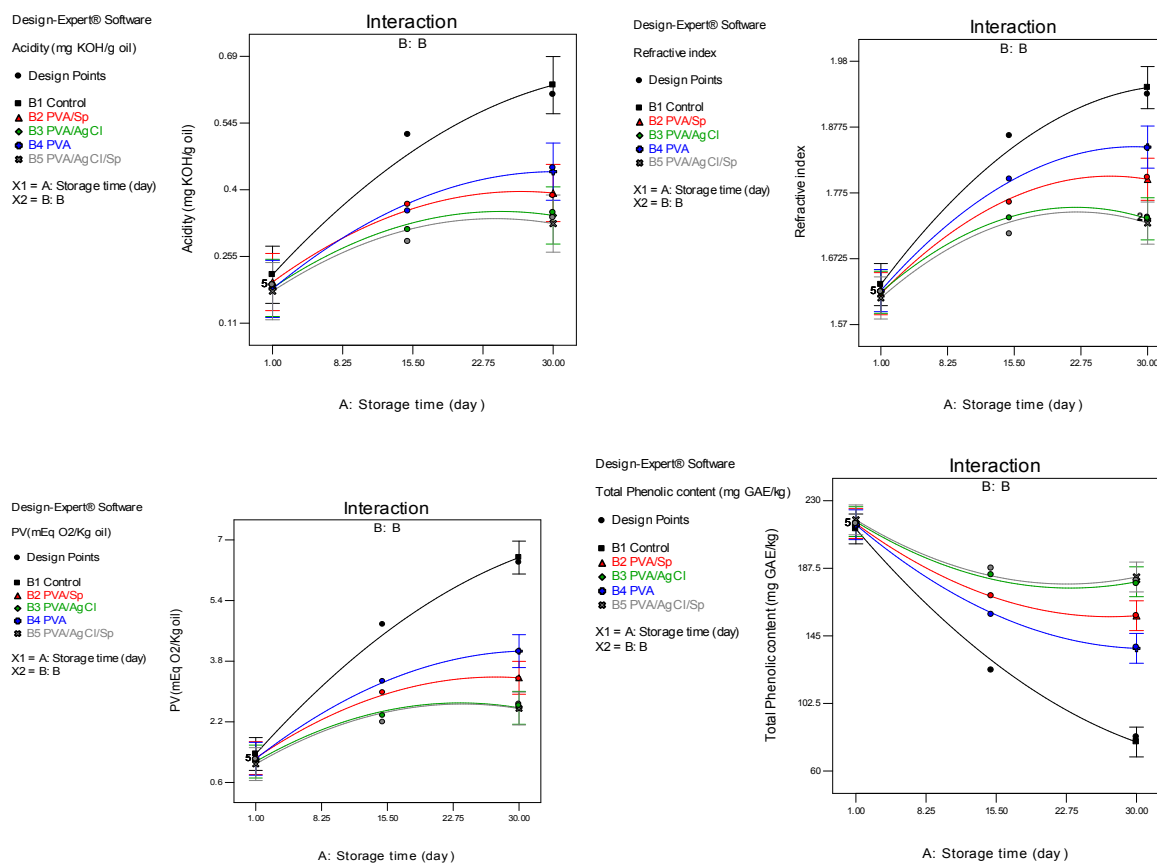
پراکسید محصول اولیه اکسیداسیون مواد چرب است و به طور کلی هر قدر که درجه غیراشباعی روغن ها بیشتر باشد روغن ها و چربی هاصورت گرفته و مواد فرار آلدئیدی و ستونی و همچنین اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه (محصولات دومین و سومین) که در ایجاد بو و طعم نامطلوب مواد چرب موثرند، ایجاد میگردند. بدین جهت پراکسید تولید شده گرچه مستقیماً سبب بو و طعم نامطلوب در مواد چرب نیست، ولی معرف درجه پیشرفت اکسیداسیون می باشد. بنابراین هرچه عدد پراکسید بزرگتر باشد نشان دهنده اکسیداسیون بیشتر روغن و کیفیت پائین روغن می باشد.

همانطور که از منحنی برهمکنش اسیدیتته، ضریب شکست و عدد پراکسید با زمان نگه داری و نوع بسته بندی و نیز مدل ریاضی گزارش شده در جدول ۲ مشخص است، با افزایش زمان نگه داری روغن هر سه این فاکتورها افزایش می یابد. افزایش اسیدیتته، ضریب شکست و عدد پراکسید با گذشت زمان نشان دهنده اکسید شدن روغن زیتون با گذشت زمان و کاهش کیفیت روغن می باشد. با مقایسه تاثیر نوع بسته بندی بر روی اسیدیتته، ضریب شکست و عدد پراکسید روغن مشخص می شود که بیشترین افزایش این فاکتورها یا بیشترین کاهش کیفیت روغن مربوط به بسته بندی معمولی می باشد و روغن های بسته بندی شده با فیلم های پلی وینیل الکل اصلاح شده با کلرید نقره و پلی

**Table 2** Mathematical models and regression coefficients of the relationship between storage time and type of packaging and acidity, refractive index, peroxide value and total phenol content of the oil

Acidity (mg KOH/g oil)		Refractive index		PV(mEq O <sub>2</sub> /Kg oil)		Total Phenol (mg GAE/kg)	
Coefficient	Factor	Coefficient	Factor	Coefficient	Factor	Coefficient	Factor
0.372225		1.776758		3.155865		163.2959	
0.1165	* A	0.0939	* A	1.302668	* A	-34.3496	* A
0.111763	* B[1]	0.070667	* B[1]	1.429124	* B[1]	-35.9353	* B[1]
-0.01338	* B[2]	-0.00775	* B[2]	-0.21124	* B[2]	5.490926	* B[2]
-0.04415	* B[3]	-0.03744	* B[3]	-0.65325	* B[3]	16.76485	* B[3]
0.002304	* B[4]	0.019711	* B[4]	0.131235	* B[4]	-5.14297	* B[4]
0.089594	* AB[1]	0.059425	* AB[1]	1.288799	* AB[1]	-32.6568	* AB[1]
-0.01971	* AB[2]	-0.00485	* AB[2]	-0.24303	* AB[2]	5.373646	* AB[2]
-0.03779	* AB[3]	-0.03673	* AB[3]	-0.59381	* AB[3]	15.43707	* AB[3]
0.010955	* AB[4]	0.017786	* AB[4]	0.117725	* AB[4]	-4.52868	* AB[4]
-0.06273	* A <sup>2</sup>	-0.06186	* A <sup>2</sup>	-0.64273	* A <sup>2</sup>	17.86955	* A <sup>2</sup>
R <sup>2</sup> = 0.979		R <sup>2</sup> = 0.990		R <sup>2</sup> = 0.992		R <sup>2</sup> = 0.995	
AdjR <sup>2</sup> =0.928		AdjR <sup>2</sup> =0.967		AdjR <sup>2</sup> =0.975		AdjR <sup>2</sup> =0.983	

\*A: Storage time and B: Packaging type



**Fig 3** Linear interaction curves of the effect of storage time and type of packaging on acidity, refractive index, peroxide value and total phenol content



## ۳-۳- خواص حسی

یکی از ابزارهایی که به طور طبیعی در اختیار انسان قرار گرفته است، حواس پنج‌گانه است. با استفاده از حس لامسه می‌توان مرغوبیت یک جنس را تشخیص داد. میتوان با چشیدن طعم مواد خوراکی از فاسد نبودن آنها مطمئن شد. درباره تشخیص کیفیت روغن زیتون هم حواس پنج‌گانه برای تشخیص کیفیت آن میتواند به ما کمک کند. بیش از هرچیز طعم و بوی این روغن می‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی باشد. در این مطالعه طعم، رنگ، بافت و امتیاز کلی به عنوان خواص حسی برای تشخیص کیفیت روغن زیتون استفاده شده است. با توجه به منحنی های برهمکنش فاکتورهای حسی در شکل ۴ و نیز مدل های ریاضی ارائه شده در جدول ۳، با افزایش زمان نگهداری فاکتورهای حسی کاهش داشته اند که بیانگر کاهش کیفیت روغن با گذشت زمان می باشد. هر چند که این تغییرات حسی خیلی محسوس نبوده است. بیشترین کاهش در فاکتور حسی امتیاز کلی مشاهده میشود که بیانگر این مطلب است که از نظر مصرف کنندگان واقعی روغن با گذشت زمان امتیاز حسی کل این روغن کاهش می یابد. اگرچه

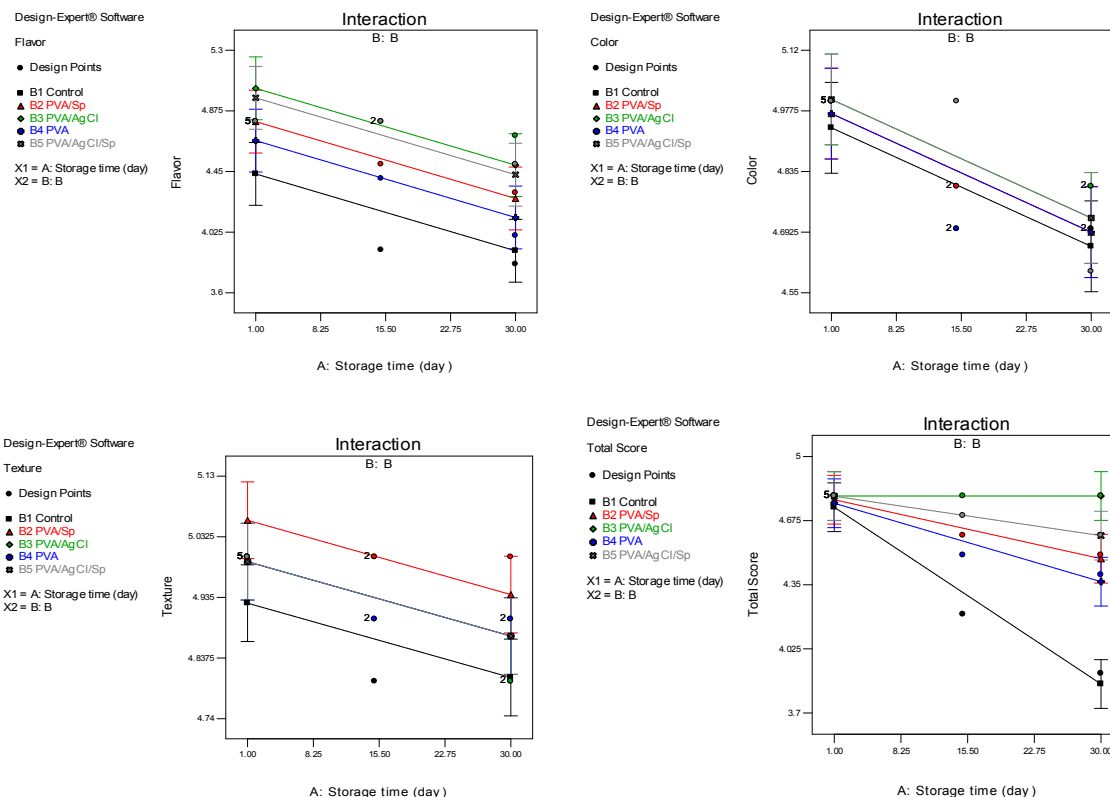
کاهش فاکتورهای حسی در تمام بسته‌بندی های روغن مشاهده میشود ولی بیشترین تغییرات حسی مربوط به بسته‌بندی معمولی (فاقد فیلم پلی وینیل الکل فعال) بوده است. فیلم های پلی وینیل الکل حاوی کلرید نقره و اسپیرولینا نقش موثر و قابل توجهی در کنترل ویژگی های حسی روغن زیتون در طول زمان نگهداری داشته است به طوری‌که پذیرش کلی روغن بسته‌بندی شده با پلیوینیل الکل/کلرید نقره در روز سی‌ام با روز اول تفاوتی را نشان نمی دهد. این نتیجه بیانگر تاثیر بسیار مهم کلرید نقره در جلوگیری از فساد اکسیداتیو روغن زیتون را نشان می دهد.

Martillanes و همکاران (۲۰۱۷) تاثیر بسته‌بندی‌فعال بر روی پایداری ویژگی های حسی روغن زیتون را بررسی کرده اند. آنها نشان دادند که ترکیبات آنتی اکسیدان میتوانند ویژگی های حسی و عطر و طعم روغن را حفظ کنند که نتایج آنها نتایج تحقیق حاضر را تایید می کند [۲۷]. Rababah و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر نوع بسته‌بندی (فعال و غیر فعال) را بر روی ویژگی‌های حسی روغن زیتون بررسی کرده اند. نتایج تحقیق آنها نتایج مطالعه حاضر را تایید می کند [۲۸].

**Table 3** Mathematical models and regression coefficients of the relationship between storage time and type of packaging and flavor, color, texture and total score of the oil

Flavor		Color		Texture		Total Score	
Coefficient	Factor	Coefficient	Factor	Coefficient	Factor	Coefficient	Factor
4.510238		4.838399		4.932647		4.59794	
-0.26932	* A	-0.13926	* A	-0.05975	* A	-0.17924	* A
-0.34667	* B[1]	-0.04	* B[1]	-0.06667	* B[1]	-0.30309	* B[1]
0.02	* B[2]	-0.00667	* B[2]	0.066667	* B[2]	0.033677	* B[2]
0.253333	* B[3]	0.026667	* B[3]	0	* B[3]	0.20206	* B[3]
-0.11333	* B[4]	-0.00667	* B[4]	0	* B[4]	-0.03356	* B[4]
						-0.26886	* AB[1]
						0.029873	* AB[2]
						0.179239	* AB[3]
						-0.01953	* AB[4]
$R^2=0.782$ Adj $R^2=0.662$		$R^2=0.686$ Adj $R^2=0.512$		$R^2=0.668$ Adj $R^2=0.657$		$R^2=0.972$ Adj $R^2=0.921$	

\*A: Storage time and B: Packaging type



**Fig 4** Linear interaction curves of the effect of storage time and type of packaging on flavor, color, texture and total score of the oil

### ۳-۴- خواص رنگی

مواد غذایی، به سادگی می‌توان از کیفیت سلامت مواد غذایی تا حدودی آگاه شد. رنگ در مواردی می‌تواند، شاخصی از میزان تازگی یا کهنگی یک ماده‌ی غذایی، باشد. رنگ به موازات طعم و مزه و شکل و اندازه، یکی از مهم‌ترین خصوصیات حسی مواد غذایی را تشکیل داده و مصرف کننده ابتدا کیفیت را به وسیله‌ی رنگ ارزیابی می‌نماید.

با توجه به منحنی شفافیت روغن (جدول ۴)، با گذشت زمان نگره داری شفافیت روغن کاهش محسوسی را در بسته‌بندی معمولی نشان می‌دهد، در حالیکه روغن های بسته‌بندی شده در حضور فیلم های فعال کاهش کمتری در شفافیت نشان می‌دهند. فاکتور  $a^*$  (مقادیر منفی نشان از سبزی و مقادیر مثبت نشان از قرمزی روغن دارد) با گذشت زمان به سمت مقادیر مثبت‌تر حرکت کرده است که نشان دهنده این است که با گذشت زمان روغن زیتون رنگ سبز خود را به مرور از دست داده است. منحنی فاکتور  $b^*$  (مقادیر منفی بیانگر آبی و مقادیر مثبت بیانگر زردی روغن می باشد) نیز نشان می‌دهد با گذشت زمان این فاکتور مثبت‌تر شده است که بیانگر تغییر رنگ روغن زیتون بکر از سبزی به زردی را تایید می‌کند. در حالت کلی کمترین تغییرات رنگی در

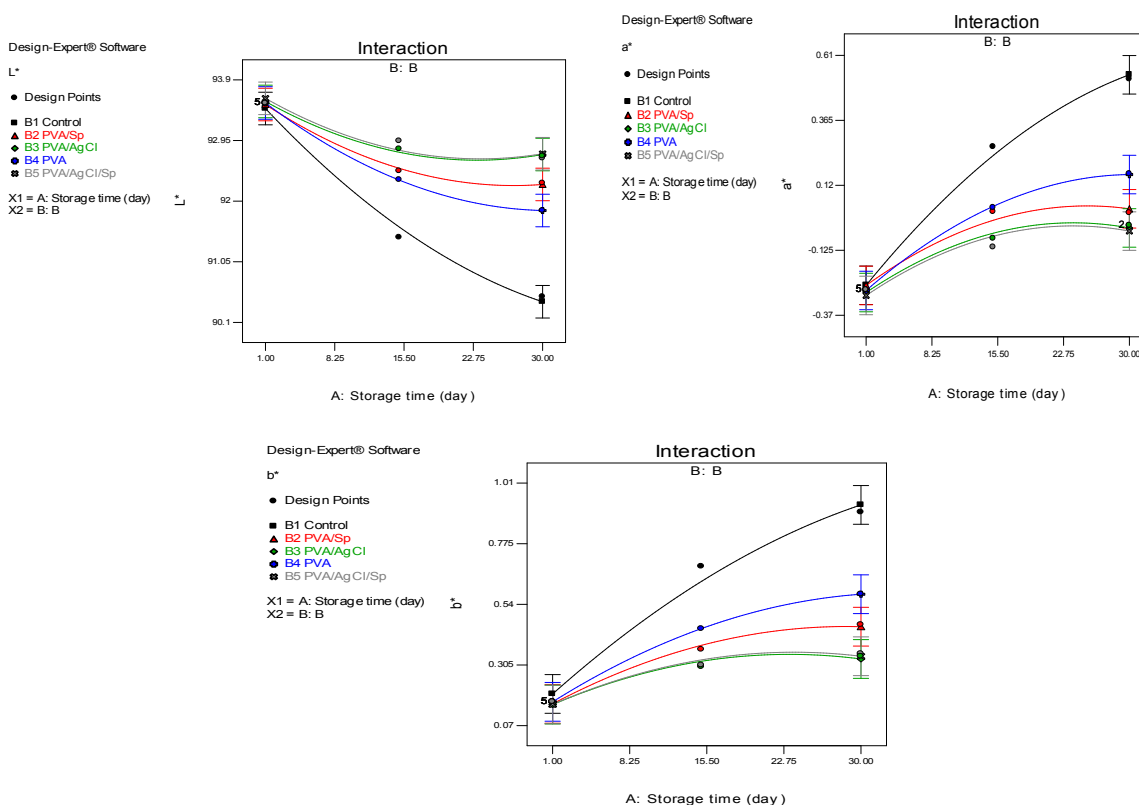
رنگها یکی از مشخصات غذاها می باشند که به وسیله احساس بینایی درک شده و از نظر پذیرش مصرف کننده بسیار تاثیرگذار هستند، زیرا تقریباً تمام غذاها از هنگامی که به صورت خام بوده تا زمانی که به غذایی کامل تبدیل شوند با یک رنگ قابل قبول برای مصرف کننده شناخته می شوند. رنگ و طعم غذاها در بسیاری موارد به هم مربوط می باشند. از نظر صنایع غذایی استفاده از رنگها برای ابداع فرآورده های جدید و یا بهبود کالا امری ضروری است و به همین دلیل مصرف رنگ در مواد غذایی روز به روز افزایش می یابد. رنگ مواد غذایی با تحریک اشتها و جلب نظر مصرف کنندگان ارتباط مستقیمی دارد. رنگی که میبینیم به وضوح طعمی را که خواهیم چشید به ما القا می‌کند، مثلاً رنگ صورتی ملایم نشان‌دهنده طعم توت‌فرنگی در محصولات نوشیدنی است. رنگ نشان‌دهنده کیفیت مواد غذایی نیز هست و کیفیت بالا و یا پایین مواد غذایی را نشان می‌دهد. فعالیت گروهی از میکروارگانیسم‌ها در مواد غذایی، تا حدی که مصرف این مواد را از نظر سلامت، مخاطره آمیزی‌سازد، می‌تواند در بسیاری از موارد با تغییرات رنگی همراه باشد. از این نظر، با توجه به رنگ

هر سه فاکتور  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  مربوط به روغن بسته‌بندی شده با فیلم پلی وینیل الکل اصلاح شده با کلرید نقره و اسپیرولینا می باشد.

**Table 4** Mathematical models and regression coefficients of the relationship between storage time and type of packaging and oil color factors

$L^*$		$a^*$		PV(mEq O <sub>2</sub> /Kg oil)	
Coefficient	Factor	Coefficient	Factor	Coefficient	Factor
92.37344		0.032642		0.426338	
-0.76629	* A	0.20063	* A	0.181193	* A
-0.83122	* B[1]	0.213395	* B[1]	0.215239	* B[1]
0.118884	* B[2]	-0.03949	* B[2]	-0.03996	* B[2]
0.377514	* B[3]	-0.089	* B[3]	-0.10386	* B[3]
-0.07311	* B[4]	0.015559	* B[4]	0.02693	* B[4]
-0.74727	* AB[1]	0.19627	* AB[1]	0.185086	* AB[1]
0.140275	* AB[2]	-0.05617	* AB[2]	-0.03171	* AB[2]
0.350543	* AB[3]	-0.07886	* AB[3]	-0.09289	* AB[3]
-0.07597	* AB[4]	0.01799	* AB[4]	0.027308	* AB[4]
0.394956	* A <sup>2</sup>	-0.10621	* A <sup>2</sup>	-0.08259	* A <sup>2</sup>
$R^2=0.992$ AdjR <sup>2</sup> =0.975		$R^2=0.991$ AdjR <sup>2</sup> =0.970		$R^2=0.989$ AdjR <sup>2</sup> =0.962	

\*A: Storage time and B: Packaging type



**Fig 5** Linear curves of the interaction of the effect of storage time and the type of packaging on the color characteristics of the oil

با بررسی تاثیر کلرید نقره و اسپیرولینا در کنترل کیفیت روغن زیتون (خواص فیزیکوشیمیایی، حسی و رنگی) مشخص شد که تاثیر نانوذرات کلرید نقره بیشتر از اسپیرولینا بوده است ولی زمانی که هر دوی این مواد به طور همزمان در ساختار فیلم

دهد نقره کلرید و اسپیرولینا مانع اکسیداسیون روغن شده اند. با بررسی محتوای فنل کل مشخص شد که با گذشت زمان محتوای فنل کل در همه بسته بندی های روغن کاهش داشته است ولی میزان این کاهش در روغن های بسته بندی شده با فیلم های پلی وینیل الکل اصلاح شده با کلرید نقره و پلی وینیل الکل اصلاح شده با اسپیرولینا و کلرید نقره کمترین مقدار را دارد. این نتیجه نشان دهنده این است که کلرید نقره و اسپیرولینا از اکسید شدن فنل های کل و تخریب این ترکیبات آنتی اکسیدان جلوگیری کرده و کیفیت روغن زیتون بکر را حفظ می کند. پذیرش کلی روغن بسته بندی شده با پلی وینیل الکل/کلرید نقره در روز سی ام با روز اول تفاوتی را نشان نمی دهد. این نتیجه تاثیر بسیار مهم کلرید نقره در جلوگیری از فساد اکسیداتیو و میکروبی روغن زیتون را نشان می دهد. در حالت کلی کمترین تغییرات رنگی در هر سه فاکتور  $a^*$ ،  $L^*$  و  $b^*$  مربوط به روغن بسته بندی شده با فیلم پلی وینیل الکل اصلاح شده با کلرید نقره و اسپیرولینا می باشد. با بررسی تاثیر کلرید نقره و اسپیرولینا در کنترل کیفیت روغن زیتون مشخص شد که تاثیر نانوذرات کلرید نقره بیشتر از اسپیرولینا بوده است ولی زمانی که هر دوی این مواد به طور همزمان در ساختار فیلم استفاده شده است تا حدودی اثر هم افزایی داشته و قدرت کنترل کنندگی کیفیت روغن را افزایش داده اند. همچنین با بررسی مدل های رگرسیون برای تمامی خواص اندازه گیری شده مشخص شد که ضرایب رگرسیون و ضرایب رگرسیون تعدیل شده مقادیر بالایی دارند که نشان دهنده مناسب بودن مدل های ارائه شده برای بررسی تاثیر زمان نگهداری و نوع بسته بندی بر روی کیفیت روغن زیتون بکر می باشد.

## ۵- منابع

- [1] Jimenez-Lopez, C., Carpena, M., Lourenço-Lopes, C., Gallardo-Gomez, M., Lorenzo, J.M., Barba, F.J., Prieto, M.A. and Simal-Gandara, J., 2020. Bioactive compounds and quality of extra virgin olive oil. *Foods*, 9(8), p.1014.
- [2] Pristouri, G., Badeka, A. and Kontominas, M.G., 2010. Effect of packaging material headspace, oxygen and light transmission, temperature and storage time on quality

استفاده شده است تا حدودی اثر هم افزایی داشته و قدرت کنترل کنندگی کیفیت روغن را افزایش داده اند. همچنین با بررسی مدل های رگرسیون برای تمامی خواص اندازه گیری شده مشخص شد که ضرایب رگرسیون و ضرایب رگرسیون تعدیل شده مقادیر بالایی دارند که نشان دهنده مناسب بودن مدل های ارائه شده برای بررسی تاثیر زمان نگهداری و نوع بسته بندی بر روی کیفیت روغن زیتون بکر می باشد.

Stoll و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر فیلم زیست تخریب پذیر فعال شده با کپسول های آنتوسیانین بر ویژگی های کیفی روغن زیتون فوق بکر در طول ذخیره سازی را بررسی کرده اند. نتایج تحقیق آنها تا حدودی نتایج تحقیق حاضر را تایید می کند [۲۹]. Chavoshizadeh و همکاران (۲۰۲۰) تاثیر بسته بندی فعال بر روی ویژگی های رنگی روغن را بررسی کرده اند. آنها نشان دادند که ویژگی های رنگی روغن در طول نگه داری تغییر می کند که استفاده از پلیمرهای فعال آنتی اکسیدان می تواند تغییرات رنگی را کنترل کرده و باعث پایداری بیشتر رنگ روغن می شود. نتایج تحقیق آنها نتایج این تحقیق را کاملاً تایید می کند [۳۰].

## ۴- نتیجه گیری

با توجه به آسیب پذیر بودن روغن زیتون بکر در بسته بندی های معمولی که به دلیل اکسیداسیون سریع این روغن اتفاق می افتد در این مطالعه از فیلم پلی وینیل الکل اصلاح شده با نانوذرات کلرید نقره و جلبک اسپیرولینا برای بسته بندی فعال و افزایش ماندگاری روغن زیتون بکر استفاده شد. اهمیت بالای اسپیرولینا به عنوان یک ماده آنتی اکسیدان و همچنین خاصیت فوتوکرومیکی کلرید نقره، در این مطالعه فیلم فعالی که همزمان هم خاصیت آنتی اکسیدانی دارد و هم خاصیت فوتوکرومیکی دارد تهیه شد. نتایج بدست آمده نشان داد با مقایسه تاثیر نوع بسته بندی بر روی اسیدیت، ضریب شکست و عدد پراکسید روغن مشخص شد که بیشترین کاهش کیفیت روغن مربوط به بسته بندی معمولی می باشد و روغن های بسته بندی شده با فیلم های پلی وینیل الکل اصلاح شده با کلرید نقره و پلی وینیل الکل اصلاح شده با اسپیرولینا و کلرید نقره کمترین تغییرات را در اسیدیت، ضریب شکست و عدد پراکسید نشان دادند که نشان می

- [11] Tang, S. and Zheng, J., 2018. Antibacterial activity of silver nanoparticles: structural effects. *Advanced healthcare materials*, 7(13), p.1701503.
- [12] Yin, I.X., Zhang, J., Zhao, I.S., Mei, M.L., Li, Q. and Chu, C.H., 2020. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *International journal of nanomedicine*, 15, p.2555.
- [13] Pirsā, S. and Mohammadi, B., 2021. Conducting/biodegradable chitosan-polyaniline film; Antioxidant, color, solubility and water vapor permeability properties. *Main Group Chemistry*, 20(2), pp.133-147.
- [14] Kabir, S.R., Dai, Z., Nurujjaman, M., Cui, X., Asaduzzaman, A.K.M., Sun, B., Zhang, X., Dai, H. and Zhao, X., 2020. Biogenic silver/silver chloride nanoparticles inhibit human glioblastoma stem cells growth in vitro and Ehrlich ascites carcinoma cell growth in vivo. *Journal of cellular and molecular medicine*, 24(22), pp.13223-13234.
- [15] Volkan, M., Stokes, D.L. and Vo-Dinh, T., 2005. A sol-gel derived AgCl photochromic coating on glass for SERS chemical sensor application. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 106(2), pp.660-667.
- [16] Andrade, L.M., Andrade, C.J., Dias, M., Nascimento, C. and Mendes, M.A., 2018. Chlorella and spirulina microalgae as sources of functional foods. *Nutraceuticals, and Food Supplements*, 6(1), pp.45-58.
- [17] El-Beltagi, H.S., Dhawi, F., Ashoush, I.S. and Ramadan, K., 2020. Antioxidant, anti-cancer and **ameliorative** activities of *Spirulina platensis* and pomegranate juice against hepatic damage induced by CCl<sub>4</sub>. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(4), p.1941.
- [18] Sengupta, S., Koley, H., Dutta, S. and Bhowal, J., 2018. Hypocholesterolemic effect of *Spirulina platensis* (SP) fortified functional soy yogurts on diet-induced hypercholesterolemia. *Journal of Functional Foods*, 48, pp.54-64.
- [19] Shabkhiz, M.A., Pirouzifard, M.K., Pirsā, S. and Mahdavinia, G.R., 2021. Alginate hydrogel beads containing *Thymus daenensis* essential oils/Glycyrrhizic acid loaded in  $\beta$ -cyclodextrin. Investigation of structural, antioxidant/antimicrobial properties and characteristics of extra virgin olive oil. *Food control*, 21(4), pp.412-418.
- [3] Dabbou, S., Gharbi, I., Brahmi, F., Nakbi, A. and Hammami, M., 2011. Impact of packaging material and storage time on olive oil quality. *African Journal of Biotechnology*, 10(74), pp.16929-16936.
- [4] Koidis, A. and Boskou, D., 2015. Virgin olive oil: losses of antioxidant polar phenolic compounds due to storage, packaging, and culinary uses. In *Processing and impact on active components in food* (pp. 267-274). Academic Press.
- [5] Allouche, Y., Jiménez, A., Gaforio, J.J., Uceda, M. and Beltrán, G., 2007. How heating affects extra virgin olive oil quality indexes and chemical composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(23), pp.9646-9654.
- [6] Conte, L., Milani, A., Calligaris, S., Rovellini, P., Lucci, P. and Nicoli, M.C., 2020. Temperature dependence of oxidation kinetics of extra virgin olive oil (EVOO) and shelf-life prediction. *Foods*, 9(3), p.295.
- [7] Jabraili, A., Pirsā, S., Pirouzifard, M.K. and Amiri, S., 2021. Biodegradable nanocomposite film based on gluten/silica/calcium chloride: physicochemical properties and bioactive compounds extraction capacity. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(8), pp.2557-2571.
- [8] Meydanju, N., Pirsā, S. and Farzi, J., 2022. Biodegradable film based on lemon peel powder containing xanthan gum and TiO<sub>2</sub>-Ag nanoparticles: Investigation of physicochemical and antibacterial properties. *Polymer Testing*, 106, p.107445.
- [9] Pirsā, S., 2021. Nanocomposite base on carboxymethylcellulose hydrogel: Simultaneous absorbent of ethylene and humidity to increase the shelf life of banana fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193, pp.300-310.
- [10] Yorghanlu, R.A., Hemmati, H. and Pirsā, S., 2022. Production of biodegradable sodium caseinate film containing titanium oxide nanoparticles and grape seed essence and investigation of physicochemical properties. *Polymer Bulletin*, 79(10), pp.8217-8240.

- Effect of the addition of Euterpe oleracea Mart. extract on the properties of starch-based sachets and the impact on the shelf-life of olive oil. *Food Chemistry*, 394, p.133503.
- [26] Nogueira, D., Marasca, N.S., Latorres, J.M., Costa, J.A.V. and Martins, V.G., 2022. Effect of an active biodegradable package made from bean flour and açai seed extract on the quality of olive oil. *Polymer Engineering & Science*, 62(4), pp.1070-1080.
- [27] Martillanes, S., Rocha-Pimienta, J., Cabrera-Bañegil, M., Martín-Vertedor, D. and Delgado-Adámez, J., 2017. Application of phenolic compounds for food preservation: Food additive and active packaging. Phenolic compounds–Biological activity. London, UK: IntechOpen, pp.39-58.
- [28] Rababah, T., Hao, F., Yang, W., Eriefej, K. and Al-Omouh, M., 2011. Effects of type of packaging material on physicochemical and sensory properties of olive oil. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 4(4), pp.66-72.
- [29] Stoll, L., Silva, A.M.D., Iahnke, A.O.E.S., Costa, T.M.H., Flores, S.H. and Rios, A.D.O., 2017. Active biodegradable film with encapsulated anthocyanins: Effect on the quality attributes of extra - virgin olive oil during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), p.e13218.
- [30] Chavoshizadeh, S., Pirsá, S. and Mohtarami, F., 2020. Sesame oil oxidation control by active and smart packaging system using wheat gluten/chlorophyll film to increase shelf life and detecting expiration date. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122(3), p.1900385.
- release assessment. *Journal of Molecular Liquids*, 344, p.117738.
- [20] Ghasemizad, S., Pirsá, S., Amiri, S. and Abdosatari, P., 2022. Optimization and Characterization of Bioactive Biocomposite Film Based on Orange Peel Incorporated With Gum Arabic Reinforced by Cr2O3 Nanoparticles. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(6), pp.2493-2506.
- [21] Daei, S., Mohtarami, F. and Pirsá, S., 2022. A biodegradable film based on carrageenan gum/Plantago psyllium mucilage/red beet extract: physicochemical properties, biodegradability and water absorption kinetic. *Polymer Bulletin*, pp.1-22.
- [22] Joseph, K.S., Bolla, S., Joshi, K., Bhat, M., Naik, K., Patil, S., Bendre, S., Gangappa, B., Haibatti, V., Payamalle, S. and Shinde, S., 2017. Determination of chemical composition and nutritive value with fatty acid compositions of African mangosteen (*Garcinia livingstonei*). *Erwerbs-Obstbau*, 59(3), pp.195-202.
- [23] Petrauskaite, V., De Greyt, W., Kellens, M. and Huyghebaert, A., 1998. Physical and chemical properties of trans - free fats produced by chemical interesterification of vegetable oil blends. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(4), pp.489-493.
- [24] AOCS, 1998, 1998 & 2009. Official methods and recommended practices of the American oil chemistry society. Sampling and analysis of commercial fats and oils, Cd 8-53. Peroxide value, Ca 5a-40. Free fatty acids & Cd 19-90. 2-Thiobarbituric acid value.
- [25] Malherbi, N.M., Grando, R.C., Fakhouri, F.M., Velasco, J.I., Tormen, L., da Silva, G.H.R., Yamashita, F. and Bertan, L.C., 2022.



## Active packaging and increasing shelf life of virgin olive oil using biodegradable film based on polyvinyl alcohol modified with silver chloride nanoparticles and spirulina

Erfani, A. <sup>1\*</sup>, Pirouzifard, M. <sup>1</sup>, Pirsa, S. <sup>1</sup>

1. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

### ABSTRACT

In this study, biodegradable film was prepared from polyvinyl alcohol. Silver chloride nanoparticles and spirulina algae powder were used to modify the physicochemical structure and create antioxidant activity in the film. The surface morphology of the film was investigated. Polyvinyl alcohol film and its composites were used for packaging virgin olive oil. D-optimal design was used to investigate the effect of packaging type and storage time on the chemical, color and sensory characteristics of the oil. Chemical characteristics (acidity, peroxide value, refractive index and total phenol), sensory and color characteristics were investigated. The response surface method was used to investigate the effect of independent variables on the oil as well as the created mathematical models. The obtained results showed that in polyvinyl alcohol film modified with silver chloride particles and polyvinyl alcohol modified with silver chloride and spirulina particles, the presence of these particles on the surface of the film was completely evident. The results of the chemical, sensory and color analysis of the oil showed that the chemical, sensory and color quality of the oil decreased with the increase in the storage time of the oil in all packages. Peroxide value as the most important indicator of the quality of oils in normal packaging increased from 1 to 7 (mEq O<sub>2</sub>/Kg oil) during 30 days of storage, while in oil packaged with polyvinyl alcohol modified with silver chloride and spirulina algae, this increase was from 1 to 2 (mEq O<sub>2</sub>/Kg oil). In general, oils packaged with polyvinyl alcohol modified with silver chloride and spirulina algae showed the least quality changes compared to normal packaging, which indicates the ability of these films to control the quality and increase the shelf life of virgin olive oil.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2022/ 11/ 30  
Accepted 2023/ 01/01

#### Keywords:

Olive oil,  
Active packaging,  
Antioxidant film,  
Nanocomposite.

**DOI:** 10.22034/FSCT.19.132.265  
**DOR:** 20.1001.1.20088787.1401.19.132.20.3

\*Corresponding Author E-Mail:  
[Areferfany@gmail.com](mailto:Areferfany@gmail.com)