



## بررسی امکان تولید امولسیون روغن گردو پایدار شده با موسیلاژ دانه چیا و کاربرد آن در فیلمهای خوراکی

آرین نهالکار<sup>۱</sup>، احمد رجایی<sup>۲\*</sup>، حسین میرزایی مقدم<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۲- دانشیار، تکنولوژی مواد غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۳- استادیار، مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

#### تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۸

#### کلمات کلیدی:

سدیم کربوکسی متیل سلولز،

فیلم دولایه،

روغن گردو،

موسیلاژ دانه چیا،

خواص فیزیکی

در این پژوهش ابتدا امولسیونهای روغن گردو پایدار شده با موسیلاژ دانه چیا با درصد های روغن مختلف (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصد) به روش پیکرینگ تهیه شد. سپس از بهترین امولسیون در تهیه فیلم های خوراکی دو لایه و ترکیبی بر پایه سدیم کربوکسی متیل سلولز استفاده شد و اثر این امولسیون روغن بر خواص فیزیکی (نفوذپذیری، زاویه تماس، کدورت، استحکام کششی، کرنش گسیختگی و مدول یانگ) فیلمهای تولیدی بررسی شد. نتایج نشان داد که امولسیون روغن گردو با ۱۰ درصد روغن بیشترین پایداری را بعد از ۱۴ روز نگهداری داشت. همچنین، اندازه قطرات ( $D_{50}$ ) امولسیون (۱۰ درصد روغن) ۸۸۶ نانومتر بود که در محدوده زیر یک میکرومتر بود. سپس امولسیون روغن گردو پایدار شده با موسیلاژ دانه چیا (۱۰ درصد روغن) به فیلمهای خوراکی بر پایه سدیم کربوکسی متیل سلولز به صورت دولایه و ترکیبی اضافه شد. نتایج نشان داد که افزودن امولسیون روغن گردو به فیلم سدیم کربوکسی متیل سلولز به صورت ترکیبی باعث افزایش کدورت و شاخص زردی نسبت به فیلم دولایه شد. هیچ اختلاف معناداری ( $p > 0.05$ ) در نفوذ پذیری بخار آب بین فیلم های دولایه و ترکیبی وجود نداشت اما فیلمهای حاوی روغن گردو نفوذپذیری به بخار آب کمتری نسبت به نمونه شاهد داشتند. نتایج حاکی از کاهش استحکام کششی در فیلم های دولایه و ترکیبی با افزودن امولسیون روغن گردو بود. همچنین فیلم دو لایه حاوی امولسیون روغن گردو کمترین مدول یانگ ( $41/68$  مگاپاسکال) و بیشترین کرنش در نقطه گسیختگی ( $0/18$ ) را داشت. به طور کلی، یافته های این تحقیق نشان داد که روغن ارزشمند گردو به فرم امولسیون پایدار شده با موسیلاژ دانه چیا در ساختار فیلم های خوراکی سدیم کربوکسی متیل سلولز می تواند علاوه بر ایجاد فیلم خوراکی باعث بهبود خواص فیزیکی فیلم ها نیز گردد.

DOI: 10.22034/FSCT.22.161.260.

\* مسئول مکاتبات:

ahmadrajaei@gmail.com

Hosseinsg@yahoo.com

## ۱-مقدمه

روغن گردو یکی از منابع ارزشمند لیپیدهای گیاهی است که به دلیل غنای آن از اسیدهای چرب ضروری، به ویژه اسیدهای چرب غیر اشباع مانند اسید لینولئیک (امگا-۶) و اسید آلفا-لینولئیک (امگا-۳)، جایگاه ویژه‌ای در تغذیه و سلامت انسان دارد. این روغن همچنین سرشار از ترکیبات فعال زیستی نظیر فنول‌ها، توکوفرول‌ها، و استرول‌های گیاهی است که خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی آن را تقویت می‌کند (Hosseini Adarmanabadi et al., 2023).

امولسیون‌ها به دلیل خواص فیزیکی منحصربه‌فرد خود، مانند قابلیت بهبود بافت، طعم، و قابلیت حمل ترکیبات فعال، به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (Xia, Xue, & Wei, 2021). در این میان، امولسیون پیکرینگ به‌عنوان یکی از انواع نوآورانه امولسیون‌ها معرفی شده‌اند که در آنها به جای امولسیفایرهای معمول، از ذرات جامد در مقیاس نانو یا میکرو برای تثبیت فازها استفاده می‌شود. این ذرات جامد، با جذب در سطح مشترک دو فاز، یک سد مکانیکی ایجاد می‌کنند که مانع از تجمع مجدد قطرات و ناپایداری امولسیون می‌شود. این نوع امولسیون‌ها به دلیل پایداری بالا، مقاومت در برابر تغییرات محیطی نظیر دما، pH و کاهش نیاز به استفاده از مواد شیمیایی، جایگاه ویژه‌ای در تحقیقات علمی و کاربردهای صنعتی پیدا کرده‌اند (Gao et al., 2022). امولسیون‌های پیکرینگ نه تنها در فرمولاسیون محصولات غذایی سالم‌تر و طبیعی‌تر، بلکه در طراحی سیستم‌های پیشرفته برای حمل و رهایش کنترل‌شده ترکیبات فعال مانند داروها، آنتی‌اکسیدان‌ها، یا مواد مغذی نیز کاربرد دارند. همچنین، استفاده از ذرات طبیعی و زیست‌سازگار مانند پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، یا ذرات معدنی در تثبیت این امولسیون‌ها، امکان توسعه سیستم‌های پایدار و زیست‌پذیر را فراهم کرده است (Cheng et al., 2024).

موسیلاژ دانه‌ها که عمدتاً از پلی‌ساکاریدها با ترکیبات جزئی مانند پروتئین‌ها تشکیل شده‌اند، اخیراً به

دلیل خواص امولسیون‌کنندگی خود برای پایدارسازی امولسیون‌های پیکرینگ مورد توجه قرار گرفته‌اند. موسیلاژ دانه چیا یکی از ترکیبات زیستی ارزشمند است که به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود در صنایع مختلف غذایی، دارویی و آرایشی مورد توجه قرار گرفته است. دانه چیا، گیاهی بومی آمریکای مرکزی، غنی از مواد مغذی نظیر اسیدهای چرب امگا-۳، پروتئین‌ها و فیبرهای محلول است. این دانه‌ها هنگام تماس با آب، صمغی طبیعی و ژل‌مانند تولید می‌کنند که خواص عملکردی قابل‌توجهی دارد (Orona-Tamayo & Paredes-López, 2024). موسیلاژ دانه چیا به دلیل توانایی بالای خود در جذب آب و تشکیل ژل، به‌عنوان یک عامل قوام‌دهنده، پایدارکننده، و امولسیفایر طبیعی شناخته می‌شود. این ویژگی‌ها، آن را به گزینه‌ای مناسب برای استفاده در فرمولاسیون مواد غذایی سالم و طبیعی تبدیل کرده است (Mensah, Oludipe, Gebremeskal, Nadtochii, & Baranenko, 2024).

فیلم‌های خوراکی که عمدتاً از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر و طبیعی ساخته می‌شوند، به دلیل سازگاری با محیط زیست و قابلیت تجزیه‌پذیری، جایگزین مناسبی برای بسته‌بندی‌های پلاستیکی غیرقابل تجزیه محسوب می‌شوند (Karimi Sani et al., 2023). علاوه بر مزایای زیست‌محیطی، این فیلم‌ها می‌توانند به‌عنوان حامل ترکیبات فعال مانند آنتی‌اکسیدان‌ها، عوامل ضد میکروب و مواد مغذی عمل کرده و ارزش افزوده‌ای به محصولات غذایی ببخشند (Chawla, Sivakumar, & Kaur, 2021). سدیم کربوکسی‌متیل سلولز یکی از پلیمرهای زیستی پرکاربرد در تولید فیلم‌های خوراکی است. این ماده که از مشتقات سلولز به شمار می‌رود، به دلیل خواص منحصربه‌فردی نظیر حلالیت در آب، زیست‌سازگاری، تجدیدپذیری، و توانایی تشکیل فیلم، در تولید فیلم‌های خوراکی مورد توجه قرار گرفته است. فیلم‌های تولید شده از سدیم کربوکسی‌متیل سلولز معمولاً دارای شفافیت بالا و

## ۲-مواد و روش ها

### ۲-۱-مواد مورد استفاده

سدیم کربوکسی متیل سلولز، توئین ۸۰ و گلیسرول از شرکت مرک آلمان خریداری شد. روغن گردو از شرکت کامجد ایران با پروفایل اسیدهای چرب C16:0 ۵/۸ درصد، C18:0 ۳/۱ درصد، C18:1 ۲۴/۷ درصد، C18:2 ۴۹/۶ درصد و C18:3 ۱۵/۰ درصد تهیه شد. دانه چیا از بازار محلی شاهرود خریداری شد. بقیه مواد مورد استفاده در این تحقیق با درجه خلوص بالا بودند.

### ۲-۲-تهیه امولسیون پیکرینگ روغن گردو

#### ۲-۲-۱-تهیه موسیلاژ دانه چیا

برای تهیه موسیلاژ دانه چیا از روش Sibebe Santos و همکاران (۲۰۲۰) با اندکی تغییر استفاده شد. دانه چیا به نسبت ۱:۴۰ در آب مقطر خیس شد. سپس توسط همزن در ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد همزده شد. موسیلاژ با پارچه مناسب از دانه های چیا جدا شد. سپس نمونه به مدت ۵ دقیقه در ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس محلول موسیلاژ بر روی سینی ریخته شد و در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ ساعت در آون خشک شد و در ظروف پلاستیکی بسته بندی شد (Sibebe Santos et al., 2020).

#### ۲-۲-۲-تهیه امولسیون روغن گردو

برای تهیه امولسیون پیکرینگ روغن گردو پایدار شده با موسیلاژ دانه چیا از روش میرزایی مقدم (۲۰۱۹) با اندکی تغییر استفاده شد. در ابتدا ۱ گرم پودر موسیلاژ چیا به مدت ۳۰ دقیقه در ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد و در یک ظرف مجزا ریخته شد. سپس ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصد روغن و ۰/۵٪ (وزنی/وزنی) توئین ۸۰ به آرامی تحت امواج فراصوت به محلول چیا اضافه شد. در پایان، امولسیون مورد نظر به مدت ۵ دقیقه با قدرت ۷۰ وات همورنیزه شد (Mirzaee Moghaddam, 2019).

#### ۲-۲-۳-تست خامه ای شدن امولسیون

خاصیت کشسانی مناسب هستند. با این حال، محدودیت‌هایی نظیر استحکام مکانیکی پایین و حساسیت به رطوبت باعث شده است که بهبود خواص این فیلم‌ها با استفاده از مواد افزودنی و ترکیبات مختلف، یکی از محورهای اصلی تحقیقات علمی باشد (Yildirim-Yalcin, Tornuk, & Toker, 2022). یکی از راهکارهای بهبود خواص فیزیکی فیلمها، استفاده از لپیدها در ساختار فیلمها می باشد. مطالعات مختلف انجام شده در این زمینه، عموماً از روغنهای خوراکی متداول از جمله روغن آفتابگردان (Erdem & Kaya, 2022)، روغن ذرت (Xiao et al., 2019)، روغن سویا (Sun, Wang, Chen, & Yin, 2023) و روغن هسته انار (Mirzaee Moghaddam & Rajaei, 2021) و روغن کانولا (Amalia, Syarifuddin, & Langkong, 2023) استفاده کرده اند. در صورتیکه استفاده از روغنهای ارزشمند همانند روغن گردو علاوه بر بهبود خواص فیزیکی می تواند باعث افزایش ارزش تغذیه ای فیلم خوراکی شود.

لپیدها معمولاً به شکل امولسیون شده در ساختار فیلم ها استفاده می شوند. روغن گردوی پایدار شده با موسیلاژ دانه چیا با برهمکنش با پلیمرهای ساختار فیلم می تواند باعث بهبود خواص ساختاری فیلمها شود (Sibebe Santos et al., 2023). نکته مهم بعدی روش اضافه کردن امولسیون به ساختار فیلم است. امولسیون می تواند به دو روش لایه ای یا ترکیبی به فیلم اضافه شود که روش اضافه شدن امولسیون به فیلم نیز می تواند بر خواص فیلم موثر باشد (Niu et al., 2023). بنابراین، با توجه به ارزش تغذیه ای بالای روغن گردو و همچنین موسیلاژ دانه چیا، هدف از این تحقیق در مرحله اول تولید امولسیون روغن گردوی پایدار به روش پیکرینگ بوده و در ادامه کاربرد امولسیون روغن گردو در ساختار فیلم سدیم کربوکسی متیل سلولز به رو صورت دو لایه و ترکیبی مطالعه شده و برخی از خواص فیزیکی فیلم های سدیم کربوکسی متیل سلولز تولیدی نیز بررسی شد.

پس از آماده سازی امولسیون ها، امولسیون ها با درصد های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصد به اندازه ۱۰ میلی لیتر به صورت مجزا در ویال ها ریخته شدند و ویال ها به مدت ۱۴ روز در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند و درصد خامه ای شدن امولسیون ها طبق رابطه (۱) به دست آمد- (Vicente, Pereira, Bastos, de Carvalho, & Garcia-Rojas, 2018)

$$CI (\%) = \frac{HR}{HT} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه (۱): HR: ارتفاع لایه خامه ای و HT: ارتفاع کل امولسیون است.

#### ۴-۲-۲- بررسی مورفولوژی امولسیون تولید شده با استفاده از SEM

برای بررسی مورفولوژی ذرات تولید شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل (MIRA 3 (Tescan استفاده گردید (Mirzaee Moghaddam & Rajaei, 2021)

#### ۵-۲-۲- اندازه گیری قطرات امولسیون به کمک DLS

اندازه قطرات امولسیون با کمک دستگاه DLS (آنتون پار، اتریش) اندازه گیری گردید. برای این کار ۰/۲ گرم نمونه در ۵۰ برابر آب مقطر رقیق شد و در سل مخصوص تا خط نشانه اضافه گردید. سپس سل مورد نظر در دستگاه گذاشته شد و با استفاده از نرم افزار نتایج اندازه ذرات ثبت شد (Amiri, Nemati, Tirgarian, Dehghan, & Nasiri, 2021)

#### ۶-۲-۲- آزمون رئولوژی امولسیون

آزمون رئولوژی با استفاده از دستگاه رئومتر (آنتون پار، اتریش) (مجهز به استوانه های هم محور) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد انجام گرفت. در این آزمون ویسکوزیته در سرعت های برشی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت (Rahman et al., 2020).

#### ۱-۲-۳- تهیه فیلم های خوراکی حاوی امولسیون روغن گردو

#### ۱-۲-۳-۲- تهیه فیلم خوراکی بر پایه سدیم کربوکسی متیل سلولز

برای تهیه فیلم سدیم کربوکسی متیل سلولز از

روش Chang و همکاران (۲۰۰۹) با اندکی تغییر استفاده گردید. در این روش ۱/۵ گرم سدیم کربوکسی متیل سلولز با ۱ میلی لیتر گلیسرول در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر با در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه با هیتر استیرر حل شد. سپس برای حل شدن کامل سدیم کربوکسی متیل سلولز در آب مقطر از اولتراسونیکس (۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه) به مدت ۳۰ ثانیه استفاده شد. سپس محلول به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط گذاشته شد تا خنک گردد. سپس برای جلوگیری از ایجاد حباب در فیلم خوراکی محلول مورد نظر به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس محلول ها به پلیت های پلاستیکی منتقل گردید (Chang, Yu, & Ma, 2009)

۲-۳-۲- تهیه فیلم دولایه بر پایه سدیم کربوکسی متیل سلولز حاوی امولسیون روغن گردو و موسیلاژ دانه چیا  
برای تهیه فیلم دو لایه، پس از آماده شدن محلول سدیم کربوکسی متیل سلولز، محلول مورد نظر در پلیت ریخته شد و به مدت ۱ روز در دمای محیط قرار داده شد تا فیلم مورد نظر حالت ژله ای به خود بگیرد. سپس امولسیون روغن گردو به آن اضافه گردید و به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط خشک شد.

۳-۳-۲- تهیه فیلم های خوراکی ترکیبی بر پایه سدیم کربوکسی متیل سلولز حاوی امولسیون روغن گردو و موسیلاژ دانه چیا

پس از آماده شدن محلول سدیم کربوکسی متیل سلولز، محلول مورد نظر در بشر ریخته شد. سپس امولسیون روغن گردو و موسیلاژ دانه چیا به آن اضافه گردید. سپس با امواج فراصوت امولسیون در محلول مورد نظر به مدت ۱ دقیقه با قدرت ۷۰ وات پخش شد و در آخر به پلیت پلاستیکی اضافه شد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط خشک شد.

۴-۲-۳- آزمون های مربوط به فیلم های خوراکی تولید شده

#### ۱-۴-۳- اندازه گیری زاویه تماس فیلم های تولیدی

زاویه تماس زاویه ای است که آخرین لبه یک مایع

(Hosseini, 2010). کدورت فیلم ها در طیف ۶۰۰ نانومتر و با داشتن ضخامت فیلم ها با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Álvarez et al., 2021).

$$YI = \frac{142.86 b}{L} \quad (3)$$

در این روابط YI شاخص زردی، با استفاده از مقادیر  $L^*$  و  $b^*$  به دست آمد.

$$x = \frac{A_{600}}{c} = \text{کدورت} \quad (4)$$

در رابطه (۴):  $A_{600}$ : جذب طیف فیلم ها در ۶۰۰ نانومتر و  $x$ : ضخامت فیلم ها برحسب میلی متر است.

#### ۴-۳-۲-خواص کششی فیلم های تولیدی

اندازه گیری خواص کششی فیلم های خوراکی یکی از مهم ترین شاخص ها در بسته بندی محصولات غذایی هستند و باید فیلم های خوراکی از نظر این خواص مقاوم باشند تا کیفیت محصولات غذایی در حین حمل و نقل، نگهداری و جابه جایی حفظ شود. برای اندازه گیری خواص کششی فیلم های تولیدی، آزمون کشش انجام شد بدین منظور از دستگاه آزمون مواد مدل (STM-20، ستنام، ایران) استفاده شد. به طوری که فیلم ها به عرض ۲ سانتی متر و طول ۵ سانتی متر برش داده شدند. سپس به مدت ۴۸ ساعت در دسیکاتور با رطوبت نسبی ۵۰ درصد قرار داده شدند تا عمل مشروط سازی انجام شود. فاصله بین ۲ فک ۳۰ میلی متر و سرعت دو فک ۱ میلی متر بر ثانیه بود و ماکزیمم استحکام کششی، کرنش گسیختگی و مدول یانگ با توجه به نمودارهای تنش-کرنش بدست آمده از دستگاه آزمون مواد تعیین شد (Kaewprachu, Osako, Tongdeesoontorn, & Rawdkuen, 2017).

#### ۴-۲-تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش اختلاف میان تیمارهای مختلف، بر اساس طرح کاملاً تصادفی با استفاده از آنالیز واریانس ANOVA در سطح ۹۵٪ تعیین گردید. در این پژوهش مقایسه میانگین داده ها براساس آزمون دانکن با استفاده از نرم افزار SPSS انجام پذیرفت. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار EXCEL نسخه ۲۰۱۹ صورت گرفت.

با سطح زیرین خود ایجاد می کند. برای تعیین زاویه تماس فیلم ها بر روی لام گذاشته شد و ۲ میکرولیتر آب مقطر روی سطح فیلم قرار گرفت و پس از ۵ ثانیه و با استفاده از دوربین Canon MV50 از قطره آب عکسبرداری شد و در نهایت با نرم افزار زاویه تماس اندازه گیری شد. این آزمون برای هرکدام از فیلم ها ۳ بار تکرار شد (Li, Wang, & Xue, 2019).

#### ۲-۳-۴-بررسی نفوذپذیری فیلم نسبت به بخار آب

از بررسی نفوذ پذیری فیلم نسبت به بخار آب می توان به توانایی این فیلم ها در انتقال بخار آب بین هوا و ماده غذایی در بسته بندی محصولات غذایی پی برد که این موضوع تاثیر مهمی بر فساد پذیری و ماندگاری محصولات غذایی دارد. برای اندازه گیری نفوذپذیری بخار آب از روش ASTM 96-95 استفاده شد. برای انجام این آزمون از ویال های شیشه ای استفاده شد. در ابتدا ویال ها وزن شدند سپس ۱۵ میلی لیتر آب مقطر به ویال ها منتقل گردید. سپس فیلمهای مختلف روی دهانه ویالها کاملاً مهر و موم شدند. به مدت ۷۲ ساعت و در فواصل زمانی معین وزن ویالها اندازه گیری شدند. لازم به ذکر است رطوبت نسبی هوا در این ۷۲ ساعت اندازه گیری شد (Moore & Akoh, 2017). سپس میزان نفوذ پذیری به بخار آب با توجه به رابطه زیر (۲) محاسبه گردید

$$WVP = \frac{\Delta W \times FT}{S \times \Delta p} \quad (2)$$

در رابطه (۲):  $\Delta W$ : کاهش وزن ویال (g) FT: ضخامت (mm) S: مساحت ( $m^2$ )  $\Delta p$ : اختلاف فشار (KPa) است.

#### ۳-۴-۲-اندازه گیری شاخص زردی و کدورت فیلم های تولیدی

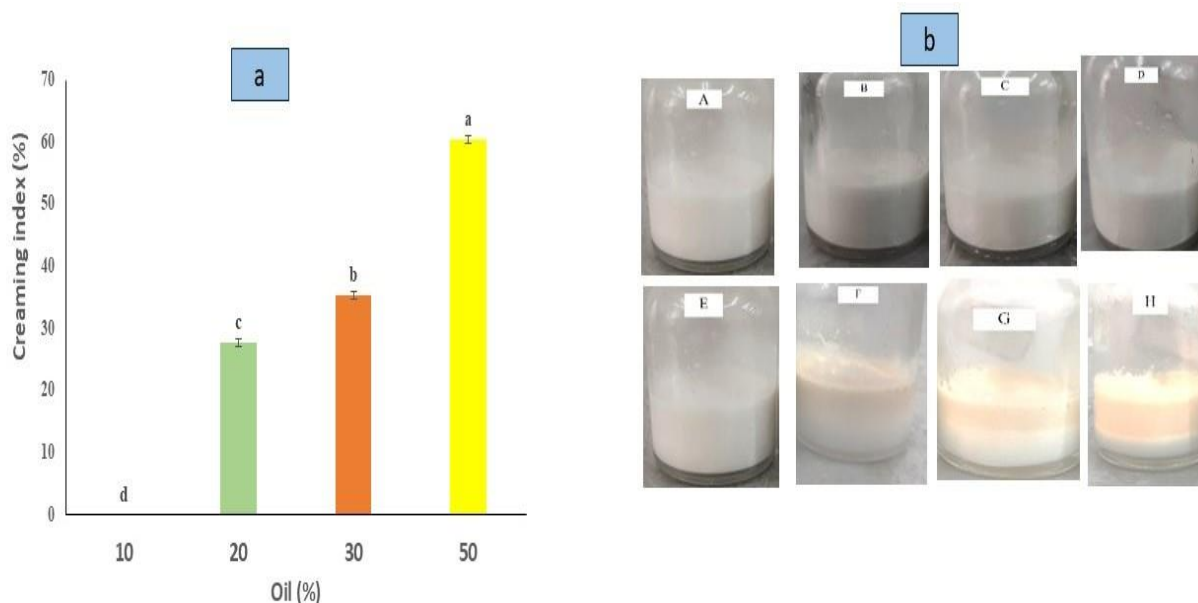
رنگ بسته بندی مواد غذایی یک پارامتر مهم در مقبولیت مصرف کننده و ظاهر عمومی محصول است. در این پژوهش برای ارزیابی رنگ فیلم های تولیدی در ابتدا با استفاده از دوربین عکاسی دیجیتال در ۳ تکرار از نمونه ها عکس گرفته شد. سپس با داشتن شاخص  $L^*$  و  $b^*$  شاخص زردی (رابطه ۳) محاسبه شد (Ojagh, Rezaei, Razavi, & ...)

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- ارزیابی امولسیون روغن گردو

## ۳-۱-۱- پایداری امولسیون ها

درصد خامه ای شدن امولسیون ها در شکل (۱-ا) نشان داده شده است. همچنین در شکل (۱-ب) نمایی از



شکل ۱- شاخص خامه ای شدن امولسیون ها (a)، ظاهر امولسیونهای روغن گردوی پایدار شده با موسیلاژ دانه چیا با نسبتهای مختلف روغن (۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪) به ترتیب در روز اول (a, b, c, d) و در روز چهاردهم (e, f, g, h) (b).

**Figure 1. Creaming index of emulsions (a), Appearance of walnut oil emulsion stabilized with chia seed mucilage at different oil ratios (10%, 20%, 30%, 50%) on the first day (a, b, c, d) and on the fourteenth day (e, f, g, h) respectively (b).**

کاهش درصد روغن و افزایش مقدار پلی ساکارید میتوان پایداری امولسیون در برابر خامه ای شدن را افزایش داد.

## ۳-۱-۲- ویسکوزیته موسیلاژ محلول دانه چیا و

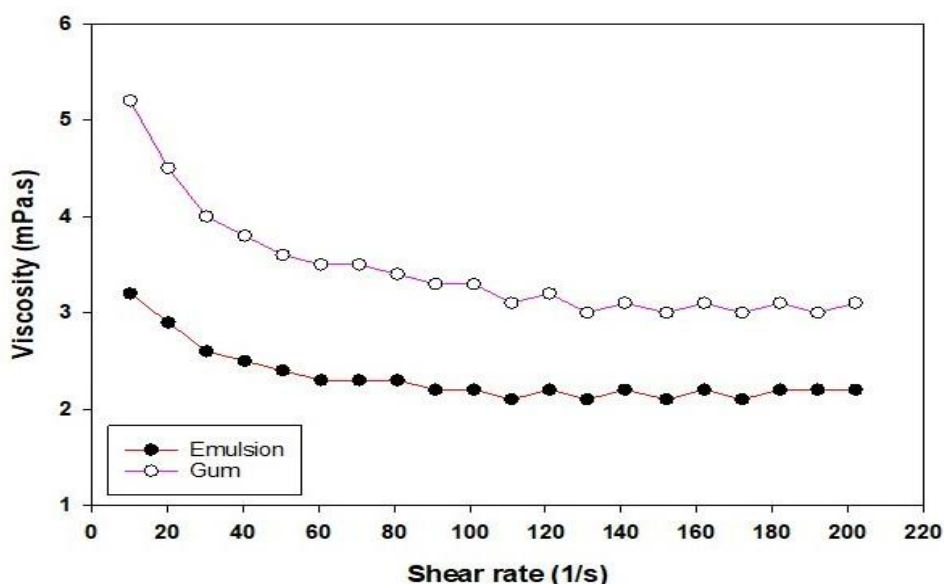
## امولسیون روغن گردو

ویسکوزیته محلول ۵ درصد موسیلاژ دانه چیا و امولسیون روغن گردو تثبیت شده با موسیلاژ دانه چیا (حاوی ۱۰ درصد روغن) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد بررسی شد و نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است. هر دو نمونه امولسیون روغن گردو و محلول موسیلاژ چیا رفتار جریان نیوتنی را به ویژه در نرخ های برشی بالا نشان دادند. Borrin و همکاران (۲۰۱۶)، در طی مطالعه خود بیان کردند که

Loi و همکاران (۲۰۱۹)، در تحقیقات خود پی برند که توزیع اندازه قطرات به صورت باریک به همگنی و پایداری امولسیون کمک می کند. همچنین قطرات بزرگ در مقایسه با قطرات کوچک سرعت خامه ای شدن بالاتری دارند و طبق قانون استوکس بر اثر گرانش جدا می شوند (Loi, Eyres, & Birch, 2019). Hong و همکاران (۲۰۱۸)، در طی تحقیقاتی پی بردند اندازه قطرات امولسیون با شاخص خامه ای شدن مرتبط است. به طوری که طبق قانون استوکس اندازه کوچک قطرات باعث افزایش پایداری امولسیون و کاهش شاخص خامه ای شدن می شود (Hong, Kim, & Lee, 2018). بر این اساس می توان نتیجه گرفت که با

دانه چیا در سرعت های مختلف برشی کمتر بود. این نشان می دهد که اثر امواج اولتراسوند و افزودن توئین ۸۰ به امولسیون ممکن است منجر به کاهش ویسکوزیته در مقایسه با محلول موسیلاژ چیا شده باشد.

محتوای بالای آب در تولید امولسیون منجر به ایجاد رفتار نیوتنی در امولسیون می شود (Borin, Georges, Moraes, & Pinho, 2016). با توجه به شکل ۲، می توان مشاهده کرد که ویسکوزیته امولسیون روغن در مقایسه با محلول موسیلاژ



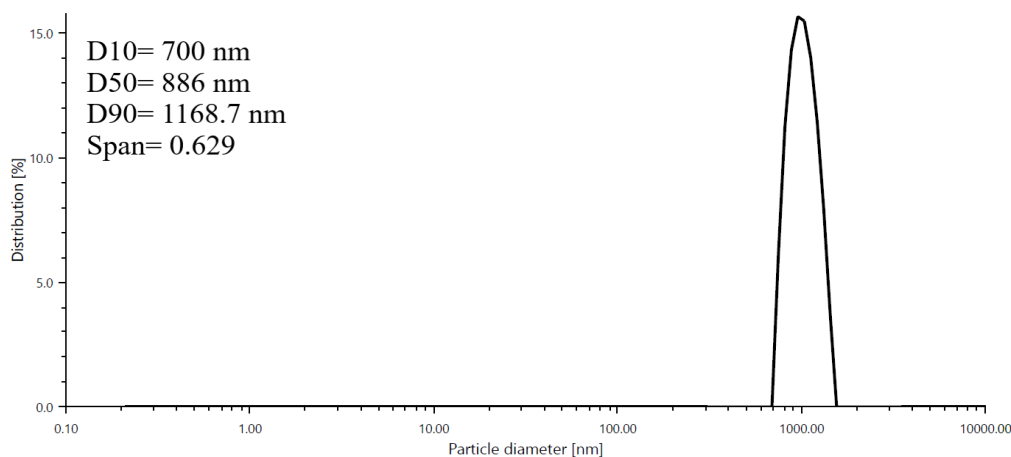
شکل ۲- ویسکوزیته محلول موسیلاژ دانه چیا و امولسیون روغن گردو پایدار شده با موسیلاژ دانه چیا در سرعت های برشی مختلف

Figure 2. Viscosity of chia seed gum solution and walnut oil emulsion stabilized with chia seed mucilage at different shear rates.

در محدوده زیر یک میکرومتر بود. همچنین شاخص پراکندگی (Span)  $0.629$  بود که نشان از همگنی امولسیون بود. دلیل اندازه قطرات کوچک و همگنی خوب استفاده از امواج فراصوت در تولید امولسیون بوده است که باعث ریز شدن قطرات روغن شده است.

### ۳-۱-۳- اندازه گیری قطرات امولسیون با DLS

اندازه گیری قطرات امولسیون (حاوی ۱۰ درصد روغن) با استفاده از DLS انجام شد و نتایج آن در شکل (۳) قابل مشاهده است. همان طور که در شکل (۳) قابل مشاهده است اندازه  $D_{50}$  قطرات امولسیون  $886$  نانومتر بود که



شکل ۳- توزیع اندازه قطرات امولسیون روغن گردو (۱۰ درصد روغن) پایدار شده با موسیلاژ دانه چیا

Figure 3. Droplet size distribution of walnut oil emulsion (10% oil) stabilized with chia seed mucilage

۱-۲-۳- بررسی زاویه تماس فیلم های تولیدی

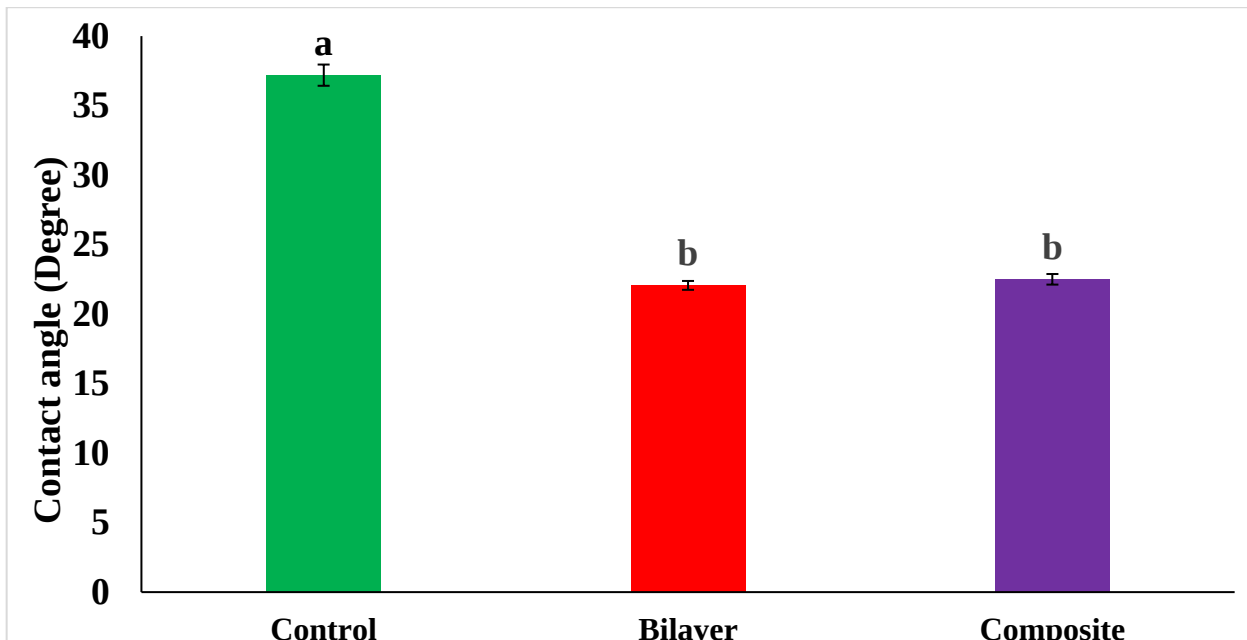
اصولا زاویه تماس به ۴ دسته تقسیم می شود: اگر زاویه تماس سطحی کمتر از ۱۰ درجه باشد آن سطح ابر آبدوست است و میزان آبدوستی بالایی دارد. اگر زاویه تماس سطحی ۱۰ تا ۹۰ درجه باشد آن سطح آبدوست است. اگر زاویه سطحی ۹۰ تا ۱۲۰ درجه باشد آن سطح آبگریز است و اگر سطحی زاویه تماس بالاتر از ۱۲۰ درجه داشته باشد آن سطح فوق آبگریز است و جذب آب پایینی دارد. شکل (۴) زاویه تماس فیلم های خوراکی را نشان می دهد.

Xiang و Li (۲۰۱۹)، پایداری امولسیون و خواص

امولسیون کنندگی امولسیون ۵ درصد روغن نارگیل در آب را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که همگن سازی با فشار بالا و هم تیمار فراصوت به طور موثر اندازه قطرات و محدوده توزیع امولسیون را کاهش می دهد. یافته های این محققین نشان داد که امولسیون ساخته شده توسط تیمار فراصوت در طول ۳۰ روز ذخیره سازی پایدار بود (Li & Xiang, 2019).

۳-۲- بررسی خواص فیزیکی فیلمهای حاوی امولسیون

روغن گردو



شکل ۴- زاویه تماس فیلم های خوراکی تولید شده.

Figure 4. Contact angle of produced edible films.

را به واکنش با مولکول های آب افزایش می دهد (Ghanbarzadeh & Almasi, 2011).

۲-۲-۳- بررسی نفوذپذیری فیلمها نسبت به بخار آب

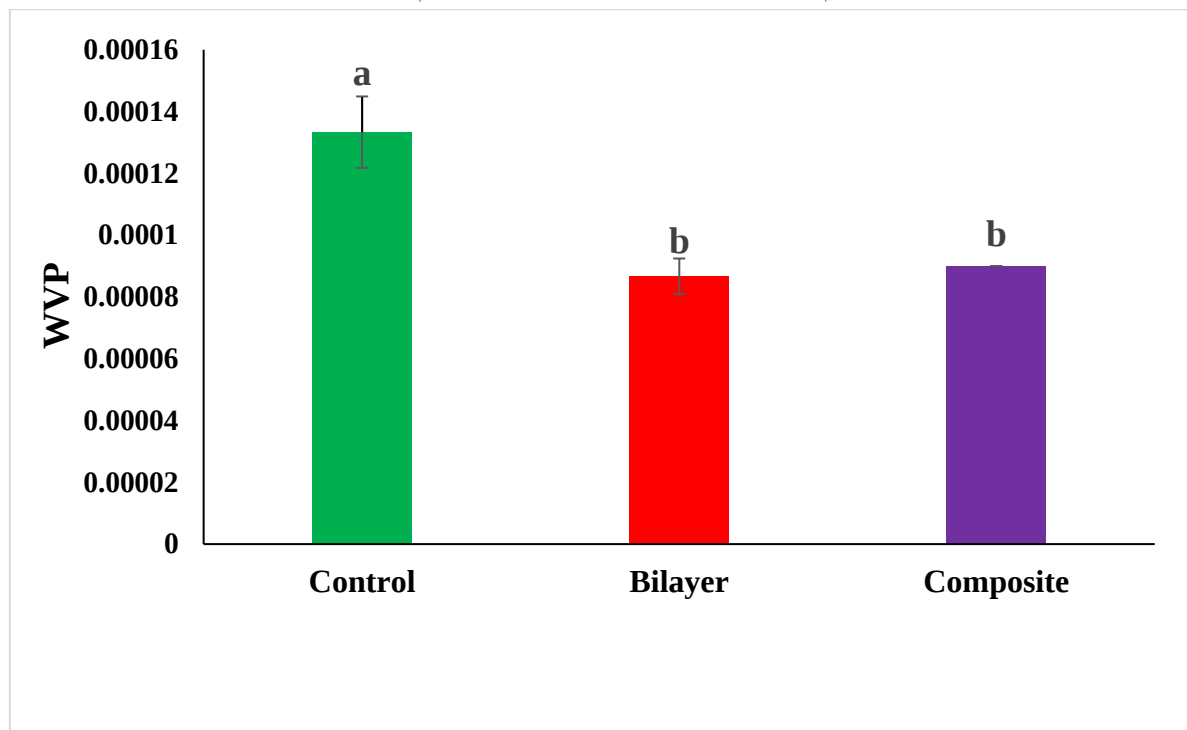
به طور کلی فیلم های پلیمری نفوذپذیری بالایی نسبت به بخار آب دارند که با افزودن امولسیون های لیپیدی به این فیلم های پلیمری نفوذپذیری به بخار آب در این فیلم ها کاهش پیدا می کند. نتایج نفوذپذیری فیلم نسبت به بخار آب در شکل (۵) قابل مشاهده است. فیلم شاهد نفوذپذیری

زاویه تماس فیلم شاهد بیشتر از فیلم های ترکیبی

و دولایه بود و اختلاف معناداری در سطح ( $p < 0.05$ ) در زاویه تماس فیلم شاهد نسبت به فیلم ترکیبی و دولایه وجود داشت. همچنین اختلاف معناداری در سطح ( $p > 0.05$ ) بین نمونه های دولایه و ترکیبی وجود نداشت. در فیلم های ترکیبی و دولایه افزودن امولسیون باعث به دست آوردن نتایجی خلاف انتظار شده بود که این را می توان به افزودن توئین ۸۰ در امولسیون نسبت داد. چون توئین ۸۰ تمایل فیلم

روغن پالم را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که تمام فیلم های حاوی روغن پالم به طور قابل توجهی دارای نفوذپذیری به بخار آب کمتری نسبت به فیلم ژلاتین خالص بودند که به وضوح بهبود خاصیت ممانعت به بخار آب را نشان داد. این محققین بیان کردند که ویژگی ضعیف نفوذپذیری به بخار آب فیلم مبتنی بر ژلاتین به دلیل آب دوستی مولکول های ژلاتین است. روغن پالم که به عنوان ماده آبریز و غیرقطبی در شبکه ژلاتین گنجانده شد، به طور طبیعی توانست آبریزی فیلم را افزایش داده و نفوذ پذیری به بخار آب فیلم را کاهش دهد (Xiao et al., 2016).

به بخار آب بالایی نسبت به فیلم های دولایه و ترکیبی داشت. همچنین این فیلم دارای اختلاف معناداری در سطح ( $P < 0.05$ ) نسبت به فیلم های دولایه و ترکیبی بود. همچنین بین فیلم های دولایه و ترکیبی هیچ گونه اختلاف معناداری در سطح ( $P > 0.05$ ) مشاهده نشد. نتایج نشان داد افزودن امولسیون به دلیل خاصیت آبریزی به فیلم های سدیم کربوکسی متیل سلولز که خاصیت آبدوستی بالایی دارد باعث می شود نفوذپذیری فیلم نسبت به بخار آب کاهش پیدا کند. Xiao و همکاران (۲۰۱۶)، تاثیر روغن پالم بر خواص مکانیکی و نفوذ پذیری به بخار آب فیلم امولسیونی ژلاتین-



شکل ۵- نفوذپذیری به بخار آب فیلم های خوراکی تولید شده.

Figure 5. Water vapor permeability results of produced edible films.

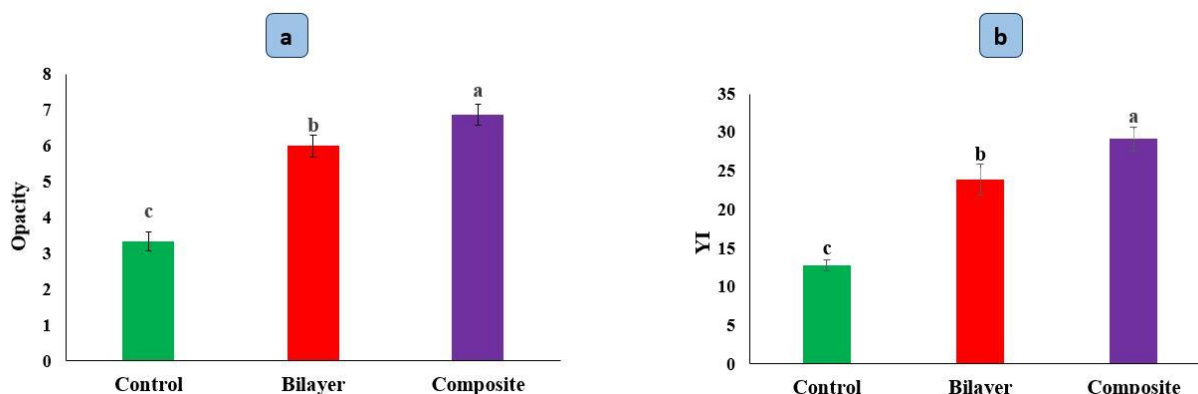
کرده است. همان طور که در شکل (۶-b) مشاهده می شد شاخص زردی (YI) در فیلم های شاهد، دولایه و ترکیبی دارای اختلاف معناداری در سطح ( $P < 0.05$ ) بود. به طوری که با افزودن امولسیون به فیلم شاهد شاخص زردی افزایش پیدا کرده بود. شاخص زردی در فیلم ترکیبی از فیلم دولایه بیشتر بود. Pérez-Mateos و همکاران (۲۰۰۷) و صحرایی و همکاران (۲۰۱۷)، در طی تحقیقات خود بیان کردند با افزودن روغن به فیلم های خوراکی، فیلم ها حالت مات به

۳-۲-۳- نتایج کدورت و شاخص زردی فیلم های تولیدی

نتایج کدورت فیلم ها در شکل (۶-a) مشاهده می شد. سه فیلم شاهد، دولایه و ترکیبی دارای اختلاف معناداری از نظر کدورت در سطح ( $P < 0.05$ ) بودند. بیشترین کدورت مربوط به فیلم شاهد بود و کمترین کدورت مربوط به فیلم ترکیبی بود. این نتیجه نشان می دهد که افزودن امولسیون به فیلم ترکیبی تصویر مات تری نسبت به فیلم دولایه ایجاد

های ژلاتین با افزودن روغن پالم زردتر شده بودند و شاخص زردی افزایش پیدا کرده بود (Nilsuwan, Benjakul, & Valencia. Prodpran, 2016). در طی تحقیقات خود بیان کردند افزودن اسانس به فیلم دولایه باعث افزایش رنگ زرد در این فیلم ها می شود (Valencia-Sullca, Vargas, Atarés, & Chiralt, 2018).

خود گرفتند (Pérez-Mateos, Montero, & Gómez-Guillén, 2009; Sahraee, Milani, Ghanbarzadeh, & Nilsuwan. Hamishehkar, 2017). و همکاران (۲۰۱۶)، تاثیر روغن پالم و گلیسرول بر خواص لایه های ژلاتینی پوست ماهی را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که افزودن روغن باعث افزایش شاخص زردی می شود. فیلم



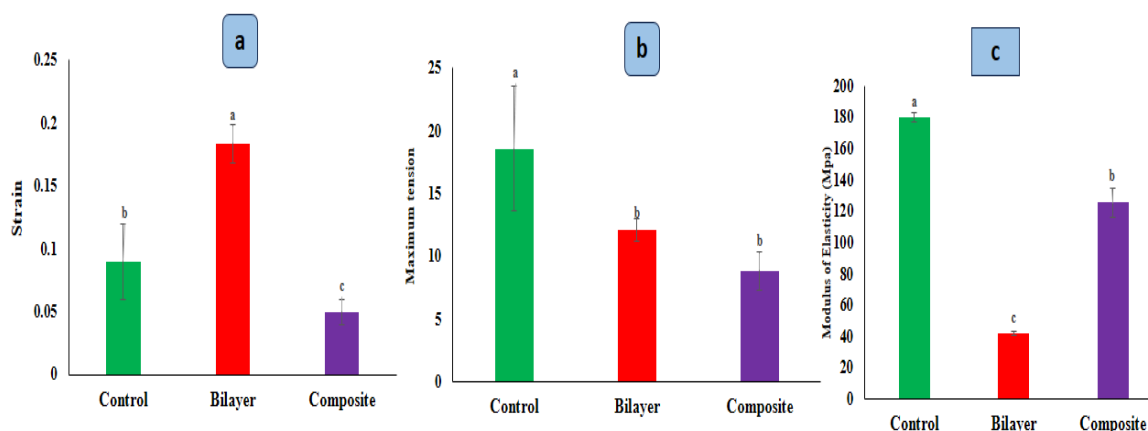
شکل ۶- کدورت (a) و شاخص زردی (b) فیلم های خوراکی تولید شده.

Figure 6. Turbidity (a) and yellowness index (b) of produced edible films

ترکیبی، وجود روغن در ساختار فیلم ترکیبی باعث کاهش کرنش شده است. ثانی و همکاران (۲۰۱۹) و Akhter و همکاران (۲۰۱۹) در طی تحقیقات خود به نتایج مشابه تحقیق حاضر رسیدند. این محققین بیان کردند که افزودن روغن یا اسانس به فیلم باعث ساختار ناهمگن و ناپیوستگی در فیلم می شود که در نتیجه کرنش فیلم های ترکیبی کاهش می یابد (Akhter, Masoodi, Wani, & Rather, 2019; Sani, Pirsa, & Tağı, 2019).

۳-۲-۳- بررسی خواص حاصل از آزمون کشش فیلم های تولیدی

همانطور که در شکل (a-۷) مشاهده می شود، از لحاظ کرنش در نقطه گسیختگی، بین فیلم های شاهد، ترکیبی و دو لایه اختلاف معناداری ( $p < 0.05$ ) وجود دارد. همچنین مشاهده می شود که فیلم دولایه کرنش بالاتری نسبت به فیلم های شاهد و ترکیبی دارد. می توان گفت، در مورد فیلم



شکل ۸- کرنش (a)، ماکزیمم تنش (استحکام کششی) (b) و مدول یانگ (c) فیلم های تولید شده.

Figure 7. Strain (a), maximum stress (b) and Young's modulus (c) of produced edible films.

کلزا تا ۳ درصد مدول یانگ افزایش پیدا می کند. این بدان معنی است که با افزایش درصد روغن به فیلم پروتئین آب پنیر ساختار فشرده تر می شود. این اثر را می توان به ایجاد ناپیوستگی در شبکه پلیمری ناشی از افزودن روغن نسبت داد (Galus & Kadzińska, 2016).

#### ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه امولسیون روغن گردو در غلظتهای مختلف روغن با استفاده از موسیلاژ دانه چیا پایدار شد و در ادامه اثر پایدارترین امولسیون روغن گردو در دو حالت ترکیبی و دولایه بر خواص فیزیکی فیلم خوراکی سدیم کربوکسی متیل سلولز بررسی شد. نتایج نشان داد امولسیون روغن گردوی پایدار شده با دانه چیا در نسبت های کمتر روغن شاخص خامه ای شدن کمتری را داشت. همچنین اندازه قطرات پایدارترین امولسیون روغن گردو در محدوده زیر یک میکرومتر بود. علاوه بر این رفتار جریان امولسیون پایدار تقریباً نیوتنی بود. نتایج زاویه تماس نشان داد فیلم های دولایه و ترکیبی زاویه تماس کمتری نسبت به فیلم های شاهد داشتند. افزودن امولسیون روغن گردو به فیلم سدیم کربوکسی متیل سلولز به صورت ترکیبی باعث افزایش کدورت و شاخص زردی نسبت به فیلم دولایه شد. نتایج حاصل از خواص مکانیکی فیلم ها نشان داد افزودن امولسیون روغن گردو به فیلم کربوکسی متیل سلولز به صورت دولایه باعث افزایش کرنش و کاهش ماکزیمم تنش شد. نتایج این تحقیق نشان داد که روغن گردو به شکل امولسیون پایدار شده با موسیلاژ دانه چیا می تواند برای تهیه فیلمهای خوراکی استفاده شود. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که روش اضافه کردن روغن گردو به ساختار فیلم خوراکی یک عامل مهم بر خواص فیزیکی فیلم است.

نتایج استحکام کششی (ماکزیمم تنش) فیلمهای مختلف در شکل (۷-ب) نشان داده شده است. استحکام کششی فیلم شاهد دارای اختلاف معنی داری ( $p < 0.05$ ) در مقایسه با فیلم های دولایه و ترکیبی داشت. همچنین از لحاظ استحکام کششی، اختلاف معناداری ( $p > 0.05$ ) بین فیلم های دولایه و ترکیبی مشاهده نشد. ماکزیمم تنش (استحکام کششی) بین فیلم های دولایه و ترکیبی با افزودن امولسیون روغن گردو کاهش پیدا کرد. همان طور که در شکل (۷-ج) نشان داده شده است اختلاف معناداری در سه فیلم شاهد، دولایه و ترکیبی در سطح ( $p < 0.05$ ) از نظر مدول یانگ وجود داشت فیلم های شاهد مدول یانگ بالاتری نسبت به فیلم های دولایه و ترکیبی داشتند همچنین فیلم های ترکیبی، مدول یانگ بالاتری نسبت به فیلم های دولایه داشتند این نشان می دهد افزودن امولسیون به فیلم سدیم کربوکسی متیل سلولز موجب ساختار فشرده تر در فیلم های ترکیبی نسبت به فیلم های دولایه می شود این می تواند ناشی از ایجاد ناپیوستگی در فیلم های دولایه و ترکیبی با افزودن امولسیون باشد. در پژوهشی، میرزایی مقدم (۲۰۱۹)، گزارش داد که افزودن روغن ماهی به پاستیل باعث کاهش مدول یانگ شده است (Mirzaee Moghaddam, 2019). ابراهیم زاده و همکاران (۲۰۲۱)، طی تحقیقات خود بر روی فیلم دولایه بیان کردند که افزودن اسانس به فیلم باعث برهمکنش های ضعیف بین پلیمر و اسانس نسبت به برهمکنش قوی بیوپلیمر می شود و باعث کاهش استحکام کششی در فیلم های حاوی اسانس می شود. همچنین بیان کردند افزودن اسانس به فیلم در فیلم دولایه باعث افزایش کرنش در فیلم دولایه می شود که این می تواند به دلیل خاصیت پلاستی سائیزی اسانس باشد (Ebrahimzadeh, Bari, Hamishehkar, Kafil, & Lim, 2021). گالوس و همکاران (۲۰۱۶)، فیلم خوراکی آب پنیر با درصد های مختلف روغن کلزا را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که با افزایش درصد روغن کلزا تا ۲ درصد مدول یانگ کاهش پیدا می کند و با افزودن روغن

## ۶-منابع

- [1] Hosseini Adarmanabadi, S. M. H., Karami Gilavand, H., Taherkhani, A., Sadat Rafiei, S. K., Shahrokhi, M., Faaliat, S., ... Deravi, N. (2023). Pharmacotherapeutic potential of walnut (*Juglans* spp.) in age-related neurological disorders. *IBRO Neuroscience Reports*, 14, 1–20. doi:10.1016/j.ibneur.2022.10.015
- [2] Xia, T., Xue, C., & Wei, Z. (2021). Physicochemical characteristics, applications and research trends of edible Pickering emulsions. *Trends in Food Science & Technology*, 107, 1–15. doi:10.1016/j.tifs.2020.11.019
- [3] Gao, J., Bu, X., Zhou, S., Wang, X., Bilal, M., Hassan, F. U., Chelgani, S. C. (2022). Pickering emulsion prepared by nano-silica particles – A comparative study for exploring the effect of various mechanical methods. *Ultrasonics Sonochemistry*, 83, 105928. doi:10.1016/j.ultsonch.2022.105928
- [4] Cheng, Y., Cai, X., Zhang, X., Zhao, Y., Song, R., Xu, Y., & Gao, H. (2024). Applications in Pickering emulsions of enhancing preservation properties: Current trends and future prospects in active food packaging coatings and films. *Trends in Food Science & Technology*, 151, 104643. doi:10.1016/j.tifs.2024.104643
- [5] Orona-Tamayo, D., & Paredes-López, O. (2024). Chia—The New Golden Seed for the 21st Century: Nutraceutical Properties and Technological Uses. In *Sustainable Protein Sources* (pp. 443–470). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-323-91652-3.00005-8
- [6] Mensah, E. O., Oludipe, E. O., Gebremeskal, Y. H., Nadtochii, L. A., & Baranenko, D. (2024). Evaluation of extraction techniques for chia seed mucilage; A review on the structural composition, physicochemical properties and applications. *Food Hydrocolloids*, 153, 110051. doi:10.1016/j.foodhyd.2024.110051
- [7] Karimi Sani, I., Masoudpour-Behabadi, M., Alizadeh Sani, M., Motalebinejad, H., Juma, A. S. M., Asdaghi, A., ... Mohammadi, F. (2023). Value-added utilization of fruit and vegetable processing by-products for the manufacture of biodegradable food packaging films. *Food Chemistry*, 405, 134964. doi:10.1016/j.foodchem.2022.134964
- [8] Chawla, R., Sivakumar, S., & Kaur, H. (2021). Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements- a review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100024. doi:10.1016/j.carpta.2020.100024
- [9] Yildirim-Yalcin, M., Tornuk, F., & Toker, O. S. (2022). Recent advances in the improvement of carboxymethyl cellulose-based edible films. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 179–193. doi:10.1016/j.tifs.2022.09.022
- [10] Erdem, B. G., & Kaya, S. (2022). Characterization and application of novel composite films based on soy protein isolate and sunflower oil produced using freeze drying method. *Food Chemistry*, 366, 130709. doi:10.1016/j.foodchem.2021.130709
- [11] Xiao, J., Zhang, M., Wang, W., Teng, A., Liu, A., Ye, R., Wu, X. (2019). An Attempt of Using  $\beta$ -Sitosterol-Corn Oil Oleogels to Improve Water Barrier Properties of Gelatin Film. *Journal of Food Science*, 84(6), 1447–1455. doi:10.1111/1750-3841.14621
- [12] Sun, J., Wang, L., Chen, H., & Yin, G. (2023). Preparation and Application of Edible Film Based on Sodium Carboxymethylcellulose-Sodium Alginate Composite Soybean Oil Body. *Coatings*, 13(10), 1716. doi:10.3390/coatings13101716
- [13] Mirzaee Moghaddam, H., & Rajaei, A. (2021). Effect of Pomegranate Seed Oil Encapsulated in Chitosan-capric Acid Nanogels Incorporating Thyme Essential Oil on Physicomechanical and Structural Properties of Jelly Candy. *Journal of Agricultural Machinery*, 11(2), 37-49. doi:10.22067/jam.v4i1.33163
- [14] Amalia, A. E., Syarifuddin, A., & Langkong, J. (2023). Physical mechanical properties of carrageenan/gelatine based edible film with addition of canola oil and gluten. In *Jurnal Teknologi* (Vol. 82, p. 040007). doi:10.1063/5.0119367
- [15] Sibeles Santos, F., da Silva Cardoso, P., Egea, M. B., Quintal Martínez, J. P., Segura Campos, M. R., & Otero, D. M. (2023). Chia mucilage carrier systems: A review of emulsion, encapsulation, and coating and film strategies. *Food Research International*, 172, 113125. doi:10.1016/j.foodres.2023.113125
- [16] Niu, H., Wang, W., Dou, Z., Chen, X., Chen, X., Chen, H., & Fu, X. (2023). Multiscale combined techniques for evaluating emulsion stability: A critical review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 311, 102813. doi:10.1016/j.cis.2022.102813
- [17] Sibeles Santos, F., Romani, V. P., da Silva Filipini, G., & G. Martins, V. (2020). Chia seeds to develop new biodegradable polymers for food packaging: Properties and biodegradability. *Polymer Engineering & Science*, 60(9), 2214–2223. doi:10.1002/pen.25464
- [18] Mirzaee Moghaddam, H. (2019). Investigation of PhysicoMechanical Properties of Functional Gummy Candy Fortified with Encapsulated Fish Oil in Chitosan-Stearic Acid Nanogel by Pickering Emulsion. *Food Science and Technology International*. Retrieved from <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-34530-en.html>
- [19] Vicente, J., Pereira, L. J. B., Bastos, L. P. H., de Carvalho, M. G., & Garcia-Rojas, E. E. (2018). Effect of xanthan gum or pectin addition on Sacha Inchi oil-in-water emulsions stabilized by ovalbumin or tween 80: Droplet size distribution, rheological

- behavior and stability. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 339–345. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.08.041
- [20] Amiri, Z. R., Nemati, A., Tirgarian, B., Dehghan, B., & Nasiri, H. (2021). Influence of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) extract-loaded nano-emulsion on the storage stability and antioxidant attributes of Doogh (Traditional Iranian yoghurt beverage). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 437–448. doi:10.1007/s11694-020-00647-2
- [21] Rahman, J. M. H., Shiblee, M. N. I., Ahmed, K., Khosla, A., Kawakami, M., & Furukawa, H. (2020). Rheological and mechanical properties of edible gel materials for 3D food printing technology. *Heliyon*, 6(12), e05859. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e05859
- [22] Chang, P. R., Yu, J., & Ma, X. (2009). Fabrication and Characterization of Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Carboxymethyl Cellulose Sodium and the Properties of Plasticized Starch Composite Films. *Macromolecular Materials and Engineering*, 294(11), 762–767. doi:10.1002/mame.200900138
- [23] Li, C., Wang, L., & Xue, F. (2019). Effects of Conjugation between Proteins and Polysaccharides on the Physical Properties of Emulsion-Based Edible Films. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(11), 1249–1263. doi:10.1002/aocs.12278
- [24] Moore, M. A., & Akoh, C. C. (2017). Enzymatic Interesterification of Coconut and High Oleic Sunflower Oils for Edible Film Application. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(4), 567–576. doi:10.1007/s11746-017-2969-z
- [25] Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. M. H. (2010). Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chemistry*, 122(1), 161–166. doi:10.1016/j.foodchem.2010.02.033
- [26] Álvarez, S., Weng, S., Álvarez, C., Marcet, I., Rendueles, M., & Díaz, M. (2021). A new procedure to prepare transparent, colourless and low-water-soluble edible films using blood plasma from slaughterhouses. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100639. doi:10.1016/j.foodpsl.2021.100639
- [27] Kaewprachu, P., Osako, K., Tongdeesoontorn, W., & Rawdkuen, S. (2017). The effects of microbial transglutaminase on the properties of fish myofibrillar protein film. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 91–99. doi:10.1016/j.foodpsl.2017.04.002
- [28] Loi, C. C., Eyres, G. T., & Birch, E. J. (2019). Effect of mono- and diglycerides on physical properties and stability of a protein-stabilised oil-in-water emulsion. *Journal of Food Engineering*, 240, 56–64. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.07.016
- [29] Hong, I. K., Kim, S. I., & Lee, S. B. (2018). Effects of HLB value on oil-in-water emulsions: Droplet size, rheological behavior, zeta-potential, and creaming index. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 67, 123–131. doi:10.1016/j.jiec.2018.06.022
- [30] Low, L. E., Siva, S. P., Ho, Y. K., Chan, E. S., & Tey, B. T. (2020). Recent advances of characterization techniques for the formation, physical properties and stability of Pickering emulsion. *Advances in Colloid and Interface Science*, 277, 102117. doi:10.1016/j.cis.2020.102117
- [31] Borrin, T. R., Georges, E. L., Moraes, I. C. F., & Pinho, S. C. (2016). Curcumin-loaded nanoemulsions produced by the emulsion inversion point (EIP) method: An evaluation of process parameters and physico-chemical stability. *Journal of Food Engineering*, 169(1), 1–9. doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.08.012
- [32] Li, Y., & Xiang, D. (2019). Stability of oil-in-water emulsions performed by ultrasound power or high-pressure homogenization. *PLOS ONE*, 14(3), e0213189. doi:10.1371/journal.pone.0213189
- [33] Ghanbarzadeh, B., & Almasi, H. (2011). Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48(1), 44–49. doi:10.1016/j.ijbiomac.2010.09.014
- [34] Xiao, J., Wang, W., Wang, K., Liu, Y., Liu, A., Zhang, S., & Zhao, Y. (2016). Impact of melting point of palm oil on mechanical and water barrier properties of gelatin-palm oil emulsion film. *Food Hydrocolloids*, 60, 243–251. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.03.042
- [35] Pérez-Mateos, M., Montero, P., & Gómez-Guillén, M. C. (2009). Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. *Food Hydrocolloids*, 23(1), 53–61. doi:10.1016/j.foodhyd.2007.11.011
- [36] Sahraee, S., Milani, J. M., Ghanbarzadeh, B., & Hamishehkar, H. (2017). Effect of corn oil on physical, thermal, and antifungal properties of gelatin-based nanocomposite films containing nano chitin. *LWT - Food Science and Technology*, 76, 33–39. doi:10.1016/j.lwt.2016.10.028
- [37] Nilsuwan, K., Benjakul, S., & Prodpran, T. (2016). Influence of palm oil and glycerol on properties of fish skin gelatin-based films. *Journal of Food Science and Technology*, 53(6), 2715–2724. doi:10.1007/s13197-016-2243-7
- [38] Valencia-Sullca, C., Vargas, M., Atarés, L., & Chiralt, A. (2018). Thermoplastic cassava starch-chitosan bilayer films containing essential oils. *Food Hydrocolloids*, 75, 107–115. doi:10.1016/j.foodhyd.2017.09.008
- [39] Sani, I. K., Pirsá, S., & Tağı, Ş. (2019). Preparation of chitosan/zinc oxide/*Melissa officinalis* essential oil nano-composite film and evaluation of physical, mechanical and antimicrobial properties by response surface method. *Polymer Testing*, 79,

106004. doi:10.1016/j.polymertesting.2019.106004  
[40] Akhter, R., Masoodi, F. A., Wani, T. A., & Rather, S. A. (2019). Functional characterization of biopolymer based composite film: Incorporation of natural essential oils and antimicrobial agents. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 1245–1255. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.06.214  
[41] Ebrahimzadeh, S., Bari, M. R., Hamishehkar, H., Kafil, H. S., & Lim, L.-T. (2021). Essential oils-loaded electrospun chitosan-poly(vinyl alcohol) nonwovens laminated on chitosan film as bilayer bioactive edible films. *LWT*, 144, 111217. doi:10.1016/j.lwt.2021.111217  
[42] Galus, S., & Kadzińska, J. (2016). Moisture Sensitivity, Optical, Mechanical and Structural

Properties of Whey Protein-Based Edible Films Incorporated with Rapeseed Oil. *Food Technology and Biotechnology*, 54(1). doi:10.17113/ftb.54.01.16.3889



## Scientific Research

## Investigation of the possibility of producing a stabilized walnut oil emulsion with chia seed mucilage and its application in edible films

Arian Nahalkar<sup>1</sup>, Ahmad Rajaei<sup>2\*</sup>, Hossein Mirzaee Moghaddam<sup>3\*</sup>

1- Master of Food Science and Engineering, School of Agricultural Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

2 -Associate Professor, School of Agricultural Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

3- Assistant Professor, School of Agricultural Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

| ARTICLE INFO                                                                                                                      | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article History:</b></p> <p>Received:2024/12/28</p> <p>Accepted:2025/1/27</p>                                               | <p>In this study, walnut oil emulsions stabilized with chia seed mucilage with different oil percentages (10, 20, 30 and 50%) were prepared by the Pickering method. Then, the best emulsion was used in the preparation of bilayer and combined edible films based on sodium carboxymethyl cellulose, and the effect of this oil emulsion on the physical properties (permeability, contact angle, turbidity, tensile strength, strain at break and Young's modulus) of the produced films was investigated. The results showed that the walnut oil emulsion with 10% oil had the highest stability after 14 days. Moreover, the droplet size (<math>D_{50}</math>) of the emulsion (10% oil) was 886 nm, which was in the range of below one micrometer. Then, the walnut oil emulsion stabilized with chia seed mucilage (10% oil) was added to the edible films based on sodium carboxymethyl cellulose in bilayer and combined form. The results showed that adding walnut oil emulsion to sodium carboxymethyl cellulose films in a combined form increased turbidity and yellowness index compared to the bilayer films. There was no significant difference (<math>p&gt;0.05</math>) in water vapor permeability between the bilayer and combined films, but the films containing walnut oil had lower water vapor permeability than the control sample. The results indicated a decrease in tensile strength in the bilayer and combined films with the addition of walnut oil emulsion. Furthermore, the bilayer film containing walnut oil emulsion had the lowest Young's modulus (41.68 MPa) and the highest strain at break point (0.18). In general, the findings of this study showed that valuable walnut oil in the form of an emulsion stabilized with chia seed mucilage in the structure of sodium carboxymethyl cellulose edible films not only can create an edible film, but also improve the physical properties of the films.</p> |
| <p><b>Keywords:</b></p> <p>Sodium carboxymethyl cellulose, bilayer film, walnut oil, chia seed mucilage, physical properties.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p><b>DOI:</b> 10.22034/FSCT.22.161.260.</p> <p>*Corresponding Author E-<br/>ahmadrajaei@gmail.com<br/>Hosseinsg@yahoo.com</p>    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |