

## Investigation the Physical, Antioxidant and Mechanical Properties of Active Pectin Film Containing Peppermint and Fennel Essential Oil

AFSHAR ASDAGH<sup>1</sup>, SAJAD PIRSA<sup>2\*</sup>

1. MSc student, Department of food science and technology, faculty of agriculture, Urmia university, Urmia, Iran,
2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

(Received: Apr. 24, 2018- Revised: Aug. 17, 2018- Accepted: Aug. 21, 2018)

### ABSTRACT

In this research, peppermint and fennel essential oil (0.5, 1.5, and 1.5%) was used separately and in combination in pectin film to change the functional properties of films. The results showed that the addition of peppermint and fennel essential oil to the film caused a significant decrease in solubility and moisture content of the film ( $p < 0.01$ ). The effect of fennel essential oil on reducing the solubility was higher than peppermint. By increasing the concentrations of essential oil in the film, the opacity of films was increased from  $0.72 \text{ Au.nm}^{-1}$  to  $5.97 \text{ Au.nm}^{-1}$ , but the use of the combination of essential oil in the film formed homogeneous emulsion and had less effect on opacity. The FTIR analysis showed a new interaction between essential oils and pectin. The most antioxidant activity was found in films containing 1.5% fennel essential oil, the phenolic compounds confirmed the antioxidant activity of the essential oil, the phenolic compounds content was (385/71 mg/g Gallic acid) for fennel and peppermint (322/83 mg/g Gallic acid). Water vapor permeability was decreased 50% by adding essential oil in films. In the results of mechanical properties, the elongation percentage of pectin films increased significantly by addition the essential oil ( $p < 0.01$ ), but the tensile strength and elastic modulus decreased. In terms of color changes, light absorption by phenolic compounds of essential oil decreased the yellowness index compared with the control sample, total color difference in the film containing essential oil, was higher than control films due to the presence of essential oil, the yellowness index and white index in the films containing essential oil decreased and increased, respectively.

**Keywords:** Fennel, Peppermint, Physicochemical Properties, Mechanical Properties

\* Corresponding Author's Email: pirs7@gmail.com

## بررسی خواص فیزیکی، آنتی اکسیدانی و مکانیکی فیلم فعال پکتین حاوی اسانس نعناع فلفلی و رازیانه

افشار اصدق قزاقپان<sup>۱</sup>، سجاد پیرسا<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲. استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۵/۳۰)

### چکیده

در این پژوهش اسانس نعناع فلفلی، رازیانه در سطوح (۰/۵، ۱، ۱/۵ درصد) به صورت جدا و ترکیبی در فیلم خوراکی پکتین به منظور تغییر خواص عملکردی فیلم‌ها به کار گرفته شد. نتایج بدست آمده نشان داد که افزودن اسانس نعناع فلفلی و رازیانه به فیلم سبب کاهش معنی‌دار در میزان حلالیت و رطوبت فیلم شد ( $p < 0/05$ ). تأثیر اسانس رازیانه در کاهش حلالیت بیشتر از اسانس نعناع فلفلی بود. با افزایش غلظت اسانس‌ها در فیلم کدورت از  $0/72 \text{ Au.nm}^{-1}$  تا  $0/72 \text{ Au.nm}^{-1}$  افزایش یافت ولی استفاده از ترکیب اسانس‌ها در فیلم به سبب تشکیل امولسیون همگن‌تر باعث افزایش کمتر کدورت شد. نتایج آزمون FTIR نشان دهنده برهمکنش جدید بین اسانس‌ها با پلیمر پکتین بود. بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی در فیلم‌های حاوی ۱/۵ درصد اسانس رازیانه ایجاد شد، اندازه‌گیری ترکیبات فنولی صحت فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس‌ها را تایید کرد که مقدار ترکیبات فنولی برای رازیانه (گالیک اسید  $385/71 \text{ mg/g}$ ) و نعناع فلفلی (گالیک اسید  $322/83 \text{ mg/g}$ ) بود. مقدار نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌های حاوی اسانس تا ۵۰ درصد کاهش یافت. در نتایج حاصل از خواص مکانیکی، درصد کشسانی فیلم‌های پکتین با افزودن اسانس به طور معنی‌داری افزایش یافت ( $p < 0/05$ )، ولی استحکام کششی و مدول الاستیک کاهش یافت. از لحاظ تغییرات رنگ، جذب نور توسط ترکیبات فنولیک اسانس سبب کاهش در پارامتر زردی نسبت به نمونه شاهد بود، اختلاف رنگ کلی در فیلم حاوی اسانس، به دلیل وجود اسانس بیشتر از فیلم‌های بدون اسانس بود، اندیس زردی و اندیس سفیدی در فیلم‌های دارای اسانس به ترتیب کاهش و افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: رازیانه، نعناع فلفلی، ویژگی فیزیکی‌شیمیایی، خواص مکانیکی

### مقدمه

امروزه تحقیق روی تکنولوژی‌های جدید جهت حفظ و نگهداری مواد غذایی، به خصوص در جهت غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها، آنزیم‌ها و اکسیداسیون که بر ارزش تغذیه‌ای محصولات غذایی تأثیرگذار است، اهمیت ویژه‌ای دارد. برخی از این تکنولوژی‌ها مانند فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی توانایی افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی را بدون اثر گذاشتن روی کیفیت آنها دارند (Alikhani, 2014). فیلم‌های خوراکی بر پایه پلیمرهای طبیعی از ترکیبات پروتئینی، لیپیدی و پلی ساکارید-های حاصل از حیوانات، گیاهان و میکروب‌ها (Aldana et al., 2015) تهیه می‌شوند. اسانس‌های روغنی گیاهان به دلیل فعالیت ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی آنها در جهت کنترل پاتوژن‌های غذایی و جلوگیری از اکسیداسیون غذاها به دلیل

وجود گروه‌های هیدروژن‌دار در ساختار آنها در سال‌های اخیر مورد توجه مصرف کنندگان قرار گرفته است. این ترکیبات می‌توانند فرآورده‌های غذایی را از انتقال رطوبت، رشد میکروبی روی سطح غذا و تغییرات شیمیایی جزئی به وجود آمده از اکسیداسیون مواد غذایی محافظت کنند (Gyawali & Ibrahim, 2014).

پلی ساکارید پکتین در دیواره سلولی گیاهان عالی یافت می‌شود، این پلی ساکارید دارای ویژگی‌های عملکردی متعددی در گیاه می‌باشد و در تعیین ویژگی‌های مکانیکی و آب‌گیری دیواره سلولی شرکت میکند (Jolie et al., 2010). از لحاظ صنعتی پکتین به عنوان عامل ژل‌دهنده یا قوام‌دهنده در محصولاتی مانند مربا، نوشیدنی‌های میوه، بستنی و همچنین در محصولات دارویی استفاده می‌شود (Concetta et al., 2007). از نظر شیمیایی پکتین، از واحدهای آلفا ۱-۴ گالاکتورونیک اسید تشکیل شده است. پکتین استخراج شده از منابع مختلف خصوصیات متفاوتی اعم از وزن مولکولی، درجه استریفیکاسیون،

حاوی ژلاتین استفاده کردند، فیلم تهیه شده از رازیانه دارای خاصیت ضد میکروبی بود و باعث کاهش خاصیت آبدوستی فیلم‌ها شد. Nisar و همکاران، ۲۰۱۸، از اسانس میخک (در سطوح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) در فیلم فعال پکتین استفاده کرده و خصوصیات کیفی آن را مورد بررسی قرار داده‌اند. افزودن اسانس میخک و افزایش سطوح آن باعث ایجاد ساختار هتروژن شد و در نتیجه میزان کدورت فیلم بیشتر گشت همچنین با اضافه نمودن اسانس میخک به فیلم پکتین باعث مقاومت فیلم در برابر شکستگی و انعطاف‌پذیری بیشتر آن شد. آخوندی و نفتچی، ۱۳۹۲، در بررسی خود از اسانس نعناع فلفلی در فیلم نشاسته کاساوا در سطوح ۱-۳ درصد استفاده کردند. نتایج بررسی آنها نشان‌دهنده کاهش استحکام کششی و مدول یانگ و افزایش درصد کشسانی بود، همچنین میزان جذب آب، حلالیت و شفافیت فیلم‌های نشاسته کاساوا حاوی اسانس نعناع فلفلی، با افزایش غلظت کاهش یافت. هدف از این مطالعه تولید فیلم حاوی اسانس بر پایه پلی‌ساکارید پکتین و بررسی تأثیر اسانس نعناع فلفلی و رازیانه بر ویژگی فیزیکی شیمیایی و مکانیکی فیلم زیستی و معرفی آن به عنوان بسته‌بندی فعال نوین می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### مواد

گیاه نعناع فلفلی و دانه رازیانه از شهرستان ارومیه تهیه گردیدند و استخراج اسانس از آنها انجام گرفت. پکتین پوست مرکبات از شرکت سیگما آلدردیج خریداری شد. سایر ترکیبات شیمیایی شامل متانول، کربنات سدیم، معرف فولین کالچو، کلروفرم، سولفات کلسیم، نیتريت کلسیم، گلیسرول، توتین ۸۰ و رادیکال آزاد DPPH از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

### استخراج اسانس

برای استخراج اسانس از روش تقطیر با آب از دستگاه کلونجر به مدت ۴ ساعت استفاده شد، اسانس به دست آمده پس از خالص‌سازی در دمای ۴۰°C تا انجام آزمایشات در شیشه مات همراه با فولین آلومینیومی نگه داری شد (Kazemi, 2014).

### اندازه‌گیری میزان فنل کل ترکیبات

جهت اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل از معرف فولین کالچو استفاده شد، ۰/۵ میلی‌گرم از نمونه اسانس با ۵ میلی‌لیتر از معرف فولین-کالچو (که با آب مقطر ۱۰ برابر رقیق شده بود) و ۴ میلی‌لیتر از محلول کربنات سدیم ۱ مولار به خوبی مخلوط شد، مخلوط به مدت نیم ساعت در دمای اتاق قرار گرفت، سپس مقدار جذب توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر

مقدار قند طبیعی، توزیع گروه‌های متوکسیل و کربوکسیل و خصوصیات عملگرایی مختلف نشان می‌دهد (Concetta et al., 2007; Mishra et al., 2012). پکتین منشأ پلی ساکاریدی دارد، فیلم‌های پلی ساکاریدی به دلیل خاصیت آبدوستی در برابر بخار آب نفوذپذیر می‌باشند، بنابراین برای بهبود خواص مانع‌کنندگی این فیلم‌ها میتوان از مواد آب‌گریز مانند اسانس‌های روغنی استفاده کرد (González et al., 2011).

نعناع با نام علمی *Mentha piperita* متعلق به خانواده بازدانگان می‌باشد. نعناع در لیست GRAS سازمان FAO قرار دارد و به عنوان گیاه سالم شناخته شده است، کل گیاه دارای خواص مفیدی است که به صورت گسترده در صنعت آرایشی-بهداشتی، داروسازی و صنایع غذایی کاربرد دارد. ترکیبات شیمیایی فعال نعناع فلفلی شامل، منوترپن‌ها، کافئیک اسیدها، فلاونوئیدها، تانن‌ها و روغن‌های فعال مانند منتول است، ترکیبات دیگر نعناع فلفلی شامل پلی‌فنل‌های پلیمریزه شده، کاروتن‌ها، توکوفرول‌ها، بتائین و کولین می‌باشد (Gardiner, 2004) (Tyagi & Malek (2011) ترکیبات اساسی موجود در اسانس نعناع را با استفاده از دستگاه GC و GC-MS شناسایی کرده و بیان کردند که این ترکیبات شامل  $\alpha$ -پینن،  $\beta$ -پینن، لیمونن، ایزومنتون، متیل استات و منتول می‌باشند. در مطالعه-ای (Moosavian et al. (2017) اسانس نعناع فلفلی را در فیلم نشاسته کاساوا استفاده کرده و اعلام کردند افزودن اسانس باعث کاهش ویژگی آبدوستی فیلم و افزایش مقاومت فیلم در برابر رطوبت و بخار شد.

رازیانه (Fennel) با نام علمی *Foeniculum vulgare* گیاهی چندساله، علفی و معطر که از خانواده چتریان است، به دلیل کاربردهای متعدد آن در داروسازی، صنایع غذایی و آرایشی-بهداشتی استفاده از آن گسترش یافته است. از نظر ترکیبات شیمیایی، تخم آن دارای اسانس روغنی فرار است که قسمت عمده آن آنتول است (Mir Heidar, 2000). در اسانس رازیانه ۲۲ ترکیب شناسایی شده است که درصد آن‌ها طی مراحل مختلف رشد تغییراتی دارند، ولی عمده‌ی ترکیب آن در تمام مراحل مختلف رشد شامل آنتول، لیمونن، فنچون، استراگول و آلفاپینن می‌باشد (Sefidkan, 2000). قسمت مورد استفاده گیاه رازیانه دانه و میوه‌های آن است. Ouariachi et al. (2014) به بررسی ترکیبات شیمیایی و خواص آنتی اکسیدانی اسانس رازیانه پرداختند در نتایج آنها بیشترین ترکیب موجود در اسانس لیمونن و بتاپینن بود، همچنین اسانس دانه این گیاه به دلیل وجود ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی دارای خاصیت آنتی اکسیدانی بود. (Jalali et al. (2013) از عصاره رازیانه در فیلم

۳۲ کبزر انجام گرفت (Sukhtezari et al., 2017).

#### آنالیز ترکیب اسانس رازیانه و نعنای فلفلی

آنالیز ترکیب اسانس رازیانه و نعنای فلفلی توسط دستگاه کروماتوگراف گازی متصل به طیفنگار جرمی (Agilent5975C، آمریکا) انجام شد. دستگاه کروماتوگراف با سیستم تله یونی و ستون HP-5MS به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر و برنامه حرارتی ۴۰ تا ۲۴۰ درجه سانتی گراد با سرعت ۴ درجه سانتی گراد در دقیقه بود. گاز حامل هلیوم، سرعت جریان گاز ۱ میلی لیتر در دقیقه و انرژی یونیزاسیون در طیفسنج جرمی معادل ۷۰ الکترون ولت بود. درجه حرارت محفظه ی تزریق ۲۶۰ و دمای ترانسفرلاین ۲۶۰ درجه سانتی گراد تنظیم شد.

#### ضخامت فیلم

اندازه گیری ضخامت نمونه ها با استفاده از میکرومتر دیجیتالی (مدل DC-516) در ۵ نقطه به صورت تصادفی و حساسیت mm ۰/۰۰۱ اندازه گیری شد.

#### کدورت فیلم

خصوصیات عبور نور پکتین حاوی اسانس نعنای فلفلی و رازیانه در برابر نور مرئی و اشعه ماوراء بنفش بر اساس روش پیشنهاد شده توسط Peng & Li (2014) با استفاده از اسپکتروفتومتر UV ارزیابی شد. نوار فیلم مستطیلی در داخل سلول تست اسپکتروفتومتر قرار گرفت و جذب در طول موج ۶۰۰nm بررسی شد. کدورت فیلم ها با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

$$O = \frac{Abs_{600}}{L} \quad (\text{رابطه ۱})$$

O کدورت فیلم است، Abs مقدار جذب در ۶۰۰ نانومتر و L قطر نمونه فیلم بر حسب میلی متر است.

#### مقدار رطوبت

برای اندازه گیری رطوبت فیلم ابتدا نمونه فیلم با ابعاد ۲×۲ سانتی متر برش داده شد و وزن شد، سپس در آون در دمای ۱۱۰°C به مدت ۲۴ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد. در نهایت رطوبت فیلم از رابطه زیر به دست آمد:

$$\text{مقدار رطوبت} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

$M_1$  وزن اولیه نمونه و  $M_2$  وزن نمونه پس از خشک شدن می باشد (Nisar et al., 2018).

#### انحلال پذیری فیلم

نمونه های اولیه فیلم (۲×۲ سانتی متر) در دمای ۱۰۵°C به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شدند. سپس قطعات فیلم در ۵۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۶ ساعت در ۲۵°C قرار داده شدند.

قرائت شد. مقدار کل ترکیبات فلفلی با استفاده از معادله خط رسم شده، که  $R^2 = 0.9922$  و  $Y = 0.087X + 0.643$  بر مبنای گالیک اسید محاسبه شد (Dorman et al., 2003).

#### آماده سازی فیلم

فیلم پکتین با اندکی تغییرات طبق روش Nisar et al. (2018) تهیه شد برای آماده سازی فیلم ۲ درصد وزنی/حجمی پکتین در ۱۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۳۰°C با همزن مغناطیسی مخلوط شد، پس از سرد شدن ۴۰ درصد وزنی/وزنی ماده خشک گلیسرول اضافه شد و محلول به مدت ۱۰ دقیقه با همزن مخلوط گشت به این ترتیب فیلم شاهد تهیه شد. برای تهیه فیلم های حاوی اسانس نعنای فلفلی و رازیانه طبق روش فوق بعد از مخلوط شدن گلیسرول به محلول حاصل غلظت اسانس های نعنای فلفلی و رازیانه به صورت جدول ۱ تهیه شد و برای غلظت های (۰/۵، ۱، ۱/۵) درصد اسانس به ترتیب (۰/۲۰٪، ۱۰٪، ۶٪) ماده خشک (اسانس) توئین ۸۰ به عنوان امولسیفایر اضافه شد، سپس توسط همزن با ۹۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه مخلوط شد و بصورت محلول های ۲۵ میلی لیتری در پلیت در دمای ۲۵°C ریخته و در طی ۷۲ ساعت خشک شد و در نهایت تا زمان انجام آزمایشات درون کیسه های زیپ دار نگهداری شد.

جدول ۱- نوع و غلظت اسانس به کار رفته در فیلم	
نوع اسانس	غلظت به کار رفته (%)
شاهد	۰
نعنای فلفلی	۰/۵
نعنای فلفلی	۱
نعنای فلفلی	۱/۵
رازیانه	۰/۵
رازیانه	۱
رازیانه	۱/۵
نعنای فلفلی+رازیانه	۰/۲۵ + ۰/۲۵
نعنای فلفلی+رازیانه	۰/۵ + ۰/۵
نعنای فلفلی+رازیانه	۰/۷۵ + ۰/۷۵

#### آزمون FTIR

برای انجام این آزمون از اسپکتروفتومتر FTIR (Shimadzu 4100، ساخت کشور ژاپن) استفاده شد. حدود ۲ میلی گرم از هر فیلم به صورت آسیاب شده و با نسبت ۱:۱۰۰ با KBr مخلوط شد و به شکل قرصی با ضخامت ۱ میلی متر تبدیل شد. در ادامه این آزمون در محدوده ۴۰۰۰ تا ۵۰۰ کبزر و با تفکیک پذیری

سولفات کلسیم در داخل ویال، فشار بخار داخل ویال صفر در نظر گرفته شد. فشار بخار خارج فیلم نیز از حاصل ضرب رطوبت نسبی داخل دسیکاتور (۹۷ درصد) و فشار بخار آب خالص در دمای ۲۵°C به دست آمد.

$$WVP = \frac{S \times L}{\Delta P \times A \times 3600} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در این رابطه WVP نفوذ پذیری به بخار آب (g/Pa.m.s)، S شیب خط (g/h)، A سطح (m<sup>2</sup>)، L میانگین ضخامت (m)، ΔP گرادیان فشار جزئی بخار آب در دو طرف فیلم (Pa) و ۳۶۰۰ عدد ثابت برای تبدیل ساعت به ثانیه می-باشد.

### خواص مکانیکی

خواص مکانیکی فیلم‌ها توسط دستگاه آزمون مکانیکی Zwick/Roell (FR010, Germany) اندازه‌گیری شد (Ghanbarzadeh *et al.*, 2011) برای این کار از روش استاندارد شماره ASTM, D882-10 استفاده شد. قبل از انجام آزمایش‌های کشش، تمامی نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در رطوبت نسبی ۵۵ درصد (نیتريت کلسیم اشباع) واجد شرایط شدند، سپس سه نمونه از هر کدام از فیلم‌ها به شکل دمبلی با ابعاد ۸×۵ سانتی متر بریده شد و در بین دو فک دستگاه قرار گرفت. فاکتورهای درصد کشش و مدول الاستیسیته (مگاپاسکال) با دستگاه اندازه‌گیری شده و مقاومت کششی (Tensile Strength) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$TS = \frac{F}{w \times d} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در این رابطه TS مقاومت کششی بر حسب مگاپاسکال، F نیرو بر حسب نیوتن، d ضخامت و w عرض فیلم بر حسب متر می‌باشد.

### شاخص‌های رنگی در فیلم

اندازه‌گیری رنگ فیلم‌ها با استفاده از رنگ‌سنج (Minolta model CR - 410, Tokyo, Japan) انجام شد. پارامترهای L\* (روشنایی - تیرگی)، a\* (قرمز - سبز) و b\* (زرد - آبی) اندازه‌گیری شد. اختلاف رنگ کلی (دلتا E)، اندیس زردی (YI) و اندیس سفیدی (WI) به صورت زیر محاسبه شد:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$$YI = \frac{142/86 b}{L} \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (\text{رابطه ۹})$$

برای جدا کردن قطعات فیلم‌های باقی مانده از آب، از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ استفاده شد. وزن باقیمانده فیلم در دمای ۱۰۵°C به مدت ۲۴ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد. مقدار انحلال‌پذیری به عنوان تفاوت اولیه و نهایی وزن فیلم با توجه به وزن اولیه نمونه‌های فیلم با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$\text{انحلال‌پذیری} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

M<sub>1</sub> وزن اولیه نمونه و M<sub>2</sub> وزن نمونه پس از خشک شدن می‌باشد (Hosseini *et al.*, 2009).

### بررسی خواص آنتی اکسیدانی

اثر بخشی فیلم پکتین حاوی اسانس نعناع فلفلی و رازیانه برای تخریب رادیکال‌های DPPH طبق روش Ruiz-Navajas *et al.* (2013) با اندکی تغییر و استفاده از روش اسپکتروفتومتری بر اساس تغییر رنگ بنفش DPPH تعیین شد. ۲۵ میلی‌گرم از هر فیلم در ۴ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲ دقیقه حل شد، سپس ۲/۸ میلی‌لیتر از محلول عصاره فیلم با ۰/۲ میلی‌لیتر از محلول-های متانولی DPPH ۱ میلی‌مولار مخلوط شد. محلول‌ها به خوبی در ورتکس ۲۰۰۰rpm به مدت ۱ دقیقه حل شده سپس ۱ ساعت در مکان تاریک نگهداری شدند. کاهش جذب در ۵۱۷ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (Model T60 UV, USA) با فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{DPPH}(\%) = \frac{\text{جذب تیمار-جذب نمونه شاهد}}{\text{جذب نمونه شاهد}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

### نفوذ پذیری بخار آب

نفوذپذیری فیلم‌ها به بخار آب با روش Shojaee Aliabadi *et al.* (2013) اندازه‌گیری شد. برای این کار از ویال‌های مخصوصی با قطر ۲ سانتیمتر و ارتفاع ۴/۵ سانتیمتر استفاده شد. ۳ گرم سولفات کلسیم داخل هر ویال قرار داده شد، سپس ویال‌ها با تمام محتویاتش وزن شده و در درون دسیکاتور حاوی محلول اشباع سولفات پتاسیم قرار گرفتند. به مدت چهار روز هر چند ساعت یکبار وزن ویال‌ها اندازه‌گیری شد، منحنی افزایش وزن ویال‌ها با گذشت زمان رسم شد و پس از محاسبه رگرسیون خطی، شیب خط حاصل شده محاسبه گردید، از تقسیم کردن شیب خط مربوط به هر ویال به کل سطح فیلم که در معرض انتقال بخار آب قرار داشت، آهنگ انتقال بخار آب (WVTR<sup>1</sup>) به دست آمد. از تقسیم WVTR به اختلاف فشار بخار در دو طرف فیلم، نفوذپذیری به بخار آب (WVP<sup>۲</sup>) بدست آمد. بدلیل وجود

1. Water Vapour Tranmittance Rate  
2. Water Vapour Tranmittence

## طرح آماری

آزمایشات در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. اختلاف نمونه‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی-داری 95 درصد مقایسه شد، برای تحلیل آماری پارامترهای مورد مطالعه نرم افزار SPSS 20.0 استفاده شد.

## نتایج و بحث

## آزمون FTIR

شکل ۱ پیک‌های FTIR فیلم پکتین خالص، پکتین حاوی اسانس نعناع فلفلی، پکتین حاوی اسانس رازیانه و فیلم پکتین حاصل از برهمکنش اسانس نعناع فلفلی و رازیانه را نشان می‌دهد. شکل A طیف مربوط به فیلم پکتین خالص است که برهمکنش بین مولکولی و تغییرات ساختاری در ماتریکس فیلم را در سطح مولکولی نشان می‌دهد. تعداد پیک‌های جذبی وسیعی در ناحیه جذب بین  $3400-2500\text{ cm}^{-1}$  به دلیل برهمکنش بین مولکولی در میان مونومرهای پکتین خالص از طریق پیوند O-H دیده می‌شود. پیک جذب موجود در  $\text{cm}^{-1}$  2900 به ارتعاش C-H از گروه‌های متیلن در زنجیره‌های پلیمری اشاره دارد. (نیسار و همکاران 2018). پیک جذب در ناحیه  $\text{cm}^{-1}$  1626 به ارتعاش گروه کربوگسیل اشاره دارد و در نهایت جذب در ناحیه  $\text{cm}^{-1}$  1456 ارتعاش کششی گروه C=H را نشان می‌دهد (Manrique and Lajol, 2002).

طیف B مربوط به فیلم پکتین حاوی اسانس نعناع فلفلی است. نتایج به دست آمده نشان داد پیک‌های جذبی در ناحیه  $1043-920$  و  $1255-1475\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به ارتعاشات استری P-OR و ارتعاشات کششی نامتقارن و متقارن از گروه‌های متیلن و نیز ارتعاشات خمشی نامتقارن و متقارن از گروه‌های متیل می‌باشد. پیک جذب در ناحیه  $\text{cm}^{-1}$  1643 نیز در ارتباط با ارتعاش گروه C=C است (Jahed و همکاران 2017). در فیلم مرکب پکتین حاوی اسانس نعناع فلفلی، برهمکنش بین غلظت 1/5٪ اسانس و پکتین باعث شد که پیک جذب مربوط به ارتعاش استری P-OR و ارتعاشات نامتقارن و متقارن از گروه‌های متیلن و متیل نسبت به فیلم پکتین خالص شدیدتر باشد (Yuen و همکاران 2009). پیک جذب در ناحیه  $\text{cm}^{-1}$  1706-1740 نیز به ارتعاشات کششی و دیمری کتون‌ها و کربوکسیلیک اسیدها اشاره دارد. حضور اسانس همچنین موجب تغییراتی در پیک‌های جذبی ناحیه بین  $\text{cm}^{-1}$  2870-3426 شده است که تغییر شکل پیک‌ها مربوط به ارتعاش کششی گروه C-H می‌باشد (Vlachos et al., 2006).

طیف C مربوط به فیلم پکتین حاوی اسانس رازیانه است

که برهمکنش بین غلظت 1/5٪ اسانس رازیانه و پلیمر پکتین را نشان می‌دهد حاصل این برهمکنش ایجاد پیک‌های جذبی در ناحیه  $\text{cm}^{-1}$  1036، 1247، 1511، 1610، 2924 و 3438 بود که به ترتیب به ترکیبات آلیفاتیک فلوریک، ارتعاش گروه‌های C-O از (الکل‌ها، استرها، کربوکسیلیک اسیدها و اترها)، ارتعاش کششی ترکیبات نیترو، ارتعاش کششی گروه‌های C=C، ارتعاش C-H از گروه‌های متیل در زنجیره‌های پلیمری و پیوند هیدروژنی الکل و فنل‌ها اشاره داشت (Hussein و همکاران 2016)، همچنین نتایج حاصل از شکل نشان می‌دهد که شدت اثر ارتعاشات در پیک‌های جذبی حاصل از اسانس رازیانه در پلیمر پکتین کمتر از شدت اثر اسانس نعناع فلفلی در این پلیمر بود و نیز پیک‌های جذبی در فیلم‌های اسانس رازیانه در درجات پایین‌تری نسبت به فیلم‌های حاوی اسانس نعناع فلفلی صورت گرفت.

طیف D اثر برهمکنش همزمان غلظت 1/5٪ اسانس نعناع فلفلی و غلظت 1/5٪ اسانس رازیانه را در فیلم پکتین نشان می‌دهد. در این طیف پیک جذب در  $\text{cm}^{-1}$  1033 و 1743 به ترتیب شدت اثر جذب بیشتر ترکیبات آلیفاتیک فلوریک از اسانس رازیانه و ارتعاشات کششی گروه‌های C=O کتون‌ها از اسانس نعناع فلفلی را نشان می‌دهد و نیز پیک جذب در  $\text{cm}^{-1}$  2364 و 2925 به ارتعاشات کششی متقارن و نامتقارن گروه  $\text{CO}_2$  و گروه C-H آلکان‌ها اشاره دارد (Pramila et al., 2012). در نهایت پیک جذب  $\text{cm}^{-1}$  3409 به ارتعاشات کششی O-H از گروه‌های هیدروکسیل مربوط می‌باشد که برجستگی جذب پیک در نتیجه اثر همزمان برهمکنش اسانس نعناع فلفلی و اسانس رازیانه با پکتین بیشتر از شدت اثر جذب پیک توسط هر اسانس به تنهایی با پلیمر پکتین می‌باشد.

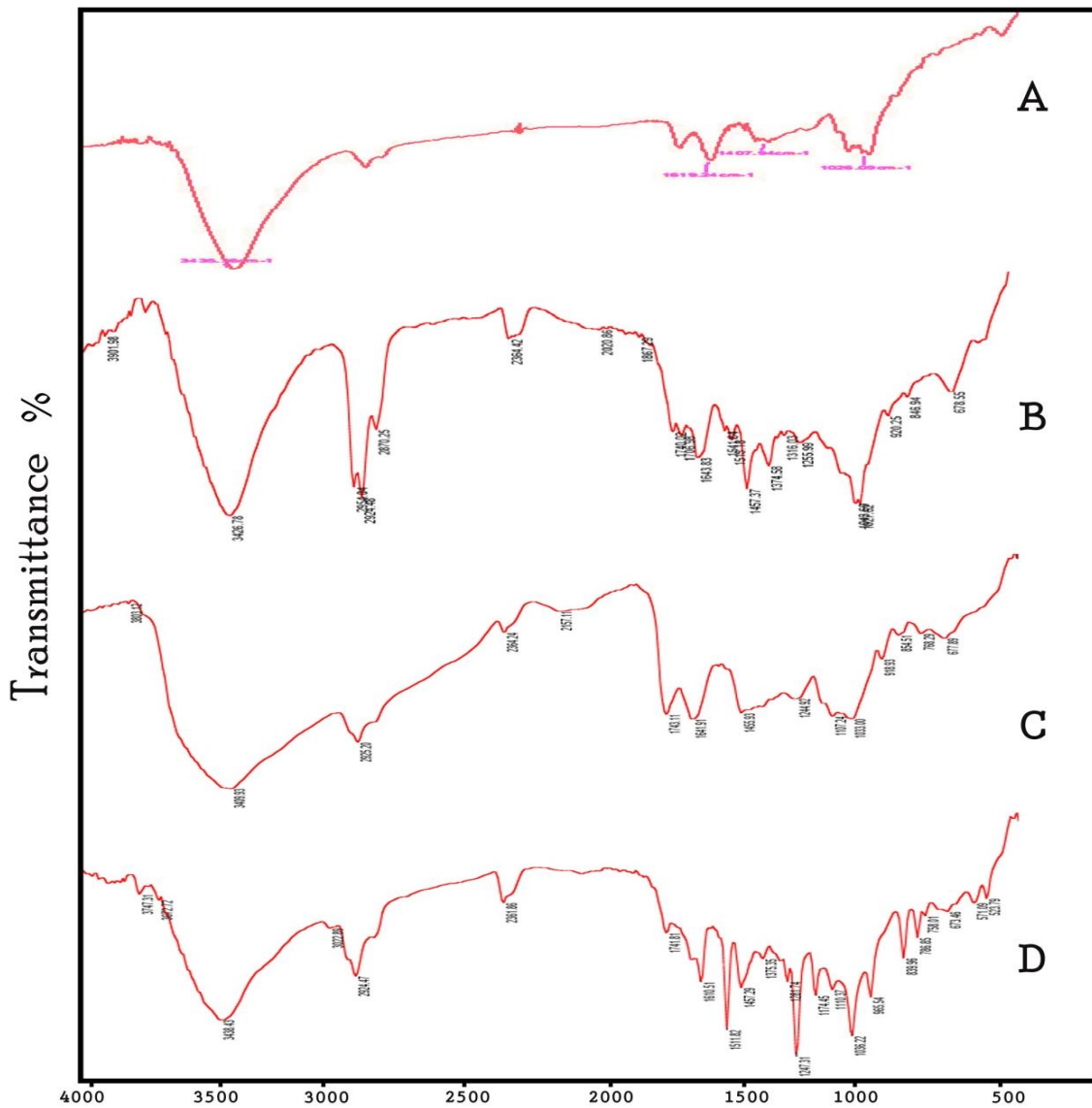
این مشاهدات نشان داد که ترکیب پکتین، اسانس نعناع فلفلی و رازیانه به دلیل ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی در گروه‌های OH از اسانس‌ها و پکتین سبب افزایش پیوندهای هیدروژنی در شبکه پلیمر پکتین شد و سبب کاهش تعداد گروه‌های هیدروژن آزاد گشت، در نهایت منجر به تولید فیلم‌هایی با خواص هیدرولیکی پایین شد و در نتیجه کاهش انحلال‌پذیری فیلم خوراکی را به همراه داشت.

## آزمون GC-MS

مهم‌ترین ترکیبات موجود در اسانس رازیانه و اسانس نعناع فلفلی در جدول ۲ آورده شده است، همچنین شکل ۲ و شکل ۳ به ترتیب کروماتوگرام GC-MS به دست آمده برای اسانس رازیانه و اسانس نعناع فلفلی می‌باشد. بیشترین درصد ترکیب

اسانس رازیانه مربوط به ترانس آن تول (Trans-anethole) به مقدار ۷۶/۶۰ درصد و بیشترین درصد ترکیب اسانس نعناع فلفلی نیز مربوط به منتول (Menthol) به مقدار ۳۹/۸۶ درصد بود. در همین راستا در مطالعه‌ای Sefidkan, 2000 به شناسایی ترکیبات موجود در اسانس رازیانه پرداخته و اعلام کردند که درصد ترکیبات موجود در اسانس در طی مراحل مختلف رشد تغییراتی داشته، ولی عمده‌ی ترکیب آن در تمام مراحل مختلف رشد شامل آن تول، لیمونن، فنچون، استراگول و آلفاپینن بود. (Ouariachi et al., 2014) در بررسی خود ترکیبات شیمیایی موجود در اسانس رازیانه را پرداختند در نتایج آنها بیشترین ترکیب موجود در اسانس لیمونن و بتاپینن بود. در بررسی ترکیبات شیمیایی و ضد قارچی اسانس نعناع فلفلی توسط

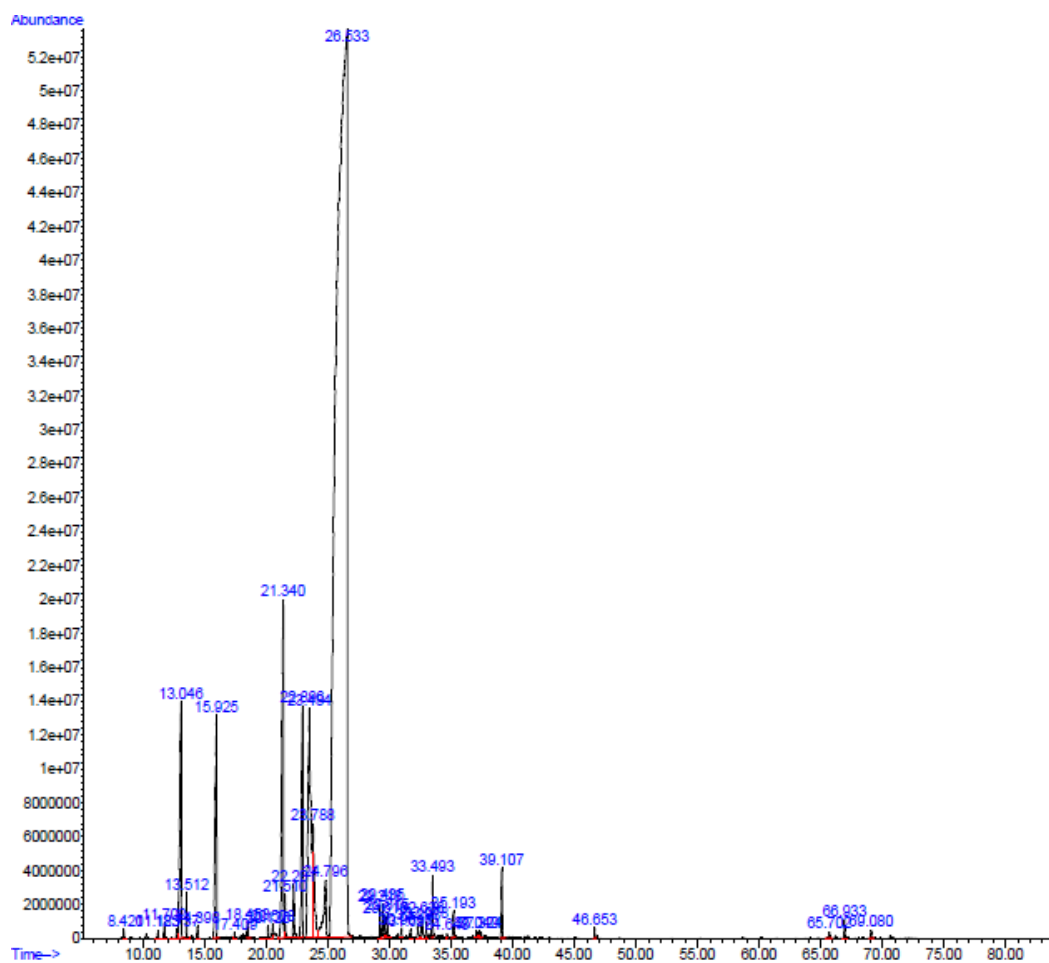
اسانس رازیانه مربوط به ترانس آن تول (Trans-anethole) به مقدار ۷۶/۶۰ درصد و بیشترین درصد ترکیب اسانس نعناع فلفلی نیز مربوط به منتول (Menthol) به مقدار ۳۹/۸۶ درصد بود. در همین راستا در مطالعه‌ای Sefidkan, 2000 به شناسایی ترکیبات موجود در اسانس رازیانه پرداخته و اعلام کردند که درصد ترکیبات موجود در اسانس در طی مراحل مختلف رشد تغییراتی داشته، ولی عمده‌ی ترکیب آن در تمام مراحل مختلف رشد شامل آن تول، لیمونن، فنچون، استراگول و آلفاپینن بود. (Ouariachi et al., 2014) در بررسی خود ترکیبات شیمیایی موجود در اسانس رازیانه را پرداختند در نتایج آنها بیشترین ترکیب موجود در اسانس لیمونن و بتاپینن بود. در بررسی ترکیبات شیمیایی و ضد قارچی اسانس نعناع فلفلی توسط



شکل ۱- طیف FT-IR مربوط به پکتین خالص (A)، پکتین حاوی اسانس نعناع فلفلی (B)، پکتین حاوی اسانس رازیانه (C)، فیلم پکتین حاصل از برهمکنش اسانس نعناع فلفلی و رازیانه (D)

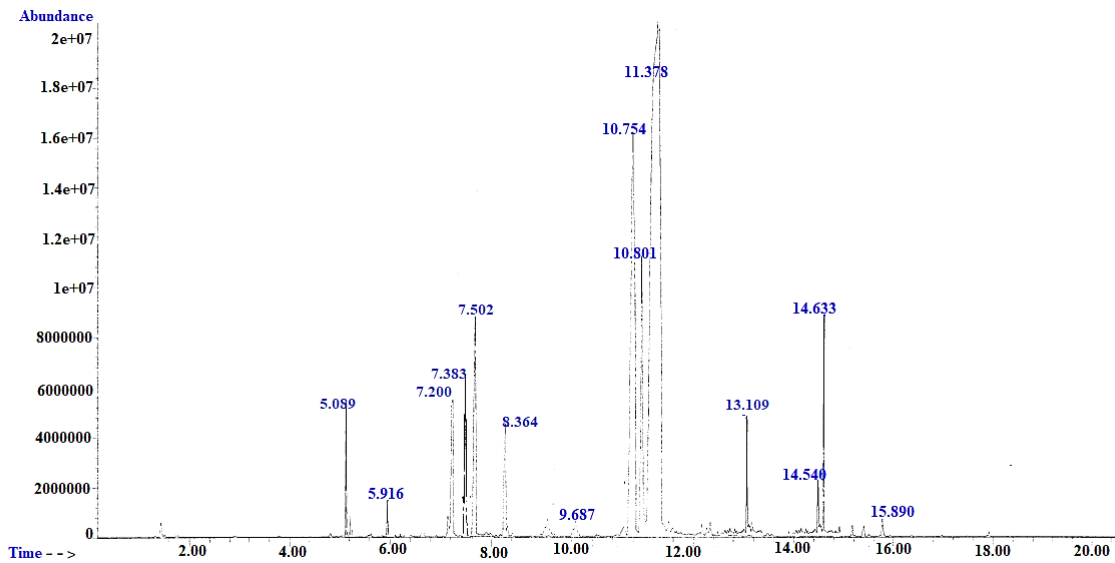
جدول ۲- درصد ترکیبات تشکیل دهنده اسانس رازیانه و نعنای فلفلی

اسانس نعنای فلفلی			اسانس رازیانه		
مقدار (%)	زمان بازدارنده	ترکیبات	مقدار (%)	زمان بازدارنده	ترکیبات
۰/۹۸	۵/۰۸۹	$\alpha$ -pinene	۰/۳۵	۸/۴۲	$\alpha$ -pinene
۰/۴۸	۵/۹۱۶	Sabinene	۲/۶۷	۱۳/۰۴۶	Limonene
۱/۰۴	۷/۲	$\beta$ -pinene	۴/۵۷	۱۵/۹۲۵	$\alpha$ - Fenchone
۳/۵۵	۷/۳۸۳	Limonene	۳/۹۶	۲۱/۳۴۰	Estragole
۵/۹	۷/۵۰۲	1-8 cineole	۰/۲۳	۲۱/۵۱۵	Cyclohexanone
۰/۸	۸/۳۶۴	$\gamma$ -terpinene	۰/۴	۲۲/۲	Fenchyl acetate
۰/۳۱	۹/۶۸۷	Linalool	۵/۲۸	۲۳/۴۸۳	2-Cyclohexenon
۱۸/۱۳	۱۰/۷۵۴	Mentone	۱/۱۹	۲۴/۷۹۶	Benzaldehyde
۸/۸۵	۱۰/۸۰۱	Neomenthol	۷۶/۶۰	۲۶/۵۳۳	Trans-anethole
۳۹/۸۶	۱۱/۳۷۸	Menthol	۱/۸	۳۹/۱۰۷	Benzene
۲/۳۷	۱۳/۱۰۹	Trance-beta-caryophyllene	۰/۵۹	۴۶/۶۵۳	Propanone
۷/۱۱	۱۴/۶۳۳	Menthyl acetate			
۰/۸۸	۱۴/۵۴۰	Germacrene			
۰/۳۹	۱۵/۸۹۰	Veridiflorol			



شکل ۲- کروماتوگرام اسانس رازیانه توسط دستگاه GC-MS





شکل ۳- کروماتوگرام اسانس نعناع فلفلی توسط دستگاه GC-MS

می‌گذارد. نتایج حاصل از اسکن اسپکتروسکوپی فیلم پکتین حاوی اسانس نعناع فلفلی، رازیانه و ترکیب اسانس‌ها نشان داد که افزودن اسانس باعث افزایش معنی‌دار در شدت کدورت فیلم‌ها شد ( $p < 0/05$ )، کدورت در فیلم حاوی ۱/۵ درصد اسانس نعناع فلفلی (۵/۹۷) بیشتر از غلظت ۱/۵ درصد اسانس رازیانه (۳/۳۵) بود. این رفتار می‌تواند به دلیل ترکیب، پراکندگی نور و توزیع مولکول‌های بزرگ چربی در طول فرآیند خشک شدن فیلم‌ها باشد (Ghanbarzadeh *et al.*, 2011). در مطالعه (fani et al. 2015) که اسانس مریم گلی و آوکادو به فیلم آلژینات افزوده شد نتایج نشان داد که برهمکنش بهتر اسانس بین ساختار پلیمر سبب کاهش پراکندگی و افزایش کدورت فیلم شد. در افزودن اسانس‌ها به صورت ترکیبی به دلیل مهاجرت مقداری از اسانس‌ها به سطح فیلم حین خشک کردن میزان پراکندگی نور افزایش و کدورت کمتر شد. نتایج داده‌ها در کاهش شفافیت در فیلم‌های ترکیبی و فیلم‌های حاوی اسانس با گزارش (Ma et al. 2016) در استفاده از امولسیون روغن سویا و اسانس دارچین در فیلم کیتوزان و اثر اسیدهای چرب و اسانس گیاهی (Bertan *et al.*, 2005) روی فیلم‌های کامپوزیتی بر پایه ژلاتین مشابهت داشت.

#### محتوای رطوبت

محتوای رطوبت معمولاً برای فیلم‌های خوراکی پارامتری ضروری می‌باشد، مقاومت به رطوبت در بسته‌بندی محصولات غذایی حائز اهمیت است. افزودن اسانس نعناع فلفلی و رازیانه به صورت جداگانه و ترکیبی باعث کاهش معنی‌دار در محتوای رطوبت فیلم پکتین شد ( $p < 0/05$ )، که دلیل آن ماهیت هیدروفوبیک اسانس بود که در اثر برهمکنش پکتین با اسانس

#### ضخامت

ضخامت یکی از فاکتورهای مهم در فیلم است که به طور مستقیم بر ویژگی‌های بیولوژیکی و ماندگاری محصول بسته‌بندی شده تأثیر می‌گذارد. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود اختلاف معنی‌داری بین ضخامت فیلم‌های حاوی اسانس نعناع فلفلی، رازیانه و ترکیب اسانس‌ها با یکدیگر و فیلم شاهد وجود داشت ( $p < 0/05$ ). اثر افزودن اسانس سبب افزایش ضخامت فیلم‌ها شد. افزایش ضخامت فیلم تحت تأثیر مقدار محتوای مواد جامد در امولسیون فیلم بود، همچنین برقراری پیوند هیدروژنی بین زنجیره‌های پلیمر و اسانس سبب ایجاد بافت فشرده و فیلم سفت‌تر شد (Rindlav-Westling *et al.*, 1998). این نتایج با گزارشات (Norajit *et al.*, 2010) در بررسی افزودن عصاره جینسنگ در فیلم‌های حاوی آلژینات و (Manizura *et al.*, 2007) در بررسی افزودن اسانس علف لیمو به فیلم کامپوزیت نشاسته-آلژینات مشابهت داشت. همچنین ضخامت فیلم‌های حاوی اسانس نعناع فلفلی بیشتر از فیلم‌های رازیانه بود، به طوریکه بیشترین ضخامت برای فیلم حاوی ۱/۵ درصد اسانس نعناع فلفلی به مقدار ۰/۱۷۴ میلی‌متر حاصل شد. در اثر ترکیب اسانس‌ها در فیلم ضخامت در کمترین مقدار خود به مقدار ۰/۱۰۷ میلی‌متر بود که دلیل آن احتمالاً ناشی از تفاوت در ماهیت اسانس‌ها در برقراری پیوندهای بیشتر در فضاهای خالی با زنجیره‌های پلیمر بود که سبب یکنواختی و ساختار همگن‌تر در فیلم شد.

#### کدورت

خواص نوری فیلم‌های خوراکی می‌تواند ظاهر کلی محصولات غذایی را تحت تأثیر قرار دهد که بر پذیرش مصرف کننده تأثیر

داشته باشد. مقدار فنل کل برای اسانس رازیانه و نعنای فلفلی به ترتیب ۳۸۵/۷۱ و ۳۲۲/۸۳ بود. بررسی ترکیبات تشکیل دهنده اسانس رازیانه نشان داده است که اثرات آنتی اکسیدانی آن عمدتاً به دلیل وجود ترکیبات فنولیک مانند (E-anethole)، (Z-anethole)، (Baros et al., 2009) ( $\alpha$ -Thojone) و ترکیبات اساسی موجود در اسانس نعنای فلفلی شامل  $\alpha$ -پینن،  $\beta$ -پینن، لیمونن، ایزومنتون، ترپینن و منتول بود (Tyagi & Malek, 2001). روش DPPH روشی سریع برای بررسی اولیه قدرت آنتی اکسیدانی ترکیبات فعال می‌باشد که در اکثر تحقیقات به کار می‌رود. داده‌های جدول ۳ مقایسه میانگین فیلم‌های پکتین حاوی اسانس نعنای فلفلی، رازیانه و ترکیبی از اسانس‌ها در مقایسه با فیلم شاهد را نشان می‌دهد. کمترین خاصیت آنتی-اکسیدانی مربوط به نمونه فاقد اسانس بود و افزودن اسانس به فیلم‌ها باعث افزایش معنی‌داری در خاصیت آنتی اکسیدانی فیلم‌ها شد ( $p < 0/05$ )، منوترپن‌های موجود در اسانس می‌تواند به عنوان عامل مهار کننده رادیکال آزاد عمل کند. نتایج حاصل از داده‌ها نشان داد خاصیت آنتی اکسیدانی فیلم‌های دارای اسانس رازیانه بیشتر از فیلم حاوی اسانس نعنای فلفلی و ترکیبی از اسانس‌ها بود. تفاوت در قدرت آنتی اکسیدانی اسانس‌ها با تنوع در نوع واریته گیاهان همچنین شرایط محیطی، آب و هوا، خاک، زمان برداشت و بسیاری از عوامل دیگر می‌تواند در ارتباط باشد. نتایج بدست آمده در رابطه با خاصیت آنتی اکسیدانی با نتایج گزارشات (Hafsa, 2016) که از اسانس اکالیپتوس در فیلم حاوی اسانس اکالیپتوس در فیلم کیتوزان استفاده کرده بودند و (Nisar et al., 2014) که اسانس میخک را در فیلم پکتین به کار برده‌اند مطابقت داشت.

#### نفوذپذیری به بخار آب

نفوذپذیری به بخار آب مقیاسی برای اندازه‌گیری انتقال رطوبت از طریق ترکیبات است که تأثیر معنی‌داری بر عمر ماندگاری مواد غذایی دارد (Hassani & Mohammadi, 2014). از اینرو نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های خوراکی باید در حداقل مقدار ممکن باشد (Ma et al., 2016) انتقال بخار آب توسط بخش هیدروفیلی فیلم انجام می‌شود و میزان نفوذپذیری به نسبت مقدار بخش هیدروفیلی-لیپوفیلی فیلم بستگی دارد (Hernandez, 1994) نتایج حاصل از جدول ۳ نشان می‌دهد نفوذپذیری به بخار آب با افزایش اسانس نعنای فلفلی، رازیانه و ترکیب اسانس‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت ( $p < 0/05$ ) و میزان کاهش نفوذپذیری وابسته به غلظت اسانس‌ها بود به طوری که بیشترین مقدار کاهش نفوذپذیری برای فیلم حاوی ۱/۵ درصد اسانس رازیانه، نعنای فلفلی و ترکیبی از نعنای فلفلی و رازیانه بود. بیشترین شدت اثر اسانس در کاهش نفوذپذیری

نعنای فلفلی و رازیانه (شکل ۱) سبب تشکیل پیوندهای کووالانسی بین زنجیره‌های پلی‌ساکارید و کاهش پیوند این زنجیره‌ها با مولکول‌های آب شد. ماهیت اسانس‌ها و خواص مولکولی ترکیبات فنولیک هر اسانس روی محتوای رطوبت ماتریس فیلم‌ها تأثیرگذار بود به گونه‌ای که کمترین مقدار محتوای رطوبت با مقدار ۲۵/۸۳ درصد به فیلم‌های حاوی ۱/۵ درصد از ترکیب اسانس‌ها مربوط بود. نتایج پژوهش حاضر با نتایج (Hafsa, 2016) که از اسانس اکالیپتوس در فیلم حاوی کیتوزان استفاده کرده بودند، مطابقت داشت. ماهیت اسانس‌ها با توجه به نتایج حاصل از آنالیز GC-MS و خواص مولکولی ترکیبات فنولیک هر اسانس روی محتوای رطوبت ماتریس فیلم‌ها تأثیرگذار بود به گونه‌ای که کمترین مقدار محتوای رطوبت برای فیلم‌های حاوی ۱/۵ درصد از ترکیب اسانس‌ها مربوط بود (Abdollahi et al., 2012). نشان دادند غلظت‌های بالای اسانس رزماری باعث کاهش مقدار رطوبت شد.

#### انحلال‌پذیری

بر اساس نتایج بدست آمده از جدول ۳ بیشترین میزان حلالیت به مقدار ۷۵ درصد برای نمونه شاهد بدست آمد، که دلیل آن خاصیت آب‌دوستی بالای فیلم پکتین بود. افزودن اسانس نعنای فلفلی، رازیانه و ترکیب اسانس‌ها سبب کاهش معنی‌دار در حلالیت فیلم‌ها شد ( $p < 0/05$ )، هرچه مقدار اسانس مصرفی در فیلم بیشتر شد میزان انحلال‌پذیری کاهش یافت. شدت اثر افزودن اسانس‌ها به صورت ترکیبی در غلظت ۱/۵ درصد بیشتر از نمونه‌های دیگر بود. دلیل کاهش حلالیت فیلم علاوه بر خاصیت آبریزی اسانس احتمالاً می‌تواند به شدت برهمکنش‌های مولکولی ترکیب اسانس‌ها و افزایش پیوند هیدروژنی با گروه‌های هیدروکسیل پکتین و کاهش برهمکنش آنها با مولکول‌های آب باشد. نتایج پژوهش‌ها (Ojagh et al., 2010) و (Abdollahi et al., 2012) که به ترتیب اسانس رزماری و اسانس دارچین در فیلم کیتوزان به کار برده بودند مطابقت دارد. همچنین فیلم‌های حاوی اسانس رازیانه حلالیت در آب را نسبت به اسانس نعنای فلفلی بیشتر کاهش داد، که این موضوع می‌تواند با ماهیت اسانس رازیانه یا خاصیت آبریزی بیشتر آن نسبت به اسانس نعنای فلفلی ارتباط داشته باشد.

#### مقدار ترکیبات فنولیک و خواص آنتی اکسیدانی

فعالیت آنتی اکسیدان صرف‌نظر از خواص سلامت بخش آن، از اکسیداسیون محصول در طی مدت نگهداری جلوگیری می‌نماید. مقدار ترکیبات فنولیک کل شاخصی از توان آنتی-اکسیدانی گیاه است. افزایش در میزان فعالیت آنتی اکسیدانی با میزان ترکیبات فنولی موجود در اسانس می‌تواند رابطه مستقیم

کارواکرول به فیلم کیتوزان باعث کاهش نفوذپذیری به بخار آب شد. (Abdollahi et al., 2012). نشان دادند تنها غلظت‌های بالای اسانس رزماری باعث کاهش نفوذپذیری به بخار آب شد. Gago & Krochta, (2001) در بررسی افزودن موم به فیلم پروتئین آب‌بنیر مشاهده کردند غلظت‌های بالای چربی باعث کاهش نفوذپذیری به بخار آب شد.

هنگامی بود که نسبت فاز روغنی افزایش یافت یعنی غلظت اسانس استفاده شده در فیلم بیشتر بود، علت وجود چنین رفتاری به خاصیت هیدروفیلی پایین ترکیبات روغنی اسانس در ساختار فیلم اشاره دارد که باعث افزایش ویژگی‌های مقاومت به نفوذ آب شد که دلیل آن افزایش پیوندهای هیدروژنی و برهمکنش زنجیره‌های پلیمر با گروه‌های هیدروکسیل گلیسرول و اسانس بود. Mata et al., 2013 گزارش دادند که افزودن

جدول ۳- مقایسه میانگین خواص کیفی فیلم تهیه شده

WVP (g/m.s.Pa)	آنتی اکسیدان (%)	حلالیت (%)	رطوبت (%)	کدورت (Au.nm <sup>-1</sup> )	ضخامت (mm)	تیمار (%)
۱۱۵×۱۰ <sup>-۵</sup> ±۶×۱۰ <sup>-۵</sup> a	۲/۰۷۳±۰/۳۷ <sup>g</sup>	۷۵/۳۲۳±۱/۰۹۶ <sup>a</sup>	۳۱/۸۳±۰/۴ <sup>a</sup>	۰/۷۲±۰/۰۰۱۵ <sup>ef</sup>	۰/۱۳۷±۰/۰۱۸ <sup>bc*</sup>	شاهد
۱۰۱×۱۰ <sup>-۵</sup> ±۳×۱۰ <sup>-۵</sup> b	۲۸/۶۳±۱/۱ <sup>f</sup>	۶۶/۷۲±۱/۰۸۷ <sup>b</sup>	۲۹/۸۷±۰/۴۵ <sup>b</sup>	۰/۹۶±۰/۰۱۸ <sup>d</sup>	۰/۱۰۹±۰/۰۱۲ <sup>def</sup>	۰/۵ نعنای
۷۸×۱۰ <sup>-۵</sup> ±۲×۱۰ <sup>-۵</sup> d	۴۳/۰±۴/۹ <sup>c</sup>	۵۸/۴±۱/۲۱ <sup>cd</sup>	۲۸/۳۷±۰/۴۲ <sup>c</sup>	۰/۸±۰/۰۱ <sup>e</sup>	۰/۱۲۳±۰/۰۰۵ <sup>cd</sup>	۱ نعنای
۶۴×۱۰ <sup>-۵</sup> ±۳×۱۰ <sup>-۵</sup> fg	۵۲/۴۸±۰/۵۳ <sup>b</sup>	۴۷/۲۹±۰/۲۹ <sup>f</sup>	۲۴/۵۲±۰/۲۵ <sup>f</sup>	۵/۹۷±۰/۷ <sup>a</sup>	۰/۱۷۴±۰/۰۱۴ <sup>a</sup>	۱/۵ نعنای
۹۴×۱۰ <sup>-۵</sup> ±۳×۱۰ <sup>-۵</sup> c	۳۷/۲۳±۱/۶۱ <sup>d</sup>	۵۷/۳۴±۰/۸۴ <sup>d</sup>	۲۸/۲۴±۰/۰۹۶ <sup>c</sup>	۰/۷۹±۰/۰۱ <sup>e</sup>	۰/۱۱۹±۰/۰۰۴ <sup>def</sup>	۰/۵ رازیانه
۷۱×۱۰ <sup>-۵</sup> ±۲×۱۰ <sup>-۵</sup> de	۴۵/۱۴±۰/۶۲ <sup>c</sup>	۴۸/۴۶±۰/۹۸ <sup>f</sup>	۲۹/۸۳±۰/۳۵ <sup>b</sup>	۰/۶۵±۰/۰۰۷ <sup>ef</sup>	۰/۱۲۷±۰/۰۰۸ <sup>cde</sup>	۱ رازیانه
۵۶×۱۰ <sup>-۵</sup> ±۴×۱۰ <sup>-۵</sup> g	۵۷/۶۱۳±۰/۷۲ <sup>a</sup>	۳۶/۶۹±۰/۵۹ <sup>g</sup>	۲۴/۰۳±۰/۹۵ <sup>f</sup>	۳/۳۵±۰/۲۳ <sup>b</sup>	۰/۱۵۳±۰/۰۰۵ <sup>b</sup>	۱/۵ رازیانه
۹۴×۱۰ <sup>-۵</sup> ±۳×۱۰ <sup>-۵</sup> c	۳۲/۸۴±۱/۵۱ <sup>e</sup>	۵۹/۵±۱/۰۵۴ <sup>c</sup>	۲۹/۹±۰/۴۵ <sup>b</sup>	۰/۶۲±۰/۰۰۱ <sup>f</sup>	۰/۰۸۷±۰/۰۰۱۵ <sup>g</sup>	مخلوط ۰/۵
۷۶×۱۰ <sup>-۵</sup> ±۳×۱۰ <sup>-۵</sup> d	۴۲/۵±۰/۵۶ <sup>c</sup>	۵۴/۲۷±۰/۹۴ <sup>e</sup>	۲۶/۶۲±۰/۱ <sup>d</sup>	۰/۷۴±۰/۰۰۸ <sup>ef</sup>	۰/۱۰۵±۰/۰۰۸ <sup>ef</sup>	مخلوط ۱
۶۸×۱۰ <sup>-۵</sup> ±۲×۱۰ <sup>-۵</sup> f	۵۴/۸۸±۰/۹۶ <sup>ab</sup>	۳۱/۳۶±۰/۸۱ <sup>h</sup>	۲۵/۸۳±۰/۴۲ <sup>c</sup>	۱/۲۴±۰/۰۰۴ <sup>c</sup>	۰/۱۰۷±۰/۰۰۳۵ <sup>fg</sup>	مخلوط ۱/۵

\*حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد (p<0/05)

کاهش معنی‌داری یافت (p<0/05)، که علت آن تغییرات در یکنواختی ساختار شبکه فیلم توسط اسانس بود در واقع اسانس سبب کاهش استحکام رشته‌های پلیمر پکتین به دلیل تجمع قطرات روغن در فضای بین پلیمرها شد (Atarés et al., 2011) همچنین ترکیبات فنولیک اسانس‌ها سبب کاهش چگالی در شبکه فیلم و در نتیجه جابجایی آسان‌تر زنجیره‌های پلیمری تحت تأثیر تنش‌های مکانیکی شد (Akhtar et al., 2013) شدت اثر افزودن اسانس نعنای فلفلی بر مدول الاستیک بیشتر از اسانس رازیانه بود که علت آن تنوع در رفتار اسانس‌ها می‌باشد که به نوع پلیمر پکتین (وزن مولکولی، نوع حلال) بستگی دارد که این موضوع نیز تحت تأثیر تعاملات خاص اجزا، حضور سورفاکتانت، رطوبت نسبی، دما و عوامل دیگر قرار می‌گیرد (Abdollahi et al., 2012). نتایج بدست آمده از این پژوهش با نتایج (Atarés et al., 2011) که از اسانس زنجبیل در فیلم خوراکی استفاده کرده بودند و (Nisar et al., 2018) که اسانس میخک را در فیلم پکتین به کار برده بودند، مطابقت داشت. بررسی درصد کشسانی فیلم‌های پکتین حاوی اسانس نشان داد که افزودن اسانس نعنای فلفلی باعث افزایش معنی‌دار درصد کشسانی شد (p<0/05) و کمترین درصد کشسانی برای فیلم پکتین خالص و بیشترین درصد کشسانی برای غلظت ۱/۵

### خواص مکانیکی

ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های خوراکی یکی از عوامل مهم در نگهداری و حمل و نقل مواد غذایی است. بسته‌بندی محصولات باید بتواند ماده غذایی را در مقابل ضربات مکانیکی و فیزیکی حفظ کند. رایج‌ترین پارامترهایی که خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی را توصیف می‌کنند، مقاومت کششی، درصد کشسانی و مدول الاستیک هستند، که به شدت با ساختار شیمیایی فیلم‌ها مرتبط می‌باشند (Dufresne & Vignon, 1998). مقاومت کششی معمولاً به شبکه میکروساختار فیلم و نیروی بین مولکولی میان آنها بستگی دارد. درصد کشسانی یک ویژگی مکانیکی است که اطلاعاتی در مورد تغییر شکل یک ماده قبل از شکستگی ارائه می‌دهد (Nisar et al., 2018) همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، افزودن اسانس نعنای فلفلی، رازیانه و ترکیب اسانس‌ها سبب کاهش معنی‌دار در استحکام کششی و مدول الاستیک فیلم‌ها شد (p<0/05)، به طوریکه بیشترین استحکام کششی و مدول الاستیک به ترتیب ۱/۹۸ مگاپاسکال و ۴۹/۹۹ مگاپاسکال برای فیلم پکتین خالص بود. افزودن اسانس نعنای فلفلی و رازیانه در غلظت ۰/۵ درصد اثر معنی‌داری روی استحکام کششی فیلم‌ها نداشت (p<0/05) ولی با افزایش اسانس‌ها به بیش از ۰/۵ درصد میزان استحکام کشش فیلم‌ها

جدول ۵ مشاهده می‌شود، افزودن اسانس نعناع فلفلی، رازیانه و ترکیب اسانس‌ها روی پارامتر روشنایی ( $L^*$ ) اختلاف معنی‌داری ایجاد نکرد. از نظر شاخص  $a^*$  افزودن اسانس فقط برای فیلم‌های حاوی اسانس رازیانه معنی‌دار بود ( $p < 0/05$ )، که ناشی از تأثیر ماهیت اسانس و رنگ طبیعی اسانس رازیانه روی تغییر رنگ بود. از لحاظ پارامتر  $b^*$  اسانس نعناع فلفلی، رازیانه و ترکیب اسانس‌ها برای نمونه فیلم‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $p < 0/05$ ) و همگی در ناحیه زرد قرار گرفتند چرا که همه اعداد مثبت بودند و این مقدار عددی برای فیلم‌های دارای اسانس کمتر از فیلم فاقد اسانس (شاهد) بود که علت آن ناشی از جذب نور ترکیبات فنولیک در طول موج پایین بود (*et Jouki al.*, 2014) در مورد اختلاف رنگ نمونه‌ها بین نمونه شاهد و فیلم‌های حاوی اسانس اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ( $p < 0/05$ ). این اختلاف به دلیل حضور اسانس در ساختار پلیمر پکتین و تأثیر آن روی ویژگی‌های رنگی بود که به دلیل رنگی بودن طبیعت اسانس اختلاف رنگ شدیدی مشاهده شد. *et Dashipour al.* (2015) در بررسی اثر اسانس روغنی در فیلم کربوکسی متیل سلولز و Hafsa (2016) در هنگام استفاده از اسانس اکالیپتوس در فیلم کیتوزان مشاهده کردند اسانس سبب افزایش اختلاف رنگ شد. از نظر شاخص سفیدی بین نمونه‌ها فاقد اسانس و حاوی اسانس نعناع فلفلی، رازیانه و ترکیب اسانس‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ( $p < 0/05$ )، به گونه‌ای که کمترین میزان سفیدی به میزان ۸۹ درصد برای نمونه کنترلی و بیشترین شاخص سفیدی به میزان ۹۰/۹ درصد برای اسانس ۱ درصد نعناع فلفلی بود. از لحاظ اندیس زردی افزودن اسانس نعناع فلفلی و ترکیب اسانس‌ها معنی‌دار بود ( $p < 0/05$ )، افزودن اسانس باعث کاهش اندیس زردی در فیلم‌های حاوی اسانس نعناع فلفلی شد.

درصد اسانس نعناع فلفلی و ۱/۵ درصد رازیانه بود. *Pires et al.* (2013) در بررسی اثر چند نوع اسانس در فیلم‌های پروتئینی مشاهده کردند که همه اسانس‌ها بجز سنبل هندی باعث کاهش مقاومت کششی می‌شود. هم‌چنین اسانس ترخون تفاوت معنی‌داری با فیلم بدون اسانس نداشت اما سایر اسانس‌ها باعث افزایش درصد کشسانی شدند از آنجا که در هر نوع اسانس، ترکیبات مختلفی وجود دارد و تنها چند نوع از این ترکیبات در اسانس‌ها غالب هستند بنابراین نتایج مختلفی در اثر کاربرد هر نوع اسانس مشاهده می‌شود بنابراین نمی‌توان روند یکسانی را برای استفاده از اسانس‌ها در فیلم مشاهده کرد.

جدول ۴- مقایسه میانگین خواص مکانیکی فیلم تهیه شده

تیمار (%)	استحکام کششی (MPa)	مدول الاستیک (MPa)	کشسانی (%)
شاهد	۱/۹۸±۰/۱ <sup>a</sup>	۴۹/۹۹±۰/۴۹ <sup>a</sup>	۲/۵±۰/۱۴ <sup>d</sup>
نعناع ۰/۵	۱/۸۶±۰/۰۵ <sup>a</sup>	۳۹/۰۸±۰/۸۵ <sup>cd</sup>	۳/۳۹±۰/۱۷ <sup>c</sup>
۱ نعناع	۱/۶۳±۰/۱۷ <sup>bcd</sup>	۳۸/۳۵±۱/۰۳۲ <sup>d</sup>	۴/۶۹±۰/۳۳ <sup>b</sup>
۱/۵ نعناع	۱/۴۳±۰/۰۶ <sup>d</sup>	۳۰/۵۸±۰/۹۷ <sup>f</sup>	۵/۶۱±۰/۴۴ <sup>a</sup>
۰/۵ رازیانه	۱/۹۶±۰/۱۵ <sup>a</sup>	۳۸/۸۳±۱/۷۵ <sup>d</sup>	۴/۳۵±۰/۲۹ <sup>b</sup>
۱ رازیانه	۱/۸۳±۰/۰۵ <sup>ab</sup>	۳۴/۴۳±۱/۰۹۶ <sup>e</sup>	۴/۴۹±۰/۱۷ <sup>b</sup>
۱/۵ رازیانه	۱/۵۵±۰/۰۹ <sup>d</sup>	۳۲/۳۲±۱/۴۶ <sup>f</sup>	۵/۳±۰/۲۵ <sup>a</sup>
مخلوط ۰/۵	۱/۷۸±۰/۱۲ <sup>abc</sup>	۴۷/۹۳±۰/۹۷ <sup>b</sup>	۵/۶۲±۰/۱۳ <sup>a</sup>
مخلوط ۱	۱/۶±۰/۰۶ <sup>cd</sup>	۴۰/۸۷۸±۱/۲۸ <sup>c</sup>	۳/۸±۰/۱۴ <sup>c</sup>
مخلوط ۱/۵	۱/۴۹±۰/۱۵ <sup>d</sup>	۳۱/۶۹±۰/۹۲ <sup>f</sup>	۳/۴۴±۰/۰۳ <sup>c</sup>

\* حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد ( $p < 0/05$ )

### رنگ

رنگ یکی از فاکتورهای مهم کیفیت و نشان‌دهنده مقدار عبور نور و مقبولیت محصول برای مشتری است. با تعیین رنگ می‌توان میزان برخی از ترکیبات ساختار فیلم را نیز اندازه‌گیری کرد (*González et al.*, 2011a). همان‌گونه که در

جدول ۵- مقایسه میانگین شاخص‌های رنگی فیلم تهیه شده

تیمار (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	E	WI	YI
شاهد	۹۱/۵±۰/۴۳ <sup>cd</sup>	-۴/۲۹±۰/۰۳ <sup>a</sup>	۴/۱۶±۰/۰۴۵ <sup>a</sup>	۷/۱۱±۰/۷۹ <sup>b</sup>	۸۹/۸±۰/۶ <sup>e</sup>	۶/۳۴±۰/۱۷ <sup>ab</sup>
نعناع ۰/۵	۹۲/۱۱±۰/۱۴ <sup>b</sup>	-۴/۴۰±۰/۰۳ <sup>b</sup>	۳/۷۳±۰/۰۲ <sup>a</sup>	۹۲/۴۸±۰/۱ <sup>a</sup>	۹۰/۳±۰/۵ <sup>d</sup>	۵/۴±۰/۱ <sup>c</sup>
۱ نعناع	۹۲/۳۸±۰/۰۷ <sup>ab</sup>	-۴/۲۸±۰/۰۲۶ <sup>a</sup>	۲/۸۳±۰/۱۴ <sup>d</sup>	۹۲/۵۴±۰/۶ <sup>a</sup>	۹۰/۹±۰/۴ <sup>a</sup>	۴/۱۸±۰/۱۳ <sup>g</sup>
۱/۵ نعناع	۹۱/۱۱±۰/۳۲ <sup>b</sup>	-۴/۴۰±۰/۰۴ <sup>b</sup>	۳/۱۱±۰/۰۸ <sup>bc</sup>	۹۲/۳۹±۰/۱ <sup>a</sup>	۹۰/۶±۰/۱۴ <sup>c</sup>	۴/۷۶±۰/۱۳ <sup>e</sup>
۰/۵ رازیانه	۹۲/۱۵±۰/۰۲ <sup>b</sup>	-۴/۳۰±۰/۰۴ <sup>a</sup>	۳/۳۷±۰/۲۸ <sup>b</sup>	۹۲/۳۹±۰/۱ <sup>a</sup>	۹۰/۵±۰/۹ <sup>c</sup>	۴/۹۱±۰/۰۸ <sup>de</sup>
۱ رازیانه	۹۲/۵۴±۰/۰۸ <sup>a</sup>	-۴/۳۷±۰/۰۳۵ <sup>b</sup>	۳/۱۴±۰/۰۱۵ <sup>bc</sup>	۹۲/۶۲±۰/۳ <sup>a</sup>	۹۰/۷±۰/۱۸ <sup>bc</sup>	۴/۸۹±۰/۱ <sup>de</sup>
۱/۵ رازیانه	۹۲/۰۸±۰/۰۷ <sup>b</sup>	-۴/۸۱±۰/۰۴ <sup>c</sup>	۴/۹۸±۰/۱۹ <sup>a</sup>	۹۲/۳۴±۰/۴ <sup>a</sup>	۸۹/۳±۰/۳ <sup>f</sup>	۷/۸۳±۰/۱۷ <sup>a</sup>
مخلوط ۰/۵	۹۲/۱۸±۰/۱۷ <sup>ab</sup>	-۴/۲۷±۰/۰۰۵ <sup>a</sup>	۳/۱۷±۰/۰۷ <sup>bc</sup>	۹۲/۱۷±۰/۱۷ <sup>a</sup>	۹۰/۳±۰/۳ <sup>d</sup>	۴/۹۵±۰/۱۵ <sup>de</sup>
مخلوط ۱	۹۲/۴۱±۰/۰۲۶ <sup>ab</sup>	-۴/۳۰±۰/۰۳ <sup>a</sup>	۲/۹۱±۰/۰۴ <sup>cd</sup>	۹۲/۵۴±۰/۵ <sup>a</sup>	۹۰/۸±۰/۱ <sup>ab</sup>	۴/۴۳±۰/۰۸ <sup>f</sup>
مخلوط ۱/۵	۹۲/۲۹±۰/۰۶۴ <sup>ab</sup>	-۴/۳۹±۰/۰۳۶ <sup>b</sup>	۳/۲۹±۰/۰۱۱ <sup>b</sup>	۹۲/۵۳±۰/۳ <sup>a</sup>	۹۰/۵±۰/۱ <sup>c</sup>	۵/۱±۰/۱۲ <sup>d</sup>

\* حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد ( $p < 0/05$ )

کاهش یافت و تنها اسانس نعناع فلفلی باعث افزایش درصد کشسانی شد. از لحاظ تغییرات رنگی جذب نور توسط ترکیبات فنولیک اسانس سبب کاهش در پارامتر زردی نسبت به نمونه کنترلی شد، تغییرات رنگ کلی به دلیل وجود اسانس شدیدتر از فیلم‌های بدون اسانس بود، اندیس زردی و اندیس سفیدی برای فیلم‌های دارای اسانس به ترتیب کاهش و افزایش یافت. پژوهش حاضر نشان داد که امکان استفاده از اسانس نعناع فلفلی و رازیانه در فیلم تجزیه‌پذیر پکتین وجود دارد که میتواند به کاهش حلالیت، افزایش مقدار فنول کل و بهبود خواص مکانیکی فیلم منجر شود، در حالت کلی نقش غلظت‌های ۱/۵٪ اسانس‌ها در کاهش محتوای رطوبت، حلالیت، نفوذپذیری به بخار آب و افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی بیشتر از غلظت‌های ۰/۵ و ۱٪ اسانس‌ها بود. پس بهتر است از این مواد در تهیه فیلم به منظور افزایش عمر نگهداری و بهبود خواص کیفی در مواد غذایی استفاده کرد.

## REFERENCES

- Abdollahi, M., Rezaei, M. & Farzi, G. (2012). Improvement of active chitosan film properties with rosemary essential oil for food packaging. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 847–853.
- Acevedo-fani (2015). Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 168-177.
- Akhondi, A., Nafchi, A. (2013), Effect of peppermint essence on E.coli growth parameters and mechanical and physico-chemical properties of cassava starch films, Master's dissertation, Shahrood University, Shahrood.
- Akhtar, M. J., Jacquot, M., Jamshidian, M., Imran, M., Arab-Tehrany, E. & Desobry, S. (2013). Fabrication and physicochemical characterization of HPMC films with commercial plant extract: Influence of light and film composition. *Food Hydrocolloids*, 31, 420-427
- Aldana, DS., Andrade-Ochoa, S., Aguilar, C.N., Contreras-Esquivel, J.C. & Nevárez-Moorillón, G. (2015). Antibacterial activity of pectic-based edible films incorporated with Mexican lime essential oil. *Food Control*, 907-912.
- Alikhani, M. (2014). Enhancing safety and shelf life of fresh-cut mango by application of edible coatings and microencapsulation technique. *Food Sci. Nut*, 2(3), 210–217.
- Atarés, L., Pérez-Masiá, R. & Chiralt, A. (2011). The Role of Some Antioxidants in the HPMC Film Properties and Lipid Protection in Coated Toasted Almonds. *Journal of Food Engineering*, 104, 649-56.
- Barros, L., Heleno, S.A., Carvalho, A.M. & Ferreira, I.C.F.R. (2009). Systematic evaluation of the antioxidant potential of different parts of *Foeniculum vulgare* Mill from Portugal. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 2458–2460
- Bertan, L., Tanada-Palmu, P., Siani, A. & Grosso, C. (2005). Effect of fatty acids and 'Brazilian elemi' on composite films based on gelatin. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 73-82.
- Concetta, V., Giosafatto, I., Marienello, L. & Ring, S. (2007). Extraction and Characterization of *Foeniculum vulgare* Pectins and Their Use for Preparing Biopolymer Films in the Presence of Phaseolin Protein. *Agricultural and Food Chemistry*, 55, 1237-1240.
- Dashipour, A., Razavilar, V., Hosseini, H., Shojae-Aliabadi, S., German, J. B., Ghanati, K., Khakpour, M. & Khaksar, R. (2015). Antioxidant and antimicrobial carboxymethylcellulose films containing *Zataria multiflora* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 606-613.
- Dorman, HJD., Peltoketo, A., Hiltunen, R. & Tikkanen, MJ. (2003). Characterization of the antioxidant properties of deodourised aqueous extracts from selected Lamiaceae herbs. *J. Food Chem*, 255-262.
- Dufresne, A. & Vignon, M.R. (1998). Improvement of starch film performances using cellulose microfibrils. *Macromolecules*, 31(8), 2693–2696.
- Gago, P. & Krochta, J.M. (2001). Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein/beeswax emulsion films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 996–1002.
- Gardiner, P. (2000). Peppermint (*Mentha piperita*).

## نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان داد که خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی فیلم‌ها تحت تأثیر اسانس نعناع فلفلی، رازیانه و ترکیب اسانس-ها بود. به طوریکه با اضافه کردن اسانس به فیلم‌ها خاصیت آنتی‌اکسیدانی به دلیل ترکیبات فنولی در اسانس رازیانه و نعناع فلفلی افزایش یافت. نفوذپذیری به بخار آب، محتوای رطوبت و حلالیت به دلیل خاصیت آبگریزی اسانس‌ها کاهش یافت. کدورت در فیلم حاوی ۱/۵ درصد اسانس نعناع فلفلی (۵/۹۷) بیشتر از غلظت ۱/۵ درصد اسانس رازیانه (۳/۳۵) بود. ولی شدت کدورت هنگام استفاده از ترکیب اسانس‌ها در فیلم به سبب تشکیل امولسیون همگن‌تر به مقدار کمتری کاهش یافت. ساختار شیمیایی و برهمکنش مولکولی جدید در اثر افزودن اسانس نعناع فلفلی و رازیانه و اثر همزمان ترکیب اسانس‌ها در فیلم پکتین توسط FTIR مورد تأیید قرار گرفت. در بررسی خواص مکانیکی اسانس‌ها استحکام کششی و مدول الاستیسیته

- The Longwood Herbal Task Force, 1-22.
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H. (2011). Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid, *Int. J. Biol. Macromol.*, 48, 44-49.
- González, L., Chiralt, A., Martínez, G. & Cháfer, M. (2011). Effect of essential oils on properties of film forming emulsions and films based on hydroxypropylmethylcellulose and chitosan. *Journal of Food Engineering*, 105, 246–253.
- González, L., Vargas, M., Martínez, C., Cháfer, A. & Cháfer, M. (2011a). Use of Essential Oils in Bioactive Edible Coatings. *Food Engineering Review*, 3, 1–16
- Gyawali, R. & Ibrahim, S. (2014). Natural products as antimicrobial agents. *J. Food control*, 46, 412-429
- Hafsa, J. (2016). Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan films containing. *Food Science and Technology*.
- Hassani, F. & Mohammadi Nafchi, A. (2014). Preparation and characterization of bionanocomposite films based on potato starch/halloysite nanoclay. *International Journal of Biological Macromolecules*, 458–462.
- Hernandez, R.J. 1994. Effect of water vapor on the transport properties of oxygen through polyamide packaging materials. *Journal of Food Engineering*, 22, 495–507.
- Hosseini, MH., Razavi, SH. & Mousavi, MA. (2009). Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. *Journal of Food Process. Preservation*, 33, 727-743.
- Hussein, J., Mohammed, Y., & Imad, H. (2016). Study of chemical composition of *Foeniculum vulgare* using Fourier transform infrared spectrophotometer and gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 8: 60-89.
- Izadi, Z., Esna-Ashari, M., Ahmadvand, G., Davoodi, P., and Piri, K. H. (2009). Chemical Composition and Antibacterial Activity of the Essence oil of Peppermint (*Mentha piperita* L), *Armaghane danesh*, 14(3): 45-54.
- Jahed, E., Alizadeh Khaledabad, M., Almasi, H., Hasanzadeh, H. (2017). Physicochemical properties of *Carum copticum* essential oil loaded chitosan films containing organic nanoreinforcements. *Carbohydrate Polymers*, 164, 325–338.
- Jalali, F., Mohammadi, A. & Bolandi, M. (2013). Investigation of fennel extract on physicochemical, antimicrobial properties of edible films based on gelatin. National Conference on Environment and Plant Production Damghan, Iran, 440-446.
- Jolie, R., Duvetter, T., Van, AM. & Hendrickx, ME. (2010). Pectin methyl esterase and its proteinaceous inhibitor: a review. *Carbohydrate Research*, 2583-2595.
- Jouki, M., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T. & Koocheki, A. (2014). Characterization of antioxidant-antibacterial quince seed mucilage films containing thyme essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 99, 537–46
- Kazemi, M. (2014). Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and anti-inflammatory activity of *carum copticum*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants oil*, 17, 1040–1045.
- Ma, Q., Zhang, Y., Critzer, F., Davidson, P., Zivanovic, S. & Zhong, Q. (2016). Physical, mechanical, and antimicrobial properties of chitosan films with microemulsions of cinnamon bark oil and soybean oil. *Food Hydrocolloids*, 52, 533-542.
- Ma, X., Chang, P. R., & Yu, J. (2008). Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers*, 72(3), 369–375.
- Manizura, M. (2007). Antibacterial Activity and Mechanical Properties of Partially Hydrolyzed Sago Starch–Alginate Edible Film Containing Lemongrass Oil. *food chemistry and technology*, 324-330.
- Manrique G and Lajol F. 2002. FT-IR spectroscopy as a tool for measuring degree of methyl esterification in pectins isolated from ripening papaya fruit, *Postharvest Biology and Technology* 25: 99–107.
- Mata, M.A., Ruiz-Cruz, S. & Silva-Beltrán, N.P. (2013). Physicochemical: Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan films incorporated with carvacrol. *Molecules*, 18, 13735–13753.
- Mir Heidar, H. (2000). Herbal education. Islamic Culture Publishing Office, Tehran.
- Mishra, RK., Banthia, AK. & Majeed, ABA. (2012). Pectin based formulations for biomedical applications: a review. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*.
- Moosavian, V., Marvizadeh, M. & Nafchi, A. (2017). Biodegradable Films Based on Cassava Starch/*Mentha piperita* Essence: Fabrication, Characterization and Properties, *Journal of Chemical Health Risks*, 7, 239-245
- Nisar, T., Wang, Z., Yang, X., Tian, Y., Iqbal, M. & Guo, Y. (2018). Characterization of citrus pectin films integrated with clove bud essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 670-680.
- Norajit, K., Kim, K. & Ryu, G. (2010). Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. *J. Food Eng.*, 98(3), 377-384.
- 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, 161–166.
- Ouariachi, E., Lahhit, N., Bouyanzer, A., Hammadi, ir

- B., Paolini, J., Majidi, L., Desjobert, J. Costa, J. (2014). Chemical composition and antioxidant activity of essential oils and solvent extracts of *Foeniculum vulgare* Mill. from Morocco. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6, 743-748.
- Pakshir, k., Miri, R., Hemyari, K, (2012). Chemical Composition, Antifungal and Antibiofilm Activities of the Essential Oil of *Mentha piperita*, L. ISRN Pharmaceutics.
- Peng, Y. & Li, Y. (2014). Combined effects of two kinds of essential oils on physical, mechanical and structural properties of chitosan films. *Food Hydrocolloids*, 36, 287-290.
- Pires, C., Ramos, C., Teixeira, B., Batista, I., Nunes, M.L.A.M. (2013). Hake proteins edible films incorporated with essential oils: physical, mechanical, antioxidant and antibacterial properties *Food Hydrocolloid.*, 30, 224-31.
- Pramila, D., Xavier, R., & Marimuthu, K. (2012). Phytochemical analysis and antimicrobial potential of methanolic leaf extract of peppermint. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6: 331-335.
- Rindlav-Westling, .A, Stading, M., Hermansson, AM. & Gatenholm, P. (1998). Structure, mechanical and barrier properties of amylose and amylopectin films. *Carbohydrate Polymer*, 36, 21-24.
- Ruiz-Navajas, Y., Viuda-Martos, M., Sendra, E., Perez-Alvarez, J. A. & Fernández-López, J. (2013). In vitro antibacterial and antioxidant properties of chitosan edible films incorporated with *Thymus moroderi* or *Thymus piperella* essential oils. *Journal of Food Control*, 30, 386-392.
- Sefidkan, F. (2000). Iranian Herbal Medicinal Herbs Research. Institute of forests and pastures,4, 85-104.
- ShojaeeAliabadi, S. H. (2013). Characterization of antioxidant-antimicrobial  $\kappa$ -carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 116-124.
- Sukhtezari SH, Almasi H, Pirsas S, Zandi M and Pirouzifard, M, 2017. Development of bacterial cellulose based slow-release active films by incorporation of *Scrophularia striata* Boiss. extract, *Carbohydrate Polymer* 156: 1-31.
- Tyagi, A.K. & Malik, A. (2011). Antimicrobial potential and chemical composition of *Mentha piperita* oil in liquid and vapour phase against food spoiling microorganisms. *Food Control*, 22, 1707-1714.
- Vlachos N, Skopelitis Y, Psaroudaki M, Konstantinidou V, Chatzilazarou A and Tegou N, 2009. Applications of Fourier transform-infrared spectroscopy to edible oils. *Analytica Chimica Acta* 573-574:459-465.
- Yuen S, Choi M, Phillips D and Ma C, 2009. FTIR spectroscopic study of carboxymethylated non-starch polysaccharides. *Food chemistry* 114: 1091-1098.