



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

خواص فیزیکوشیمیایی و عملکردی پلی ساکاریدهای صمغ-رزین مقل

سعیده روستایی^۱، هاجر شکرچی زاده^{۲*}، میلاد فتحی^۲

^{۱*} - کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

^۲ - دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

چکیده

اطلاعات مقاله

مقل یک اولئو صمغ رزینی است که در اثر خراش پوست گیاه *Commiphora wightii* ترشح می شود. هدف از این تحقیق بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی صمغ گیاه مقل می باشد. خصوصیات عملکردی و فیزیکوشیمیایی صمغ مقل مثل میزان پروتئین، کربوهیدرات کل، رنگ، ویسکوزیته محلول، پتانسیل زتا، حلالیت، ظرفیت جذب آب، ظرفیت جذب روغن، خصوصیت کف کنندگی و امولسیون کنندگی صمغ بررسی شد. ساختار شیمیایی صمغ به روش های طیفسنجی مادون قرمز، کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا و رزونانس مغناطیس هسته ای تک بعدی آنالیز گردید. میزان پروتئین صمغ ۸/۱۵ درصد و میزان کربوهیدرات آن ۶۱/۰۹ درصد بدست آمد. بررسی ویسکوزیته محلول صمغ مقل، رفتار رقیق شونده با برش را نشان داد. صمغ استخراج شده دارای پتانسیل زتای ۲۶- میلی ولت بود. حلالیت صمغ در سه دمای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه سلسیوس بررسی شد. ظرفیت جذب آب نیز حدود ۳/۷۸ گرم آب در یک گرم صمغ محاسبه گردید. قابلیت تشکیل کف صمغ ۸۷/۰۳ درصد و پایداری کف آن ۶۵/۸۳ درصد اندازه گیری شد. میزان جذب روغن محاسبه شده برای صمغ مقل ۲/۳۳ گرم روغن در یک گرم صمغ بود. پس از بررسی ویژگی های امولسیون صمغ مقل مشاهده شد که این صمغ توانایی امولسیون کنندگی خوبی در غلظت های ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۳ و ۲ درصد دارد و همچنین از پایداری حرارتی و انجمادی تا حدود بالایی برخوردار است. آنالیزهای انجام شده بر روی خصوصیات ساختاری صمغ مقل وجود واحدهای قندی مانند آرابینوز، رامنوز، فروکتوز، گلوکورونیک اسید و گالاکتورونیک اسید را نشان می داد. وجود گروه هیدروکسیل در طیف FTIR مویده حضور گلوکورونیک اسید، گالاکتورونیک اسید، اسیدهای کربوکسیلیک، الکل قندها و گروه های گلایکوزیدی در پروفایل ترکیبات موجود در نمونه بود. ارزیابی پروفایل مونوساکاریدی با HPLC در نمونه صمغ بیانگر وجود گلوکز به عنوان یک هگزوز با حداکثر مقدار بود و پس از آن نیز مانوز و رامنوز قرار داشتند.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲

کلمات کلیدی:

امولسیون،

توانایی تشکیل کف،

حلالیت،

خواص عملکردی

DOI: 10.22034/FSCT.22.163.31.

* مسئول مکاتبات:

shekarchizadeh@iut.ac.ir

۱- مقدمه

در ایران منابع هیدروکلوییدی زیادی وجود دارد که سال ها به صورت سنتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. دانه شاه‌ی، ریحان، بالنگو شیرازی و دانه مرو از جمله دانه های بومی کشورمان هستند که علاوه بر خواص درمانی دارای مقادیر بالای صمغ نیز هستند. ارزان‌ترین هیدروکلویدها صمغ‌های ترش‌گی گیاهی هستند، زیرا نیاز به فرآوری کمتری دارند [۱]. ایمن و سالم بودن صمغ‌های گیاهی، ارزش غذایی و دارویی این صمغ‌ها و سهولت در تولید موجب تشویق به شناسایی بیشتر این هیدروکلویدها می‌شود. بخشی زیادی از صمغ‌های مصرفی در صنعت غذا به صورت وارداتی می‌باشند که هزینه ی زیادی بر تولید کنندگان تحمیل می‌نماید. بنابراین می‌توان با بررسی و شناسایی خصوصیات هیدروکلویدهای جدید تا حدودی خروج ارز از کشور را کاهش داد. در ایران به علت منابع گیاهی فراوان، ترکیبات پلی ساکاریدی فراوانی یافت می‌شود که به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی، ضرورت بررسی فرآیند استخراج، تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی آن‌ها احساس می‌گردد [۲].

گیاه *Commiphora mukul* از راسته *Bursaceae* و از خانواده *Balsamodendron mukul* می‌باشد که صمغ مقل یا گاگول با نام علمی *Commiphora wightii* از آن قابل استخراج است. این صمغ دارای ارزش اقتصادی گسترده و طیف وسیعی از کاربردهای دارویی می‌باشد. گیاه آن بوته‌ای، دو پایه و با شاخه‌های بسیار منشعب و گره‌دار است که به صورت ماریپیچ بالا رونده همراه با خارهای تیز رشد می‌کند، با واکس پوشیده شده و در بخش‌های جوان به صورت غده مانند در آمده‌اند. این گیاه چند ساله ی بسیار منشعب است که در مناطق خشک، نیمه خشک و صخره ای با بارندگی اندک رشد می‌کند. این گیاه کند رشد، با فاز خواب طولانی و طبیعت خزان دار است. بطور معمول ۱۰ سال طول می‌کشد تا گیاه به بلوغ

برسد. این گیاه به دلیل تولید صمغ-رزین دارویی مهم خود به عنوان منبع گاگول استرون بسیار ارزشمند است. این صمغ -رزین چرب و غلیظ بوده و به تنهایی یا با اثر بخشیدن بر عملکرد سایر گیاهان دارویی برای درمان برخی از بیماری‌ها به کار می‌رود [۳].

در شرایط آب و هوایی خشک شاخه‌ها در طول زمستان برای ترشح و سپس استخراج اولئوصمغ-رزین بریده می‌شوند. مقل یک اولئو صمغ-رزینی است که در اثر خراش پوست گیاه در بخش‌های ساقه و شاخه‌های درخت به وسیله ی چاقو ترشح می‌شود. صمغ زرد رنگی از مجاری ایجاد شده خارج شده که اجازه داده می‌شود تا قبل از جمع آوری خشک و سفت گردد. از یک درختچه حدود ۲۵۰ تا ۵۰۰ گرم صمغ خشک در هر فصل جمع آوری می‌گردد. مقل به صورت تکه‌های زرد رنگ تا قهوه‌ای با بوی معطر تلخ و طمع گس است که تازه آن زرد و چسبناک است. بازده صمغ مقل به عوامل زیادی از جمله سن درختان در همان مناطق، تعداد درخت و شرایط آب و هوایی منطقه بستگی دارد [۴].

مقل اولین بار توسط محقق و پزشکی هندی به نام جی وی ساتیاواتی در سال ۱۹۶۶ به دنیای علمی معرفی شد. در اواسط دهه ۱۹۹۰، مقل به عنوان یک داروی کاهش دهنده چربی خون وارد دنیای غرب شد. این ماده به کاهش سطح کلسترول از طریق کاهش LDL و افزایش HDL کمک می‌کند و در نهایت منجر به تشکیل یک نسبت بسیار مناسب از LDL به HDL می‌شود و به همین علت از نظر دارویی یک گیاه بسیار ارزشمند است. مقل توانایی تحریک فعالیت غده تیروئید و افزایش سوخت و ساز بدن را نیز به همراه دارد. مقل تراوش شده مخلوط پیچیده‌ای از استروئیدها، دی ترپنوئیدها، استرها ی آلیفاتیک، کربوهیدرات‌ها و انواع مختلف یون‌های معدنی می‌باشد. اما ترکیبات فعال اصلی این صمغ، مقل استرون و مقل استرول می‌باشند. بررسی ویژگی‌های این صمغ فرصت‌های بیشتری را برای استفاده ی بیشتر و بهتر از این گیاه با ارزش فراهم می‌

سلسیوس خشک گردید. پودر صمغ به دست آمده در ظرف درب بسته و درون یخچال نگهداری گردید.

۳-۲- اندازه گیری خواص فیزیکی صمغ مقل

۳-۱-۲- رنگ

جهت تعیین رنگ صمغ پودری از دستگاه رنگ سنج (DENS HOKU Nippon مدل ZE6000، ژاپن) استفاده شد و فاکتورهای L^* , a^* , b^* قرائت شد [۷].

۳-۲-۲- اندازه گیری ویسکوزیته

برای اندازه گیری ویسکوزیته از اسپیندل شماره ۱۸ ویسکومتر بروکفیلد استفاده شد. ویسکوزیته محلول های صمغ در دو غلظت ۵ و ۱۰ درصد مورد بررسی قرار گرفت [۸].

۳-۳-۲- اندازه گیری پتانسیل زتا

برای اندازه گیری میزان پتانسیل زتای صمغ مقل، ابتدا دیسپرسیون ۵ درصد صمغ در اتانول ۹۶ درصد تهیه و به مدت چند دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار داده شد. سپس با استفاده از دستگاه اندازه گیری پتانسیل زتا (ZEN3600, Horiba, آلمان)، پتانسیل زتای صمغ در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و ولتاژ ۳/۸ ولت اندازه گیری شد [۹].

۴-۲- اندازه گیری خواص شیمیایی صمغ مقل

۴-۱-۲- تعیین ترکیبات شیمیایی

محتوای کل رطوبت صمغ مقل به روش آون گذاری، خاکستر به روش کوره گذاری، پروتئین به روش کلدال و چربی به روش سوکسله با استفاده از حلال پترولیوم اتر با استفاده از روش مصوب AOAC تعیین شد [۷].

۴-۲-۲- اندازه گیری میزان کربوهیدرات کل

برای اندازه گیری میزان کربوهیدرات کل از تست فنول - سولفوریک اسید استفاده شد. برای این منظور محلول ppm ۱۰۰ از نمونه تهیه شد. سپس محلول استاندارد گلوکز با غلظت های (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰) تهیه گردید. به یک

کند [۵]. وانی و همکاران (۲۰۱۶) بر روی فعالیت آنتی اکسیدانی و ضد باکتریایی صمغ مقل تحقیقاتی انجام داده اند و نشان دادند که این صمغ منبع مناسب آنتی اکسیدان طبیعی بوده و فعالیت ضدباکتریایی خوبی را نیز از خود نشان داده است و قابلیت استفاده در صنایع داروسازی و صنایع غذایی را دارد [۶].

صمغ مقل صمغی بومی است که با وجود خواص دارویی بسیار زیاد خود هنوز تحقیقات علمی در مورد شناسایی ویژگی های ساختاری، خواص فیزیوشیمیایی و عملکردی آن صورت نگرفته است. هدف از این تحقیق استخراج و بررسی ساختار شیمیایی، ویژگی های فیزیکی و عملکردی صمغ مقل است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد مورد استفاده

صمغ-رزین مقل از یکی از عطاری های اصفهان تهیه شد. اتانول ۹۶٪ از شرکت نصر خریداری شد. سولفوریک اسید غلیظ (۹۸٪)، پترولیوم اتر، فنول، ۲ و ۲ دی فنیل پیکریل هیدرازین (DPPH)، نیتریک اسید، گلوکز و هیدروکلریدریک اسید از شرکت مرک تهیه شد.

۲-۲- استخراج صمغ مقل

ابتدا صمغ -رزین مقل خریداری شده آسیاب و با اتانول به نسبت ۳۰ برابر وزن آن مخلوط شد. سپس با استفاده از سوکسله به مدت ۶ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس رفلاکس شد تا رزین و سایر ناخالصی های محلول در الکل حذف شوند. پس از آن نمونه با استفاده از پارچه نازک صاف و به منظور حذف الکل در دمای محیط خشک شد. در مرحله ی استخراج آبی، ۱۰ برابر وزن پودر خشک شده آب اضافه و به مدت ۵ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. پس از آن با استفاده از فیلتر پارچه ای ترکیبات نامحلول در آب جدا و سپس محلول از کاغذ صافی عبور داده شد و در نهایت در آون با دمای ۱۰۵ درجه

طیف سنجی نشر اتمی (ICP) (مدل Optima 7300DV ساخت شرکت Perkin Elmer کشور آمریکا) تعیین شد [۱۲].

۲-۵-اندازه گیری خواص عملکردی صمغ مقل

۲-۵-۱-اندازه گیری حلالیت

برای اندازه گیری حلالیت صمغ مقل، ابتدا ۹۰ میلی لیتر محلول ۱٪ وزنی - حجمی از صمغ آماده و به منظور هیدراته شدن کامل ذرات صمغ به مدت ۲۴ ساعت درون یخچال نگهداری شد. محلول حاصل به سه قسمت مساوی تقسیم و هریک از این قسمت‌ها به طور جداگانه به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دماهای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و به طور یکنواخت هم زده شدند. در مرحله‌ی بعد محلول‌ها در ۱۰۰۰۰ × g به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شدند. پس از آن کل محلول رویی از هر نمونه در ظروف شیشه‌ای توزین شده، ریخته شد و تا رسیدن به وزن ثابت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس حرارت داده شد. با استفاده از رابطه ۲ حلالیت صمغ در دماهای مورد نظر محاسبه شد [۱۳].

$$\text{حلالیت (\%)} = \frac{(\text{وزن نمونه اولیه} - \text{وزن محلول رویی خشک شده})}{\text{وزن اولیه}} \times \text{رابطه ۲}$$

100

۲-۵-۲-اندازه گیری ظرفیت جذب آب

به منظور اندازه گیری ظرفیت جذب آب صمغ مقل، ۰/۵ گرم از پودر نمونه همراه با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر درون فالکون از قبل توزین شده ریخته و مخلوط گردید. پس از ۱۵ دقیقه جهت هیدراته شدن، در مرحله‌ی بعد در ۸۹۶ × g به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد. در نهایت مایع شفاف بالایی دور ریخته و رسوب حاصل توزین شد. ظرفیت جذب آب نمونه صمغ از رابطه ۳ بدست آمد [۱۴].

$$\text{رابطه ۳} = \frac{\text{وزن اولیه نمونه} - \text{وزن زل متورم}}{\text{وزن اولیه نمونه}} = \text{ظرفیت جذب آب (g/g)}$$

میلی لیتر از محلول نمونه آماده شده ابتدا ۵ میلی لیتر سولفوریک اسید غلیظ و سپس یک میلی لیتر فنول ۵ درصد اضافه و سپس ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. میزان جذب نمونه و محلول‌های استاندارد در طول موج ۴۸۵ نانومتر ثبت شد. میزان کربوهیدرات کل با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد [۱۰].

۲-۴-۳-بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی

برای بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه، ۰/۱ گرم صمغ پودر شده با ۵ میلی لیتر اتانول ۹۶ درصد مخلوط و به مدت ۳ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به شدت همزده شد. سپس در ۳۰۰۰ × g به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ انجام گرفت و مایع رویی حاصل برای اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی جدا شد. برای اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی از روش DPPH استفاده شد. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره اتانولی نمونه به سرعت به یک میلی لیتر از محلول اتانولی ۰/۱ مولار DPPH اضافه و به شدت مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق در مکان تاریک قرار گرفت و سپس جذب آن در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. همچنین جذب محلول اتانولی DPPH به عنوان شاهد در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد و با استفاده از رابطه ۱ فعالیت آنتی اکسیدانی تعیین گردید [۱۱].

$$\text{رابطه ۱} = \frac{(\text{نمونه شاهد} - \text{جذب شاهد})}{\text{جذب شاهد}} \times \text{فعالیت آنتی اکسیدانی (\%)} = 100$$

۲-۴-۴-تعیین عناصر معدنی

به منظور تعیین عناصر معدنی موجود در نمونه، ابتدا حدود ۳ گرم از پودر صمغ مقل در بوته چینی وزن شد و در کوره به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس خاکستر به دست آمده از مرحله کوره گذاری در نیتریک اسید غلیظ حل و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب حرارت داده شد و پس از آن تا دمای ۲۵ درجه سلسیوس سرد و در نهایت فیلتر شد. میزان عناصر عصاره استخراج شده توسط دستگاه پلاسما جفت شده القایی-

۳-۵-۲- ظرفیت جذب روغن

مقدار ۰/۵ گرم صمغ مقل به همراه ۱۰ میلی لیتر روغن تصفیه شده آفتابگردان مخلوط و به مدت یک دقیقه همزده شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری و پس از آن به مدت ۵ دقیقه در $896 \times g$ سانتریفوژ شد. پس از خارج کردن محلول روپی و توزین نمونه باقی مانده در انتهای فالكون با وزن معلوم با استفاده از رابطه ۴ ظرفیت جذب روغن محاسبه شد [۱۵].

$$\text{رابطه ۴} \quad \text{ظرفیت جذب روغن (g/g)} = \frac{\text{وزن اولیه نمونه - وزن زل متورم}}{\text{وزن اولیه نمونه}}$$

۴-۵-۲- قابلیت تشکیل کف و پایداری کف

برای ارزیابی قدرت کف کنندگی و پایداری کف در ابتدا محلول های ۱، ۲ و ۴ درصد صمغ مقل تهیه شدند. سپس توسط هموژنایزر به مدت دو دقیقه در $8064 \times g$ در دمای اتاق هموژن شدند. در نهایت هر یک از محلول ها به استوانه مدرج منتقل شده و حجم کف حاضر در سطح بالایی مایع درون استوانه مدرج مشخص شد. درصد کف کنندگی با استفاده از رابطه ۵ و پایداری کف با رابطه ۶ محاسبه شد [۱۶].

$$\text{رابطه ۵} \quad \text{درصد کف کنندگی} = \frac{\text{حجم کف}}{\text{حجم اولیه نمونه}} \times 100$$

$$\text{رابطه ۶} \quad \text{درصد پایداری کف} = \frac{\text{حجم کف بعد از 15 دقیقه}}{\text{حجم کف اولیه}} \times 100$$

۲-۵-۵- بررسی ویژگیهای امولسیون کنندگی صمغ مقل

به منظور تهیه امولسیون، در ابتدا محلول صمغ مقل در غلظت های مختلف (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳٪) تهیه شد. برای اینکه ذرات صمغ کاملاً هیدراته شوند، محلول تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت درون یخچال نگهداری شد. در ادامه امولسیون موردنظر با مخلوط کردن ۲۰٪ روغن آفتابگردان و ۸۰٪ محلول صمغ مقل تهیه شد. مخلوط فوق با استفاده از هموژنایزر به مدت ۵ دقیقه در $13500 \times g$ کاملاً هموژن گردید. امولسیون تهیه شده به منظور پخش ماکرومولکول ها و پایداری سطح بین روغن و آب به مدت ۲۴ ساعت درون

یخچال نگهداری شد. در ادامه ویژگی های امولسیون کنندگی محلول تهیه شده مورد بررسی قرار گرفت [۱۰]. برای تعیین فعالیت امولسیون ۱۵ میلی لیتر از امولسیون تهیه شده درون فالكون درجه بندی شده ریخته شد. فالكون ها درون سانتریفوژ قرار گرفته و به مدت ۵ دقیقه در $1300 \times g$ سانتریفوژ شدند. در ادامه برای اندازه گیری فعالیت امولسیون تمام حجم محلول و حجم فاز امولسیونی اندازه گیری شد و فعالیت امولسیونی طبق معادله ۷ محاسبه شد [۱۰].

$$\text{رابطه ۷} \quad \text{فعالیت امولسیونی (\%)} = \frac{\text{حجم فاز امولسیونی}}{\text{حجم محلول}} \times 100$$

برای اندازه گیری پایداری امولسیون نسبت به تنش دما، در ابتدا امولسیون تهیه شده به مدت ۳۰ دقیقه درون حمام آب گرم ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. بلافاصله بعد از تیمار حرارتی امولسیون به مدت ۱۵ دقیقه درون حمام یخ قرار داده شد و در مرحله ی بعد امولسیون در $1300 \times g$ برای ۵ دقیقه سانتریفوژ شد. برای اندازه گیری پایداری امولسیون نسبت به تنش دما از معادله ۸ استفاده شد [۱۰].

$$\text{رابطه ۸} \quad \text{پایداری امولسیون نسبت به دما (\%)} = \frac{\text{حجم فاز امولسیونی باقیمانده}}{\text{حجم امولسیون اولیه}} \times 100$$

برای بررسی پایداری امولسیون در طول زمان، امولسیون های تهیه شده به مدت یک ماه درون یخچال نگهداری شدند و در بازه های زمانی معین پایداری امولسیون مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه گیری پایداری امولسیون طی زمان از رابطه ۹ استفاده شد [۱۰].

$$\text{رابطه ۹} \quad \text{پایداری امولسیون نسبت به زمان (\%)} = \frac{\text{حجم فاز امولسیونی باقیمانده}}{\text{حجم امولسیون اولیه}} \times 100$$

حجم فاز امولسیونی باقیمانده
حجم امولسیون اولیه

۶-۲- اندازه گیری خواص ساختاری صمغ مقل

۱-۶-۲- استفاده از طیف سنج مادون قرمز تبدیل فوری (FTIR)

طیف سنجی مادون قرمز برای تعیین ساختار شیمیایی مواد مختلف و شناسایی گروه های عاملی کاربرد دارد. برای تهیه طیف مادون قرمز، پودر صمغ مقل همراه با پودر پتاسیم برمید مخلوط و سپس فشرده شده تا به شکل یک قرص

نازک درآمد و در مرحله ی آخر طیف آن در محدوده عدد موج $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ بررسی گردید [۸].

۲-۲-۲- آنالیز قندهای موجود در صمغ مقل با استفاده از HPLC

جهت تعیین قندهای موجود در ساختار صمغ مقل، $0/3$ گرم از صمغ با 3 میلی لیتر سولفوریک اسید 98 درصد مخلوط، به مدت 30 دقیقه در حمام آب 30 درجه سلسیوس گذاشته شد و پس از آن به مدت 2 ساعت در اتوکلاو قرار گرفت. سپس نمونه هیدرولیز شده فیلتر و در مرحله بعد خنثی شد. نمونه هیدرولیز شده به میزان 25 میکرولیتر به دستگاه HPLC مجهز به ستون *Aminex* مدل *HPX-87H* شرکت *BIORAD* و آشکارساز UV-Vis با جریان $0/6$ میلی لیتر در دقیقه تزریق شد و از آب به عنوان فاز متحرک استفاده گردید. در نهایت ترکیب قندها با مقایسه زمان خروج قندهای استاندارد از ستون به دست آمد [۱۰].

۳-۲-۳- طیف سنج رزونانس مغناطیس هسته ای

پودر صمغ مقل استخراج شده، قبل از آنالیز طیف سنجی رزونانس مغناطیس هسته به آرامی و به تدریج به دوتریم اکساید $99/5$ درصد اضافه شد تا کاملاً حل شود. سپس طیف های $C-NMR$ و $H-NMR$ تک بعدی آن ثبت شد [۱۷].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- استخراج صمغ مقل

همانطور که در قسمت مواد و روشها شرح داده شد، ابتدا استخراج الکلی انجام شد. در مرحله استخراج الکلی ترکیباتی مانند رزین ها، الیگوساکاریدها و بخشی از ترکیبات رنگی در اتانول حل و حذف می شوند. پس از استخراج الکلی از صمغ-رزین مقل اولیه، پودری حاصل شد که $82/47 \pm 0/63$ درصد صمغ-رزین مقل اولیه بود. مابقی ترکیبات که در الکل حل شده بودند و عمدتاً رزین ها هستند، با حذف اتانول به صورت جامد چسبنده ای باقی ماند که $17/52 \pm 0/66$ درصد صمغ-رزین مقل اولیه بود. پس از مرحله استخراج آبی بر روی پودر حاصل از مرحله استخراج الکلی، صمغ مقل به

دست آمد که $4/61 \pm 32/89$ درصد از صمغ-رزین اولیه را تشکیل می داد.

۲-۳- خواص فیزیکی صمغ مقل

۳-۲-۱- رنگ

با بررسی نتایج حاصل از ارزیابی رنگ پودر صمغ مقل استخراجی، شاخص روشنایی (L^*) $4/03 \pm 48/66$ ، شاخص قرمزی (a^*) $0/24 \pm 10/04$ و شاخص زردی (b^*) $20/35 \pm 0/67$ حاصل شد. شاخص روشنایی در مورد صمغ مقل کمتر از صمغ عربی ($84/68$) بود یعنی اینکه میزان روشنی رنگ صمغ مقل کمتر بوده و نسبت به صمغ عربی رنگ تیره تری داشت [۱۸]. شاخص a^* نمایانگر میزان قرمزی و یا سبزی می باشد. صمغ مقل قرمزتر از صمغ عربی ($3/39$) بود [۱۸]. همچنین شاخص b^* زردی و یا آبی بودن را نشان می دهد. صمغ مقل زردتر از صمغ عربی ($11/62$) بود [۱۸]. طی تحقیقات جوکی و همکاران (2014) که روی موسیلاژ دانه به صورت گرفت، بیان شد که شرایط متفاوت استخراج همچون نسبت آب به دانه، زمان و دمای استخراج بر رنگ نهایی پودر موسیلاژ اثر قابل توجهی دارد [۲].

۳-۲-۲- ویسکوزیته محلول صمغ مقل

خصوصیات رئولوژیکی هیدروکلوئیدها هنگام کاربرد در فرآورده های غذایی به منظور تغییر یا بهبود خصوصیات بافتی مواد غذایی اهمیت خاصی دارد. زیرا یکی از فاکتورهای اصلی در مدل سازی و طراحی فرآیند می باشد. ویسکوزیته محلول 5 درصد صمغ مقل در 100 rpm ، $3/81 \text{ mp/s}$ به دست آمد. در غلظت 10 درصد در 100 rpm و 50 ، 20 ویسکوزیته به ترتیب $9/6 \text{ mp/s}$ ، 25 و $36/93$ حاصل شد. افزایش ویسکوزیته محلول صمغ با افزایش غلظت صمغ به علت درگیری بیشتر پلیمرها با یکدیگر در غلظت بیشتر بوده که موجب تشکیل ساختار قوی تر برای حفظ آب و افزایش ویسکوزیته می شود. همچنین با افزایش سرعت برشی، تنش برشی افزایش و

ویسکوزیته محلول کم گردید. صمغ در سرعت برشی پایین ویسکوزیته بالاتر و با افزایش سرعت برشی، کاهش ویسکوزیته داشت که نشان دهنده رفتار رقیق شونده با برش است. بر طبق پژوهش‌های سعیدی و همکاران (۲۰۱۸) بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی صمغ آنغوزه، ویسکوزیته محلول‌های صمغ آنغوزه کم بوده و همچنین در دمای بالاتر از ۴۰ درجه سلسیوس رفتار رقیق شونده به ویژه در سرعت‌های برشی کم نشان داد و با افزایش سرعت برشی، رفتار صمغ آنغوزه بیشتر به نیوتنی نزدیک شد [۱۹].

۳-۲-۳- پتانسیل زتا

پتانسیل زتا نمایشگر پایداری و بار سیستم کلوئیدی است. در مواردی که پتانسیل زتای اجزای کلوئیدی افزایش یابد، نیروی دافعه الکترواستاتیک نیز افزایش یافته و سامانه کلوئیدی پایداری بیشتری خواهد داشت [۹]. به عبارت دقیق‌تر مرز بین پایداری و ناپایداری کلوئید را می‌توان بر حسب این آزمون مشخص کرد یعنی ذراتی که پتانسیل زتای بالاتر از ۳۰ + میلی‌ولت و پائین‌تر از ۳۰ - میلی‌ولت داشته باشند پایدار خواهند بود [۲۰].

پتانسیل زتای صمغ مقل $2/3 \pm 25/96$ میلی‌ولت بدست آمد که نشان دهنده ساختار آنیونی سیستم کلوئیدی و پایداری نسبی خوب آن می‌باشد. منفی بودن پتانسیل زتای صمغ مقل می‌تواند ناشی از حضور ارونیک اسید در ساختار این صمغ باشد که در نتایج ساختار صمغ قابل مشاهده است. طبق گزارشات هارنست و همکاران (۲۰۰۶) پتانسیل زتای محلول ۰/۱ درصد صمغ‌های عربی، کاراگینان و آلژینات در pH ۴ به ترتیب ۳۵/۴-، ۴۹/۲- و ۴۵/۱- میلی‌ولت است [۲۱].

۳-۳- خواص شیمیایی صمغ مقل

۳-۳-۱- ترکیبات شیمیایی

ترکیبات شیمیایی صمغ-رزین مقل قبل از مرحله استخراج مورد بررسی قرار گرفت. میزان رطوبت این ترکیب ۰/۴۶

$7/16 \pm 3/24$ درصد، چربی $18/50 \pm 1/24$ درصد، خاکستر ۰/۲۰ $18/89 \pm 0/6$ درصد، مقدار پروتئین $4/41 \pm 0/6$ و مقدار کربوهیدرات کل $1/03 \pm 51/04$ درصد بدست آمد. مقدار رزین استخراجی طی مرحله الکلی $17/56 \pm 0/66$ درصد محاسبه شد. ترکیبات شیمیایی صمغ پس از استخراج الکلی و آبی نیز مورد آزمون قرار گرفت. میزان ماده خشک $0/46 \pm 96/19$ درصد، خاکستر $0/01 \pm 4/35$ درصد، چربی $0/23 \pm 7/16$ درصد، میزان پروتئین $8/15 \pm 0/01$ و میزان کربوهیدرات کل $2/01 \pm 76/53$ درصد بدست آمد. به منظور مقایسه بهتر ترکیبات صمغ مقل با بعضی از صمغ‌های ترشحي، ترکیبات شیمیایی چند صمغ تراوشی در جدول ۱ نشان داده شده است [۲۲]. مقدار رطوبت صمغ مقل از رطوبت دو صمغ عربی و فارسی کمتر بود که می‌تواند به علت مرحله‌ی خشک کردن پودر صمغ در آون و یا آبدوستی کمتر آن باشد. اما صمغ-رزین اولیه مقل رطوبتی مشابه صمغ فارسی و صمغ عربی داشت. مقدار خاکستر صمغ مقل از مقدار خاکستر دو صمغ دیگر بیشتر بود. میزان خاکستر موجود در صمغ‌ها به شدت به شرایط محیط رشد مثل خاکی که گیاه در آن رشد می‌کند وابسته است. مقدار پروتئین از مقدار پروتئین صمغ فارسی بیشتر و نسبت به صمغ عربی درصد پروتئین صمغ مقل کمتر بود. مقدار چربی صمغ مقل در مقایسه با صمغ-رزین اولیه کمتر بود که نشان دهنده تاثیر مرحله استخراج الکلی است. مقدار ترکیبات شیمیایی هیدروکلوئیدها با توجه به عوامل مختلفی از جمله منبع تامین کننده صمغ، شرایط رشد متفاوت درختان و گیاهان و همچنین سن آن‌ها، روش‌های مختلف استخراج، زمان استخراج و خالص سازی متفاوت می‌باشد.

Table 1- Chemical composition of *Commiphora wightii* gum in comparison with two other exudate gums [22]

Chemical composition (%)	<i>Commiphora wightii</i> gum	Zedo gum	Arabic gum
Moisture	3.81±0.80	8.5-12.2	5-10
Ash	4.35±0.01	1.3-2.59	1.81-5
Protein	8.15±0.01	0.2-0.7	0.95-10
Fat	7.16±0.23	Trace	0-0.37
Total carbohydrate	61.10±2.10	87-89	65-89

سدیم صمغ مقل از دو صمغ فارسی و عربی بیشتر بود و مقدار کلسیم صمغ مقل نیز از مقدار کلسیم صمغ عربی بیشتر بود [۲۳]. میزان کلسیم موجود در صمغ ها، از جمله عواملی است که بسیاری از محققین آن را یک عامل موثر در تشکیل ژل می دانند [۲۴]. به گزارش اندرسون و وانگ (۱۹۹۱) ترکیب و غلظت مواد معدنی در گیاهان به طور عمده مربوط به خاکی است که گیاهان در آن رشد می کنند [۲۵].

۲-۳-۳- عناصر معدنی صمغ مقل

عناصر معدنی موجود در صمغ مقل در جدول ۲ نشان داده شده است. همچنین به منظور مقایسه بهتر عناصر تشکیل دهنده صمغ مقل، عناصر معدنی دو صمغ تراوشی دیگر در جدول ذکر شده است. صمغ مقل تقریباً شامل اکثر عناصر معدنی بود. نتایج بررسی ها نشان داد، کلسیم و سدیم بیشترین ماده معدنی موجود در صمغ مقل می باشند. عناصر گوگرد، پتاسیم و منیزیم بترتیب در رده های بعدی قرار دارند. مقدار

Table 2- Elements of *Commiphora wightii* gum in comparison with two other exudate gums [22]

Elements (%)	<i>Commiphora wightii</i> gum	Zedo gum	Arabic gum
Al	1.78	-	-
Ca	37.36	74.11	0.7
Fe	1.02	0.1	0.001
K	12.99	17.94	0.95
Mg	8.93	7.73	0.2
Na	25.18	0.1	0.01
S	10.56	-	-
Sr	0.20	-	-
Zn	0.97	0.02	-
Ti	0.12	-	-
Mn	0.41	-	-
Ba	0.04	-	-
Cu	0.04	-	-
B	0.37	-	-
Li	-	-	-

پدیده را می توان این گونه توجیه کرد که طی استخراج صمغ با استفاده از حلال اتانول و همچنین در دمای ۵۰ درجه سلسیوس، ترکیبات فنولی موجود در صمغ-رزین که فعالیت آنتی اکسیدانی ایجاد کرده اند، به علت حلالیت در اتانول حل و سپس حذف شده اند. طی چندین مطالعه پلی- ساکاریدهای خام استخراج شده فعالیت آنتی اکسیدانی قابل

۳-۳-۳- بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی صمغ مقل

بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی صمغ مقل به روش DPPH، هیچ فعالیت آنتی اکسیدانی برای صمغ مقل را نشان نداد. اما با بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی صمغ-رزین پس از محاسبه به روش DPPH $7/42 \pm 36/36$ درصد محاسبه شد. این

توجه‌ای را نشان می‌دهند، اما پس از مراحل خالص‌سازی، پلی‌ساکارید خالص نهایی فعالیت آنتی‌اکسیدانی کمی دارند. به عبارتی می‌توان گفت سایر ترکیبات موجود در پلی‌ساکارید خام مانند رنگیزه‌ها، فالون‌ها، پتیدها، پروتئین‌ها و پلی‌فنول‌ها که فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارند، در مرحله خالص‌سازی حذف گردیده‌اند [۲۰].

۳-۴- خواص عملکردی صمغ مقل

۳-۴-۱- حلالیت

حلالیت صمغ مقل در سه دمای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه سلسیوس مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل در شکل ۱ گزارش شده است. به صورت کلی می‌توان بیان کرد حلالیت این صمغ در آب پایین بوده و با افزایش دما حلالیت افزایش پیدا کرد. حلالیت کم این صمغ در آب به علت حضور عوامل هیدروفوب موجود در ساختار آن می‌باشد. دو فاکتور مهم و تعیین کننده حلالیت پلی‌ساکاریدها ساختار و وزن ملکولی آن‌ها می‌باشد. در صمغ‌های مشابه، اغلب

با کاهش وزن ملکولی انحلال افزایش می‌یابد. جدا شدن ذرات با وزن ملکولی بالا و سپس نفوذ آب به داخل آن‌ها در مقایسه با ذرات با وزن ملکولی کم‌تر، در زمان طولانی‌تری اتفاق می‌افتد. در نتیجه انحلال مواد با وزن مولکولی بالا دیرتر رخ می‌دهد. خصوصیات ساختاری (ساختار خطی، نوع پیوندهای گلیکوزیدی، وزن مولکولی بالا و سایر خصوصیات ساختاری منظم) که اتصالات بین مولکول‌های پلی‌ساکارید را افزایش می‌دهد، باعث کاهش حلالیت پلی‌ساکاریدها می‌گردد. پلی‌ساکاریدهای خطی با ساختار بسیار منظم که ساختار بلورین دارند، اغلب نامحلول یا کم محلول در آب هستند. اما ساختارهای شاخه‌ای دارای حلالیت بالاتری هستند. در پلیمرهایی که حلالیت کمی در آب دارند، اتصالات بین مولکول‌های پلیمر غالب است که منجر به توده‌ای شدن و در نهایت رسوب ساختار مولکول می‌گردد [۲۰].

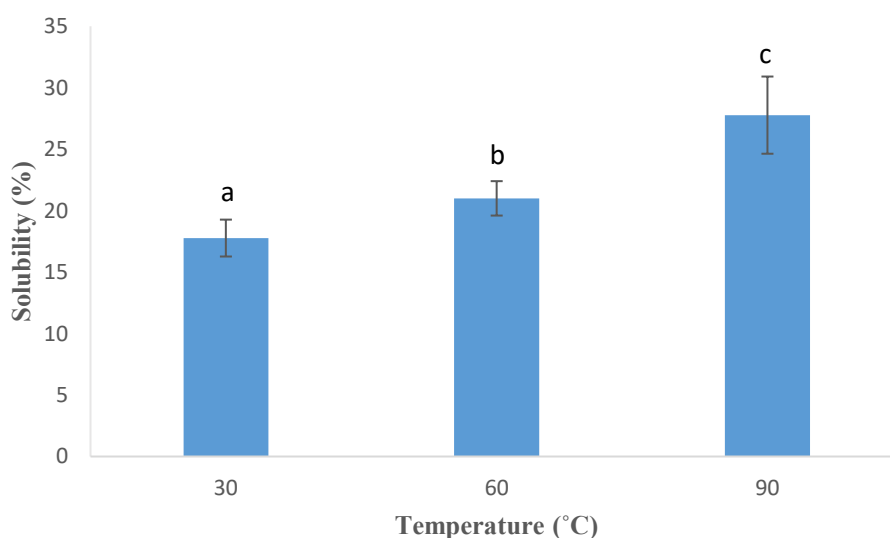


Fig. 1- *Commiphora wightii* gum solubility at different temperatures
Different letters show significant differences between samples ($p < 0.05$)

افزایش یافته است (۳). در ارتباط با صمغ زانتان، با افزایش دما از ۳۰ به ۶۰ درجه سلسیوس حلالیت افزایش یافته است. هر چند استفاده از حرارت جهت افزایش حلالیت باعث می‌شود که نتوان از هیدروکلوئیدها به طور گسترده در فرآوری‌های حساس به حرارت استفاده کرد [۹].

در مطالعاتی که توسط خالصی و همکاران (۱۳۹۱) انجام گرفته است، نشان دادند که حلالیت صمغ فارسی وابسته به تغییرات دما بوده و از ۵۸/۰۵ درصد در دمای ۳۰ درجه سلسیوس تا ۷۷/۵ درصد در دمای ۹۰ درجه سلسیوس

۲-۴-۳- ظرفیت جذب آب

قابلیت جذب آب توانایی یک ماده در واکنش با مقادیر کم آب را نشان می‌دهد. ظرفیت جذب آب صمغ مقل در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بررسی شد و $3/78 \pm 0/78$ گرم آب در یک گرم صمغ بدست آمد. ظرفیت جذب آب پایین، می‌تواند به دلیل حضور پروتئین‌های موجود در ساختار پلی- ساکاریدی صمغ باشد که خصوصیت هیدروفوبیستی آن را افزایش می‌دهد. ظرفیت حفظ آب در صمغ‌ها به عوامل زیادی از جمله شرایط استخراج و خالص سازی بستگی دارد. این عوامل بر روی سطح تماس بین هیدروکلئید و آب تاثیر گذار هستند. ظرفیت جذب آب همچنین به پارامترهایی مانند شدت واکنش بین پروتئین، پلی ساکارید و مولکول‌های آب و موقعیت‌های آب دوست، شرایط محیطی و شکل فضایی پروتئین وابسته می‌باشد [۲۴].

ظرفیت جذب آب یکی از عوامل مهم در رابطه با کاربرد گسترده صنعتی صمغ‌های تراوشی محسوب می‌شود که موجب تولید ژل یا محلول‌های باگرانروی بالا می‌شود. بر طبق نتایج حاصل از مطالعات خالصی و همکاران (۱۳۹۱) توانایی جذب آب برای صمغ زرد $10/2 \text{ g/g}$ بدست آمد که مبین قابلیت جذب آب تا حدودی خوب این صمغ و عدم تغییرات آن با دما می‌باشد [۲۶].

۳-۴-۳- ظرفیت جذب روغن

ظرفیت جذب روغن برای صمغ مقل $2/33 \pm 0/22$ گرم روغن در یک گرم صمغ بدست آمد. جذب روغن توسط پلی ساکاریدها به صورت فیزیکی و شیمیایی انجام می‌گیرد. جذب فیزیکی به دلیل برهمکنش فیزیکی روغن بر روی سطح ذرات پودر صمغ است و جذب شیمیایی ناشی از برهمکنش‌های شیمیایی بین روغن و کربوهیدرات، پروتئین و چربی در ساختار صمغ (عمدتا ناشی از پیوندهای هیدروفوبی و واندروالسی) می‌باشد. مقدار و نوع ساختار هیدروفوبی موجود در پلی ساکارید میزان جذب روغن را مشخص می‌کند [۱۸]. میزان جذب روغن در این صمغ بالا

بود. صمغ-رزین مقل درصد چربی بالایی در ترکیب خود داشت که این نیز باعث افزایش گروه‌های هیدروفوبی و در نتیجه افزایش ظرفیت جذب روغن در این صمغ شد. این ویژگی موجب می‌گردد این صمغ برای استفاده در صنعت غذا و در فرمول‌های حاوی روغن، اهمیت بیشتری پیدا کند. توانایی جذب روغن بالا از نظر تکنولوژیکی اهمیت بسیاری دارد. به طور مثال می‌توان برای پایداری بافت امولسیون‌های پر چرب از صمغ‌هایی با ظرفیت جذب روغن بالا استفاده کرد. همچنین به لحاظ فیزیولوژیکی قادرند با جذب چربی به خود به کاهش جذب چربی غذای خورده شده در بدن کمک کنند [۷]. بالا بودن ظرفیت جذب چربی در صمغ‌ها به دلیل وجود گروه‌های هیدروفوبی می‌باشد که این گروه‌ها در سطح قرار گرفته و می‌توانند مولکول‌های چربی را جذب سطحی کنند. ظرفیت جذب روغن صمغ بادام و صمغ عربی به ترتیب $0/87$ و $0/92$ درصد گزارش شده است. این مقدار از ظرفیت جذب روغن صمغ مقل کمتر می‌باشد که می‌تواند به علت وجود گروه‌های هیدروفوب کمتر این دو صمغ نسبت به صمغ مقل باشد [۱۸].

۴-۴-۳- ظرفیت کف کنندگی و پایداری کف صمغ مقل

توانایی تولید کف و پایداری کف صمغ مقل در غلظت‌های ۱، ۲ و ۴ درصد در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین میزان تولید کف و همچنین پایداری کف در غلظت ۴ درصد به ترتیب ۸۷٪ و ۶۵٪ بدست آمد. صمغ مقل توانایی تولید کف خوبی داشت که می‌تواند به علت وجود پروتئین در ساختار صمغ باشد. پروتئین‌ها عوامل بسیار موثر در تولید کف و پایداری آن هستند. میزان کف کنندگی صمغ مقل تقریباً مشابه صمغ ریشه‌ی سیریش بود [۱].

خاصیت کف کنندگی در صنعت غذا در ایجاد خصوصیات رئولوژیکی مطلوب در مواد غذایی نظیر بافت نان، کیک، خامه زده شده و بستنی نقش بسیار مهمی دارد. بنابراین پایداری کف به عنوان یک معیار مهم در کیفیت مواد غذایی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. به طور کلی صمغ‌های پلی ساکاریدی به عنوان عوامل فعال سطحی شناخته نمی-

فارسی در غلظت‌های ۱ تا ۵٪ توسط امینی (۱۳۹۵) بررسی شد که در غلظت‌های کمتر از ۳٪ هیچ گونه تشکیل کفی در محلول مشاهده نشد. همچنین در غلظت‌های ۴ و ۵ درصد نیز به مقدار ناچیز کف تولید شد که این مقدار نیز به سرعت از بین رفت و قابل اندازه‌گیری نبود. این محقق گزارش نمود، ناچیز بودن مقدار پروتئین موجود در صمغ فارسی علت اصلی عدم تولید کف برای صمغ می‌باشد [۲۸].

شوند. اما نتایج مطالعات نشان می‌دهد که می‌توان از صمغ‌ها برای افزایش تولید کف در فرآورده‌های غذایی استفاده کرد. صمغ‌ها تأثیر مثبتی بر خواص تولید کف در مواد غذایی دارند که به علت تمایل حضور آنها در لایه بین سطح، کاهش فعالیت سطحی به علت حضور مولکول‌های صمغ و افزایش ویسکوزیته می‌باشد. طبق گزارشات حسن پور (۲۰۱۸) ظرفیت کف‌کنندگی محلول ۱ در صد صمغ برگ پنیرک ۲۸٪ تعیین شده است [۲۷]. توانایی تولید کف محلول صمغ

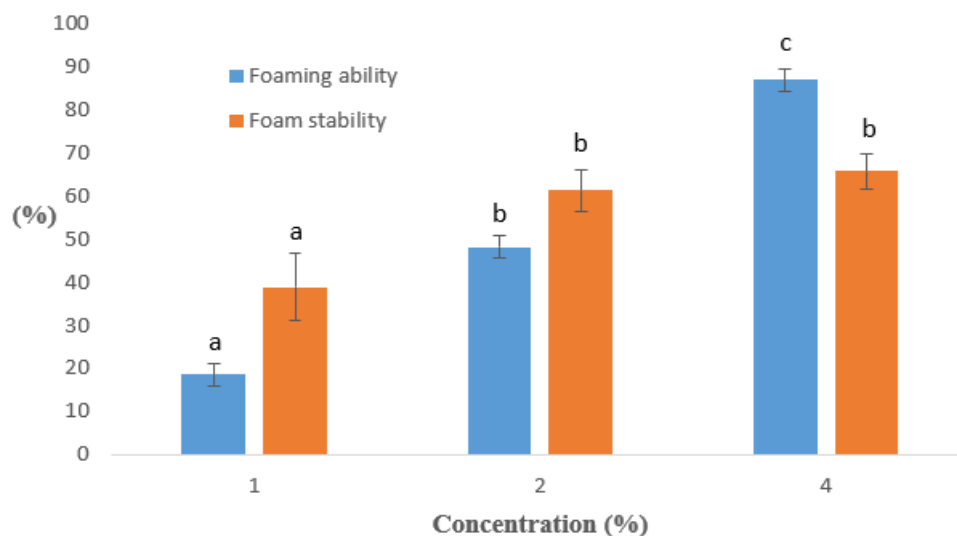


Fig. 2- Foaming properties of *Commiphora wightii* gum

Different letters show significant differences between samples in each test ($p < 0.05$)

طی تحقیقات دیکینسون و همکاران (۲۰۰۹) مشخص گردید، اگر غلظت هیدروکلوئید در امولسیون کمتر از میزان مشخصی باشد، هیدروکلوئید نمی‌تواند ذرات فاز پراکنده را کاملاً بپوشاند، در نتیجه برخورد و اتصال ذرات فاز پراکنده به یکدیگر افزایش یافته و در نهایت در اثر بزرگ‌تر شدن ذرات چربی احتمال جدا شدن آنها از امولسیون و دو فاز شدن امولسیون افزایش می‌یابد. درحالی که در غلظت‌های بالاتری از هیدروکلوئید، به علت ویسکوزیته بیشتر و پوشاندگی کامل ذرات فاز پراکنده، از جدا شدن چربی از امولسیون جلوگیری به عمل می‌آید. بر طبق بررسی‌های سعیدی و همکاران (۲۰۱۸) در اثر افزایش غلظت صمغ آنگوزه شاخص فعالیت امولسیون از $8/0 \pm 6/6 \text{ m}^2/\text{g}$ در نمونه پنج درصد محلول صمغ آنگوزه به $1/0 \pm 18/7 \text{ m}^2/\text{g}$ در نمونه ۲۰ درصد محلول صمغ آنگوزه افزایش یافت. به

۵-۴-۳- ظرفیت امولسیونی صمغ مقل

فعالیت امولسیونی صمغ مقل در غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳٪ صمغ بررسی شد (شکل ۳). نتایج نشان داد که این صمغ توانایی تولید یک امولسیون نسبتاً خوب را دارد. نتایج نشان داد که غلظت تأثیر معنی داری بر فعالیت امولسیونی صمغ مقل دارد به گونه‌ای که با افزایش غلظت صمغ، فعالیت امولسیونی افزایش یافت که به دلیل افزایش ویسکوزیته و همچنین افزایش مقدار پروتئین موجود در ترکیب می‌باشد. با افزایش غلظت صمغ در محلول‌ها میزان جذب آب و ویسکوزیته افزایش یافته که موجب می‌شود تحرک و جابه‌جایی کمتر ذرات چربی کم و بنابراین احتمال برخورد آنها به همدیگر و ایجاد ناپایداری کاهش یابد و امولسیون پایدارتر باشد [۱۰].

داده شده با صمغ کدورت افزایش یافته و در نتیجه شاخص فعالیت امولسیون بیشتر می گردد [۱۹].

عبارتی هرچه یک امولسیون از پایداری بیشتری برخوردار باشد، به دلیل کاهش حرکات براونی ذرات روغن پوشش

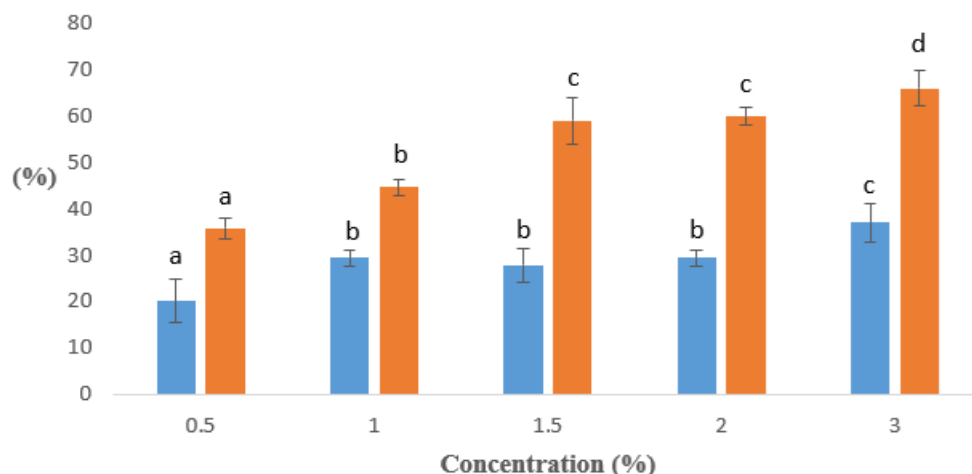


Fig. 3. Emulsion activity and emulsion stability against temperature of *Commiphora wightii* gum
Different letters show significant differences between samples in each test ($p < 0.05$)

نتایج حاصل از بررسی های صالحی (۱۳۹۶) در غلظت ۱ درصد صمغ میوه کاکتوس نشان داد این صمغ ۵۵/۸۳ درصد خاصیت امولسیفایری با پایداری حرارتی ۹۲/۱۷ داشت که با افزایش غلظت صمغ میزان پایداری افزایش یافت [۲۹]. بررسی های نیک نام (۱۳۹۶) بر روی صمغ دانه بارهنگ نشان داد که با افزایش غلظت این هیدروکلوئید از ۰/۳ به ۱ درصد وزنی - حجمی پایداری امولسیون تهیه شده از این صمغ از ۱۷/۴۶ به ۴۶/۵۹٪ افزایش یافت [۳۰].

واکنش های شیمیایی و بیوشیمیایی که طی زمان رخ می دهند، ممکن است موجب جداسازی فازی و ناپایداری امولسیون شود. امولسیون تهیه شده از صمغ مقل به مدت ۴ هفته در داخل یخچال با دما ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد. نتایج بررسی ها در جدول ۳ نشان داده شده است. غلظت های مختلف صمغ نیز باعث پایداری امولسیونی متفاوتی طی زمان شده است.

به دلیل اینکه امولسیون ها در برابر تغییرات دما به دلیل ناپایداری های ترمودینامیکی مقاومت از خود نشان نمی دهند و با انجام فرایندهای حرارتی مثل پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون و همچنین خشک کردن در زمان تولید، نگهداری و مصرف، خصوصیات عملکردی امولسیون ها دچار تغییر می گردد، لذا آزمون پایداری حرارتی امولسیون ها انجام می شود. داده های حاصل از این آزمون در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که غلظت تاثیر معنی داری بر پایداری امولسیون در برابر دما داشته است. بررسی ها نشان می دهد با افزایش غلظت صمغ در تهیه امولسیون، پایداری امولسیون در برابر دما افزایش می یابد که به علت افزایش ویسکوزیته و کاهش سرعت ادغام شدن امولسیون می باشد. بر اساس قانون استوک، سرعت حرکت قطرات فاز گسسته با ویسکوزیته فاز پیوسته رابطه عکس دارد. بنابراین افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته امولسیون موجب پایداری آن در برابر جداسازی فاز می شود.

Table 3. Emulsion stability of *Commiphora wightii* gum during time

Time (week)	Concentration (%)				
	0.5	1	1.5	2	3
First	29.55±2.20 ^a	16.55±4.50 ^{cd}	19.77±4.50 ^{bcd}	24.66±2.30 ^{abc}	19.77±4.50 ^{bcd}

Second	26.22±0.80 ^{ab}	13.33±0.00 ^d	16.55±4.50 ^{cd}	24.66±2.30 ^{abc}	19.77±4.50 ^{bcd}
Third	26.22±0.80 ^{ab}	13.33±0.00 ^d	16.55±4.50 ^{cd}	24.66±2.30 ^{abc}	19.77±4.50 ^{bcd}
Fourth	26.22±0.80 ^{ab}	13.33±0.00 ^d	16.55±4.50 ^{cd}	24.66±2.30 ^{abc}	19.77±4.50 ^{bcd}

Different letters show significant differences between all samples ($p < 0.05$)

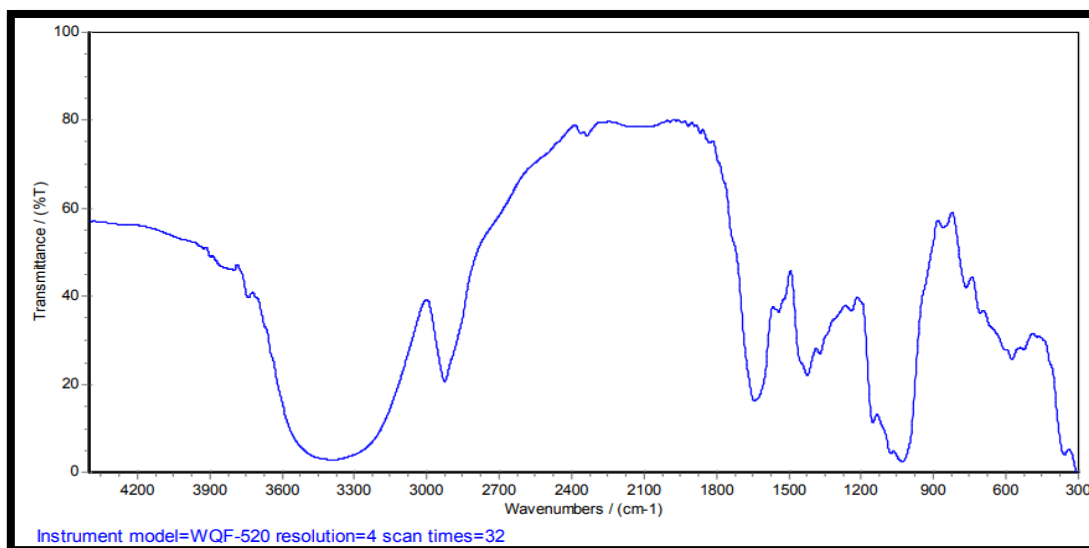
می‌شود و شاخص خوبی از تفاوت در ساختار صمغ‌های مختلف است. طیف جذب مادون قرمز صمغ مقل در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از ارزیابی FTIR نمونه صمغ بیانگر وجود نوار بارز در محدوده عدد موجی $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ است که وجود گروه‌های هیدروکسیل (OH^-) متعدد در نمونه موجب برقراری نوار تند با قاعده بزرگ در این عدد موج می‌شود. وجود گروه هیدروکسیل عمدتاً مویید حضور گلوکورونیک اسید، گالاکتورونیک اسید، اسیدهای کربوکسیلیک، الکل قندها و گروه‌های گلیکوزیدی در پروفایل ترکیبات موجود در نمونه است. نوارهای جذبی در این محدوده ممکن است به OH موجود در آب، گروه‌های آمینواسیدی، ارتعاشات کششی گروه‌های هیدروکسیل که پیوند هیدروژنی درون مولکولی در الکل پلی ساکاریدها یافت می‌شود و نیز به پیوندهای H-N در پروتئین‌ها مربوط باشد [۳۲]. دو نوار دیگر ایجاد شده در عدد موج حدود 1700 cm^{-1} مشاهده شده که این موارد بیانگر پیوند دوگانه میان کربن-اکسیژن یا همان گروه عاملی کتونی (C=O) و همچنین پیوند ساده کربن-هیدروژن (C-H) است. حضور پروتئین در نمونه نیز می‌تواند باعث جذب در نوار این ناحیه شود که به دلیل پیوندهای آمیدی H-N و همچنین ارتعاش خمشی پیوند OH ایجاد می‌شود. سایر نوارهای ظاهر شده نیز عمدتاً در اعداد موج پایین‌تر از 1100 cm^{-1} مشاهده شده که به دلیل گروه‌های هیدروکربنی موجود در نمونه صمغ است. همچنین یک نوار در عدد موج محدوده 2800 cm^{-1} مشاهده شد که می‌تواند در ارتباط با پیوندهای ساده کربن-هیدروژن و یا گروه‌های آمینی (N-H) باشد. به عنوان مثال ترکیباتی همانند کیتوزان، کیتین و برخی دیگر از پلی ساکاریدها و هیدروکلئیدها همانند کاراگینان و حتی پکتین در این محدوده این نوار را نشان می‌دهند [۲].

نتایج حاصل از یک ماه نگهداری نمونه‌های امولسیون در یخچال، ناپایداری زیادی را نشان نداد. ناپایداری مشاهده شده به صورت کریمینگ نبود و روغن اندازی در سطح مشاهده نگردید. اما مقداری آب در انتهای ظرف جمع شد. در غلظت‌های ۰/۵، ۱/۵ و ۱/۱۰ از هفته‌ی دوم حجم امولسیون کاهش یافت و بعد از آن ثابت ماند. در غلظت ۲ و ۳ درصد میزان پایداری از هفته اول تا آخر ثابت ماند. در غلظت ۲ درصد بیشترین میزان پایداری امولسیون در طی زمان مشاهده شد که غلظت مناسب برای تهیه یک امولسیون خوب از این صمغ می‌باشد. کاهش در مقدار پایداری امولسیون با گذشت زمان ممکن است به دلیل تماس بیشتر بین قطرات و در نتیجه تجمع (لخته شدن) و به هم پیوستن قطرات روغن به عنوان فاز پراکنده باشد. لذا می‌توان به ارتباط بین ویسکوزیته و پایداری به جدا شدن فاز چربی پی برد. در نمونه‌های با غلظت و ویسکوزیته بیشتر، به علت کاهش جابه‌جایی ذرات و کم شدن حرکت آن‌ها به سطح از میزان جدا شدن چربی کاسته شد و پایداری به جدا شدن فاز چربی در آنها افزایش یافت. در تحقیقات انجام شده توسط جعفری و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر افزودن صمغ‌های انگوم و عربی بر پایداری امولسیون بررسی شد. نتایج حاصل نشان داد که استفاده از صمغ انگوم با غلظت ۳٪ وزنی - حجمی، امولسیون پایداری را ایجاد کرد که تقریباً هیچ جدا شدن فازی در آن مشاهده نگردید. اما استفاده از صمغ عربی حتی در غلظت‌های بالای ۵٪ نتیجه قابل قبولی ایجاد نکرد [۳۱].

۳-۵- بررسی خصوصیات ساختاری صمغ مقل

۳-۵-۱- طیف سنج مادون قرمز تبدیل فوری

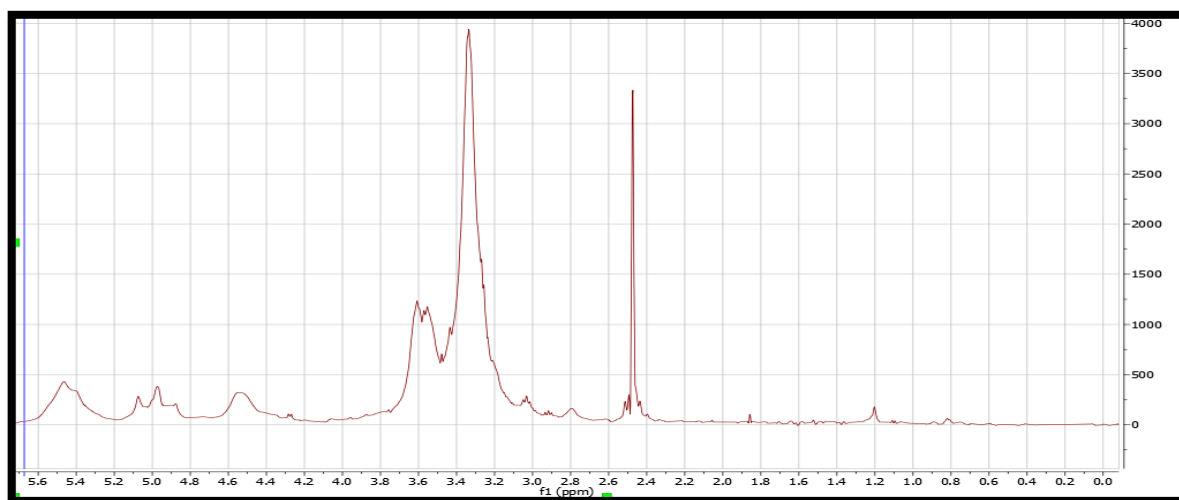
طیف سنجی مادون قرمز جهت تشخیص و تعیین گروه‌های عاملی ترکیبات است. فاصله ی بین عدد موج 950 cm^{-1} - 1200 به عنوان ناحیه اثر انگشت کربوهیدرات‌ها شناخته

Fig. 4. FTIR spectra of *Commiphora wightii* gum

بنابراین، استفاده از NMR تک بعدی پروتون به تنهایی برای حل مسئله ساختاری یک پلی ساکارید یا الیگوساکارید پیچیده، مشکل خواهد بود. در طیف کربن ^{13}C -سیگنال‌ها از کربن‌های آنومری در محدوده ۸۵ تا ۹۰ ppm ظاهر می‌شود و کربن‌های غیر آنومری بین ۶۰ الی ۸۵ ppm قرار دارند. طیف H-NMR صمغ مقل در شکل ۵ نشان داده شده است.

۲-۳-۵-طیف سنج رزونانس مغناطیس هسته ای

سیگنال‌های حاصل از H-NMR به علت فراوانی بیشتر، حساسیت بیشتری نسبت به سیگنال‌های کربن ^{13}C -دارند. به عبارت دقیق‌تر از H-NMR می‌توان برای کمی‌سازی در بعضی کاربردها استفاده نمود. اگر چه بیشتر سیگنال‌های پروتون بین یک محدوده جابه‌جایی شیمیایی ۲ ppm وجود دارند، که موجب آمیختگی قابل توجه سیگنال‌ها می‌شود.

Fig. 5. H-NMR spectra of *Commiphora wightii* gum

پایین تر از ۲ ppm، بین ۳-۵ ppm قرار دارد. پروتون‌های آنومری مونوساکارید، بسته به اینکه آلفا یا بتا باشند، سیگنال‌های خاصی ایجاد می‌کنند. با توجه به نتایج به دست آمده در ارزیابی H-NMR پیک ظاهر شده در محدوده‌ی

سیگنال‌های کربوهیدرات‌ها در طیف NMR، به خصوص H-NMR معمولاً در یک محدوده نازک به صورت متمرکز قرار دارند که این محدوده در طیف H-NMR در

NMR نیز نشان می‌دهد پیک حاصل در محدوده ۱۰۰ ppm بیانگر اتصال C-2-C-5 انتهای مانوز و یا رامنوز است. سیگنال های آنومری در محدوده ۱۰۱-۱۰۳ ppm حضور قندهای پیرانوزی و رزونانس در محدوده ۱۰۹/۱-۱۰۹/۸ ppm حضور قندهای به شکل فورانوزی را تایید می‌کند. همچنین دو سیگنال عمده رزونانس کربن در محدوده ۸۰-۹۰ ppm و محدوده ۷۰ ppm مشاهده شد که به ترتیب مرتبط با کربن شماره یک بتا-دی-گالاکتوز و کربن آنومریک دی گالاکتوز و یا گالاکتوز پیروات و گالاکتوز سولفات است. همچنین پیک محدوده ۷۰ ppm می‌تواند مرتبط با کربن شماره ۵ رامنوپیرانوزیل باشد [۲۳].

۳/۵-۵/۵ ppm بیانگر انتهای آلفا - ال- رامنوپیرانوزیل و یا پروتون آنومریک ظاهر شده مربوط به گلوکز یا گالاکتوز است. پیک ظاهر شده در محدوده ۴/۴-۴/۸ ppm عمده مربوط به سیگنال ظاهر شده توسط انتهای H-2-H-5 رامنوز است. پیک ظاهر شده در محدوده ۳/۵ ppm متیل پروتون های متصل به کربن شماره ۶ بتا-دی-گالاکتوز مربوط می‌شود. پروتون های کربن شماره ۴ نیز در محدوده ۳/۹-۴/۳ ppm ظاهر می‌شود. همچنین پیک ظاهر شده در محدوده ۱/۵ ppm به پروتون های متیلیک و پیروات سیکلیک ارتباط دارد [۲۰].

طیف C-NMR صمغ مقل در شکل ۶ نشان داده شده است. در طیف سیگنال های کربن کربوهیدرات ها، سیگنال های کربن آنومری در ۹۰-۱۱۰ ppm ظاهر می‌شوند و کربن های غیر آنومری بین ۶۰-۸۵ ppm ظاهر می‌شوند. نتایج C-

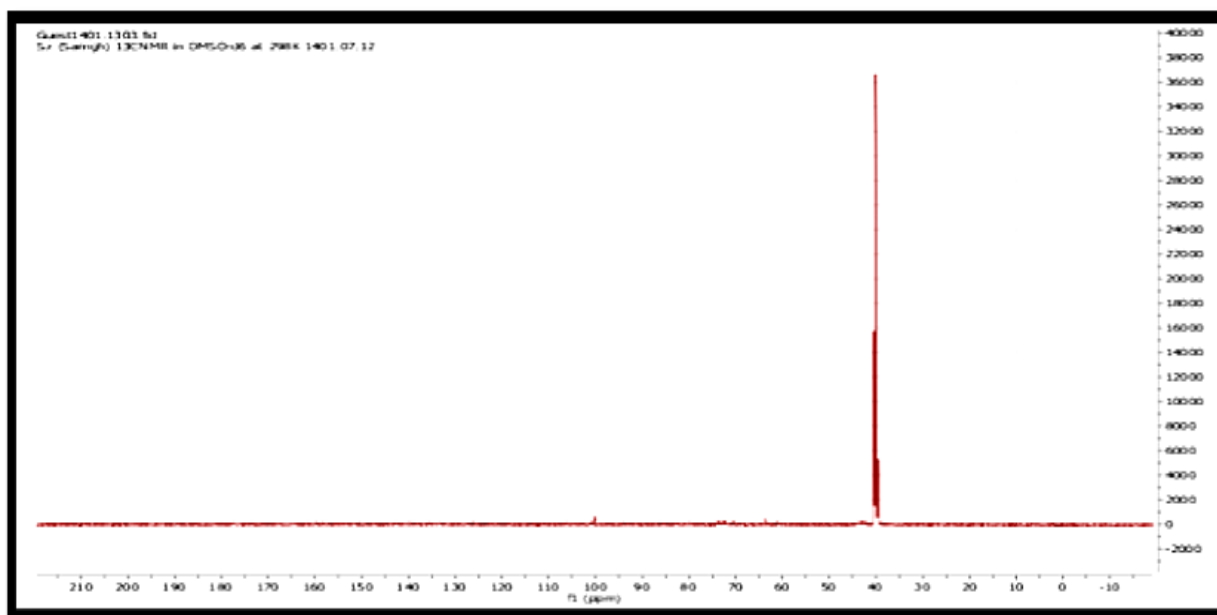


Fig. 6. C-NMR spectra of *Commiphora wightii* gum

بیانگر وجود گلوکز به عنوان یک هگزوز با حداکثر مقدار است و پس از آن نیز مانوز و رامنوز قرار دارند. وجود گلوکورونیک اسید و گالاکتورونیک اسید نیز موجب تقویت پیوندهای الکتروکوالانسی در خارج از زنجیره ی پلی ساکاریدی به دلیل حضور گروه های کربوکسیل، هیدروکسیل و تمایل آن به ایجاد پیوند با یون های با بار

۳-۵-۳- مونوساکاریدهای صمغ مقل

نتایج آنالیز قند های صمغ مقل تعیین شده توسط دستگاه HPLC در شکل ۷ نشان داده شده است. به طور کلی این صمغ شامل مونوساکارید های مانوز، رامنوز، گلوکورونیک اسید، گالاکتورونیک اسید، فروکتوز، گلوکز، زایلوز و آرابینوز می‌باشد. ارزیابی پروفایل مونوساکاریدی در نمونه صمغ

مثبت می شود که این امر شناسایی این صمغ را تسهیل می کند.

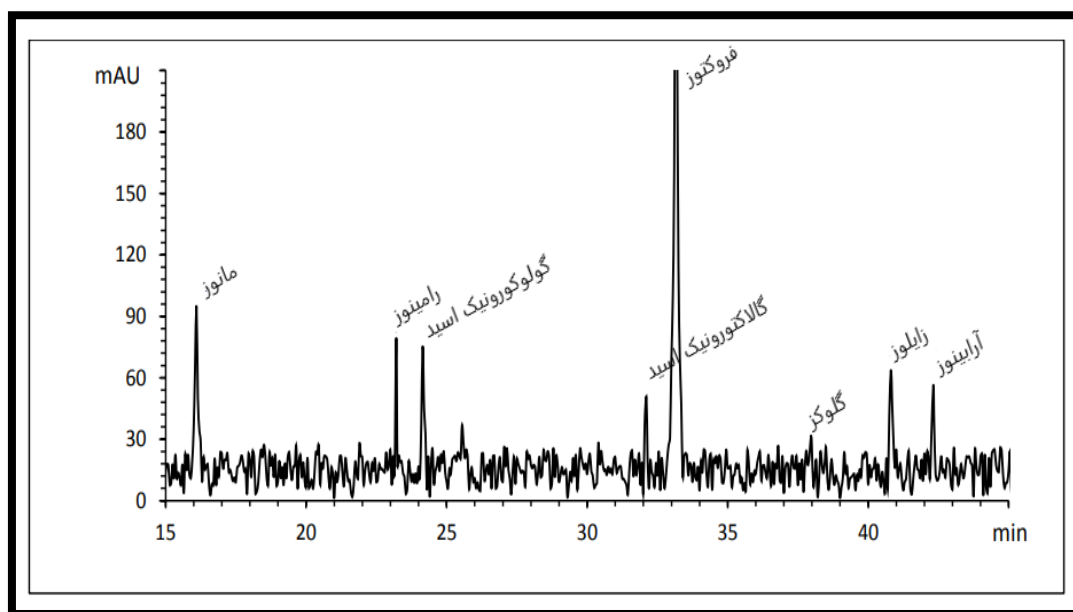


Fig. 7. HPLC analysis of *Commiphora wightii* gum

گلوکز به مانوز افزایش یابد، میزان حلالیت و جذب آب صمغ افزایش می یابد [۱].

۴-نتیجه گیری

در این مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی، عملکردی و ساختاری صمغ مقل مورد بررسی قرار گرفت. به صورت کلی با بررسی های انجام شده می توان گفت که صمغ مقل پلیمری منشعب و با حلالیت متوسط از دسته آرابینوگالاکتان ها می باشد که به علت حضور گالاکتورونیک اسید در ساختارش به عنوان یک هیدروکلوئید آنیونی در نظر گرفته می شود. حضور گروه های متیل و پروتین زیاد در صمغ مقل خاصیت هیدروفوبیسیته به صمغ داده که خاصیت امولسیفایری خوبی را برای این صمغ به همراه دارد و در نتیجه می تواند به عنوان یک امولسیفایر در صنعت غذا مورد استفاده قرار گیرد.

تحقیقات نیک نام (۱۳۹۶) بر روی صمغ موسیلاژ بارهنگ نتایج نشان داد که ۸ نوع مونوساکارید در این صمغ وجود دارد که شامل گلوکز (۶۷/۶٪)، فروکتوز (۱/۹۲٪)، زایلوز، (۱۰/۴۶٪)، رامنوز (۲۱/۸۴٪)، گالاکتوز (۲/۴۶٪)، آرابینوز (۵۲/۶۱٪) و گلوکورونیک اسید (۳/۶۹٪) بودند. در نتیجه، بیشترین مونوساکارید موجود در این صمغ آرابینوز و سپس رامنوز می باشد [۳۰]. صلاحی قراغیلی (۱۳۹۹) آنالیز ترکیبات قندی (مونوساکاریدها) صمغ ریشه سریش را بررسی کرد. نتایج ایشان نشان داد که گلوکز و مانوز به ترتیب با ۵۰ و ۴۵ درصد، عمده ترین قندهای تشکیل دهنده ی ساختار پلی ساکاریدی صمغ ریشه سریش می باشند. نتیجه ای که به خوبی بیان می کند که صمغ ریشه سریش از خانواده گلوکومانان ها می باشد. نسبت گلوکز به مانوز در این صمغ ۱/۱ به ۱ است. این نسبت در صمغ دانه ریحان ۳/۳ به ۱ می باشد به عبارتی هرچقدر این نسبت بزرگتر باشد یعنی میزان

۵-منابع

[1] Salahi M., Razavi, S. M. A. and Amiri, M. S. 2021. Optimization of hydrocolloid extraction from serish root (*eremurus luteus*) using

response surface method and examining physicochemical characterization of the optimized sample. Iran. J. Food. Sci. Technol.

112(18):153-168.

- [2] Hesarinejad, M. A., Koocheki, A. and Razavi, S. M. A. 2014. Dynamic rheological properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum: Effect of concentration, temperature and heating/cooling rate. Food Hydrocoll. 35: 583-589.
- [3] Saini, L. S., Rajput, S. K., Rathore, T. R. and Tomar, U. K. 2018. Non-destructive harvesting of oleo-gum resin in *Commiphora wightii* (Arnott) Bhandari—a critically endangered plant. Ind Crops Prod. 113: 259-265.
- [4] Bhatia, A., Bharti, S. K., Tripathi, T., Mishra, A., Sidhu, O. P., Roy, R. and Nautiyal, C. S. 2015. Metabolic profiling of *Commiphora wightii* (guggul) reveals a potential source for pharmaceuticals and nutraceuticals. Phytochemistry. 110: 29-36.
- [5] Simas-Tosin, F., Barraza, R., Petkowicz, C., Silveira, J., Sassaki, G., Santos, E., Gorin, P. and Iacomini, M. 2010. Rheological and structural characteristics of peach tree gum exudate. Food Hydrocoll. 24: 486-493.
- [6] Vani, P., Sreekanth, D., Manjula, P., Keerthi, B., Kistamma, S., Mohan, B., Reddy, A. N. and Mohan, C. 2016. Phytochemical investigation, antibacterial activity and antioxidant activity of the endangered tree *Commiphora wightii* (Arn.) Bhandari. J. Pharmacogn. Phytochem. 5: 21.
- [7] Chaudhari, B. and Annapure, U. 2021. Rheological, Physicochemical, and Spectroscopic characterizations of *Limonia acidissima* L. gum exudate with an application in extrusion processing. Carbohydr. Polym. Technol. Appl. 2: 100020.
- [8]. López-Franco, Y., Cervantes-Montaño, C., Martínez-Robinson, K., Lizardi-Mendoza, J. and Robles-Ozuna, L. 2013. Physicochemical characterization and functional properties of galactomannans from mesquite seeds (*Prosopis* spp.). Food Hydrocoll. 30: 656-660.
- [9] Hesarinejad, M. A., Razavi, S. M. and Koocheki, A. 2015. *Alyssum homolocarpum* seed gum: Dilute solution and some physicochemical properties. Int. J. Boil. Macromol. 81: 418-426.
- [10] Chaudhari, B. B. and Annapure, U. S. 2020. Physicochemical and rheological characterization of *pithecellobium dulce* (Roxb.) benth gum exudate as a potential wall material for the encapsulation of rosemary oil. Carbohydr. Polym. Technol. Appl. 1: 100005.
- [11] Vieira, J., Mantovani, R., Raposo, M., Coimbra, M., Vicente, A. and Cunha, R. 2019. Effect of extraction temperature on rheological behavior and antioxidant capacity of flaxseed gum. Carbohydr. Polym. 213: 217-227.
- [12] Arlington, V. 1980. *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*. AOAC Inc.: Washington, DC, USA.
- [13] Betancur-Ancona, D., López-Luna, J. and Chel-Guerrero, L. 2003. Comparison of the chemical composition and functional properties of *Phaseolus lunatus* prime and tailing starches. Food Chem. 82: 217-225.
- [14] Singh, U. 2001. Functional properties of grain legume flours. J. Food Sci. Technol. (Mysore). 38: 191-199.
- [15] Thanatcha, R. and Pranee, A. 2011. Extraction and characterization of mucilage in *Ziziphus mauritiana* Lam. Inte. Food Res. J. 18: 201-212.
- [16] Golkar, A. 2013. Investigating the emulsifying properties of beta-lactoglobulin-Persian gum covalent and non-covalent complexes. M.Sc Thesis, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. (In Persian).
- [17] Busch, V. M., Kolender, A. A., Santagapita, P. R. and Buera, M. P. 2015. *Vinal gum*, a galactomannan from *Prosopis ruscifolia* seeds: Physicochemical characterization. Food Hydrocoll. 51: 495-502.
- [18] Bashir, M. and Haripriya, S. 2016. Assessment of physical and structural characteristics of almond gum. Int. J. Biol. Macromole. 93: 476-482.
- [19] Saeidy, S., Nasirpour, A., Djelveh, G., Ursu, A.-V., Marcati, A., Gardarin, C., Laroche, C., Delattre, C., Pierre, G. and Keramat, J. 2018. Rheological and functional properties of asafoetida gum. Int. J. Biol. Macromol. 118: 1168-1173.
- [20] Wang, Q. and Cui, S. W. 2005. Understanding the physical properties of food polysaccharides. Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications. 162-214.
- [21] Harnsilawat, T., Pongsawatmanit, R. and McClements, D. J. 2006. Stabilization of model beverage cloud emulsions using protein-polysaccharide electrostatic complexes formed at the oil-water interface. J. Agric. food chem. 54: 5540-5547.
- [22] Golkar, A., Nasirpour, A., Keramat, J. and Desobry, S. 2015. Emulsifying properties of Angum gum (*Amygdalus scoparia* Spach)

- conjugated to β -lactoglobulin through Maillard-type reaction. Int. J. Food Prop. 18: 2042-2055.
- [23] Brummer, Y., Cui, W. and Wang, Q. 2003. Extraction, purification and physicochemical characterization of fenugreek gum. Food hydrocoll. 17: 229-236.
- [24] Cui, S. W. 2005. "Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications," CRC press.
- [25] Anderson, D. and Weiping, W. 1991. The characterization of gum arabic (*Acacia Senegal*) samples from Uganda. Food Hydrocoll. 5: 297-306.
- [26] Khalesi, H., Alizadeh, M. and Rezazad-Bari, M. 2012. Investigating the physicochemical and functional characteristics of zedu gum exudated from *Amygdalus scoparia Spach* plant in the forest area of Fars province. Iran. Food Sci. Technol. Res. J. 8(3): 317-326.
- [27] Hassanpour Amnieh, A., Jooyandeh, H., Nasehi, B. and Hojjati, M. 2018. Investigation on physicochemical and rheological properties of malva leaves gum (*Malva neglecta*). J. Food Technol. Nutr. 15: 19-30.
- [28] Amini-Rastabi, J. 2016. Investigating the effect of drying temperature, heat treatment and the concentration of gum solution entering the dryer on the functional characteristics of Persian gum. M.Sc Thesis, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. (In Persian).
- [29] Salehi, A. 2017. Extraction and determination of physicochemical and functional properties of mucilage (carbohydrate) obtained from cactus fruit. M.Sc Thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. (In Persian).
- [30] Niknam, R. 2017. Investigating factors affecting the characteristics, physicochemical and properties of films based on castor bean gum. M.Sc Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian).
- [31] Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y. and Bhandari, B. 2008. Re-coalescence of emulsion droplets during high-energy emulsification. Food Hydrocollo. 22: 1191-1202.
- [32] Tadayoni, M., Sheikh-Zeinoddin, M. and Soleimani-Zad, S. 2015. Isolation of bioactive polysaccharide from acorn and evaluation of its functional properties. Int. J. Biol. Macromol. 72: 179-184.



Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Physicochemical and functional properties of *Commiphora wightii* gum-resin polysaccharides

Saeedeh Roostaie¹, Hajar Shekarchizadeh^{*2}, Milad Fathi²

1–Master of science, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2–Associate Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received: 2024/7/26 Accepted: 2025/3/12 Keywords: Emulsion; Foaming ability; Solubility; Functional properties	Mukul gum is an oleo-gum-resin secreted after scratching the bark of <i>Commiphora wightii</i>. This study aims to investigate the physicochemical and functional properties of mukul gum. The functional and physicochemical properties of the gum, including protein content, total carbohydrates, color, solution viscosity, zeta potential, solubility, water absorption capacity, oil absorption capacity, foaming ability, and emulsifying properties, were evaluated. The chemical structure of the gum was analyzed using infrared spectroscopy (FTIR), high-performance liquid chromatography (HPLC), and one-dimensional nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. The protein content of the gum was determined to be 8.15%, while its carbohydrate content was found to be 61.09%. The viscosity analysis of the gum solution indicated a shear-thinning behavior. The extracted gum exhibited a zeta potential of -26 mV. The gum's solubility was investigated at 30, 60, and 90 °C. The WAC value was 3.78 g of water in one gram of gum. The gum's ability to form a foam was 87.03% and the foam stability was calculated to be 65.83%. Likewise, the OAC value for the extracted gum was 2.33 g of oil in one gram of gum. Further analyses confirmed the gum's acceptable emulsifying capacity in concentrations of 0.5, 1, 1.5, 2, and 3%, as well as its relatively high thermal stability. Structural analyses indicated the presence of sugars (e.g., arabinose, rhamnose, fructose, glucuronic acid, and galacturonic acid) in the gum. In addition, FTIR results confirmed the presence of hydroxyl groups and, particularly, the presence of glucuronic acid, galacturonic acid, carboxylic acids, sugar alcohols, and glycosidic groups in the profile of the gum's compounds. Ultimately, HPLC analyses of the monosaccharide profile demonstrated a high content of glucose (as a hexose) and some concentrations of mannose and rhamnose.
DOI: 10.22034/FSCT.22.163.31. *Corresponding Author E- shekarchizadeh@iut.ac.ir	