١٤٦٤٥٦

دانشکده کشاورزی

گروه علوم و صنایع غذایی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کشاورزی گرایش علوم و صنایع غذایی

مدلسازی تأثیر دما و رطوبت نسبی محیط بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی عسل

استاد راهنما:

دکتر محسن اسمعیلی

استاد مشاور:

دکتر علی حسن زاده

پژوهشگر:

لاله مهریار

۱۳۸۹/۹/ ۸

شهریور ماه ۱۳۸۹

الف

۱۴۶۴۵۶

پایان نامه خانم لاله مهریار به تاریخ ۸۹/۶/۳۰ به شماره ۱۷۵-۲ک مورد پذیرش هیات محترم داوران با رتبه عالی ونمره ۱۹/۱ قرارگرفت.

۱-استاد راهنما و رئیس هیئت داوران : اجماع

۲-استاد مشاور : علی حسن زاده

۳-داور خارجی : محمدرضا زاهدی

٤-داور داخلی : محمد [illegible]

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی :

حق طبع و نشر این رساله متعلق به دانشگاه ارومیه است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که در سایه درخت پر بار وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نموده‌ام و راه رفتن را در این وادی پر فراز و نشیب زندگی را آموختم.

برادران عزیزم

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان و محبت های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی کند و همواره مشوق و پشتیبانم بوده‌اند.

تقدیر و تشکر

انسان بعنوان اشرف مخلوقات همواره در عرصه گیتی شگفتی آفرین و خلاق بوده و با قدرت تفکر و اندیشه-ای که خداوند به او ارزانی داشته می‌تواند در طول حیاتش منشأ اثرات مفید برای جامعه و مردم باشد. اکنون فرصت را مغتنم شمرده و بدین وسیله از زحمات و تلاش‌های صادقانه و متعهدانه جناب آقای دکتر اسمعیلی استاد راهنمای پایان‌نامه که بطور مستمر مرا در تمامی مراحل کار از راهنمایی‌های ارزشمند خود بی‌بهره نگذاشتند کمال تشکر را می‌نمایم. بر خود لازم می‌دانم از سایر اساتید گرانقدرم سرکار خانم دکتر زینالی و جناب آقایان دکتر خسروشاهی، دکتر پیروزی‌فرد، دکتر رضازاد و دکتر علیزاده که افتخار شاگردی این بزرگواران را در طول مدت ۶ سال تحصیلم در دانشگاه ارومیه داشتم، سپاسگزاری کنم. از همکاری‌های صمیمانه جناب آقای دکتر حسن‌زاده در مرکز تحقیقات نانوفناوری دانشگاه ارومیه، سرکار خانم مهندس اسمعیلی و خانم مهندس فکری کارشناسان محترم آزمایشگاه آریا رهنمون صنعت (همکار اداره استاندارد)، سرکار خانم مهندس محبوبیان کارشناس محترم آزمایشگاه کارخانه عسل میرنجمی، مسئولان محترم سازمان جهاد کشاورزی و تمامی کارکنان و مسئولان آزمایشگاههای آنالیز، تکنولوژی و میکروبیولوژی مواد غذایی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه ارومیه تشکر و قدردانی می‌نمایم. در خاتمه امید آن دارم که با گردآوری این مجموعه توانسته باشیم گامی در جهت ارتقاء سطوح کیفی و کمی و بهبود صنعت عسل در کشور برداشته باشیم.

نگارنده

چکیده

دانش خصوصیات فیزیکوشیمیایی عسل راهگشای بسیاری از مشکلات موجود در صنعت تولید مواد غذایی و فرآوری عسل می‌باشد. در این مطالعه تعدادی از مهمترین خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حرارتی ۶ نمونه عسل منطقه آذربایجان غربی شامل محتوای آب، فعالیت آبی (a_w)، مواد جامد نامحلول در آب، محتوای دیاستاز، pH، اسیدیته آزاد، محتوای قند کل، کاهنده، نسبت فروکتوز به گلوکز، محتوای ساکارز، خاکستر، نیتروژن کل، محتوای چربی، هیدروکسی متیل فورفورال (HMF)، چگالی، وزن مخصوص نسبی، رنگ با شاخص‌های هانتر (L، a و b)، هدایت الکتریکی، دمای گذار شیشه‌ای (T_g)،ویسکوزیته، چسبندگی سطحی و محتوای رطوبتی تعادلی پس از آماده سازی نمونه اندازه‌گیری شدند و روابط بین این پارامترها با یکدیگر مورد بحث و بررسی قرار گرفت. به منظور مطالعه دقیق‌تر نمونه‌های عسل، تعدادی از خصوصیات فیزیکی آن از جمله چگالی و ویسکوزیته در سه سطح دمایی مختلف مطالعه و بررسی شدند. به منظور مطالعه وابستگی دمایی ویسکوزیته از معادلات آرنیوس، VTF و توان استفاده شد. برای ارزیابی مدل‌ها، شاخص‌های R^2 ، $P\%$، χ^2 و $RMSE$ استفاده گردیدند. بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مورد مطالعه حاکی از وجود روابطی با ضرایب تبیین بالا بین تعدادی از آنها می‌باشند. در دامنه سرعت برشی مورد مطالعه (۰/۰۴-۰/۶۳ s^{-1})، بررسی‌ها حاکی از رفتار غیرنیوتنی (سودوپلاستیک و دایلاتانت) نمونه‌ها می‌باشد. ویسکوزیته با افزایش دما به مقدار قابل توجهی کاهش یافت. و از بین سه مدل ریاضی مورد استفاده مدل آرنیوس در مورد نمونه‌های ۱، ۲ و ۳، و مدل VTF در مورد نمونه‌های ۴، ۵ و ۶ بهترین برازش را نشان دادند. رطوبت تعادلی نمونه‌ها با افزایش فعالیت آبی، افزایش یافت اما افزایش دما در یک فعالیت آبی معین، به دلیل پدیده اثر معکوس مقدار رطوبت تعادلی را با یک آهنگ مشخص تغییر نداد.

واژگان کلیدی: مدلسازی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، عسل

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
فصل اول – مرور منابع	
۱-۱مقدمه	۳
۱-۲ خواص فیزیکی	۳
۱-۲-۱ ویسکوزیته و سیالیت	۳
۱-۲-۲ چگالی	۶
۱-۲-۳ خاصیت جذب آب	۶
۱-۲-۴ کشش سطحی	۷
۱-۲-۵ خصوصیات حرارتی	۷
۱-۲-۵-۱ دمای گذار شیشه‌ای	۷
۱-۲-۶ هدایت الکتریکی	۱۰
۱-۲-۷ رنگ	۱۰
۱-۲-۸ چرخش نوری	۱۲
۱-۲-۹ شکرک زدن	۱۳
۱-۳ خواص شیمیایی	۱۵
۱-۳-۱ قندها	۱۵
۱-۳-۲ آب و فعالیت آبی	۱۶
۱-۳-۳ ایزوترم‌های جذب و دفع	۱۸
۱-۳-۴ اسیدیته و pH	۲۱

۱-۳-۵ اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها ۲۲
۱-۳-۶ هیدروکسی‌متیل‌فورفورآلدهید (HMF) ۲۴
۱-۳-۷ مواد معدنی و عناصر کم‌مقدار ۲۵
۱-۳-۸ ترکیبات عطری و فنولی ۲۶
۱-۳-۹ مواد آلوده‌کننده و ترکیبات سمی ۲۶
فصل دوم – مواد و روش‌ها
۲-۱ مواد ۲۸
۲-۱-۱ عسل ۲۸
۲-۱-۲ نمک‌های اشباع برای تعیین رطوبت تعادلی ۲۸
۲-۲ مشخصات تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده ۲۹
۲-۲-۱ رفراکتومتر رومیزی ۲۹
۲-۲-۲ فعالیت آبی سنج ۲۹
۲-۲-۳ pH سنج ۲۹
۲-۲-۴ کوره الکتریکی دیجیتالی ۲۹
۲-۲-۵ سیستم کجلدال نیمه اتوماتیک (مرحله تقطیر) ۲۹
۲-۲-۶ چربی‌گیر (سوکسله) ۲۹
۲-۲-۷ پیکنومتر ۲۹
۲-۲-۸ ترازوی دیجیتالی ۲۹
۲-۲-۹ رنگ سنج ۲۹
۲-۲-۱۰ هدایت الکتریکی سنج ۲۹
۲-۲-۱۱ کالریمتری اسکن تفارقی ۲۹
۲-۲-۱۲ ویسکومتر ۲۹
۲-۲-۱۳ بافت سنج ۲۹

۲-۲-۱۴ آون دیجیتالی ۲۹
۲-۲-۱۵ انکوباتور یخچال‌دار (Reihan Teb, Iran) ۲۹
۲-۳ روش‌ها ۳۰
۲-۳-۱ روش‌های تعیین ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی ۳۰
۲-۳-۱-۱ محتوای آب ۳۰
۲-۳-۱-۲ فعالیت آبی ۳۰
۲-۳-۱-۳ مواد جامد نامحلول در آب ۳۰
۲-۳-۱-۴ محتوای دیاستاز ۳۰
۲-۳-۱-۵ pH و اسیدیته آزاد ۳۰
۲-۳-۱-۶ محتوای قند کل، کاهنده، نسبت فروکتوز به گلوکز و محتوای ساکارز ۳۱
۲-۳-۱-۷ محتوای خاکستر ۳۱
۲-۳-۱-۸ محتوای نیتروژن کل ۳۱
۲-۳-۱-۹ محتوای چربی ۳۱
۲-۳-۱-۱۰ محتوای هیدروکسی‌متیل‌فورفورال (HMF) ۳۱
۲-۳-۱-۱۱ چگالی و وزن مخصوص نسبی ۳۱
۲-۳-۱-۱۲ هدایت الکتریکی ۳۳
۲-۳-۱-۱۳ دمای گذار شیشه‌ای ۳۳
۲-۳-۱-۱۴ آزمون‌های رئولوژیکی ۳۳
۲-۳-۱-۱۵ تعیین مقدار رطوبت تعادلی (m_e) ۳۵
۲-۳-۱-۱۶ آنالیز آماری ۳۶
فصل سوم – بحث و نتایج
۳-۱ خواص فیزیکوشیمیایی عسل
۳-۱-۱ محتوای آب و فعالیت آبی ۳۷

۳-۱-۲ مواد جامد نامحلول در آب و محتوای دیاستاز ۴۲

۳-۱-۳ *pH* و اسیدیته آزاد ۴۳

۳-۱-۴ محتوای قند کل، کاهنده، نسبت فروکتوز به گلوکز و محتوای ساکارز ۴۳

۳-۱-۵ محتوای خاکستر، نیتروژن کل، چربی و هیدروکسی‌متیل‌فورفورال (HMF) ۴۵

۳-۱-۶ چگالی، وزن مخصوص نسبی، رنگ و هدایت الکتریکی ۴۸

۳-۲ رفتار حرارتی *DSC* ۵۳

۳-۳ رفتار رئولوژیکی ۵۶

۳-۳-۱ ویسکوزیته ۵۶

۳-۳-۲ چسبندگی و طنابی شدن ۶۴

۳-۴ تعیین رطوبت تعادلی (داده‌های همدمای جذب و دفع) ۶۶

نتیجه‌گیری نهایی ۷۰

پیشنهادات ۷۰

منابع ۷۱

فهرست جداول

عنوان | صفحه

جدول ۱-۱: معادلات ریاضی مورد استفاده در مطالعه وابستگی دمایی ویسکوزیته ۵

جدول ۱-۲ : تعادل تقریبی بین رطوبت نسبی(RH) هوای محیط و محتوای آبی عسل شبدر ۶

جدول ۱-۳ : استانداردهای رنگ عسل در وزارت کشاورزی امریکا ۱۱

جدول ۱-۴ : مقادیر پارامترهای بدست آمده برای معادله خطی رابطه بین محتوای آب و فعالیت آبی توسط سایر محققین ۱۷

جدول ۱-۵ : معادلات ریاضی مورد استفاده در مطالعه داده‌های همدمای مواد غذایی ۲۰

جدول ۱-۶ : متوسط ترکیبات عسل‌های امریکایی و محدوده مقادیر آنها ۲۲

جدول ۱-۷ : متوسط ترکیبات عسل‌های با منشأ گُل و عسلک و محدوده مقادیر آنها ۲۴

جدول ۱-۸ : سایر عناصر ناچیز و کم مقدار در عسل ۲۵

جدول ۲-۱ : مقادیر فعالیت آبی نمک‌های اشباع مورد استفاده در دماهای آزمایش ۳۶

جدول ۲-۲ : معادله‌ی پارامترهای آماری مورد استفاده در ارزیابی مدل ۳۶

جدول ۳-۱ : خصوصیات فیزیکوشیمیایی عسل ۴۰

جدول ۳-۲ : محتوای قند عسل ۴۵

جدول ۳-۳ : چگالی عسل در ۳ دمای متفاوت ۴۹

جدول ۳-۴ : مقادیر پارامترهای معادله آرنیوس برای چگالی ۴۹

جدول ۳-۵ : مقادیر پارامترهای تابع برای نمونه‌های عسل ۵۰

جدول ۳-۶ : تغییر ضریب همبستگی رابطه ویسکوزیته-چگالی با افزایش دما ۵۰

جدول ۳-۷ : شاخص‌های رنگ L a و b اندازه‌گیری شده توسط دستگاه هانترلب برای نمونه‌های عسل ۵۳

جدول ۳-۸ : دمای گذار شیشه‌ای به همراه محتوای آب نمونه‌های عسل ۵۶

جدول ۳-۹ : مقادیر پارامترهای معادله قانون توان برای نمونه‌های عسل در $18/7\ ^{\circ}C$ ۵۸

جدول ۳-۱۰ : مقادیر پارامترهای مدل‌های بکار برده شده در وابستگی دمایی ویسکوزیته ۶۲

جدول ۳-۱۱ مقادیر چسبندگی و طنابی شدن نمونه‌های مورد مطالعه ۶۴

فهرست شکل‌ها

عنوان | صفحه

شکل ۱-۱ : عسل‌های با رنگ‌های متفاوت با منشأ گُل‌های یکسان و غیریکسان ۱۲

شکل ۱-۲ : عسل در مراحل مختلف شکرک زدن ۱۴

شکل ۳-۱ : رابطه بین فعالیت آبی عسل‌ها با محتوای آب ۴۱

شکل ۳-۲ : رابطه بین فعالیت آبی و محتوای قندهای کاهنده ۴۱

شکل ۳-۳ : (الف) رابطه بین اسیدیته آزاد و محتوای خاکستر، (ب) رابطه بین pH و محتوای خاکستر ۴۶

شکل ۳-۴ : رابطه چگالی-محتوای آب در ۲۶/۵ °C ۵۰

شکل ۳-۵ : رابطه ویسکوزیته- چگالی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد ۵۰

شکل ۳-۶ : رابطه خطی بین هدایت الکتریکی و محتوای خاکستر ۵۳

شکل ۳-۷ : اسکن حرارتی DSC برای ۶ نمونه عسل در طی حرارت دادن ۵۵

شکل ۳-۸ : تأثیر محتوای آب بر T_g نمونه‌های عسل ۵۶

شکل ۳-۹ : نمودارهای (الف) تنش برشی در برابر سرعت برشی در دمای ۱۸/۷ °C (ب) تغییرات ویسکوزیته در برابر سرعت برشی در دمای ۱۸/۷ °C ۵۸

شکل ۳-۱۰ : تأثیر محتوای آب بر ویسکوزیته عسل در دمای ۱۸/۷ °C ۵۹

شکل ۳-۱۱ : داده‌های ویسکوزیته نمونه‌های عسل در برابر دما ۶۱

شکل ۳-۱۲: تأثیر دما بر ویسکوزیته یک نمونه نوعی از عسل (نمونه شماره ۳) ۶۱

شکل ۳-۱۳: داده‌های ویسکوزیته تجربی و برازش رگرسیون خطی محاسبه شده با (الف) معادله آرنیوس، (ب) VTF و (ج) توان برای نمونه شماره (۱) ۶۳

شکل ۳-۱۴ : منحنی نیرو-زمان (چسبندگی سطحی) نمونه‌های عسل در۲۴/۵°C ۶۵

شکل ۳-۱۵ : مقادیر ویسکوزیته و چسبندگی سطحی نمونه‌ها ۶۵

شکل ۳-۱۶ : رابطه بین دمای گذار شیشه‌ای و چسبندگی سطحی نمونه‌ها ۶۶

شکل ۳-۱۷ : مقدار رطوبت تعادلی نمونه‌های عسل در فعالیت‌های آبی ۰/۳ تا ۰/۷ در سه سطح دمایی
(۱۰،۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) (الف-ز) ۶۹ و۶۸

مقدمه

از بین اغلب مواد غذایی طبیعی، عسل یک ماده بسیار با ارزشی می‌باشد که جایگاه ویژه خود را طی چندین قرن همچنان حفظ کرده است. پیشینه تاریخی عسل به ۲۰-۱۰ میلیون سال قبل از پیدایش انسان بر روی کره خاکی برمی‌گردد و کمابیش در اکثر فرهنگ ها به عنوان یک ماده مقدس از آن نام برده شده است [۱]. این ماده غذایی منحصر بفرد، شیرین، چسبناک و معطر بوده و دارای خاصیت پیشگیری کنندگی از دیدگاه علم پزشکی می‌باشد. عسل از شهد گیاهان یا عسلک توسط زنبور عسل ساخته می‌شود و محلول غلیظی از قندهای متفاوت می‌باشد. اسیدهای آلی، تعدادی از آمینواسیدها، مواد مغذی کم مقدار و پر مقدار، آنتی اکسیدان ها، ویتامین‌های گروه ب، آنزیم ها، مواد بازدارنده و سایر مواد فعال، تنها بخشی از ترکیبات این ماده غذایی طبیعی است. شرایط آب و هوایی متنوع حاکم بر کشور ایران باعث ایجاد عسل های مختلف از جنبه های حسی، ارگانولپتیکی و فیزیکوشیمیایی می‌گردد. طبق گزارش فائو (FAO)[1] (سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد)، تولید عسل ایران در سال ۲۰۰۸ میلادی ۳۶۰۰۰ تن بوده و ایران رتبه ۱۰ جهانی را از آن خود کرده است. مقدار تولید آن تقریباً ۴ درصد مقدار تولید جهانی می‌باشد. استان آذربایجان غربی با تولید بیش از ۱۴ هزار تن عسل مقام اول را در کل تولید کشور دارد. بیشتر عسل تولیدی کشور از استاندارد لازم جهانی بر خوردار نیست و همین امر مانع از گسترش صادرات این محصول شده است. تدوین و اجرای استانداردهای لازم در زمینه تولید عسل، افزایش صادرات آن را نیز فراهم خواهد کرد. بالا بردن سطح سواد زنبور داران و ارائه آموزشهای مناسب به آنان و تدوین ضوابط لازم همراه با نظارت مستمر بر فعالیت زنبورداران از جمله راهکارهای مناسب برای افزایش تولید عسل با کیفیت در کشور می‌باشد. خصوصیات رئولوژیکی[2] و فیزیکی عسل در فرآوری، جابجایی و نگهداری آن بسیار مفید و تأثیر گذار می‌باشند. اغلب خصوصیات فیزیکوشیمیایی عسل مانند ویسکوزیته[3]، جاذب الرطوبه بودن و شکرک زدن[4] همگی بعلت ترکیبات آن یعنی قندها و محتوای رطوبت می‌باشند. ترکیب عسل به طور چشمگیری به نوع گلهای مورد

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations
[2] Rheology : علم تغییر شکل و جریان مواد
[3] Viscosity: مقاومت در برابر جریان
[4] crystallization

استفاده توسط زنبور عسل و شرایط آب و هوایی منطقه بستگی دارد، بنابراین، اساساً بهترین دلیل برای تنوع و گوناگونی عسل ها مربوط به ترکیب شیمیایی آن می‌باشد.

به منظور حفظ یا بهبود کیفیت عسل و افزایش سهم استان در بازارهای بین المللی و محلی شناسایی و مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی عسل ضروری به نظر می‌رسد. در ضمن با توجه به برخی ایرادات وارده به بروشور استاندارد عسل ایران به شماره ۹۲، با انجام این تحقیق کارشناسان محترم اداره استاندارد قادر خواهند بود تا برخی موارد را اصلاح و برخی دیگر را به استاندارد مزبور اضافه بنمایند. در این مطالعه مهمترین خصوصیات شیمیایی، فیزیکی، رئولوژیکی و حرارتی عسل های ایرانی (منطقه آذربایجان غربی) تعیین شده و اثر دما و رطوبت نسبی بر تعدادی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن مطالعه گردیده است. لازم بذکر است که با وجود آنکه، تا به امروز، مطالعات بسیاری در زمینه تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی عسل توسط محققان در سطح جهانی انجام یافته است، ولی تاکنون تحقیقی جامع در مورد خصوصیات فیزیکی، رئولوژیکی و حرارتی عسل‌ها در سطح کشور انجام نپذیرفته است.

فصل اوّل

مرور منابع

۱-۱ مقدمه

هر چند تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی عسل پیشینه‌ای بس طولانی دارد، ولی مطالعه آن، همچنان بعنوان یکی از مهمترین ابزار جهت پی بردن به برخی رفتارهای جدید و غیرعادی آن و ارائه راهکارهای نوین می‌باشد. هدف از تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی شناخت دقیق و علمی‌تر محصول از یک طرف و به‌کار گیری اقدامات اصلاحی جهت فرآوری، جابجایی و نگهداری آن از طرفی دیگر می‌باشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی عسل تابع ترکیبات شهد و/یا عسلک[5] مورد استفاده توسط زنبور عسل می‌باشد. که بر این اساس عسل‌ها به دو نوع عسل‌های بدست آمده از شهد و عسل‌های بدست آمده از عسلک تقسیم بندی می‌شوند. در ادامه به بررسی تعدادی از مهمترین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی عسل می‌پردازیم.

۱-۲ خواص فیزیکی

دانش خواص فیزیکی عسل برای جنبه‌های مختلف فناوری عسل از جمله برداشت، فرآوری، نگهداری، دانه-بندی و آبگونه‌سازی مهم می‌باشد [۲-۱].

۱-۲-۱ ویسکوزیته و سیالیت[6]

ویسکوزیته سنجش اصطکاک داخلی یک سیال می‌باشد [۳]. عسل تازه استخراج شده یک مایع لزجی می‌باشد که ویسکوزیته آن به انواع مختلفی از مواد بستگی دارد و با تغییر در ترکیبات آن بویژه محتوای آب و دما تغییر می-کند. ویسکوزیته یک پارامتر تکنیکی مهم در طی فرآوری عسل می‌باشد، چرا که باعث کاهش جریان عسل در حین

---

[5] Honeydew : مواد ترشحی از بخش های زنده گیاهان و درختان

[6] Fluidity

عملیات استخراج، پمپ کردن، ته‌نشینی، صاف کردن، هم زدن و ریختن در بطری می‌گردد. عسل با محتوای آب بالاتر سریعتر از عسل با محتوای آب پایین‌تر جریان می‌یابد. دما نیز تأثیر قابل توجهی بر ویسکوزیته عسل دارد. چنانچه با افزایش دما ویسکوزیته کاهش می‌یابد (پدیده‌ای که در طی فرآوری صنعتی عسل به طور گسترده‌ای مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد). در دمای اتاق (۲۰°C) ویسکوزیته اغلب عسل‌ها در حدی نمی‌باشند که به آن اجازه یک سیالیت خوب یا برداشت[7] آسان را بدهد در حالی که در ۳۰°C که اغلب مقادیر ویسکوزیته پایین‌تر از ۱۰۰ پوآز می‌باشند، سیالیت اغلب عسل‌ها به منظور جابجایی مؤثر به اندازه کافی بالا می‌باشد. دانه‌بندی[8] عسل منجر به یک افزایش چشمگیری در ویسکوزیته آن تا ۱۰ برابر می‌گردد، با این حال وابستگی رطوبی و دمایی این‌گونه عسل‌ها مشابه عسل مایع می‌باشد. ترکیب عسل عموماً تأثیر چندانی بر ویسکوزیته آن ندارد [۲ و ۱]. تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه اندازه‌گیری ویسکوزیته عسل انجام پذیرفته است [۱۷-۳]. عسل عموماً یک رفتار نیوتنی[9] از خود نشان می‌دهد یعنی ویسکوزیته آن تنها به دما بستگی دارد [۱۷و ۱۵-۱۴، ۱۱-۱۰، ۸-۶، ۴]. تعدادی از عسل‌ها بهرحال، خصوصیات متفاوتی را در خصوص ویسکوزیته از خود نشان می‌دهند: عسل‌های Heather (*Calluna vulgaris*)، buckwheat (*Fagopyrum esculentum*)، New Zealand manuka (*Leptospermum scoparium*)، white clover (*Trifolium repens*) و Indian Karvi (*Carvia callosa*) بعنوان عسل‌های تیکسوتروپیک[10] توصیف می‌گردند که مفهوم آن ماهیت ژل مانند آنها (بشدت لزج) در زمانی که ساکن باشند و تبدیل آنها به حالت سیال و روان با هم‌زدن می‌باشد. ویسکوزیته عسل Heather بقدری بالا می‌باشد که سانتریفیوژ کردن آن را از شان عسل با مشکل روبرو می‌کند. برخلاف موارد ذکر شده، تعدادی از عسل‌های اُکالیپتوس[11] (مانند *Eucalyptus fisfolia*) و عسل نیجِری[12] (*Opuntia engelmanni*) خصوصیات متضادی را از خود نشان می‌دهند بطوریکه ویسکوزیته آنها با عمل هم‌زدن افزایش می‌یابد، به این رفتار، یک رفتار دایلاتانسی[13](ویسکوز شونده با برش[14]) می‌گویند [۷ و۲-۱]. گُمِزدیاز[15] و همکارانش در سال ۲۰۰۶ تحقیقی را بر روی عسل‌های اسپانیایی انجام دادند و رفتار غیرنیوتنی این

---

[7] Harvest
[8] Granulation
[9] Newtonian behavoiur
[10] Thixotropic
[11] Eucalyptus
[12] Nigerian
[13] Dilatancy
[14] Shear thickening
[15] Gómez-Díaz

عسل‌ها را که یک رفتار سودوپلاستیک[16] (سیال شونده با برش[17]) می‌باشد، اثبات کردند [۳۷ و۵] در اثر این رفتار ویسکوزیته عسل با افزایش سرعت برشی کاهش می‌یابد. رفتار غیر نیوتنی عسل‌ها به حضور مواد کلوئیدی یا دکسترانهای با وزن مولکولی بالا نسبت داده می‌شود [۷]. جاسزک[18] و همکارانش [۶] در سال ۲۰۰۶ نشان دادند که ویسکوزیته عسل با افزایش دما کاهش می‌یابد و برای مطالعه اثر دما بر روی ویسکوزیته از معادله‌های (۱-۴) و (۱-۵) استفاده کردند. مدل‌های مورد استفاده در وابستگی دمایی ویسکوزیته در جدول ۱-۱ آورده شده‌اند:

جدول ۱-۱: معادلات ریاضی مورد استفاده در مطالعه وابستگی دمایی ویسکوزیته

نام معادله	معادله	شماره معادله	مرجع
VTF (a)[19]	$\mu = A.\exp\left[\frac{B}{(T-T_g)}\right]$	۱-۱	[۱۵]
VTF (b)	$\ln\mu = A + \frac{B}{(T-T_g)}$	۲-۱	[۱۵]
توان[20]	$\mu = A(T-T_g)^B$	۳-۱	[۱۵]
WLF[21]	$\ln\left(\frac{\mu}{\mu_g}\right) = \frac{-C_1(T-T_g)}{C_2+(T-T_g)}$	۴-۱	[۱۵]
آرنیوس[22]	$\mu = \mu_o.\exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$	۵-۱	[۱۵]

ساکسِنا[23] و همکارانش در سال ۲۰۱۰، یانّیوتیس[24] و همکارانش در سال ۲۰۰۶، کائوربَث[25] و همکارانش در سال ۱۹۹۹ از معادله (۱-۵) [۱۶ و۷، ۳]، رِکُندو[26] و همکارانش در سال ۲۰۰۶، لازاریدو[27] و همکارانش در سال ۲۰۰۴، از معادله‌های (۱-۴) و (۱-۵) [۱۱ و۸]، سُپید[28] و همکارانش در سال ۲۰۰۲ از معادله‌های (۱-۱)، (۱-۲)، (۱-۳)، (۱-۴) و (۱-۵) [۱۵] در مطالعاتشان استفاده کردند.

[16] pseudoplastic
[17] Shear thinning
[18] Juszczak
[19] *Vogel-Taumman-Fulcher*
[20] Power-law
[21] *Williams-Landel-Ferry*
[22] *Arrhenius*
[23] Saxena
[24] Yanniotis
[25] Kaur Bath
[26] Recondo
[27] Lazaridou
[28] Sopade

۱-۲-۲ چگالی[۲۹]

مشخصه فیزیکی دیگر با اهمیت کاربردی، چگالی می‌باشد. چگالی عسل که بعنوان وزن مخصوص نسبی بیان می‌شود، حدود ۱/۵ برابر چگالی آب بوده و به محتوای آب عسل بستگی دارد. بدلیل اختلاف در چگالی، لایه بندی‌های مجزای عسل در تانک‌های ذخیره بزرگ گاهی اوقات قابل مشاهده می‌باشد. عسل با محتوای آبی بالاتر (چگالی کمتر) برروی عسل با چگالی بیشتر و خشک‌تر می‌نشیند. از چنین دو فاز شدن عسل با هم‌زدن کامل می‌توان جلوگیری نمود [۲ و ۱]. اندازه‌گیری چگالی عسل در منابع علمی توسط محققان گزارش گردیده است [۱۸ و ۴].

۱-۲-۳ خاصیت جذب آب[۳۰]

عسل یک ماده بسیار جاذبه‌الرطوبه‌ای است که این خاصیت در فرآوری و نگهداری آن بسیار مهم می‌باشد. با توجه به جدول ۱-۲ کاملاً بوضوح دیده می‌شود که عسل معمولی با محتوای آبی ۱۸/۳ ٪ یا کمتر قادر به جذب رطوبت از هوا با رطوبت نسبی بالای ۶۰ ٪ می‌شود.

جدول ۱-۲ : تعادل تقریبی بین رطوبت نسبی[۳۱] (RH) هوای محیط و محتوای آبی عسل شبدر

عسل (٪ محتوای آب)	هوا (٪ رطوبت نسبی)
۱۵/۹	۵۰
۱۶/۸	۵۵
۱۸/۳	۶۰
۲۰/۹	۶۵
۲۴/۲	۷۰
۲۸/۳	۷۵
۳۳/۱	۸۰

(مرجع : [۲ و ۱])

[29] Density
[30] Hygroscopicity
[31] Relative Humidity