



## تاثیر استفاده از پوست گوجه فرنگی، کلرید کلسیم، کاهش اندازه ذرات و توزیع پالپ بر خواص فیزیکوشیمیایی و ریزساختار رب گوجه فرنگی

سعید امیری نسب سرابی<sup>۱</sup>، مصطفی مظاهری تهرانی<sup>۲\*</sup>، محمدحسین حداد خداپرست<sup>۲</sup>

۱-دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲-استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

#### تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۷

#### کلمات کلیدی:

رب گوجه فرنگی، پوست گوجه فرنگی، کلرید کلسیم، آسیاب کلوئیدی، قوام.

رب بعنوان یکی از فراورده‌های اصلی گوجه‌فرنگی همواره از اهمیت بسزایی در صنایع تبدیلی کشور برخوردار بوده است. حدود ۵ درصد از وزن گوجه‌فرنگی ورودی به کارخانجات تولید رب با وجود ارزش غذایی و تکنولوژیکی بالا بصورت ضایعات دورریز می‌گردد. هدف از این مطالعه بررسی اثر استفاده از سطوح مختلف پوست گوجه‌فرنگی و کلرید کلسیم و جایگزینی فرایند هموژنیزاسیون با آسیاب کلوئیدی بر ویژگی‌های رب گوجه‌فرنگی با استفاده از روش سطح پاسخ بود. نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از پوست گوجه‌فرنگی سبب افزایش معنی‌دار میزان مواد جامد کل، مواد جامد نامحلول، فیبر، قوام و درصد رسوب وزنی شد ( $p < 0.05$ ). اعمال فرایند هموژنیزاسیون سه‌مرحله‌ای با آسیاب کلوئیدی بخاطر تاثیر بر ویژگی‌های ذرات معلق ماتریس رب از جمله کاهش معنی‌دار اندازه، تغییر توزیع اندازه ذرات و افزایش مساحت سطحی، سبب بهبود ویسکوزیته محصول گردید. کلرید کلسیم بواسطه واکنش با پکتین موجود در رب و ایجاد شبکه زلی، قوام محصول را به طور محسوسی افزایش داد. آنالیز میکروسکوپی نمونه‌ها نشان داد با افزایش تعداد مراحل هموژنیزاسیون از یک تا سه و افزودن پوست، میزان یکنواختی ماتریس افزایش یافته و ساختاری متراکم بدست آمد. ایجاد پیک‌های جدید و تغییر در شدت پیک‌ها در طیف ATR-FTIR اتصال کلرید کلسیم و توزیع فیبر در شبکه رب را تأیید نمود. نتایج این پژوهش نشان داد می‌توان از پوست گوجه‌فرنگی بعنوان یک ترکیب افزایش‌دهنده قوام در رب گوجه‌فرنگی استفاده نموده و نه تنها از دورریز بخش عمده‌ای از این ترکیب ارزشمند جلوگیری نمود، بلکه ارزش افزوده خوبی نیز برای صنایع تبدیلی کشور ایجاد کرد.

DOI: 10.22034/FSCT.19.125.315

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.125.23.2

\* مسئول مکاتبات:

Mmtehrani@um.ac.ir

## ۱- مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum L.*) دومین صیفی حائز اهمیت کشت شده در سراسر جهان بوده [۱] و رب شناخته‌شده‌ترین محصول تجاری حاصل از آن است [۲]. فراوری صنعتی این محصول با ایجاد ضایعات ۱۵ درصدی بنام تفاله [۳] همراه است که شامل پوست‌ها، پالپ و دانه‌ها بوده و بخش اصلی پوست (حدود ۶۱/۵٪ وزن تفاله) تشکیل می‌دهد [۴]. هر ۱۰۰ گرم پوست مرطوب حاوی ۱۰/۸ گرم پروتئین، ۲۵/۶ گرم خاکستر و ۳۰ گرم فیبر، ۱۲ میلی‌گرم لیکوپن، ۱۶ میلی‌گرم ویتامین C و ۰/۳ میلی‌گرم بتاکاروتن می‌باشد [۵]. تفاله ضمن دارا بودن ارزش غذایی مناسب و پتانسیل ایجاد ارزش افزوده، بعلت عدم دسترسی به فرایند مناسب جهت استحصال ماده‌مغذی، بصورت ضایعات درآمده که نه تنها ارزش افزوده مناسبی ندارند بلکه بعلت  $BOD^1$  بالا و تعفن پذیری سریع، از نظر زیست محیطی نیز مضر محسوب شده و نیاز به دفع مناسب دارند. در حال حاضر صنعت تولید رب با مشکلاتی نظیر مصرف زیاد انرژی، از دست دادن مواد مغذی و تخریب رنگ در طی فرایند رسیدن رب به بریکس بالا مواجه است. از طرفی حذف پوست و بذر بخش زیادی از محصول گوجه فرنگی را از چرخه تولید خارج نموده و سبب کاهش راندمان و همچنین کاهش ارزش تغذیه‌ای آن می‌شود.

تاکنون تلاش‌های زیادی جهت استفاده از تفاله گوجه‌فرنگی صورت گرفته است. گروهی از محققین از این محصول جانبی برای تولید خوراک دام و همچنین به عنوان منبعی برای تولید رنگ های طبیعی استفاده کرده‌اند [۶]. در پژوهش دیگری، فرهنای و همکاران [۷] از تفاله گوجه‌فرنگی به عنوان یک عامل تغلیظ کننده و جایگزینی برای هیدروکلئیدها در فرایند تولید سس کچاپ استفاده کردند تا از این طریق بتوانند رنگ و همچنین بافت محصول نهایی را بهبود بخشند. سوگی و همکاران [۸] پودر دانه روغن گیری هسته گوجه فرنگی را به آرد گندم اضافه کردند و اثر آنرا بر ویژگی‌های خمیر و نان مورد بررسی قرار دادند. ثبات خمیر، جذب آب و مدت زمان بالا آمدن خمیر در مقایسه با نمونه کنترل افزایش نشان داد. علاوه بر این باعث

افزایش حجم قرص نان، بهبود بافت و تاخیر در بیاتی شد [۸]. دل وال و همکاران [۹] پودر تفاله گوجه‌فرنگی و پودر پوست گوجه فرنگی را به رب اضافه کرده و تغییر فاکتورهای تغذیه ای از جمله میزان فیبر، پروتئین، لیکوپن و روغن و ویژگی های فیزیکی همچون قوام و بریکس را در فراورده حاصل بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد همه سطح همه فاکتورهای تغذیه ای افزایش پیدا کرده است [۹].

ویژگی‌های رئولوژیکی فراورده‌های گوجه‌فرنگی به عنوان یکی از ویژگی‌های مهم کیفی محصول محسوب می‌شود، زیرا بر شاخص‌های فراوری محصول به ویژه ویژگی‌های جریان پذیری آن در طی انتقال و همچنین پذیرش توسط مصرف‌کننده تاثیرگذار است [۱]. توزیع اندازه ذرات و شکل ذرات نامحلول از شاخص‌های تاثیر گذار بر قوام محصول و نیز دوفاز شدن آن هستند. ذرات با اندازه کوچکتر و همچنین هموزنی‌زاسیون بواسطه تخریب دیواره سلولی و متعاقباً افزایش مساحت سطحی ذرات، موجب افزایش ویسکوزیته و کاهش سرم طی روند نگهداری می‌شود [۲ و ۱۰]. بنابراین دست یافتن به خواص و ویژگی‌های مطلوب رب گوجه‌فرنگی مطابق با کاربرد مورد نظر به عوامل متعددی از جمله افزایش سطح فیبر، اصلاح ویژگی‌های فیزیکی ذرات پراکنده در سرم و متعاقباً افزایش فعل و انفعالات بین آنها بستگی دارد. از اینرو در این پژوهش برای رسیدن به این اهداف، از پوست گوجه‌فرنگی به عنوان منبع فیبر، از آسیاب کلوئیدی برای اصلاح ویژگی‌های فیزیکی ذرات و از کلرید کلسیم جهت افزایش فعل و انفعالات بین ترکیبات خصوصاً پکتین استفاده شد.

## ۲- مواد و روش ها

## ۲-۱- تولید رب گوجه فرنگی

برای این منظور گوجه‌فرنگی تازه از بازار تهیه شده و برای به حداقل رساندن تغییرات، در دمای ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. برای تهیه نمونه‌های رب، گوجه‌فرنگی‌های سالم سورت شده و پس از آن کاملاً با آب شسته شد. جهت اعمال تیمارهای حرارتی از یک خردکن استفاده گردید پس از اینکه آب گوجه‌فرنگی گرفته شد، پوست جدا شده از صافی در مقادیر ۰، ۱ و ۲ درصد به آب گوجه اضافه‌شده و از آسیاب کلوئیدی عبور

1. Biochemical oxygen demand

در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد توسط قوام‌سنج بوستویک اندازه‌گیری شد. نتایج به‌صورت مسافت طی‌شده بر اساس سانتی‌متر در طی ۳۰ ثانیه گزارش گردید [۱۶].

### ۲-۲-۵- درصد نسبت وزنی رسوب

مقدار ۳۰ گرم نمونه رب در داخل لوله‌های سانتریفوژ با دقت یک صدم گرم وزن شده و سپس عمل سانتریفوژ کردن (Digicen 21, Orto Aresa، اسپانیا) با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انجام شد. در ادامه با دقت سرم جدا شده از لوله سانتریفوژ خارج گردیده (با وارونه قرار دادن لوله های سانتریفوژ به مدت ۵ دقیقه) و لوله ها به همراه رسوب با دقت یک صدم گرم وزن گردید و درصد نسبت وزنی رسوب از معادله زیر بدست آمد [۱۶].

$100 * \text{وزن نمونه} / (\text{وزن لوله} - \text{وزن لوله با رسوب}) =$   
درصد نسبت وزنی رسوب

### ۲-۲-۶- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

برای بررسی تغییرات بافت گوجه فرنگی از میکروسکوپ الکترونی روبشی (MIRA3 TESCAN, Brno، چک) استفاده شد.

۲-۲-۷- طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)  
نمودارهای FTIR نمونه‌ها توسط دستگاه طیف سنجی FTIR (Perkin-Elmer Spectrum Two، آمریکا) در فاصله ۱۰۰ تا  $4000 \text{ cm}^{-1}$  رسم شد و از آن برای بررسی واکنش‌ها استفاده شد [۱۷].

### ۲-۲-۸- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طراحی آزمایش‌ها با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) نرم‌افزار مینی تب (نسخه ۱۸) صورت پذیرفت. در این پژوهش از سه متغیر جایگزینی کلسیم کلراید با سدیم کلراید در سه سطح، تعداد مراحل عبور نمونه از آسیاب کلوئیدی در سه سطح و افزودن پودر پوست گوجه فرنگی در سه سطح استفاده گردید. بدین ترتیب ۲۰ نمونه رب گوجه فرنگی تولید و آنالیز گردید (جدول ۱).

کرد. طبق استاندارد، حداکثر مجاز نمک در فرمولاسیون رب گوجه‌فرنگی ۲/۵ درصد است که در این تحقیق نمک به میزان ۲ درصد اضافه شد. به منظور بررسی اثر نمک کلسیم کلراید بر بافت و تشکیل ژل پکتین در رب گوجه تولیدی، کلسیم کلراید به میزان ۰، ۲۵ و ۵۰ درصد جایگزین سدیم کلراید گردید [۱۱]. در ادامه توسط تبخیرکننده تحت خلاء با فشار ۲ بار تغلیظ گردید [۱۲]. در انتها نمونه‌های رب تولیدی در ظروف شیشه‌ای بسته‌بندی و برای ارزیابی خصوصیات در دمای ۱-۳-درجه‌سانتی‌گراد نگهداری گردید.

### ۲-۲-۲- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

#### ۲-۲-۲-۱- بررسی pH و اسیدیته

میزان pH نمونه‌های رب تولیدی با استفاده از pH متر (JKA، آلمان) و اسیدیته براساس تیتراسیون با سود تا رسیدن به pH ثابت ۸/۱ اندازه‌گیری شد [۱۳].

#### ۲-۲-۲-۲- تعیین مواد جامد کل ( $DM^2$ )، مواد جامد نامحلول ( $WIS^3$ )

مطابق روش کاسترو و همکاران انجام گرفت [۱۴]. به منظور اندازه‌گیری DM، ۳ گرم از هر نمونه در آون (۱۰۶ درجه سانتی‌گراد، ۱۶ ساعت) خشک گردید. به منظور تعیین WIS، ۲۰ گرم از نمونه با ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط‌شده و کاملاً همزده و سانتریفوژ (g3000، ۲۰ دقیقه، دمای محیط) شد. باقیمانده از کاغذ صافی عبور داده شده و مجدداً سه مرتبه با آب داغ شستشو داده شد. نهایتاً نمونه باقیمانده روی کاغذ صافی در آون (۱۰۶ درجه سانتی‌گراد، ۱۶ ساعت) خشک گردید.

#### ۲-۲-۳- اندازه‌گیری فیبر و بریکس (brix)

میزان فیبر اولیه پودر تفاله مورد استفاده و رب گوجه‌های تولید شده با استفاده از تیمارهای مختلف با استفاده از روش استاندارد (AOAC, 2002) اندازه‌گیری شد. میزان مواد جامد نمونه‌های تولیدی با دستگاه رفاکومتر (Atago، آمریکا) اندازه‌گیری شد [۱۵].

#### ۲-۲-۴- قوام

نمونه‌های رب توسط آب مقطر تا بریکس ۱۲ رقیق شده و قوام

2. Dry matter  
3. Water-insoluble solids

**Table 1** Different formulation of tomato paste samples as per RSM

Sample No.	salt (NaCl)(%)	tomato powder (%)	milling step	Sample No.	salt (NaCl)	tomato powder (%)	milling step
1	1	2	3	11	1	0	3
2	2	0	3	12	1	1	2
3	2	2	3	13	1	2	1
4	1.5	1	2	14	1.5	1	2
5	1.5	1	2	15	2	0	1
6	2	2	1	16	1.5	1	2
7	1.5	1	2	17	2	1	2
8	1.5	1	3	18	1.5	2	2
9	1.5	0	2	19	1	0	1
10	1.5	1	1	20	1.5	1	2

**۲-۳- نتایج و بحث****۲-۳-۱- pH و اسیدیته**

اسیدیته و pH نمونه ها به ترتیب در محدوده ۱/۸۷-۱/۹۳ و ۳/۹۱-۴/۰۷ متغیر بود. سایر محققین نیز مقادیر pH و اسیدیته رب گوجه‌فرنگی را در این محدوده گزارش نموده اند [۱۸، ۱۹، ۱]. همانطور که مشخص است، افزودن پوست گوجه‌فرنگی و نمک و تغییر در تعداد مراحل هموژنیزاسیون سبب تغییر معنی‌داری در pH و اسیدیته نمونه‌ها نشده است ( $p > 0.05$ ). نتایج مشابهی بوسیله مظاهری و همکاران [۱۶] گزارش شده است که در آن افزودن پودر تفاله گوجه‌فرنگی تا سطح ۱۰٪ (وزنی/وزنی) تاثیری معنی‌داری بر pH نمونه‌ها نداشته است. در مقابل Anthon و همکاران [۴۴] مقدار pH نمونه‌های رب گوجه‌فرنگی را بالاتر از پژوهش حاضر و معادل ۴/۳۷-۴/۵۲ گزارش نمودند. دلیل این تفاوت می‌تواند بدلیل اختلاف در وارپته گوجه‌فرنگی مورد استفاده و همچنین میزان فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز باشد. شدت و سرعت انتقال حرارت به آب گوجه‌فرنگی یکی از عوامل موثر بر pH و اسیدیته فرآورده‌های گوجه‌فرنگی می‌باشد بطوریکه استفاده از روش‌های سریع انتقال حرارت مانند مایکروویو باعث می‌شود سطح فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز نسبت به روش‌های سنتی تغییر پیدا کرده و در نتیجه میزان اسیدیته قابل تیتراژ و pH تغییر کند [۴۴].

**۲-۳-۲- مواد جامد کل (DM)، مواد جامد نامحلول****(WIS) و بریکس (Brix) در نمونه‌های مختلف رب****گوجه‌فرنگی**

میزان مواد جامد نمونه‌ها در محدوده ۲۸/۹-۳۰/۸ درصد متغیر بود. بالاترین و پایین‌ترین مقدار مواد جامد به‌ترتیب مربوط به نمونه‌های شماره ۳ (۲درصد پودر پوست گوجه‌فرنگی و ۳ مرحله آسیاب) و نمونه شماره ۱۵ (فاقد پودر پوست گوجه‌فرنگی و ۱ مرحله آسیاب) بود. در روندی مشابه و قابل پیش‌بینی، میزان مواد جامد نامحلول نیز در محدوده ۵/۳۴ تا ۷/۲۲ درصد و به‌ترتیب مربوط به نمونه شماره ۱۵ و ۳ بود. افزودن پوست گوجه‌فرنگی سبب افزایش معنی‌دار میزان مواد جامد شده ( $p < 0.05$ ) اما تغییر در میزان و نوع نمک و همچنین تعداد مراحل آسیاب تاثیر معنی‌داری بر این متغیرها نداشته است ( $p > 0.05$ ). دل‌واله و همکاران [۹] گزارش نمودند افزودن پوست گوجه‌فرنگی به رب گوجه‌فرنگی سبب افزایش میزان مواد جامد محصول نهایی می‌گردد.

تغییرات بریکس نمونه‌های مختلف رب گوجه‌فرنگی در محدوده ۲۸/۵۳-۲۸/۴۸ بوده و افزودن پوست گوجه‌فرنگی، کلرید کلسیم و همچنین تعداد مراحل آسیاب، تاثیر معنی‌داری بر این شاخص نداشته است ( $p > 0.05$ ). در مقابل، دل‌واله و همکاران [۹] گزارش نمودند افزودن پوست گوجه‌فرنگی به رب گوجه‌فرنگی سبب افزایش میزان بریکس محصول نهایی می‌گردد. دلیل این

تفاوت می تواند بخاطر استفاده از مقدار بسیار بالاتر از پوست گوجه‌فرنگی (۱۰ درصد در تحقیق دل واله و همکاران در برابر ۲ درصد در تحقیق حاضر) باشد.

### ۲-۳-۳- محتوای فیبر (Fiber) و درصد رسوب وزنی (PWR) نمونه‌های مختلف رب گوجه‌فرنگی

میزان فیبر نمونه‌های مختلف رب گوجه‌فرنگی در محدوده ۵/۴۹ تا ۴/۴۳ درصد متغیر بود. بالاترین و پایین ترین مقدار فیبر به ترتیب مربوط به نمونه‌های شماره ۱ (۲ درصد پودر پوست گوجه‌فرنگی و ۳ مرحله آسیاب) و نمونه شماره ۱۵ (فاقد پودر پوست گوجه فرنگی و ۱ مرحله آسیاب) بود. پوست گوجه-فرنگی دارای حدود ۸۰ درصد فیبر تغذیه‌ای می‌باشد که بیشترین بخش آنرا فیبرهای نامحلول تشکیل می‌دهند. پوست گوجه‌فرنگی دارای بالاترین میزان فیبر در بین فرآورده‌های جانبی بدست آمده از گیاهان می‌باشد [۴۱]. سیلوا و همکاران [۲۰] به بررسی ترکیبات موجود در تفاله گوجه‌فرنگی حاصل از فرایند تولید رب گوجه‌فرنگی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد تفاله گوجه‌فرنگی عمدتاً متشکل از پوست بوده بطور ۶۱/۵٪ از وزن خشک آنرا تشکیل داده و بالاترین ترکیب تغذیه ای آن مربوط به فیبر با میزان ۵۰/۷۴ گرم به ازای ۱۰۰ گرم وزن خشک تفاله بود. بنابراین می‌توان گفت یکی از دلیل افزایش محتوای فیبر نمونه‌های رب گوجه‌فرنگی اضافه‌کردن پوست بعنوان یک منبع فیبر می باشد. از سوی دیگر، همانطور که در جدول نشان داده است، با افزایش تعداد مراحل عبور از آسیاب کلوئیدی، میزان فیبر افزایش یافته است. در توافق با این نتایج، Huang و همکاران [۴۶] گزارش نمودند عبور پالپ چغندر قند از هموژنیزاتور منجر به افزایش میزان فیبر تغذیه‌ای می شود. Hua و همکاران [۴۷] نیز گزارش نمودند با اعمال فرآیند هموژنیزاسیون با فشار بالا به تفاله گوجه‌فرنگی، ریزساختار محصول تغییر پیدا کرده و فیبر نامحلول به فیبر محلول تبدیل می‌شود. طی این فرآیند سلولز و همی سلولز تخریب شده و به قطعاتی کوچکتر تقسیم می‌شوند. این امر منجر به تغییر حالیت آنها می‌شود. نتایج مشابهی در خصوص تاثیر هموژنیزاسیون با فشار بالا بر پوست پرتقال و سبب زمینی نیز گزارش شده است. درصد رسوب وزنی نمونه‌های رب گوجه‌فرنگی در محدوده

۳۹/۲۶ تا ۵۷/۹۹ درصد و به ترتیب مربوط به نمونه شماره ۱۵ (فاقد پودر پوست گوجه‌فرنگی و ۱ مرحله آسیاب) و شماره ۳ (۲ درصد پودر پوست گوجه‌فرنگی و ۳ مرحله آسیاب) بود. افزودن پودر پوست گوجه‌فرنگی و همچنین تعداد مراحل آسیاب سبب افزایش معنی‌دار میزان فیبر و درصد رسوب وزنی شده ( $p < 0/05$ ) اما تغییر در میزان و نوع نمک تاثیر معنی‌داری بر این متغیرها نداشته است ( $p > 0/05$ ). مشخص شده است فرایند هموژنیزاسیون با فشار بالا می‌تواند بعنوان یک ابزار ارزشمند جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی محصولات غذایی شامل افزایش رسوب وزنی بکار برده شود [۲۱]. تغییرات درصد رسوب وزنی نمونه‌های رب گوجه‌فرنگی از دو سو قابل بررسی می‌باشد: تاثیر افزودن پودر بر میزان فیبر محصول نهایی و تاثیر هموژنیزاسیون بر میزان فیبر محصول نهایی. دل واله و همکاران [۹] و مظاهری و همکاران [۲۲] به ترتیب گزارش نمودند افزودن پوست گوجه‌فرنگی به رب گوجه‌فرنگی و پودر تفاله گوجه‌فرنگی به فرمولاسیون کچاپ سبب افزایش معنی دار سطح فیبر در محصول نهایی می‌گردد. از سوی دیگر، بنگستون و تورنبرگ [۲۳] گزارش نمودند اعمال هموژنیزاسیون ۳ مرحله‌ای سبب افزایش معنی‌دار میزان فیبر در رب گوجه‌فرنگی (خرد شده به روش داغ) می‌گردد ( $p > 0/05$ ). همچنین این محققین اعلام نمودند هموژنیزاسیون تاثیر معنی‌داری در افزایش ظرفیت نگهداری آب در رب گوجه‌فرنگی داشته است. بنابراین می‌توان گفت افزایش در محتوای فیبر نمونه‌های رب گوجه‌فرنگی بواسطه افزایش ظرفیت نگهداری آب توانسته است منجر به افزایش درصد رسوب وزنی شود.

### ۲-۳-۴- قوام در نمونه های مختلف رب گوجه‌فرنگی

همانطور که در جدول ۲ مشخص است این شاخص بطور معنی-داری تحت تاثیر میزان جایگزینی کلریدکلسیم با کلریدسدیم، غلظت پودر پوست گوجه‌فرنگی و تعداد مراحل عبور نمونه از آسیاب قرار گرفته است. حدود تغییرات قوام نمونه ها از ۳/۶۹ سانتی‌متر در مورد نمونه شماره ۱ (۱ درصد کلرید کلسیم، ۲ درصد پودر پوست گوجه‌فرنگی و ۳ مرحله آسیاب) تا ۸/۴ سانتیمتر در مورد نمونه شماره ۱۵ (فاقد کلریدکلسیم و پودر پوست گوجه‌فرنگی و ۱ مرحله آسیاب) ثبت شد. مشخص شده است فرایند HPH می‌تواند بعنوان فرآیندی که به ترکیبات محصول

آبمیوه مستقیماً بر قوام آن تاثیرگذار می‌باشد. عبور دادن این دیواره‌ها از هموزنیزاتور سبب تغییر شکل فضایی آنها به حالت خطی شده، اندازه ذرات کاهش یافته و مساحت سطحی آنها افزایش پیدا می‌کند. مشخص شده است دیواره‌های سلولی که شکل آنها به حالت خطی تغییر پیدا کرده است، مقاومت بیشتری در برابر جریان از خود نشان داده و مجموعه این عوامل منجر به افزایش قوام محصولات هموزنیزه می‌شود [۲۴، ۲۵]. علاوه بر این، دیواره‌های سلولی موجود در آب گوجه‌فرنگی حاوی فیبریل‌های سلولزی درهم تنیده‌ای است که با مواد پکتیکی اشیاع شده‌اند. هموزنیزاسیون سبب افزایش سطح دیواره‌های سلولی شده و در نتیجه پکتین‌های تعبیه شده بین فیبرهای سلولزی سلول‌ها در معرض واکنش قرار می‌گیرند. در نتیجه ظرفیت نگهداری آب محصول افزایش پیدا کرده و قوام افزایش می‌یابد [۲۵]. برخی از محققین نیز دلیل این امر را تشکیل شبکه فیبری دانسته‌اند که بدنبال اعمال هموزنیزاسیون و در اثر فعل و انفعالات پلیمر-پلیمر شکل گرفته‌اند [۲۶، ۲۷].

تنش و فشار وارد می‌نماید، بعنوان یک ابزار ارزشمند جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی محصولات غذایی شامل افزایش قوام بکار برده شود [۲۱]. باتوجه به اینکه آسیاب کلونیدی نیز به محصول تنش و فشار همزمان وارد می‌کند، می‌توان انتظار داشت که تاثیر مشابهی با فرآیند هموزنیزاسیون با فشار بالا ایجاد گردد. نتایج مشابهی بوسیله مظاهری و همکاران [۲۲] در مورد افزودن پودر تفاله گوجه‌فرنگی به فرمولاسیون کچاپ گزارش شده است. افزودن پودر پوست گوجه‌فرنگی بواسطه افزایش میزان فیبر نمونه‌ها، تاثیر آن در جذب آب آزاد و همچنین دارابودن پکتین سبب افزایش ویسکوزیته رب شده است. از سوی دیگر، کلریدکلسیم نیز بواسطه واکنش با پکتین موجود در رب و ایجاد شبکه زلی ویسکوزیته رب را افزایش داده و متعاقباً قوام بوستویک کاهش پیدا می‌کند. از سوی دیگر، افزایش مراحل هموزنیزاسیون با آسیاب کلونیدی اندازه ذرات کاهش پیدا کرده و این امر مستقیماً بر ویژگی‌های رئولوژیکی رب تاثیرگذار بوده است. پیکربندی یا آرایش فضایی دیواره‌های سلولی موجود در

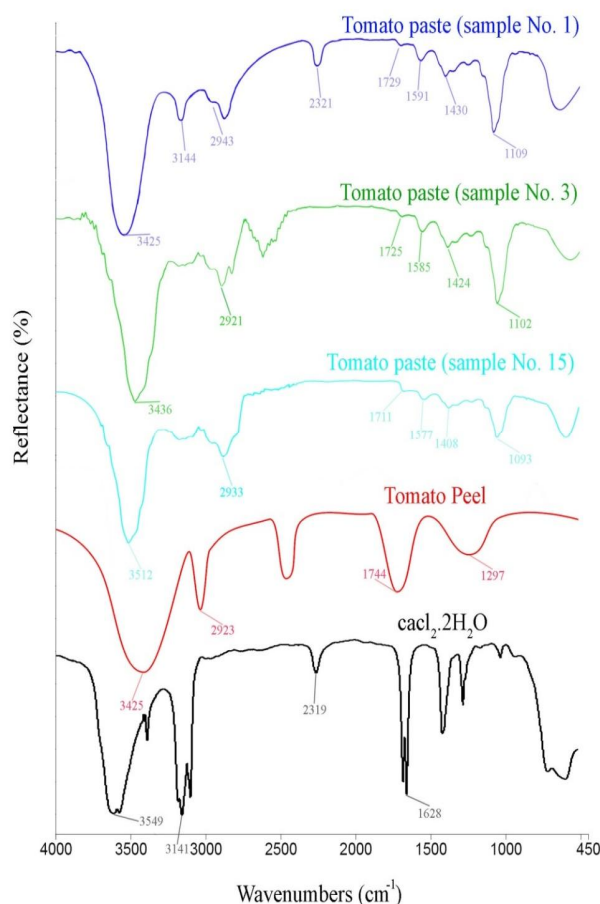
Table 2 Physical properties of tomato paste samples

Sample No.	Acidity	pH	DM (%)	WIS (%)	Brix	Fiber (%)	PWR (%)	Consistency (cm)
1	1.93a	4.01a	30.7a	7.2a	28.52a	5.49a	57.99a	3.69k
2	1.88a	3.96a	28.9c	5.66c	28.53a	4.44c	42.43c	7.55c
3	1.91a	3.91a	30.8a	7.22a	28.51a	5.42a	56.89a	4.46j
4	1.9a	4.05a	29.8b	6.2b	28.53a	4.89b	51.06b	5.41f
5	1.87a	4.03a	29.8b	6.23b	28.48a	4.87b	51.14b	5.39f
6	1.91a	3.98a	30.7a	6.92a	28.49a	5.21a	49.64b	5.76e
7	1.93a	4.09a	29.8b	6.19b	28.5a	4.86b	51.1b	5.4f
8	1.94a	4.02a	29.8b	6.37b	28.51a	4.92b	53.23ab	4.87i
9	1.89a	3.99a	28.9c	5.48c	28.5a	4.46c	47.75bc	6.23d
10	1.89a	4.03a	29.8b	6.1b	28.49a	4.8b	47.1bc	6.39d
11	1.92a	3.95a	28.9c	5.64c	28.53a	4.45c	52.05b	5.05h
12	1.93a	4a	29.8b	6.2b	28.52a	4.91b	51.86b	5.21g
13	1.91a	4.07a	30.7a	6.95a	28.49a	5.26a	52.11b	5.15g
14	1.89a	3.96a	29.8b	6.21b	28.51a	4.9b	51.18b	5.38f
15	1.92a	3.99a	28.9c	5.34c	28.49a	4.45c	39.26c	8.4a
16	1.87a	3.93a	29.8b	6.18b	28.51a	4.87b	51.12b	5.4f
17	1.88a	4.02a	29.8b	6.19b	28.5a	4.89b	49.93b	5.69e
18	1.92a	4.05a	30.7a	7.04a	28.48a	5.31a	52.87ab	4.96i
19	1.87a	3.93a	28.9c	5.35c	28.53a	4.43c	41.46c	7.79b
20	1.87a	3.93a	29.8b	6.21b	28.51a	4.91b	51.09b	5.36f

Different superscripts represent significant differences in each row among the means ( $P < 0.05$ ).

دانسته‌اند. واکنش کلسیم با مولکول پکتین زمانی به حداکثر می‌رسد که درجه متیل استریفیکاسیون پکتین حداقل باشد. در این حالت، با افزایش این شاخص میزان پیوند آن با یون کلسیم افزایش یافته و در نتیجه، ویسکوزیته محصول نهایی افزایش پیدا

نهایتاً، گلاهر و همکاران [۲۸] علت بهبود قوام فرآورده‌های هموزن شده را کاهش طول فیبرهای گوجه‌فرنگی و بدنبال آن افزایش توانایی آنها در جذب و نگهداری آب در محصول



**Fig 1** ATR-FTIR spectra of tomato paste samples (No. 1, 3 and 15), tomato peel and  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

پیک‌های مختلفی در طیف جذبی ATR-FTIR مربوط به پوست گوجه‌فرنگی مشخص است. پیک جذب پهن در  $\text{cm}^{-1}$  ۳۴۲۵ مربوط به کشش نامتقارن O—H می‌باشد که مربوط به باند هیدروژنی گروه‌های هیدروکسیل موجود در پلی‌ساکاریدها و کوتین می‌باشد [۳۲، ۳۱]. باند جذب موجود در  $\text{cm}^{-1}$  ۲۹۲۳ مربوط به کشش نامتقارن CH<sub>2</sub> و همچنین کشش متقارن CH<sub>2</sub> در آلیفاتیک‌ها، کوتین، موم و کوتان می‌باشد [۳۲، ۳۳]. پیک جذب در  $\text{cm}^{-1}$  ۱۷۴۴ مربوط به کشش  $\text{C}=\text{O}$  در استرهای کوتین می‌باشد [۳۳]. نهایتاً باند جذب موجود در  $\text{cm}^{-1}$  ۱۲۹۷ مربوط به کشش استر C—O در پلی‌ساکارید می‌باشد [۳۴].

طیف ATR-FTIR مربوط به نمونه رب گوجه‌فرنگی شماره ۱۵ دارای پیک‌های جذب مختلف در طول موج‌های  $\text{cm}^{-1}$  ۳۵۱۲، ۲۹۳۳، ۱۷۱۱، ۱۵۷۷، ۱۴۰۸ و ۱۰۹۳ بوده که به ترتیب

می‌کند. مشخص گردیده است هموژنیزاسیون تاثیر بسزایی در تغییر درجه متیل استریفیکاسیون پکتین داشته بطوریکه با اعمال هموژنیزاسیون، وزن مولکولی پکتین سرم افزایش و درجه متیل استریفیکاسیون پکتین کاهش پیدا می‌کند [۲۴]. در نتیجه، در پژوهش حاضر افزایش ویسکوزیته رب گوجه‌فرنگی با افزایش غلظت کلریدکلسیم و همچنین تعداد مراحل هموژنیزاسیون، با تکیه بر این اصل قابل تفسیر می‌باشد.

این تغییرات در بخش میزان رسوب وزنی نمونه‌های رب گوجه‌فرنگی نیز قابل مشاهده است. مجموعه تغییرات ایجاد شده در اثر هموژنیزاسیون سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب محصول شده و در نتیجه درصد رسوب وزنی نیز به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. نتایج مشابهی بوسیله محققان مختلف در خصوص تاثیر هموژنیزاسیون بر ویژگی‌های رئولوژیکی آب میوه‌ها و سبزی‌ها، پوره‌ها و سس‌ها گزارش شده است. سانتیاگو و همکاران [۲۴] و تاکور و سینک [۲۵] به ترتیب اعلام کردند اعمال فرایند هموژنیزاسیون تحت فشار به رب گوجه‌فرنگی و آب گوجه‌فرنگی سبب افزایش قوام (کاهش عدد بوستویک) می‌شود.

## ۲-۳-۵- آنالیز FTIR

به منظور بررسی تاثیر افزودن کلریدکلسیم و پودر پوست گوجه‌فرنگی و همچنین تعداد مراحل عبور از آسیاب کلونیدی بر ساختار رب، ۴ نمونه انتخاب شد. از اینرو، به منظور بررسی تاثیر کلریدکلسیم، نمونه ۱ با ۳ مقایسه شده و به منظور بررسی تاثیر پودر پوست و تعداد مراحل آسیاب، نمونه ۲ با نمونه ۱۵ مقایسه گردید. مشخصات پیک‌های ATR-FTIR مربوط نمونه‌های به رب گوجه‌فرنگی شماره ۱ (۱ درصد کلریدکلسیم، ۲ درصد پوست گوجه‌فرنگی و ۳ مرحله هموژنیزاسیون)، شماره ۳ (فاقد کلریدکلسیم، ۲ درصد پوست گوجه‌فرنگی و ۳ مرحله هموژنیزاسیون)، شماره ۱۵ (فاقد کلرید کلسیم، فاقد پوست گوجه‌فرنگی و ۱ مرحله هموژنیزاسیون)، پوست گوجه‌فرنگی و کلریدکلسیم در شکل ۱ نشان داده شده است. طیف ATR-FTIR کلریدکلسیم دو آبه دارای پیک‌های جذب مختلف در طول موج‌های  $\text{cm}^{-1}$  ۳۵۹۴، ۳۱۴۱، ۲۳۱۹ و ۱۶۲۸ بوده که به ترتیب مربوط به کشش نامتقارن O—H، کشش متقارن O—H، باند ترکیبی و خمیدگی پیوند H-O-H می‌باشد [۳۰].

مربوط به نمونه رب گوجه‌فرنگی شماره ۱ پیک‌های  $3425\text{ cm}^{-1}$ ،  $3144$ ،  $2943$ ،  $2321$ ،  $1729$ ،  $1591$ ،  $1430$  و  $1109$  مشاهده می‌شود که ترتیب مربوط به کشش نامتقارن O—H (باند هیدروژنی گروه های هیدروکسیل موجود در پلی‌ساکاریدها)، کشش متقارن O—H، ارتعاش  $\text{CH}_2$  (مربوط به لیپید-آلکان)، باند ترکیبی، کشش  $\text{C}=\text{O}$  (گروه‌های کربوکسیلیک‌اسید در اسیدها)، پیوند  $\text{CH}_2$  (کوتین و سایر موم‌ها، پلی‌ساکاریدها)، خمش OH و کشش C—O و C—O—C (کربوهیدرات‌ها و قندها) می‌باشد. همانطور که در طیف جذبی مشخص است، در این نمودار پیک‌های جدیدی نسبت به نمونه رب شماره ۳ (فاقد کلرید کلسیم) ظاهر شده و همچنین شدت برخی پیک‌ها تغییر پیدا کرده است؛ پهنا و شدت پیک موجود در  $3425\text{ cm}^{-1}$  در این نمونه افزایش پیدا کرده است. دلیل این امر واکنش کلریدکلسیم با پلی‌ساکاریدهای رب گوجه فرنگی و متعاقباً افزایش ارتعاش کششی مربوط به O—H می‌باشد [۳۸] (رجبی و همکاران، ۲۰۲۱). از سوی دیگر، باندهای جذب جدیدی در  $3144\text{ cm}^{-1}$  و  $2321$  تشکیل شده‌است که یکی از شواهد واکنش کلریدکلسیم با پکتین و پلی‌ساکاریدهای موجود در رب گوجه‌فرنگی می‌باشد. محمدناسف و همکاران [۳۹] اعلام نمودند واکنش کلریدکلسیم با کیتوزان، آگار و فیلم‌های تشکیل شده از این دو بیوپلیمر سبب تقویت باند جذب موجود در حدود  $2320\text{ cm}^{-1}$  می‌گردد.

درخصوص بررسی تاثیر فرایند هموژنیزاسیون بر طیف ATR-FTIR نمونه های رب گوجه فرنگی، در شکل ۲ طیف مربوط به نمونه شماره ۱۵ و نمونه شماره ۲ آمده است. همانطور که مشخص است طیف جذبی هردو نمونه از لحاظ موقعیت پیک‌ها شبیه به هم بوده اما شدت پیک‌ها در نمونه با ۳ مرحله هموژنیزاسیون افزایش پیدا کرده است. این افزایش شدت پیک‌ها نشان دهنده افزایش ترکیبات از جمله فیبرها و ترکیبات کربوهیدراتی در نتیجه استفاده از پودر پوست گوجه‌فرنگی می‌باشد. این نتایج در تطابق و تایید کننده نتایج بدست‌آمده در مراحل قبل مبنی بر افزایش سطح ترکیبات مختلف رب گوجه‌فرنگی با افزودن پوست به آن می‌باشد. نتایج متناقضی بوسیله هانگ و همکاران [۴۰] گزارش شده است. این محققان اعلام نمودند اعمال هموژنیزاسیون با فشار بالا بر پالپ چغندر قند سبب کاهش شدت برخی پیک‌ها در اثر تخریب ترکیبات

مربوط به کشش نامتقارن O—H (باند هیدروژنی گروه‌های هیدروکسیل موجود در پلی‌ساکاریدها)، ارتعاش  $\text{CH}_2$  (مربوط به لیپید-آلکان)، کشش  $\text{C}=\text{O}$  (گروه‌های کربوکسیلیک‌اسید در اسیدها)، پیوند  $\text{CH}_2$  (کوتین و سایر موم‌ها، پلی‌ساکاریدها)، خمش OH و کشش C—O و C—O—C (کربوهیدرات‌ها و قندها) می‌باشد [۳۵-۳۶].

طیف ATR-FTIR مربوط به نمونه رب گوجه‌فرنگی شماره ۳ دارای پیک‌های جذب مختلف در طول موج‌های  $3436\text{ cm}^{-1}$  (کشش نامتقارن O—H)،  $2921$  (ارتعاش  $\text{CH}_2$ )،  $1725$  (کشش  $\text{C}=\text{O}$ )،  $1585$  (پیوند  $\text{CH}_2$ )،  $1424$  (خمش OH) و  $1102$  (خمش OH و کشش C—O و C—O—C) می‌باشد. در مقایسه با نمونه ۱۵ (فاقد پودر پوست گوجه‌فرنگی)، پیک  $3436\text{ cm}^{-1}$  در نمونه شماره ۳ به طول موج‌های پایین تر ( $3512\text{ cm}^{-1}$ ) شیفت پیدا کرده و پهنا و شدت آن افزایش پیدا کرده است. علاوه براین، شدت پیک‌های  $2921$ ،  $1725$ ،  $1585$ ،  $1424$  و  $1102$  نیز در نمونه شماره ۳ افزایش پیدا کرده است. گراسینو و همکاران [۳۷] اعلام نمودند طیف ATR-FTIR پکتین استخراج شده از ضایعات گوجه‌فرنگی دارای یک پیک پهن در طول موج  $3300\text{ cm}^{-1}$ ، دو پیک جذبی در طول موج‌های  $2881$  و  $2995$  و نهایتاً یک باند جذبی در طول موج  $1743\text{ cm}^{-1}$  می‌باشد که نشان دهنده درجه متیلاسیون آن است [۳۷]. با توجه به مشخصات طیف پکتین و تغییرات ایجاد شده در طیف رب گوجه‌فرنگی می‌توان نتیجه گرفت که این شواهد نشان می‌دهد میزان پکتین نمونه رب گوجه‌فرنگی در اثر افزودن پوست گوجه‌فرنگی افزایش پیدا کرده است. از اینرو می‌توان گفت اضافه‌شدن سطح پکتین در نمونه حاوی پوست گوجه‌فرنگی از یک سو سبب شده است پیک  $3512\text{ cm}^{-1}$  یک شیفت آبی را تجربه کرده و به طول موج  $3436\text{ cm}^{-1}$  برسد و از طرف دیگر با افزایش شدت کشش نامتقارن O—H مربوط به باند هیدروژنی گروه‌های هیدروکسیل موجود در پلی‌ساکاریدها، شدت این پیک نیز افزایش پیدا کند. درخصوص تغییرات ایجاد شده در شدت سایر پیک‌ها نیز می‌توان گفت دلیل این مشاهدات خروج ترکیبات مختلف از جمله پلی‌ساکاریدها و فیبر از پوست گوجه‌فرنگی به شبکه رب می‌باشد.

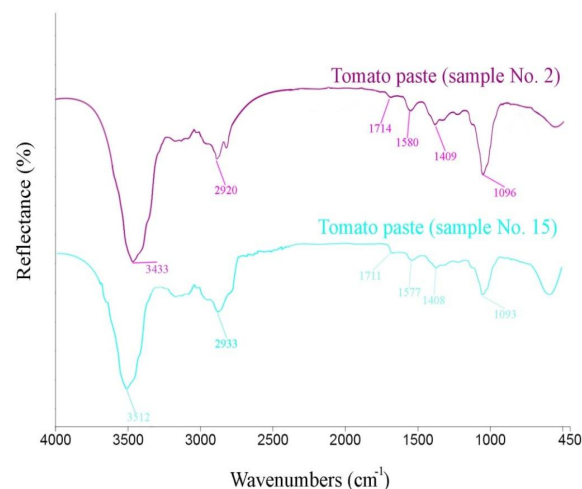
همانطور که در شکل ۱ مشخص است در طیف ATR-FTIR



هموژنیزاسیون) و ۱۵ (فاقد کلرید کلسیم، فاقد پوست گوجه فرنگی و یک مرحله هموژنیزاسیون) مشخص است در نمونه شماره ۱۵، ساختاری خشن مشاهده شده و دیواره های سلولی و صفحات کربوهیدراتی قابل مشاهده می باشد، درحالیکه در نمونه شماره ۲ و با افزایش تعداد مراحل هموژنیزاسیون از یک به سه، یکنواختی ماتریس رب گوجه فرنگی افزایش پیدا کرده و صفحات و دیواره های سلولی قابل مشاهده نیست. نتایج مشابهی بوسیله کوبو و همکاران [۲۱] در خصوص تاثیر فشار هموژنیزاسیون بر ریزساختار رب گوجه فرنگی گزارش شده است. این محققان اعلام نمودند با افزایش فشار هموژنیزاسیون از ۰ تا ۱۰۰ مگاپاسکال، دیواره سلولی تخریب شده، اندازه ذرات کاهش می یابد و میزان یکنواختی نمونه افزایش پیدا می کند.

درخصوص تاثیر افزودن پودر پوست گوجه فرنگی بر ریزساختار نمونه ها، همانطور که در تصاویر FESEM مربوط به نمونه های ۱ (یک درصد کلرید کلسیم، دو درصد پوست گوجه فرنگی و سه مرحله هموژنیزاسیون) و ۱۱ (یک درصد کلرید کلسیم، فاقد پوست گوجه فرنگی و سه مرحله هموژنیزاسیون) مشخص است افزوده شدن پوست گوجه فرنگی سبب ایجاد تغییرات محسوسی در بافت محصول نهایی شده است. با افزوده شدن پوست گوجه فرنگی به فرمولاسیون، میزان یکنواختی محصول افزایش یافته و ظاهری آمورف، متراکم و دنس به خود گرفته است. در نمونه فاقد پوست، خلل و فرج هایی در ساختار به چشم می خورد اما افزودن پوست باعث شده است این منافذ به طور کامل پر شده و ماتریسی آمورف و یکنواخت ظاهر گردد. همانطور که در نتایج FTIR و همچنین آنالیز شیمیایی نمونه ها مشخص شد، افزودن پوست گوجه فرنگی سبب افزایش معنی دار سطح فیبر، ماده جامد و پکتین در محصول نهایی می شود. همچنین مشخص شده است افزایش خروج میزان پکتین از دیواره سلولی و نشستن روی دیواره سلولی کلاپس شده در رب گوجه فرنگی، سبب ایجاد ساختاری آمورف (شبکه ای آمورف) می شود [۴۲، ۴۳]. بنابراین می توان گفت تغییرات ایجاد شده در ریزساختار رب گوجه فرنگی در نتیجه افزایش سطح فیبر، ماده جامد و پکتین و در تطابق با نتایج آزمون های شیمیایی می باشد.

مختلف می شود. دلیل این تناقض می تواند مربوط به مرحله افزودن پودر پوست گوجه فرنگی و همچنین کلرید کلسیم باشد. افزودن پودر پوست سبب می شود سطح فیبر، پکتین و مواد جامد رب افزایش پیدا کرده و تخریب ناشی از فرایند هموژنیزاسیون جبران شود.



**Fig 2** ATR-FTIR spectra of tomato paste samples (No. 2 and 15).

### ۲-۳-۶- ریخت شناسی نمونه های رب گوجه فرنگی

تصاویر مربوط به میکروسکپ الکترونی روبشی نمونه های ۱، ۲، ۱۱ و ۱۵ رب گوجه فرنگی در شکل آمده است. مقایسه از دو نقطه نظر انجام شده است؛ یکی تاثیر افزایش تعداد مراحل هموژنیزاسیون بر ریزساختار نمونه ها بدون در نظر گرفتن افزودن پوست گوجه فرنگی و دیگری بررسی افزودن پوست گوجه فرنگی بر ریزساختار مشخص شده است اعمال فرایند هموژنیزاسیون با فشار بالا روی سوسپانسیون پوست گوجه فرنگی سبب خروج ترکیبات مختلف از آن از جمله پروتئین، فنل ها و پکتین می شود [۴۱]. با توجه به اینکه مورفولوژی نمونه های رب گوجه فرنگی تحت تاثیر حضور ترکیبات پلی ساکاریدی و پروتئینی و فعل و انفعالات آنها با سایر ترکیبات موجود در رب می باشد، لذا می توان گفت استفاده از پوست گوجه فرنگی در فرمولاسیون رب گوجه فرنگی همراه با اعمال فرایند هموژنیزاسیون می تواند سبب تغییر ریزساختار نمونه گردد.

همانطور که در تصاویر FESEM مربوط به نمونه های ۲ (فاقد کلرید کلسیم، فاقد پوست گوجه فرنگی و سه مرحله

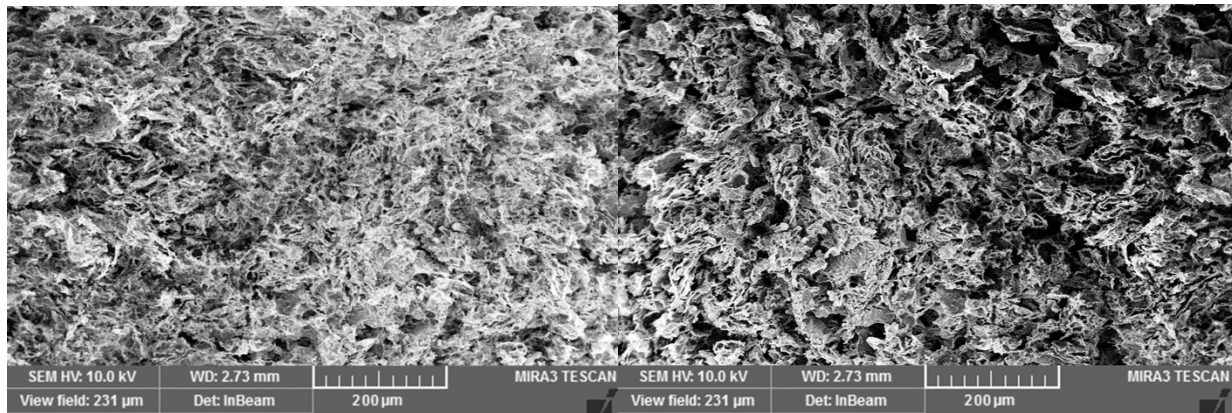


Fig 3 FESEM images of tomato paste sample No. 1 (right) and 11 (left).

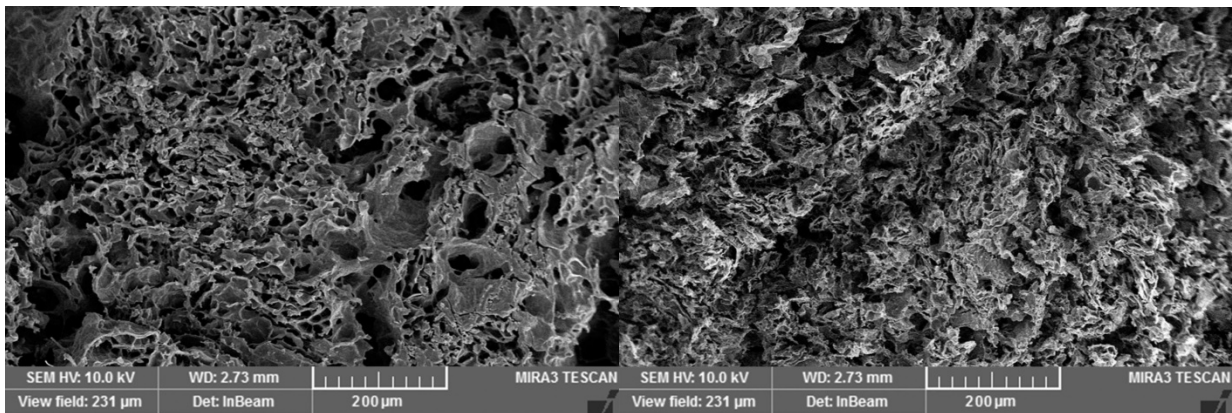


Fig 4 FESEM image of tomato paste sample No. 15 (right) and 2 (left).

گوجه‌فرنگی، هزینه‌ای بابت خرید آن نمی‌پردازند می‌تواند سبب تولید محصولات با ارزش افزوده بالا و عملگرا شود.

### ۳- نتیجه‌گیری

به منظور ایجاد ارزش افزوده در صنایع تولید رب گوجه‌فرنگی و استفاده بهینه از ضایعات به موازات بهبود کیفیت محصول نهایی، پوست گوجه‌فرنگی و کلرید کلسیم به فرمولاسیون رب افزوده شده و آسیاب کلوئیدی جایگزین هموژنیزاسیون شد. افزوده شدن پوست گوجه‌فرنگی در سطح دو درصد همراه با کلرید کلسیم (یک درصد) و عبور دو یا سه مرحله محصول از آسیاب کلوئیدی، سبب بهبود معنی‌دار ویژگی‌های شیمیایی و قوام محصول گردید. در این راستا، میزان مواد جامد کل، مواد جامد نامحلول، فیبر، قوام و درصد رسوب وزنی به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. نتایج FTIR موید واکنش کلرید کلسیم با ترکیبات موجود در ماتریس رب شده و آنالیز ریزساختار نشان داد پوست گوجه‌فرنگی بطور یکنواخت در ماتریس رب پخش شده است. نتایج این تحقیق نشان داد تفاله گوجه‌فرنگی بعنوان یک ماده اولیه غذایی با ارزش که کارخانه‌های تولید رب

### ۴- منابع

- [1] Torbica, A., Belović, M., Mastilović, J., Kevrešan, Ž., Pestorić, M., Škrobot, D., & Hadnađev, T. D. (2016). Nutritional, rheological, and sensory evaluation of tomato ketchup with increased content of natural fibres made from fresh tomato pomace. *Food and bioproducts processing*, 98, 299-309.
- [2] Yoo, B., & Rao, M. (1994). Effect of unimodal particle size and pulp content on rheological properties of tomato puree. *Journal of Texture Studies*, 25(4), 421-436.
- [3] Persia, M.E., C. M. Parsons, M. Schang and J. Azcona, Nutritional evaluation of dried tomato seeds. *poultry science*, 2003. 82: p. 141-146
- [4] Silva, Y., Borba, B. C., Pereira, V. A., Reis,

- Parsnip. 2012. (*Pastinaca sativa L.*): Dietary fiber composition and physicochemical characterization of its homogenized suspensions. *Food Research International*, 48: 598-608.
- [15] Omidbakhsh, E., Nayebzade, K., Mohammadifar, M. A., & Amiri, Z. (2013). Effects of combined modified starch and xanthan gum on the stability and rheological and sensory characteristics of tomato sauce .
- [16] Mazaheri Tehrani, M. (2007, April). New Method for measuring of tomato paste consistency. In 1st international Chester food science & technology conference.
- [17] Baranska, M., Schulz, H., Joubert, E., & Manley, M. (2006). In situ flavonoid analysis by FT-Raman spectroscopy: Identification, distribution, and quantification of aspalathin in green rooibos (*Aspalathus linearis*). *Analytical Chemistry*, 78(22), 7716-7721.
- [18] Gholami, M. Z., Ahmadi, E., & Karami, M. (2017). The Influence Of The Color, Firmness And Processing Method Of Raw Tomatoes On The Physical, Chemical Characteristic Of Tomato Paste .
- [19] Panahi, E., Mousavi, A., Samiei, M., & Mirlohi, M. (2019). Comparison of Conventional and Modern Packaging in the Cold Storage of Healthy Tomato Paste and Tomato Paste Contaminated with *Aspergillus flavus* Spore.
- [20] PA Silva, Y., Borba, B. C., Pereira, V. A., Reis, M. G., Caliar, M., Brooks, M. S. L., & Ferreira, T. A. (2019). Characterization of tomato processing by-product for use as a potential functional food ingredient: nutritional composition, antioxidant activity and bioactive compounds. *International journal of food sciences and nutrition*, 70(2), 150-160.
- [21] Kubo, M. T. K., Augusto, P. E., & Cristianini, M. (2013). Effect of high pressure homogenization (HPH) on the physical stability of tomato juice. *Food Research International*, 51(1), 170-179.
- [22] Mazaheri, T. M., & Mortazavi, S. G. (2006). Optimizing of conditions preheating tomato in production of tomato paste.
- [23] Bengtsson, H., and Tornberg, E. 2011. Physicochemical characterization of fruit and vegetable fiber suspensions. I: Effect of homogenization n. *Journal of Texture Studies*, M. G., Caliar, M., Brooks, M. S. L., & Ferreira, T. A. (2019). Characterization of tomato processing by-product for use as a potential functional food ingredient: nutritional composition, antioxidant activity and bioactive compounds. *International journal of food sciences and nutrition*, 70(2), 150-160.
- [5] Knoblich, M., B. Anderson and D. Latshaw. 2005. Analyses of tomato peel and seed byproduct and their use as a source of carotenoids. *J. Sci. Food Agric.* 85: 1166.
- [6] Laufenberg, G., Kunz, B., & Nystroem, M. (2003). Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. *Bioresource technology*, 87(2), 167-198.
- [7] Farahnaky, A., Abbasi, A., Jamalian, J., Mesbahi, G. 2008. The use of tomato pulp powder as thickening agent in the formulation of tomato ketchup. *Journal of texture studies*, 39: 169-182.
- [8] Sogi, D. S., Sidhu, J. S., Arora, M. S., Garg, S. K., and Bawa, A. S. 2002. Effect of tomato seed meal supplementation on the dough and bread characteristics of wheat (PBW 343) flour. *International journal of Food Propeteis*. 5: 563-571.
- [9] Del Valle, M., Cámara, M., and Torija, M. A. E. 2003. Effect of pomace addition on tomato paste quality. *Anti-Counterfeiting Trade Agreement*, 613: 399-405.
- [10] Hayes, W.A., Smith, P.G., and Morris, A.E.J. 1998. The Production and quality of tomato concentrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(7): 537-564.
- [11] Moelants K R., Cardinaels, R., De Greef, K., Daels, E., Van Buggenhout, S., Van Loey, A. M., Molaenaers, P., and Hendrickx, M. E. 2013. Effect of calcium ions and pH on the structure and rheology of carrot-derived suspensions. *Food Hydrocolloids*, 36:382-391.
- [12] Farahnaky, A., Abbasi, A., Jamalian, J., & Mesbahi, G. (2008). The use of tomato pulp powder as a thickening agent in the formulation of tomato ketchup. *Journal of texture studies*, 39(2), 169-182.
- [13] Ranganna, S. 1991. *Hand book of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products*. 2nd ed., McGraw-Hill Pub., England.
- [14] Castro, A., Bergenstal, B., Tornberg, E.

- infrared spectroscopy for quality assurance of tomato products. *J Am Sci*, 7, 559-572.
- [33] España, L., Heredia-Guerrero, J. A., Segado, P., Benítez, J. J., Heredia, A., & Domínguez, E. (2014). Biomechanical properties of the tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit cuticle during development are modulated by changes in the relative amounts of its components. *New Phytologist*, 202(3), 790-802.
- [34] Johnson, E. J., Dorot, O., Liu, J., Chefetz, B., & Xing, B. (2007). Spectroscopic characterization of aliphatic moieties in four plant cuticles. *Communications in soil science and plant analysis*, 38(17-18), 2461-2478.
- [35] Skolik, P., McAinsh, M. R., & Martin, F. L. (2019). ATR-FTIR spectroscopy non-destructively detects damage-induced sour rot infection in whole tomato fruit. *Planta*, 249(3), 925-939.
- [36] Beullens, K., Kirsanov, D., Irudayaraj, J., Rudnitskaya, A., Legin, A., Nicolai, B. M., & Lammertyn, J. (2006). The electronic tongue and ATR-FTIR for rapid detection of sugars and acids in tomatoes. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 116(1-2), 107-115.
- [37] Grassino, A. N., Ostojić, J., Miletić, V., Djaković, S., Bosiljkov, T., Zorić, Z., ... & Brnčić, M. (2020). Application of high hydrostatic pressure and ultrasound-assisted extractions as a novel approach for pectin and polyphenols recovery from tomato peel waste. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 102424.
- [38] Rajabi, H., Jafari, S. M., Feizi, J., Ghorbani, M., & Mohajeri, S. A. (2021). Surface-decorated graphene oxide sheets with nanoparticles of chitosan-Arabic gum for the separation of bioactive compounds: A case study for adsorption of crocin from saffron extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 1-12.
- [39] Mahmoud Nasef, M., El-Hefian, E. A., Saalah, S., & Yahaya, A. H. (2011). Preparation and properties of non-crosslinked and ionically crosslinked chitosan/agar blended hydrogel films. *E-Journal of Chemistry*, 8(S1), S409-S419.
- [40] Jurić, S., Ferrari, G., Velikov, K. P., & Donsi, F. (2019). High-pressure homogenization treatment to recover bioactive 42: 268-280.
- [24] Santiago, J. S. J., Kermani, Z. J., Xu, F., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. (2017). The effect of high pressure homogenization and endogenous pectin-related enzymes on tomato purée consistency and serum pectin structure. *Innovative food science & emerging technologies*, 43, 35-44.
- [25] Thakur, B. R., Singh, R. K., & Handa, A. K. (1995). Effect of homogenization pressure on consistency of tomato juice 1. *Journal of food quality*, 18(5), 389-396.
- [26] Colle, I., Van Buggenhout, S., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2010). High pressure homogenization followed by thermal processing of tomato pulp: Influence on microstructure and lycopene in vitro bioaccessibility. *Food Research International*, 43(8), 2193-2200.
- [27] Panozzo, A., Lemmens, L., Van Loey, A., Manzocco, L., Nicoli, M. C., & Hendrickx, M. (2013). Microstructure and bioaccessibility of different carotenoid species as affected by high pressure homogenisation: a case study on differently coloured tomatoes. *Food chemistry*, 141(4), 4094-4100.
- [28] Gallaher, D. M. (1999). *U.S. Patent No. 5,965,190*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [29] Kyomugasho, C., Willemsen, K. L., Christiaens, S., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. (2015). Pectin-interactions and in vitro bioaccessibility of calcium and iron in particulated tomato-based suspensions. *Food Hydrocolloids*, 49, 164-175.
- [30] Karunadasa, K. S., Manoratne, C. H., Pitawala, H. M. T. G. A., & Rajapakse, R. M. G. (2018). Relative stability of hydrated/anhydrous products of calcium chloride during complete dehydration as examined by high-temperature X-ray powder diffraction. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 120, 167-172.
- [31] Heredia-Guerrero, J. A., Benítez, J. J., Domínguez, E., Bayer, I. S., Cingolani, R., Athanassiou, A., & Heredia, A. (2014). Infrared and Raman spectroscopic features of plant cuticles: a review. *Frontiers in plant science*, 5, 305.
- [32] Kamil, M. M., Mohamed, G. F., & Shaheen, M. S. (2011). Fourier transformer

- tomato juices and pastes. *Journal of food science*, 51(2), 399-402.
- [44] Anthon, G. E., & Barrett, D. M. (2012). Pectin methylesterase activity and other factors affecting pH and titratable acidity in processing tomatoes. *Food Chemistry*, 132(2), 915-920.
- [45] Huang, X., Yang, Y., Liu, Q., & He, W. Q. (2020). Effect of high pressure homogenization on sugar beet pulp: Physicochemical, thermal and structural properties. *LWT*, 134, 110177.
- [46] Hua, X., Xu, S., Wang, M., Chen, Y., Yang, H., & Yang, R. (2017). Effects of high-speed homogenization and high-pressure homogenization on structure of tomato residue fibers. *Food chemistry*, 232, 443-449.
- compounds from tomato peels. *Journal of food engineering*, 262, 170-180.
- [41] Wang, Y., Sun, P., Li, H., Adhikari, B. P., & Li, D. (2018). Rheological behavior of tomato fiber suspensions produced by high shear and high pressure homogenization and their application in tomato products. *International journal of analytical chemistry*, 2018.
- [42] Amirinasab sarabi S, mazaheritehrani M, Haddad khodaparast M H. The effect of whole tomato thermal pretreatment on the physicochemical properties of tomato paste produced with different degree of brix. *FSCT*. 2021; 18 (115) :17-22
- [43] XU, S. Y., Shoemaker, C. F., & Luh, B. S. (1986). Effect of break temperature on rheological properties and microstructure of



## Investigation the effect of addition tomato peel and calcium chloride, particle size reduction and pulp distribution on physicochemical and microstructure properties of tomato paste

Amiri Nasab Sarabi, S. <sup>1</sup>, Mazaheri Tehrani, M. <sup>2\*</sup>, Haddad khodaparast, M. H. <sup>2</sup>

1. Ph.D Student, department of food science and technology, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Professor, department of food science and technology, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran.
3. Professor, department of food science and technology, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran.

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article History:

Received 2021/ 09/ 08  
Accepted 2021/ 12/ 08

#### Keywords:

Tomato paste,  
Tomato peel,  
Calcium chloride,  
Colloidal mill,  
Consistency.

**DOI:** 10.22034/FSCT.19.125.315

**DOR:** 20.1001.1.20088787.1401.19.125.23.2

\*Corresponding Author E-Mail:  
Mmtehrani@um.ac.ir

Paste, as one of the main tomato products, has always been of great importance in the food. About 5% (w/w) of the entering the factories, despite their high nutritional and technological value, is discarded as waste. This study aimed to investigate the effect of adding different levels of tomato peel and calcium chloride and replacing the homogenization process with the colloidal mill on the properties of tomato paste through response surface methodology (RSM). The results of this study showed that the use of tomato peel caused a significant increase in the amount of total solids, water-insoluble solids, fiber, consistency and precipitate weight ratio ( $p < 0.05$ ). Applying a three-step homogenization process with a colloidal mill improved the viscosity of the product due to its effect on the properties of suspended particles of the paste matrix, including a significant size reduction, change in particle size distribution and increase surface area. Calcium chloride significantly increased the consistency of the product by reacting with the pectin in the paste and forming a gel network. Microscopic analysis of the samples showed that by increasing the number of homogenization steps from one to three and adding the tomato peel, the matrix uniformity increased and a dense structure was obtained. Creating new peaks and changing the peaks' intensity at the ATR-FTIR spectrum confirmed the binding of calcium chloride and the fiber distribution in the paste network. The results of this study showed that tomato peel can be used as a consistency-enhancing compound in tomato paste and not only prevent the discarding of a large part of this valuable compound, but also create good added value for the food industry.