



استفاده از جوانه بروکلی در یک نوع اسموتی به عنوان نوشیدنی - میان وعده سلامتی بخش:

### فرمولاسیون و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی

کتایون سامیا کلانتری<sup>۱</sup>، مریم میزانی<sup>۲\*</sup>، مهرداد قوامی<sup>۳</sup>

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲-دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳-استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

#### چکیده

#### اطلاعات مقاله

مطالعات اپیدمیولوژیک اخیر نقش مهم سبزیجات کروسیفرس مانند جوانه بروکلی را به واسطه فعالیت ضد سرطانی یک ترکیب ایزوتیوسیانات به نام سولفورافان نشان می دهد. جوانه بروکلی دارای مقادیر بیشتری از ترکیبات ضد سرطان، آنتی اکسیدان، پلی فنولیک نسبت به کلم بروکلی است. هدف از این پژوهش، استفاده از جوانه بروکلی در تولید اسموتی سبزیجات به عنوان یک نوشیدنی - میان وعده مغذی و سلامتی بخش میباشد. بر این اساس، جوانه بروکلی در ۶ سطح (۰٪، ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪، ۱۰٪، ۱۲/۵٪ و ۱۵٪) به اسموتی شامل (هویج، سیب، اسفناج، آووکادو، پرتقال، لیموترش، استویا و صمغ ژلان) افزوده شد. ویژگی های فیزیکوشیمیایی، مقادیر ترکیبات زیست فعال (فنولیک، ظرفیت آنتی اکسیدانی و کلروفیل)، خصوصیات رئولوژیکی دینامیک و حسی در طی ۱۴ روز نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس بررسی شد. نتایج نشان داد افزودن جوانه بروکلی به اسموتی تا ۱۵٪ باعث افزایش هم افزایی ترکیبات فنولیک، آنتی اکسیدان به ترتیب به میزان ۳۸٪ و ۲۴٪ گردید. ویژگی های رئولوژیکی استاتیک نمونه ها با مدل هرشل-بالکلی مطابقت داشت و همه نمونه ها پس از تنش تسلیم، رفتار یک سیال روان شده با برش را نشان دادند. رفتار دینامیک نمونه های اسموتی نیز بررسی و ویژگی های ویسکوالاستیک آن از جمله مدول های ذخیره و افت و کرنش در محدوده ی ویسکوالاستیک خطی تعیین شد. کلیه نمونه ها رفتار یک ژل ضعیف از خود نشان دادند که برای یک نوشیدنی غلیظ نظیر اسموتی مناسب بود. بر اساس نتایج ارزیابی حسی، بیش ترین پذیرش کلی مربوط به نمونه اسموتی حاوی ۱۲/۵٪ جوانه بروکلی بود و استفاده از آن اثر نامطلوبی بر خواص حسی نشان داد. بدین ترتیب اسموتی سبز فرموله شده با جوانه بروکلی در سطح ۱۲/۵٪ را میتوان به عنوان یک نوشیدنی - میان وعده سلامتی بخش جدید معرفی نمود.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۳۰

#### کلمات کلیدی:

اسموتی،

جوانه بروکلی،

ترکیبات زیست فعال،

فعالیت آنتی اکسیدانی،

نوشیدنی - میان وعده.

DOI: 10.52547/fsct.18.121.12

DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.17.1

\* مسئول مکاتبات:

m.mizani@srbiau.ac.ir

## ۱- مقدمه

ایفا می کند [۸]. مطالعات اپیدمیولوژیک اخیر همبستگی معنی داری را بین مصرف سبزیجات کروسیفرها و کاهش میزان سرطان نشان داده است. وجود مقادیر زیاد ترکیب سولفورافان ایزوتیوسیانات طبیعی موجود در کلم بروکلی و جوانه آن باعث شده است که در آزمایشات آزمایشگاهی و حیوانی تاثیرات ترکیب موثره سولفورافان برای جلوگیری و پیشگیری از سرطان به طور گسترده مورد مطالعه و ارزیابی قرار بگیرد [۵]. جوانه بروکلی<sup>۳</sup>، بذر جوانه زده ی ۳ الی ۵ روزه گیاه بروکلی و در واقع نسخه ی جوان گیاه بالغ بروکلی است. این جوانه شبیه به گیاه یونجه است اما طعمی نسبتاً تند دارد. از آنجاییکه در مراحل اول رشد برداشت می شود، تراکم مواد مغذی در آن بیشتر است [۹]. تحقیقات انجام شده در رژیم غذایی نشان میدهد مصرف ۸۵ گرم از جوانه بروکلی، ۳۵ کالری، ۵ گرم کربوهیدرات، ۲ گرم پروتئین و ۴ گرم فیبر مورد نیاز بدن را تامین می کند. نکته جالب اینکه مقدار ترکیبات آنتی اکسیدانی موجود در ۲۸ گرم (معادل ۱ اونس) از جوانه ی بروکلی با ۵۶۷ گرم (معادل ۲۰ اونس) از گیاه بروکلی بالغ برابری می کند. در جدول ۱ مقادیر برخی از مواد مغذی بر حسب ۱۰۰ گرم در این دو منبع با یکدیگر مقایسه شده است [۱۰]. مقدار زیاد ترکیب سولفورافان به طور خاص در جوانه تازه بروکلی باعث شده تلاش برای تولید یک غذای فراسودمند<sup>۴</sup> کاربردی برای جلوگیری و پیشگیری از سرطان توسط محققین و تولید کنندگان محصولات غذایی مدنظر قرار گیرد [۱۱].

**Table 1** Nutrient Profile comparison between Broccoli and Broccoli sprout [9]

| Category     | Broccoli | Broccoli sprout |
|--------------|----------|-----------------|
| Sulforaphane | 110µg    | 534µg           |
| Calcium      | 42mg     | 78mg            |
| Iron         | 700mcg   | 720mcg          |
| Vitamin C    | 69mg     | 8 mg            |
| Vitamin A    | 300IU    | 567IU           |

در سالهای اخیر مصرف میوه و سبزیجات تازه برای داشتن سبک زندگی سالم و افزایش ایمنی بدن توصیه می شود. نوشیدنی های آماده به مصرف مانند انواع اسموتی<sup>۵</sup> راه حل مناسبی برای افزایش مصرف این محصولات گیاهی سالم محسوب می شود. این نوع نوشیدنی عموماً حاوی درصد

مصرف میوه و سبزیجات تازه در رژیم غذایی روزانه هر فرد برای داشتن سبک زندگی سالم و رژیم غذایی متعادل ضروری است [۱]. معمولاً میوه ها و سبزی ها از نظر ترکیبات مغذی نظیر ویتامین ها، آنتی اکسیدان ها و ترکیبات فنلی، فیبری و زیست فعال در یک خانواده قرار داده می شوند. با این تفاوت که میوه ها حاوی مقادیر بیشتری از ترکیبات قندی و سبزی ها منبع غنی تری از ترکیبات فیبری می باشند و این موضوع سبزی ها را در جایگاه بهتری در رژیم غذایی امروزی قرار می دهد [۲]. میزان مصرف روزانه توصیه شده میوه ها و سبزی ها معادل ۴۰۰ گرم اعلام شده است، اما در طول دو دهه گذشته الویت بندی مواد غذایی توسط مصرف کنندگان تغییرات زیادی به همراه داشته است [۳ و ۲]. تحقیقات بالینی نشان می دهد که حداقل ۸۰٪ از بیماری های مزمن و مرگ های زودرس با تغییر در رژیم غذایی و سبک زندگی مصرف کنندگان قابل پیش گیری است [۴]. میوه و سبزی های تازه غنی از ترکیبات فیتوشیمیایی از بروز بیماری های قلبی - عروقی، سرطان، فشار خون بالا و سایر بیماری های مزمن مانند دیابت و چاقی جلوگیری می کنند [۵]. بر این اساس مصرف کنندگان هوشمند تمایل بیشتری به مصرف مواد غذایی تازه و نوشیدنی های سالم، بدون مواد افزودنی با ارزش تغذیه ای بالا که قابلیت خنثی کردن رادیکال های آزاد را داشته باشد، نشان میدهند [۶]. کلم بروکلی<sup>۱</sup> (*Brassica Oleracea L. var. italica*) یکی از سبزیجات خانواده براسیکاسه است که سرشار از ویتامین ها، آنتی اکسیدان ها و ترکیبات ضد سرطانی می باشد [۷]. خانواده براسیکاسه، سبزیجاتی سلامتی بخش، غنی از ویتامین ها، مواد معدنی، فیبر و متابولیت های ثانویه زیست فعال هستند. متابولیت ثانویه انحصاری خانواده براسیکاسه، گلوکوزینولات می باشد که هیدرولیز آن توسط آنزیم میروسیناز، منجر به تولید یک محصول منحصر به فرد دارویی با نام<sup>۳</sup> سولفورافان میشود. مطالعات عمومی و بالینی نشان داده است، سولفورافان موجود در سبزیجات برگ سبز خانواده براسیکا نقش مهمی در کنترل و انسداد مراحل مختلف از فرآیند های سرطانی از جمله سرطان پروستات، سرطان سینه، سرطان روده بزرگ، سرطان پوست و سرطان های دهانی

3. Broccoli Sprout  
4. Functional Food  
5. Smoothie

1. Broccoli (*Brassica Oleracea L. cv Italica*)  
2. Sulforaphane

روزه ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی تا جوانه زنی کامل قرار داده شد. معمولاً مقدار ترکیب سولفورافان در جوانه بروکلی در روزهای دوم الی پنجم جوانه زنی به حداکثر مقدار خود (جدول ۱) میرسد [۱۲] و بیان کردند جوانه کلم بروکلی ۱۰-۱۰۰ برابر سطوح بالاتری از سولفورافان را نسبت به گیاه بالغ بروکلی دارند [۱۳] در نتیجه در این تحقیق با توجه به توصیه شرکت سازنده جهت دستیابی به درصد بیشتر این ترکیب مفید، جوانه های ۳ روزه جمع آوری و مورد آزمون قرار گرفت [۱۴].

### ۲-۳- آماده فرمولاسیون اسموتی

میوه و سبزیجات تازه (سیب، هویج، اسفناج، آووکادو، لیموترش، پرتقال) از یک فروشگاه محلی تهیه و با رطوبت نسبی ۹۰-۹۵٪ در دمای ۵ درجه سلسیوس تا روز آزمون نگه داری شدند. سبزیجات با محلول سدیم هیپوکلریت (۷۵ میلی گرم بر لیتر) به مدت ۲ دقیقه ضدعفونی و سپس به مدت ۱ دقیقه با آب سرد آبکشی گردید. هویج و سیب پوست گیری شده و آووکادو هسته گیری شده و سپس تمام اجزا در درون یک مخلوط کن بطور کامل مخلوط و همگن گردید. در نهایت جوانه بروکلی ۳ روزه و اسفناج افزوده شد و به مدت ۱ دقیقه کاملاً مخلوط گردید. از لیموترش و پرتقال به منظور کاهش pH اسموتی تا حد استاندارد (pH=۴/۵) و همچنین برای جلوگیری از رشد اسپور و میکروب ها استفاده شد. استویا و صمغ ژلان هم به ترتیب برای شیرین کردن و ایجاد پایداری فیزیکی به محیط نمونه اسموتی اضافه شدند. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود، در فرمولاسیون اسموتی جوانه بروکلی مقادیر سیب، اسفناج و جوانه بروکلی متغیر هستند. علت این انتخاب دسترسی بیشتر به میوه مغذی سیب در تمامی فصول سال و غنی بودن اسفناج از ترکیب کلروفیل بوده که در کنار جوانه بروکلی به تولید یک اسموتی سلامتی بخش کمک میکنند. بقیه ترکیبات تشکیل دهنده اسموتی در تمام نمونه های مورد بررسی ثابت در نظر گرفته شده اند. نمونه های اسموتی در دمای ۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۴ روز تا روزهای آزمون نمونه های اسموتی نگهداری شدند.

زیادی از ترکیبات مغذی مانند آنتی اکسیدان ها، فیبرها، ویتامین ها میباشد. اسموتی نوشیدنی غیر الکلی تهیه شده از میوه/سبزیجات تازه است که معمولاً با یخ خرد شده ترکیب می شود و مورد استفاده قرار می گیرد. در برخی از انواع آن از اجزای دیگری چون ماست، شیر، بستنی و چای نیز استفاده می شود. اسموتی نوشیدنی است که قوام و غلظت آن بیشتر از نوشیدنی های متداول بر پایه آب است [۶]. بنابراین اسموتی جوانه بروکلی یک نوشیدنی کم کالری، ترکیبی از میوه و سبزیجات است که می تواند به عنوان یک غذای کامل در رژیم غذایی روزانه هر فرد جای گیرد. برای اثر بخشی یک نوشیدنی فراسودمند، علاوه بر توانایی نوشیدنی در ایجاد تاثیرات مثبت سلامتی بخش در هنگام مصرف، به پذیرش کلی و ویژگی های حسی آن نیز توجه می شود.

### ۲-مواد و روش ها

#### ۲-۱-مواد مصرفی

بذر جوانه بروکلی *Brassica Oleracea L. var. Italica* (Plenck, cv. Calabrese) از شرکت ایتالیایی SUBA<sup>۶</sup> Seeds توسط شرکت ایرلندی VEGUSFOODS LTD<sup>۷</sup> خریداری شد. در هر گرم از این بذر ۳۵۰ دانه وجود دارد و دوره جوانه زنی آن ۳ الی ۶ روز میباشد. تصاویر این بذر و جوانه آن در شکل ۱ نشان داده شده است صمغ ژلان مورد استفاده در آزمون از شرکت (Sigma-Aldrich, Germany) و استویا از شرکت (drstevia) تهیه گردید.

#### ۲-۲-آماده سازی جوانه بروکلی

به منظور آماده سازی دانه های بروکلی برای جوانه زنی، ۲۵ گرم از بذره های خشک به مدت ۵ دقیقه با سدیم هیپوکلریت (۱٪ حجمی/حجمی) استریل و سه بار توسط آب مقطر استریل شستشو داده شد. سپس در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس خیسانده شد. در مرحله بعد، بذره های خیسانده شده درون لایه ای از پارچه کتان مرطوب قرار داده شد و هر روز ۲ الی ۳ مرتبه توسط اسپری آب مرطوب گردید و در یک سیکل سه

6. www.subaseeds.com

7. Vegusjuices.com



Fig 1 Broccoli seeds and sprouts

Table 2 Formulations of fresh smoothie containing broccoli sprout.

| Component       | Samples (Amount (%)) |                |                |                |                |                       |                |
|-----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|
|                 | T <sub>7</sub>       | T <sub>6</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>4</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>2</sub> (CTRL) | T <sub>1</sub> |
| Broccoli sprout | 15                   | 12             | 10             | 7              | 5              | 5                     | 2              |
| Carrot          | 12                   | 5              | 12             | 5              | 12             | 5                     | 12             |
| Apple           | 20                   | 21             | 25             | 22             | 5              | 23                    | 7              |
| Avocado         | 6                    | 25             | 6              | 25             | 6              | 25                    | 6              |
| Spinach         | 35                   | 36             | 25             | 37             | 5              | 38                    | 7              |
| Lime/orange     | 4                    | 8              | 4              | 8              | 4              | 8                     | 4              |
| Stevia          | 5                    | 5              | 5              | 5              | 5              | 5                     | 5              |
| Gellan gum      | 1                    | 4              | 5              | 1              | 4              | 5                     | 1              |

یک از نمونه های اسموتی پر شد و در محل مورد نظر دستگاه قرار گرفت. سپس شاخص های رنگی \*L (رنگ سفید تا سیاه)، \*a (رنگ سبز تا قرمز) و \*b (رنگ آبی تا زرد) اندازه گیری گردید [۱۶].

#### ۲-۳-۴-۳- روش ارزیابی مقدار کل ترکیبات فنولیک

مقادیر کل ترکیبات فنولی در نمونه های اسموتی به روش فولین سیوکالتو<sup>۱</sup> اندازه گیری گردید. ابتدا، ۱ گرم از اسموتی با ۳ میلی لیتر محلول متانول/آب (با نسبت ۷ به ۳) (حجمی/حجمی) هموژنیزه گردید و به مدت ۱ ساعت در تاریکی در دمای اتاق نگه داری شدند. سپس نمونه هموژنیزه شده سانتریفیوژ شد و لایه ی بالایی به عنوان عصاره فنلی استخراج شد. مخلوطی شامل ۱۹ میکرولیتر عصاره فنلی، ۲۹ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتو<sup>۱</sup> نرمال (Sigma Chemical Co.) تهیه شد و به مدت ۳ دقیقه در تاریکی در دمای اتاق قرار داده شد. سپس ۱۹۲ میکرولیتر محلولی شامل Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (۳۷/۷ میلی مولار) و NaOH (۰/۵ مولار) به محتوای لوله آزمایش اضافه شد. لوله های آزمایش به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق داخل انکوباتور (Jal Tajhiz Labtech.Co Ltd.,Iran)

#### ۲-۴-۲- روش های آزمون

##### ۲-۴-۱- روشهای ارزیابی pH، اسیدیته و بریکس نمونه

###### های اسموتی

دستگاه pH متر (Metrohm,Switzerland) با محلول های بافر ۴ و ۷ کالیبره شد، سپس مقداری از نمونه اسموتی در یک بشر ۱۰۰ میلی لیتری ریخته شد و توسط pH متر، pH آن اندازه گیری گردید. [۱۵]. اسیدیته قابل تیترا با تیتراسیون ۵ میلی لیتر اسموتی و ۴۵ میلی لیتر آب مقطر با ۰/۱ مول بر لیتر NaOH (۰/۱ مولار) انجام شد تا به pH=۸/۱ رسید و به عنوان گرم اسید سیتریک بر ۱۰۰g<sup>-1</sup> بیان شد [۱۵]. درصد مواد جامد محلول با استفاده از رفراکتومتر دیجیتالی (Atago (D1,Tokyo,Japan) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه گیری گردید و بر حسب °Brix بیان شد [۱۵]. کلیه فاکتورها در فواصل زمانی ۱، ۳، ۷ و ۱۴ روز نگهداری اسموتی مورد بررسی قرار گرفت.

##### ۲-۴-۲- روش ارزیابی ویژگی های رنگ نمونه های

###### اسموتی

برای انجام آزمون رنگ سنجی، داخل سل دستگاه رنگ سنجی (UltraScan VIS,Hunterlab,USA) به طور کامل با هر

8. Folin-Ciocalteu's Test

استفاده از اسپکتروفوتومتر UV-visible (Varian Cary 500 UVVIS NIR spectrophotometer, USA) تعیین گردید [۱۷ و ۲۰]. مقدار کل ترکیبات کلروفیلی بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم طبق رابطه ۲ محاسبه شد:

$$\text{Ch} = [10.05 \times A_{662} - 0.766 \times A_{644}] + [16.37 \times A_{644} - 3.14 \times A_{662}]$$

#### ۲-۴-۶- روش ارزیابی ویژگی های رئولوژیکی نمونه های اسموتی

ویژگی های رئولوژیکی نمونه های اسموتی، یک روز پس از تهیه در دمای  $4 \pm 0.2$  درجه سلسیوس توسط دستگاه رئومتر Anton Parr Physica (مدل MCR302، ساخت کشور اتریش) مجهز به ژئومتر صفحات مسطح موازی (قطر:  $49/954$  میلی متر) مورد ارزیابی قرار گرفت. فاصله دو صفحه روی  $1$  میلی متر قرار داده شد. در همه آزمایش ها به منظور جلوگیری از تبخیر رطوبت نمونه ها، در و صفحات با سیلیکون پوشانیده شد. روند تغییرات ویسکوزیته نمونه ها به صورت تابعی از سرعت برشی در محدوده  $0.001$  تا  $100 \text{ s}^{-1}$  در دمای  $4$  درجه سلسیوس برای تعیین نوع رفتار جریان نمونه ها بررسی گردید. همچنین رفتار ویسکوالاستیک نمونه ها توسط آزمون روبش کرنش در محدوده کرنش  $0.001$  تا  $1$  پاسکال و فرکانس ثابت  $1$  هرتز (به منظور تعیین محدوده خطی) بررسی شد و کرنش ثابت  $0.005$  درصد برای مرحله بعدی انتخاب شد. آزمون روبش فرکانس در محدوده فرکانس  $1$  تا  $10$  هرتز و کرنش ثابت  $0.005$  انجام گردید [۲۱].

#### ۲-۴-۷- ارزیابی حسی

برخی از ویژگی های حسی نمونه ها (شامل: رنگ، عطر، بافت، طعم و پذیرش کلی) در چهارچوب آزمون هدونیک پنج امتیازی توسط  $30$  نفر ارزیاب آشنا به محصول انجام شد. در این آزمون امتیازهای  $1$  الی  $5$  به ترتیب معادل غیر قابل قبول تا عالی در نظر گرفته شد [۲۲].

#### ۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری

همه آزمون ها با سه بار تکرار انجام شد. آنالیز آماری داده ها با استفاده از نرم افزار MINITAB 17، آزمون آنالیز واریانس دو طرفه ANOVA صورت گرفت. در صورت معنادار بودن میانگین نتایج از آزمون Tukey's Pairwise comparison در سطح اطمینان  $95\%$  استفاده گردید و رسم نمودارها توسط نرم افزار اکسل نسخه  $2016$  انجام شد.

گذاشته شدند و جذب آن ها با دستگاه اسپکتروفوتومتر (Varian 500 uv, USA) در طول موج  $750$  نانومتر خوانده شد. ارزیابی مقدار کل ترکیبات فنولیک، براساس معادله خط منحنی استاندارد ( $R^2=0.9928, y=0.0071x+0.1542$ ) صورت گرفت. مقادیر فنل کل در نمونه ها با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک بر حسب میلی گرم اسید گالیک در هر کیلوگرم نمونه گزارش شد [۱۷ و ۱۸].

#### ۲-۴-۴- روش ارزیابی ظرفیت کل آنتی اکسیدانی

توانایی دادن الکترون یا اتم های هیدروژن بر اساس بی رنگ شدن محلول متانولی بنفش رنگ  $2,2$ -دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) به عنوان معرف، تعیین شد. برای محاسبه فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره آزاد، ابتدا  $1$  گرم از اسموتی با  $3$  میلی لیتر متانول/آب (با نسبت  $7$  به  $3$ ) (حجمی/حجمی) هموژنیزه گردید و به مدت  $1$  ساعت در تاریکی در دمای اتاق نگه داری شدند. سپس نمونه هموژنیزه شده سانتریفیوژ شد و لایه بالایی به عنوان عصاره آنتی اکسیدانی استخراج شد. محلول  $0.7$  میلی مولار DPPH در متانول  $2$  ساعت قبل از آزمون تهیه شد.  $21$  میکرولیتر عصاره آنتی اکسیدانی و  $194$  میکرولیتر محلول DPPH مخلوط گردید. لوله های آزمایش به مدت  $1$  ساعت در دمای اتاق داخل انکوباتور (Jal Tajhiz Labtech.Co Ltd., Iran) گذاشته شدند و جذب آن ها در طول موج  $515$  نانومتر خوانده شد [۱۸ و ۱۹]. درصد مهار رادیکال DPPH طبق رابطه ۱ بر حسب میلی گرم ترولکس در هر کیلوگرم محاسبه گردید:

جذب شاهد / جذب نمونه - جذب شاهد = درصد مهار رادیکال DPPH

#### ۲-۴-۵- روش سنجش مقدار کلروفیل

$0.5$  گرم از اسموتی با  $9$  میلی لیتر هگزان و  $15$  میلی لیتر از مخلوط متانول/استون (با نسبت  $1$  به  $2$ ) (حجمی/حجمی) مخلوط گردید [۱۷]. استخراج ترکیبات کلروفیلی به مدت  $4$  ساعت در تاریکی انجام شد. بعد از استخراج،  $25$  میلی لیتر از محلول  $1$  مولار NaCl به این مخلوط اضافه و نمونه با یک ورتکس (Vortex Ika, Japan) بطور کامل هم زده شد و قسمت فوقانی مخلوط که حالا تشکیل یک مخلوط سه لایه ای داده است به عنوان عصاره کلروفیل مورد استفاده گردید.  $1$  میلی لیتر از این لایه بالایی در یک سل کوارتز  $1$  سانتی متری قرار گرفت و میزان جذب آن در  $662$  و  $644$  نانومتر با

9. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH)  
10. Absorbance

## ۳- نتایج و بحث

نتایج بررسی ویژگی های فیزیکی شیمیایی نمونه های اسموتی جوانه بروکلی در جدول ۳ آورده شده است.

## ۳-۱- pH و اسیدیت قابل تیتراژ

اسیدیت و pH از ویژگی های مهمی هستند که بر عطر و طعم، قابلیت نگه داری و نوع میکروارگانیسم های غالب در

فرآورده تأثیر می گذارند. بررسی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نوشیدنی تولیدی با استفاده از جوانه بروکلی بیانگر این است که افزودن جوانه بروکلی به اسموتی سبب ایجاد تفاوت معنی دار ( $P \leq 0.05$ ) در این ویژگیها میشود. با توجه به نتایج ذکر شده در (جدول ۳) مشخص گردید که با افزایش درصد جوانه بروکلی و گذشت زمان نگه داری، pH اسموتی به طور معنی داری کاهش و اسیدیت اسموتی به طور معنی داری افزایش می یابد ( $P \leq 0.05$ ).

**Table 3** pH, Titratable acidity (TA), Soluble Solids content (SSC), Phenolic contents, Total antioxidant capacity (DPPH methods) and total chlorophylls content of smoothie containing broccoli sprout During storage at 5 C°.

| Parameters                          |   |   |   | Time(days)                | Treatment                 |                        |
|-------------------------------------|---|---|---|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| Chlorophylls (mg Kg <sup>-1</sup> ) | Antioxidant capacity (mg Kg <sup>-1</sup> ) | Phenolic compounds (mg Kg <sup>-1</sup> ) | SSCTA pH (°Brix) (g citric acid 100 g <sup>-1</sup> ) |                           |                           |                        |
| 63 <sup>Ca</sup>                    | 0.3745 <sup>C</sup>                         | 460.0±70.6917 <sup>Ba</sup>               | 0.94.7305 <sup>Aba</sup>                              | 0.16.7003 <sup>Ac</sup>   | 0.29.00.01 <sup>Da</sup>  | 1T <sub>1</sub> (CTRL) |
| 55 <sup>Fb</sup>                    | 0.41.34543 <sup>Db</sup>                    | 0.77.7046 <sup>Fb</sup>                   | 0.70.8200 <sup>Ac</sup>                               | 0.20.7003 <sup>Cd</sup>   | 0.32.001 <sup>Ab</sup>    |                        |
| 48 <sup>Gc</sup>                    | 0.65.29847 <sup>Cc</sup>                    | 0.27.7342 <sup>Ec</sup>                   | 0.47.8501 <sup>Bb</sup>                               | 0.25.7003 <sup>Ab</sup>   | 0.33.001 <sup>Ab</sup>    |                        |
| 57 <sup>Gb</sup>                    | 0.55.24435 <sup>Cc</sup>                    | 0.10.6927 <sup>Ed</sup>                   | 0.14.7805 <sup>Ba</sup>                               | 0.10.7004 <sup>Aa</sup>   | 0.35.001 <sup>Ac</sup>    |                        |
| 24 <sup>Aa</sup>                    | 0.87.35 <sup>Da</sup>                       | 460.0±10.7134 <sup>Aa</sup>               | 0.27.9300 <sup>Ac</sup>                               | 0.20.7007 <sup>Ac</sup>   | 0.23.001 <sup>Ba</sup>    | 1T <sub>2</sub>        |
| 30 <sup>Db</sup>                    | 0.69.46 <sup>Eb</sup>                       | 318.0±42.7039 <sup>Eb</sup>               | 0.68.9305 <sup>Ac</sup>                               | 0.13.7004 <sup>Dc</sup>   | 0.34.001 <sup>Ab</sup>    |                        |
| 30 <sup>Fd</sup>                    | 0.26.29531 <sup>Bc</sup>                    | 0.98.7007 <sup>Dc</sup>                   | 0.91.9005 <sup>Bb</sup>                               | 0.43.7003 <sup>Db</sup>   | 0.34.001 <sup>Bc</sup>    |                        |
| 37 <sup>Fc</sup>                    | 0.08.25549 <sup>Cd</sup>                    | 0.50.6844 <sup>Fd</sup>                   | 0.22.8505 <sup>Aba</sup>                              | 0.10.7002 <sup>Da</sup>   | 0.36.001 <sup>Bd</sup>    |                        |
|                                     |   | 20 <sup>Fd</sup>                          | 0.10.12 <sup>Ea</sup>                                 |                           |                           | 1T <sub>3</sub>        |
|                                     |   | 458.0±99.7443 <sup>Ea</sup>               | 0.53.10500 <sup>ABCc</sup>                            | 0.20.7003 <sup>Cd</sup>   | 0.25.001 <sup>Ca</sup>    |                        |
|                                     |   | 20 <sup>Dc</sup>                          | 0.83.29851 <sup>Cb</sup>                              | 0.26.7637 <sup>Bb</sup>   | 0.53.10805 <sup>Ac</sup>  |                        |
|                                     |   | 0.08 <sup>Ea</sup>                        | 0.12.25533 <sup>Cc</sup>                              | 0.12.7844 <sup>Bc</sup>   | 0.27.10201 <sup>Bb</sup>  |                        |
| 42 <sup>Eb</sup>                    | 0.80.40 <sup>Dd</sup>                       | 267.0±24.6927 <sup>Cd</sup>               | 0.86.9205 <sup>Ba</sup>                               | 0.12.7003 <sup>03</sup>   | 0.36.001 <sup>Bc</sup>    | 1T <sub>4</sub>        |
|                                     |   | 21 <sup>Ed</sup>                          | 0.09.35 <sup>Bb</sup>                                 |                           |                           |                        |
|                                     |   | 455.0±01.7425 <sup>Da</sup>               | 0.11.10205 <sup>ABc</sup>                             | 0.25.7006 <sup>Cd</sup>   | 0.26.002 <sup>Ca</sup>    |                        |
|                                     |   | 28 <sup>Ec</sup>                          | 0.76.29930 <sup>Ba</sup>                              | 0.22.7336 <sup>Cb</sup>   | 0.99.10905 <sup>Ac</sup>  |                        |
|                                     |   | 56 <sup>Da</sup>                          | 0.26.20745 <sup>Ac</sup>                              | 0.83.7711 <sup>Bc</sup>   | 0.12.10705 <sup>Bb</sup>  | 1T <sub>5</sub>        |
|                                     |   | 01 <sup>Db</sup>                          | 0.98.18843 <sup>ABd</sup>                             | 0.61.7821 <sup>Bd</sup>   | 0.98.10005 <sup>Ba</sup>  |                        |
|                                     |   | 0.50 <sup>Bb</sup>                        | ±42.4480.41 <sup>Ca</sup>                             | ±15.8514 <sup>Ca</sup>    | 0.08.11105 <sup>Cc</sup>  |                        |
|                                     |   | 16 <sup>Cd</sup>                          | 0.02.0.23 <sup>Fb</sup>                               | 291±12.8631 <sup>Cb</sup> | 0.11.11505 <sup>Ac</sup>  |                        |
|                                     |   | 45 <sup>Ca</sup>                          | 0.69.24335 <sup>Ac</sup>                              | 0.15.8524 <sup>Cc</sup>   | 0.41.11701 <sup>Ab</sup>  | 1T <sub>6</sub>        |
|                                     |   | 50 <sup>Cc</sup>                          | 0.70.34 <sup>Ad</sup>                                 |                           |                           |                        |
|                                     |   | 188.0±90.770.28 <sup>Dd</sup>             | ±10.11000 <sup>Aa</sup>                               | 0.08.7001 <sup>Ca</sup>   | 0.39.001 <sup>Dd</sup>    |                        |
|                                     |   | 0.19 <sup>Dd</sup>                        | ±0.2.44432 <sup>Fa</sup>                              |                           |                           |                        |
|                                     |   | 0.19.8738 <sup>CDa</sup>                  | 0.96.12005 <sup>ABCd</sup>                            | 0.22.7003 <sup>Ec</sup>   | 0.31.002 <sup>Aa</sup>    | 1T <sub>7</sub>        |
|                                     |   | 51 <sup>Ab</sup>                          | 0.43.22337 <sup>Gb</sup>                              | 0.37.8920 <sup>Ab</sup>   | 0.90.12205 <sup>Ac</sup>  |                        |
|                                     |   | 27 <sup>Aa</sup>                          | 0.95.21304 <sup>Cc</sup>                              | 0.87.8940 <sup>Ac</sup>   | 0.64.12405 <sup>Bb</sup>  |                        |
|                                     |   | 32 <sup>Ac</sup>                          | 0.24.18340 <sup>DBd</sup>                             | 0.18.8442 <sup>Ad</sup>   | 0.90.12405 <sup>Aba</sup> |                        |
|                                     |   | 19 <sup>Ab</sup>                          | 0.24.42 <sup>Ab</sup>                                 |                           |                           | 1T <sub>7</sub>        |
|                                     |   | 440.0±71.9235 <sup>Fa</sup>               | 0.86.12005 <sup>BCd</sup>                             | 0.30.7002 <sup>Bc</sup>   | 0.32.001 <sup>Ba</sup>    |                        |
|                                     |   | 27 <sup>Bd</sup>                          | 0.00.18237 <sup>Aa</sup>                              | 0.15.8829 <sup>Db</sup>   | 0.82.12100 <sup>Ac</sup>  |                        |
|                                     |   | 34 <sup>Ba</sup>                          | 0.66.20235 <sup>Ac</sup>                              | 0.93.8446 <sup>Bc</sup>   | 0.35.12200 <sup>Bb</sup>  |                        |
|                                     |   | 05 <sup>Bc</sup>                          | 0.83.16534 <sup>Bd</sup>                              | 0.51.7840 <sup>Cd</sup>   | 0.50.11700 <sup>Aba</sup> |                        |

Different capital letters denote significant differences ( $P \leq 0.05$ ) among treatments stored at the same temperature for the same sampling day. Different lowercase letters denote significant differences ( $P \leq 0.05$ ) among sampling days for the same treatment stored at the same temperature.

را برای رشد باکتریهای بیماری زا و اسپورها مساعد کند. میکروارگانیسم ها با مصرف قند و مواد جامد محلول در طول رشد مواد متابولیک اسیدی تولید می کنند که بر این

بر طبق مطالعه Castillejo و همکاران (۲۰۱۶)، pH اسموتی نباید از ۴/۵ بیشتر باشد، زیرا افزایش pH ممکن است شرایط

اسموتی مرکب از (گوجه فرنگی، هویج، بروکلی و اسفناج) را مورد بررسی قرار دادند و بیان نمودند در نمونه کنترل و T<sub>1</sub> پس از گذشت ۷ روز میزان pH کاهش و میزان اسیدیته افزایش یافته است [۱۵].

### ۲-۳- محتوای مواد جامد محلول

با توجه به نتایج ذکر شده در (جدول ۳) مشخص گردید که تنها زمان ماندگاری اثر معنی داری ( $P \leq 0/05$ ) بر تغییرات مواد جامد محلول داشته است، به طوری که در همه نمونه ها با گذشت زمان مواد جامد محلول کاهش یافته است. طبق نتایج به دست آمده مشخص شد که رشد باکتری ها کاهش بریکس را در طی زمان نگه داری به دنبال دارد، که علت اصلی این امر مربوط به مصرف قندها و تولید اسیدهای آلی می باشد. در نمونه T<sub>7</sub> (۱۵٪) این کاهش با شدت بیشتری نسبت به نمونه های دیگر مشاهده میشود. *Walkling-Ribeiro* و همکاران، (۲۰۱۰) به بررسی امکان تولید نوشیدنی فراسودمند بر پایه میوه های تازه (آناناس، موز، سیب، پرتقال و شیر نارگیل) پرداختند و فاکتور بریکس را در طی ۲۸ روز و نگه داری در دمای ۴ درجه سلسیوس مورد بررسی قرار دادند. در طی نگه داری، در کلیه نمونه ها میزان قندهای احیا کننده و بریکس کاهش یافت که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر که در طی نگه داری مطابقت داشت [۲۶].

### ۳-۳- ویژگی های رنگ

رنگ یکی از مهم ترین پارامترهای کیفیت اسموتی در طول دوره نگهداری آن است. رنگ سبز در سبزیجات، عمدتاً به دلیل ترکیبات کلروفیل است که می تواند توسط آنزیم های تجزیه کننده نظیر کلروفیل از<sup>۱۱</sup>، ام جی دچیلاتاز<sup>۱۲</sup> و پرواکسیداز<sup>۱۳</sup>، تجزیه گردد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد با افزایش مقدار جوانه بروکلی در فرمولاسیون و میزان فاکتورهای  $b^*$ ,  $a^*$ ,  $L^*$  و  $\Delta E$  در همه نمونه ها نسبت به نمونه کنترل افزایش یافته است (جدول ۴) که نشان دهنده ی کاهش سبزی و افزایش زردی می باشد.

اساس، pH و مواد جامد محلول کاهش یافته و میزان اسیدیته در طول نگه داری افزایش می یابد. اگرچه این تغییرات با انجام فرآیند حرارتی و نگه داری نمونه ها در دمای یخچال کاهش می یابد [۲۳]. همان طور که مشاهده می شود pH در تمام نمونه های تولید شده، تا روز ۳ آزمون در محدوده استاندارد (pH=۴/۵) قرار داشت، ولی در هفته دوم میزان pH کاهش یافت، که البته میزان تغییرات pH کمتر از ۰/۳۴ واحد pH مشاهده شد و تنها زمان نگه داری اثر معنی داری بر تغییرات pH نشان داد. بیش ترین میزان pH، ۴/۶۷، مربوط به نمونه T<sub>1</sub> (شاهد) می باشد.

از طرفی، بیش ترین میزان اسیدیته اسموتی مربوط به نمونه T<sub>7</sub> (۱۵٪) در روز چهاردهم و کمترین میزان مربوط به اسموتی T<sub>1</sub> (شاهد) در روز اول می باشد که میزان آن ۰/۲۹ g/100g تعیین گردید. علت افزایش اسیدیته را میتوان به اختلاف بین سطوح جایگزینی ترکیبات تشکیل دهنده اسموتی در نمونه ها، مصرف قند مربوط دانست. در تحقیقی که توسط *Castillejo* و همکاران در سال ۲۰۱۶ بر روی اسموتی سبزیها انجام شده روند تغییرات مشابهی در pH و اسیدیته مشاهده شده و این تغییرات به ویژه در مورد نمونه های اسموتی بدون تیمار حرارتی آماده شده اند (مشابه نمونه های تحقیق حاضر) مشهود تر بوده است. در این تحقیق افزایش جمعیت میکروارگانیسمها با روند تغییرات اسیدیته همسو بوده و به نظر میرسد که رشد میکروبی در تغییرات pH و اسیدیته موثر بوده است [۱۵]. *Keenan* و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات شیمیایی و حسی نوشیدنی اسموتی بر پایه مخلوط توت فرنگی، سیب، کنسانتره آب سیب، موز و پرتقال را بررسی نمودند و میزان اسیدیته آن را ۰/۵۶g/100g در اسموتی میوه ای به واسطه اسیدیته بیشتر میوه جات نسبت به سبزیجات گزارش کردند [۲۴]. *Di Cagno* و همکاران، (۲۰۱۱) در یک بررسی مواد اولیه کیوی، اسفناج و پاپایا را برای تولید نوشیدنی اسموتی سبز در نظر گرفتند. نتایج نشان داد که اسیدیته افزایش، pH کاهش و قند به دلیل استفاده از آن توسط باکتری کاهش یافت که با نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر مطابقت دارد [۲۵]. *Castillejo* و همکاران، (۲۰۱۶) تولید نوعی

11. Chlorophyllase  
12. Mg-dechelataze  
13. Peroxidase



**Table 4** The results of color test of smoothie containing broccoli sprout.

| Parameters  | Treatment             |
|---|-----------------------|
| $\Delta E^*a^*b^* L^*$  |                       |
| 37.30±0.15.1424 <sup>D</sup> ±0.09 <sup>D</sup> -2.76±0.0.7107 <sup>F</sup> ±0.09 <sup>D</sup>    | T <sub>1</sub> (CTRL) |
| 37.31±0.15.0202 <sup>D</sup> ±0.18 <sup>D</sup> -3.03±0.1.2107 <sup>E</sup> ±0.08 <sup>D</sup>    | T <sub>2</sub>        |
| 38.96±0.16.7802 <sup>C</sup> ±0.01 <sup>C</sup> -3.18±0.2.5901 <sup>D</sup> ±0.18 <sup>C</sup>    | T <sub>3</sub>        |
| 39.39±0.16.9925 <sup>BC</sup> ±0.09 <sup>BC</sup> -4.61±0.3.1903 <sup>C</sup> ±0.01 <sup>BC</sup> | T <sub>4</sub>        |
| 39.96±17.560.13 <sup>AB</sup> ±0.09 <sup>AB</sup> -4.64±0.3.9802 <sup>B</sup> ±0.35 <sup>AB</sup> | T <sub>5</sub>        |
| 40.86±17.690.16 <sup>A</sup> ±0.12 <sup>A</sup> -6.05±0.4.3804 <sup>A</sup> ±0.04 <sup>A</sup>    | T <sub>6</sub>        |
| 40.74±18.520.31 <sup>A</sup> ±0.30 <sup>C</sup> -6.37±0.4.6907 <sup>D</sup> ±0.58 <sup>C</sup>    | T <sub>7</sub>        |

Different capital letters denote significant differences ( $P \leq 0.05$ ) among treatments stored at the same temperature for the same sampling day.

داد. Tomas-Barberan و همکاران، (۲۰۰۱) دلیل کاهش محتوای فنولی در طول زمان نگه داری را به اکسیداسیون فیزیکی و شیمیایی و همچنین تغییراتی در فعالیت بیولوژیکی و زیستی محصل دادند [۲۸]. Rodriguez-Verastegui و همکاران، (۲۰۱۶) محتوای پلی فنولی اسموتی فراسودمند بر پایه مخلوط گوجه فرنگی، فلفل قرمز، بروکلی و هویج را بررسی نمودند. محتوای فنل اولیه  $46/40-2/4 \text{ mg/Kg}$  بعد از ۴۰ روز نگه داری، کاهش ۱۸-۱۳٪ در دمای ۵ و ۲۰ درجه سلسیوس نشان داد و میزان کاهش ترکیبات فنولیک را تجزیه این ترکیبات به علت اکسیداسیون شیمیایی یا آنزیماتیک گزارش کردند [۱۸]. در حالیکه در تحقیق حاضر، نمونه های اسموتی جوانه بروکلی با توجه به محتوای فنلی بالاتر جوانه بروکلی  $124/90 \text{ mg/Kg}$  نسبت به کلم بروکلی بعد از ۱۴ روز نگه داری، کاهش ۸-۵٪ در دمای ۵ درجه سلسیوس مشاهده شد. Pellegrini و همکاران، (۲۰۰۷) این موضوع را به اثر<sup>۴</sup> هم افزایی موجود بین ترکیبات آنتی اکسیدانی مواد اولیه سازنده اسموتی به ویژه اسفناج و جوانه بروکلی مرتبط دانستند [۲۹].

### ۳-۵- ظرفیت کل آنتی اکسیدانی

جدول ۳ میزان مهار رادیکال های آزاد را در فرمولاسیونهای مختلف اسموتی جوانه بروکلی در طی روزهای مختلف نگهداری نشان می دهد. با بررسی نتایج مشخص گردید که جوانه بروکلی و زمان نگه داری تاثیر معنی داری روی مهار رادیکال آزاد DPPH داشتند ( $P \leq 0/05$ ). با توجه به نتایج ذکر شده در جدول ۳ مشخص شد که با افزایش جوانه بروکلی از ۰٪ به ۱۵٪ محتوای آنتی اکسیدان اولیه اسموتی در روز ۱ آزمون از  $T_1 = 69/70 \text{ mg/Kg}$  به  $T_7 = 92/71 \text{ mg/Kg}$  افزایش

کاهش رنگ سبز به دو عامل مربوط میشود اولین عامل کاهش میزان اسفناج غنی از کلروفیل همزمان با افزایش میزان جوانه بروکلی و دومین عامل تجزیه احتمالی کلروفیل در طی نگه داری نمونه های اسموتی است. افزایش شاخص  $\Delta E$  نشان دهنده افزایش تغییرات رنگی نسبت به روز اول می باشد. اثر زمان بر فاکتورهای  $a^*, L^*, b^*$  و  $\Delta E$  معنی دار بوده است ( $P \leq 0/05$ ). ارزیابی حسی رنگ نمونه های اسموتی در طی ۱۴ روز نگه داری حاکی از این بود که با افزایش زمان نگه داری در دمای یخچال از کیفیت رنگ نمونه اسموتی کاسته می شود و از رنگ سبز به رنگ زرد مایل متمایل می شوند که البته از لحاظ آماری معنی دار نبود ( $P \leq 0/05$ ). Wang و همکاران، (۲۰۱۳) تغییرات محتوای کلروفیل و رنگ پوره اسفناج را بررسی نمودند و بیان کردند  $a^*$  مهم ترین شاخص ارزیابی رنگ در سبزیجات سبز است [۲۷].

### ۳-۴- ترکیبات فنولیک

نتایج آنالیز واریانس حاکی از معنی دار بودن تاثیر افزودن جوانه بروکلی در فرمولاسیون اسموتی بر محتوای کل ترکیبات فنولی در محصول نهایی می باشد ( $P \leq 0/05$ ). با توجه به نتایج ذکر شده در جدول ۲ مشاهده میشود که با افزودن جوانه بروکلی از ۰٪ به ۱۵٪ به فرمولاسیون اسموتی، محتوای فنول اولیه اسموتی در روز ۱ آزمون از  $T_1 = 73/94 \text{ mg/Kg}$  به  $T_7 = 120/86 \text{ mg/Kg}$  افزایش یافت که باعث افزایش ۳۸٪ میزان کل ترکیبات فنولیک نمونه ها و ایجاد اختلاف معنی دار بین نمونه کنترل و سایر نمونه ها شده است. با افزایش زمان نگه داری، میزان ترکیبات فنولیک به میزان کمی روند کاهشی نشان داده است، این تغییرات از لحاظ آماری معنی دار بود ( $P \leq 0/05$ ). اگرچه، نمونه T<sub>6</sub> (حاوی ۱۲/۵٪ جوانه بروکلی) در طی نگه داری به مدت ۱۴ روز، قابلیت بیشتری در حفظ ترکیبات موثره فنولیک نسبت به سایر نمونه ها نشان



(۱۹۹۶) مقدار کلروفیل نوع آ و ب موجود در اسفناج را (۰/۶) و ۱ گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک) گزارش کردند [۳۲]. بنابراین کاهش بسیار کم مقدار کل کلروفیل در اسموتی نهایی ناشی از این جایگزینی است که البته با در نظر گرفتن ترکیبات مغذی دیگری که به میزان قابل توجهی افزایش یافته قابل چشم پوشی است.

### ۳-۷- ویژگی های رئولوژیکی

شکل ۲ منحنی جریان فرمولاسیون مختلف اسموتی را نشان می دهد. طبق این نتایج، رفتار جریان کلیه نمونه ها از روند مشابهی پیروی می کند و بر این اساس رابطه غیر خطی ویسکوزیته-سرعت برشی رفتار غیر نیوتنی نمونه ها را نشان می دهد. همچنین، با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته ظاهری کاهش پیدا می کند که نشان دهنده رفتار سودوپلاستیک و عدم تغییر معنی دار شیب منحنی ها در محدوده سرعت برشی است. برای برآزش داده های ویسکوزیته ظاهری-سرعت برشی از مدل های توانی، هرشل بالکلی و کارو استفاده گردید. مدل هرشل بالکلی نسبت به سایر روش ها به دلیل داشتن مقادیر  $R^2=0.978$  و مقادیر RMSE پایین (۰/۰۴۱۷۳-۰/۰۰۶۲۶۷) به عنوان مناسب ترین مدل برای برآزش این داده ها انتخاب شد. نتایج بررسی پارامترهای رئولوژیکی نمونه ها، براساس مدل هرشل بالکلی در جدول ۵ آورده شده است. رابطه ۳ مدل رفتار جریان هرشل بالکلی را نشان می دهد.

$$\tau = \tau_0^h + K_h + \gamma^0$$

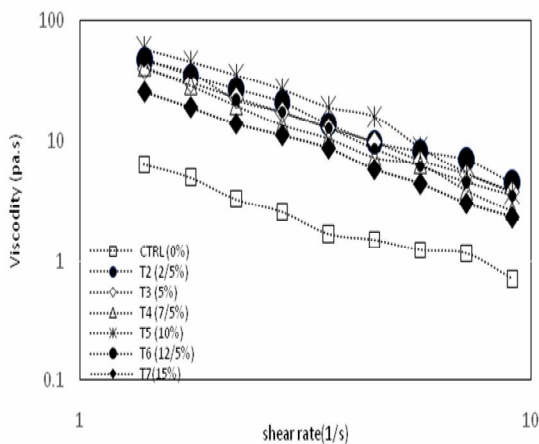


Fig 2 The change in viscosity as a function of shear rate

یافت که باعث افزایش ۲۴٪ خواص آنتی اکسیدانی نمونه ها و ایجاد اختلاف معنی دار با نمونه کنترل شده است. با افزایش زمان نگه داری، ظرفیت آنتی اکسیدانی هم روند کاهشی داشت که نسبت به روز اول نگه داری اختلاف معنی دار بود ( $P \leq 0/05$ ). اگرچه، نمونه T6 (حاوی ۱۲/۵٪ جوانه بروکلی) در طی نگه داری به مدت ۱۴ روز، قابلیت بیشتری در حفظ ترکیبات موثره آنتی اکسیدان نسبت به سایر نمونه ها نشان داد. Cisneros-Zevallos (۲۰۰۳)، افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی برخی نمونه ها در طی نگه داری را مربوط به استخراج بهتر ترکیبات از بافت میوه و سبزیجات و ترکیبات فنولیک را عامل اصلی در فعالیت آنتی اکسیدانی محصولات تازه دانست [۳۰]. Rodriguez-Verastegui و همکاران، (۲۰۱۶) کاهش ۵۶٪ فعالیت آنتی اکسیدانی اسموتی سبزیجات بر پایه گوجه فرنگی، فلفل قرمز، بروکلی و هویج در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در طی ۴۰ روز نگه داری گزارش کردند [۱۸]. در صورتی که مطابق با نتایج حاصل از بررسی اسموتی جوانه بروکلی با توجه به محتوای آنتی اکسیدانی بالاتر جوانه بروکلی ۹۲/۷۱-۷۸/۵۱ mg/Kg نسبت به کلم بروکلی بعد از ۱۴ روز نگه داری، کاهش ۱۲-۱۰٪ در دمای ۵ درجه سلسیوس مشاهده شد.

### ۳-۶- محتوای کلروفیل

پیگمان های سبز رنگ کلروفیل موجود در سبزیجات نقش اساسی در حفظ کیفیت نوشیدنی دارند، در صورتی که طی دوره نگه داری فعالیت آنزیم های تجزیه کننده این ترکیب، منجر به افت کیفیت و تغییر رنگ نوشیدنی از سبز به زرد می شود. با توجه به نتایج ذکر شده در جدول ۳ مشخص شد که اثر جوانه بروکلی و زمان نگه داری بر میزان موجود ترکیب کلروفیل در اسموتی معنی دار بوده است ( $P \leq 0/05$ ). با افزایش جوانه بروکلی از ۰٪ به ۱۵٪ و کاهش میزان اسفناج از ۴۲/۵٪ به ۳۵٪ محتوای کلروفیل اولیه اسموتی در روز ۱ آزمون از  $T_1=460/37 \text{ mg/Kg}$  به  $T_7=440/24 \text{ mg/Kg}$  کاهش یافت و به میزان ۴٪ کاهش داشت. بطور کلی تحقیقات انجام شده در گذشته نشان داده که سبزیجات برگ سبز نظیر اسفناج منبع بسیار خوبی از کلروفیل محسوب میشوند. براساس این تحقیقات Moreira-Rodríguez و همکاران، (۲۰۱۷) مقدار کلروفیل نوع آ و ب در جوانه بروکلی را معادل (۰/۸ و ۰/۳ گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک) [۳۱] و Drews،

مقادیر پایین کرنش، منحنی های  $G'$  و  $G''$  مستقل از کرنش می باشند (ناحیه ویسکوالاستیک خطی)، در حالی که با افزایش میزان کرنش، به دلیل تخریب ساختار سه بعدی سوسپانسیون، مقادیر  $G'$  و  $G''$  تابعی از کرنش اعمال شده می باشد.

**Table 5** Rheological parameters of the Herschel-balkley mathematical model.

| parameters                      | Treatment             |
|---------------------------------|-----------------------|
| $(Pa)R^2 \tau_0^h K_h (Pa.s)^n$ |                       |
| 8.83540.365.98100.9999          | T <sub>1</sub> (CTRL) |
| 10.47650.366.35090.9999         | T <sub>2</sub>        |
| 12.07700.256.25350.9997         | T <sub>3</sub>        |
| 12.74450.276.55010.9999         | T <sub>4</sub>        |
| 16.10410.298.29300.9996         | T <sub>5</sub>        |
| 17.51590.3010.93970.9999        | T <sub>6</sub>        |
| 18.32040.2811.37980.9999        | T <sub>7</sub>        |

پایین ترین میزان کرنش در منطقه ویسکوالاستیک خطی  $0.005\%$  به دست آمد. در ناحیه ویسکوالاستیک خطی، در کلیه فرمولاسیون ها (شکل ۳)، مقادیر  $G'$  بالاتر از  $G''$  می باشد که نشان دهنده رفتار جامد ویسکوالاستیک است. به عبارتی نشان می دهد که محلول های با مدول الاستیک بالاتر، برهم کنش های بیشتر و پایداری بیشتری در محدوده ویسکوالاستیک خطی دارند و محدوده ویسکوالاستیک خطی گسترده تری را شامل می شوند. با افزایش درصد کرنش، به دلیل تخریب باندهای هیدروژنی و پیوند هیدروفوبیک ساختار سه بعدی سوسپانسیون، با کاهش مقادیر  $G'$  و  $G''$  برهم کنش های موجود در ساختار جامد گون اسموتی شکسته می شود [۳۷]. کوچک بودن  $\gamma_{LVE}$  (کرنش در محدوده ویسکوالاستیک خطی) در تمامی نمونه ها نشان دهنده ویسکوالاستیک خطی است که نمونه ی مورد نظر نوشیدنی است و نسبت به سایر محصولات غلیظ تر نظیر سس ویسکوزیته ی کمتری دارد. در مرحله دوم آزمونهای رئولوژیکی دینامیک، منحنی های  $G'$  و  $G''$  برحسب فرکانس در محدوده فرکانس ۱-۱۰ هرتز در شکل ۴ مشاهده می شود. در مورد تمامی فرمولاسیون در محدوده فرکانس مورد آزمون، میزان  $G'$  بالاتر از  $G''$  بوده که نشان دهنده غلبه خواص الاستیک بر خواص ویسکوز در این محدوده فرکانس می باشد و همچنین رفتار ژل ضعیف می باشد. طبق شکل ۳، نمونه T<sub>7</sub> دارای بیشترین و نمونه T<sub>1</sub> (شاهد) دارای کمترین میزان مدول  $G'$  و  $G''$  نسبت به سایر نمونه ها می باشند. شیب مثبت ملایم کلیه منحنی ها نشان دهنده وجود ساختار ضعیف ژل (Weak Gel) در تمامی فرمولاسیون ها است [۳۶]. بنابراین نسبت جایگزینی

در این رابطه  $\tau$  تنش برشی بر حسب پاسکال،  $\tau_0^h$  تنش تسلیم مدل هرشل-بالکلی بر حسب پاسکال  $K_h$  شاخص پایداری، شاخص رفتار جریان،  $\gamma^0$  تنش برشی بر حسب معکوس ثانیه می باشد. کلیه برازش ها در محدوده نرخ برش ۱ تا  $10^{-1}$  s<sup>-1</sup> انجام گرفته است.

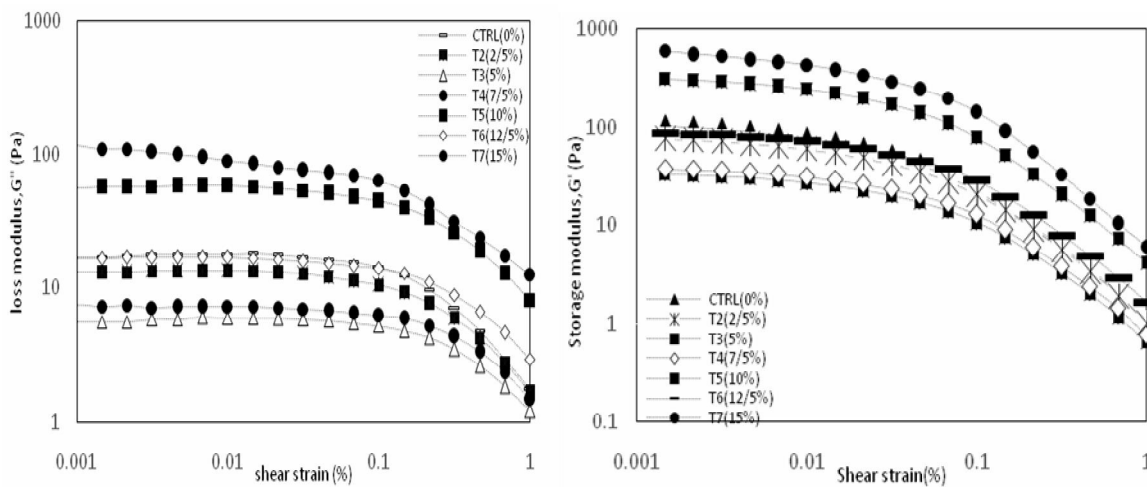
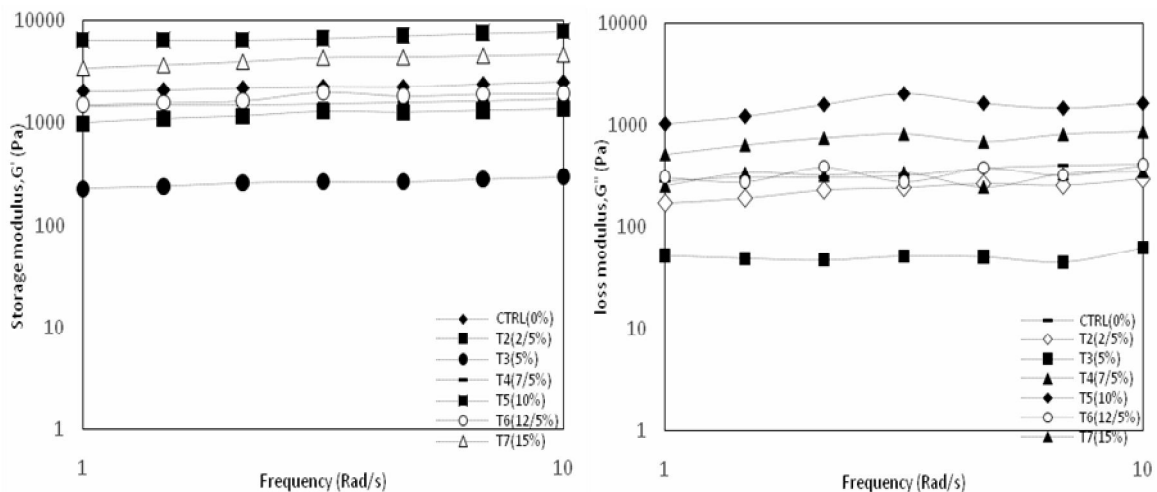
با افزایش مقدار جوانه بروکلی از ۰٪ به ۱۵٪ مقادیر تنش تسلیم از  $T_1=5/98$  پاسکال به  $T_7=11/37$  پاسکال افزایش پیدا کرد و نمونه ی T<sub>7</sub> (۱۵٪) با مقدار ۱۱/۳۷ پاسکال بالاترین تنش تسلیم را از خود نشان داد که نمایان گر پایداری بالای این نمونه در برابر تنش است و نمونه T<sub>1</sub> (شاهد) با مقدار ۵/۹۸ پاسکال کمترین تنش تسلیم را از خود نشان داد. در ارتباط با  $k$  یا شاخص قوام نمونه ها که با ویسکوزیته رابطه نزدیکی دارد، از بین نمونه ها، نمونه T<sub>7</sub> با مقدار ۱۸/۳۲ پاسکال دارای مقادیر بالاتری است. این فاکتور در کلیه نمونه ها نسبت به نمونه شاهد بیشتر است.  $n$  یا شاخص رفتار جریان که بیانگر چگونگی رفتار رئولوژیکی نمونه هاست در تمامی نمونه ها کوچکتر از ۱ بود که نشان دهنده ی رفتار غیر نیوتنی سودوپلاستیک و یا روان شونده با برش بوده است [۳۳] (جدول ۵) این رفتار رئولوژیکی در تحقیقات گذشته نیز مشاهده شده است. Sun-Waterhouse و همکاران، (۲۰۱۳) اعلام نمودند در نمونه های اسموتی سبب با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته ظاهری کاهش یافته است که این نتایج مطابق با یافته های تحقیق حاضر است [۳۴]. Bayod و همکاران، (۲۰۱۱) این رفتار جریان را ناشی از تخریب ساختار شبکه سوسپانسیون به ذرات کوچکتر گزارش کردند که منجر به کاهش ویسکوزیته می گردد [۳۵]. با توجه به نتایج حاصله میتوان دریافت که نمونه کنترل با وجود افزودن صمغ ژلان در فرمولاسیون در مقایسه با نمونه های حاوی جوانه بروکلی از قوام کمتری برخوردار است. از آنجاییکه مقدار این صمغ در تمامی نمونه ها ثابت است، این تفاوت را میتوان به مقدار ترکیبات فیبری موجود در جوانه (۸ الی ۱۱ گرم بر ۱۰۰ گرم) [۳۶] مربوط دانست که در کنار صمغ، بافت ژلی نمونه اسموتی را تقویت میکنند.

روند تغییرات مدول ذخیره ( $G'$ ) و اتلاف ( $G''$ ) بر حسب کرنش در فرکانس ۱ هرتز برای فرمولاسیون مختلف در شکل ۲ مشاهده می شود. در هر یک از منحنی ها، دو ناحیه رفتار ویسکوالاستیک خطی و غیر خطی قابل تشخیص است. در

**Table 6** Rheological parameters of the carreau-yasuda mathematical model.

| Parameters<br>(Pa.S) $R^2\eta_0$ | Treatment             |
|----------------------------------|-----------------------|
| $10^5 * 5.66370.9999$            | T <sub>1</sub> (CTRL) |
| $10^5 * 2.46460.9399$            | T <sub>2</sub>        |
| $10^4 * 5.94760.9297$            | T <sub>3</sub>        |
| $10^5 * 1.11380.9899$            | T <sub>4</sub>        |
| $10^6 * 1.75470.9396$            | T <sub>5</sub>        |
| $10^6 * 3.05760.9899$            | T <sub>6</sub>        |
| $10^6 * 1.52660.9699$            | T <sub>7</sub>        |

جوانه بروکلی در فرمولاسیون اسموتی با میزان مدول  $G'$  و  $G''$  نسبت مستقیم دارد. به منظور بررسی بیشتر  $G'$  و  $G''$  بر حسب فرکانس زاویه ای، مقادیر این دو پارامتر با مدل کارو برازش شد. بر این اساس طبق جدول ۶ ضمن انطباق مناسب داده ها بر مدل کارو ( $R > 0.92$ )، در فرکانس و سرعت برشی پایین ( $\dot{\gamma}^*$ )، ویسکوزیته نیوتنی اولیه ( $\eta_0$ ) مشاهده شد که نشان دهنده ی عدم پایداری نمونه در فرکانس و سرعت برشی خیلی کوچک و در واقع احتمال دوفاز شدن آنها در شرایط راکد میباشد.

**Fig 3** Storage modulus ( $G'$ ) and loss modulus ( $G''$ ) as a function of strain amplitude ( $\gamma_0, \%$ )**Fig 4** Storage modulus ( $G'$ ) and loss modulus ( $G''$ ) as a function of angular frequency ( $\omega, \text{rad/s}$ )

مقادیر مختلف جوانه بروکلی منجر به تاثیر معنی داری در ویژگی های حسی مانند طعم، عطر، بو و رنگ شده است. در ارتباط با پارامتر طعم، بو و پذیرش کلی، نمونه

### ۳-۸- ویژگی های حسی

نتایج ارزیابی حسی نمونه های اسموتی با سطوح مختلف جوانه بروکلی در جدول ۷ نشان داده شده است. حضور

بیان نمودند که ماست پروبیوتیک تولید شده، غنی از عصاره جوانه بروکلی از نظر مقبولیت طعم و مزه در مقایسه با نمونه های دیگر بهتر بودند [۳۹]. در اسموتی جوانه بروکلی، انتقال عطر و طعم جوانه بروکلی به اسموتی در روز ۱ آزمون موجب بهبود عطر و طعم و تازگی در نظر ارزیابان و کسب بیشترین امتیاز گردید و در روز ۱۴ آزمون وجود طعم تلخی در نمونه ها موجب کاهش امتیاز گردید. افت نسبی طعم در این شرایط احتمالا ناشی از به وجود آمدن ترکیبات آروماتیک نامطلوب توسط فلور میکروبی غالب فرآورده است. در نتیجه در پذیرش کلی، مشخص گردید با گذشت زمان، مطلوبیت نمونه ها کاهش می یابد اما میزان کاهش در نمونه شاهد بیشتر از نمونه های حاوی جوانه بروکلی بود. از طرفی بهترین زمان مصرف نوشیدنی اسموتی توسط ارزیابان ۱ الی ۳ روز پس از تولید و نگه داری در دمای یخچال پیشنهاد شد.

T<sub>6</sub> (حاوی ۱۲/۵٪ جوانه بروکلی) از نمونه T<sub>1</sub> (شاهد) امتیاز بالاتری بدست آورده است. Gawlik-Dziki و همکاران، (۲۰۱۴) در بررسی تاثیر جایگزینی بخشی از آرد گندم با پودر جوانه بروکلی به عنوان منبع غنی آنتی اکسیدان و ضد سرطان بر ویژگی های کیفی نمونه های نان بیان نمودند، نمونه نان حاوی ۲-۱٪ پودر جوانه بروکلی از نظر مقبولیت پذیرش کلی در مقایسه با نمونه های دیگر بهتر بودند. اما، در ارتباط با رنگ محصول، تاثیر منفی پودر جوانه بروکلی بر تیرگی پوسته نان مشاهده شده است [۳۸]. در پژوهش حاضر نیز، مطلوبیت رنگ نمونه های حاوی جوانه بروکلی به میزان جزئی کمتر از نمونه T<sub>1</sub> (شاهد) بود و ارزیابان رنگ اسموتی را به واسطه مقادیر بیشتر اسفناج ترجیح دادند که البته از لحاظ آماری معنی دار نبود (P ≤ ۰/۰۵). Sadeghi و همکاران، (۲۰۱۴) در بررسی استفاده از عصاره جوانه بروکلی برای تولید ماست پروبیوتیک

Table 7 Sensory Properties of smoothie containing broccoli sprout after 3 days storage.

| Parameters              |                        | Treatment              |                        |                      |                       |
|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| Taste                   | Color                  |                        | Aroma                  | Texture              | Overall               |
| 4.50±41.11 <sup>D</sup> | 20±0.357 <sup>AB</sup> | 50±0.457 <sup>AB</sup> | 80±0.350 <sup>A</sup>  | 90±0.95 <sup>A</sup> | T <sub>1</sub> (CTRL) |
| 4.65±0.423 <sup>D</sup> | 20±0.354 <sup>AB</sup> | 20±0.450 <sup>AB</sup> | 20±0.370 <sup>AB</sup> | 82±0.50 <sup>A</sup> | T <sub>2</sub>        |
| 4.40±0.415 <sup>D</sup> | 00±0.350 <sup>AB</sup> | 00±0.450 <sup>AB</sup> | 12±0.357 <sup>B</sup>  | 80±0.57 <sup>A</sup> | T <sub>3</sub>        |
| 4.40±0.323 <sup>D</sup> | 60±0.300 <sup>A</sup>  | 70±0.400 <sup>A</sup>  | 10±1.350 <sup>AB</sup> | 50±0.57 <sup>A</sup> | T <sub>4</sub>        |
| 4.48±0.350 <sup>D</sup> | 50±0.357 <sup>AB</sup> | 80±0.357 <sup>AB</sup> | 90±1.350 <sup>B</sup>  | 50±0.57 <sup>A</sup> | T <sub>5</sub>        |
| 4.80±0.340 <sup>D</sup> | 80±0.470 <sup>B</sup>  | 50±0.300 <sup>B</sup>  | 90±0.310 <sup>AB</sup> | 99±0.50 <sup>A</sup> | T <sub>6</sub>        |
| 4.10±30.10 <sup>D</sup> | 00±0.400 <sup>A</sup>  | 00±0.300 <sup>A</sup>  | 74±0.357 <sup>B</sup>  | 80±0.57 <sup>A</sup> | T <sub>7</sub>        |

Different capital letters denote significant differences (P ≤ 0.05) among treatments stored at the same temperature for the same sampling day.

محصول مغذی و فراسودمند در تحقیقات آینده مدنظر خواهد بود.

## ۵- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از تمامی همکاران شرکت VEGUS FOODS LTD به دلیل همکاری در تهیه بذر جوانه بروکلی و عملیات اجرایی این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی می کنند.

## ۶- منابع

[1] Eurostat, European Union Statistics. New release. (2016). Consumption of fruit and vegetables in the EU197/2016. <http://ec.europa.eu/Eurostat/doc>

## ۴- نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصله از ارزیابی های فیزیکوشیمیایی استفاده از ۱۲/۵٪ جوانه بروکلی در فرمولاسیون پیشنهادی اسموتی به عنوان بهترین نمونه پیشنهاد می گردد. نمونه اسموتی با ۱۲/۵٪ جوانه بروکلی با داشتن بالاترین ترکیبات فنلی، آنتی اکسیدانی و بهترین قوام بیشترین امتیاز را از سوی ارزیابان کسب کرد. ارزیابی حسی نیز نشان داد تا سطح ۱۲/۵٪ جوانه بروکلی در فرمولاسیون موجب تولید محصولی قابل قبول می شود. به منظور بهبود قابلیت نگهداری نمونه اسموتی، اعمال فرآیند حرارتی برای کاهش فعل و انفعالات میکروبی پیشنهاد می شود. از سوی دیگر به کارگیری این فرآیند منجر به کاهش ترکیبات زیست فعال و افت ایزوتیوسیانات ها میشود. بنابراین بررسی نحوه تاثیر فرآیندهای غیرحرارتی بر ماندگاری این نوع

- Journal of Food Science and Technology*, 48: 2267–2275.
- [11] Villarreal-García L D, Nair V, Gisneros-zevallos L and Jacobo-Veazquez D.A. (2016). Plants as biofactories: Postharvest stress-induced accumulation of phenolic compounds and glucosinolates in broccoli subjected to wounding stress and exogenous phytohormones. *In Frontiers in plant Science*, 45: 1-11.
- [12] Tian M, Xu X, Hu H, Liu Y, Pan S. (2017). Optimisation of enzymatic production of sulforaphane in broccolisprouts and their total antioxidant activity at different growth and storage days. *Journal of Food Science and Technology*, 54(1):209–218. DOI 10.1007/s13197-016-2452-0
- [13] Fahey, J.W., Ourisson, P.J. & Degan, F.H. (2006). Pathogen detection, testing, and control in fresh broccoli sprouts. *Nutrition Journal*, 5, 13. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-5-13>.
- [14] Azizi S, Amiri-Besheli B and Sharifi-Mehr S. (2011). The Isolation and Determination of Sulforaphane from Broccoli Tissues by Reverse Phase-High Performance Liquid Chromatography. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 58: 906-910.
- [15] Castillejo N, Martínez-Hernández G.B., Gómez P.A., Artés F., Aguayo E., Sánchez-Álvarez C. and Artés-Hernández F. (2016). Quality changes of green vegetable smoothies during shelf-life. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1141.16>.
- [16] Xu Z.H., Zhang L., Wang Y.T., Bi X.F., Buckow R., and Liao X.J. (2011). Effects of high pressure CO<sub>2</sub> Treatments on microflora, enzymes and some quality attributes of apple juice. *Journal of Food Engineering*, 104:557-584.
- [17] Martínez-Hernández, G.B., Gómez, P.A., Pardas, I., Artés, F., and Artés-Hernández, F. (2011). Moderate UV-C pretreatment as a quality enhancement tool in fresh-cut bimi broccoli. *Postharvest Biology and technology*, 62: 327-337.
- [18] Rodríguez-Verástegui LL, Martínez-Hernández GB, Castillejo N, Gómez PA, Artés F and Artés-Hernández F. (2015). Bioactive compounds and enzymatic activity of red vegetable smoothie during storage. *Food and Bioprocess Technology*, 9: 137-146.
- uments/ 2995521/7694616/3-14102016-BP-EN.pdf. Accessed 29.01.17.
- [2] Kalmpourtzidou A, Eilander A, Talsma F.E. (2020). Global Vegetable Intake and Supply Compared to Recommendations: A Systematic Review. *Nutrients*, 12(6):1558. DOI: 10.3390/nu12061558
- [3] WHO/FAO. (2004). Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases: *Report of a Joint WHO/FAO*; WHO/FAO: Geneva, Switzerland.
- [4] Anand P, Kunnumakara AB, Sundaram C, Harikumar KB, Tharakan ST, Lai OS, Sung B, Aggarwal B. (2008). Cancer is a preventable disease that requires major lifestyle changes. *Pharmaceutical Research*, 25: 2097-2116.
- [5] Boeing H, Bechthold A, Bub A, Ellinger S, Haller D, Kroke A, Leschik-Bonnet E, Müller MJ, Oberitter H, Schulze M, Stehle P, and Watzl B. (2012). Critical review: Vegetables and fruit in the prevention of chronic disease. *European Journal of Nutrition*, 51: 637-663.
- [6] Teleszko T., and WoJdylo A. Bioactive compounds vs. (2014). Organoleptic assessment of 'Smoothies'-type products prepared from selected fruit species. *International Journal of Food Science and Technology*, 49: 98-106.
- [7] Lemoine I., Civello P., Chaves A., and Martinez G. (2009). Hot air treatment delays senescence and maintains quality of fresh cut broccoli florets during refrigerated storage. *Journal of LWT-Food and Technology*, 42:1076-1081.
- [8] Nandini D.B., Roopa R, Deepak B.S., Praveen B.R. (2020). Sulforaphane in broccoli: The green chemoprevention!! Role in cancer prevention and therapy. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology*, 24(2):405. DOI:10.4103/jomfp.JOMFP\_126\_19
- [9] Koh E, Wimalasiri K.M.S., Chassy A.W and Mitchell A.E. (2009). Content of ascorbic acid, quercetin, kaempferol and total phenolics in commercial broccoli. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10: 1016-1126.
- [10] López-Cervantes J, Tirado-Noriega G. L., Sánchez-Machado I. D., Campas-Baypoli N.O., Cantú-Soto U.E. and Núñez-Gastélum A.J. (2013). Biochemical composition of broccoli seeds and sprouts at different stages of seedling development. *International*

- enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81 (9), 853-876.
- [29] Pellegrini N, Colombi B, Salvatore S, Brenna O.V., Galaverna G, Del Rio D, Bianchi M, Bennett R.N and Brighenti F. (2007). Evaluation of antioxidant capacity of some fruit and vegetable foods: efficiency of extraction of a sequence of solvents. *Journal of Food and Agriculture*, 87:103-111.
- [30] Cisneros-Zevallos, L. (2003). The use of controlled postharvest abiotic stress as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding-value of fresh fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, 68:1560-1565.
- [31] Moreira-Rodrigue, M., Nair, V., Benavides, J., Cisneros-Zevallos, L., and Jacobo-Velázquez Daniel A. (2017). UVA, UVB Light, and Methyl Jasmonate, Alone or Combined, Redirect the Biosynthesis of Glucosinolates, Phenolics, Carotenoids, and Chlorophylls in Broccoli Sprouts. *International Journal of Molecular sciences*, 18(11):2330.
- [32] Drews, H.J. (1996). Analysis of Free Sugars and Chlorophyll in Spinach from A Local Retail Market. Master's Thesis, *University of Tennessee, Knoxville*. [https://trace.tennessee.edu/utk\\_gradthes/4424](https://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/4424).
- [33] MaClements, D.J., (2004). Food emulsions: principles, practices and techniques, Second Edition (CRC Series in Contemporary Food Science).
- [34] Sun-Waterhouse D, Bekkour K, Wadhwa, Sandhya S and Waterhouse G.IN. (2014). Rheological and Chemical Characterization of Smoothie Beverages Containing High Concentrations of fiber and Polyphenols from Apple. *Food and Bioprocess Technology*, 7: 409-423.
- [35] Bayod Eand Tornberg E. (2011). Microstructure of highly concentrated tomato suspensions on homogenization and subsequent shearing. *Food Research International*, 44: 755-764.
- [36] Kutz M. (2013). Handbook of farm, dairy and food machinery engineering. *Academic press, 2<sup>nd</sup> Edition*.
- [37] Basu S., Shivhare U.S., Singh T.V. and Beniwal V.S. (2011). Rheological, Textural and spectral characteristics of sorbitol
- [19] Brand-Williams W, Cuvelier ME and Berset C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, 28: 25-30.
- [20] Wellburn AR. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different evolution. *Journal of Plant Physiology*, 144, 307-313. DOI:10.3389/fpls.2016.00045.
- [21] Ahmed J, Ramaswanmy H S., and Hiremath N. (2005). The effect of high Pressure treatment on rheological characteristics and color of mango Pulp. *International Journal of Food Science and Technology*, 40: 885-895.
- [22] Meilgaard M.C., Carr B.T., and Civille G.V. (2006). Sensory Evaluation Techniques. Fourth edition. CRC press LLC publishing.
- [23] Castillejo N, Martínez-Hernández GB, Gómez PA, Artés F and Artés-Hernández F. (2016). Red fresh vegetables smoothies with extended shelf life as an innovative source of health -promoting compounds. *Journal of Food Science and Technology*, 53: 1475-1486.
- [24] Keenan DF, Brunton NP, Gormley TR, Butler F, Tiwari BK and Patras A. (2010). Effect of thermal and high hydrostatic pressure processing on antioxidant activity and colour of fruit smoothies. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11: 551-556.
- [25] Di Cagno R, Minervini G, Rizzello CG, De Anelis M and Gobbetti M. (2011). Effect of lactic acid fermentation on Antioxidant, Texture, Colour and sensory properties of red and green smoothies. *Food Microbiology*, 28:1062-1071.
- [26] Walkling-Ribeiro M, Noci F, Cronin DA, Lyng JG and Morgan DJ. (2010). Shelf life and sensory attributes of a fruit smoothie-type beverage processed with moderate heat and pulsed electric fields. *LWT – Food Science and Technology*, 43: 1067-1073.
- [27] Wang R, Xu Q, Yao J, Zhang Y, Liao X, Hu X, Wu J and Zhang Y. (2013). Post-effects of high hydrostatic pressure on green color retention and related properties of spinach puree during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17: 63-71.
- [28] Tomas-Barberan, F.A., and Espin, J.C. (2001). Phenolic compounds and related

- [39] Sadeghi A.R, Pourahmad R and Mokhtare M. (2016). Enrichment of Probiotic Yogurt with Broccoli Sprout Extract and its Effect on Helicobacter Pylori. *Journal homepage: www.journals.sbm.ac.ir/afb*. 4(1): 55-59.
- substituted mango jam. *Journal of Food Engineering. Food Eng.*105: 503–512.
- [38] Gawlik-Dziki U., Świeca M., Dariusz Dziki D., Sęczyk Ł., Urszula Złotek U., Różyło R., Kaszuba K, Ryszawy D, and Czyż J. (2014). Anticancer and Antioxidant Activity of Bread Enrichment with Broccoli Sprouts. *BioMed Research International*, Article ID 608053, 14 pages.





## Broccoli sprout in a type of smoothie as a health-promoting Snacking-drink: Formulation and physicochemical studies

Samia Kalantari, K. <sup>1</sup>, Mizani, M. <sup>2\*</sup>, Ghavami, M. <sup>3</sup>

1. M.Sc. In Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Dept. Of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Professor, Dept. Of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article History:

Received 2021/ 06/ 25  
Accepted 2021/ 11/ 21

#### Keywords:

Smoothie,  
Broccoli Sprout,  
Bio-active compounds,  
Antioxidant activity,  
Snacking- drink.

**DOI:** 10.52547/fsct.18.121.12

**DOR:** 20.1001.1.20088787.1400.18.121.17.1

\*Corresponding Author E-Mail:  
[m.mizani@srbiau.ac.ir](mailto:m.mizani@srbiau.ac.ir)

Recent epidemiological studies have indicated the anticancer activity of an isothiocyanate compound named sulforaphane that exists in *cruciferous* vegetables. Broccoli sprouts are popular because of containing far more anticancer, antioxidant, glucosinolate, and polyphenolic compounds than in mature broccoli. The main objective of this research was to produce a vegetable smoothie based on *broccoli sprouts* as a nutritious, health-enhancing snacking-drink. Broccoli sprouts were added at six different levels (0%, 2/5%, 5%, 7/5%, 10%, 12/5%, 15%) to a green smoothie made with carrots, apples, spinach, avocado, orange, lime, Stevia, and Gellan gum. Physicochemical, rheological, and sensory properties, along with levels of the bioactive compounds (Phenolic, antioxidant capacity, Chlorophyll), were studied during storage for 14 days at 5°C. The results showed that the addition of 15% broccoli sprout to the smoothie increased synergistically the phenolic compounds content and antioxidant activity by 38% and 24%, respectively. All of the treatments showed viscoelastic behavior. A pseudoplastic behavior with a flow index of less than 1. Sensory evaluation of the smoothie samples indicated the highest overall acceptance for smoothie samples containing 12.5% of broccoli sprout and using the higher levels negatively affected the sensory properties. As a result, a green smoothie containing 12.5% broccoli sprouts could be introduced as a health-promoting snacking-drink.