

### Research Article

## Modeling of kinetic of variations in sensory characteristics and lightness in fresh wheat sprouts (Parsi variety) basil seed mucilage-based coating under MAP

Parinaz Asgari<sup>1</sup>, Nasser Sedaghat<sup>2\*</sup>, Seyed Mahmoud Mousavi<sup>3</sup>

1. PhD student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3. Professor, Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received 12 October 2022, Received in revised form 7 November 2022, Accepted 20 November 2022)

**Introduction:** Sprouted edible seeds are a good source of nutrients, dietary fiber, and mineral and phenolic compounds. The sprout use to be consumed as a functional food. The germination process, a natural biological process, is an effective and economical method for improving and increasing the bioactive compounds of seeds. High metabolic and transpiration activity along with high respiration rate of the sprouts reduce their quality. Since one of the influencing factors on the consumer's choice is the organoleptic characteristics of the product, therefore, in order to maintain and increase the quality of the product after harvesting, several methods are used in this regard. The use of coating and modified atmosphere packaging is effective in maintaining and increasing the quality of fruits and vegetables after harvesting. Some of plant seeds such as durian seeds, Alyssum, and basil seeds are potentially a source of hydrocolloids. The improvement of the space inside the package is made by the interaction between the two processes of product respiration and gas transfer and film permeability. To overcome the limitations of this system, perforated-modified atmosphere packaging was proposed. This study aims to investigate the effect of basil seed mucilage-based coating and modified atmosphere packaging on the kinetics of variations in sensory characteristics and lightness of fresh wheat sprouts.

**Materials and methods:** Wheat seeds (Parsi Variety) and *Ocimum basilicum* seeds were obtained from the agriculture and natural research center of Khorasan Razavi. The sterilized seeds were soaked in sterile water (1:3 w/v) for 24 h at room temperature. Then, the seeds were transferred to sterile cloth, and they were incubated in a sterile incubator at 10 °C for 72 hours. Basil seed mucilage was extracted using double distilled water (pH=7 & T=55 °C) and the slurry solution was stirred using a mechanical stirrer for 90 minutes. Pericarp of basil seeds, during the extraction process was swollen water. The mucilage was separated using a rotating plate extractor (laboratory extractor, Pars Khazar Company, Iran). The extracted mucilage was dried in an oven (model 2U05, Teb Soroush Company, made in Iran), after grinding and sieving, it was kept in a glass container at a dry and cool place. Mucilage solutions (0.3% w/v) and 0.35% plasticizer (glycerol, Merck) were made in stirrers for 30 minutes at 50C mucilage solution was sprayed on the wheat sprouts for 1 minute. The coated and uncoated fresh wheat sprouts were packed into polyethylene bags (42 µm thick). Some bags had one and two holes and some others had no holes. The holes' sizes were 500 µm. The treatments were kept at 10 °C for zero, three, six, and nine days and experiments were performed every three days. Sensory properties (overall acceptability) were examined by consumers and lightness ( $L^*$ ) was by Hunterlab. Zero- or first-order kinetics were used for modeling and the effect of temperature was demonstrated using the Arrhenius equation. SPSS Software (v.20) was used to analyze the results.

**Results and discussion:** A significant decrease was observed between the  $L^*$  indices of the coated and the uncoated samples, which indicates the tendency to get darker in the uncoated samples. Analysis of variance showed that coating, exist or lack of perforations, and storage time are significantly effective on fresh wheat sprouts' lightness and overall acceptability ( $P<0.05$ ). The simultaneous interaction of coating and storage time

\* Corresponding Author: Sedaghat@um.ac.ir

affected lightness and overall acceptability. The results manifested that as the storage time increased, the lightness ( $L^*$ ), and overall acceptability decreased. Furthermore, in the present study, a significant reduction was observed in the lightness of coated and uncoated fresh wheat sprouts. Changing the gas composition inside the package can affect the turbidity of the outer surface and the yellowing of the hypocotyl. The Low  $L^*$  in packages with no hole, NCNP, was related to the consumption of oxygen in the headspace and the production of carbon dioxide and ethanol. The simultaneous use of perforated-modified atmosphere packaging (two holes) and edible basil seed mucilage-based coating had a positive effect on the quality characteristics of wheat sprouts. The zero-order kinetic was selected for overall acceptability and lightness. The correlation between the experimental and predicted data was the validity of the model ( $R^2 \geq 0.96$ ). Correlation between sensory attributes and physicochemical properties had shown which was evaluated by the Pearson correlation coefficient. Instrumental color had a positive correlation with sensory color and overall acceptability ( $P < 0.01$ ). Pearson's correlation coefficient above 91% indicates a strong correlation between sensory attributes and physicochemical properties ( $r \geq 91$ ). As a result, the simultaneous use of Macro Perforated-modified atmosphere packaging and basil seed mucilage-based coating was significant in the quality characteristics of wheat sprouts.

**Conclusions:** Different mathematical models were used to show the changes in lightness and overall acceptability as a function of the storage temperature. The validity of the kinetic model was shown by high correlation between experimental and predicted data and high correlation between sensory attributes and physicochemical properties by Pearson analysis. As a result, the simultaneous use of Macro Perforated-modified atmosphere packaging and basil seed mucilage-based coating was significant in the quality characteristics of wheat sprouts.

**Keywords:** Modeling, Perforated-MAP, Wheat sprouts

**How to cite this article:**

Asgari, P., Sedaght, N., Mousavi, M., (2023). Modeling of kinetic of variations in sensory characteristics and lightness in fresh wheat sprouts (Parsi variety) basil seed mucilage-based coating under MAP. *Innov. Food Technol.*, 10(2), 135-152.

### مقاله پژوهشی

## مدل‌سازی سینتیک تغییرات حسی و رنگ جوانه‌های گندم تازه رقم پارسی حاوی پوشش موسیلاژ دانه ریحان در بسته‌بندی MAP

پریناز عسگری<sup>۱</sup>، ناصر صداقت<sup>۲\*</sup>، سید محمود موسوی<sup>۳</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

۳. استاد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹)

### چکیده

از آنجا که یکی از عوامل تأثیرگذار بر انتخاب مصرف‌کننده، ویژگی‌های ارگانولپتیکی محصول است، بنابراین به‌منظور حفظ و افزایش کیفیت پس از برداشت محصول از روش‌های متعددی برای این منظور بهره گرفته می‌شود. استفاده از پوشش و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده در حفظ و افزایش کیفیت میوه و سبزی پس از برداشت مؤثر است اما برای غلبه بر محدودیت‌های آن، بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده منفذدار پیشنهاد گردید. هدف این پژوهش، بررسی اثر پوشش موسیلاژ دانه ریحان و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده بر سینتیک تغییرات ویژگی‌های حسی و روشنایی جوانه‌های گندم است. جوانه‌های گندم پوشش موسیلاژی و فاقد آن، در کیسه‌های پلی‌اتیلنی (ضخامت،  $42 \mu\text{m}$ ) دارای یک، دو و بدون منفذ، بسته‌بندی شدند (قطر منافذ،  $500 \mu\text{m}$ ). تیمارها به مدت ۹ روز در دمای ( $10 \pm 1^\circ\text{C}$ ) نگهداری و آزمایش‌ها هر سه روز یکبار انجام و ویژگی‌های حسی از جمله پذیرش کلی توسط مصرف‌کنندگان و رنگ دستگاهی با استفاده از دستگاه هانتربل ارزیابی شد. برای مدل‌سازی از سینتیک مرتبه صفر و اول استفاده و اثر دما با استفاده از معادله آرنیوس نشان داده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار (SPSS V.20) صورت گرفت. براساس آنالیز واریانس داده‌ها پوشش، منفذ و زمان نگهداری و اثر هم‌زمان پوشش و زمان ذخیره‌سازی بر رنگ شاخص روشنایی و پذیرش کلی جوانه‌های گندم معنادار بود ( $P < 0.05$ ). براساس ضریب تعیین، مدل درجه صفر برای هر دو پارامتر پذیرش کلی و شاخص روشنایی انتخاب گردید. همبستگی بین نتایج آزمایشگاهی و پیش‌بینی‌شده برای شاخص روشنایی و پذیرش کلی با  $R^2$  بالاتر از ۰/۹۶ بیان‌کننده اعتبار مدل بود. همبستگی بین داده‌های حسی و دستگاهی، براساس ضریب همبستگی پیرسون ارزیابی شد. ضریب همبستگی پیرسون بالا نشان‌دهنده همبستگی قوی میان خصوصیات حسی و رنگ دستگاهی بود ( $r \geq 0.91$ ). در نتیجه، استفاده هم‌زمان بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده منفذدار و پوشش‌دهی حاصل از موسیلاژ دانه ریحان بر ویژگی‌های کیفی جوانه گندم معنی‌دار بود.

**کلید واژگان:** مدل‌سازی، بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده منفذدار، جوانه گندم

## ۱. مقدمه

با اتمسفر اصلاح‌شده یک روش شناخته‌شده برای حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه و سبزی‌های تازه محسوب می‌شود که متکی بر اصلاح فضای درون بسته ناشی از اثر متقابل بین دو فرایند تنفس محصول و انتقال گازها، بسته به میزان نفوذپذیری فیلم‌ها می‌باشد [۱۴، ۱۵]. در این سیستم، فضای موجود به‌طور طبیعی براساس شدت تنفس محصول تنظیم می‌شود. با این وجود به‌منظور افزایش مدت ماندگاری محصول، باید شرایطی را برای بهترین میزان اتمسفر در کم‌ترین زمان، تعریف کرد. چالش اصلی یافتن مناسب‌ترین ماده بسته‌بندی یا تعداد منافذ برای مطابقت با سرعت تنفس محصول است [۱۵-۱۸]. استفاده از سیستم بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده و دارای منفذ<sup>۴</sup> به‌عنوان روشی برای غلبه بر محدودیت‌های سیستم MAP می‌باشد.

مطالعات متعدد نشان می‌دهد که تغییرات حسی، از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت محصولات می‌باشد و نشان‌دهنده اهمیت استفاده از ارزیابی‌های حسی برای تعیین زمان ماندگاری محصولات تازه است [۱۹]. برای برآورد تغییرات ماندگاری به‌عنوان تابعی از شرایط نگهداری، بهبود برخی از ویژگی‌های کیفی مانند رنگ، استحکام بافت یا ثبات وزن می‌تواند اطلاعاتی مرتبط با نگهداری محصول را ارائه دهد [۲۰، ۲۱]. تغییر این ویژگی‌های کیفی با گذشت زمان می‌تواند بیان‌کننده شرایط نگهداری باشد که بدین‌وسیله پیش‌بینی‌هایی برای زمان ماندگاری انجام شود [۲۲]. متغیرهای فیزیکی‌شیمیایی با همبستگی زیاد با صفات حسی می‌توانند به‌عنوان شاخص تغییرات حسی مورد استفاده قرار گیرند. ارتباط بین خصوصیات حسی و تغییرات فیزیکی‌شیمیایی، رنگ و بافت در چندین محصول مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است [۲۳، ۲۴]. همچنین بین ارزیابی ظاهری و رنگ (میزان روشنایی،  $L^*$ ) در گلابی‌های تازه برش‌خورده همبستگی گزارش شد [۲۵].

محققان، خصوصیات کیفی جوانه‌های گیاهی تازه و پس از نگهداری کوتاه مدت آن‌ها را بررسی کردند. جوانه‌ها پس از ۲ روز نگهداری در تاریکی و دمای ۴-۵ درجه سانتی‌گراد،

مواد غذایی گیاهی منبع خوبی از نظر مواد مغذی، فیبر غذایی، ترکیبات معدنی و فنولی هستند [۱]. یک روش مؤثر و اقتصادی برای بهبود و افزایش ترکیبات زیست فعال دانه‌ها، فرآیند جوانه‌زنی است [۲] و مصرف جوانه‌های خوراکی به‌عنوان یک غذای فراسودمند<sup>۱</sup> مورد توجه می‌باشد [۳]. جوانه‌زنی یک فرایند طبیعی است [۴] که می‌تواند به بهبود ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای دانه‌های غله‌ای و شبه غله‌ای<sup>۲</sup> [۵] و به‌دنبال آن ایجاد تغییر در ترکیبات تغذیه‌ای و غیرتغذیه‌ای در ماده غذایی [۴] منجر شود. علاوه بر آن، مقدار برخی از بازدارنده‌های تغذیه‌ای نیز کاهش پیدا می‌کند [۶، ۷]. با توجه به ماهیت فسادپذیر جوانه‌های خوراکی، شرایط نگهداری آن‌ها حائز اهمیت می‌باشد. به‌دلیل بافت نرم، فعالیت متابولیکی بالا، تعرق و تنفس در حین نگهداری، جوانه‌ها در معرض کاهش کیفیت قرار دارد [۸]. به‌منظور کاهش ضایعات و افزایش مدت ماندگاری جوانه‌ها می‌توان از روش‌های متعددی استفاده نمود. یکی از روش‌های مناسب به‌منظور افزایش ماندگاری، استفاده از پوشش‌های خوراکی می‌باشد [۹]. پوشش‌های خوراکی نشانه استراتژی بسته‌بندی‌های جدید در مدیریت پس از برداشت محصولات تازه می‌باشد [۱۰]. کاربرد موفقیت‌آمیز پوشش‌های خوراکی برای مواد غذایی به روش کاربرد و هزینه آن وابسته است. یکی از روش‌های پوشش‌دهی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است، روش اسپری کردن می‌باشد که به‌عنوان جایگزین روش غوطه‌وری در نظر گرفته می‌شود [۱۱]. پوشش‌دهی با روش اسپری کردن برای انگور گزارش شده است [۱۲]. برخی دانه‌های گیاهی به‌صورت بالقوه به‌عنوان یک منبع هیدروکلوئیدی به شمار می‌آیند، که از جمله می‌توان صمغ و موسیلاژ حاصل از دانه‌های دوریان، قدومه شیرازی و تخم شربتی را نام برد [۱۳]. علاوه بر آن استفاده از تکنیک MAP<sup>۳</sup> به‌صورت فعال یا غیرفعال جهت افزایش ماندگاری فراورده‌های غذایی نیز استفاده می‌گردد [۶، ۸]. بسته‌بندی

1. Functional
2. Pseudocereal
3. Modified Atmosphere Packaging

4. Perforated Modified Atmosphere Packaging

تقطیرشده، دمای °C ۵۵ و pH خنثی انجام و سپس محلول دوغابی / کدر با استفاده از یک همزن مکانیکی، به مدت ۹۰ min همزده شد. پری‌کارپ دانه‌های ریحان، در طی فرایند استخراج با جذب آب متورم و سپس موسیلاژ دانه‌های ریحان با استفاده از اکستراکتور مجهز به صفحه چرخنده (استخراج-کننده آزمایشگاهی، شرکت پارس خزر، ایران) جداسازی و پس از آن به منظور حذف ناخالصی‌های موجود، از صافی عبور داده شد. موسیلاژ استخراج‌شده در داخل آون (مدل 2U05، شرکت طب سروش، ساخت ایران) خشک گردید، پس از آسیاب و الک شدن تا زمان انجام آزمایش‌ها درون ظرف شیشه‌ای دربسته، در جای خشک و خنک نگهداری شد. تهیه پوشش از روش علیزاده و همکاران با اندکی تغییر انجام شد. محلول‌های موسیلاژی دانه ریحان (۳/۰ درصد وزنی / حجمی) با ۳۵/۰ درصد نرم‌کننده (گلیسرول، مرک) و آب مقطر استریل تهیه و عمل اختلاط با استفاده از همزن مغناطیسی با سرعت ۱۲۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۳۰ min با دمای °C ۵۰ انجام و سپس محلول موسیلاژی بر روی جوانه‌های گندم به مدت ۱ min اسپری گردید [۲۹].

نمونه‌های پوشش داده‌شده و فاقد پوشش در کیسه‌های پلی‌اتیلنی با ضخامت ۴۲ μm در بسته‌های فاقد منفذ، یک منفذ و دو منفذ (قطر منافذ، 500 μm) با استفاده از دستگاه مپ هنکلن<sup>۴</sup> (Homburg, Gustav Muller and Co., Bad Germany) با هوای معمولی<sup>۵</sup> بسته‌بندی شد. نمونه‌ها در دمای سرد (°C 10 ± ۱) به مدت ۹ روز نگهداری و آزمایش‌ها در فواصل زمانی ۳ روز با ۳ بار تکرار برای هر یک انجام شد.

### ۳.۲. اندازه‌گیری رنگ دستگاهی

اندازه‌گیری رنگ جوانه‌های گندم با استفاده از رنگ سنج هانتربل (رستون<sup>۶</sup>، ساخت امریکا) با سه تکرار در پژوهش‌کنده دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. میزان رنگ با استفاده از پارامترهای هانتربل برحسب روشنایی (L\*)، سبز-قرمز (a\*) و زرد-آبی (b\*) بیان گردید [۳۰].

توسط ارزیاب‌ها از نظر ویژگی‌های حسی از جمله بو، بافت، عطر و طعم ارزیابی شدند. در این بررسی جوانه‌های عدس، تربچه و یونجه بیشترین امتیاز و بالاترین کیفیت را داشتند. بین ویژگی‌های حسی جوانه‌ها از نظر طعم تند و شیرینی بافت به شدت تمایز مشاهده شد [۲۶].

مروری کوتاه بر مطالعات پیشین نشان داد که مدل‌سازی سینتیکی تغییرات کیفی برای جوانه‌های گندم با استفاده از پوشش‌های خوراکی در بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده و اتمسفر اصلاح‌شده منفذدار انجام نشده است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، مدل‌سازی سینتیکی تغییر ویژگی‌های حسی-پذیرش کلی و رنگ دستگاهی-روشنایی جوانه‌های گندم تازه رقم پارس پوشش داده‌شده با موسیلاژ دانه ریحان تحت سیستم MAP می‌باشد.

## ۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از دانه‌های گندم<sup>۱</sup> رقم پارس و دانه‌های ریحان<sup>۲</sup> به ترتیب به منظور تهیه جوانه‌های گندم تازه و پوشش پوشش موسیلاژی استفاده گردید.

### ۱.۲. آماده‌سازی نمونه

آماده‌سازی جوانه‌های گندم براساس روش ساین<sup>۳</sup> و همکاران [۲۷] با اندکی تغییر انجام شد. برای استریلیزاسیون دانه‌های گندم از محلول هیپوکلریت سدیم (۰.۰۷٪) به مدت ۱۵ min استفاده گردید. دانه‌های استریل شده به مدت ۲۴ h در دمای اتاق در آب استریل (۳:۱ وزنی / حجمی) خیسانده و سپس دانه‌ها به پارچه استریل منتقل و به منظور جوانه‌زدن در انکوباتور استریل با دمای °C ۱۰ به مدت ۷۲ h قرار داده شد.

### ۲.۲. آماده‌سازی پوشش، پوشش‌دهی و بسته‌بندی

برای تهیه موسیلاژ دانه ریحان، فرایند استخراج از روش کوچکی و همکاران [۲۸] با اندکی تغییر استفاده گردید. استخراج موسیلاژ دانه ریحان با استفاده از آب دوبار

4. MAP-Henkelman  
5. 78.09% N2, 20.95% O2, 0.03% CO2 & 0.93% Argon  
6. HunterLab Reston, VA

1. Wheat grains  
2. *Ocimum basilicum*  
3. Singh *et al.*

۴.۲. ارزیابی حسی (رنگ، بو و پذیرش کلی)  
 ارزیابی حسی، توسط ۲۵ نفر از دانشجویان گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد در محدوده سنی ۲۰ تا ۳۰ سال انجام گردید. نمونه‌ها توسط ارزیابان آموزش دیده شده با استفاده از مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای در فواصل زمانی نگهداری در روزهای صفر، ۳، ۶ و ۹ روز مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی پلی‌اتیلنی در بسته و دارای کدهای تصادفی قرار داده شد و سپس از نظر ویژگی‌های حسی (رنگ، بو و پذیرش کلی) مورد ارزیابی قرار گرفت. بالاترین امتیاز ۵ (بسیار خوب) و پائین‌ترین امتیاز ۱ (بسیار بد) لحاظ گردید [۲۶، ۶].

$$C = C_0 - Kt \quad (2)$$

$$\ln C = \ln C_0 - Kt \quad (3)$$

که  $C_0$  غلظت شاخص کیفیت در زمان صفر است [۳۴].  
 با توجه به وابستگی ثابت سرعت واکنش ( $K$ ) به دما برای به دست آوردن آن از رابطه آرنیوس استفاده می‌شود [۳۵، ۳۳]  

$$K = K_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

که  $E_a$  انرژی فعال‌سازی ( $\text{Kcal.mol}^{-1}$ )،  $R$  ثابت گازها ( $\text{Kcal.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ )،  $K_0$  فاکتور پیش‌نمایی و  $T$  دمای مطلق ( $K$ ) می‌باشد. مدل آرنیوس نیازمند ارزیابی دو پارامتر است که مستقل از دما فرض می‌شوند [۳۳].

## ۶.۲. بررسی همبستگی رنگ حسی و دستگاهی (شاخص روشنایی)

از آنجایی که رنگ یک ویژگی اصلی برای ارزیابی ماده غذایی توسط مصرف‌کننده محسوب می‌شود، بنابراین برای درک رابطه بین داده‌های دستگاهی و حسی به بررسی‌های بیشتری نیاز است. در نتیجه همبستگی بین داده‌های دستگاهی و حسی رنگ در جوانه‌های گندم تازه حائز اهمیت است.

## ۷.۲. آنالیز آماری

نتایج حاصل با استفاده از طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با سه تکرار به کمک نرم‌افزار SPSS (V 20) آنالیز گردید و در صورت معنادار بودن اثر تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ مقایسه میانگین انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Office Excel (۲۰۱۰) ترسیم گردید. به‌منظور برازش داده‌های پارامترهای روشنایی و پذیرش کلی با مدل‌های مختلف از نرم‌افزار Office Excel (۲۰۱۰) استفاده

۵.۲. مدل ریاضی سینتیک تغییرات ویژگی‌های حسی (پذیرش کلی) و دستگاهی (رنگ-شاخص روشنایی)  
 مدل‌سازی ابزار مفیدی برای کنترل و پیش‌بینی تغییرات شاخص‌های کیفی مواد غذایی می‌باشد. از آنجایی که ماده غذایی از نظر ترمودینامیکی ناپایدار است، مدل‌سازی روش سیستماتیک برای توصیف فرایند تخریب محسوب می‌شود. از مدل‌ها برای توصیف تغییرات کیفی بیرونی مانند رنگ و بافت و تغییرات کیفی درونی مانند کربوهیدرات‌ها، اسیدها و فنول‌ها استفاده می‌گردد. همچنین مدل می‌تواند برای توصیف تولید ترکیبات نامطلوب مانند آکریل آمید یا غیر فعال‌سازی آنزیم و میکروارگانیسم‌ها به‌کار رود [۳۱].  
 معمولاً واکنش‌های درجه صفر و اول برای توصیف واکنش‌های تخریبی در مواد غذایی استفاده می‌شود [۳۲، ۳۳]، بنابراین از فرمول سینتیک کلی، معادله (۱)، استفاده می‌گردد.

$$\frac{dc}{dt} = -kc^m \quad (1)$$

که  $C$  غلظت شاخص کیفیت،  $K$  ثابت سرعت واکنش

گردید.

## ۳. نتایج و بحث

۱.۳. رنگ دستگاهی (روشنایی -  $L^*$ )

یکی از پارامترهای کیفی مهم برای تعیین طراوت جوانه‌های گندم تازه، میزان روشنایی رنگ محصول است. عمده‌ترین علائم زوال در جوانه‌های گندم، تیره شدن یا از بین رفتن میزان روشنایی می‌باشد. به طوری که، با گذشت زمان و افزایش مدت نگهداری از میزان روشنایی جوانه‌ها کاسته می‌شود. بنابراین مهم‌ترین پارامتر، شاخص  $L^*$  است. ارزیابی رنگ جوانه‌ها، شامل رنگ سطح بیرونی جوانه‌ها و بخش هیپوکوتیل<sup>۱</sup> می‌باشد. تغییر روشنایی در هر بخش (سطح بیرونی و هیپوکوتیل) از جوانه‌های گندم منجر به کاهش کیفیت، عدم جذابیت و پذیرش توسط مصرف‌کننده می‌شود. اندازه‌گیری رنگ جوانه‌های گندم در فواصل زمانی سه روز، تا روز نهم نگهداری برای هر نمونه انجام شد. روند تغییرات روشنایی جوانه‌های گندم برای تمام نمونه‌ها در دمای  $10^\circ\text{C}$  به ترتیب در شکل‌های (۱)، (۲) و (۳) قسمت (C) آمده است که نشان‌دهنده اثر هم‌زمان پوشش - منفذ (شکل ۱ - C)، اثر هم‌زمان پوشش - مدت ذخیره‌سازی (شکل ۲ - C) و اثر هم‌زمان منفذ - مدت ذخیره‌سازی (شکل ۳ - C) است و نیز نتایج آنالیز واریانس داده‌ها در جدول (۱) آمده است. براساس نتایج آنالیز واریانس داده‌ها، نشان داده شد که پوشش، وجود / عدم وجود منفذ و تعداد آن و مدت زمان

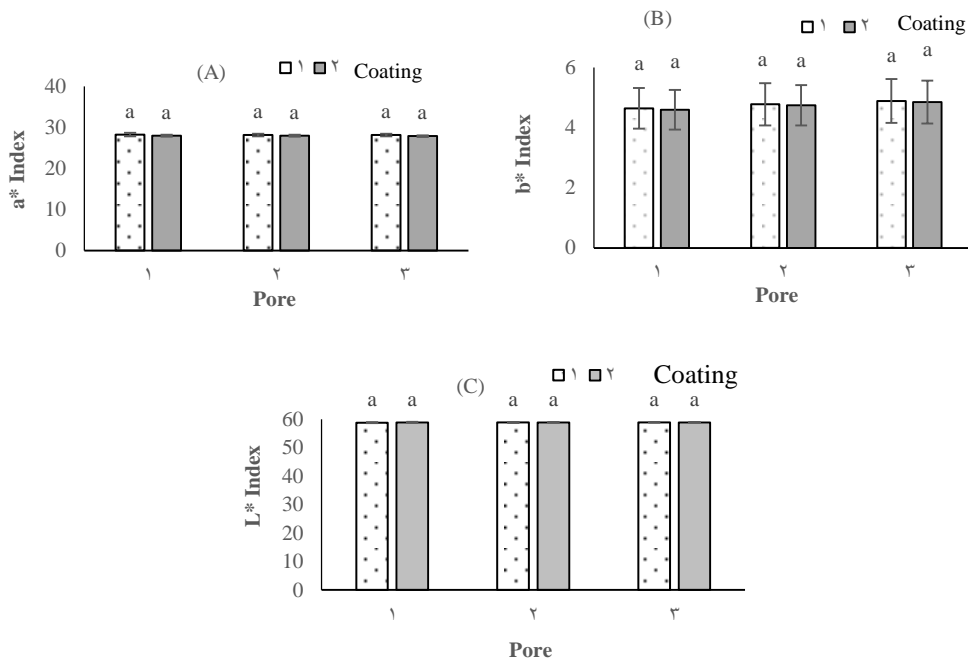
نگهداری و اثر هم‌زمان دوگانه فاکتورهای فوق بر  $L^*$  جوانه‌های گندم تازه رقم پارسی از نظر آماری معنادار است ( $P < 0.05$ ). در مطالعه حاضر کاهش محسوسی بین  $L^*$  نمونه‌های پوشش‌داده شده و نمونه‌های فاقد پوشش مشاهده شد که نشان‌دهنده تمایل به تیره‌شدن در نمونه‌های فاقد پوشش می‌باشد. بنابر نتایج، حداکثر افت روشنایی در بسته‌های فاقد منفذ مشاهده شد. تیره شدن سطح بیرونی و زرد شدن هیپوکوتیل جوانه‌های گندم در طی ۹ روز نگهداری در نمونه‌های فاقد منفذ و پوشش بیشتر بود. به نظر می‌رسد تغییر ترکیبات گازی در بسته‌ها بر میزان کدورت سطح بیرونی و زرد شدن هیپوکوتیل مؤثر است و ممکن است کاهش مقدار  $L^*$  به واکنش‌های قهوه‌ای شدن مرتبط باشد [۳۶]. علاوه بر آن، می‌توان علت پائین بودن  $L^*$  در نمونه‌های بسته‌بندی‌شده در بسته‌های بدون منفذ به‌ویژه NCNP را مصرف اکسیژن موجود در بسته و تولید دی‌اکسیدکربن و اتانول مرتبط دانست که خود سبب تغییر فرایند تنفس هوازی به بی‌هوازی و تخریب رنگدانه و کدر شدن رنگ جوانه‌های گندم تازه شد. نتایج فوق با نتایج حاصل از مطالعه چاوهان و همکاران [۳۷] ولی و همکاران [۳۸] بر روی سیب و نتایج بررسی‌های ساین و همکاران [۲۷] در مورد جوانه نخود و دل‌وال و همکاران [۳۰] برای توت‌فرنگی، همچنین نتایج کاهش میزان روشنایی ( $L^*$ ) گزارش‌شده توسط سیرا و همکاران [۳۵] برای میوه‌های نارس و سالکدو و همکاران [۳۹] برای آووکادو و قیدلی و همکاران [۴۰] مطابقت دارد [۳۵، ۳۹].

جدول (۱) آنالیز واریانس پارامترهای کیفی رنگ شامل ( $L^*$ )، ( $a^*$ ) و ( $b^*$ )  
Table 1. Analysis of variance (mean squares) for light,  $a^*$  Index and  $b^*$  Index

| Source   | Df | $L^*$ Index       | $a^*$ Index       | $b^*$ Index        |
|----------|----|-------------------|-------------------|--------------------|
| C (Coat) | 1  | 0.02 <sup>a</sup> | 0.94 <sup>c</sup> | 0.03 <sup>b</sup>  |
| P (Pore) | 2  | 0.06 <sup>c</sup> | 0.08 <sup>c</sup> | 0.38 <sup>c</sup>  |
| D (Day)  | 3  | 0.17 <sup>c</sup> | 1.71 <sup>c</sup> | 10.37 <sup>c</sup> |
| C×P      | 2  | 0.001             | 0.01              | 0.0001             |
| C×D      | 3  | 0.002             | 0.11 <sup>c</sup> | 0.003              |
| P×D      | 6  | 0.01 <sup>a</sup> | 0.01 <sup>a</sup> | 0.07 <sup>c</sup>  |
| C×P×D    | 6  | 0.0002            | 0.002             | 0.001              |

a, b و c به ترتیب نشان‌دهنده معناداربودن در سطوح ۵، ۱ و ۰/۰۱ درصد می‌باشد.

a, b & c Significant at the 5, 1 and 0.01% levels of probability, respectively; df degrees of freedom



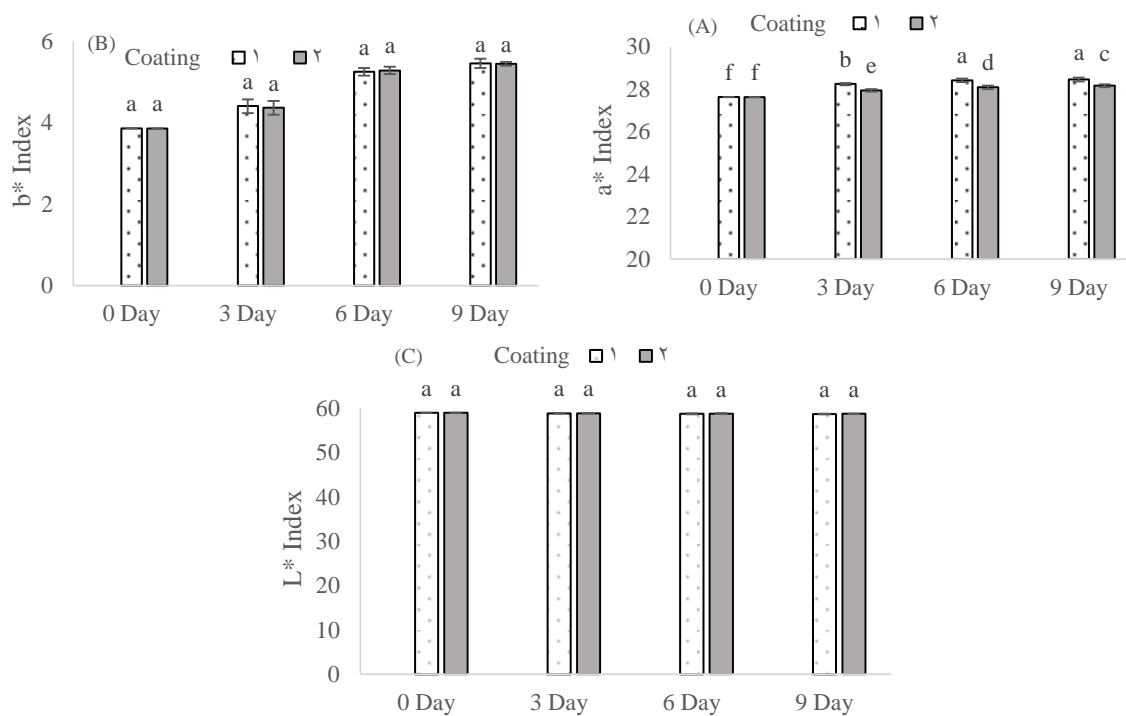
شکل (۱) اثر هم‌زمان پوشش و منفذ بر پارامترهای کیفی  $a^*$  (A)،  $b^*$  (B) و  $L^*$  (C) در جوانه‌های گندم تازه رقم پارسی طی مدت نگهداری  
**Fig. 1.** The coat  $\times$  pore interaction on  $L^*$  (C),  $a^*$  (A) &  $b^*$  (B) in fresh wheat sprouts (of Parsi V) during the storage time, respectively

مؤثر باشد [۴۱]. علاوه بر آن افزایش این شاخص می‌تواند با اکسیداسیون ترکیبات فنولی توسط آنزیم پلی‌فنول اکسیداز مرتبط باشد [۴۲]. با افزایش  $a^*$ ، رنگ بیشتر به سمت قهوه‌ای شدن تغییر می‌کند. گزارش شده است که با افزایش مدت زمان جوانه‌زنی یا نگهداری دانه‌های جوانه زده، شاخص‌های  $a^*$  و  $b^*$  که به ترتیب نشان‌دهنده قرمزی و زردی می‌باشند، افزایش یافتند که می‌توان به هیدرولیز نشاسته و پروتئین‌های موجود در دانه جوانه‌زده و متعاقباً تولید ترکیبات ناشی از واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی (میلارد)، مرتبط دانست [۴۳]. نتایج فوق با نتایج به دست آمده توسط ارزیاب‌ها از ارزیابی حسی که با افزایش تغییر رنگ ناشی از کاهش روشنایی و افزایش شدت بو در جوانه‌های گندم همراه بود، مطابقت دارد.

اثر هم‌زمان پوشش-منفذ، پوشش-مدت ذخیره‌سازی و منفذ-مدت ذخیره‌سازی به ترتیب در شکل‌های (۱) تا (۳) قسمت (A) آورده شده است.

شاخص  $a^*$  مربوط به سبزی و قرمزی رنگ نمونه‌ها می‌باشد (۱۲۰+ تا ۱۲۰-). آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که مدت زمان نگهداری، وجود منفذ و پوشش به‌طور قابل‌توجهی بر شاخص  $a^*$  مؤثر است ( $P < 0.05$ ) که در جدول (۱) آمده است.  $a^*$  شاخص قرمزی را نشان می‌دهد. تغییر در پارامتر  $a^*$  پس از ۹ روز نگهداری، نشان‌دهنده افزایش رنگ قرمز است. تغییرات در شاخص  $a^*$  در تمام نمونه‌ها با افزایش همراه بود که تغییرات این شاخص در NCNP، نسبت به سایر تیمارها شدت بیشتری داشت و افزایش شاخص  $a^*$  در نمونه‌های حاوی پوشش موسیلاژی، کندتر گزارش شد. نتایج نشان داد که پوشش موسیلاژی BSM از افزایش شاخص  $a^*$  در نمونه‌های پوشش‌دهی شده ممانعت کرد. نتایج فوق با نتایج لی و همکاران [۳۸] در مورد سیب درختی مطابقت دارد. افزایش شاخص  $a^*$  ممکن است به دلیل تغییر در ترکیب گازی داخل بسته در حین ذخیره‌سازی باشد؛ به نظر می‌رسد غلظت‌های بالای دی‌اکسید کربن، افزایش اسیدیتته و اسیدی شدن محصول و نیز شدت تنفس بر میزان افزایش مؤلفه  $a^*$



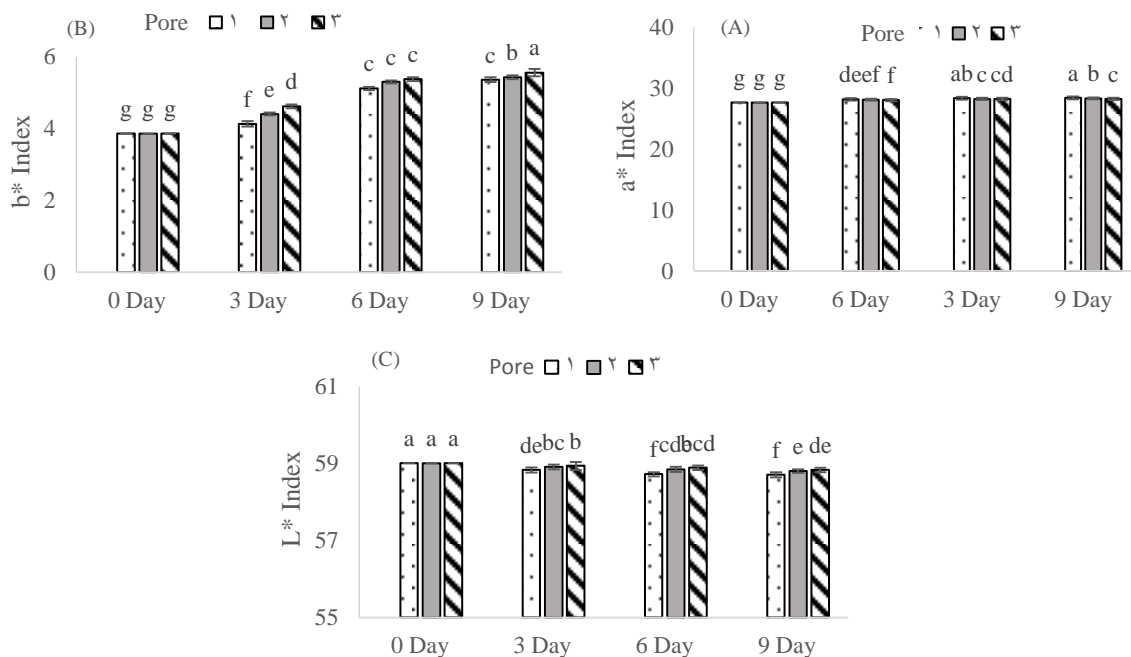


شکل (۲) به ترتیب اثر متقابل پوشش و مدت نگهداری بر پارامترهای کیفی  $a^*$  (A)،  $b^*$  (B) و  $L^*$  (C) در جوانه‌های گندم تازه رقم پارسا طی مدت نگهداری

Fig. 2. The coat  $\times$  day interaction on  $L^*$  (C),  $a^*$  (A) &  $b^*$  (B) in fresh wheat sprouts (of Parsi.V) during the storage time, respectively

یافت که ممکن است به دلیل ورود بیشتر  $O_2$  باشد که حضور اکسیژن بر انجام واکنش‌های آنزیمی مانند قهوه‌ای شدن آنزیمی مؤثر است. بنابراین، تغییر در زردی جوانه‌های گندم را می‌توان به تغییر ترکیب گازی بسته‌ها در حین ذخیره‌سازی نسبت داد. علاوه بر آن، تغییر در  $b^*$  می‌تواند به دلیل تخریب کلروفیل و سنتز بیشتر رنگ دانه‌هایی با رنگ زرد مانند کاروتینوئیدها باشد [۳۵]. در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با BSM، شدت زرد شدن کمتر گزارش شد که ممکن است به دلیل ویژگی ممانعت‌کنندگی پوشش‌های خوراکی نسبت به گازها باشد. تغییر در شاخص  $b^*$  در نمونه‌های فاقد پوشش و منفذ به مراتب بیشتر بود.

شاخص  $b^*$  نشان‌دهنده زردی و آبی بودن رنگ نمونه‌ها است. آنالیز واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که شاخص  $b^*$  به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر پوشش، منفذ و مدت نگهداری قرار گرفته است ( $P < 0.05$ ). نتایج نشان داد کمترین تغییرات  $b^*$  در بسته‌های حاوی نمونه‌های پوشش‌دهی شده و بسته‌های منفذدار بود. نتایج اثر هم‌زمان منفذ، پوشش و زمان ذخیره‌سازی بر شاخص  $b^*$  جوانه‌های گندم تازه رقم پارسا در شکل (۱) تا (۳) قسمت (B) آمده است. مقدار  $b^*$  اولیه ۳/۸۶ بود که با گذشت زمان و طی مدت نگهداری افزایش یافت. جوانه‌ها، به مرور زمان با کاهش  $L^*$ ، تیره و با افزایش  $b^*$ ، زرد شدند. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد منافذ، میزان زرد شدن رنگ جوانه‌های گندم تازه افزایش



شکل (۳) اثر هم‌زمان منفذ و مدت نگهداری بر پارامترهای کیفی  $a^*$  (A)،  $b^*$  (B) و  $L^*$  (C) در جوانه‌های گندم تازه رقم پارسی طی مدت نگهداری  
**Fig. 3.** The day  $\times$  pore interaction on  $L^*$  (C),  $a^*$  (A) &  $b^*$  (B) in fresh wheat sprouts (of Parsi.V) during the storage time

### ۲.۳. آنالیز حسی جوانه‌های گندم

شاخص حسی بو از طرف ارزیاب‌ها پذیرفته نشد، اما با این حال نمونه‌های پوشش‌دهی شده با موسیلاژ دانه ریحان و نگهداری شده در بسته‌های حاوی دو منفذ به‌مراتب وضعیت مناسب‌تری داشتند. به‌نظر می‌رسد تغییر ترکیب گازی و تولید اتانول از عوامل مؤثر بر ویژگی حسی بو باشند. براساس شکل، بیشترین کاهش در نمونه‌های فاقد پوشش و فاقد منفذ مشاهده شد. نمونه تیمار شده با محلول پوششی BSM و بسته‌بندی شده در فیلم پلی‌اتیلنی دارای دو منفذ کم‌ترین کاهش بو را در طی ۹ روز نگهداری به خود اختصاص داد. از دیگر عوامل مهم در ارزیابی حسی جوانه گندم تازه، ارزیابی رنگ جوانه‌ها، می‌باشد. نتایج آنالیز واریانس رنگ حسی نشان داد که پوشش، منفذ و زمان نگهداری و اثر هم-زمان آن‌ها بر رنگ حسی به‌طور معناداری مؤثر است ( $P < 0.05$ ). شکل (۵) رنگ حسی در جوانه گندم تازه رقم پارسی را نشان می‌دهد. پارامتر رنگ به‌دست‌آمده از آزمون حسی در جوانه‌های گندم در طی ۹ روز نگهداری، کاهش داشته است. براساس شکل، کم‌ترین کاهش و تغییر رنگ ارزیابی‌شده در نمونه‌های دارای پوشش و منفذ و بدون پوشش و دارای منفذ مشاهده شد. باوجود اینکه نمونه‌ها از

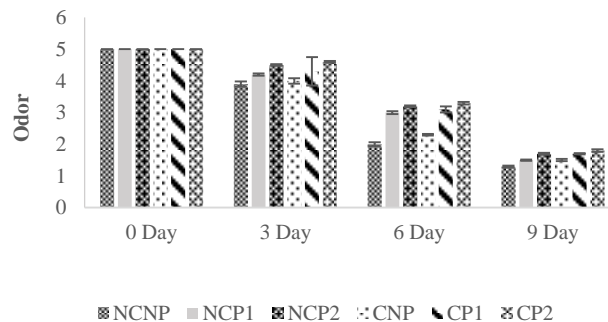
ماندگاری محصولات ذخیره‌شده تا حد زیادی تحت تأثیر پارامترهای کیفی و بصری مانند بو و رنگ، صرف‌نظر از پارامترهای تعیین‌شده عینی یا ابزاری قرار دارد. بنابراین اثر پوشش BSM، بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده و زمان نگهداری بر ویژگی‌های حسی مانند بو، رنگ و پذیرش کلی مورد بررسی قرار گرفت. یکی از عمده‌ترین پارامترهای مؤثر بر کیفیت در ارزیابی حسی، بوی جوانه‌های گندم است که با افزایش مدت نگهداری تغییر می‌کند و به اصطلاح تیز می‌شود. براساس نتایج آنالیز واریانس، نشان داده شد که در طی مدت نگهداری پوشش، منفذ و زمان نگهداری و نیز اثرات هم‌زمان آن‌ها در بین تیمارها معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). یافته‌های این مطالعه با نتایج D'ambrosio و همکاران [۴۴] برای جوانه‌های کینوا و Aharoni و همکاران [۴۵] برای کلم بروکلی مطابقت داشت. شکل (۴) ویژگی‌های حسی-بو در جوانه گندم را نشان می‌دهد. پارامتر بو در جوانه‌های گندم در طی ۹ روز نگهداری، کاهش داشته است. تمام نمونه‌های نگهداری شده در پایان روز نهم از نظر

آنالیز واریانس ویژگی‌های حسی - پذیرش کلی در جوانه گندم نشان داد که اثر پوشش، منفذ و مدت زمان بسته‌بندی از نظر آماری معنادار است ( $P < 0.05$ ). همچنین اثر همزمان آن‌ها نیز از نظر آماری معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ).

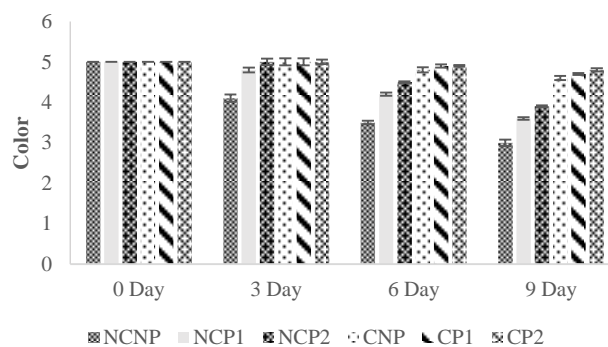
علت کاهش امتیاز در نمونه‌های فاقد منفذ می‌تواند به دلیل مصرف اکسیژن و ایجاد شرایط بی‌هوازی و تولید اتانول باشد. نتایج حاصل، با نتایج پژوهش پورشریف و همکاران برای پرتقال تامسون مطابقت دارد [۴۶]. این نتایج نشان داد که ارزیاب‌ها معتقدند، نگهداری طولانی مدت جوانه‌های گندم تحت سیستم MAP بدون منفذ روش مناسبی جهت حفظ ویژگی‌های کیفی جوانه‌های گندم رقم پارسا محسوب نمی‌شود.

نظر آماری مورد پذیرش بودند اما  $CP_2$  تنها نمونه مورد قبول از نظر رنگ بود. براساس شکل، کم‌ترین کاهش و تغییر رنگ ارزیابی‌شده در نمونه‌های دارای پوشش و منفذ و بدون پوشش و دارای منفذ مشاهده شد.

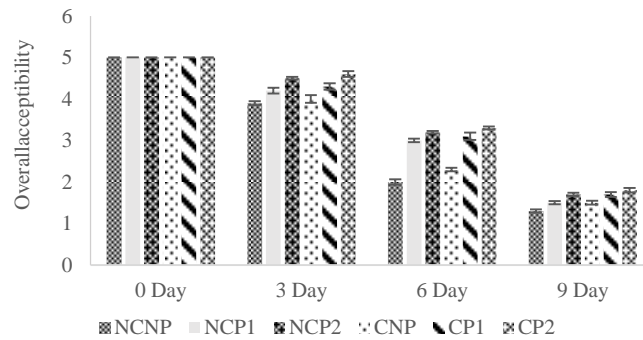
شکل (۶) ویژگی‌های حسی - پذیرش کلی جوانه گندم را نشان می‌دهد. پذیرش کلی جوانه‌های گندم در طی ۹ روز نگهداری، کاهش داشته است. گرچه نمونه‌ها از نظر آماری و برخلاف کاهش امتیازات طی مدت نگهداری، پذیرفته شدند. اما نمونه‌های دارای پوشش موسیلاژی و فاقد پوشش درون بسته‌های حاوی منفذ از لحاظ آماری بیشتر مورد پذیرش قرار گرفتند. سیستم MAP به ترتیب با دو منفذ و دارای پوشش و دو منفذ و بدون پوشش بهترین نتیجه را نشان داد،



شکل (۴) اثر پوشش موسیلاژی، MAP و مدت نگهداری بر ارزیابی حسی - بو در جوانه‌های گندم تازه رقم پارسا  
**Fig. 4.** The effect of BSM-based coating, MAP and storage time on sensory evaluations (odor) of fresh wheat sprouts (Parsi V.)



شکل (۵) اثر پوشش موسیلاژی، MAP و مدت نگهداری بر رنگ حسی جوانه‌های گندم تازه رقم پارسا  
**Fig. 5.** The effect of BSM-based coating, MAP and storage time on sensory color of fresh wheat sprouts (Parsi V.)

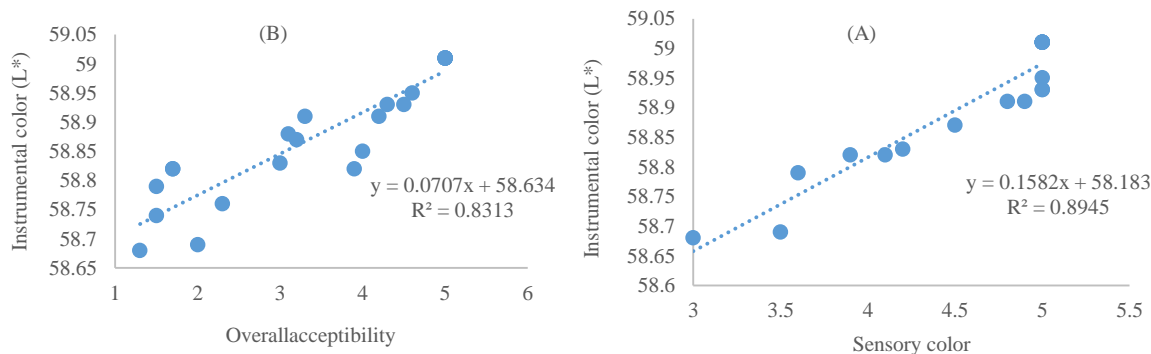


شکل (۶) اثر پوشش موسیلاژی، MAP و مدت نگهداری بر ارزیابی حسی - پذیرش کلی جوانه‌های گندم تازه رقم پارسی  
**Fig. 6.** The effect of BSM-based coating MAP and storage time on sensory overall acceptability of fresh wheat sprouts (Parsi V)

### ۳.۳. همبستگی بین داده‌های حسی و دستگای رنگ

روشنایی) نیز افزایش یافته است. همبستگی بالا به این معناست که می‌توان ویژگی‌های حسی را از مقادیر رنگ دستگای پیش‌بینی نمود. ارتباط بین نتایج رنگ دستگای (شاخص روشنایی) - رنگ حسی در شکل (A - Y) و رنگ دستگای (شاخص روشنایی) - پذیرش کلی (B - Y) نشان داده شده است. آنالیز پیرسون بر همبستگی معنادار نتایج به‌دست‌آمده از هر دو روش دلالت می‌کند ( $P < 0.05$ ). از طرفی ضریب همبستگی بالای ۰/۹۴ و ۰/۹۱ به ترتیب برای رنگ حسی-رنگ دستگای و پذیرش کلی-رنگ دستگای (شاخص روشنایی) و ضریب تعیین بالا ۰/۸۹ و ۰/۸۳ به ترتیب برای رنگ حسی-رنگ دستگای (شاخص روشنایی) و پذیرش کلی-رنگ نشان‌دهنده تائید همبستگی قوی می‌باشد.

برای میزان همبستگی متغیرهای حسی (پذیرش کلی و رنگ) با متغیر رنگ دستگای از آزمون پیرسون استفاده شد و ضریب همبستگی پیرسون ارتباط بین متغیرها را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی پیرسون، بین -۱ و ۱ می‌باشد، چنانچه دو متغیر تمایل به افزایش با یکدیگر را داشته باشند، ضریب همبستگی پیرسون عددی مثبت خواهد بود و چنانچه یکی تمایل به افزایش و دیگری کاهش داشته باشد، ضریب همبستگی پیرسون منفی خواهد بود. به عبارت دیگر، همبستگی رنگ دستگای (شاخص روشنایی) - رنگ حسی، رنگ حسی - پذیرش کلی و رنگ دستگای (شاخص روشنایی) - پذیرش کلی دارای ارتباط مثبت است، چراکه با افزایش رنگ حسی و پذیرش کلی، رنگ دستگای (شاخص



شکل (۷) همبستگی بین نتایج میزان رنگ دستگای و رنگ حاصل از ارزیابی حسی (A) و میزان رنگ دستگای (شاخص روشنایی) و پذیرش کلی در جوانه‌های گندم تازه رقم پارسی (B)

**Fig. 7.** the correlation between instrumental color & sensory color (A), the correlation between overall acceptability & instrumental color (B)

ارزیابی روشنایی ( $L^*$ ) مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور مدل‌سازی جوانه‌های گندم تازه (رقم پارسی)، براساس سینتیک تغییرات رنگ با استفاده از مدل‌های درجه صفر و اول، مدل‌سازی سینتیک تغییرات روشنایی ( $L^*$ ) برای جوانه‌های گندم انجام شد. مناسب‌ترین مدل توصیف‌کننده با استفاده از ضریب تعیین به دست آمد. جدول (۲) نشان‌دهنده ضریب تعیین در جوانه‌های گندم تازه می‌باشد. با توجه به این جدول، به‌دلیل بالا بودن این ضریب، مدل درجه صفر (معادله ۲) برای مدل‌سازی سینتیک تغییرات روشنایی، به‌عنوان مدل نهایی برای توصیف نتایج استفاده شد.

۴.۳. مدل‌سازی سینتیک جوانه گندم براساس ارزیابی حسی-پذیرش کلی و رنگ دستگاهی-روشنایی ( $L^*$ )

۱.۴.۳. مدل‌سازی سینتیک میزان روشنایی ( $L^*$ ) جوانه‌های گندم

از آنجایی که رنگ (سطح بیرونی و هیپوکوتیل) جوانه‌های گندم به‌عنوان یکی از پارامترهای کیفی محسوب می‌شود و از نظر ظاهری برای مصرف‌کننده بسیار حائز اهمیت است، بنابراین مدل‌سازی جوانه‌های گندم براساس روشنایی ( $L^*$ ) انجام پذیرفت و همبستگی نتایج مدل به‌دست‌آمده از

جدول (۲) نتایج مدل‌های مختلف براساس ضریب تعیین برای پارامترهای روشنایی و پذیرش کلی در جوانه‌های گندم تازه رقم پارسی  
**Table 2.** Results of different models in terms of Coefficient of Determination ( $R^2$ ), for lightness and sensory overall acceptability of fresh wheat sprouts (Parsi.V)

| Model | overall acceptability |             | Lightness ( $L^*$ ) |             |
|-------|-----------------------|-------------|---------------------|-------------|
|       | Zero Order            | First Order | Zero Order          | First Order |
| $R^2$ | 0.97                  | 0.91        | 0.92                | 0.94        |

با سرعت بالاتری انجام می‌شود [۵۰]. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش فوق، با نتایج گزارش‌شده مقادیر انرژی فعال‌سازی برای تغییر رنگ چغندر، نخود سبز، بادمجان و فلفل سبز مشابهت داشت [۲۲، ۴۷]. میزان انرژی فعال‌سازی، ضریب تعیین، فاکتور پیش‌نمایی در جدول (۳) آمده است. بالا بودن ضرایب تعیین، ثابت‌کننده برازش معادله درجه صفر و رابطه آرنیوس است. همان‌طور که در جدول (۳) مشخص است در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با موسیلاژ دانه ریحان و بسته‌بندی‌شده درون بسته‌های حاوی منفذ انرژی فعال‌سازی بالاتری گزارش شد که نشان‌دهنده حساسیت کمتر نسبت به تخریب و تغییر رنگ است. در این بین، نمونه دارای پوشش BSM و دو منفذ، کم‌ترین فاکتور پیش‌نمایی را داشت، بدین مفهوم که مدت ماندگاری بالاتری دارد.

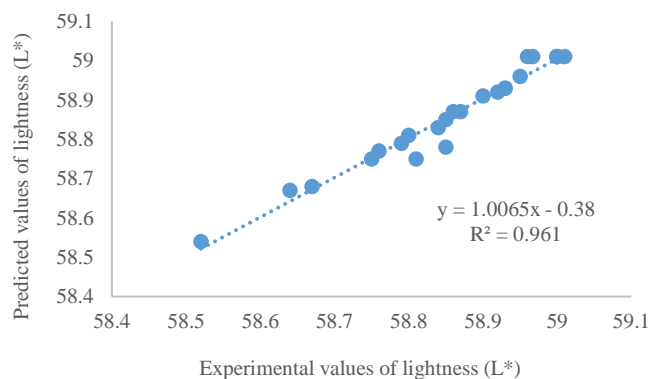
به‌منظور تعیین انرژی فعال‌سازی ( $E_a$ ) و ثابت سرعت واکنش ( $K$ ) در دمای ثابت، ثابت سرعت واکنش برحسب معکوس دما، مطابق رابطه آرنیوس ترسیم می‌شود. شیب نمودار بیان‌کننده انرژی فعال‌سازی است. انرژی فعال‌سازی بیان‌کننده وابستگی تغییرات سینتیک تحت شرایط تجربی به دمای نگهداری می‌باشد. به‌عبارت دیگر، انرژی فعال‌سازی نشان‌دهنده حساسیت پارامترهای کیفی نسبت به دما است و ثابت سرعت واکنش نیز توصیف‌کننده میزان تغییر پارامتر است. مقادیر بزرگ‌تر ثابت سرعت واکنش و مقادیر کوچک‌تر انرژی فعال‌سازی نشان‌دهنده سرعت تخریب بالاتر می‌باشد. به‌عبارت دیگر، بالا بودن انرژی فعال‌سازی نشانه کم بودن سرعت واکنش است [۴۷-۴۹]. بنابر گزارش محققین، مقدار بالای انرژی فعال‌سازی نشان می‌دهد که واکنش‌های بیوشیمیایی در دماهای پائین با سرعت کمتر و در دماهای بالا

جدول (۳) ضریب تعیین ( $R^2$ )، انرژی فعال‌سازی (Ea) و فاکتور پیش‌نمایی ( $K_0$ ) برای روشنایی در جوانه‌های گندم تازه رقم پارسی

**Table 3.** Coefficient of Determination ( $R^2$ ), activation energy, (Ea) and Pre-exponential Factor of lightness of fresh wheat sprouts (Parsi.V)

| Treatment        | $R^2$ | $K_0 (s^{-1})$ | Ea  ( $kcal.mol^{-1}$ ) |
|------------------|-------|----------------|-------------------------|
| NCNP             | 0.88  | 0.026          | 5264.226                |
| NCP <sub>1</sub> | 0.96  | 0.014          | 5596.074                |
| NCP <sub>2</sub> | 0.98  | 0.012          | 6600.924                |
| CNP              | 0.89  | 0.019          | 6572.016                |
| CP <sub>1</sub>  | 0.99  | 0.014          | 9482.616                |
| CP <sub>2</sub>  | 0.99  | 0.011          | 9876.438                |

جهت تأیید مدل سینتیکی روشنایی، مقادیر پیش‌بینی‌شده با (۸) ضریب تعیین بالای مدل ( $R^2 = 0.96$ ) بیانگر اعتبار مدل مقادیر اندازه‌گیری شده برای این شاخص مقایسه شد (شکل براساس روند تغییر روشنایی است [۵۱]).



شکل (۸) همبستگی بین داده‌های تجربی و داده‌های پیش‌بینی‌شده توسط مدل درجه صفر برای روشنایی جوانه گندم تازه رقم پارسی

**Fig. 8.** The Correlation between experimental data and predicted data by zero order kinetic for lightness ( $L^*$ )

(۲) به‌عنوان مدل نهایی استفاده شد. نتایج رگرسیون پذیرش کلی با توجه به معادله آرنیوس در جدول (۴) آمده است. با توجه به جدول (۴) بالاترین انرژی فعال‌سازی ( $1473/85 kcal.mol^{-1}$ ) متعلق به نمونه حاوی پوشش BSM و بسته‌های حاوی دو منفذ ( $CP_2$ ) می‌باشد. نتایج نشان داد که استفاده از پوشش خوراکی و سیستم MAP بر افزایش زمان ماندگاری مؤثر است، در این بین نمونه دارای پوشش و بسته‌بندی‌شده در اتمسفر اصلاح‌شده دارای دو منفذ ماندگاری بالاتری براساس پذیرش کلی دارد.

### ۲.۴.۳. مدل‌سازی سینتیکی ارزیابی حسی - پذیرش کلی

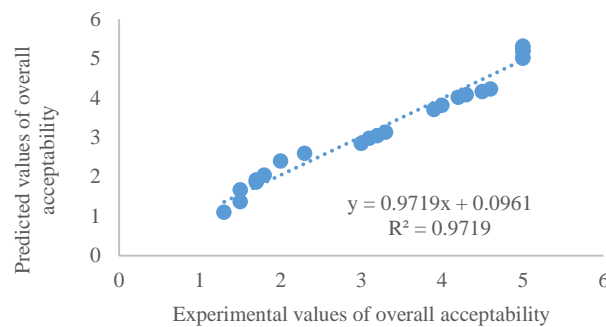
به‌منظور مدل‌سازی جوانه‌های گندم تازه (رقم پارسی)، براساس روش ارزیابی حسی - پذیرش کلی، با استفاده از مدل‌های درجه صفر و اول، مدل‌سازی سینتیکی پذیرش کلی برای جوانه‌های گندم انجام شد که براساس ضریب همبستگی بین داده‌های تجربی و پیش‌بینی‌شده، مناسب‌ترین مدل با توجه به داده‌های ارائه‌شده در جدول (۲) انتخاب گردید؛ بنابراین جهت مدل‌سازی جوانه‌های گندم تازه براساس پذیرش کلی، مدل سینتیکی درجه صفر (معادله

**جدول (۴) ضریب تعیین ( $R^2$ )، انرژی فعال سازی (Ea) و فاکتور پیش‌نمایی ( $K_0$ ) برای پذیرش کلی در جوانه‌های گندم تازه رقم پارسی**

**Table 4.** Coefficient of Determination ( $R^2$ ), activation energy, (Ea) and Pre-exponential Factor of sensory overall acceptability of fresh

| Treatment        | wheat sprouts (Parsi.V) |                    |                         |
|------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
|                  | $R^2$                   | $K_0$ ( $s^{-1}$ ) | Ea  ( $kcal.mol^{-1}$ ) |
| NCNP             | 0.97                    | 0.39               | 870.5                   |
| NCP <sub>1</sub> | 0.98                    | 0.36               | 1044.9                  |
| NCP <sub>2</sub> | 0.95                    | 0.34               | 1440.45                 |
| CNP              | 0.98                    | 0.37               | 810.13                  |
| CP <sub>1</sub>  | 0.97                    | 0.34               | 1131.45                 |
| CP <sub>2</sub>  | 0.93                    | 0.33               | 1473.85                 |

برای تأیید مدل سینتیکی ارزیابی حسی (پذیرش کلی)، مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده برای این شاخص مقایسه شد (شکل ۹). ضریب تعیین بالای مدل



**شکل (۹) همبستگی بین داده‌های تجربی و داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل درجه صفر برای پذیرش کلی جوانه گندم تازه رقم پارسی**  
**Fig. 9.** The Correlation between experimental data and predicted data by zero order kinetic for sensory evaluations (overall acceptability)

۴. نتیجه‌گیری  
 از مدل‌های مختلف ریاضی برای نشان دادن تغییرات روشنایی و پذیرش کلی به‌عنوان تابعی از دمای ذخیره‌سازی جوانه گندم رقم پارسی استفاده شد. برای بیان تغییرات در پذیرش کلی و روشنایی از مدل درجه صفر استفاده گردید. اعتبارسنجی هریک از مدل‌های پیشنهادی برای تغییرات روشنایی و پذیرش کلی نشان‌دهنده همبستگی بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده با  $R^2$  بالاتر از ۰/۹۶ بود. از ضریب همبستگی پیرسون برای بیان همبستگی میان خصوصیات حسی و ویژگی فیزیکوشیمیایی استفاده شد که

۵. تقدیر و تشکر  
 این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است (۴۸۱۱۰). نویسندگان به پاس تمام حمایت‌های انجام‌شده از دانشگاه فردوسی مشهد، سپاسگزارند.

| نام گذاری‌ها و واحدها در واحد SI |   |
|----------------------------------|---|
| NCNP                             | فاقد منفذ و پوشش                                      |
| NCP <sub>1</sub>                 | فاقد پوشش و دارای یک منفذ                             |
| NCP <sub>2</sub>                 | فاقد پوشش و دارای دو منفذ                             |
| CNP                              | دارای پوشش و فاقد منفذ                                |
| CP <sub>1</sub>                  | دارای پوشش و یک منفذ                                  |
| CP <sub>2</sub>                  | دارای پوشش و دو منفذ                                  |
| T                                | 237.15 °K   |
| R                                | 1.98 Kcal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>          |
| K                                | s <sup>-1</sup> ; mol.m <sup>-3</sup> s <sup>-1</sup> |
| E <sub>a</sub>                   | Kcal.mol <sup>-1</sup>                                |

## منابع

- [1] Pająk, P., Socha, R., Gałkowska, D., Rożnowski, J., & Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chem.*, 143, 300-306.
- [2] Paško, P., Bartoń, H., Zagrodzki, P., Gorinstein, S., Fołta M., & Z. Zachwieja, Z. (2009). Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chem.*, 115, 994-998.
- [3] Xue, Z., Wang, C., Zhai, L., Yu, W., Chang, H., Kou, X., & Zhou, F. (2016). Bioactive compounds and antioxidant activity of mung bean (*Vigna radiata* L.), soybean (*Glycine max* L.) and black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during the germination process. *Czech J of Food Sci.*, 34, 68-78.
- [4] Sangronis, E., & Machado, C. (2007). Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT-Food Sci & Technol.*, 40, 116-120.
- [5] Mäkinen, O.E., Zannini, E., & K. Arendt, E. (2013). Germination of oat and quinoa and evaluation of the malts as gluten free baking ingredients. *Plant Foods for Hum Nut.*, 68, 90-95.
- [6] Amodio, M. L., Derossi, A., & Colelli, G. (2017). Modeling Shelf Life of Packaged, Ready-to-Eat Fruits and Vegetables with Reference to the Fate of Nutritional Compounds. *Fru and Vege Phytochem: Chem and Hum Heal.*, 833-856.
- [7] Donkor, O., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J., & Vasiljevic, T. (2012). Germinated grains—Sources of bioactive compounds. *Food Chem.*, 135 (3), 950-959.
- [8] Ranjitha, K., & Rao, D. (2014). Modified atmosphere packaging of green gram (*Vigna radiata* L.) sprouts for extending shelf life and acceptance in Indian market. *Asi J of Dai and Food Res.*, 33, 91-97.
- [9] Luna-Guzmán, I., & Barrett, D. M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Post Bio & Technol.*, 19, 61-72.
- [10] Baldwin, E.A., Hagenmaier, R., & Bai, J. (2011). *Edi Coa and Fil to Imp Food Q*: CRC Press.
- [11] Valdés, A., Ramos, M., Beltrán, A., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2017). State of the art of antimicrobial edible coatings for food packaging applications. *Coatings.*, 7(4), 56.
- [12] Meng, X., Li, B., Liu, J., & Tian, S. (2008). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit tocitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chem.*, 106(2), 501-508.
- [13] Jouki, M., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., & Koocheki, A. (2014). Optimization of extraction, antioxidant activity and functional properties of quince seed mucilage by RSM. *Inter J of Bio Macromol.*, 66, 113-124.
- [14] Mahajan, P., Oliveira, F., Sousa, M., Fonseca, S., & Cunha, L. (2006). An interactive design of MAP packaging for fresh produce. *Food Sci and Technol-New York-marcel Dekker.*, 149(3), 119.
- [15] Sousa-Gallagher, M.J., & Mahajan, P. V. (2013). Integrative mathematical modelling for MAP design of fresh produce: Theoretical analysis and experimental validation. *Food C.*, 29(2), 444-450.
- [16] Oliveira, F., Sousa-Gallagher, M., Mahajan, P., & Teixeira, J. (2012). Evaluation of MAP engineering design parameters on quality of fresh-sliced mushrooms. *J of Food Eng.*, 108(4), 507-514.
- [17] Rodriguez-Aguilera, R., & Oliveira, J. C. (2009). Review of design engineering methods and applications of active and modified atmosphere packaging systems. *Food Eng Re*, 1(1), 66-83.
- [18] Hussein, Z., Caleb, O. J., & Opara. U. L. (2015). Perforation-mediated modified atmosphere packaging of fresh and minimally processed produce—A review. *Food Pack and Shelf .*, 6, 7-20.
- [19] Salinas-Hernández, R. M., González-Aguilar, G. A., & Tiznado-Hernández, M. E. (2015). Utilization of physicochemical variables developed from changes in sensory attributes and consumer acceptability to predict the shelf life of fresh-cut mango fruit. *J of Food Sci and Technol.*, 52(1), 63-77.
- [20] Nambi, V. E., Thangavel, V. E., Shahir, V. E., & Chandrasekar, V. (2016). Color kinetics during ripening of Indian mangoes. *Inter J of Food Pro.*, 19(10), 2147-2155.
- [21] Castellanos, D. A., Polanía, W., & Herrera, A. O. (2016). Development of an equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for feijoa fruits and modeling firmness and color evolution. *Post Bio and Technol.*, 120, 193-203.
- [22] Nannyonga, S., Bakalis, S., Andrews, J., Mugampoza, E., & Gkatzionis, K. (2016). Mathematical modelling of color, texture kinetics and sensory attributes characterisation of ripening bananas for waste critical point determination. *J of Food Eng.*, 190, 205-210.
- [23] Schulbach, K.F., Portier, K. M., & Sims, C. A. (2007). Evaluation of overall acceptability of fresh pineapple using the regression tree approach. *J of Food Q.*, 30(6), 993-1.800.
- [24] Chaïb, J., Devaux, M.F., Grotte, M.G., Robini, K., Causse, M., Lahaye, M., & Marty, I. (2007). Physiological relationships among physical, sensory, and morphological attributes of texture in tomato fruits. *J of Exp Botany.*, 58(8), 1915-19.25.



- [25] Lin, D., Leonard, S., Lederer, C., Traber, M., & Zhao, Y. (2006). Retention of fortified vitamin E and sensory quality of fresh-cut pears by vacuum impregnation with honey. *J of Food Sci.*, 71(7), S553-S559.
- [26] Gajewski, M., Danilcenko, H., Taraseviciene, Z., Szymczak, P., Seroczyńska, A., & Radzanowska, J. (2008). Quality characteristics of fresh plant sprouts and after their short-term storage. *Veg Crops Res Bulletin.*, 68, 155-166.
- [27] Singh, R., Kumar, A., & Singh, J. (2014). Quality Attributes of Fresh Chickpea (*Cicer arietinum*) Sprouts Stored under Modified Atmospheric Packages. *J of Food Proc and Pres.*, 38(3), 1054-1064.
- [28] Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S. M. A., & Taherian, A. (2009). Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. *J of Food Eng.*, 91(3), 490-496.
- [29] Alizadeh Behbahani, B., Tabatabaei Yazdi, F., & Shahidi, F. (2016). Production of an antimicrobial edible coating based on *Plantago major* seed mucilage in combination with dill and tarragon essential oils: its properties and application in beef. *PhD Thesis*. [In Persian].
- [30] Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., & Galotto, M. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chem.*, 91(4), 751-756.
- [31] Amodio, M. L., Derossi, A., & Colelli, G. (2013). Modelling sensorial and nutritional changes to better define quality and shelf life of fresh-cut melons. *J of Agric Eng.* 44.
- [32] Mizrahi, S. (2011). Accelerated shelf life testing of foods. *Food and Bev Stab and Shelf* ., 482-506: Elsevier.
- [33] Radi, M., Firouzi, E., Akhavan, H., & Amiri, S. (2017). Effect of gelatin-based edible coatings incorporated with Aloe vera and black and green tea extracts on the shelf life of fresh-cut oranges. *J of Food Q.*
- [34] Chauhan, O., Raju, P., Singh, A., & Bawa, A. (2011). Shellac and aloe-gel-based surface coatings for maintaining keeping quality of apple slices. *Food Chem.*, 126(3), 961-966.
- [35] Lee, J., Park, H., Lee, C., & Choi, W. (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *LWT-Food Sci and Technol.*, 36(3), 323-329.
- [36] Sierra, N. M., Londoño, A., Gómez, J. M., Herrera, A. O., & Castellanos, D. A. (2019). Evaluation and modeling of changes in shelf life, firmness and color of 'Hass' avocado depending on storage temperature. *Food Sci and Technol Inter.*, 25, 370-384.
- [37] Salcedo, R., Quiñones, Y., Melgarejo, L., Hernández, M., & Fernández-Trujillo, J. (2016). Variation in the fatty acid profile and quality of Hass' avocados preserved during cold storage. *VIII Inter Post Sym:Enhanced Supply Chain and Consumer Benefits-Ethical and Technol Issues.*, 1194. 1007-1010.
- [38] Ghidelli, C., Mateos, M., Rojas-Argudo, C., & Pérez-Gago, M. B. (2014). Extending the shelf life of fresh-cut eggplant with a soy protein-cysteine based edible coating and modified atmosphere packaging. *Post Bioand Technol.*, 95. 81-87.
- [39] Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. (2008). Effect of pectin-based coating on the kinetics of quality change associated with stored avocados. *J of Food Proc and Pres.*, 32. 621-643.
- [40] Ferrante, A., Incrocci, L., Maggini, R., Serra, G., & Tognoni, F. (2004). Colour changes of fresh-cut leafy vegetables during storage. *J. Food Agric. Environ.*, 2. 40-44.
- [41] Rico, D., Peñas, E., García, M. d. C., Martínez-Villaluenga, C., Rai, D. K., Birsan, R. I., Frias, J & Martín-Diana, A. B. (2020). Sprouted barley flour as a nutritious and functional ingredient. *Foods.*, 9. 296.
- [42] D'ambrosio, T., Amodio, M. L., Pastore, D., De Santis, G., & Colelli, G. (2017). Chemical, physical and sensorial characterization of fresh quinoa sprouts (*Chenopodium quinoa* Willd.) and effects of modified atmosphere packaging on quality during cold storage. *Food Pack and Shelf* ., 14. 52-58.
- [43] Aharoni, N., Rodov, V., Fallik, E., Porat, R., Pesis, E., & Lurie, S. (2007). Controlling humidity improves efficacy of modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Europe-Asia Sym on Q Man in Post Systems-Eurasia.*, 2007 804. 121-128.
- [44] Pour sharif, Z., Sedaghat, N., & Shahidi, F. (2017). Shelf life Modelling and evaluation of modified atmosphere packaging and edible coating (Chitosan-Aloe vera) effect on maintaining quality of Orange. *PhD Thesis*. [In Persian].
- [45] Zhang, W., Luo, Z., Wang, A., Gu, X & Lv, Z. (2021). Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits. *LWT.*, 138. 110610.
- [46] Giannakourou, M., & Taoukis, P. (2003). Kinetic modelling of vitamin C loss in frozen green vegetables under variable storage conditions. *Food Chem.*, 83. 33-41.
- [47] Shamsudin, R., Ariffin, S. H., Zainol, W. N., Abdullah, Z., Azmi, N. S., & Abdul Halim, A. A. (2021). Modelling the Kinetics of Color and Texture Changes of Dabai (*C. anarium odontophyllum* Miq.) during Blanching. *Agronomy.*, 11. 2185.
- [48] Choosuk, N., Meesuk, P., Renumarn, P., Phungamngoen, C., & Jakkranhwat, N. (2022).

Kinetic Modeling of Quality Changes and Shelf Life Prediction of Dried Coconut Chips *Processes.*, 10. 139.2.

[49] Corzo, O., Bracho, N., Pereira, A., & Vásquez, A. (2008). Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. *LWT-Food Sci and Technol.*, 41. 2023-2028.

[50] Van Boekel M. A. (2008). Kinetic modeling of food quality: a critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.*, 7. 144-158.

[51] Leizeron, S., & Shimoni, E. (2005). Stability and sensory shelf life of orange juice pasteurized by continuous ohmic heating. *J of Agric and Food Chem.*, 53. 4012-40.