



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

بهینه‌سازی و مشخصه‌یابی تولید ترشی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) با استفاده از سرکه سیب

مهسا رخشانخواه^۱، فریبا زینالی^۲، صابر امیری^{۳*}، فرناز نبی زاده^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۴- دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

هدف از این پژوهش بهینه‌سازی فرمول تولید ترشی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) با استفاده از سرکه سیب و نمک می‌باشد. برای این منظور، تاثیر سرکه سیب در سه سطح (۳، ۴ و ۵ درصد)، غلظت نمک در سه سطح (۲، ۳ و ۴ درصد) و زمان نگهداری در سه سطح (۱، ۱۰ و ۱۹ روز) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی قارچ دکمه‌ای شامل pH اسیدیته، میزان نیتريت، پارامترهای رنگ، سفتی و ویژگی‌های حسی بررسی شد. نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها نشان داد که با افزایش مقدار سرکه و نمک مقادیر pH و نیتريت کاهش و اسیدیته افزایش یافت ($p < 0.05$). پارامتر L^* با افزایش غلظت نمک کاهش و طی نگهداری افزایش یافت و شاخص کروما با افزایش غلظت سرکه سیب کاهش و طی نگهداری افزایش یافت ($p < 0.05$). مقدار نیروی لازم برای نفوذ در بافت سنجی، با افزایش سطوح نمک و سرکه و طی نگهداری افزایش یافت ($p < 0.05$). ویژگی‌های حسی شامل طعم، بافت و پذیرش کلی نمونه‌ها با افزایش غلظت نمک و سرکه افزایش یافتند و لی امتیاز رنگ کاهش یافت ($p < 0.05$) که مطابق با نتایج رنگ سنجی بود. در نهایت، براساس مطلوبیت این خصوصیات، بهینه‌سازی فرمول انجام گرفت و فرمول بهینه ترشی قارچ بصورت غلظت نمک برابر ۲/۹۶۳ درصد وزنی-حجمی، غلظت سرکه سیب ۳ درصد حجمی-حجمی و زمان نگهداری ۱۹ روز به دست آمد.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۳

تاریخ داوری: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۳

کلمات کلیدی:

تخمیر،

ترشی قارچ دکمه ای،

سرکه سیب،

ماندگاری

DOI: 10.48311/fsct.2026.118268.82983

* مسئول مکاتبات:

sa.amiri@urmia.ac.ir

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به افزایش جمعیت، نیاز به مواد غذایی پروتئینی بویژه پروتئین‌های گیاهی افزایش یافته است. یکی از منابع مهم پروتئین گیاهی در رژیم غذایی بشر، قارچ‌های خوراکی هستند [۱]. قارچ‌های خوراکی دارای ارزش غذایی بالا بوده و حاوی ۲۵ تا ۳۰ درصد برحسب وزن خشک پروتئین می‌باشند که تقریباً برابر با حبوبات و بالاتر از سبزی و میوه است [۲]. قارچ‌ها منبع خوبی از بعضی از اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و مواد معدنی هستند. قارچ دکمه‌ای سفید با نام علمی *Agaricus bisporus* از تیره *Agaricaceae* معروفترین قارچ خوراکی دنیا می‌باشد. بعلت تفاوت در شرایط کشت، مرحله رشد و شرایط قبل و بعد از برداشت، ترکیب مواد مغذی قارچ دکمه‌ای می‌تواند متغیر باشد. قارچ دکمه‌ای حاوی درصد بالایی رطوبت بوده، میزان پروتئین آن ۱۱-۲۹ درصد و کربوهیدرات آن ۵۱/۱ درصد است [۳]. این قارچ شامل ۹ اسید آمینه ضروری و منبعی از پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای (بتا- گلوکان، کیتین و مانان)، الیگوساکاریدها، مواد معدنی (پتاسیم، فسفر، کلسیم، سدیم، روی، منیزیم، آهن و غیره) و ویتامین‌های B1, C, D, B2 و B3 می‌باشد [۴]. با اینکه قارچ دکمه‌ای حاوی درصد پایینی از چربی می‌باشد، ولی حاوی برخی از اسیدهای چرب ضروری مثل اسید لینولئیک است. قارچ دکمه‌ای دارای مواد زیست فعال است که اثرات ضدسرطانی، آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی و ضدالتهابی آنها ثابت شده است [۵]. فساد و افت کیفیت قارچ بعلت رطوبت بالا، سرعت بالای تنفس و نداشتن پوشش طبیعی سریعتر اتفاق می‌افتد که میکروارگانیسم‌ها، فعالیت‌های آنزیمی و تغییرات بیوشیمیایی در طول نگهداری در آن نقش عمده ای دارند [۶]. ماندگاری قارچ تازه قبل از اینکه عوامل محیطی کیفیت آن را تحت تأثیر قرار دهند، حدود سه روز است [۷]. انجماد، خشک کردن، کنسرو کردن و نمک زنی روش‌های رایج برای حفظ قارچ می‌باشند ولی برخی از این روش‌ها

بویژه روش‌های حرارتی (مثل استریلیزاسیون در آب نمک) ممکن است خصوصیات فیزیکوشیمیایی قارچ مانند رنگ، طعم و محتوای مواد مغذی قارچ را تغییر دهند [۸و۹]. البته امروزه از روش‌های نوین مانند تلفیق پرتودهی با اشعه گاما و تخمیر برای افزایش ماندگاری قارچ بطور موفقیت آمیز گزارش شده است [۷]. تخمیر یا ترشی کردن^۱ یکی از راه‌های نگهداری مواد غذایی است. که می‌توان عمر نگهداری قارچ را با این روش افزایش داد. اصطلاح ترش کردن هم تخمیر لاکتیکی مواد غذایی و هم محصولاتی که با افزودن اسید استیک اسیدی شده‌اند را در بر می‌گیرد [۹]. ترشی کردن مواد غذایی فسادپذیر در سرکه به همراه نمک منجر به تولید فراورده آماده مصرفی می‌شود که علاوه بر طعم مطلوب، قابلیت نگهداری در دمای محیط را نیز دارد. در ترشی کردن، غلظت مناسب نمک برای افزایش عمر نگهداری و کاهش رشد کپک‌ها، مخمرها و باکتری‌ها، بسیار مهم است [۱۰]. مطالعات زیادی در زمینه تخمیر قارچ‌ها و استفاده از آغازگر برای تخمیر آن انجام شده است. در تحقیقی از *L. Bulgaricus* برای تخمیر قارچ *shimeji* استفاده شده است و منجر به کاهش شمارش مخمر، گونه‌های آنتروباکتریاسه و مقدار نیتريت و افزایش مقدار اسید لاکتیک شده است. خصوصیات حسی محصول نیز بهبود یافته است [۱۱]. تخمیر گونه‌های متنوعی از قارچ‌ها شامل *Termitomyces robustus*, *Agaricus bisporus*, *Boletus edulis*, *Auricularia auricularia*, *Cantharellus cibarus*, *Russula spp.*, *Leccinum spp.*, *Pleurotus spp.* بررسی شده است [۹]. مطالعه در زمینه ترشی کردن قارچ دکمه‌ای سفید در سرکه و نمک محدود می‌باشد. هدف از این تحقیق استفاده از سرکه سیب و نمک برای تهیه ترشی قارچ دکمه‌ای سفید بهینه‌سازی فرمول بر اساس خصوصیات فیزیکوشیمیایی محصول می‌باشد.

۲-مواد و روش‌ها

قارچ دکمه‌ای سفید از مزرعه پرورش قارچ، سرکه سیب از کارخانه معتبر و نمک از فروشگاه معتبر در شهرستان ارومیه تهیه گردیدند. کلیه مواد شیمیایی و آزمایشگاهی از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

۲-۱- تهیه ترشی قارچ

برای تهیه ترشی روش اسیدی کردن با استفاده از سرکه سیب به کار گرفته شد. برای این منظور ابتدا قارچ‌ها درجه‌بندی شده و قارچ‌هایی با اندازه تقریباً یکسان انتخاب شدند. سپس تمیز شده و هرگونه آلودگی از سطح آن‌ها جدا شد و با آب

سرد شسته شد. در مرحله بعد قارچ‌ها برش داده شده و از وسط به دو قسمت مساوی تقسیم شدند و سپس در آب جوش (۹۶-۹۸ درجه سانتیگراد) به مدت ۲ دقیقه بلانچ شدند. سرکه سیب و نمک مطابق طرح آماری افزوده شد. بعد در ظروف شیشه‌ای با مقدار ۲۰۰ گرم قارچ و محلول با نسبت جامد به مایع ۲ به ۱ پر شده و درب بندی شدند. نمونه‌ها بمدت ۱۹ روز در دمای محیط نگهداری شدند و طی دوره نگهداری مورد ارزیابی فیزیکی و شیمیایی قرار گرفتند. طرح آماری مورد استفاده جهت تهیه ترشی در جدول ۱ نشان داده شده است.

Table 1: Experimental design on the basis of Box- Behnken design and three variables (apple vinegar, salt concentration, and storage time)

Run	A: Apple vinegar(%V/V)	B: Salt(%W/V)	C: Ripening Time (Day)
1	4	3	10
2	3	3	19
3	5	3	19
4	4	3	10
5	4	2	1
6	3	2	10
7	4	3	10
8	5	3	1
9	4	2	19
10	4	4	19
11	3	4	10
12	5	2	10
13	4	4	1
14	4	3	10
15	5	4	10
16	3	3	1
17	4	3	10

ترازو اندازه گرفته شد. پس از افزودن چند قطره معرف فنول فتالین تا زمان ظهور رنگ صورتی کمرنگ ثابت توسط سود ۰/۱ نرمال تیترا شد و میزان اسیدیته طبق فرمول زیر محاسبه شد [۱۱]:

$$A = \frac{V \times 0.0065 \times 100}{M}$$

۲-۲- آزمون‌های شیمیایی

برای اندازه‌گیری pH نمونه‌ها از بخش مایع نمونه‌ها و از دستگاه pH سنج (در دمای ۲۵ درجه سلسیوس) استفاده شد. اسیدیته از طریق تیتراسیون با سود محاسبه شد. به این منظور ۲۰ سی‌سی از نمونه برداشته شده و وزن آن توسط

ژاپن) تعیین شد. L^* میزان روشنایی محصول را بیان می‌کند و در محدوده مقادیر صفر (تیره) تا ۱۰۰ (روشن) قرار دارد [۱۲]. شاخص کروما^۱ نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

شاخص کروما بیانگر میزان اشباع‌شدگی یا شدت رنگ است که مقدار صفر بیانگر رنگ خنثی و مقدار ۶۰ بیانگر رنگ شدید می‌باشد [۱۳].

۲-۵- آزمون بافت

آزمون بافت‌سنجی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه بافت سنج (مدل TA Plus XT، شرکت استیل میکروسیستم، انگلستان) در محل دانشگاه ارومیه انجام شد. در آزمون بافت‌سنجی، از تست نفوذ^۲ استفاده شد. به این منظور نمونه طوری بر روی دستگاه قرار گرفت که سطح برش داده شده در تماس با سطح دستگاه باشد. قطر پروب استوانه‌ای مورد استفاده ۲ میلی‌متر، عمق نفوذ ۵ میلی‌متر و سرعت پروب ۱ میلی‌متر بر ثانیه بود. نیروی نفوذ بادقت ۰/۱ نیوتن و جابه‌جایی پروب بادقت ۰/۰۰۱ ثانیه ثبت گردید. با استفاده از نمودارهای نیرو-زمان، حداکثر نیروی نفوذ بر حسب کیلوگرم محاسبه گردید [۱۲].

۲-۶- ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نمونه‌ها شامل ارزیابی رنگ، بافت، طعم و پذیرش کلی نمونه‌ها توسط آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای صورت گرفت. به این منظور ۱۰ نفر پانلیست از افراد عادی نمونه‌ها را با درجه بندی عالی (نمره ۵)، خوب (نمره ۴)، متوسط (نمره ۳)، بد (نمره ۲)، خیلی بد (نمره ۱) ارزیابی کردند [۱۴].

۲-۷- آنالیز آماری

در این پژوهش از روش مخلوط^۳ در قالب طرح باکس بنکن^۴ برای بررسی اثر غلظت سرکه سیب (۳ الی ۵ درصد) و میزان نمک (۲ تا ۴ درصد) و مدت زمان نگهداری (۱ تا ۱۹ روز) بر ویژگی‌های ترشی قارچ بررسی شد. سپس آنالیز آماری

A = اسیدیته بر حسب درصد، V = حجم سود مصرف شده برای تیتراسیون بر حسب میلی‌لیتر، M = جرم نمونه بر حسب گرم

۲-۳- میزان نیتريت

برای اندازه‌گیری میزان نیتريت از روش لیو و همکاران (۲۰۱۶) با اندکی تغییرات استفاده شد [۹]. ابتدا نمونه قارچ آبگیری شده، به طور کامل توسط چرخ گوشت چرخ شد و ماده یکنواخت خمیری شکل به دست آمد. ۱۰۰ گرم از نمونه توسط دستگاه ترازوی دیجیتالی وزن شد. سپس ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر به نمونه افزوده شده و وزن آن توسط ترازو اندازه‌گیری شد. نمونه تا جایی که یک ترکیب کاملاً یکنواخت به دست بیاید هم زده شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه برای ایجاد یک ترکیب هموژن در دستگاه حمام اولتراسونیک قرار داده شد. در مرحله بعد نمونه از کاغذ صافی عبور داده شد و صاف گردید. نمونه حاصل به مدت ۱۰ دقیقه و با دور ۵۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. به ۵ سی‌سی سوپرناتانت به دست آمده ۰/۱ سی‌سی سولفانیل آمید (۰/۲ درصد وزنی-حجمی) و ۰/۱ سی‌سی آلفا نفتیل اتیلن دی آمین دی هیدروکلراید (۰/۱ درصد وزنی-حجمی) افزوده شد و نمونه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی قرار گرفت. سپس جذب نمونه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۵۳۸ نانومتر قرائت گردید و غلظت نیتريت از روی منحنی استاندارد سدیم نیتريت به دست آمد. در نهایت عدد به دست آمده ضربدر عکس میزان رقت شد تا غلظت نیتريت بر حسب میلی‌گرم نیتريت سدیم بر کیلوگرم در نمونه‌ای که در ابتدای کار رقیق شده بود به دست آید. محلول فاقد نمونه نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. به منظور رسم منحنی استاندارد از سدیم نیتريت استفاده شد.

۲-۴- آزمون رنگ

برای ارزیابی رنگ نمونه‌ها، شاخص‌های روشنایی و کروما با استفاده از دستگاه رنگ سنج (CR-400، شرکت توکیو،

4-Mixture design

4-Box- Behnken design

1- Chroma

2-Penetration

($p < 0.05$). غلظت سرکه سیب (A) و نمک (B) تاثیر معناداری در اسیدیته نمونه داشتند ($p < 0.05$) درحالیکه زمان نگهداری (C) تاثیر معناداری بر میزان اسیدیته نداشت ($p > 0.05$). با توجه به شکل A و B با افزایش غلظت سرکه سیب و نمک میزان pH کاهش یافت و با افزایش همزمان غلظت سرکه سیب و نمک میزان اسیدیته از مقدار تقریبی ۰/۱۳ تا حدود ۰/۱۶۵ افزایش یافت (شکل C۱). سرکه سیب به دلیل داشتن استیک اسید به عنوان یک عامل اسیدی کننده برای افزایش ماندگاری مواد غذایی به کار برده می شود که با افزایش غلظت آن میزان pH کاهش و اسیدیته افزایش می یابد. شاهی و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که سرکه صنعتی سیب در مقایسه با سرکه های انگور و عناب کمترین pH (۲/۹۷) و بیشترین اسیدیته (۵/۳۱) درصد بر حسب اسید استیک) را دارد [۱۵]. مكمورتری و همكاران (۲۰۱۹) نیز نتیجه مشابهی به دست آوردند. آنها نشان دادند در تخمیر خیارشور با استفاده از اسید استیک در مقایسه با اسید هیدروکلریدریک و بدون اسید، سرعت افت pH در ۲۴ ساعت اول بیشتر بوده است [۱۶].

داده ها با استفاده از روش رگرسیون همراه با تجزیه واریانس انجام شد. برای بررسی اختلاف معنی دار بین داده ها آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده ها و رسم نمودارها از نرم افزار Expert Design نسخه ۱۱ استفاده شد. در نهایت شرایط بهینه برای تولید ترشی قارچ با استفاده از روش بهینه سازی عددی و تابع مطلوبیت به دست آمد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ pH و اسیدیته

میزان pH و اسیدیته به عنوان تابعی از پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از مدل های زیر برای ترشی قارچ محاسبه گردیدند:

$$\begin{aligned} \text{pH: } & 6.39 - 0.21 \times A - 0.12 \times B + 0.0076 \times C \\ R^2 &= 0.76 \quad \text{Adj } R^2 = 0.7 \\ \text{Acidity: } & 0.067 + 0.012 \times A + 0.012 \times B + 0.001 \times C \\ R^2 &= 0.74 \quad \text{Adj } R^2 = 0.69 \end{aligned}$$

که مقادیر R^2 (ضریب تبیین) و R^2_{Adj} (ضریب تبیین اصلاح شده) رضایت بخش و Lack of fit (عدم برازش) غیرمعنی دار بود. نتایج نشان داد غلظت سرکه سیب (A) و غلظت نمک (B) تاثیر معناداری در میزان pH داشتند

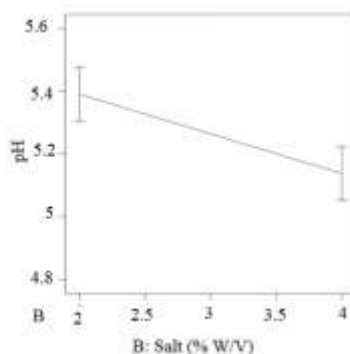
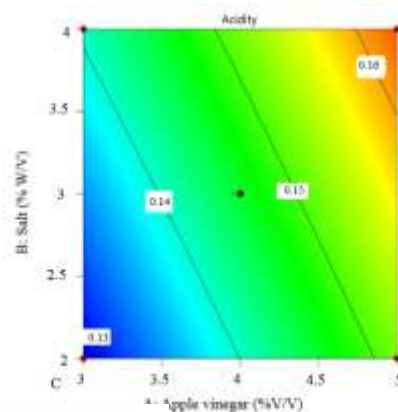
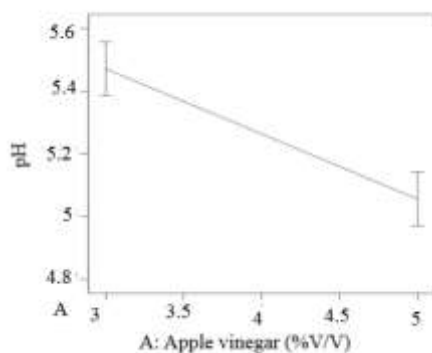


Figure 1: Effect of A: apple vinegar, B: salt concentrations on pH and C: effect of apple vinegar and salt concentrations on acidity of samples.

قمری با غلظت‌های متفاوت نمک نتایج مشابهی را گزارش کردند [۱۹ و ۲۰].

۲-۳- میزان نیتريت

میزان نیتريت به عنوان تابعی از عوامل مورد مطالعه برای نمونه‌ها با استفاده از مدل زیر به دست آمد:

$$\text{Nitrite content (mg/kg): } 0.55 - 0.17 \times A + 0.06 \times B + 0.03 \times C - 0.001 \times C^2$$

$$R^2 = 0.77 \quad \text{Adj } R^2 = 0.69$$

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، غلظت سرکه سبب و اثر درجه ۲ زمان نگهداری تاثیر معنی‌داری بر میزان نیتريت نمونه‌ها داشت ($P < 0.05$). با توجه به شکل ۲، با افزایش میزان سرکه سبب (A) از غلظت ۳ تا ۵ درصد حجمی-حجمی میزان نیتريت نمونه به طور پیوسته از ۰/۴۵ تا ۰/۱ میلی گرم بر کیلوگرم کاهش یافت. باکتری‌های *انتروباکتریاسه* و بر خي باکتری‌های گرم منفی دیگر، با احیاء نیتريت به نیتريت غلظت نیتريت را در محصول افزایش می‌دهند [۱۱]. از اینرو کاهش نیتريت مربوط به کاهش رشد باکتری‌های احیاکننده نیتريت است [۲۱]. با افزایش غلظت سرکه سبب، pH محصول کاهش یافته و این امر از رشد باکتری‌های گرم منفی جلوگیری می‌کند. در نتیجه *انتروباکتریاسه* به عنوان یک باکتری گرم منفی قادر به تولید نیتريت نبوده و غلظت آن کاهش می‌یابد [۲۲]. تجمع نیتريت در محصولات غذایی تخمیری می‌تواند یک مشکل مهم باشد. نیتريت زیاد در مواد غذایی برای سلامتی مضر می‌باشد [۲۳]. غلظت نمک (B) و زمان نگهداری (C) تاثیر معناداری بر میزان نیتريت نمونه‌ها نداشتند ($p > 0.05$).

با توجه به شکل B در روز ۱۰ام نگهداری و در غلظت سرکه سبب ۴ درصد حجمی-حجمی با افزایش غلظت نمک از ۲ تا ۴ درصد وزنی-حجمی میزان pH از ۵/۴ تا حدود ۵/۱ کاهش یافت. دلیل این امر این است که نمک باعث افزایش استخراج مایع و عصاره داخل سلولی قارچ‌های برش داده شده و در نتیجه افزایش رشد باکتری‌های اسید لاکتیک که مسئول تخمیر خود به خودی هستند می‌شود و اسید بیشتری تولید شده و در نهایت pH کاهش می‌یابد. نتایج به دست آمده با نتایج ویاندر همکاران (۲۰۰۳) مطابقت داشت. آن‌ها کلم شور را با غلظت‌های متفاوت نمک شامل نمک NaCl ۰/۵ درصد، نمک معدنی ۰/۵ درصد (متشکل از ۰/۵۷٪ نمک NaCl و ۰/۲۸٪ نمک KCl) و نمک NaCl ۱/۲ درصد تهیه کردند. کلم شور حاوی ۱/۲ درصد نمک NaCl، pH کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت [۱۷]. نتایج به دست آمده با نتایج یانگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز همخوانی داشت. آن‌ها غلظت‌های متفاوتی از نمک خوراکی (۰/۵، ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد) را در تهیه کلم شور به کار بردند و نمونه‌ها را طی یک ماه آنالیز کردند. مطابق نتیجه به دست آمده، کلم شور حاوی ۲/۵ درصد نمک فرآیند تخمیر را تشدید نموده و شرایط بهینه‌ای برای متابولیسم باکتری‌های اسید لاکتیک فراهم کرده و در نتیجه pH کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت [۱۸]. کاهش pH مرتبط با تولید اسیدها آلی مانند لاکتیک اسید می‌باشد که متابولیت اولیه باکتری‌های لاکتیک اسید می‌باشد [۱۹]. ماسکوری و همکاران (۲۰۲۵) در مورد تخمیر قارچ شیمجی با استفاده از بیفیدوباکتریوم و هین و همکاران (۲۰۲۲) در تخمیر کلم

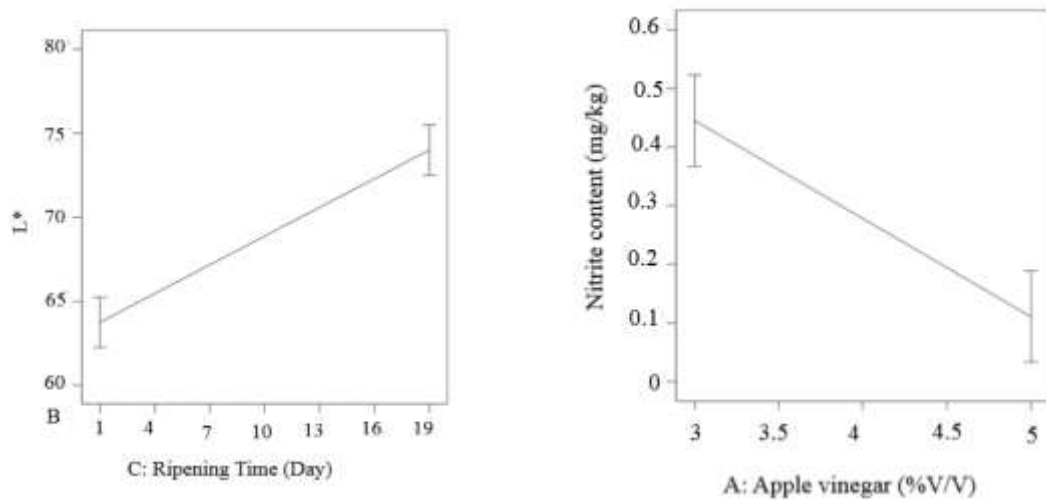


Figure 2: effect of apple vinegar concentration on nitrite content of samples.

$$L^* = 75.04 - 0.69 \times A - 3.03 \times B + 0.57 \times C$$

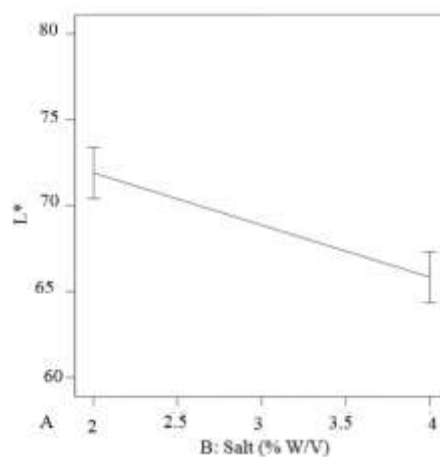
$$R^2 = 0.85 \quad \text{Adj } R^2 = 0.8$$

نتایج نشان داد میزان سرکه سیب (A) تاثیر معناداری در میزان روشنایی (L^*) نمونه‌ها نداشت ($P > 0.05$). اما غلظت نمک (B) اثر معنی‌داری بر روی میزان روشنایی داشت ($P < 0.05$). با افزایش غلظت نمک از ۲ تا ۴ درصد وزنی - حجمی، روشنایی به طور پیوسته از میزان تقریبی ۷۲ به ۶۷ کاهش یافت (شکل ۳ A).

۳-۳-رنگ

میزان L^* و شاخص کروما به عنوان تابعی از پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از مدل‌های زیر برای ترشی قارچ محاسبه گردیدند:

$$\begin{aligned} \text{Chroma}(C^*): & 31.67 + 1.88 \times A - 6.46 \times B - \\ & 0.09 \times C - 0.93 \times A \times B - 0.07 \times A \times C + 0.1 \times B \times C + \\ & 1.55 \times B^2 + 0.01 \times C^2 \\ \text{Adj } R^2 = & 0.85 \quad R^2 = 0.92 \end{aligned}$$



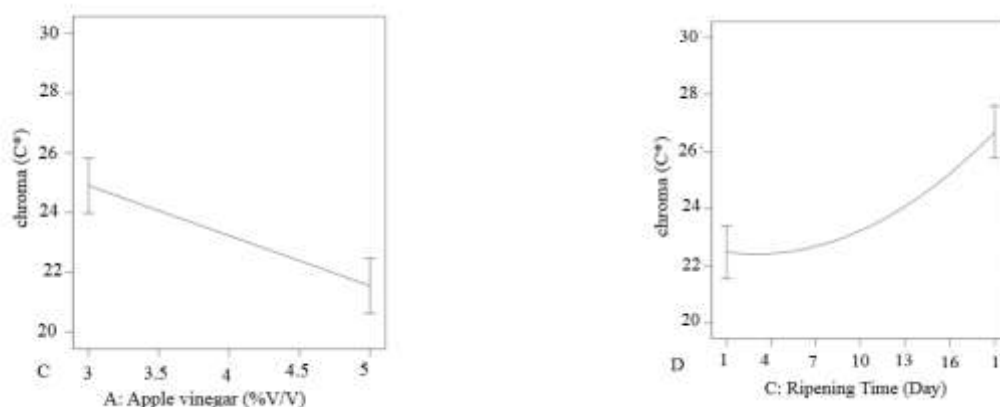


Figure 3: Effect of A: salt concentration and B: ripening time on L* C: Effect of apple vinegar concentration and D: ripening time on chroma of samples.

قارچ دکمه‌ای استفاده کردند. آنها گزارش کردند کمترین روشنایی مربوط به قارچ‌های تیمار شده با نمک کلرید سدیم بوده است و دلیل آن را جذب سریع رطوبت در روزهای اول و اشباع شدن نمک و عدم توانایی جذب رطوبت بیشتر طی نگهداری بیان کردند [۲۶]. در تحقیق حاضر با افزایش غلظت نمک میزان روشنایی کاهش یافت که میتوان دلیل آنرا تاثیر نمک بر افزایش استخراج مواد جامد درون سلولی بویژه مواد فنولی و در احتمالا واکنش‌های آنزیمی با منشا باکتریایی دانست. چون آنزیم‌های داخل سلولی قارچ‌ها طی عمل بلانچ کردن غیرفعال می‌شوند. با گذشت زمان میزان روشنایی و کروما (شدت رنگ) افزایش یافت که احتمالا به علت جایگزین شدن نمک و سرکه در بافت قارچ می‌باشد. ونوگوپال (۲۰۲۴) گزارش کردند قارچ‌های بلانچ شده در آب ۹۶ تا ۹۸ درجه سانتیگراد شاخص L^* و کرومای بالاتری داشته و در ظاهر روشن تر و درخشان تر بودند [۲۷]. در تحقیق حاضر نیز عمل بلانچینگ در شرایط مشابه انجام شده بود.

۳-۳- بافت سنجی

برای ارزیابی بافت نمونه‌ها، حداکثر نیروی لازم برای نفوذ پروب در ساقه نمونه‌های قارچ محاسبه شد. با توجه به نتایج درصد سرکه سیب، نمک، زمان نگهداری، اثر متقابل درصد سرکه و نمک و اثر متقابل نمک و زمان نگهداری بر میزان حداکثر نیروی لازم برای نفوذ به ساقه نمونه و در نتیجه

مدت زمان نگهداری (C) نیز اثر معناداری بر روی میزان روشنایی داشت ($P < 0.05$) طوری که با گذشت زمان از ۱ تا ۱۹ روز میزان روشنایی به طور پیوسته از ۶۴ به ۷۴ افزایش یافت (شکل ۳ B). غلظت سرکه سیب (A) زمان نگهداری نمونه (C) تاثیر معناداری بر میزان کروما داشتند. با افزایش مقدار سرکه از ۳ تا ۵ درصد حجمی-حجمی میزان کروما به طور پیوسته از ۲۵ به حدود ۲۲ کاهش یافت (شکل ۳ C). با افزایش زمان نگهداری نمونه از ۱ تا ۱۹ روز میزان کرومای نمونه از میزان تقریبی ۲۲/۵ به میزان ۲۷ افزایش یافت (شکل ۳ D). عوامل مختلفی باعث تغییر رنگ قارچ می‌شود. فعالیت آنزیم‌هایی مانند پلی فنل اکسیداز، فنیل آلانین آمونیاک لیاز و پراکسیداز باعث توسعه ی رنگ قهوه ای می‌شود. همچنین باکتری سودوموناس تولاسی که جزء فلور طبیعی قارچ است، نیز می‌تواند چنین اثری داشته باشد [۲۴ و ۲۵]. علاوه بر این تماس مستقیم سطح قارچ با اتمسفر و ورود راحت اکسیژن نیز باعث واکنش‌های اکسیداسیون و کاهش روشنایی در قارچ می‌شود [۶]. از اینرو تیمارهای مختلفی برای کاهش فعالیت آنزیمها، باکتری‌ها و جلوگیری از نفوذ اکسیژن جهت حفظ رنگ و روشنایی قارچ انجام شده است. استفاده از پوشش‌های مختلف از جمله این تیمارها است که توسط محققان مختلفی بررسی شده اند [۱۲، ۶ و ۱۳]. کریمی و همکاران (۲۰۱۵) از پوشش‌های مختلف در مجاورت ماده رطوبت‌گیر شامل سیلیکاژل و نمک کلرید سدیم برای تیمار

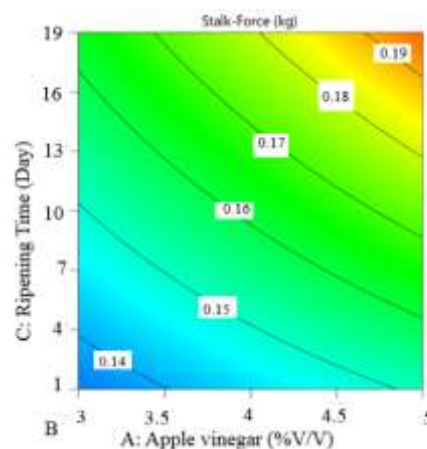
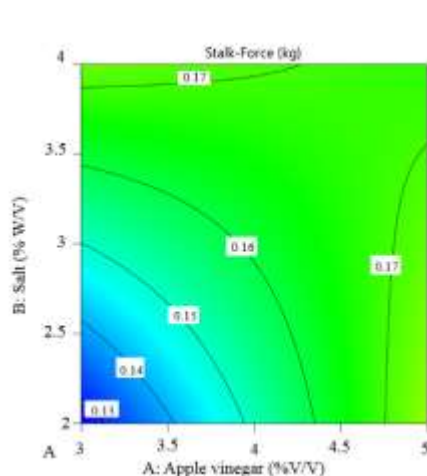
سلولی، نرم می‌شود [۱۳]. از طرفی از دست دادن رطوبت و دهیدراتاسیون هم عامل دیگری برای نرم شدن و آسیب دیدگی بافت است. سرکه با ممانعت از رشد باکتری‌های تجزیه کننده دیواره سلولی قارچ از نرم شدن و تجزیه دیواره جلوگیری کرده و استحکام آن را حفظ می‌کند که با افزایش غلظت سرکه از ۳ تا ۵ درصد، اثر حفاظت‌کنندگی آن در برابر رشد میکروارگانیسم‌ها افزایش می‌یابد [۲۹]. زیوانویک و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که طی نگهداری قارچ تازه در روز نهم، حداکثر نیروزی نفوذ، بعثت فعالیت باکتری‌ها کاهش یافت [۲۹]. دیواره سلولی قارچ‌ها بر خلاف میوه‌ها و سبزی‌ها فاقد ساختار پکتینی بوده و عمدتاً از گلوکان‌ها، کیتین و پروتئین ساخته شده است [۳۰]. کیتین اسکلت اصلی دیواره سلولی قارچ‌ها بوده و حدود ۳۰ تا ۵۰٪ دیواره سلولی را تشکیل می‌دهد و عامل اصلی استحکام و یکپارچگی دیواره سلولی است. سفت شدن بافت قارچ طی نگهداری مربوط به افزایش مقدار کیتین، در حالیکه نرم شدن بافت قارچ مربوط به افزایش فضای بین سلولی در سطح کلاهک، چروکیدگی ساقه، تخریب واکوئل مرکزی و کاهش پروتئین‌ها و پلی ساکارید‌ها است [۳۱]. طی نگهداری قارچ، بعثت فعالیت یک سری از آنزیم‌ها مثل سلولاز، کیتیناز و بتا گلوکاناز ترکیبات سازنده دیواره سلولی تجزیه شده و در نتیجه بافت قارچ نرم می‌شود [۳۲ و ۳۳]. نمک با مهار فعالیت آنزیم‌های نرم کننده بافت، مانع از کاهش سفتی در قارچ شده است [۳۴]. بطور کلی نمک جهت مهار فعالیت باکتری‌ها و جلوگیری از نرم شدن میوه‌ها و سبزیجات به محصولات تخمیری افزوده می‌شود [۳۵]. همچنین نمک با به تاخیر انداختن تنفس سلولی از روند پیری جلوگیری می‌کند. مکمورتیر و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند خیار شور تهیه شده با نمک کلرید سدیم در مقایسه با نمونه‌های تهیه شده با نمک کلرید کلسیم سفت تر بودند [۱۶].

استحکام نمونه تاثیر معناداری داشتند ($P < 0.05$). میزان نیرو برای نفوذ به ساقه به عنوان تابعی از پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از مدل زیر برای ترشی قارچ محاسبه گردید:

$$\text{Stalk Force (kg)} = -0.03 + 0.05 \times A + 0.04 \times B - 0.004 \times C - 0.01 \times A \times B + 0.002 \times B \times C$$

$$R^2 = 0.86 \quad \text{Adj } R^2 = 0.78$$

با افزایش هم‌زمان غلظت سرکه سیب از ۳ تا حدود ۴/۳ درصد حجمی-حجمی و غلظت نمک از ۲ تا حدود ۳/۴ درصد وزنی-حجمی میزان نیرو تقریباً از ۰/۱۳ تا ۰/۱۶ کیلوگرم افزایش یافت. از غلظت سرکه سیب ۴/۳ تا ۵ درصد حجمی-حجمی و غلظت نمک ۳/۴ تا ۴ درصد وزنی-حجمی میزان نیرو از ۰/۱۶ تا ۰/۱۷ کیلوگرم افزایش یافته و سپس ثابت ماند (شکل ۴ A). حداکثر نیروی لازم برای نفوذ، سفتی^۱ در نظر گرفته می‌شود که با ویژگی‌های بافتی نیز به خوبی مرتبط است [۲۸]. بافت قارچ طی نگهداری، به علت فعالیت آنزیمی و تجزیه دیواره سلولها، تخریب بافت پارنشیم و افزایش حلالیت مواد دیواره سلولی در مایع بین



¹ Firmness

Figure 4: Effect of A: salt and apple vinegar concentrations, B: ripening time and apple vinegar concentrations on penetration force of samples.

اینرو در غلظت‌های بالای سرکه سیب، نمونه‌های قارچ در روز ۱۹ ام سفتی بالا داشته و تازگی و کیفیت خود را حفظ کرده‌اند (شکل ۴ B). در قارچ آب نمک‌گذاری شده، بلانچ کردن منجر به کاهش فضای بین سلولی در کلاhek و ساماندهی کپ تر سلول‌ها داخل بافت می‌شوند که منجر به افزایش نیروی نفوذ در مقایسه با قارچ تازه می‌شوند [۹]. بلانچ کردن باعث سفت و لاستیکی شدن بافت قارچ شده، هوای داخل بافت را حذف می‌نماید و آنزیم‌ها را غیر فعال می‌سازد و محیط را برای رشد باکتری‌های لاکتیک اسید تخمیر کننده مساعد می‌سازد [۲۷].

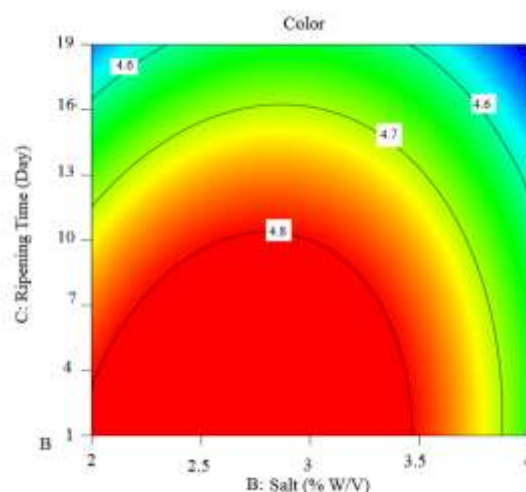
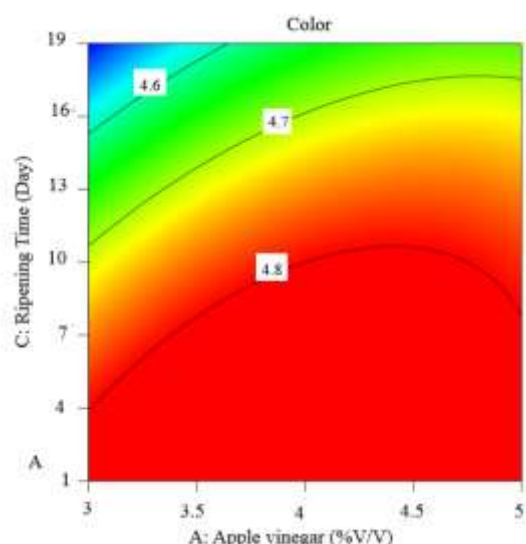
۴-۳- ارزیابی حسی

ارزیابی حسی رنگ نمونه‌ها به عنوان تابعی از عوامل مورد مطالعه برای نمونه‌ها با استفاده از مدل زیر به دست آمد:

$$\text{Color} = 3.16 + 0.38 \times A + 0.7 \times B - 0.02 \times C + 0.005 \times A \times B - 0.05 \times A^2 - 0.125 \times B^2 - 0.0006 \times C^2$$

$$R^2 = 0.95 \quad \text{Adj } R^2 = 0.91$$

با توجه به شکل ۴ B، با افزایش زمان نگهداری نمونه‌ها از ۱ تا ۱۹ روز، میزان حداکثر نیرو از میزان ۰/۱۳۵ کیلوگرم به ۰/۱۶۵ کیلوگرم افزایش یافت. بلانچ کردن قارچ‌ها قبل از تهیه ترشی و فرایند تخمیر باعث غیر فعال کردن و کاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده دیواره سلولی قارچ شده و در نتیجه محصول سفت‌تری حاصل می‌شود [۳۶]. سفتی نشان دهنده کیفیت بافت قارچ بعد از برداشت و طی نگهداری است. علیخانی- کوپائی و همکاران (۲۰۱۴) سفتی را تغییرات فعالیت متابولیکی و محتوای رطوبت قارچ نیز تعریف کردند [۳۷]. سفتی قارچ نشان دهنده کیفیت، تازگی و عمر انبارمانی قارچ و در نتیجه می‌تواند رضایت مصرف کننده را نیز تحت تاثیر قرار دهد [۳۸]. آنزیم‌های باکتریایی می‌توانند باعث تغییرات ساختاری بافت شده و منجر به چروکیدگی دیواره‌های سلولی شوند. این پدیده می‌تواند ناشی از فعالیت اتولیزین‌های درونی قارچ نیز باشد [۲۹]. از



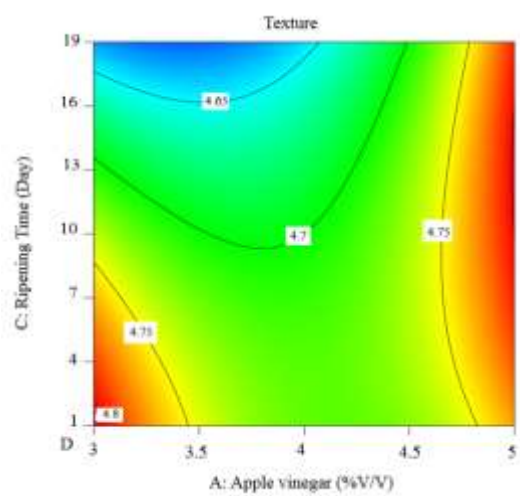
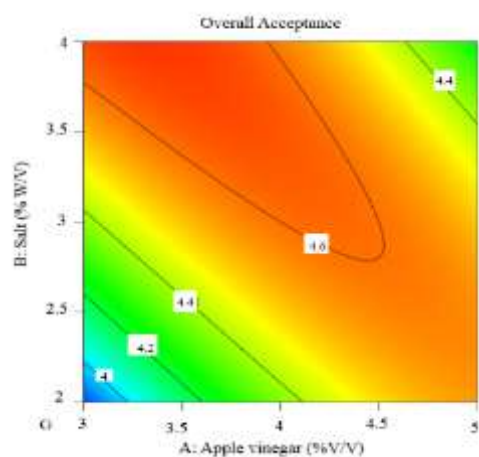
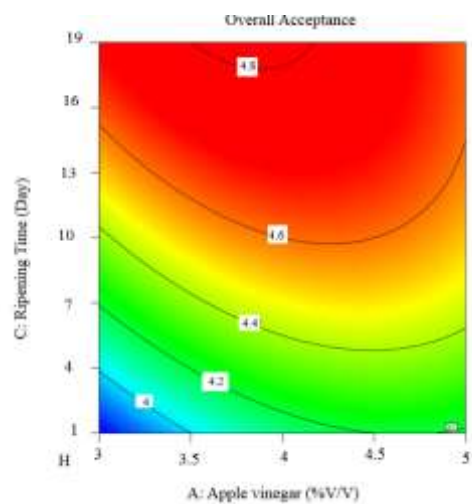
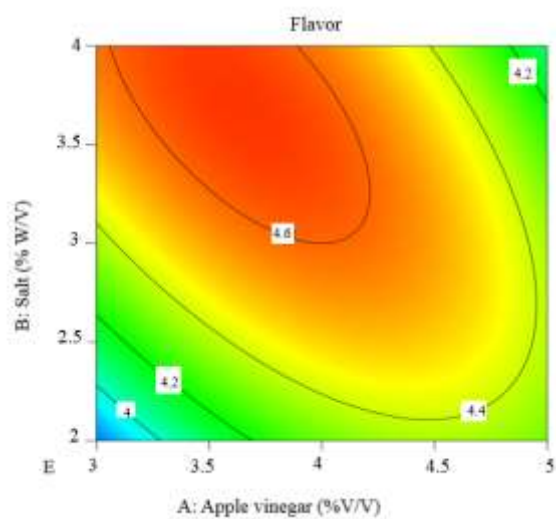
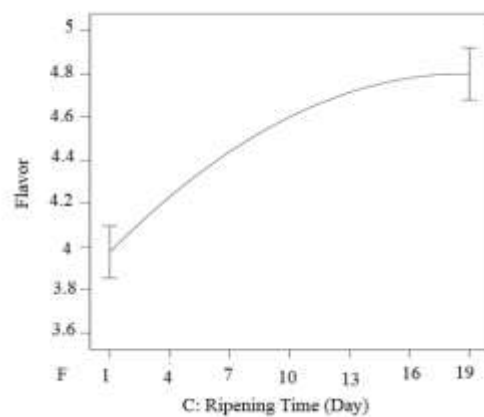
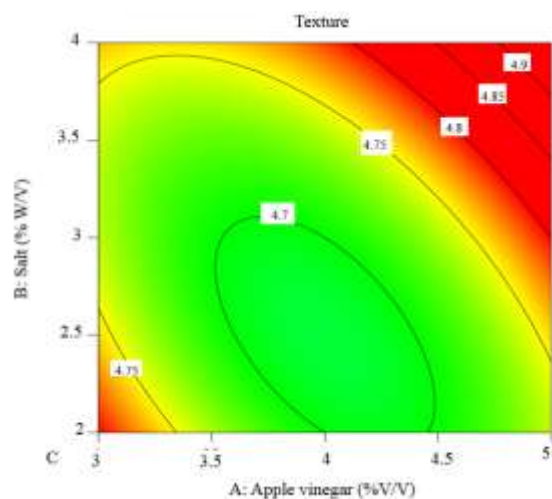


Figure 5: Effect of salt and apple vinegar concentrations, ripening time on A and B: color, C and D: texture, E and F: flavor, G and H: overall acceptance scores of samples.

دارای ترکیبات زیست فعال مانند مواد فنلی، اسیدآمین و اسیدهای آلی است که همگی در بهبود طعم نهایی محصول تاثیر دارند [۱۵]. در تخمیر طبیعی (تهیه ترشی) که با افزودن سرکه (یا اسید استیک) و نمک انجام می‌شود، محصول در دمای اتاق نگهداری می‌شود تا میکروفلور مطلوب در محیط غالب شود. میکروفلور غالب در این محصولات باکتری‌های لاکتیک‌اسید می‌باشند. متابولیت‌های حاصل از متابولیسم میکروفلور نیز در طعم محصول نهایی نقش عمده‌ای دارند [۹].

پذیرش کلی نمونه‌ها به عنوان تابعی از عوامل مورد مطالعه با استفاده از مدل زیر به دست آمد:

$$\text{Overall acceptance: } -3.95 + 2.24 \times A + 1.96 \times B + 0.12 \times C - 0.27 \times A \times B - 0.014 \times A \times C - 0.15 \times A^2 - 0.125 \times B^2 - 0.0015 \times C^2 \quad \text{Adj } R^2=0.95 \quad R^2=0.97$$

نمونه‌هایی که دارای غلظت بالای سرکه هستند امتیاز پذیرش کلی بالاتری کسب کردند (شکل ۵ G و H).

۴- بهینه‌سازی و مطلوبیت

هدف از بهینه‌سازی، بدست آوردن مقادیر مطلوب غلظت سرکه سیب، نمک و زمان نگهداری برای تهیه ترشی قارچ بود بطوریکه پارامترهای pH و نیتريت حداقل، اسیدیته، شاخص‌های روشنایی و کروما، سفتی بافت و پذیرش کلی حداکثر باشند. طبق نتایج به دست آمده از آنالیز آماری نمونه‌ها، مقادیر بهینه متغیرهای آنالیز شده جهت به دست آوردن حداکثر مطلوبیت برای pH ۵/۵، میزان نیتريت ۰/۳۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، اسیدیته ۰/۱۴۷ درصد، روشنایی ۷۳/۷۱، کروما ۲۸/۳۶ نیروی لازم برای نفوذ به ساقه ۰/۱۶۱ کیلوگرم و پذیرش کلی ۴/۷ به دست آمد. همچنین مطلوبیت کلی برای تمامی متغیرها ۰/۹۳۲ به دست آمد. طبق نتایج به دست آمده، مقادیر بهینه غلظت سرکه سیب، نمک و زمان نگهداری با حداکثر مطلوبیت به ترتیب برابر ۳ درصد حجمی-حجمی، ۲/۹۶۳ درصد وزنی-حجمی و زمان نگهداری ۱۹ روز به دست آمد.

با توجه به شکل ۵ A، در روزهای نهایی نگهداری در سطوح بالای سرکه سیب، امتیاز رنگ بالاتر و در غلظت‌های پایین سرکه امتیاز رنگ کمتر بود. در اواخر دوره نگهداری نمونه‌های دارای غلظت بالای نمک امتیاز رنگ کمتری داشتند (شکل ۵ B). در ارزیابی پارامتر روشنایی نیز غلظت نمک اثر منفی در روشنایی نمونه‌ها داشت (شکل ۳ A). بطور کلی امتیاز رنگ نمونه‌ها از روز ۱۰ام به بعد کاهش یافت.

امتیاز بافت نمونه‌ها به عنوان تابعی از عوامل مورد مطالعه با استفاده از مدل زیر به دست آمد:

$$\text{Texture: } 6.84 - 0.76 \times A - 0.44 \times B - 0.01 \times C + 0.06 \times A \times B + 0.005 \times A \times C - 0.003 \times B \times C + 0.07 \times A^2 + 0.04 \times B^2 - 0.0002 \times C^2 \quad R^2=0.87 \quad \text{Adj } R^2=0.68$$

با افزایش غلظت سرکه سیب و نمک امتیاز بافت نمونه‌ها افزایش یافت (شکل ۵ C) که منطبق بر نتایج بافت‌سنجی می‌باشد. همانطور که بیان شد با افزایش غلظت نمک و سرکه سیب سفتی بافت افزایش یافت. همچنین در انتهای دوره نگهداری نمونه‌های دارای سطح بالاتری از سرکه سیب امتیاز بافت بالاتری را داشتند (شکل ۵ D).

امتیاز طعم نمونه‌ها به عنوان تابعی از عوامل مورد مطالعه با استفاده از مدل زیر به دست آمد:

$$\text{Flavor: } 0.99 + 1.75 \times B + 0.1 \times C - 0.14 \times A \times B + 0.04 \times A^2 - 0.18 \times B^2 - 0.003 \times C^2 \quad R^2=0.91 \quad \text{Adj } R^2=0.85$$

نمونه‌های دارای غلظت بالای نمک و غلظت کم سرکه بالاترین امتیاز طعم را داشتند (شکل ۵ E). با کاهش غلظت نمک امتیاز طعم نیز کاهش یافت. غلظت سرکه سیب تاثیر معنی‌داری بر امتیاز طعم نمونه‌ها نداشت. یکی از اهداف افزودن نمک به محصولات تخمیری بهبود طعم می‌باشد [۳۵]. طی نگهداری نیز امتیاز طعم نمونه‌ها افزایش یافت (شکل ۵ F). متعادل شدن طعم طی نگهداری باعث بهبود طعم در محصولات تخمیری می‌باشد. سرکه فراورده تخمیری است که در اثر تخمیر مواد قندی بدست می‌آید و

دسترس‌ی به داده‌ها

داده‌ها در صورت درخواست در دسترس قرار خواهند گرفت.

تضاد منافع

نویسندگان تأیید می‌کنند که هیچ گونه تضاد منافع در این مطالعه ندارند.

تامین مالی

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده‌اند.

مشارکت نویسندگان

مهسا رخشانخواه: تحقیق، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل داده‌ها

فریبا زینالی: مدیریت تحقیق، روش‌شناسی، تحلیل داده‌ها

صابر امیری: تحلیل داده‌ها، روش‌شناسی، نرم‌افزار

فرناز نبی‌زاده: نگارش، ویرایش، بررسی منابع

۶-منابع

- [1] Varasteh, F., & Zamani, S. (2018). The effect of different packaging films on storability and qualitative properties of button mushroom (*Agaricus bisporus*). Iranian Journal of Horticultural Science. 49, 4, 1035-1044.
- [2] Farsi, M. & Gordan, H.R. (2009). Breeding and modifying of edible fungi with emphasis on white fungus. Mashhad University Press, 148 pp.
- [3] Atila, F., Owaid, M.N., & Shariati, M.A. (2021). The Nutritional and Medical Benefits of *Agaricus bisporus*: A Review. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 281-286.
- [4] Paulauskiene, A., Tarasevičiūnė, Ž., Šileikiene, D., & Česonienė, L. (2020). The Quality of Ecologically and Conventionally Grown White and Brown *Agaricus bisporus* Mushrooms. Sustainability. 12, 6187.
- [5] Bartkiene, E., Zarovaitė, P., Starkutė, V., Mockus, E., Zokaitytė, E., Zokaitytė, G., Rocha, J. M., Ruibys, R., & Klupsaitė, D. (2023). Changes in Lacto-Fermented *Agaricus bisporus* (White and Brown Varieties) Mushroom Characteristics, including Biogenic Amine and Volatile Compound Formation. Foods, 12(13), 2441.
- [6] Shamlou, S., Vaziri, A., Shekarabi, A., & Safekordi, A. A. (2019). Extending the shelf life of

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر سرکه سیب، نمک و مدت زمان نگهداری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی قارچ دکمه‌ای بررسی شد. نتایج بدست آمده از آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که متغیرهای مورد مطالعه بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها تأثیر معنی‌دار داشتند. بطوریکه اسیدیته نمونه‌ها تحت تأثیر سرکه و نمک افزایش یافت. مقدار نیتريت نمونه‌ها بعثت اثر بازدارندگی سرکه و نمک بر رشد میکروارگانیسم‌ها بویژه گونه‌های تولیدکننده نیتريت، کاهش یافت. همچنین سرکه و نمک با مهار فعالیت آنزیمی و رشد میکروبی، باعث بهبود بافت نمونه‌ها شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان روشنایی و شاخص کرومای نمونه‌ها با افزایش سرکه و نمک کاهش یافت که احتمالاً بدلیل خروج مواد محلول درون سلولی و فعالیت آنزیم‌های بامنشا میکروبی می‌باشد. در ارزیابی حسی نیز خصوصیات حسی نمونه‌ها تحت تأثیر تیمارهای بکار رفته بهبود یافتند. فرمول بهینه ترشی قارچ با در نظر گرفتن ویژگی‌های مورد مطالعه تعیین شد.

- edible button mushroom (*Agaricus bisporus*) by edible coatings on the basis of natural polymers. Journal of Food Science and Technology. 91, 16, 243-256.
- [7] Zubairi, S., Manuel, R., Nik A. R., Nik F. N., Zulkfli, N., & Mohamad, A. (2026). Improvement of the Shelf Life and Nutritional Quality of Fermented Mushrooms (*Pekasam Cendawan*) Through Gamma Radiation and Optimized Storage Conditions. Journal of Technology. 88. 469-483.
 - [8] Jabłońska-Ryś, E., Przygoński, K. (2025). Possibilities of Using the New *Lactiplantibacillus plantarum* EK11 Strain as a Starter Culture for the Fermentation of the Fruiting Bodies of Edible Mushrooms. Foods. 14, 2833.
 - [9] Liu, Y., Xie, X., Ibrahim, S.A., Khaskheli, S.G., Yang, H., Wang, Y., & Huang, W. (2016). Characterization of *Lactobacillus Pentosus* as a Starter Culture for the Fermentation of Edible Oyster Mushrooms (*Pleurotus* spp.). LWT-Food Science and Technology. 68, 21-26.
 - [10] Jabłońska-Ryś, E., Skrzypeczak, K., Sławińska, A., Radzki, W., & Gustaw, W. (2019). Lactic acid fermentation of edible mushrooms: Tradition, technology, current state of research: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18(3), 655-669.

- [10] Devi, Y. P., & Sunita, K. (2020). Sensorial and microbial study of Mushroom pickle. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), 1458-1464.
- [11] Kusuma W, A., & Darmasiwi, S. (2025). MICROBIOLOGICAL AND CHEMICAL PROFILING OF LACTO-FERMENTED SHIMEJI MUSHROOM (*Hypsizygus* sp.) PICKLE JUICE USING *Lactobacillus bulgaricus* AS A STARTER CULTURE. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 14(6), e11136.
- [12] Najabi, F., Rezazad Bari, M., Almasi, H., & Amiri, S. (2024). The effect of edible fox gum coating containing *Lactobacillus fermentum* bacteria on the quality characteristics of button mushroom. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 151, 21, 86- 108.
- [13] Ghorbani, A., Maghsoudloo, Y., Aalami, M., Ghorbani, M., Sadeghi, A.R. (2016). Effect of cress seeds mucilage on shelf life of Button Mushroom. *Innovative Food Technologies*, 3(4), 89-96.
- [14] Javadian Kutnai, A., & Khavarpour, M. (2014). Investigating the shelf life of mushrooms using an edible coating based on aloe vera and xanthan gel, *Journal of Food Processing and Production*, 5, 4.
- [15] Shahi, T., Jafari, S.M., Pouyan, M., Ebrahimi, M., Hoseini, S., & Ragh Ara, H. (2022). Comparison of physicochemical and antioxidant activities of traditional jujube, apple and grape vinegar with industrial apple cider vinegar. *Iranian Journal of Food Science and Technology*. 121, 18, 173- 184.
- [16] McMurtrie, E.K., Johanningsmeier, S.D., Breidt JR, F., & Price, R.E. (2019). Effect of brine acidification on fermentation microbiota, chemistry, and texture quality of cucumbers fermented in calcium or sodium chloride brines. *Journal of food science*. 84(5), 1129-1137.
- [17] Viander, B., Mäki, M., & Palva, A. (2003). Impact of low salt concentration, salt quality on natural large-scale sauerkraut fermentation. *Food Microbiology*, 20(4), 391-395.
- [18] Yang, X., Hu, W., Xiu, Z., Jiang, A., Yang, X., Saren, G., ... & Feng, K. (2020). Effect of salt concentration on microbial communities, physicochemical properties and metabolite profile during spontaneous fermentation of Chinese northeast sauerkraut. *Journal of Applied Microbiology*, 129(6), 1458-1471.
- [19] Maskuri, H.A., Aramsirujiwet, Y., Kimkong, I., & Darmasiwi, S. (2025). Biopreservation Potential of Shimeji (*Hypsizygus* sp.) Mushroom Fermented with *Bifidobacterium* sp. InaCC B723. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*. 17(1), 169-178.
- [20] Hien, T. T., Truc, T. T. & Muoi, N. V. (2022). Effect of Salt Concentration and pH value on the Lactic Fermentation Process of Kohlrabi (*Brassica oleracea* L.). *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 10(4), 399-412.
- [21] Huang, L. L., Zhang, M., Wang, L. P., Mujumdar, A. S., & Sun, D. F. (2012). Influence of combination drying methods on composition, texture, aroma and microstructure of apple slices. *LWT-Food Science and Technology*. 47(1), 183-188.
- [22] Chang, K.O., Myung, C.O. & Soo, K.H. (2004). The depletion of sodium nitrite by Lactic acid bacteria isolated from Kimchi. *Journal of Medicinal Food*. 71, 38 -44.
- [23] Hou, J.C., Jiang, C.G., & Long, Z.C. (2013). Nitrite level of pickled vegetables in Northeast China. *Food Control*. 29(1), 7-10.
- [24] Benoit, M., D'Aprano, G., & Lacroix, M. (2000). Effect of γ -irradiation on phenylalanine ammonia-lyase activity, total phenolic content, and respiration of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 48(12), 6312-6316.
- [25] Beaulieu, M., D'Aprano, G., & Lacroix, M. (2002). Effect of dose rate of gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushrooms *Agaricus bisporus*. *Radiation Physics and Chemistry*. 63(3), 311-315.
- [26] Karimi, N. I., & Mosharraf, L. (2015). The effect of active packaging by polyvinyl chloride film on the marketability of button mushroom. *Journal of Food Science and Technology*. 48, 12, 61- 70.
- [27] Venugopal, K., Satora, P., & Bernaś, E. (2024). Evaluation of sensory and functional compounds in fermented *Lactarius deliciosus* mushrooms. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2024(1), 2577580.
- [28] Yousefi, M., Arianfar, A., Hakimzadeh, V., & Rafe, A. (2025). Enhancing the Texture and Sensory Properties of Pickled Cucumbers with Different Brine Solutions. *Foods*, 14(3), 336.
- [29] Zivanovic, S., Busher, R. W., & Kim, K. S. (2000). Textural changes in mushrooms (*Agaricus bisporus*) associated with tissue ultrastructure and composition. *Journal of food science*, 65(8), 1404-1408.
- [30] Sreenivasaprasad, S., Burton, K. S., & Wood, D. A. (2000). Cloning and characterisation of a chitin synthase gene cDNA from the cultivated mushroom *Agaricus bisporus* and its expression during morphogenesis. *FEMS microbiology letters*, 189(1), 73-77.
- [31] López-Gómez, A., Ros-Chumillas, M., Navarro-Martínez, A., Barón, M., Navarro-Segura, L., Taboada-Rodríguez, A., ... & Martínez-Hernández, G. B. (2021). Packaging of fresh sliced mushrooms with essential oils vapours: A new technology for maintaining quality and extending shelf life. *Foods*, 10(6), 1196.
- [32] Cao, Y., Wu, L., Xia, Q., Yi, K., & Li, Y. (2024). Novel post-harvest preservation techniques for edible fungi: A review. *Foods*, 13(10), 1554.
- [33] Wang, B., Yun, J., Ye, C., Xu, S., Guo, W., Zhao, F., ... & Bi, Y. (2024). A novel polyethylene nanopackaging combined with ozone fumigation

delayed the browning and softening of *Agaricus bisporus* during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 210, 112771.

[34] Johanningsmeier, S., McFeeters, R.F., Fleming, H.P., & Thompson, R.L. (2007). Effects of *Leuconostoc mesenteroides* starter culture on fermentation of cabbage with reduced salt concentrations. *Journal of food science*, 72(5), M166-M172.

[35] Pérez-Díaz, I. M., Breidt, F., Buescher, R. W., Arroyo-López, F. N., Jiménez-Díaz, R., Garrido-Fernández, A., & Johanningsmeire, S. (2013). Fermented and acidified vegetables. *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*, 4th ed.; American Public Health Association: Washington, DC, USA, 521-532.

[36] Maruvada, R., & McFeeters, R. F. (2009). Evaluation of enzymatic and non-enzymatic softening in low salt cucumber fermentations. *International journal of food science & technology*, 44(6), 1108-1117.

[37] Alikhani-Koupaei, M., Mazlumzadeh, M., Sharifani, M. & Adibian, M. (2014). Enhancing stability of essential oils by microencapsulation for preservation of button mushroom during postharvest. *Journal of Food Science Nutrient*, 2(5), 526–533.

[38] Sakinah, N., Misran, A., Mahmud, T. M., Abdullah, S., & Azhar, M. (2020). Evaluation of storage temperature, packaging system and storage duration on postharvest quality of straw mushroom (*Volvariella volvacea*). *Food Research*, 4(3), 679-689.



Scientific Research

Optimization and characterization of button mushroom (*Agaricus bisporus*) pickle production using apple vinegar

Mahsa Rakhshankhah¹, Fariba Zeynali², Saber Amiri^{3*}, Farnaz Nabizadeh⁴

1- MSc in Food Technology, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, P.O. Box 57561-51818, Urmia, Iran

4- Institute of Agriculture, Water, Food, and Nutraceuticals, Mah.C., Islamic Azad University, Mahabad, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2025/12/24

Review: 2026/05/05

Accepted: 2026/05/13

Keywords:

fermentation,

button mushroom pickle,

apple vinegar,

shelf life

DOI: 10.48311/fsct.2026.118490.83003

*Corresponding Author E-

sa.amiri@urmia.ac.ir

The aim of this study was to optimize the button mushroom (*Agaricus bisporus*) pickle formulation by using of apple vinegar and salt. For this purpose, effect of apple vinegar concentration (3, 4 and 5 % v/v), salt concentration (2,3 and 4 %w/v) and storage time (1, 10 and 19 days) on physicochemical properties of button mushroom including pH, acidity, nitrite content, color parameters, firmness and sensory characteristics was investigated. Analysis of variance showed that by increasing of vinegar and salt concentrations, pH and nitrite contents decreased, but acidity increased ($p < 0.05$). L^* decreased by elevation of salt and was developed during storage ($p < 0.05$). Chroma index decreased by increasing of vinegar and was improve during storage ($p < 0.05$). Required force for penetration in texture analysis, was developed by upgrading of apple vinegar and salt concentrations and storage time ($p < 0.05$). Sensorial properties including flavor, texture and overall acceptance were improving by increasing of salt and vinegar levels but, color score was decreased ($p < 0.05$) which was in agreement with color analysis. Finally, optimization of formula was carried out according to the desirability of studied characteristics and optimum formula was achieved including salt concentration of 2.963% (w/v), apple vinegar concentration of 3% (v/v) and storage time of 19 days.