

تأثیر میزان نمک، دما و مدت زمان نگهداری بر ویژگی‌های بافتی نان برشته (تست)

محمد واحدی ترشیزی^۱، سعید مینایی*^۲، سجاد کیانی^۳

دانشجوی دکتری گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
نویسنده مسئول: استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، جمهوری اسلامی ایران.
نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۹/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۰۹

چکیده

نان از مهم‌ترین اقلام غذایی در جهان است و کیفیت آن نقش اساسی در پذیرش مصرف‌کننده دارد. در این پژوهش، تأثیر میزان نمک (۷ تا ۳۴ گرم در هر کیلوگرم خمیر)، دمای نگهداری (۴ درجه سلسیوس و ۱۵-۲۰ درجه سلسیوس) و مدت زمان ذخیره‌سازی (۷ روز) بر ویژگی‌های بافتی نان برشته (toast) که با پدیده بیاتی در پیوند است، ارزیابی شد. شاخص‌های سختی، پیوستگی، کشسانی، قابلیت جویدن و رطوبت برش‌های نان طی آزمایش‌های بافت‌سنجی و آنالیز آماری بررسی گردیدند. نتایج نشان داد که با افزایش زمان نگهداری، سختی نان از ۶-۸ به ۱۲-۱۴ نیوتن افزایش و در مقابل، پیوستگی و کشسانی به ترتیب از ۰/۷۲ به ۰/۶۴ و از ۸۰ به ۷۰ درصد کاهش یافته است. همچنین رطوبت نمونه‌ها از ۳۴/۰۵٪ به ۲۷/۰۳٪ کاهش پیدا کرد و قابلیت جویدن حدود ۵۰ درصد افزایش یافت. اثر نمک نشان داد بیشترین پیوستگی در سطح‌های ۲۸-۳۱ گرم (۰/۷۱) و کمترین در ۷ گرم (۰/۶۵) حاصل شده، در حالی که کشسانی در سطح ۲۵ گرم بیشینه و در ۱۳ گرم کمینه بود. در شرایط دمایی، نگهداری در یخچال (۴ °C) موجب افزایش سختی و پیوستگی همراه با حفظ رطوبت بیشتر شد، اما نمونه‌های نگهداری شده در دمای محیط، دارای مقادیر بالاتر کشسانی بودند. در مجموع، بهترین ویژگی‌های بافتی در نان‌های حاوی مقادیر متوسط نمک (۱۶-۲۲ گرم بر کیلوگرم خمیر) و نگهداری در دمای محیط طی چند روز نخست مشاهده شد، در حالی که مقادیر کم نمک همراه با نگهداری در محیط باعث افت شدید کیفیت گردید. این نتایج نشان می‌دهد تنظیم میزان نمک و انتخاب شرایط نگهداری مناسب می‌تواند نقش مهمی در کاهش سرعت بیاتی و افزایش ماندگاری نان برشته داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: نان حجیم، خصوصیات فیزیکی، دستگاه بافت‌سنج، میزان نمک، تحلیل آماری

مقدمه

کیلوگرم خمیر است و این محصول حدود ۲۵٪ از کل نمک دریافتی روزانه را تأمین می‌کند. در ایران، مصرف سرانه نان حدود ۳۰۰ گرم در روز گزارش شده که به مراتب بالاتر از میانگین اروپا است، از این رو نان یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین انرژی و سدیم در کشور به شمار می‌رود. در میان انواع نان، مصرف نان برشته روندی افزایشی دارد و بررسی کیفیت آن اهمیت ویژه‌ای یافته است. نان برشته که به سبک انگلیسی و در قالب‌های مشخص تولید می‌شود، دارای پوسته

نان یکی از قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین مواد غذایی در جهان است و به دلیل طعم مطلوب، قیمت مناسب و دسترسی آسان، جایگاه مهمی در رژیم غذایی دارد. با افزایش نگرانی‌های مرتبط با سلامت عمومی، تولید نان‌هایی با شاخص گلیسمی پایین‌تر و میزان نمک کمتر، بدون کاهش پذیرش مصرف‌کننده، ضروری شده است. میزان نمک مورد استفاده در تولید نان معمولاً بین ۱۸ تا ۲۲ گرم در هر

یکنواخت و بافتی نرم است و معمولاً پس از برش و برشته شدن مصرف می‌شود (Chen et al., 2021; Ghaziani et al., 2022).

با توجه به مصرف بالای نان در ایران، حفظ کیفیت این محصول در طول زمان اهمیت بسیاری دارد. نانی که تازه پخته شده، نرم، کشسان و معطر است و پس از پخت دچار تغییراتی می‌شود. این دگرگونی‌ها شامل تغییرات شیمیایی و فیزیکی بوده و بر مطلوبیت نان و پذیرش مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارند که به آن "بیات شدن" گفته می‌شود. بیات شدن نان یک اصطلاح کلی است که به پدیده سفت شدن مغز نان، نرم شدن پوسته و بدتر شدن طعم نان در طی نگهداری آن اشاره دارد. ویژگی مکانیکی بافت مانند سفتی مغز نان، از شاخص‌های دیگر برای اندازه‌گیری بیاتی نان می‌باشد. به‌طور کلی ارزیابی سفتی بافت پارامتر مناسبی برای ارزیابی میزان بیاتی نان است.

پژوهش‌های متعددی اثر کاهش نمک و شرایط نگهداری را بر کیفیت نان بررسی کرده‌اند. همچنین نقش نمک در بهبود طعم، کاهش تلخی، تنظیم فرآیند تخمیر، تقویت رنگ پوسته از طریق واکنش میلارد و افزایش پایداری میکروبی گزارش شده است. بررسی مقادیر مختلف NaCl و جایگزین‌های کم‌سدیم نشان داد افزایش نمک تولید ۲- فنیل اتانول (عامل رایحه مخمیری) را کاهش می‌دهد، در حالی که افزودن ۰.۳٪ نمک ترکیبات فرار حاصل از واکنش میلارد را افزایش داده و عطر نان را تقویت می‌کند. استفاده از نمک دریایی کم‌سدیم در کنار بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح‌شده نیز اختلافات بافتی معناداری طی ۹ روز نگهداری نشان داد، هرچند در ارزیابی حسی تفاوت چشمگیری در امتیاز کلی مشاهده نشد. نان باگت، کاهش کلرید سدیم یا جایگزینی جزئی آن با کلرید پتاسیم موجب کاهش سدیم و خاکستر شد، اما اغلب ویژگی‌های حسی تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشتند.

افزون بر ترکیب فرمولاسیون، شرایط نگهداری نیز اهمیت دارد؛ افزایش دما طی سه ماه باعث کاهش pH و افزایش سختی نان شد و به افت کیفیت انجامید. همچنین طی نگهداری نان سنتی، کاهش رطوبت مغز و افزایش تردی پوسته گزارش شد و پس از ۷۲ ساعت مقبولیت مصرف‌کننده به‌طور محسوسی کاهش یافت. نوع بسته‌بندی نیز نقش کلیدی در کیفیت نان دارد؛ فیلم^۱ CPP عملکرد بهتری در حفظ رطوبت و بافت نشان داد و بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح‌شده، به‌ویژه با CO₂، پایداری بیشتری نسبت به روش‌های معمول ایجاد کرد.

با توجه به اینکه پدیده بیاتی نان فرآیندی چندعاملی است و اغلب مطالعات پیشین تنها به بررسی جداگانه اثر میزان نمک یا شرایط نگهداری پرداخته‌اند، بررسی هم‌زمان این عوامل می‌تواند درک دقیق‌تری از تغییرات بافتی نان فراهم آورد. از این‌رو، هدف پژوهش حاضر، بررسی سیستماتیک و هم‌زمان اثر سه عامل کلیدی شامل میزان نمک (۷ تا ۳۴ گرم در کیلوگرم خمیر)، دمای نگهداری (۴ و ۱۵-۲۰ درجه سلسیوس) و زمان ذخیره‌سازی (۷ روز) بر ویژگی‌های بافتی نان برشته (سفتی، پیوستگی، کشسانی، قابلیت جویدن و میزان رطوبت) و تحلیل برهم‌کنش این متغیرها با استفاده از طراحی آزمایش فاکتوریل بود. نتایج این مطالعه می‌تواند مبنایی علمی برای بهینه‌سازی فرمولاسیون و شرایط نگهداری نان‌های حجیم با هدف کاهش بیاتی و افزایش ماندگاری فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

مشخصات آرد مورد استفاده برای تولید نمونه‌ها در جدول ۱ آمده است. این آرد بیشتر در تولید فرآورده‌هایی مانند انواع نان‌های حجیم کاربرد دارد. ده سطح نمک از ۷ تا ۳۴ گرم به ازای هر کیلوگرم خمیر و با فواصل ۳ گرم اعمال شد. به منظور ارزیابی بهتر تأثیر سطح نمک بر روی خصوصیات کیفی نان برشته، بازه‌هایی از مقادیر کم‌نمک تا

¹ Cast PolyPropylene (CPP) film

تأثیر میزان نمک، دما و مدت زمان نگهداری بر ویژگی‌های بافتی نان برشته (تست)

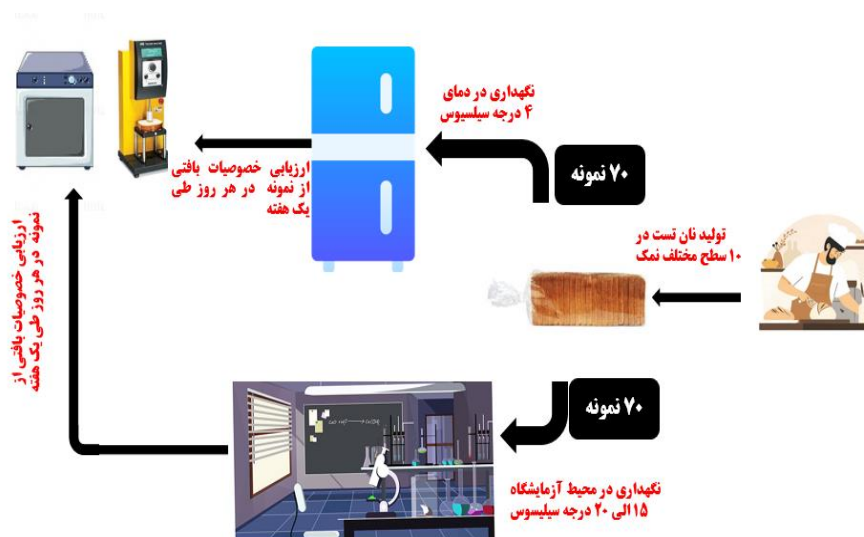
مقادیر بالای نمک انتخاب و استفاده گردید. پس از پخت، نمونه‌های نان در محیطی استریل به میزان کافی خنک شدند و سپس به صورت بسته‌بندی شده به آزمایشگاه منتقل گردیدند (شکل ۱). قرص‌های نان با استفاده از چاقوی استریل به برش‌هایی با ضخامت ۱ سانتی‌متر تقسیم شدند. برش‌ها در بسته‌بندی‌های از پیش استریل و بدون درز قرار داده شدند و سپس عملیات درزبندی با استفاده از دستگاه بسته‌بندی Henkelman A-200 Boxer انجام شد. نمونه‌ها در دمای ۱۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس در آزمایشگاه و نیز در یخچال (۴ درجه سلسیوس) نگهداری شدند تا اثر شرایط نگهداری نیز ارزیابی شود. برای هر سطح نمک و هر شرایط نگهداری، نمونه‌های جداگانه تهیه گردید. نمونه‌های نان با

بهره‌گیری از فیلم پلی‌پروپیلن به روش کست (CPP) بسته‌بندی شدند که به‌طور معمول در صنعت بسته‌بندی نان محلی، به‌ویژه برای نان برشته و نان‌های برش‌خورده، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. فیلم‌های CPP به دلیل شفافیت بالا، استحکام مکانیکی، انعطاف‌پذیری و قابلیت درزبندی عالی در ماشین‌های بسته‌بندی خودکار، به‌طور گسترده بکار می‌روند. فیلم بسته‌بندی CPP انتخاب شده در این مطالعه از نظر ظاهری شفاف و یکنواخت بوده و ضخامت آن در تمامی نمونه‌ها یکسان بود. برای اطمینان از یکنواختی، از یک نوع ماده بسته‌بندی واحد برای همه نمونه‌های نان بهره‌گیری شد.

جدول ۱. مشخصات کیفی آرد بکار برده شده در تولید نان برشته

Table 1. Quality characteristics of wheat flour used for toast bread production

(Property) ویژگی	(Value) مقدار	(Units) واحد / توضیح
رطوبت (Moisture Content)	14.2	درصد (db) / percent (db)
پروتئین کل (Total Protein)	11	درصد / percent
گلوتن مرطوب (Wet Gluten)	26	درصد / percent
خاکستر کل (Total Ash)	0.50–0.70	درصد / percent



شکل ۱. نمودار فرایند اجرای آزمایش

Figure 1. Diagram of the experimental procedure

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی نان

کشسانی^۴ از منحنی حاصل از آزمون TPA استخراج شد. سفتی به‌عنوان بیشینه نیروی لازم برای فشرده‌سازی نمونه در نخستین مرحله فشردگی تعریف می‌شود و نشان‌دهنده میزان مقاومت نان در بارگذاری است. پیوستگی از نسبت مساحت زیر منحنی دوم به منحنی اول به‌دست می‌آید و بیانگر میزان پایداری ساختار درونی نمونه پس از اولین فشردگی است. کشسانی، فاصله‌ای است که نمونه پس از نخستین فشردگی به حالت اولیه بازمی‌گردد و به‌صورت نسبت زمانی بین دو قله منحنی نیرو تعریف می‌شود. قابلیت جویدن، حاصل‌ضرب سفتی، پیوستگی و کشسانی است و نشان‌دهنده میزان انرژی لازم برای جویدن کامل نمونه تا آماده بلع شدن است.

تجزیه و تحلیل آماری

متغیرهای مستقل و وابسته پژوهش در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام و نتایج توسط آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.2 تحلیل شدند. تحلیل‌ها شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD بود.

سفتی، پیوستگی، کشسانی، جویدن و میزان رطوبت، متغیرهای وابسته مورد ارزیابی بودند که در ادامه، روش سنجش و تعیین آن‌ها ارائه می‌شود.

اندازه‌گیری میزان رطوبت

در این بخش ابتدا روش تعیین میزان رطوبت نمونه‌ها تشریح می‌گردد. تعیین میزان رطوبت پوسته و مغز نمونه‌ها با استفاده از روش گراویمتریک (توزین) انجام گرفت. این آزمون به‌منظور اندازه‌گیری قابلیت جذب و نگهداری میزان رطوبت نمونه‌های نان مطابق روش استاندارد ملی ایران شماره ۲۷۰۵ انجام و نتایج بر پایه تر محاسبه شد.

ارزیابی بافت نان

بافت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه بافت‌سنج Brookfield CT3-10K با ظرفیت ۱۰۰ نیوتن مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون تحلیل پروفایل بافت برای بررسی ویژگی‌های بافتی در طول زمان نگهداری به‌کار گرفته شد. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی، به کمک عامل بارگذاری استوانه‌ای با قطر ۲ سانتی‌متر و با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه تا میزان ۵۰٪ فشردگی تحت فشار قرار گرفتند. درنهایت، ویژگی‌های مکانیکی نان شامل سفتی^۱، قابلیت جویدن^۲، پیوستگی^۳ و

جدول ۲. متغیرهای مستقل و وابسته تحقیق

Table 2. Independent and dependent variables of the study

متغیر مستقل (Independent Variable)	سطوح (Level)	متغیر وابسته (Dependent Variables)
میزان نمک (Salt level)	سطح ۱۰ (10 levels)	۷، ۱۰، ۱۳، ۱۶، ۱۹، ۲۲، ۲۵، ۲۸، ۳۱ و ۳۴ گرم به ازای هر کیلوگرم 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31 and 34 g per kilogram of dough
دمای نگهداری (Storage temperature)	۲ سطح (2 levels)	دمای ۱۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس در آزمایشگاه و نیز در یخچال (۴ درجه سلسیوس) Temperature of 15–20 °C in the laboratory as well as the refrigerator (4 °C)
زمان نگهداری (Storage time)	۷ روز (7 days)	داده‌برداری به مدت ۷ روز و ثبت داده‌ها هر روز انجام شده است. Data collection was conducted over a period of 7 days while the data were recorded daily.

³ Cohesiveness⁴ Springiness¹ Hardness² Chewiness

نتایج و بحث

درصد معنی‌دار شده است. در میان عوامل مستقل، زمان نگهداری بیشترین تأثیر را بر سفتی، قابلیت جویدن و میزان رطوبت نان داشت، درحالی‌که دمای نگهداری اثر بیشتری بر دما و مدت‌زمان نگهداری در جدول (۳) آورده شده است. ویژگی‌های پیوستگی و کشسانی نمونه‌ها نشان داد. اثرات تمامی متغیرهای مستقل یادشده، در سطح آماری ۱

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) بررسی تأثیر میزان نمک، دما و زمان نگهداری بر ویژگی‌های بافتی نان برشته
Table 3. Analysis of variance (ANOVA) results for the effect of salt level, storage temperature, and storage time on the textural properties of toast bread

Independent متغیرهای مستقل Variables	Df درجه آزادی	Hardness/سفتی			Cohesiveness/پیوستگی		
		Mean Square میانگین مربعات	F Value	Pr > F	Mean Square میانگین مربعات	F Value	Pr > F
Salt level/میزان نمک	9	7.61	6.62	0.0001	0.017	42.03	0.0001
Storage temperature/دمای نگهداری	1	21.64	18.81	0.0001	0.21	519.89	0.0001
Storage time/زمان نگهداری	6	298.94	259.76	0.0001	0.061	146.32	0.0001
Salt × Temperature/نمک × دما	54	0.73	0.64	0.97	0.0003	0.94	0.602
Salt × Time/نمک × زمان	9	5.82	5.06	0.0001	0.0038	9.17	0.0001
Temperature × Time/دما × زمان	6	0.63	0.55	0.77	0.0002	0.64	0.7008
		springiness/کشسانی			Chewiness/قابلیت جویدن		
Salt level/میزان نمک	9	2124.11	44.67	0.0001	51.34	43.24	0.0001
Storage temperature/دمای نگهداری	1	1867.64	353.50	0.0001	39.043	295.90	0.0001
Storage time/زمان نگهداری	6	6443.47	203.27	0.0001	494.89	625.13	0.0001
Salt × Temperature/نمک × دما	54	139.02	0.49	0.99	20.94	2.94	0.0001
Salt × Time/نمک × زمان	9	757.52	15.93	0.0001	10.55	8.89	0.0001
Temperature × Time/دما × زمان	6	23.30	0.74	0.62	0.335	0.42	0.86
		Moisture content/میزان رطوبت					
Salt level/میزان نمک	9	157.66	73.32	0.0001			
Storage temperature/دمای نگهداری	1	7.51	30.20	0.0001			
Storage time/زمان نگهداری	6	2697.88	1881.88	0.0001			
Salt × Temperature/نمک × دما	54	12.20	0.95	0.58			
Salt × Time/نمک × زمان	9	246.63	114.69	0.0001			
Temperature × Time/دما × زمان	6	0.357	0.25	0.9594			

جدول ۴ نشان‌دهنده انحراف معیار ویژگی‌های بافتی (سفتی، پیوستگی، کشسانی و قابلیت جویدن) و میزان رطوبت نمونه‌ها در دو دمای نگهداری متفاوت (۱۵-۲۰ و ۴ درجه سلسیوس) طی دوره زمانی و در سطوح مختلف نمک است. از داده‌ها مشخص است که در روزهای اولیه، انحراف معیار سفتی و کشسانی نسبتاً پایین و پایدار است، درحالی‌که قابلیت جویدن و میزان رطوبت نوسان کمتری نشان می‌دهند. با گذر زمان، به‌ویژه در دمای پایین (۴ درجه سلسیوس)، انحراف معیار برخی پارامترها مانند سفتی و کشسانی در روز پنجم به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و نشان‌دهنده تغییرات نامتوازن در خصوصیات بافتی نمونه‌ها است. بررسی اثر سطوح مختلف نمک نیز نشان می‌دهد که با افزایش مقدار نمک، انحراف معیار سفتی و قابلیت جویدن تمایل به افزایش دارد، درحالی‌که پیوستگی و کشسانی نسبتاً پایدار باقی می‌مانند. این الگو نشان می‌دهد که دمای نگهداری و میزان نمک هر دو می‌توانند تغییرپذیری ویژگی‌های بافتی و رطوبت را تحت تأثیر قرار دهند، به‌طوری‌که دمای پایین و مقادیر بالاتر نمک باعث افزایش پراکندگی داده‌ها در برخی پارامترها می‌شوند که ممکن است ناشی از تفاوت واکنش نمونه‌ها نسبت به شرایط نگهداری و جذب رطوبت باشد.

جدول ۴ - انحراف معیار ویژگی‌های بافتی و میزان رطوبت نمونه‌ها در دماهای مختلف نگهداری طی دوره زمانی و سطوح مختلف نمک
Table 4 - Standard deviation of textural properties and moisture content of samples at different storage temperatures over time and at various salt levels

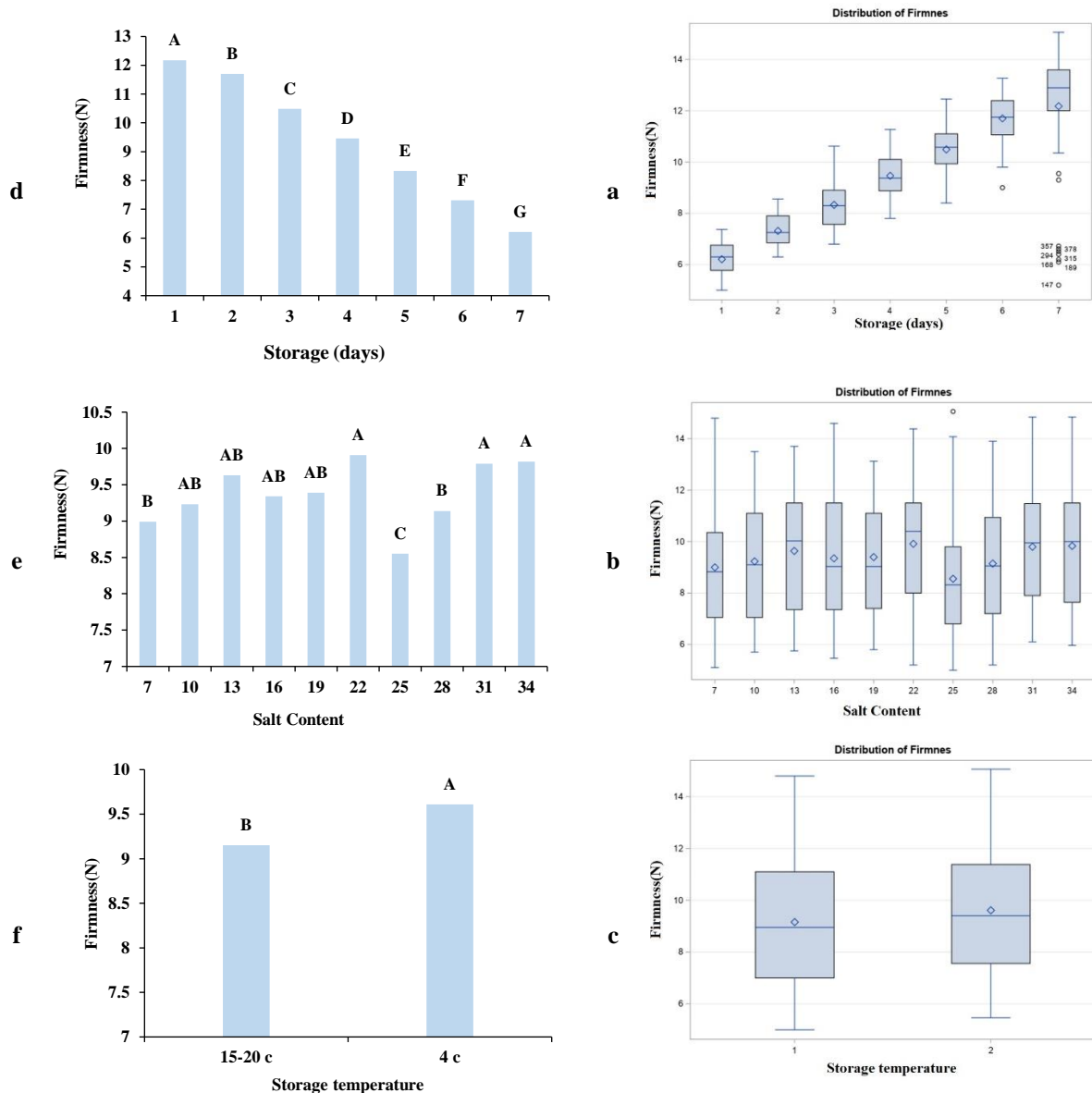
زمان نگهداری Storage Time	دمای نگهداری Storage Temperatures	سفتی Hardness	پیوستگی Cohesiveness	کشسانی springiness	قابلیت جویدن Chewiness	میزان رطوبت Moisture content
روز اول / Day 1	1	0.587	0.022	1.419	0.578	0.956
	2	0.573	0.031	3.393	0.583	0.899
روز دوم / Day 2	1	0.627	0.018	1.910	0.566	1.086
	2	0.524	0.029	3.691	0.470	1.007
روز سوم / Day 3	1	0.754	0.022	2.820	0.570	0.984
	2	0.834	0.035	4.705	0.409	0.941
روز چهارم / Day 4	1	0.783	0.026	2.299	0.784	1.240
	2	0.790	0.033	3.279	0.785	1.052
روز پنجم / Day 5	1	0.906	0.022	2.651	0.439	1.226
	2	3.175	21.701	20.968	7.111	1.043
روز ششم / Day 6	1	0.941	0.020	1.959	0.453	1.287
	2	0.746	0.032	3.251	0.486	1.073
روز هفتم / Day 7	1	2.270	0.033	3.788	0.485	1.425
	2	2.638	0.045	5.849	0.581	1.159
سطوح مختلف نمک Different salt levels						
۷ گرم / 7 g	1	2.819	0.031	4.326	1.331	3.186
	2	2.289	0.030	4.009	1.234	2.387
۱۰ گرم / 10 gr	1	2.613	0.040	4.857	1.083	2.483
	2	1.950	0.034	4.392	0.919	2.476
۱۳ گرم / 13 g	1	2.767	0.043	4.985	1.226	2.815
	2	2.131	0.038	4.573	1.226	2.611
۱۶ گرم / 16 g	1	2.410	0.030	4.016	1.258	2.332
	2	2.512	0.032	4.309	1.282	2.570
۱۹ گرم / 19 g	1	2.158	0.034	4.326	0.972	2.570
	2	2.129	0.039	4.909	0.913	2.489
۲۲ گرم / 22 g	1	2.008	0.037	4.479	1.226	2.570
	2	2.418	0.044	5.137	1.288	2.737
۲۵ گرم / 25 g	1	2.199	0.030	4.016	1.258	2.489
	2	2.592	0.033	4.446	1.323	2.652
۲۸ گرم / 28 g	1	2.392	0.030	4.104	1.221	2.737
	2	2.197	0.041	5.065	0.942	2.694
۳۱ گرم / 31 g	1	2.028	0.038	4.675	0.869	2.737
	2	2.495	0.045	5.301	1.329	2.715
۳۴ گرم / 34 g	1	2.303	0.042	4.893	1.226	2.737
	2	2.480	0.032	4.343	1.337	2.715

۱- دمای ۱۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس - Temperature of 15-20°C ۲- دمای ۴ درجه سلسیوس - Temperature of 4°C

در طول زمان باشد. نتایج تحلیل سفتی نان در سطوح مختلف نمک نشان داد که با کاهش میزان نمک، سفتی به‌طور جزئی کاهش می‌یابد، اما این روند تدریجی است (۲-). در سطوح بالاتر نمک (۲۲، ۳۱ و ۳۴ گرم در کیلوگرم)، سفتی تقریباً ثابت باقی‌مانده و نان تازه‌تر ماند، درحالی‌که در سطوح متوسط (۱۳، ۱۶ و ۱۹ گرم) سفتی کمی کاهش یافته و در سطوح پایین‌تر (۷ و ۱۰ گرم) کاهش قابل‌توجهی مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهند که سطح نمک اثر جزئی بر بافت و سفتی نان دارد و تغییرات آن مشابه فرآیند بیاتی و کاهش رطوبت در طول نگهداری است. نمونه‌های نان نگهداری شده در دمای اتاق نسبت به نمونه‌های یخچال سریع‌تر تازگی خود را از دست دادند و سفتی مغز آن‌ها افزایش بیشتری داشت، مشابه یافته‌های مطالعه (Ronda نشان داد که نگهداری در یخچال باعث کاهش کندتر سفتی مغز نان می‌شود و (Gray تحرک آب و ماکرومولکول‌ها در ماتریس نان را عامل مهمی در بیاتی و کاهش کیفیت معرفی کردند. این شواهد تأکید می‌کنند که نگهداری، رطوبت و ترکیب ماتریس نان بر روند تغییرات بافت و سفتی اثرگذار هستند. تحلیل سفتی در دماهای مختلف نگهداری نشان داد که میانگین سفتی در یخچال (۶۱/۹) به‌طور معناداری کمتر از محیط بیرون (۱۵/۹) بود (۲-f) به‌طوری‌که نمونه‌های اتاق نسبت به نمونه‌های یخچال سفتی بیشتری داشتند. این تفاوت ممکن است ناشی از محدودیت در تحرک و تعامل آب، نشاسته و پروتئین در ماتریس نان هنگام نگهداری در یخچال باشد که روند بیات شدن را کند کرده و کیفیت نان را به تأخیر می‌اندازد. کاهش سفتی در یخچال همچنین می‌تواند با افزایش میزان آب مغز نان مرتبط باشد، همان‌طور که (Ronda سخت شدن مغز نان را با کاهش آب مرتبط دانستند. این نتایج نشان می‌دهند که سطح نمک و شرایط نگهداری نقش مهمی در حفظ بافت و تازگی نان دارند.

همان‌گونه که در شکل (۲-a) دیده می‌شود، سفتی نان در طول نگهداری روندی افزایشی دارد؛ به‌طوری‌که مقدار آن از حدود ۶ تا ۸ نیوتن در روز اول به ۱۲ تا ۱۴ نیوتن در روز هفتم رسید (افزایش حدود ۸۰ تا ۱۰۰ درصد). در روزهای ابتدایی (۱ و ۲) داده‌ها فشرده‌تر و پراکندگی کمتر بود و بیشتر مقادیر در محدوده‌ای نزدیک به هم قرار داشتند. با گذشت زمان، دامنه تغییرات افزایش یافت، مستطیل‌های نمودار گسترده‌تر شدند و داده‌های خارج از محدوده بیشتر مشاهده شد که بیانگر افزایش پراکندگی و تشدید بیاتی در طی نگهداری است. در شکل (۲-b)، تغییرات سفتی برحسب سطوح مختلف نمک (۷ تا ۳۴ گرم در کیلوگرم) بررسی شد. با افزایش نمک، تغییرات سفتی محدود و نسبتاً جزئی بود. در سطوح بالاتر نمک (۲۵، ۲۸، ۳۱ و ۳۴ گرم) افزایش خفیفی در سفتی دیده شد، اما اختلاف‌ها چشمگیر نبود. در مجموع، تأثیر سطح نمک بر سفتی کم بوده و تنها نوسانات محدودی ایجاد کرده است. بر اساس شکل (۲-c)، مقایسه دو دمای نگهداری نشان داد که میانگین سفتی در هر دو سطح نزدیک به ۱۰ نیوتن و پراکندگی داده‌ها مشابه است. عدم مشاهده داده پرت و شباهت طول مستطیل‌ها بیانگر توزیع یکنواخت داده‌ها در هر دو دما است. بنابراین، اختلاف قابل‌توجهی از نظر سفتی بین دو دمای نگهداری مشاهده نشد.

در شکل (۲-d) مقایسه‌ی میانگین‌های سفتی در روزهای مختلف نگهداری با استفاده از آزمون t نشان داده شده است. محور افقی مقدار میانگین سفتی را نمایش داده و رنگ‌های مختلف بیانگر گروه‌هایی هستند که میانگین سفتی آن‌ها از نظر آماری تفاوت معنی‌داری دارد. بالاترین مقدار سفتی مربوط به روز ۷ با میانگین ۱۲/۱۷ نیوتن و کمترین مقدار سفتی مربوط به روز ۱ با میانگین ۶/۲۰ نیوتن است. به‌طورکلی، با افزایش روزهای نگهداری، سفتی نیز افزایش می‌یابد که ممکن است ناشی از تغییرات فیزیکی و بیاتی نان



شکل ۲. توزیع شاخص‌های بافتی نان (a, b, c) و مقایسه میانگین (d, e, f) سفتی نان در مدت نگهداری، میزان نمک و دما
 Figure 2. Distribution of texture indices (a, b, c) and comparison of the means (d, e, f) for bread hardness over storage time, salt level, and temperature

نتایج حاصل از بررسی پیوستگی نان در دماهای مختلف نگهداری، سطوح نمک و زمان نگهداری نشان داد که عوامل متعددی بر کیفیت بافت نان تأثیرگذارند (شکل ۳). در طی هفت روز نگهداری، شکل (a-۳) روند نزولی پیوستگی را نشان داد که ناشی از بازآرایی مولکول‌های نشاسته یا رتروگراداسیون^۱ است، فرآیندی که باعث تبلور مجدد نشاسته و کاهش توانایی آن در حفظ آب می‌شود. این یافته‌ها با نتایج ژائو و همکاران (۲۰۲۲) همچنين شا و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد.

شکل (b-۳) رابطه میزان نمک با پیوستگی را نشان می‌دهد. با افزایش مقدار نمک از ۷ تا ۲۸ گرم، پیوستگی به‌طور پیوسته افزایش یافت و به بیشینه مقدار ۰/۷۱ در

1- Retrogradation

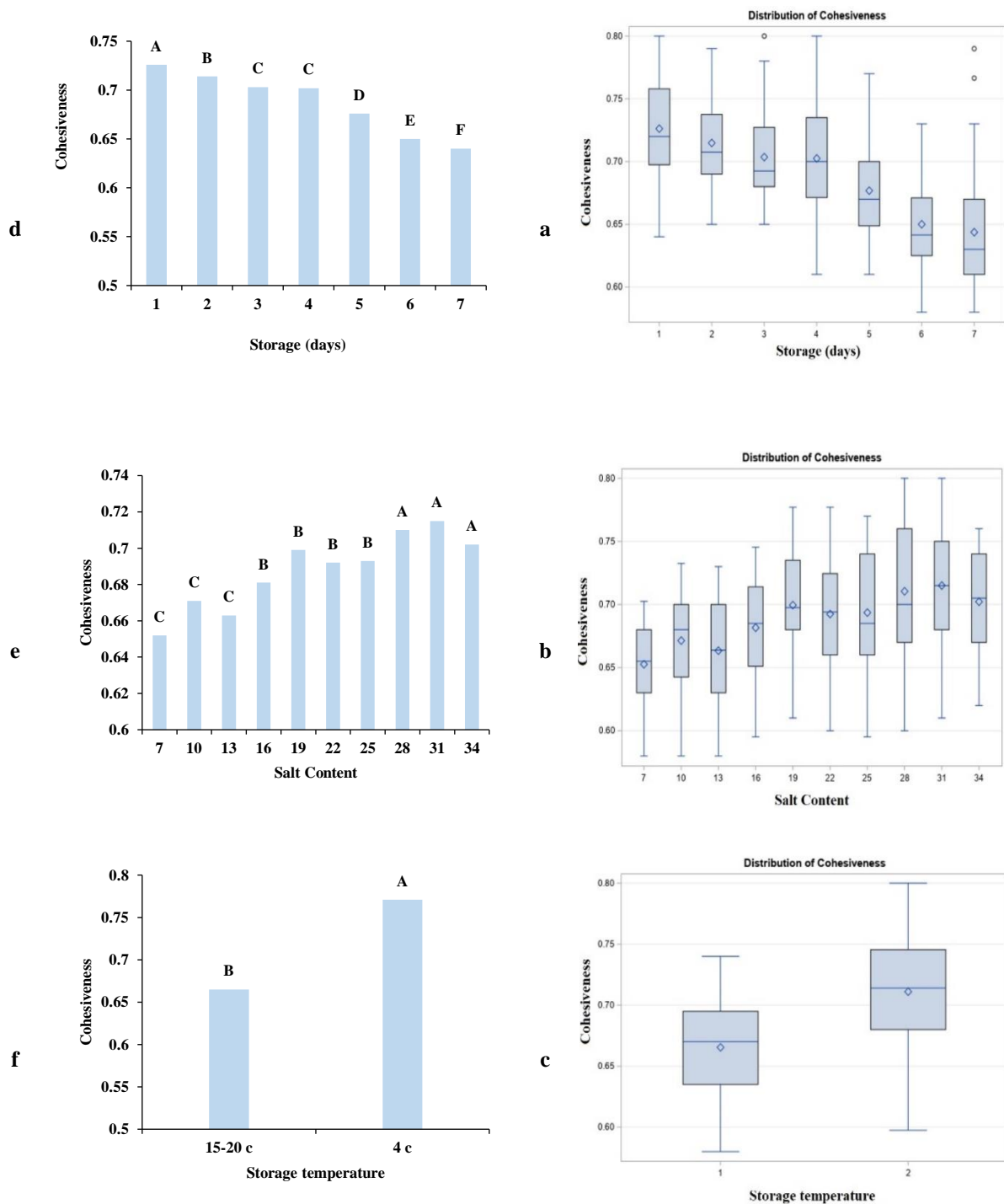
و نشان داد که نگهداری در یخچال می‌تواند یکپارچگی بافتی محصول را حفظ کند.

بررسی توآمان فاکتورهای مستقل نشان داد که تغییرات پیوستگی تنها ناشی از یک عامل مستقل نبوده، بلکه حاصل برهم‌کنش هم‌زمان نمک، دما و زمان نگهداری است. دلیل این پدیده را می‌توان در رفتار هم‌زمان شبکه گلوئنی و فرآیند رتروگراداسیون نشاسته جستجو کرد. نمک با کاهش دافعه الکترواستاتیکی بین پروتئین‌های گلوئن، موجب تقویت پیوندهای بین‌مولکولی و ایجاد شبکه‌ای منسجم‌تر می‌شود. این شبکه قوی‌تر توانایی نگهداری آب را افزایش داده و خروج رطوبت را کند می‌کند (Papasidero, 2017; Monteau *et al.*, 2016). در دمای پایین (۴ درجه سلسیوس)، سرعت واکنش‌های آنزیمی و جابجایی مولکول‌های آب کاهش می‌یابد؛ با این حال، دمای سرد می‌تواند رتروگراداسیون آمیلوز را تسریع کند. در صورتی که سطح نمک در محدوده بهینه باشد (۱۶-۲۲ گرم)، شبکه گلوئنی تقویت شده قادر است بخشی از اثرات منفی رتروگراداسیون را خنثی کرده و از افت شدید پیوستگی جلوگیری کند (Oručević Žuljević & Spaho, 2024; Ponomareva *et al.*, 2021). اما در سطوح پایین نمک، شبکه گلوئنی ضعیف‌تر بوده و در نتیجه، در ترکیب با دمای محیط و گذشت زمان، مهاجرت رطوبت و تبلور مجدد نشاسته سریع‌تر رخ داده و افت پیوستگی شدیدتر می‌شود. از سوی دیگر، در سطوح بالای نمک (۲۸-۳۱ گرم)، اگرچه ساختار پروتئینی مستحکم‌تر است، اما افزایش بیش‌ازحد پیوندهای عرضی می‌تواند موجب کاهش انعطاف‌پذیری ماتریس خمیر شده و همراه با کاهش تدریجی رطوبت طی زمان، به افزایش سفتی و قابلیت جویدن منجر شود. بنابراین، اثر متقابل مشاهده شده ناشی از تعادل دینامیک بین سه فرآیند اصلی شامل تقویت شبکه گلوئنی توسط نمک، از دست دادن آب و رتروگراداسیون نشاسته تحت تأثیر دما و زمان است.

سطح ۲۸ گرم رسید. پس‌از آن، کاهش جزئی در پیوستگی مشاهده شد که بیانگر وجود نقطه بهینه در تأثیر نمک است. نمک با کاهش بار الکتریکی پروتئین‌ها، پیوندهای قوی‌تری در ساختار گلوئنی ایجاد کرده و بافت نان را مستحکم‌تر می‌سازد. این فرآیند همچنین به حفظ بهتر میزان رطوبت در خمیر و کاهش بیاتی کمک می‌کند. در شکل (۳-۳) توزیع پیوستگی بین دو دمای نگهداری (اتاق و یخچال) نشان داده شده است. براساس نتایج توزیع پیوستگی درون یخچال (۰/۸۰) بیشتر از محیط بیرون (۰/۷۴) است. نگهداری در یخچال با کاهش سرعت رتروگراداسیون و حفظ میزان رطوبت، موجب تأخیر در بیاتی و حفظ پیوستگی می‌شود. در مجموع، شرایط سرد و نمک بهینه دو عامل کلیدی در حفظ ساختار و کیفیت نان طی زمان نگهداری هستند.

شکل (۳-۳) تغییرات پیوستگی را طی ۷ روز نگهداری نشان می‌دهد. میانگین پیوستگی از ۰/۷۲ در روز اول به ۰/۶۴ در روز هفتم کاهش یافته است (۱۵-۲۰٪ کاهش). این کاهش عمدتاً از روز پنجم به بعد رخ داده و تفاوت آماری بین روزهای انتهایی و ابتدایی معنادار است. این کاهش پیوستگی با افزایش زمان نگهداری، بر کیفیت بافت محصول اثر منفی دارد.

در شکل (۳-۴) تأثیر میزان نمک بر پیوستگی بررسی شده است. نتایج نشان داد که پیوستگی با افزایش نمک به‌طور پله‌ای بیشتر می‌شود، اما در همه مقادیر، تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود. بیشترین پیوستگی (۰/۷۱) در سطح نمک ۳۱ گرم و کمترین آن (۰/۶۵) در سطح ۷ گرم ثبت شده است. گروه‌بندی آماری نشان داد که برخی مقادیر نمک اثر مشابهی دارند. نقش نمک در بهبود پیوستگی به تنظیم جذب آب و پیوستگی خمیر مربوط می‌شود. در شکل (۳-۴)، مقایسه بین دو دمای نگهداری نشان داد که پیوستگی در نمونه‌های یخچالی (۰/۷۷۱) بیشتر از محیط بیرون (۰/۶۶۵) است. تفاوت آماری بین این دو حالت معنادار بوده



شکل ۳. توزیع شاخص‌بافتی نان (a, b, c) و مقایسه میانگین (d, e, f) میزان بیوستگی نان در مدت نگهداری، میزان نمک و دما
 Figure 3. Distribution of indices (a, b, c) and comparison of the means (d, e, f) for bread cohesiveness over storage time, salt level, and temperature

ویژگی کشسانی نان و در نتیجه بر زمان مناسب نگهداری تأثیر بگذارد. در شرایطی که میزان نمک و خاصیت کشسانی بهینه هستند، نان ممکن است مدت زمان طولانی تری تازه بماند؛ اما افزایش بیش از حد کشسانی به دلیل نمک بالا می‌تواند موجب تغییرات نامطلوب و محدود شدن زمان نگهداری شود.

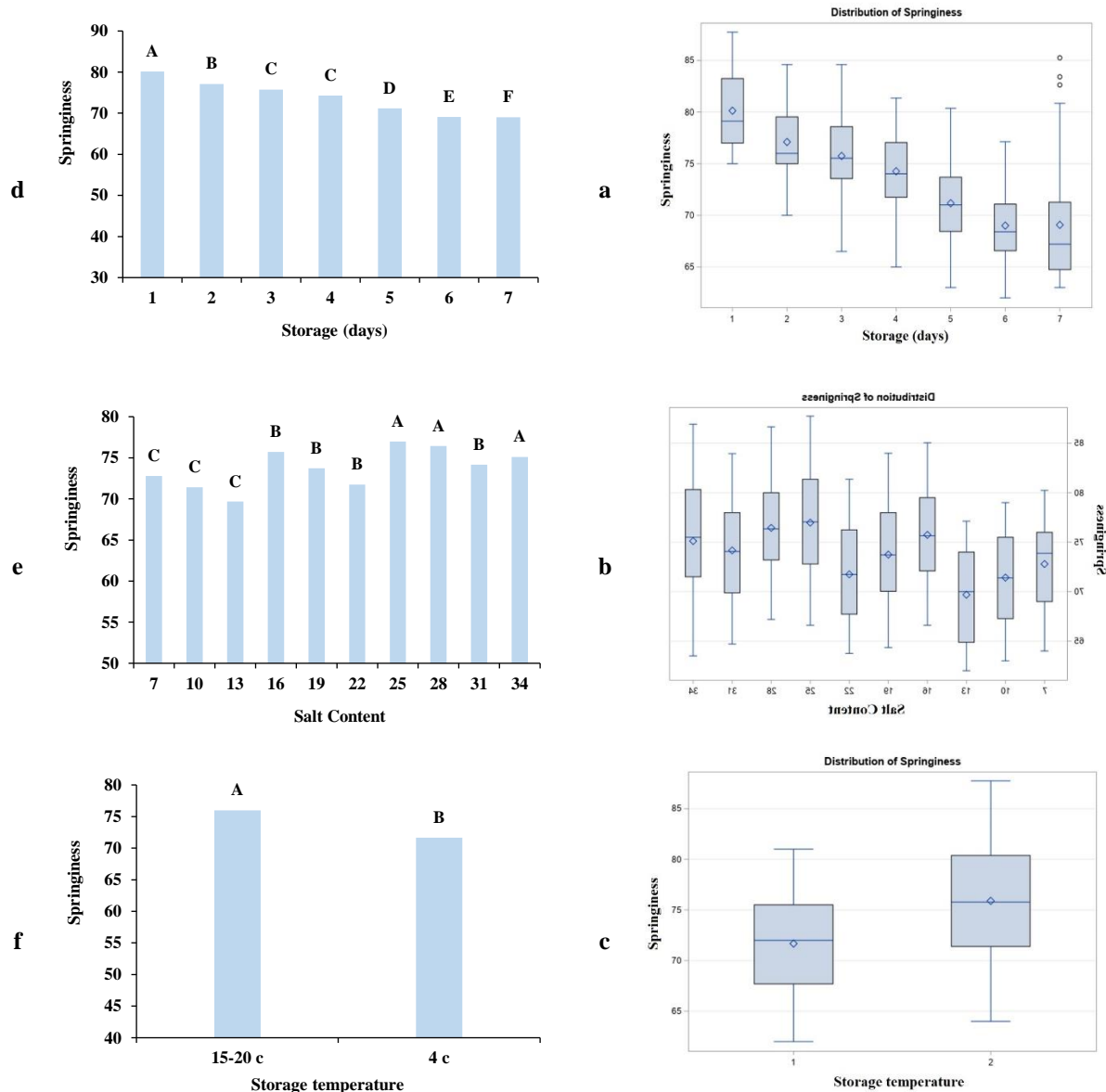
تحلیل آماری نشان داد که ویژگی کشسانی در دو دمای نگهداری بیرون و درون یخچال از نظر آماری تفاوت معناداری داشته است. مقدار میانگین برای ویژگی کشسانی ۷۱/۰۷ در دمای نگهداری یخچال و ۷۵/۰۸ در دمای اتاق است. در نمودار، هیچ خط افقی مشترکی بین دو میله مشاهده نمی‌شود که نشان‌دهنده وجود تفاوت معنادار آماری بین این دو گروه است. این یافته با سطح معناداری ۰/۰۵ معتبر بوده و نشان می‌دهد که نگهداری نان در یخچال باعث حفظ انعطاف‌پذیری و امکان بازگشت‌پذیری بیشتر بافت نسبت به نگهداری در دمای محیط می‌شود. لذا این ویژگی می‌تواند در انتخاب دمای مناسب نگهداری عاملی مهم باشد.

در طول دوره نگهداری، قابلیت جویدن نان به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم بافتی، تغییرات قابل توجهی را نشان می‌دهد (شکل ۵). در روز نخست، میانگین قابلیت جویدن حدود ۴ گزارش شد که نشان‌دهنده بافت نرم نان تازه است. با گذشت زمان، به‌ویژه پس از روز سوم، مقدار این ویژگی افزایش یافته و در روز هفتم به مقدار بیشینه می‌رسد. علت اصلی این روند افزایشی، کاهش میزان رطوبت و تغییرات ساختاری ترکیبات نان است که منجر به سفت‌تر شدن بافت و افزایش مقاومت در برابر جویدن می‌شود. وجود داده‌های پرت در روزهای دوم و سوم احتمال تأثیرپذیری این ویژگی از شرایط محیطی مانند دما و میزان رطوبت را نیز نشان می‌دهد. در بررسی تأثیر نمک بر قابلیت جویدن، نتایج حاصل از نمودار مستطیلی نشان می‌دهد که با افزایش مقدار نمک از سطح ۷ تا ۳۴ گرم، قابلیت جویدن روندی افزایشی اما غیرخطی دارد. میانگین این ویژگی از حدود ۵/۲ در سطح نمک ۷ گرم به ۶/۵ در سطح ۳۱ گرم افزایش یافته (معادل ۲۵ درصد)، ولی در سطح ۳۴ گرم کاهش اندکی مشاهده می‌شود.

کشسانی یکی از ویژگی‌های مهم بافت ماده خوراکی است که میزان بازگشت‌پذیری آن پس از اعمال نیرو را نشان می‌دهد. در روز اول نگهداری، مقدار کشسانی در بیشترین سطح قرار دارد (میانگین بین ۷۸ تا ۸۰)، اما با گذشت زمان خاصیت کشسانی کاهش یافته و در روز هفتم به کمترین حد رسید. این کاهش به دلیل تغییرات در ساختار درونی، کاهش میزان رطوبت و تغییرات شبکه پروتئینی یا نشاسته‌ای محصول است (Kamaliroosta et al., 2016). همچنین در روزهای پایانی پراکندگی داده‌ها بیشتر شده و چند داده پرت مشاهده شد که می‌تواند ناشی از تفاوت‌های جزئی در شرایط نگهداری باشد. گارسیا و همکاران (۲۰۱۴) نیز نتایج مشابه در مورد نان گزارش داده‌اند (Silvas-García et al., 2014).

بر اساس نمودار مستطیلی شکل (۴-ب)، تأثیر نمک بر کشسانی پیچیده و غیرخطی است. کمترین مقدار (میانگین حدود ۷۰) در سطح نمک ۱۳ گرم و بیشترین آن (میانگین مقدار ۷۷) در میزان ۲۵ گرم دیده شده است. پس از سطح نمک ۲۵ گرم، کشسانی روند کاهشی تا سطح ۳۱ گرم داشته و سپس افزایش مجدد تا سطح ۳۴ گرم مشاهده شد. نتایج نشان داد که ۲۵ گرم نمک می‌تواند مقدار بهینه‌ای برای حصول کشسانی مطلوب باشد، درحالی‌که مقادیر کمتر یا بیشتر ممکن است منجر به ضعف در تشکیل شبکه گلوتهی و سفتی بیش از حد بافت شود و بیاتی را تسریع کند.

مطابق نتایج در شکل (۴-ج)، داده‌های دمای نگهداری نمونه‌های یخچالی با میانگین ۷۶ دارای پراکندگی بیشتر بوده و میانگین بالاتری نسبت به داده‌های نگهداری بیرون یخچال با میانگین ۷۳ دارد. بر اساس شکل (۴-د) میانگین‌های هر گروه از نظر آماری دارای تفاوت معنادار بوده و در نهایت به یک‌روند کاهش تدریجی طی روزهای نگهداری در طول گروه‌ها اشاره دارد (۲۰-۲۵٪ کاهش). خاصیت کشسانی بالاتر نشان‌دهنده شبکه گلوتهی مستحکم‌تر و بافت نانی با قابلیت بازیابی بهتر پس از فشار است. این ویژگی، حس تازگی بیشتری در نان ایجاد کرده و کیفیت حسی مطلوب‌تری برای مصرف‌کننده فراهم می‌آورد. در مقابل، نانی که خاصیت کشسانی کمتری دارد، به‌سرعت تغییرات بیاتی مانند سخت شدن یا از دست دادن پیوستگی را نشان می‌دهد و سطح نمک می‌تواند بر



شکل ۴. توزیع شاخص بافتی نان (a, b, c) و مقایسه میانگین (d, e, f) میزان کشسانی نان در مدت نگهداری، میزان نمک و دما
 Figure 4. Distribution of indices (a, b, c) and comparison of the means (d, e, f) for bread springiness over storage time, salt level, and temperature

بیشترین میزان قابلیت جویدن در سطوح ۲۸ و ۳۱ گرم نمک ثبت شد که می‌تواند نشان‌دهنده مقادیر بهینه نمک برای بهبود این ویژگی باشد. به‌طور کلی، یافته‌ها گویای آن است که تنظیم مقدار نمک می‌تواند نقش مؤثری در کنترل بافت نان ایفا کرده و بر پذیرش نهایی محصول توسط مصرف‌کننده تأثیرگذار باشد. نتایج مشابه توسط فیک و همکاران برای نان گرد حجیم گزارش شده است (Fik & Surówka, 2002). در شکل ۵ مقایسه شاخص قابلیت جویدن نان به ازای الف) زمان نگهداری (و میزان نمک ز) دمای نگهداری نشان داده شده است. با توجه به شکل (۵-d)، تغییرات شاخص قابلیت جویدن با توجه به گذشت زمان افزایش یافته است. در شکل (۵-f) مقدار کمتر نمک برای تهیه نان سبب شده است که شاخص قابلیت جویدن مقدار کمتری را به خود اختصاص دهد. افزایش سطح نمک

می‌دهد، با توجه به شکل، رطوبت نمونه‌های نگهداری شده در یخچال (۲) بیشتر از نمونه‌های نگهداری شده در محیط بیرون (۱) است. میانه و میانگین در حالت نگهداری در دمای اتاق به سمت بالا متمایل بوده و مستطیل نیز نشان‌دهنده توزیع محدودتر و همگن‌تر بود. این یافته بیانگر نقش کلیدی محیط سرد در حفظ رطوبت و کاهش تبخیر است که می‌تواند بر کیفیت و ماندگاری محصول تأثیر مثبتی داشته باشد.

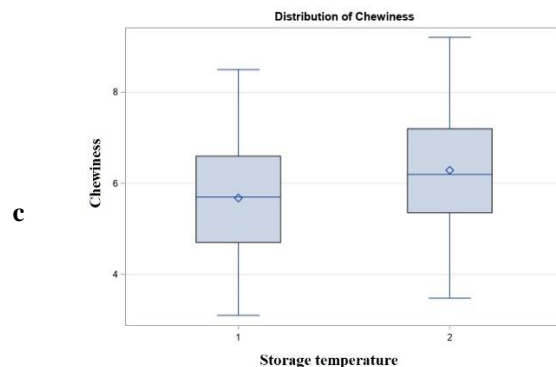
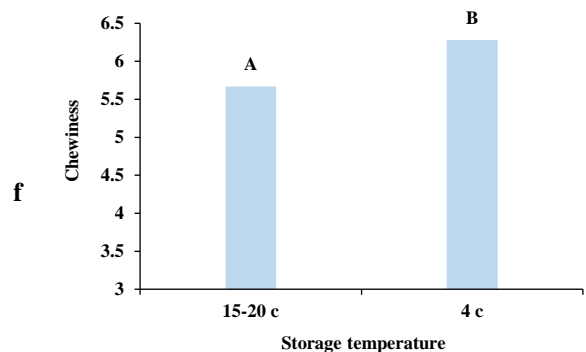
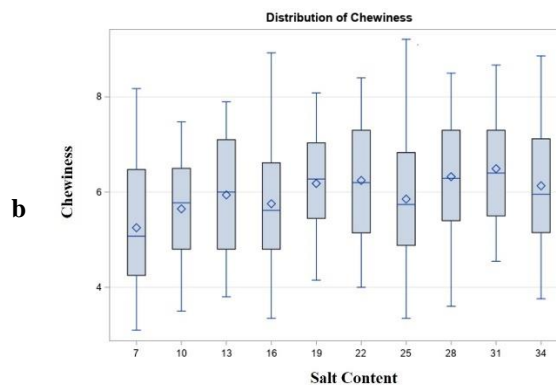
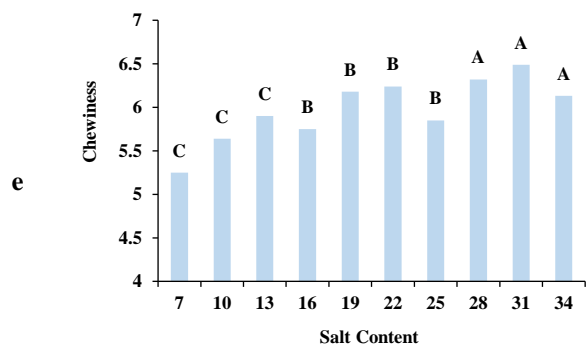
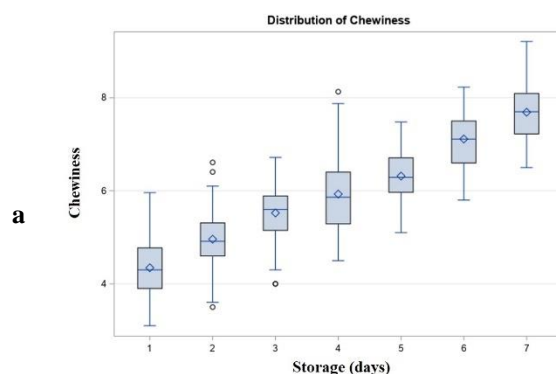
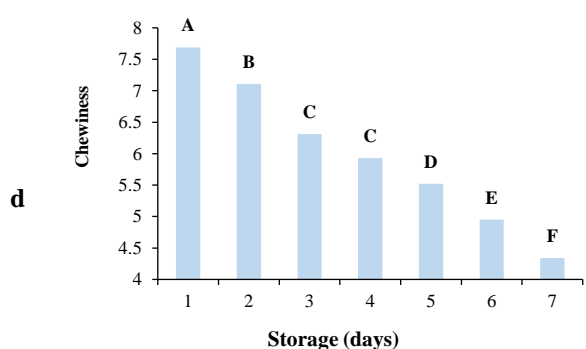
شکل (۶-d) نمودار گروه‌بندی شده برای میانگین‌ها در روزهای مختلف نگهداری است. روشن است که میزان رطوبت در طول زمان کاهش یافته، به طوری که بیشترین مقدار در روز ۱ (۳۴/۰۵) و کمترین آن در روز ۷ (۲۷/۰۳) ثبت شده است (۲۰٪ کاهش). از نظر آماری مقادیر رطوبت برای تمامی روزها نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشته است. با کاهش میزان رطوبت در طی زمان، بافت نان سخت‌تر شده و خاصیت کشسانی و پیوستگی آن کاهش می‌یابد. این امر ناشی از خشک شدن بخش‌های پروتئینی و نشاسته‌ای و کاهش توانایی این ساختارها برای حفظ شکل و بافت نان است (Mohebbi et al., 2014). نان‌هایی که میزان رطوبت کمتری دارند، بیشتر مستعد بیاتی هستند، زیرا با کاهش میزان رطوبت، آهنگ تغییرات فیزیکی در نان افزایش می‌یابد. شکل (۶-e) مربوط به مقدار نمک برای مقایسه میانگین‌های میزان رطوبت نان است. بر اساس شکل، سطوح ۱۶، ۱۹ و ۲۲ گرم نمک بیشترین رطوبت را داشته و کمترین میزان رطوبت در مقادیر ۳۱ و ۳۴ گرم نمک به دست آمده و سطوح نمک ۲۵ و ۲۸ نیز از نظر معنی‌داری بین ۳۱ و ۳۴ قرار گرفته‌اند. با توجه به شکل (۶-f) تفاوت آماری معناداری میان دو گروه نگهداری شده درون و بیرون یخچال وجود دارد. در این نمودار، رطوبت نمونه‌های یخچالی با میانگین ۳۱/۱۸ و نمونه‌های نگهداری شده در بیرون با ۳۰/۸۷ نمایش داده شده است.

به‌طور کلی با افزایش میزان جوندگی همراه است، به‌ویژه بالاترین مقدار آن که مربوط به سطح نمک ۳۱ با برآورد ۶/۴۹ است که در مقایسه با سطح نمک ۷ با مقدار ۵/۲۵ تفاوت معنی‌داری دارد (معادل ۲۵٪ افزایش). گروه‌بندی میله‌ها نشان می‌دهد که برخی سطح‌های نمک مانند ۲۲، ۲۸ و ۱۹ گرم تفاوت معنی‌داری از نظر آماری با یکدیگر ندارند (در سطح اطمینان ۰.۰۵)، ولی با سطوح پایین‌تر نظیر ۷ یا ۱۰ گرم تفاوت آماری مشهودی دارند. این تحلیل نشان می‌دهد که افزایش میزان نمک تا حدی می‌تواند با افزایش قابلیت جویدن محصول ارتباط داشته باشد. در شکل (۶-f) میانگین محاسبه‌شده برای دمای نگهداری بیرون برابر با ۵/۸۷ و برای دمای نگهداری یخچال برابر با ۶/۲۸ است. نوارهای آبی و سرخ که به ترتیب برای نگهداری در یخچال و بیرون در نظر گرفته شده، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار از نظر آماری برای این دو دمای نگهداری می‌باشد.

شکل (۶-a) روند کاهش رطوبت در طول دوره‌ی ۷ روزه‌ی نگهداری را نشان داده است. در روزهای ابتدایی، سطح رطوبت نان بالاتر بوده و به تدریج کاهش می‌یابد، به طوری که در روز هفتم، مقدار رطوبت به کمترین حد خود می‌رسد. این کاهش می‌تواند ناشی از تبخیر، نفوذپذیری بسته‌بندی یا فرآیندهای طبیعی تخریب مواد باشد. پراکندگی داده‌ها و موقعیت میانه در هر روز نشان داد که تغییرات رطوبت نه تنها تدریجی بوده، بلکه با روندی یکنواخت همراه است. تحلیل این الگو برای ارزیابی دوام و کیفیت محصول در شرایط نگهداری بسیار کلیدی است. در شکل (۶-b) میزان رطوبت در برابر سطح نمک، دیده می‌شود. بر اساس شکل، با افزایش سطح نمک از ۷ به ۳۴ گرم، رطوبت به مقدار کمتری کاهش یافته است. پراکندگی داده‌ها و موقعیت میانه در هر سطح نمک نشان داد که تفاوت‌ها ممکن است به عوامل فیزیکی یا شیمیایی ناشی از تأثیر نمک بر ساختار محصول مرتبط باشد. شکل (۶-c) مقایسه‌ای میان دو حالت نگهداری بیرون (۱) و درون یخچال (۲) ارائه

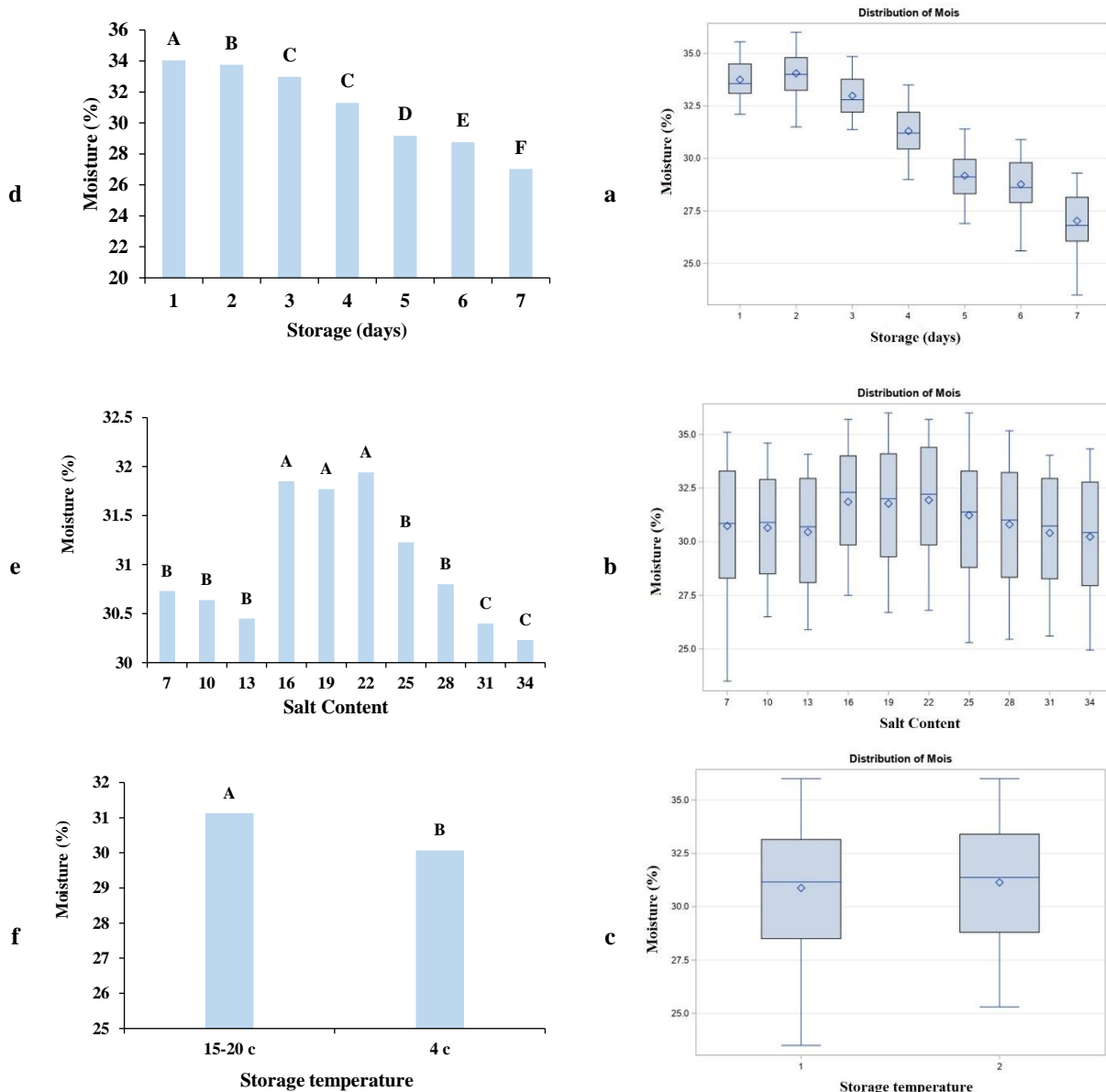
کند می‌کند، دمای سرد (۴°C) تبخیر را کاهش می‌دهد و نگهداری رطوبت را تسهیل می‌کند، درحالی‌که نمک بالا یا نگهداری در دمای محیط باعث افزایش سختی و کاهش قابلیت نگهداری آب می‌شود. این تعامل توضیح می‌دهد چرا حفظ رطوبت و کیفیت نان به برهم‌کنش هم‌زمان این سه عامل بستگی دارد.

اثر هم‌زمان، دما و نمک نشان می‌دهد که کاهش رطوبت نان طی نگهداری ناشی از ترکیب سه عامل اصلی است: تبخیر آب و رتروگراداسیون نشاسته در طول زمان، تقویت یا تضعیف شبکه گلوآبی تونی توسط سطح نمک و تأثیر دمای نگهداری بر سرعت مهاجرت مولکول‌های آب (Monteau *et al.*, 2017; Papisidero *et al.*, 2016) (۱۶-۲۲ گرم) شبکه‌ای منسجم ایجاد کرده و افت رطوبت را



شکل ۵. توزیع شاخص بافتی نان (a, b, c) و مقایسه میانگین (d, e, f) میزان قابلیت جویدنی نان در مدت نگهداری، میزان نمک و دما
Fig. 5. Distribution of indices (a, b, c) and comparison of the means (d, e, f) for bread chewiness over storage time, salt level, and temperature

تأثیر میزان نمک، دما و مدت زمان نگهداری بر ویژگی‌های بافتی نان برشته (تست)



شکل ۶. توزیع شاخص بافتی نان (a, b, c) و مقایسه میانگین (d, e, f) میزان رطوبت نان به ازای مدت نگهداری، میزان نمک و دما
 Fig. 6. Distribution of indices (a, b, c) and comparison of the means (d, e, f) for bread moisture content over storage time, salt level, and temperature

نتیجه گیری

نان در یخچال در مقایسه با محیط بیرون باعث کاهش میزان سفتی، افزایش پیوستگی و تأخیر در فرآیند بیاتی شد. این موضوع نشان داد که دمای پایین با حفظ میزان رطوبت و کاهش تغییرات ساختاری نشاسته، می‌تواند به افزایش ماندگاری و کیفیت نان برشته کمک کند. بر اساس نتایج این پژوهش، استفاده از نمک در محدوده ۱۶ تا ۲۲ گرم به ازای هر کیلوگرم خمیر می‌تواند تعادل

کاهش نمک باعث افزایش پیوستگی و بهبود ویژگی‌های بافتی نان در مراحل ابتدایی شد، اما در مقادیر بسیار پایین نمک (کمتر از ۱۶٪)، بافت نان شکننده‌تر شد. این یافته بیانگر آن است که میزان بهینه نمک برای حفظ ویژگی‌های حسی و مکانیکی نان ضروری است. افزون بر این، شرایط نگهداری نیز نقش کلیدی در روند بیاتی ایفا کرد. نگهداری

مناسبتی بین حفظ ویژگی‌های بافتی و کاهش سرعت بیاتی ایجاد کند. مقادیر کمتر از ۱۶ گرم منجر به کاهش پیوستگی و افزایش افت کیفیت در طول نگهداری شد، درحالی‌که مقادیر بالاتر از ۲۸ گرم موجب افزایش سفتی و قابلیت جویدن گردید. از نظر شرایط نگهداری، نگهداری نان در دمای یخچال (۴°C) باعث حفظ بهتر رطوبت و کاهش سرعت بیاتی طی دوره‌های بیش از ۳ روز شد، درحالی‌که برای مصرف کوتاه‌مدت (۱ تا ۲ روز)، نگهداری در دمای محیط (۱۵-۲۰°C) می‌تواند کشسانی مطلوب‌تری ایجاد کند؛ بنابراین، به واحدهای صنعتی تولید نان برشته‌ای پیشنهاد می‌شود با تنظیم سطح نمک در محدوده متوسط و انتخاب شرایط نگهداری متناسب با زمان توزیع و مصرف، کیفیت محصول را در طول زنجیره تأمین بهینه‌سازی نمایند.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه پرهیز نموده‌اند و منافی در این راستا وجود ندارد.

منابع

- Abd-El-Khalek, M., Mohamed Amer, T., & Ibrahim, M. 2020. Determination of the staling rate of Egyptian Balady bread by using Texture Profile Analysis (TPA): A new method. Arab Universities Journal of Agricultural Sciences, 25. <https://doi.org/10.21608/ajs.2019.17017.1087>
- Abdanan Mehdizadeh, S., & Nouri, F. 2022. Development of a non-destructive method to determine the textural characteristics of baguette bread using a Doppler laser vibrometer sensor. Innovative Food Technologies, 10(1), 69–85.
- Afshin Pajouh, R., Azizzanjani, M. A., Enayati, A., & Amini, M. 2010. Study of salt addition and acidity reduction on gluten swelling properties. In 20th National Congress of Food Science and Industry. <https://civilica.com/doc/149229>(in Persian)
- Boyd, J., & Sherman, P. 1975. A study of force-compression conditions associated with hardness evaluation in several foods. Journal of Texture Studies, 6(4), 507–522. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1975.tb01424.x>
- Breene, W. 1975. Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation. Journal of Texture Studies, 6(1), 53–82. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1975.tb01118.x>
- Chen, Y., Eder, S., Schubert, S., Gorgerat, S., Boschet, E., Baltensperger, L., Boschet, E., Städeli, C., Kuster, S., Fischer, P., & Windhab, E. J. 2021. Influence of Amylase Addition on Bread Quality and Bread Staling. ACS Food Science & Technology, 1(6), 1143–1150. <https://doi.org/10.1021/acfoodscitech.1c00158>
- Fadda, C., Sanguinetti, A. M., Del Caro, A., Collar, C., & Piga, A. (2014). Bread Staling: Updating the View. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 13(4), 473–492. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12064>
- Fik, M., & Surówka, K. 2002. Effect of prebaking and frozen storage on the sensory quality and instrumental texture of bread. Journal of the Science of Food and Agriculture, 82(11), 1268–1275. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1176>
- Kamaliroosta, L., Ardebili, M. S., Asadi, G. H., Tarzi, B. G., & Azizinejad, R. 2016. Determination of quality indices as criteria to assess traditional Sangak bread quality. National Nutrition & Food Technology Research Institute, 11, 53–67. (in Persian)
- Lyon, B., & Lyon, C. 1990. Texture Profile of Broiler Pectoralis major as Influenced by Post-Mortem Deboning Time and Heat Method. Poultry Science, 69(2), 329–340. <https://doi.org/10.3382/ps.0690329>
- Mohebbi, Z., Homayouni, A., Azizi, M. H., & Jafarabadi, M. A. 2014. Influence of β -glucan and

- resistant starch on quality and sensory properties of sliced white bread. National Nutrition & Food Technology Research Institute, 8(4),53-67.(in Persian)
- Monteau, J.-Y., Purlis, E., Besbes, E., Jury, V., & Le-Bail, A. 2017. Water transfer in bread during staling: Physical phenomena and modelling. *Journal of Food Engineering*, 211, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.016>
- Oručević Žuljević, S., & Spaho, N. 2024. Bread Aroma and Flavour Creation Factors. <https://doi.org/10.5772/intechopen.115114>
- Papasidero, D., Giorgi, A., Rocchi, E., Piazza, L., Pierucci, S., Bozzano, G., & Manenti, F. 2016. Bread as a chemical reactor: Triggering the aroma production through chemical kinetics. *Chemical Engineering Transactions*, 52, 985–990.
- Ponomareva, E., Lukina, S., Alekhina, N., Malyutina, T., & Pavlovskaya, S. 2021. Modelling of the bread recipe composition to improve effectiveness of the production process. *E3S Web of Conferences*, 279, 03026. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127903026>
- Sakamoto, H., Harada, T., Matsukubo, T., Takaesu, Y., & Tazaki, M. 1989. Electromyographic Measurement of Textural Changes of Foodstuffs during Chewing. *Agricultural and Biological Chemistry*, 53(9), 2421–2433. <https://doi.org/10.1080/00021369.1989.10869678>
- Sha, K., Qian, P., Wang, L.-J., Lu, Z., & Li, L.-T. 2007. Effect of Storage Time on the Physicochemical and Sensory Properties of Man-tou (Chinese Steamed Bread). *International Journal of Food Engineering*, 3(3). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1217>
- Silvas-García, M. I., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Carvajal-Millan, E., Barrón-Hoyos, J. M., Bello-Pérez, L. A., & Quintero-Ramos, A. 2014. Effect of Freezing Rate and Storage Time on Gluten Protein Solubility, and Dough and Bread Properties. *Journal of Food Process Engineering*, 37(3), 237–247. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12079>
- Standard, I. N. 2010. Cereal and cereal Products-Determination of moisture content. Reference method-NO 2705.
- Zhao, B., Fu, S., Li, H., Li, H., Liu, C., & Chen, Z. 2022. Effect of storage conditions on the quality of frozen steamed bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(1), 695–704. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15230>

Original Research

Effect of Salt Level, Temperature, and Storage Duration on the Textural Properties of Toast Bread

Moahmmad Vahedi Torshizi, Saeid minaee*, Sajad Kiani

*Corresponding Author: Professor, Biosystems Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Email: minaee@modares.ac.ir

Received: 24 November 2025 Accepted: 29 March 2026

[http://doi: 10.22092/fooder.2026.371502.1439](http://doi.org/10.22092/fooder.2026.371502.1439)

Abstract

Bread is one of the most important staple foods worldwide, and its quality plays a crucial role in consumer acceptance. This study evaluated the effects of salt concentration (7–34 g per kilogram of dough), storage temperature (4°C and 15–20°C), and storage duration (7 days) on the textural properties of toast bread. Firmness, cohesiveness, springiness, chewiness, and moisture content were analyzed through texture profile analysis and statistical methods. Results of statistical analysis showed that with increasing storage time, bread firmness increased from 6–8 N to 12–14 N, while cohesiveness and springiness decreased from 0.72 to 0.64 and from 80% to 70%, respectively. Moisture content declined from 34.05% to 27.03%, and chewiness increased by approximately 50%. Regarding the effect of salt, the highest cohesiveness (0.71) was observed at 28–31 g, while the lowest (0.65) occurred at 7 g. Springiness reached its maximum at 25 g and its minimum at 13 g. In terms of temperature conditions, refrigerated storage (4°C) increased firmness and cohesiveness while better preserving moisture, however, samples stored at room temperature showed higher springiness values. Using 16–22 g of salt per kilogram of dough provides optimal texture and slows staling. Lower levels reduce cohesiveness, whereas amounts above 28 g increase firmness and chewiness. Storage at 4°C is better for long-term moisture retention, while room temperature is recommended for short-term use. Therefore, it is suggested that industrial toast bread producers optimize product quality throughout the supply chain by adjusting salt levels within a moderate range and selecting storage conditions based on distribution and consumption times.

Keywords: Leavened Bread, Physical Properties, Salt Level, Statistical Analysis, Shelf Life

