[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.20.5]

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.245]

تأثیر رطوبت بلغور ذرت بر خواص فیزیکوشیمیایی فرآورده‌های غذایی حجیم‌شده بر پایهٔ ذرت

سهراب شریفی[۱]، عسگر فرحناکی[۲*]، بهنوش ایمانی[۱] و مهسا مجذوبی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۳۱)

چکیده

در این پژوهش تأثیر سطوح مختلف رطوبت بلغور ذرت (۱۰، ۱۳، ۱۶ و ۱۹٪) به‌عنوان یکی از فاکتورهای مؤثر در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فرآورده‌های غذایی حجیم‌شده با استفاده از اکسترودر بررسی گردید. نتایج نشان داد، که با افزایش سطح رطوبت بلغور ذرت مقادیر شاخص جذب آب (WAI) و شاخص حلالیت در آب (WSI) کاهش یافت. هم‌چنین با تغییر رطوبت پودر ورودی به اکسترودر از ۱۰ تا ۱۶٪ حجم و شاخص انبساط عرضی افزایش، اما افزایش بیشتر رطوبت تا ۱۹٪، موجب کاهش آنها گردید. در بررسی پارامترهای بافتی نیز، نتایج نشان داد که با افزایش سطوح رطوبت، میزان کار لازم برای فشرده کردن نمونه (N.mm)، بیشینه نیرو (N)، زمان رسیدن به اولین پیک بزرگ (s) افزایش، اما تعداد پیک کاهش پیدا کرد. با افزایش مقدار رطوبت به‌دلیل کاهش ویسکوزیته تودهٔ خمیری، شاخص انرژی مکانیکی ویژه (SME) کاهش پیدا کرد. با افزایش میزان رطوبت به‌دلیل کاهش سرعت واکنش‌های میلارد که عامل اصلی عطر و رنگ در این محصولات هستند، فاکتورهای L و b افزایش و فاکتور a کاهش یافت. به‌طورکلی در تولید اسنک با فرایند اکستروژن، محتوای رطوبتی ماده اولیه ورودی از اهمیت بالایی برخوردار است، به‌طوری‌که با بهینه نمودن آن می‌توان محصولی با کیفیت بالاتر تولید کرد. در این پژوهش بیشترین حجم این فرآورده‌ها در سطح رطوبت ۱۶٪ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: محتوای رطوبت، اکستروژن، حجم، شاخص جذب آب، شاخص حلالیت در آب، انرژی مکانیکی ویژه

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: farahnak@shirazu.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.20.5]

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.245]

مقدمه

به‌طورکلی غلات تأمین‌کنندهٔ غذای بیش از ۷۰ درصد مردم دنیا می‌باشد و ذرت یکی از مهم‌ترین غلات مصرفی در دنیا و بومی قارهٔ آمریکا است (۱۸). موارد مصرف ذرت تهیهٔ نان، روغن ذرت، پاپ کورن، تغذیهٔ دام و طیور و انواع اسنک‌ها می‌باشد. اسنک‌ها محصولات غذایی از قبیل آجیل و شیرینی تا محصولات گوشتی را در برمی‌گیرند و نسبت به سایر غذاها دوام و پایداری بیشتری دارند (۱۵). از آنجایی که محصولات اکسترود شده رطوبت کمی دارند، با کمترین تغییر در مقدار رطوبت، بافت آنها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اسنک‌ها به شیوه‌های متفاوتی از جمله اکسترود کردن تولید می‌شوند. اکستروژن به فرایندی اطلاق می‌شود که اجزا فرمولاسیون یک مادهٔ غذایی تحت فشار قرار می‌گیرد و به‌صورت یک سیال تحت اعمال نیرو و فرایندهای نظیر مخلوط کردن، حرارت دادن و اعمال نیروی برشی به جریان درآمده و با عبور از یک قالب (Die) به‌صورت یک توده فرم داده شده یا حجیم‌شده در می‌آیند. دمای داخل اکسترودر ممکن است به ۱۹۰ - ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد برسد اما زمان توقف مواد در داخل اکسترودر معمولاً ۴۰ - ۲۰ ثانیه است، به‌همین دلیل آن‌را می‌توان در فرایندهای دمای بالا و زمان کوتاه (HTST) تقسیم‌بندی کرد (۱۵). ماده اصلی تولید اسنک، ذرت به فرم بلغور است که از ذرت با پوست ضخیم استفاده می‌شود و پس از طی مراحل تمیزکردن، حذف ناخالصی‌ها و مشروط کردن به‌صورت پودر یا بلغور درآمده (رطوبت بین ۱۳ - ۱۱٪) و پس از ذخیره در مخازن و تنظیم مقدار رطوبت، در داخل اکسترودر به‌علت دما (حدود ۱۵۰°C) و فشار بالا، به تودهٔ خمیر مانندی (Melt) تبدیل می‌شود. تودهٔ خمیری بعد از خروج از قالب، و رفع ناگهانی فشار و دمای بالای داخل اکسترودر و رسیدن به دمای محیط و فشار اتمسفریک، نشاسته ناگهان متورم شده و قطر محصول خروجی حدود ۵ - ۴ برابر قطر قالب می‌شود (۱۶). رطوبت نقش عمده‌ای در ژلاتینه کردن نشاسته داشته و به‌عنوان یکی از شاخص‌های انبساط شناخته شده است. سطوح مختلف رطوبت در فرایند اکستروژن توسط بسیاری از محققان مورد مطالعه قرار گرفته است. محققان یافتند که با افزایش سطح رطوبت شاخص انبساط کاهش می‌یابد. در تودهٔ خمیری با رطوبت کمتر، افزایش ویسکوزیته و زمان ماندگاری خمیر در داخل اکسترودر موجب افزایش ژلاتینه کردن نشاسته و در نهایت افزایش حجم محصول خروجی از قالب می‌گردد. در رطوبت کمتر، شکست و تخریب بیشتری در گرانول‌های نشاسته رخ داده که موجب تغییرات بسیاری در ساختار مولکولی نشاسته می‌شود (۱۷). هدف از این پژوهش بررسی تأثیر مقادیر مختلف رطوبت بلغور ذرت بر خواص فیزیکوشیمیایی محصولات حجیم شده حاصل از اکستروژن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی مواد

بلغور مورد نیاز این پژوهش از شرکت دادلی- تینا (واقع در شهرستان مرودشت استان فارس) تهیه گردید. با توجه به رطوبت اولیه بلغور ذرت (حدود ۱۱٪) و رطوبت پودر ورودی به اکسترودر (۱۰، ۱۳، ۱۶، ۱۹ و ۲۲٪)، آب مورد نیاز به‌صورت پاششی به بلغور ذرت اضافه و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی سربسته به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق به‌منظور به تعادل رسیدن رطوبت نگهداری شد. اکسترودر مورد استفاده ساخت شرکت شاه‌آبادی (ایران) که به‌صورت تک‌مارپیچ به‌ترتیب دارای طول و قطر مارپیچ ۴۰ و ۶ سانتی‌متر و میزان ورود بلغور Kg/min ۸ بود. دمای خشک‌کن تونلی ۱۰ ± ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ماندن محصول در تونل حدود ۳ دقیقه بود. لازم به‌ذکر است که در بلغور ذرت با رطوبت ۲۲٪، عملاً محصولی تشکیل نشد (توده‌ای با چگالی بالا و بسیار سخت و غیر قابل مصرف) و تمامی آزمون‌ها در سایر مقادیر رطوبتی انجام گردید.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.20.5]

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.245]

آنالیز شیمیایی

اندازه‌گیری رطوبت، خاکستر، پروتئین، کربوهیدرات و چربی براساس روش استاندارد AACC (۱) و در سه تکرار انجام شد.

آزمایشات فیزیکوشیمیایی و حسی

شاخص جذب آب و شاخص حلالیت در آب

شاخص جذب آب (Water Absorption Index) و شاخص حلالیت درآب Water Solution (Index) با روش Anderson و همکاران (۴) با اندکی تغییر انجام شد. اسنک‌های تولیدی آسیاب شده و ۰/۵ گرم از آن (با اندازه ۲۱۰ - ۱۲۵ میکرون) به‌همراه ۵ گرم آب مقطر در لوله‌های پلاستیکی (به‌ترتیب دارای قطر دهانه و ارتفاع ۱۷ و ۱۶۱ میلی‌متر) ریخته و به‌مدت ۱ دقیقه در شیکر (مدل SH02 شرکت پارس آزما، ساخت ایران) و سپس به‌مدت یک شبانه روز در دمای اتاق بر روی مخلوط‌کن غلتکی (mixer Roller) (شرکت پل ایده‌آل ساخت ایران) قرار داده شد تا جذب آب به‌خوبی انجام شود. سپس ۳۰ دقیقه با سرعت ۳۸۰۰ دور در دقیقه در دمای اتاق سانتریفیوژ (مدل CE01 شرکت پارس آزما، ساخت ایران) گردید. پس از جداسازی، مایع رویی تا رسیدن به وزن ثابت، در دمای $105^{\circ}C$ خشک شده و مجدداً توزین گردید. میزان حلالیت از فرمول ۱ به‌دست آمد (۴):

S میزان حلالیت

$$S = \frac{M_2}{M_1}$$

M_1 وزن بلغورخشک اولیه

M_2 وزن مایع رویی خشک شده

(۱)

به‌منظور اندازه‌گیری میزان جذب آب، از لوله‌های سانتریفیوژ حاوی مواد ترسیب شده (از روش فوق) طبق فرمول ۲ استفاده گردید:

A میزان جذب آب

$$A = \frac{M_3}{M_1}$$

M_1 وزن بلغورخشک اولیه

M_3 وزن رسوب داخل لوله های سانتریفوژ

(۲)

رنگ‌سنجی

ارزیابی رنگ نمونه‌ها با استفاده از روش عکس‌برداری دیجیتالی و انتقال عکس‌ها به نرم‌افزار فتوشاپ CS5 انجام شد. از هر نمونه پنج نقطه به‌صورت تصادفی انتخاب گردید و مقادیر L (روشنایی)، a (قرمزی – سبزی) و b (زردی – آبی) محاسبه گردید (۲).

اندازه‌گیری شاخص انبساط عرضی

شاخص انبساط عرضی (Sectional expansion index) از فرمول ۳ محاسبه می‌شود.

$$SEI = \left[\frac{D}{d}\right]^2 \qquad (۳)$$

در فرمول فوق D قطر محصول اکسترود شده و d قطر قالب است.

اندازه‌گیری حجم نمونه

اندازه‌گیری حجم با استفاده از روش جابه‌جایی با دانه‌های ارزن طبق روش استاندارد AACC به‌شماره ۰۵ - ۱۰ انجام شد (۱).

ارزیابی بافت

بافت محصول با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (Texture Analyzer مدل TA-XT2، ساخت انگلستان) ارزیابی شد و فاکتورهای بیشینه نیرو (N)، تعداد پیک، کار لازم برای فشرده کردن (N.mm) و زمان رسیدن به اولین پیک بزرگ (s) بررسی گردید (۵).

اندازه‌گیری مقدار انرژی مکانیکی ویژه

مقدار انرژی مکانیکی ویژه (Specific Mechanical Energy) از فرمول ۴ محاسبه شد:

$$SME = \frac{(0.9)(U)(A)\left[N_{(rpm)}\right]}{\left[\left[N_{max(rpm)}\right]\left[Q(\frac{Kg}{h})\right]\right]} \qquad (۴)$$

در رابطهٔ فوق U ولتاژ، A آمپراژ، N سرعت مارپیچ بر حسب دور در دقیقه، N_{max} حداکثر سرعت مارپیچ و Q مقدار تغذیه دستگاه برحسب kg/h می‌باشد. لازم به‌ذکر است در فرمول فوق نسبت $\frac{[N_{(rpm)}]}{[N_{max(rpm)}]}$ برابر یک در نظر گرفته شده است.

ارزیابی حسی

در آزمون حسی پارامترهای کیفی محصول از جمله رنگ، بافت، عطر و طعم و پذیرش کلی مورد بررسی و مقایسه قرارگرفت آزمون به‌صورت آزمون مطلوبیت‌سنجی پنج نقطه‌ای (عالی، بسیار خوب، خوب، متوسط و بد) تعریف شد (۱۱).

تجزیه و تحلیل آماری

کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام و داده‌های حاصله با نرم‌افزار SPSS16 و آزمون دانکن درسطح $P<0/05$ تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

آنالیز شیمیایی بلغور ذرت مورد استفاده

ویژگی‌های شیمیایی بلغور مورد استفاده در تولید نمونه‌های اسنک در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به‌ذکر است که ترکیب شیمیایی بلغور به‌ویژه درصد پروتئین و چربی در ارقام مختلف ذرت و حتی در بین یک رقم ذرت با تغییر اندازه ذرات بلغور متغیر است (۱۹).

تأثیر رطوبت بلغور بر میزان شاخص جذب آب و شاخص حلالیت در آب

شاخص جذب آب (WAI) نشان‌دهندهٔ مقدار آب جذب شده توسط نشاسته و شاخص ژلاتینه کردن نشاسته می‌باشد (۴). شاخص حلالیت در آب (WSI) به‌عنوان شاخص تخریب و تجزیه نشاسته بیان می‌شود، به‌عبارت دیگر WSI نشان‌دهندهٔ تمام ترکیبات محلول آزاد شده از نشاسته طی فرایند اکستروژن است (۱۳). نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری WSI و WAI

جدول ۱. ترکیبات شیمیایی بلغور ذرت (براساس وزن خشک)*

پروتئین** (٪)	چربی (٪)	رطوبت (٪)	کربوهیدرات (٪)	خاکستر (٪)
۸/۴±۰/۲	۴/۵±۰/۲	۱۱/۷±۰/۳	۷۴/۸±۰/۳	۰/۶ ±۰/۲

*. اعداد میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار هستند.

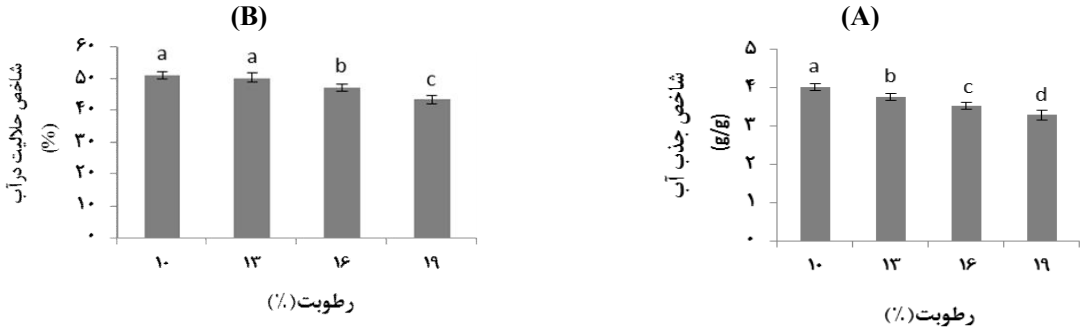
**. فاکتور تبدیل در مورد دانهٔ ذرت ۶/۲۵ در نظر گرفته شده است

نشان می‌دهد (شکل ۱) که با افزایش مقدار رطوبت WSI و WAI به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در واقع با افزایش میزان رطوبت، درجه ژلاتینه کردن نشاسته کاهش یافته، به‌همین دلیل گرانول‌های نشاسته کمتر در آب حل می‌شود (۱۰). با افزایش رطوبت میزان اصطکاک تولید شده در اکسترودر که منبع اصلی تولید گرما است کم شده، در نتیجه مواد اولیه در معرض گرمای کمتری قرار گرفته و میزان تغییرات اعمال‌شده توسط گرما از جمله شکسته شدن اتصالات هیدروژنی بین مولکول‌ها کاهش پیدا می‌کند و موجب تولید مولکول‌هایی با وزن مولکولی بیشتر می‌گردد. لازم به ذکر است که هرچه وزن مولکولی کمتر باشد، قدرت حل شدن آن بیشتر می‌شود (۷).

ارزیابی رنگ محصول

نتایج به‌دست آمده از آزمون رنگ‌سنجی نشان داد که فاکتور L یا روشنایی، با افزایش میزان رطوبت افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که نمونه حاوی ۱۰٪ رطوبت کمترین میزان L و رطوبت ۱۹٪ بیشترین میزان L را دارا است. با افزایش میزان رطوبت فاکتور a (قرمزی – سبزی) کاهش و فاکتور b (زردی – آبی) افزایش یافت (جدول ۲). با افزایش میزان رطوبت مقدار گرمای تولیدی در اثر اصطکاک کاهش یافته، در نتیجه احتمالاً واکنش میلارد که عامل اصلی تیره شدن رنگ است کمتر رخ داده و از شدت رنگ کاسته می‌شود. هم‌چنین در این شرایط میزان تخریب رنگدانه‌های ذرت کمتر شده و فاکتور b افزایش یافته است (۱۲).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.20.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.245]



شکل ۱. تأثیر مقادیر مختلف رطوبت بلغور ذرت بر شاخص جذب آب (A) و حلالیت در آب محصول نهایی (B) در سطح احتمال بیشتر از ۹۵ درصد. حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۲. تأثیر مقادیر مختلف رطوبت بر ویژگی‌های رنگ‌سنجی محصول نهایی

درصد رطوبت	روشنایی (L)	قرمزی – سبزی (a)	زردی – آبی (b)
۱۰	۶۶/۲±۱/۷^{D}	۱/۵±۰/۶^{A}	۴۱/۵±۱^{D}
۱۳	۶۹/۷±۱/۵^{C}	۱/۲±۰/۵^{A}	۴۶/۰±۱/۴^{C}
۱۶	۷۴/۷±۱/۲^{B}	-۳/۵±۱^{B}	۵۳/۰±۱/۴^{B}
۱۹	۷۸/۲±۰/۹^{A}	-۶/۲±۱/۲^{C}	۶۲/۵±۰/۶^{A}

حروف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد.

اعداد میانگین ۳ تکرار و به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.

تأثیر رطوبت بلغور ذرت بر شاخص انبساط عرضی و تغییرات حجم محصول نهایی

کیفیت محصولات حجیم‌شده بر پایهٔ غلات، عمدتاً براساس حجم آنها سنجیده می‌شود و دانسیته نیز به‌طور مستقیم با بافت محصولات حجیم‌شده ارتباط دارد. همان‌طورکه در جدول ۳ و شکل ۲ مشاهده می‌شود، افزایش محتوای رطوبت مواد اولیه موجب کاهش حجم و افزایش دانسیتهٔ محصولات نهایی می‌گردد. در این پژوهش با افزایش میزان رطوبت از ۱۰ تا ۱۶٪ حجم محصولات افزایش و از ۱۶ تا ۱۹٪ حجم کاهش یافته است، به‌عبارت دیگر رطوبت ۱۶٪ بیشترین حجم را دارا می‌باشد. طی فرایند اکستروژن به‌دلیل حرکت مارپیچ و حرارت بالای دستگاه، فشار افزایش می‌یابد و در هنگام خروج نمونه‌ها از دستگاه، فشار به‌طور ناگهانی کاهش می‌یابد، در نتیجه آب موجود در نمونه‌ها تبخیر و نمونه‌ها منبسط می‌گردند و حباب‌های هوا تشکیل می‌شوند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش رطوبت، بافت مواد نرم‌تر می‌گردد اما به‌علت ویسکوزیتهٔ پایین، بلافاصله چروکیده شده و حجم نهایی کاهش می‌یابد. اما در نمونه‌های با رطوبت کمتر به‌علت بالا بودن ویسکوزیته، بافت سفت‌تر بوده در نتیجه به هنگام خروج از اکسترودر کمتر دچار چروکیدگی شده و حجم نهایی آنها نسبت به نمونه‌های با رطوبت بالاتر، بیشتر است که همین امر موجب تخلخل بالای آنها و کاهش دانسیته می‌گردد.

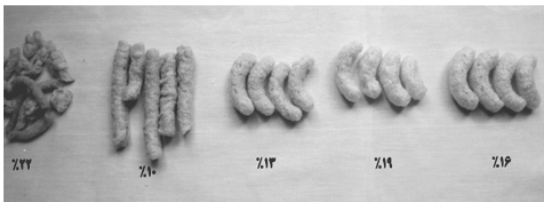
همان‌طورکه در جدول ۳ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار رطوبت از ۱۰ تا ۱۶٪ مقدار شاخص انبساط عرضی افزایش و از رطوبت ۱۶ تا ۱۹٪ این شاخص کاهش می‌یابد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.20.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.245]

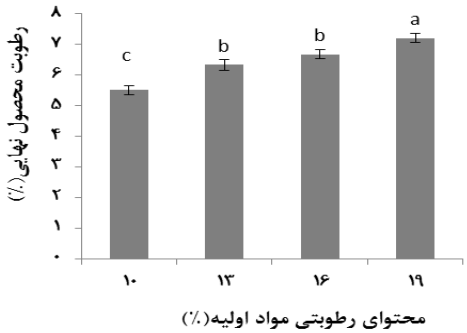
جدول ۳. تأثیر مقادیر مختلف رطوبت بلغور ذرت بر حجم و شاخص انبساط عرضی محصول نهایی

رطوبت پودر ورودی به اکسترودر (٪)	حجم (cm^3)	شاخص انبساط عرضی
۱۰	۶۵/۱±۰/۸^{D}	۱۴/۴±۰/۲^{D}
۱۳	۷۴/۸±۱/۹^{C}	۱۷/۳±۰/۱^{C}
۱۶	۸۶/۳±۱/۰^{A}	۱۸/۴±۰/۱^{A}
۱۹	۸۰/۹±۱/۲^{B}	۱۷/۶±۰/۱^{B}

اعداد میانگین ۳ تکرار و به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.حروف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد.



شکل ۲. تأثیر مقادیر مختلف رطوبت بلغور ذرت بر حجم اسنک‌های تولیدی پس از خروج از اکسترودر



شکل ۳. تأثیر میزان رطوبت مواد اولیه بر رطوبت محصول نهایی در سطح احتمال بیشتر از ۹۵ درصد. حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

تأثیر رطوبت بلغور ذرت ورودی به اکسترودر، بر مقدار رطوبت محصول نهایی

همان‌طورکه در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش رطوبت بلغور، رطوبت محصول خروجی افزایش کمی داشته است، این امر نشان‌دهندهٔ این است که قسمت بیشتر رطوبت اضافه شده به بلغور طی فرایند اکستروژن از محصول تبخیر و خارج می‌شود.

تأثیر رطوبت بلغور ذرت ورودی به اکسترودر، بر بافت نمونه‌های اسنک حجیم‌شده

همان‌طورکه در جدول ۴ مشاهده می‌شود با افزایش رطوبت، به‌علت تأثیر نرم‌کنندگی آب، مادهٔ غذایی از حالت شکننده و خشک به حالت ویسکوالاستیک تبدیل می‌شود و مقاومت مکانیکی و ویسکوزیتهٔ خمیر افزایش می‌یابد (۹) که موجب کاهش فشار بخار و عدم رشد حباب‌ها، افزایش چگالی و سختی بافت می‌گردد. در نتیجه کار لازم برای فشردن محصول و بیشینه نیرو که نشان‌دهندهٔ مقاومت محصول به نیرو است افزایش و تعداد پیک‌ها که نشان‌دهندهٔ تردی محصول می‌باشد، کاهش می‌یابد (۱۴).

تأثیر میزان رطوبت بلغور ورودی به اکسترودر، بر شاخص انرژی مکانیکی ویژه

با افزایش میزان رطوبت بلغور ورودی به اکسترودر، به‌علت کاهش میزان ویسکوزیته مخلوط داخل اکسترودر، مقدار SME به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند (شکل ۴)، در واقع انرژی لازم جهت حرکت مواد در اکسترودر کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج سایر تحقیقات مطابقت دارد (۶ و ۸).

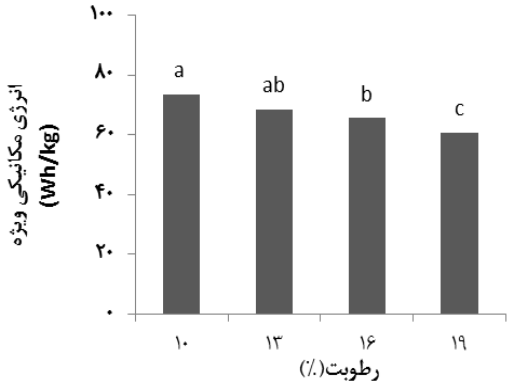
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.20.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.245]

جدول ۴. تأثیر مقدار رطوبت بلغور بر ویژگی‌های بافتی محصول نهایی

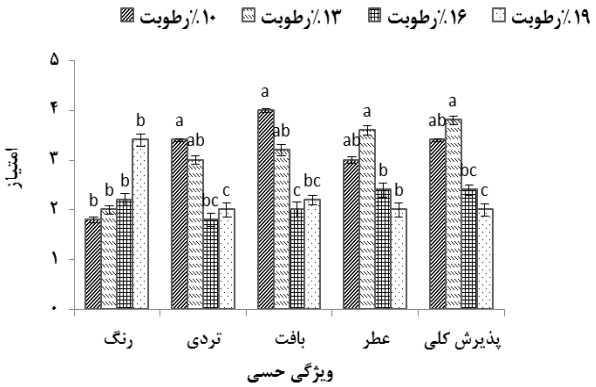
رطوبت (٪)	تعداد پیک	(N) بیشینه نیرو	(s) زمان اولین پیک بزرگ	(N.mm) مقدار کار لازم
۱۰	۳۸/۶±۱/۲^{B}	۱/۵±۰/۱^{C}	۱۷/۹±۰/۸^{C}	۶۱/۲±۱/۹^{A}
۱۳	۳۹/۱±۵/۳^{AB}	۱/۶±۰/۱^{BC}	۱۸/۵±۱/۷^{C}	۵۸±۳/۲^{AB}
۱۶	۴۰/۳±۱/۲^{AB}	۱/۸±۰/۱^{B}	۲۰/۶±۰/۷^{B}	۵۳/۶±۳/۸۱^{BC}
۱۹	۴۲/۹±۲/۷^{A}	۲/۰±۰/۱^{A}	۲۲/۹±۱/۰^{A}	۵۰/۶±۲/۱^{C}

حروف کوچک نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد.

اعداد میانگین ۳ تکرار و به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.



شکل ۴. تأثیر میزان رطوبت بلغور ذرت بر شاخص انرژی مکانیکی ویژه. حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد.



شکل ۵. بررسی ویژگی‌های حسی اسنک‌های تولید شده در رطوبت‌های مختلف بلغور. حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

ارزیابی حسی

نتایج ارزیابی حسی نشان می‌دهد (شکل ۵) که با افزایش رطوبت و کاهش حجم، تردی محصول کاهش یافته و بافت سفت‌تر شده است. نمونه‌های با ۱۰٪ رطوبت از لحاظ بافت و میزان تردی بیشتر مورد پذیرش ارزیاب‌ها قرارگرفته است. نمونه‌های دارای بیشترین مقدار رطوبت از لحاظ عطر و طعم کمتر مورد پذیرش ارزیاب‌ها قرار گرفته است. در واقع با افزایش رطوبت مقدار گرمای تولیدی کمتر شده و از شدت واکنش‌های میلارد، که عامل اصلی عطر و طعم هستند کاسته شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که طی فرایند اکستروژن با افزایش رطوبت بلغور ورودی به اکسترودر، مقادیر WAI و WSI کاهش می‌یابد. با افزایش رطوبت از ۱۰ تا ۱۶٪ حجم محصول افزایش و با افزایش بیشتر رطوبت بلغور ذرت، حجم کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین کار لازم برای فشرده کردن نمونه، بیشینه نیرو، زمان رسیدن به اولین پیک بزرگ افزایش و تعداد پیک‌ها کاهش می‌یابد. با افزایش رطوبت از ۱۰ تا ۱۶٪ مقدار SEI افزایش و سپس کاهش می‌یابد. به‌علاوه با افزایش رطوبت به‌دلیل کاهش سرعت واکنش‌های میلارد فاکتورهای L و b افزایش و a کاهش

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.20.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.245]

می‌یابد. به‌طورکلی در تولید اسنک با فرایند اکستروژن، محتوای رطوبتی مادهٔ اولیه ورودی از اهمیت بالایی برخوردار است، به‌طوری‌که با بهینه نمودن آن می‌توان محصولی با کیفیت بالاتر تولید کرد. در سیستم اکسترودر مورد استفاده در این پژوهش بهترین محصول در رطوبت بلغور ۱۶ درصد حاصل شد.

سپاسگزاری

از مدیریت و کارشناسان و کارکنان مجتمع آرد شیراز و بیسکویت تینا (دادلی) به‌ویژه آقایان مهندس رفیعی، مهندس سلاحی، مهندس کریمی و مهندس پروا تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. AACC. (2000). Approved Methods of the AACC. (10th Edition). American Association of Cereal Chemists, st Paul, (Methods 46-10, 30-25, 08-01, 44-15).
2. Afshari-Jouybari, H. and A. Farahnaky. 2011. Evaluation of photoshop software potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering* 106: 170-175.
3. Alvarez-Martinaz, L., K. P. Kondury and J. M. Harper. 1998. A general model for expansion extruded products. *Journal of Food Science* 53(2): 609-615.
4. Anderson, R. A., H. F. Conway, V. F. Pfeifer and E. L. Griffin. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today* 14(1): 4-12.
5. Bourne, M. C. 2002. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Second Edition, Academic Press, New York.
6. Chen, F. L., Y. M. Wei and A. O. Ojokoh. 2010. System parameters and product properties response of soybean protein extruded at wide moisture range. *Journal of Food Engineering* 96(2): 208-213.
7. Eliasson, A. C. 1980. Effect of water content on the gelatinization of wheat starch. *Starch-Starke* 32: 270-272.
8. Guerroro, P., E. Beathy, J. P. Kerry and K. Decaba. 2012. Extrusion of soy protein with gelatin and sugar at low moisture content. *Journal of Food Engineering* 110: 53-59.
9. Hecke, E. V., K. Allaf and J. M. Bouvier. 1998. Texture and structure of crispy-puffed food products part II: mechanical properties in puncture. *Journal of Texture Studies* 29(6): 617-630.
10. Ilo, S., U. Tomschik, E. Berghofer and N. Mundigler. 1996. The effect of extrusion operating conditions on the apparent viscosity and the properties of extradites in twin-screw extrusion cooking of maize grits. *LWT Food Science and Technology* 29: 593-598.
11. Jellinek, G. 1985. Sensory Evaluation of Food: Theory and Practice. Ellis Horwood Ltd. Chichester, England.
12. Kim, C. H. and J. A. Maga. 1987. Properties of extruded whey protein concentrate and cereal flour blends. *LWT Food Science and Technology* 20: 311–318.
13. Kirby, A. R., A. L. Ollett, R. Parker and A. C. Smith. 1988. An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion-cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering* 8: 247-272.
14. Lazou, A. and M. Krokida. 2010. Structural and textural characterization of corn-lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering* 100(3): 392–408.
15. Majzoobi, M. and A. Farahnaky. 2007. Changes in physicochemical properties of wheat starch under high temperature and shear. *Journal of the Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 12 (43), 335-347. (In Farsi).
16. Payan, R. 2007. An Introduction to Cereal Products, Aeig Press, Tehran. (In Farsi).
17. Singh, B., K. S. Sekhon and N. Singh. 2007. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behavior and product characteristics of rice. *Food Chemistry* 100: 198-202.
18. Tajbakhsh, M. and A. Pourmirza. 2004. Cereals Agronomy, Jahad-e- Daneshgahi-e Urmieh, Urmieh. (In Farsi).
19. Victoria, E. M., G. Marcos and M. C. Yabu. 1998. Chemical composition and functional properties of malted corn flours. *Brazilian Archives of Biology and Technology* Vol 41. Number 2.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.20.5]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.245]