

تأثیر رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند بر دانسیته، رنگ و بافت پاپکورن تولیدی و ارائه مدل‌های تجربی مربوطه

مریم علی‌پور^۱، عسگر فرحناکی^{۲*} و مهسا مجذوبی^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۱۹

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

^۲ استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

^۳ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*مسئول مکاتبه: Email: farahnak@shirazu.ac.ir

چکیده

از بین پارامترهای مؤثر بر حجم پاپکورن، رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند از فاکتورهایی هستند که می‌توان آنها را در فرآیند تولید پاپکورن تنظیم و بهینه نمود. لذا در این تحقیق، تأثیر این دو پارامتر بر حجم و دیگر خواص فیزیکی شیمیایی پاپکورن تولیدی بررسی شد. در دامنه رطوبت دانه ذرت ۲۰-۱۰٪ و دامنه دمایی فرآیند $160-260^{\circ}\text{C}$ ، نمونه‌های پاپکورن تولیدی و خواص فیزیکی شیمیایی شامل دانسیته، بافت، میزان رطوبت و فاکتورهای رنگ سنجی ارزیابی شد. با افزایش دمای فرآیند تا 235°C و میزان رطوبت دانه ذرت تا ۱۵٪، میزان دانسیته، میزان انرژی لازم و ماکزیم نیرو برای فشرده کردن پاپکورن و فاکتور a کاهش یافتند و در دمای بیشتر از 235°C و رطوبت دانه بیشتر از ۱۵٪ فاکتورهای ذکر شده افزایش یافتند و روند تغییرات فاکتور L عکس فاکتورهای ذکر شده بود، بعبارت دیگر پاپکورن تولیدی در شرایط ذکر شده (دمای 235°C با میزان رطوبت دانه ذرت ۱۵٪) دارای بیشترین حجم، بیشترین تردی و رنگ سفیدتر بود. برای تخمین و پیشگویی نحوه تغییرات خواص اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار Design Expert مدل‌های تجربی با ضرایب همبستگی مناسب، ارائه گردید.

واژگان کلیدی: پاپکورن، رطوبت ذرت، دمای فرآیند، بافت، دانسیته، فاکتورهای رنگ سنجی

مقدمه

ذرت پاپکورن قدیمی‌ترین نوع ذرت بوده و دانه‌های آن اغلب ریز و نوک تیز هستند و تمام آندوسپرم آن از نوع نشاسته سخت تشکیل شده است و در اطراف دانه لایه محکمی بنام پریکارپ قرار گرفته است که مانند یک محفظه فشار عمل کرده و امکان افزایش فشار در داخل دانه و در نتیجه شکفتن دانه را فراهم میکند (هوزنی

از نظر اهمیت، پس از گندم ذرت دومین گیاه تولیدی مهم در جهان است. از ذرت محصولات متنوعی حاصل می‌شود و پاپکورن یکی از محصولات حجیم شده ی پرمصرف ذرت می‌باشد که قدمت و سابقه زیادی دارد و یکی از تنقلات پرمصرف می‌باشد (هوزنی ۱۹۹۴).

با توجه به اهمیت تاثیر میزان رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند بر خواص فیزیکوشیمیایی پاپ‌کورن، در این تحقیق تاثیر میزان رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند بر دانسیته، بافت، پارامترهای رنگ سنجی و محتوای رطوبت پاپ‌کورن‌های تولیدی بررسی و نتایج به روش تجربی مدل شده است.

مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه

در این تحقیق از ذرت آمریکایی (Zea mays) استفاده شد. ذرت‌ها در پنج سطح رطوبتی (۱۰، ۱۲/۵، ۱۵، ۱۷/۵ و ۲۰ درصد) آماده شدند. با توجه به رطوبت اولیه دانه‌های ذرت و لزوم تنظیم رطوبت، برای افزایش رطوبت دانه‌ها، مقدار آب مقطر مورد نیاز برای وزن مشخصی از ذرت محاسبه و در یک ظرف کاملاً دربسته به دانه‌های ذرت اضافه شد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. برای کاهش رطوبت دانه‌های ذرت از خشک کن کابینی با دمای 60°C استفاده شد (Proctor & Schwartz SCM corporation, USA). رطوبت اولیه دانه ذرت ۱۰/۷ درصد بود.

ترکیب شیمیایی ذرت

ترکیب شیمیایی دانه ذرت و میزان رطوبت پاپ‌کورن‌ها طبق روش‌های استاندارد AACC تعیین شدند. (AACC 2000).

روش شکفتن

دانه‌های ذرت با رطوبت‌های مختلف با استفاده از هوای داغ غیر مستقیم بوسیله ی دستگاه پاپ‌کورن ساز صنعتی (شرکت شاه آبادی، ایران) در دماهای ۱۶۰، ۱۸۵، ۲۱۰، ۲۳۵ و 260°C شکفته شدند.

ارزیابی محتوای رطوبت پاپ‌کورن تولیدی

برای ارزیابی میزان رطوبت پاپ‌کورن‌ها، نمونه‌ها خرد شده و سپس در آون (Isuzu Seisakusho Ltd. KM23S) با دمای $100-105^{\circ}\text{C}$ تا رسیدن به وزن ثابت، قرار گرفتند. (AACC 2000).

۱۹۹۴؛ کریتورس ۲۰۰۱؛ ریوی و همکاران ۱۹۶۹). خواص فیزیکوشیمیایی و ساختاری شناسه‌های مختلف نیز تاثیر زیادی روی ویژگی‌های محصولات تولیدی مانند بافت، دانسیته و رنگ دارد (صابری و همکاران ۱۳۹۰). حجم پاپ‌کورن تحت تاثیر فاکتورهای زیادی نظیر میزان رطوبت دانه، ژنوتیپ، خواص فیزیکی دانه و شرایط برداشت و حمل و نقل می‌باشد. در بین این فاکتورها، میزان رطوبت تاثیر بیشتری بر حجم دارد چون در میزان فشار ایجاد شده در داخل دانه موثر است (هوزنی و همکاران ۱۹۸۳). بنابراین تحقیقات زیادی در زمینه میزان رطوبت دانه و تاثیر آن بر حجم پاپ‌کورن انجام شده است. مطالعات نشان داده است که بیشترین حجم در دامنه رطوبتی ۱۵/۵-۱۱ درصد حاصل می‌شود (آلردکویل و همکاران ۲۰۰۰؛ متزر و همکاران ۱۹۸۹؛ پاچیک ۱۹۹۰؛ شیمونی و همکاران ۲۰۰۲؛ سونگ و همکاران ۱۹۹۴). افزایش مقدار رطوبت دانه تا یک مقدار بهینه و مطلوب باعث افزایش حجم و سپس با افزایش رطوبت حجم کاهش می‌یابد (شیمونی و همکاران ۲۰۰۲). میزان رطوبت بهینه برای رسیدن به بیشترین حجم به نوع واریته ذرت (هات و همکاران ۱۹۷۶؛ لین و همکاران ۱۹۸۸)، روش شکفتن ذرت (متزر و همکاران ۱۹۸۹) و اندازه دانه (سونگ و همکاران ۱۹۹۴) بستگی دارد. میزان رطوبت مطلوب برای بیشترین حجم در روش شکفتن بوسیله ی روغن ۱۳/۵ درصد و در روش شکفتن بوسیله هوای داغ ۱۴ درصد گزارش شده است (متزر و همکاران ۱۹۸۹). اندازه دانه و ژنوتیپ دانه به طور قابل توجهی روی حجم پاپ‌کورن حاصله و تعداد دانه شکفته تاثیر می‌گذارد (سونگ و همکاران ۱۹۹۱). مشخص شده است که حجم مخصوص، خواص حسی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پاپ‌کورن به طور قابل توجهی تحت تاثیر ژنوتیپ دانه ذرت قرار دارند (سویلو و همکاران ۲۰۰۷). مشخص شده است که بافت پاپ‌کورن (تردی و شکنندگی) با حجم پاپ‌کورن رابطه مستقیم دارد (رونی و همکاران ۱۹۸۷).

اندازه‌گیری دانسیته

دانسیته پاپکورن‌های تولیدی به روش جابجایی با دانه‌های کلزا اندازه‌گیری شدند (وو و همکاران ۱۹۹۲).

ارزیابی بافت پاپکورن

پاپکورن‌های تولیدی تحت تیمارهای مختلف رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند، بوسیله‌ی دستگاه بافت سنج (Texture Analyzer, TA-XT2i, Stable Microsystems, UK) تحت تست فشرده شدن یا کمپرس قرار گرفتند. قطر سیلندر پروب ۴۰ میلی متر، سرعت حرکت پروب قبل از تست، حین تست و بعد از تست ۱۰ mm/s و میزان فشرده شدن نمونه به میزان ۸۰٪ بود (بورن ۲۰۰۲).

ارزیابی رنگ

ارزیابی پارامترهای رنگ سنجی (a, L) پاپکورن‌های تولیدی با استفاده از روش عکس‌برداری دیجیتالی و نرم‌افزار فتوشاپ انجام شد. مؤلفه رنگ L بیانگر میزان روشنایی می‌باشد و مقدار آن از ۰-۱۰۰ متغیر است. مؤلفه رنگ a نشان دهنده میزان سبزی-قرمزی است و مقدار آن بین ۱۲۷ تا ۱۲۸- متغیر است. اعداد منفی نشان دهنده رنگ سبز و اعداد مثبت نشان دهنده رنگ قرمز می‌باشند. نمونه‌های پاپکورن درون یک جعبه با دیواره‌های سفید (با ابعاد ۶۰ × ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر) که یک لامپ فلورسنت کم مصرف (Cixing, 220V, 40W) با نور سفید درون آن قرار گرفته بود و توزیع نور کاملاً یکنواختی درون آن وجود داشت، قرار گرفتند و عکس‌برداری توسط یک دوربین دیجیتالی با وضوح تصویر ۲ مگاپیکسل (شرکت فوجی فیلم، مدل A202، ساخت چین) که در موقعیت عمود بر نمونه (با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از نمونه) درون جعبه قرار گرفت، انجام گردید (افشاری- جویباری و همکاران ۲۰۱۱؛ یام و همکاران ۲۰۰۴). دراین روش کالیبره کردن دستگاه با کارت‌های رنگی مربوطه صورت گرفته است.

مدل کردن نتایج

جهت بررسی تأثیر همزمان دو پارامتر (میزان رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند) و تهیه نمودارهای سه بعدی از نرم‌افزار Design Expert 6 و از روش سطح پاسخ (مدل D- Optimal) استفاده شد و نتایج با استفاده از مدل سازی تجربی تجزیه و تحلیل و معادلات تجربی ارائه گردید.

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی دانه ذرت

میزان رطوبت، پروتئین، چربی، خاکستر و کربوهیدرات کل دانه ذرت در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی دانه ذرت (بر اساس وزن خشک)*

رطوبت (%)	پروتئین** (%)	چربی (%)	خاکستر (%)	کربوهیدرات کل (%)
۰/۱۷ ± ۰/۳۱	۰/۵۳ ± ۰/۱۳	۰/۷۰ ± ۰/۹۹	۷۶/۹۹ ± ۰/۷۰	۸/۶۰ ± ۹/۲۴

* اعداد میانگین ۳ تکرار و به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.

**فاکتور تبدیل در مورد دانه ذرت $N \times 6/25$ می‌باشد.

نتایج به دست آمده دراین تحقیق، در توافق با نتایج گزارش شده توسط سایر محققین می‌باشد. ترکیبات شیمیایی دانه ذرت بر اساس وزن خشک در مطالعات گزارش شده، در جدول ۱ آورده شده است. ترکیبات شیمیایی دانه ذرت به ویژه درصد پروتئین و چربی در ارقام مختلف ذرت متغیر است.

محتوای رطوبت پاپکورن‌های تولیدی

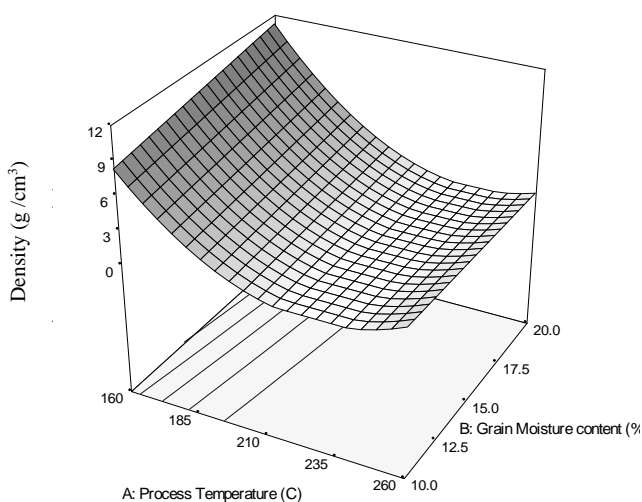
همان‌گونه که در شکل ۱- الف مشاهده می‌شود، محتوای رطوبتی پاپکورن‌های تولیدی، در اثر افزایش میزان رطوبت دانه‌های ذرت افزایش و با افزایش دمای فرآیند کاهش یافته است. البته با توجه به نمودار مذکور، تأثیر دما بر محتوای رطوبتی پاپکورن بیشتر از تأثیر

1- Rapeseed displacement method

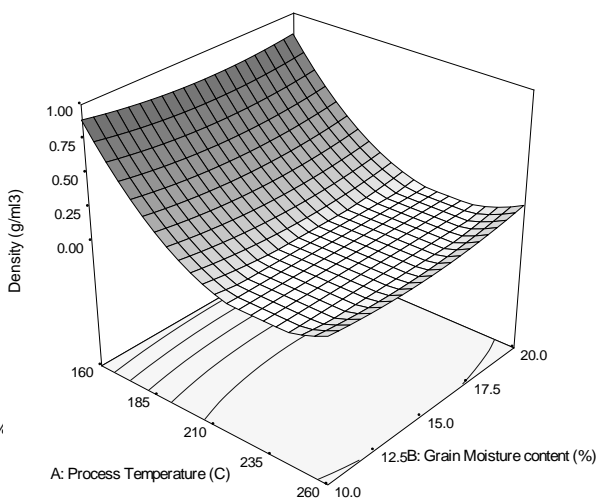
2- Lightness

دانسیتته پاپ‌کورن‌های تولیدی

همان‌گونه که در شکل ۱-ب مشاهده می‌شود، با افزایش میزان رطوبت دانه‌های ذرت، دانسیته کاهش یافته است. این کاهش دانسیته و یا به عبارت دیگر افزایش حجم تا میزان رطوبت ۱۵٪ دانه ذرت می‌باشد و در مقادیر رطوبت بیشتر از ۱۵٪، دانسیته افزایش یافته است. به عبارت دیگر، کمترین دانسیته و یا بیشترین حجم در میزان رطوبت ۱۵٪ وجود دارد و در مقادیر کمتر یا بیشتر از آن، دانسیته افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دما تا 235°C دانسیته کاهش و در دمای بیشتر از 235°C ، دانسیته افزایش یافته است. با توجه به نمودار مذکور و بررسی همزمان تأثیر پارامترها، مشخص می‌شود که تأثیر دمای فرآیند بر دانسیته بیشتر از تأثیر میزان رطوبت دانه ذرت بوده است.



شکل ۱-ب)



شکل ۱-الف)

شکل ۱- تأثیر رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند بر محتوای رطوبت (الف) و دانسیته (ب) پاپ‌کورن‌های تولیدی

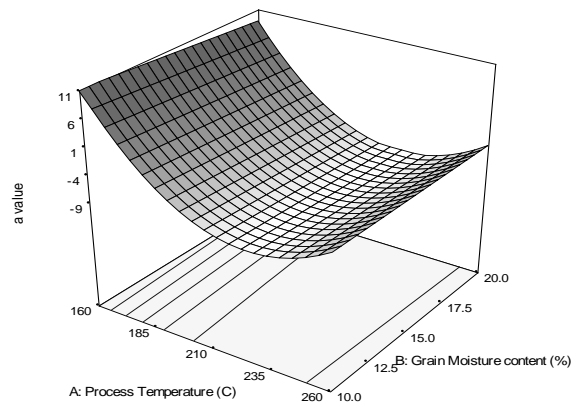
(۱۹۸۸)، روش شکفتن (متزر و همکاران ۱۹۸۹)، و اندازه دانه (سونگ و همکاران ۱۹۹۴). بستگی دارد. علت افزایش دانسیته در مقادیر رطوبت کمتر از ۱۵٪، فقدان فشار کافی برای شکستن پریکارپ دانه می‌باشد و علت افزایش دانسیته در مقادیر رطوبت بیشتر از ۱۵٪ را می‌توان به این صورت بیان کرد که هنگامی که میزان

میزان رطوبت دانه ذرت بوده است. دانه‌ای که قبل از شکفتن، رطوبت بیشتری داشت، پس از شکفته شدن (تحت شرایط دمایی یکسان برای تمامی تیمارها) و از دست دادن مقداری رطوبت، به دلیل داشتن رطوبت اولیه بیشتر، محتوای رطوبتی بالاتری داشت. این نتایج در توافق با نتایج به دست آمده از تحقیقات وو و همکاران در سال ۱۹۹۲ می‌باشد. هرچه دمایی که دانه ذرت در آن شکفته شده بیشتر باشد به دلیل بالاتر بودن دما و از دست رفتن مقادیر بیشتری رطوبت، رطوبت پاپ‌کورن تولیدی تحت چنین شرایطی کمتر می‌باشد.

تحقیقات نشان داده‌اند که بیشترین حجم در محدوده رطوبتی ۱۵/۵-۱۱٪ تولید می‌شود (آلردکویل و همکاران ۲۰۰۰؛ متزر و همکاران ۱۹۸۹؛ پاچیک ۱۹۹۰؛ شیمونی و همکاران ۲۰۰۲؛ سونگ و همکاران ۱۹۹۴). میزان رطوبت مطلوب برای داشتن بیشترین حجم به نوع رقم ذرت پاپ‌کورن (هات و همکاران ۱۹۷۶؛ لین و همکاران

شکفته می‌شود در حالت نرم و قابل انعطاف قرار دارد. پس از شکفته شدن مدت زمانی طول می‌کشد تا دما به کمتر از دمای T_g کاهش یابد و پاپکورن از حالت نرم و قابل انعطاف به حالت سخت و شیشه‌ای تبدیل شود، در این مدت پاپکورن به علت داشتن بافتی نرم، چروکیده و جمع شده و حجم آن کمتر از حجم اولیه و واقعی آن می‌شود (وو و همکاران ۱۹۹۲).

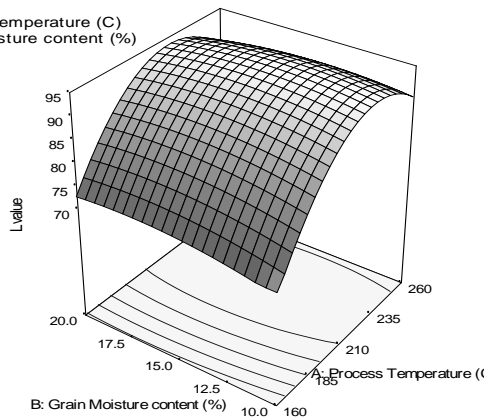
رطوبت دانه افزایش می‌یابد، دمای ذوب نشاسته کاهش پیدا می‌کند و شکفتن دانه در دمای پایین‌تری رخ می‌دهد. بنابراین فشار در داخل دانه در لحظه شکفتن کمتر می‌باشد که این امر باعث ایجاد دانسیته بیشتر یا حجم کمتر در محصول تولیدی می‌شود (شیمونی و همکاران ۲۰۰۲). از طرفی وقتی میزان رطوبت دانه ذرت زیاد است T_g نشاسته کاهش می‌یابد؛ بنابراین، وقتی ذرت



شکل ۲- (الف)

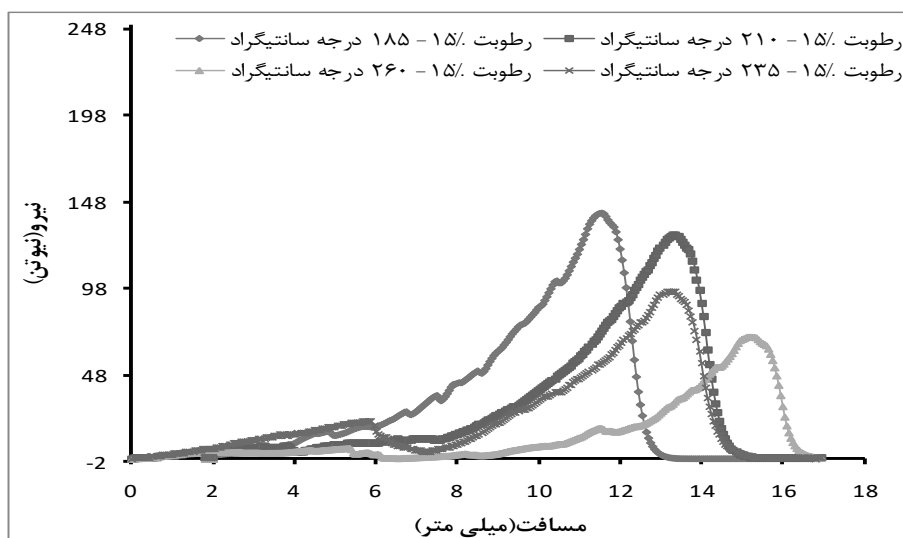
DESIGN-EXPERT Plot

L value
X = A: Process Temperature (C)
Y = B: Grain Moisture content (%)

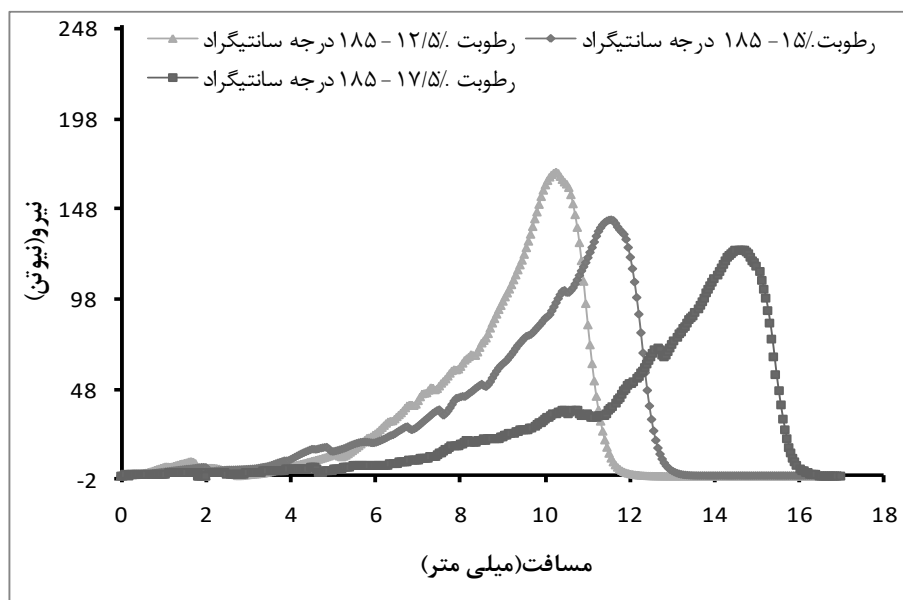


شکل ۲- (ب)

شکل ۲- تأثیر رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند بر پارامترهای رنگ سنجی پاپکورن‌های تولیدی



شکل ۳- الف)



شکل ۳- ب)

شکل ۳- تأثیر رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند بر میزان سفتی پاپکورن‌های تولیدی

ارزیابی رنگ

فاکتورهای L و a به عنوان شاخص‌های ارزیابی رنگ پاپکورن‌های تولیدی تحت تیمارهای مختلف رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند اندازه‌گیری شدند. همان‌گونه که در شکل ۲- الف و ب مشاهده می‌شود با افزایش میزان رطوبت دانه ذرت، فاکتور L که بیانگر میزان روشنی نمونه‌ها می‌باشد، افزایش و سپس کاهش یافت. روند تغییرات فاکتور L مطابق با روند تغییرات

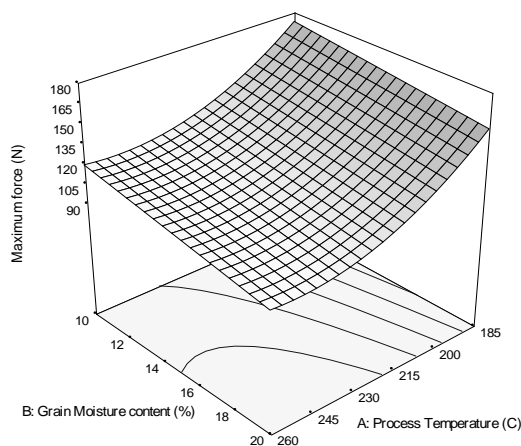
دانسیته می‌باشد یعنی بیشترین L در رطوبت ۱۵٪ که کمترین دانسیته یا بیشترین حجم وجود دارد حاصل شد. با افزایش میزان رطوبت دانه ذرت، فاکتور a که بیانگر قرمزی نمونه‌ها می‌باشد کاهش یافت. با افزایش دما تا ۲۳۵°C فاکتور L افزایش و در دماهای بیشتر از ۲۳۵°C کاهش یافت و روند تغییرات فاکتور a (میزان قرمزی نمونه‌ها) عکس فاکتور L (میزان روشنی نمونه‌ها) است. در واقع روند تغییرات فاکتورهای L و a

کردن، که بیانگر میزان سفتی پاپکورن‌ها می‌باشند، کاهش یافت. روند تغییرات در این فاکتورها تقریباً مطابق با روند تغییرات دانسیته می‌باشد. در واقع با افزایش میزان رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند و در نتیجه افزایش حجم، پاپکورن‌های حاصله بافت تردتری دارند. بنابراین ماکزیم نیرو و میزان انرژی مصرفی برای فشرده کردن آن‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به نمودار مذکور تأثیر دمای فرآیند بر بافت پاپکورن‌های تولیدی بیشتر از تأثیر میزان رطوبت دانه ذرت بوده است.

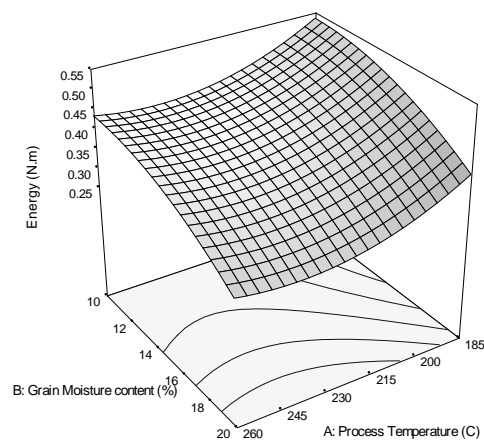
در تحقیقی که در سال ۲۰۰۱ توسط پارک و همکاران برای بررسی تأثیر نوع رقم دانه ذرت بر پارامترهای بافت سنجی پاپکورن تولیدی انجام شد، با تغییر نوع رقم دانه ذرت ماکزیم نیرو و میزان انرژی مصرفی برای فشرده کردن پاپکورن‌های تولیدی تغییر کردند. در سال ۱۹۸۷ رونی و همکاران گزارش کردند که بافت پاپکورن از نظر میزان تردی با حجم آن رابطه مستقیمی دارد.

مشابه روند تغییرات دانسیته می‌باشند. افزایش دما تا 235°C باعث افزایش حجم و افزایش میزان روشنی و فاکتور L و کاهش فاکتور a شد. در دماهای بالاتر از دمای 235°C فاکتور L کاهش و فاکتور a افزایش یافت که این به دلیل کاهش حجم و همچنین ایجاد رنگ تیره در پاپکورن‌ها به دلیل قرار گرفتن در دمای بالا می‌باشد. البته با توجه به نمودارهای مذکور تأثیر دما بر فاکتورهای رنگ سنجی بیشتر از تأثیر میزان رطوبت دانه ذرت بوده است. در تحقیقی که در سال ۲۰۰۱ توسط پارک و همکاران برای بررسی تأثیر نوع رقم دانه ذرت بر فاکتورهای رنگ سنجی پاپکورن تولیدی انجام شد، نشان داده شد که با تغییر نوع رقم فاکتورهای L ، a و b پاپکورن تولیدی تغییر می‌کنند و پاپکورنی که بیشترین روشنی و مقدار فاکتور L را دارا بود کمترین زردی (b) و قرمزی (a) را داشت.

همان‌گونه که در شکل ۴-الف و ب مشاهده می‌شود، با افزایش میزان رطوبت دانه ذرت و همچنین با افزایش دما، ماکزیم نیرو و میزان انرژی مصرفی برای فشرده



شکل ۴-ب



شکل ۴-الف

شکل ۴- تأثیر رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند بر تغییرات الف- ماکزیم نیرو و ب- میزان انرژی مصرفی برای فشرده کردن پاپکورن‌های تولیدی

جدول ۲- مدل‌های تجربی درجه دوم برای تخمین و پیشگویی محتوای رطوبت، دانسیته، پارامترهای رنگ سنجی و بافت

پاپ‌کورن‌های تولیدی با دو متغیر میزان رطوبت دانه ذرت (M) و دمای فرآیند (T)

پارامترهای بررسی شده در پاپ‌کورن‌های تولیدی	مدل‌های ارائه شده ^a	ضریب همبستگی (R ²)	Adjusted R ²
محتوای رطوبت پاپ‌کورن (%)	$+86.9 - 0.8 * T + 0.865 * M (%) + 1.8E-003 * T^2 - 3.627E-003 * T * M (%)$	0.93	0.92
دانسیته (g/cm ³)	$+10.1 - 0.08 * T - 0.1 * M (%) + 1.7E-004 * T^2 + 2.7E-003 * M (%)^2 + 9.07E-005 * T * M (%)$	0.93	0.92
پارامتر L	$-196.6 + 2.4 * T + 3.3 * M (%) - 5.03E-003 * T^2 - 0.07 * M (%)^2 - 5.04E-003 * T * M (%)$	0.92	0.90
پارامتر a	$+221.5 - 1.9 * T - 0.6 * M (%) + 4.3E-003 * T^2 + 2.3E-003 * T * M (%)$	0.91	0.90
ماکزیم نیرو (N)	$+956.9 - 6.7 * T - 0.04 * M (%) + 0.01 * T^2 - 3.6E-003 * M (%)^2 - 9.4E-003 * T * M (%)$	0.65	0.64
میزان انرژی مصرفی (N.m)	$+2.5 - 0.02 * T + 0.03 * M (%) + 3.9E-005 * T^2 - 1.5E-003 * M (%)^2 - 2.8E-006 * T * M (%)$	0.61	0.60

T=دمای فرآیند، M=میزان رطوبت دانه ذرت

مدل کردن نتایج

داده‌های به دست آمده، توسط نرم‌افزار Design Expert با روش سطح پاسخ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و مدل‌های تجربی درجه دوم برای تخمین و پیشگویی محتوای رطوبت، دانسیته، پارامترهای رنگ سنجی و بافت پاپ‌کورن‌های تولیدی با دو متغیر میزان رطوبت دانه ذرت و دمای فرآیند با ضرایب همبستگی مناسب به دست آمدند (جدول ۲). در این معادله‌ها پارامترهایی که دارای تأثیر معنی دار نبودند از معادله‌ها حذف شده است. با توجه به تغییرات دمای فرآیند و میزان رطوبت دانه ذرت و نمودارهای بدست آمده در مورد دانسیته، ماکزیم نیرو و میزان انرژی مصرفی برای فشرده کردن، میزان رطوبت نمونه‌های پاپ‌کورن و فاکتورهای L و a، مشخص شد که نقطه بهینه برای تولید پاپ‌کورن از نظر فاکتورهای بررسی شده دمای ۲۳۵°C و میزان رطوبت ۱۵٪ است.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج نشان داد که میزان رطوبت دانه ذرت و دمایی که در آن فرآیند شکفته شدن انجام می‌شود، می‌تواند تأثیر معنی داری بر خصوصیات

فیزیکوشیمیایی پاپ‌کورن تولیدی داشته باشد. از متغیرهای مورد مطالعه، تأثیر دمای فرآیند بیشتر از تأثیر میزان رطوبت دانه ذرت بود. با افزایش میزان رطوبت دانه ذرت، محتوای رطوبت پاپ‌کورن تولیدی افزایش و فاکتور رنگ سنجی a، میزان انرژی لازم و ماکزیم نیرو برای فشرده کردن پاپ‌کورن کاهش یافت. با افزایش میزان رطوبت دانه ذرت تا میزان ۱۵٪، حجم و فاکتور L افزایش و در مقادیر بیشتر از ۱۵٪ کاهش یافتند. با افزایش دمای فرآیند، محتوای رطوبت پاپ‌کورن تولیدی، میزان انرژی لازم و ماکزیم نیرو برای فشرده کردن پاپ‌کورن کاهش یافتند. همچنین با افزایش دمای فرآیند تا دمای ۲۳۵°C، دانسیته و فاکتور a کاهش و در دمای بالاتر از ۲۳۵°C افزایش یافتند. روند تغییرات برای فاکتور L عکس روند مذکور بود. به طور کلی نتایج نشان داد که پاپ‌کورن تولیدی در دمای ۲۳۵°C با میزان رطوبت دانه ذرت ۱۵٪، دارای بهترین حجم و کیفیت از نظر رنگ و بافت می‌باشد.

منابع مورد استفاده

- پایان ر، ۱۳۸۵، مقدمه‌ای بر تکنولوژی فرآورده‌های غلات، انتشارات اییژ، تهران.
- صابری ب، فرحناکی ع، مجذوبی م، ۱۳۹۰، بررسی خصوصیات فیزیکی ژل نشاسته‌های گندم و جودوسر طبیعی و هیدروکسی پروپیل شده آنها، نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۱(۳)، ۶۳-۷۳.
- AACC, 2000. Approved Methods of the AACC. (10th ed). American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota. (Methods 46-10, 30-25, 08-01, 44-15).
- Afshari-Jouybari H and Farahnaky A, 2011. Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering* 106: 170-175.
- Allred-Coyle TA, Toma RB, Reiboldt W and Thaku M, 2000. Effects of moisture content, hybrid variety, kernel size, and microwave wattage on the expansion volume of microwave popcorn. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 51: 389-394.
- Bourne M.C, 2002. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Academic Press, Second edition, New York.
- Cretors C, 2001. Popcorn products. In E. W. Lusas & L. W. Rooney (Eds.), *Snack Foods Processing* Lancaster, USA: Technomic Publishing. 385-420.
- Haight CG, Lien RM, Hanes RE and Ashman RB, 1976. Physical properties of popcorn. *Transactions of the ASAE* 19: 168.
- Hoseney CR, 1994. Principles of Cereal Science and Technology (2nd ed.). American Association of Cereal Chemists, Inc. 312-318.
- Hoseney CR, Zeleznak K and Abdelrahman A, 1983. Mechanism of popcorn popping. *Journal of Cereal Science* 1: 43-52.
- Lin YE and Anantheswaran RC, 1988. Studies in popping of popcorn in a microwave oven. *Journal of Food Science* 53: 1746-1749.
- Metzger DD, Hsu KH, Ziegler KE and Bern CJ, 1989. Effect of moisture content on popcorn popping volume for oil and hot-air popping. *Cereal Chemistry* 66: 247-248.
- Pajic Z, 1990. Popcorn and sweet corn breeding, In *International advanced course maize breeding, production, processing and marketing in Mediterranean Countries MAIZE'90*. Belgrade, Yugoslavia.
- Park D, Allen KGD, Stermitz FR and Maga JA, 2000. Chemical composition and physical characteristics of unpopped popcorn hybrids. *Journal of Food Composition and Analysis* 13: 921-934.
- Park D and Maga JA, 2001. Color, texture and sensory evaluation of selected hybrids of popped popcorn. *Journal of Food Quality* 24: 563-574.
- Reeve RM and Walker HG, 1969. The microscopic structure of popped cereals. *Cereal Chemistry* 46: 227-241.
- Rooney LW and Serna-saldivar SO, 1987. Food Uses of Corn: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Shimoni E, Dirks EM and Labuza TP, 2002. The relation between final popped volume of popcorn and thermal-physical parameters. *LWT-Food Science and Technology* 35: 93-98.
- Smith CW, Betran J and Runge ECA, 2004. Corn: Origin, History, Technology, and Production. John Wiley & Sons, Inc.
- Song A and Eckhoff SR, 1994. Optimum popping moisture content for popcorn kernels of different sizes. *Cereal Chemistry* 71: 458-460.
- Song A, Eckhoff SR, Paulsen M and Litchfield JB, 1991. Effects of kernel size and genotype on popcorn popping volume and number of unpopped kernels. *Cereal Chemistry* 68: 464-466.
- Soylu S and Tekkanat A, 2007. Interactions amongst kernel properties and expansion volume in various popcorn genotypes. *Journal of Food Engineering* 80: 336-341.
- WU PJ and Schwartzberg HG, 1992. Popping behavior and zein coating of popcorn. *Cereal Chemistry* 69: 567-573.
- Yam KL and Papadakis SE, 2004. A Simple Digital Imaging Method for Measuring and Analytical Color of Food Surface. *Journal of Food Engineering* 61: 137-142.

Effects of corn grain moisture content and process temperature on density, color and texture of popcorn and presentation experimental models

M Alipour¹, A Farahnaky^{2*} and M Majzoubi³

Received: June 20, 2013 Accepted: April 8, 2014

¹MSc Graduate, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

²Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

³Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

*Corresponding author: Email: farahnak@shirazu.ac.ir

Abstract

Corn grain moisture content and popping temperatures are important factors to be optimised among all parameters affecting popcorn volume. Therefore, in this research the impact of these two parameters on volume and other physicochemical properties of the produced popcorns were investigated. Popcorn samples were produced with grain moisture contents of 10-20% and popping temperatures of 160- 260°C. The physicochemical properties including density, texture, popcorn moisture and color parameters (“L” value: lightness and “a” value: redness-greenness) were evaluated. By increasing process temperature to 235°C and corn grain moisture content to 15%, density, energy and maximum force for compression of popcorns and “a” value decreased and at temperature of more than 235°C and moisture content of greater than 15% the mentioned parameters increased. Changes of “L” value were opposite to changes of the mentioned parameters, in other words, the produced popcorns at optimum conditions had the highest volume, crispiness and lightness. Experimental models with appropriate regression coefficients were obtained using Design Expert software are presented to predict and estimate the popcorn characteristics.

Keywords: Popcorn, corn moisture content, popping temperature, texture, density, color parameters