

The effect of quinoa flour on wheat bread properties using fractal dimension based texture analysis of digital images

Masoud Taghizadeh^{1*}, Zahra Zamani², Hesam Aldin Akhoondzadeh²

¹ Associate Professor, Department of Food Sciences and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)

² PhD candidate, Department of Food Sciences and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2024-3-25
Revised: 2024-7-30
Accepted: 2024-7-30

Keywords:
image texture
fractal dimension
porosity
bread core structure
quinoa

ABSTRACT

Background and objectives: Wheat bread is the main source of food worldwide. Currently, cereal grains and their products are known as a very good source of dietary fiber. One of the suitable solutions to improve the characteristics of bread is to use different sources of alternative fiber, such as pseudo-cereals like quinoa. Quinoa, with its scientific name (*Chenopodium quinoa Wild*), is a dicotyledonous plant that belongs to the *Chenopodaceae* family. This pseudo-cereal contains 16 essential and non-essential amino acids. This is why the World Food and Agriculture Organization (FAO) considers it a functional food. This study examines the impact of quinoa flour at 25%, 50%, 75%, and 100% in comparison to wheat flour when forming bread, both with and without enhancers.

Materials and Methods: We investigated color parameters, image texture (including energy, entropy, contrast, and homogeneity), tortuosity, the microstructure of the bread core (including the total number of holes, their size, and their total surface), and the porosity of the bread core tissue.

Results: This research found that an increase in the percentage of quinoa flour led to an increase in the parameters L* (brightness level) and a* of the samples, while b* decreased. The results also show that by increasing the percentage of quinoa flour, the energy, entropy, and homogeneity of the samples increased, while the amount of contrast and tortuosity decreased. The total number and size of the holes, the total area of the holes, and the porosity of the samples increased. These parameters rose as the amount of quinoa flour increased up to 50%, but decreased at 75% and 100%. The incorporation of quinoa flour resulted in a decrease in these parameters. The holes in the 75% and 100% quinoa flour samples were more circular and smaller compared to the holes in the other samples.

Conclusions: This research's findings indicate that the irregular and complex morphological structure of bread enables the use of the fractal dimension to explore the effects of processes and compounds, and that image texture analysis effectively conveys texture variations. The core and porosity are the results of different formulations, and considering textural parameters such as contrast, homogeneity, entropy, and energy, these changes can be noticed. The results

revealed that the sample with 50% quinoa flour and an improved exhibited superior textural properties.

Cite this article: Taghizadeh, M., Zamani, Z., Akhoondzadeh, H.A. 2024. The effect of quinoa flour on wheat bread properties using fractal dimension based texture analysis of digital images. *Food Processing and Preservation Journal*, 16(1), 81-98.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/fppj.2024.22318.1806

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی اثر آرد کینوا بر ساختار مغز نان با استفاده از آنالیز بافت تصویر و بعد بر خالی

مسعود تقی‌زاده^{۱*}، زهرا زمانی^۲، حسام‌الدین آخوندزاده^۲

^۱ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، رایانامه: mtaghizadeh@um.ac.ir

^۲ دانشجوی دکترا، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: نان گندم از رایج‌ترین انواع نان‌های مصرفی است. در حال حاضر دانه غلات و فرآورده‌های آن به عنوان منبع بسیار خوبی از فیبرهای رژیمی شناخته شده‌اند. از راهکارهای مناسب جهت بهبود ویژگی‌های نان، استفاده از منابع مختلف فیبری جایگزین، مانند شبه غلاتی همچون کینوا می‌باشد. کینوا با نام علمی (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) از دسته گیاهان دولپه‌ای و خانواده چنوپودیاسه می‌باشد. این شبه غله حاوی ۱۶ اسیدآمینو ضروری و غیر ضروری است. به همین علت از سوی سازمان خوار و بار جهانی ^۱ به عنوان غذای عملگرا معرفی شده است. هدف از انجام این پژوهش به کارگیری آرد کینوا در فرمولاسیون نان گندم و بررسی تاثیر آن بر ساختار مغز نان با استفاده از پردازش تصویر و آنالیز بعد بر خالی است.
واژه‌های کلیدی: بافت تصویر بعد بر خالی تخلخل ساختار مغز نان کینوا	مواد و روش‌ها: در این پژوهش اثر آرد کینوا در چهار سطح ۰، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ به همراه آرد گندم با افزودن بهبود دهنده و بدون افزودن بهبود دهنده بر پارامترهای رنگی، بافت تصویر (شامل: انرژی، آنتروپی، کنتراست و هموژنیتی)، بعد بر خالی، ریز ساختار مغز نان (شامل: تعداد کل حفرات، اندازه حفرات و سطح کلی حفرات) و تخلخل بافت مغز نان مورد بررسی قرار گرفت.
	یافته‌ها: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد با افزایش درصد آرد کینوا، پارامتر L^* (میزان روشنایی) و a^* نمونه‌ها افزایش، در حالیکه پارامتر b^* آن‌ها کاهش یافته است. همچنین مشاهده شد با افزایش درصد آرد کینوا میزان انرژی، آنتروپی و هموژنیتی نمونه‌ها افزایش یافت در حالی که، میزان کنتراست و بعد بر خالی نمونه‌ها کاهش پیدا کرد. تعداد کل حفرات، اندازه‌ی حفرات، مساحت کل حفرات و تخلخل نمونه‌ها با افزایش آرد کینوا تا ۵۰٪ افزایش یافت، در حالیکه در نمونه‌های ۷۵٪ و ۱۰۰٪، این پارامترها کاهش یافتند. حفرات نمونه‌های ۷۵٪ و ۱۰۰٪ آرد کینوا بیشتر به شکل دایره درآمده بودند و همچنین اندازه‌ی ریزتری نسبت به حفرات نمونه‌های دیگر داشتند.

¹ FAO

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان عنوان کرد که با توجه به ساختار مورفولوژیکی نامنظم و پیچیده نان می‌توان از تئوری برخال^۲ برای بررسی اثرات فرایندها و ترکیبات استفاده نمود، و همچنین آنالیز بافت تصویر به خوبی قادر به بیان تغییرات بافت مغز نان در اثر فرمولاسیون‌های مختلف بوده و با توجه به پارامترهای بافتی شامل کنتراست، هموژنیته، آنژیوبی و انرژی می‌توان این تغییرات را به طور محسوسی بررسی نمود. براساس نتایج حاصله مشخص شد که نمونه‌ی حاوی ۵۰٪ آرد کینوا به همراه بهبود دهنده خصوصیات بافتی بهتری را از خود نشان داده است.

استناد: تقی‌زاده، مسعود؛ زمانی، زهرا؛ آخوندزاده؛ حسام‌الدین. (۱۴۰۳). بررسی اثر آرد کینوا بر ساختار مغز نان با استفاده از آنالیز بافت تصویر و بعد برخالی. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۶(۱)، ۹۸-۸۱.

DOI: 10.22069/fppj.2024.22318.1806

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



© نویسندگان.

² Fractal

مقدمه

مصرف غلات تقریباً در همه جای جهان موقعیت مهمی در تغذیه دارد. زیرا علاوه بر محتوای بالای نشاسته به عنوان انرژی، مقادیر زیادی فیبر رژیمی، پروتئین مغذی و اسیدهای چرب ضروری را فراهم می‌کند [۱] نان یکی از محصولات تهیه شده از غلات و یکی از اولین مواد غذایی تهیه شده توسط انسان است [۲] که بخشی از غذای اکثر ملل جهان را تشکیل می‌دهد و به عنوان ارزان‌ترین منبع انرژی و پروتئین در تغذیه قسمت اعظمی از مردم جهان، نقش حیاتی دارد. بررسی‌های سازمان خواربار جهانی نشان می‌دهد که مردم کشورهای خاورمیانه و خاور نزدیک در حدود ۷۰ درصد انرژی مورد نیاز روزانه خود را از نان و سایر فرآورده‌های گندم، تأمین می‌کنند. کینوا یکی از محصولات کشاورزی می‌باشد که از سوی سازمان خوار و بار جهانی به عنوان غذای عملگر معرفی شده است که جز خانواده گیاهان دولپه‌ای بوده و به عنوان یک شبه غله شناخته می‌شود. کینوا با نام علمی *Willd quinoa Chenopodium* از خانواده *Chenopodiaceae* از دسته گیاهان دولپه‌ای، یک ساله و دارای شباهت ظاهری با علف هرز سلمک یا سلمان تره می‌باشد. ارتفاع کینوا در حدود ۳-۱ متر است و بذر آن حدود ۶/۱-۴/۱ میلی‌متر قطر دارد و به رنگ‌های مختلف قرمز، سیاه و سفید وجود دارد [۳]. گیاه کینوا، گیاهی مقاوم در برابر شرایط اسیدی خاک، خشکسالی و یخبندان (قبل از گلدهی) می‌باشد که قادر به رشد در شرایط محیطی مختلف است [۴]. کینوا در بسیاری از کشورهای آمریکای جنوبی کشت می‌شود از سال ۱۹۷۰ به بعد کشورهای کلمبیا، شیلی، پرو، بولیوی و اکوادور، اصلی‌ترین کشت‌کنندگان این دانه بوده‌اند. در حال حاضر کشت این دانه در اروپا، آمریکای شمالی، آسیا از جمله ایران و آفریقا نیز انجام می‌گیرد [۵]. پروتئین کینوا از نظر کمی و کیفی

از غلات متداول بهتر می‌باشد [۴]. کینوا به عنوان پروتئین گیاهی علاوه بر کمک به رشد ارگانسیم بدن، گرما و انرژی بدن را حفظ می‌کند و یک رژیم غذایی کامل و متعادل برای همه به خصوص برای گیاه خواران به حساب می‌آید و با توجه به اینکه سرشار از پروتئین است یک جایگزین عالی برای برنج محسوب می‌شود [۶]. این دانه دارای دامنه‌ی اسیدآمینه گسترده‌تر نسبت به غلات و حبوبات بوده به طوری که میزان بالایی از اسیدآمینه لیزین آن حدود ۶/۴-۵/۱٪ و اسیدآمینه متیونین حدود ۱-۰/۴٪ می‌باشد. دانه‌های کینوا محتوای هیستیدین بالاتری از جو، سویا و یا پروتئین گندم دارند در حالی که میزان سیستئین، متیونین آن برای کودکان و نوجوانان مناسب است. تریپتوفان این دانه‌ها شبیه به گندم و نسبت به سایر غلات بیشتر است [۷]. کینوا در مقایسه با برخی از غلات رایج (گندم و جو) سرشار از نیاسین، اسید فولیک، ویتامین‌های A، B₂ و E بوده و غنی از آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند پلی‌فنول می‌باشد [۸]. به دلیل فاقد گلوتن بودن کینوا اخیراً به عنوان جایگزین غلات رایج، برای افراد مبتلا به بیماری سلیاک استفاده می‌شود [۷]. بنابراین از کینوا برای تولید محصولات با ارزش تغذیه‌ای بالا مانند پاستا، نان، کیک و غذای کودک و همچنین برای تولید آرد و محصولات غنی شده نانوائی فاقد گلوتن استفاده شده است [۹، ۱۰]. آرد کینوا را در دو سطح ۲۵ و ۵۰ درصد جایگزین آرد گندم کردند و نشان دادند که این جایگزینی سبب افزایش مواد معدنی، بهبود پذیرش توسط مصرف‌کننده و کاهش حجم نان می‌شود. میلوآنویک و همکاران بررسی ارزیابی کیفیت نان گندم تهیه شده با کینوا، گندم سیاه و دانه کدو تنبل را انجام دادند آن‌ها در این پژوهش آرد گندم را تا سطح ۴۰ درصد با مخلوط کینوا (۱۵ درصد)، (گندم سیاه ۱۵ درصد) و دانه کدو تنبل (۱۰ درصد) جایگزین کرده و اثر این ترکیبات را بر ارزش

پوسته و تخلخل بافت دارد [۱۷]. در محصولات همچون نان که تغییرات حاصل از فرآیند تاثیر خود را در محصول نهایی همچنان نشان می‌دهند، مولفه های ریخت شناسی^۴ در شناخت عوامل مختلف تاثیر گذار بر ویژگی های محصول نهایی بسیار حایز اهمیت هستند [۱۶]. از طریق بررسی ساختار نان و خصوصیات مغز^۵ و پوسته^۶ می‌توان به تاثیر اجزای سازنده و شرایط پخت بر ویژگی های نهایی پی برد. یکی از متداول ترین روش های غیر مخرب برای سنجش ویژگی های ساختاری نان، استفاده از تکنیک های پردازش تصویر است. این روش مبتنی بر تصویربرداری از بافت نان و سپس تجزیه و تحلیل تصاویر حاصل به منظور تعیین پارامترهای بافتی یا یافتن همبستگی بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج سنجش خصوصیات بافتی می‌باشد [۱۸، ۱۹] بافت تصویر^۷ یکی از مهمترین ویژگی های تصویر می‌باشد. استفاده از آنالیز بافت تصویر و رنگ برای طبقه بندی چپس سیب زمینی تجاری توسط مندوزا استفاده شد [۱۴]. آنها برای این طبقه بندی از چهار ویژگی بافت تصویر (انرژی، انروپی، کنتراست و یکنواختی) استفاده کردند و اذهان نمودند این روش نسبت به ویژگی های رنگی تصاویر چپس سیب زمینی قابلیت بالاتری برای طبقه بندی این محصول دارد و می‌تواند به عنوان یک روش غیرمخرب و سریع برای پیشگویی ویژگی های آن استفاده شود. وو و همکاران با بررسی استفاده از شاخص بافت تصویر (آنروپی) برای طبقه بندی چای عنوان نمودند که استفاده از این پارامتر امکان طبقه بندی چای سبز با دقت بالا را امکان پذیر می‌سازد. هندسه برخالی معمولاً برای توصیف اشکال پیچیده استفاده میشود [۲۰]. اشکال هندسی طبیعی مانند درخت کاج، کرات آسمانی با اشکال اقلیدوسی

تغذیه، کیفیت حسی و همچنین میزان انرژی قطعات نان بررسی نمودند، آنها گزارش کردند میزان پروتئین، فیبر خام و مقدار روغن نسبت به نمونه‌ی شاهد افزایش نشان داد. همچنین ویژگی های حسی نان مانند حجم مخصوص، ظاهر، پوسته و بافت، عطر، بو و رنگ بهبود یافت [۱۱]. نتایج بررسی غنی سازی نان با کینوا توسط سوئیکا و همکاران نشان داد که جایگزینی آرد گندم در سطوح ۵-۱ درصد با کینوا سبب افزایش خطی در سختی مغز نان و استحکام آن شد. همچنین گروه های فنولیک، میزان پروتئین، نشاسته نان، محتوای آنتی اکسیدانها و هضم پذیری نشاسته نان افزایش یافتند [۴]. فسته و همکاران گزارش نمودند که استفاده از سبوس کینوا به خمیر و نان های بدون گلوتن سبب بهبود حجم قرص نان می‌شود و آرد کینوا به طور خاص میزان گاز CO₂ را در حین تخمیر افزایش می‌دهد [۱۲]. استفاده از کینوا نقص محصولات بدون گلوتن را از لحاظ کمبود پروتئین، مواد معدنی و فیبر بر طرف می‌کند [۱۳]. ویژگی های بصری، خواص حسی و پذیرش مصرف کننده در نان، بسیار متأثر از خصوصیات ساختاری محصول است [۱۴]. بررسی ریز ساختار^۳ نان موجب ارتقا ویژگی های کیفی محصول از طریق اصلاح فرمولاسیون، افزایش بهره وری در انتخاب اجزا فرمول و بهبود فرآیند پخت و نگهداری خواهد شد. از جمله مهمترین اجزا فرمول نان، نوع و میزان آرد مورد استفاده است. انتخاب نوع آرد با توجه به ویژگی های شیمیایی آن و همچنین استفاده از چند آرد به صورت همزمان می‌تواند بر ویژگی های محصول نهایی تاثیر گذار باشد [۱۵]. خصوصیات شیمیایی آرد تاثیر مستقیمی روی مولفه های رئولوژیکی خمیر [۱۶] و خصوصیات کیفی محصول نهایی همچون حجم، ویژگی های مکانیکی

⁵ Crumb

⁶ Crust

⁷ Image Texture

³ Microstructure

⁴ Morphological parameters

دستگاهی و سریع برای تعیین میزان تاثیر افزودن نسبت‌های مختلف آرد کینوا در ترکیب با آرد گندم در دو شرایط بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده بر پارامترهای رنگی، بافت تصویر (شامل: انرژی، آنتروپی، کنتراست و هموژنیته) بعد برخالی، ریز ساختار مغز نان (شامل: تعداد کل حفرات، اندازه حفرات و سطح کلی حفرات) و تخلخل، بافت مغز نان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

دانه کینوا وارپته سفید با منشا کشت کشور پرو، تهیه، پوست گیری و مواد زائد و خارجی آن حذف شد، سپس توسط آسیاب نیمه صنعتی موجود در پایلوت تحقیقاتی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد به آرد با درصد استخراج ۹۶، تبدیل و از الک با مش ۷۵ عبور داده شد. آرد الک شده، در دمای یخچال (۴ درجه سانتیگراد) تا زمان اجرای آزمون، نگهداری گردید. آرد گندم مورد آزمایش (رطوبت ۱۱ درصد، پروتئین ۱۲ درصد، خاکستر ۰/۸ درصد، گلوتن مرطوب ۱۴ درصد) با درصد استخراج ۷۶ از کارخانه میثم ستاره طوس (خراسان رضوی، ایران) و مخمر خشک اکاروماسیس سرویزیه از شرکت آستان قدس رضوی (خراسان رضوی، ایران) تهیه گردید. بهبود دهنده‌ی آنزیمی نان باگت از شرکت اکسیر تکنو پانکو (خراسان رضوی، ایران) شامل آرد نول گندم و آنزیم آلفا آمیلاز تهیه شد. بقیه مواد مورد استفاده شامل روغن، نمک، و شکر از بازار محلی مشهد تهیه گردید.

تهیه نان: به منظور تهیه نان قالبی ابتدا مخمر (یک درصد) را با سایر اجزای خشک (۱ درصد نمک، ۱/۵ درصد شکر، ۱۰۰ گرم آرد شامل: مخلوط آرد کینوا در چهار سطح ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱/۰۰٪ و آرد گندم به همراه ۲ درصد روغن) را به آن اضافه و مخلوط به

مانند مخروط و کره قابل توصیف‌اند اما اشکال طبیعی زیادی وجود دارد که به خاطر پیچیده بودن از لحاظ هندسی قابل توصیف با اشکال اقلیدوسی نیستند و باید از هندسه برخالی برای توصیف این اشکال استفاده کرد [۱۹]. از دیدگاه هندسی به شیئی برخالی گفته می‌شود که داری سه ویژگی خود متشابهی، پیچیده بودن در مقیاس خرد، و عدم صحیح بودن عدد مربوط به بعد آن، باشد. در هندسه اقلیدسی از اعداد صحیح برای بررسی بعد اشکال استفاده می‌شود و معمولاً برای بعد خط، صفحه و فضا از اعداد ۱، ۲ و ۳ استفاده می‌شود. در حالی که در هندسه برخالی بعد اشکال یک عدد غیر صحیح است. روش‌های متعددی جهت اندازه‌گیری بعد برخالی وجود دارد که مهم‌ترین آنها روش شمارش جعبه، روش حرکت براونی و روش طیف قدرت فوریه است [۲۱]. گنزالس و باتلر بعد برخالی نان را با روش‌های مختلف محاسبه و از آن برای توصیف دقیق زبری سطحی نان استفاده کردند. نتایج نشان داد که وضعیت ظاهری مغز نان را می‌توان به طور موثری با توجه به بعد برخالی مغز نان تعیین کرد [۲۱] خصوصیات مغز نان توسط پدرسچی، با استفاده از بعد برخالی مورد بررسی قرار گرفت [۲۲]. این پژوهشگران با بررسی خصوصیات بعد برخالی و خصوصیات بافتی مغز نان نشان دادند که همبستگی بسیار خوبی بین نرمی با بعد برخالی وجود دارد ($R^2=0.882$) و می‌توان از بعد برخالی برای بررسی بافت نان استفاده کرد. در مطالعه دیگری از تئوری برخالی به عنوان یک روش غیرمخرب و جدید برای بررسی زمان پخت استفاده نمودند و اذعان داشتند که بعد برخالی در بافت نان می‌تواند به عنوان یک شاخص برای انعقاد و تشخیص زمان پخت به کار رود [۲۳]. از آن جا که افزودن درصدهای مختلف آرد کینوا به آرد گندم به طور مشخصی بر بافت نان تاثیرگذار است، هدف از این تحقیق تحلیل تصویر به عنوان یک روش

جدول ۱- تنظیمات دوربین جهت پردازش تصویر

Table 1- Camera settings for imaging

F-Stop	F/8
Exposure time	1/8 sec
Flash	No
White balance	Fluorescent
ISO Speed	100
Lens focal length	35

ارزیابی پارامترهای رنگی: در میان گروه‌های مواد غذایی با خواص فیزیکی مختلف، رنگ مهم‌ترین ویژگی قابل مشاهده برای سنجش کیفیت محصول است. سه مدل رنگی شامل RGB، CMYK و Lab برای تعیین رنگ مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در میان این مدل‌ها Lab کامل‌ترین طیف را نسبت به مدل‌های دیگر دارد. پارامترهای رنگی $L^*a^*b^*$ با استفاده از نرم‌افزار imagej و پلاگین Color space converter آن از تصاویر دیجیتال گرفته شده استخراج شد.

ارزیابی بافت تصویر: ارزیابی بافت تصویر بر اساس روش مندوزا و همکاران انجام شد [۱۴]. از میان روش‌های آماری مختلفی که برای آنالیز بافت تصویر وجود دارد، ماتریس همزمانی سطح خاکستری^۸ یکی از پرکاربردترین تکنیک‌های آنالیز بافت تصویر است که در آن مشخصه‌های بافت توسط برخی روش‌های آماری با استفاده از ماتریس همزمانی $Pd\theta(i, j)$ بدست می‌آید. قبل از ساختن ماتریس دو پارامتر θ (جهت جفت‌های پیکسلی) و d (فاصله بین جفت‌های پیکسلی) باید انتخاب شود. جهت θ یکی از چهار مقدار ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ بوده و فاصله بستگی به رزولیشن بافت دارد در بسیاری از موارد در صنایع غذایی d معمولاً طبق خواص ماده غذایی مورد مطالعه بدست می‌آید. زمانی که اطلاعات کافی از انتخاب فاصله مناسب وجود ندارد، مقدار ۱ یا گروهی از مقادیر مختلف معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد. با

طور کامل به وسیله همزن پایلوت نانوائی با پروب موسوم به اسپیرال، هم زده شد. سپس خمیر در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۸۰-۷۵ درصد به مدت ۳۰ دقیقه در اتاق تخمیر قرار گرفت. خمیر تهیه شده به قطعات ۱۰۰ گرمی تقسیم و در قالب به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۸۰-۷۵ درصد تحت استراحت قرار گرفت. پخت قرص‌های خمیر نان در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰-۲۵ دقیقه انجام شد، سپس قرص‌های نان سرد و سپس در بسته‌های پلی‌اتیلنی بسته بندی شد [۲۴]. تولید نان طبق دستورالعمل بالا یک بار با افزودن بهبود دهنده و یک بار بدون افزودن بهبود دهنده در هر چهار سطح آرد کینوا انجام شد.

سیستم ماشین بینایی: سیستم تصویر گیری به طور کلی از چهار جزء تشکیل شده است که عبارتند از منابع نوری، دوربین، سخت افزار و نرم‌افزار رایانه. جهت نورپردازی یکنواخت به یک محفظه تاریک نیاز است. این محفظه تاریک اتاقک چوبی با دیواره‌های تیره شده با رنگ سیاه است (تا نور پس زمینه را به حداقل برساند) حاوی ۱۰ لامپ فلورسنت (Oppl, 8W, model: MX396- Y82) به طول ۶۰ سانتی متر جهت تأمین نور بود. دوربین دیجیتالی (Canon EOS 1000D, Tokyo, Japan) به فاصله ۲۵ سانتیمتر به صورت عمودی در بالای نمونه‌ها قرار گرفت. شرایط نورپردازی داخل محفظه برای همه نمونه‌ها یکسان بود. در نهایت تصاویر با دوربین دیجیتال مذکور با ابعاد 2592×3888 پیکسل گرفته شده و با پورت USB به رایانه انتقال یافت و از نرم افزار Canon Utilities Zoom Browser EX Version 6.1.1 برای ذخیره کردن تصاویر با فرمت JPEG در رایانه استفاده شد. نحوه تنظیمات دوربین در جدول ۱ آورده شده است.

⁸ Gray level co-occurrence matrix

$$\text{Homogeneity} = \sum_i \sum_j \frac{pd\theta(i,j)}{1+(i-j)^2} \quad \text{معادله (۴)}$$

هموزنیته به‌طور نسبی معکوس کنتراست و مبین میزان یکنواختی تصویر در یک مقدار انرژی ثابت است و به‌طور مشابه در یک کنتراست ثابت، هموزنیته به‌طور نسبی معکوس انرژی به حساب می‌آید [۲۶]. برای محاسبه پارامترهای بافت ابتدا تصاویر با استفاده از نرم‌افزار imageJ در اندازه ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ پیکسل برش داده شد و شماره‌گذاری شد سپس توسط نرم‌افزار matlab مقدار این پارامترها مورد محاسبه قرار گرفت. محاسبه بعد برخالی: برای محاسبه بعد برخالی از روش ون شیونگ و همکاران (۲۰۰۳) استفاده شد. بدین ترتیب برای محاسبه بعد برخالی از روش شمارش جعبه تفاضلی^{۱۰} استفاده شد. برای این کار ابتدا تصاویر با استفاده از نرم‌افزار imageJ به تصاویر سطح خاکستری تبدیل شدند و در ادامه به کمک پلاگین Mapfractalcount و با استفاده از معادله زیر مقدار بعد برخالی محاسبه شد. در این فرمول N نشان‌دهنده تعداد جعبه و r نشان‌دهنده طول یکی از قسمت‌های جعبه می‌باشد.

$$FD_{CDBC} = \frac{\log(N)}{\log(\frac{1}{r})} \quad \text{معادله (۵)}$$

بالا بودن مقدار FD نشان‌دهنده پیچیده یا ناهموار بودن تصویر سطح خاکستری است در حالی که تصاویر با FD پائین معمولاً ساده و داری بافت صاف و نرم می‌باشند.

بررسی ریز ساختار مغز نان: همچنین جهت استخراج پارامترهای ریزساختار مغز نان، تصاویر تهیه شده در اختیار نرم‌افزار Image J قرار گرفتند. به این منظور نخست تصاویر رنگی تبدیل به نوع هشت بیتی شدند. جهت تبدیل تصاویر هشت بیتی به تصاویر دودویی،

توجه به ماتریس همزمانی چهارده مشخصه به دست می‌آید که چهار مشخصه ذیل معمول‌ترین آن‌ها است.

محاسبه پارامترهای آنالیز بافت

انرژی

$$\text{Energy} = \sum_i \sum_j pd\theta(i,j)^2 \quad \text{معادله (۱)}$$

این پارامتر مبین میزان صافی یا یکنواختی سطح نمونه است به عبارت دیگر میزان تکرار شدن جفت پیکسل‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند و هر چه میزان تکرار شدن جفت پیکسل‌ها افزایش یابد، میزان صافی و یکنواختی سطح نمونه افزایش می‌یابد و هر چه میزان تکرار شدن جفت پیکسل‌ها کاهش یابد، صافی و یکنواختی نمونه کاهش می‌یابد [۲۵].

آنترپی

معادله (۲):

$$\text{Entropy} = \sum_i \sum_j pd\theta(i,j) \cdot \log pd\theta(i,j)$$

این پارامتر میزان بی‌نظمی یا تصادفی بودن جفت پیکسل‌ها را اندازه‌گیری می‌کند و مبین پیچیدگی تصویر است، بنابراین تصاویر با پیچیدگی بالا دارای مقدار بالای آنترپی‌اند و تصاویر ساده دارای مقادیر پایین تری از آنترپی‌اند [۲۵].

کنتراست

$$\text{Contrast} = \sum_i \sum_j (i-j)^2 \cdot p_{\theta}(i,j) \quad \text{معادله (۳)}$$

این پارامتر وجود پراکندگی مکانی^۹ در تصویر را اندازه‌گیری می‌کند. از این رو هر چه میزان کنتراست تصویر بالاتر باشد، میزان پراکندگی مکانی در تصویر بالاتر است. از طرفی میزان کنتراست نشان‌دهنده تنوع شدت سطوح خاکستری نیز می‌باشد [۲۵].

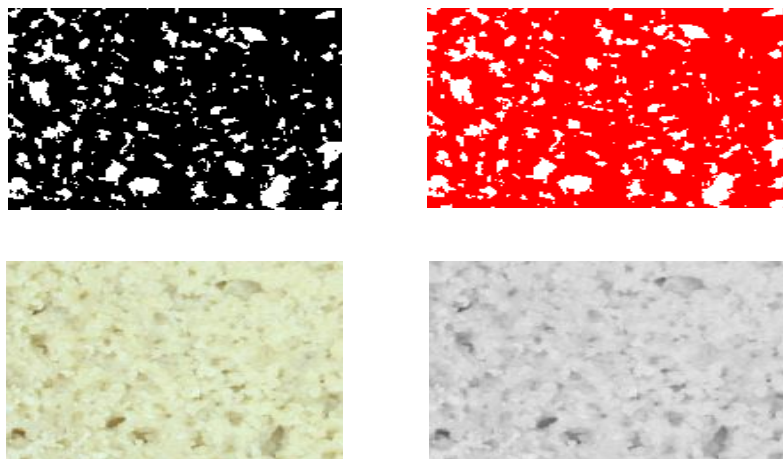
هموزنی

¹⁰ Defferential Box counting

⁹ Local variations

قسمت دودویی نرم افزار فعال گردید. این تصاویر، مجموعه‌ای از نقاط روشن و تاریک است. جهت تقطیع تصاویر از روش آستانه‌گیری دستی بر مبنای رنگ قرمز استفاده شد. سپس با تنظیم و فعال کردن

قسمت آنالیز نرم افزار، پارامترهای مورد نظر همچون تعداد کل سلول‌ها، اندازه سلول‌ها و سطح کلی سلول‌های مغز نان مورد محاسبه قرار گرفت [۲۳].



شکل ۱- از راست به چپ به ترتیب؛ الف: تصویر خام ب: تصویر ۸ بیتی ج: تصویر دودویی د: تصویر در مرحله آستانه گیری
Figure 1. (Right to Left in order) a: original picture, b: 8-bit binary picture, c: binary picture, d: thresholded picture

نتایج و بحث

اثر افزودن درصد‌های مختلف آرد کینوا بر پارامترهای رنگی: شاخص L^* با افزایش درصد آرد کینوا کاهش یافت، که این شاخص در مورد نان حاوی ۱۰٪ آرد کینوا بدون بهبود دهنده کمترین مقدار بود (۸۹/۶۵۴) که بیانگر تیره بودن بافت نان نسبت به سایر نمونه‌ها می‌باشد و دلیل آن می‌تواند رنگ تیره آرد کینوا باشد. البته همانطور که در ظاهر نان مشخص بود، این تیرگی چندان نامطلوب نبود. روشن‌ترین نمونه‌ی بافت مغز نان مربوط به نان شاهد همراه با بهبود دهنده (۹۷/۶۳۵) می‌باشد. به طور کلی حضور بهبود دهنده در نان باعث بهبود روشنایی در مغز نان شده است. مؤلفه a^* در نمونه حاوی ۲۵٪ آرد کینوا بدون بهبود دهنده (۴/۳۳۶-) که نسبت به نمونه شاهد بدون بهبود دهنده (۲/۱۱۴-) و نمونه شاهد همراه با بهبود دهنده (۲/۰۰۲-) افزایش پیدا کرد. این تغییر نشان دهنده‌ی تمایل بیشتر رنگ این نمونه‌ی نان به

آزمون تخلخل: سلول‌های گازی می‌توانند بیش از ۷۰ درصد حجم نان را اشغال کنند، اندازه، تعداد و دانسیته سلول‌های گاز در نان‌های مختلف متفاوت است، در نتیجه بافت و خواص حسی نان را تغییر می‌دهند [۲۷] به منظور بررسی میزان تخلخل و پراکندگی حفرات در بافت نان، قسمت مشخصی از بافت مغز نان برش داده شد و در محفظه نوری قرار گرفت و از فاصله مشخص توسط دوربین عکس گرفته شد سپس با استفاده از نرم افزار ImagJ تخلخل نمونه از نظر قطر میانگین، قطر بیشینه، قطر کمینه بررسی شد [۱۵].

تحلیل آماری

در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در قالب فاکتوریل استفاده شد و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیز برای مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ استفاده گردید. همچنین آنالیز واریانس داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار SPSS22 و Excel 2010 انجام شد.

تصویر، تفاوت معناداری در حوزه دو مولفه a^* و L^* مشاهده نگردید اما در خصوص مولفه b^* تفاوت معناداری میان نمونه های حائز مقادیر بالاتر آرد کینوا مشاهده گردید که این امر نشان می‌دهد استفاده از آرد کینوا میتواند به بهبود رنگ بافت داخلی نان کمک شایانی نماید.

سبز می‌باشد. با افزایش درصد آرد کینوا پارامتر b^* نمونه‌ها افزایش یافت که نشان می‌دهد رنگ نان به زرد تمایل بیشتری پیدا کرده است، بافت نان نمونه‌ی ۱۰۰٪ آرد کینوا بدون بهبود دهنده بیشترین میزان زردی را در بین نمونه ها داشت، که در جدول ۲ به وضوح مشخص می‌باشد. باید توجه داشت که در مقایسه میانگین نتایج حاصل از مولفه های رنگی

جدول ۲- اثر درصدهای مختلف آرد کینوا در دو نوع نان (بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده) در سطح معناداری ۹۵ درصد بر پارامترهای رنگی L^* ، a^* و b^*

Table 2 - Effect of Quinoa flour in different samples on color parameters ($p < 0.05$)

کد نمونه Sample code	L^*	a^*	b^*
Q0R0	۹۵/۳۵۶ ± ۱/۱۸۲ ^a	-۲/۱۱۴ ± ۰/۰۵۴ ^a	۱/۸۵۴ ± ۰/۰۰۲ ^a
Q1R0	۹۳/۲۴۹ ± ۰/۰۵۴ ^a	-۴/۳۳۶ ± ۰/۰۰۵ ^a	۲/۷۰۲ ± ۰/۰۲۸ ^a
Q2R0	۹۲/۹۶۷ ± ۰/۲۸۰ ^a	-۴/۲۴۱ ± ۰/۰۵۴ ^a	۱۰/۶۴۹ ± ۰/۰۵۴ ^b
Q3R0	۹۰/۶۴۹ ± ۰/۰۴۶ ^a	-۳/۵۶۷ ± ۰/۰۲ ^a	۱۸/۸۶۸ ± ۰/۰۴۶ ^c
Q4R0	۸۹/۶۵۴ ± ۰/۰۲۸ ^a	-۳/۲۱۴ ± ۰/۱۸۲ ^a	۲۱/۵۴۳ ± ۰/۰۰۵ ^c
Q0R1	۹۷/۶۳۵ ± ۰/۰۲ ^a	-۲/۰۰۲ ± ۰/۱۰۰ ^a	۱/۵۱۴ ± ۰/۰۵۴ ^a
Q1R1	۹۵/۷۴۳ ± ۰/۰۵۴ ^a	-۴/۱۲۴ ± ۰/۹۹۶ ^a	۲/۳۱۰ ± ۰/۰۲ ^a
Q2R1	۹۳/۹۹۸ ± ۰/۰۰۵ ^a	-۳/۸۸۷ ± ۰/۰۴۵ ^a	۸/۳۸۹ ± ۰/۰۴۵ ^b
Q3R1	۹۲/۶۸۱ ± ۰/۰۵۴ ^a	-۳/۳۰۸ ± ۰/۹۹۸ ^a	۱۷/۲۶۱ ± ۰/۹۹۸ ^c
Q4R1	۹۱/۳۹۱ ± ۰/۰۲ ^a	-۳/۱۰۸ ± ۰/۹۹۷	۱۹/۰۰۲ ± ۰/۰۱۶

دهنده بر میزان انرژی بافت تصویر نسبت به نان کینوا بدون بهبود دهنده بیشتر بود به طوری که بالاترین میزان انرژی (۰/۲۲۸۴) در مغز نان حاوی ۱۰۰٪ آرد کینوا همراه با بهبود دهنده دیده شد. علت افزایش مقدار انرژی با افزایش درصد آرد کینوا احتمالاً به علت ایجاد یک ساختار ملکولی منظم و شبکه مانند می‌باشد.

آنتروپی: آنتروپی بافت تصویر نشان‌دهنده بی‌نظمی و پیچیدگی بافت تصویر است. نتایج مربوط به افزایش درصد آرد کینوا نشان داد که با افزایش درصد آرد کینوا در هر دو نان (بدون بهبود دهنده و با بهبود دهنده)، میزان آنتروپی بافت افزایش یافت، در حالیکه در بین بافت تصاویر، آنتروپی نمونه های شاهد

اثر افزودن درصدهای مختلف آرد کینوا بر پارامترهای بافت تصویر

انرژی: نتایج مربوط به اثر درصدهای مختلف آرد کینوا بر پارامترهای بافت تصویر در جدول ۳ آورده شده است. همان طور که در جدول دیده می‌شود مقدار انرژی تصویر با افزودن آرد کینوا افزایش یافت، به طوری که هر دو نان (بدون بهبود دهنده و با بهبود دهنده) در بالاترین درصد آرد کینوا (۱۰۰٪) داری بیشترین مقدار انرژی بودند (جدول ۳). این افزایش انرژی بدین معنی است که با افزایش درصد آرد کینوا میزان صافی و یکنواختی نمونه‌های نان افزایش یافت. تاثیر افزایش درصد آرد کینوا در نان همراه با بهبود

نسبت به نمونه های تهیه شده از آرد کینوا میزان آنتروپی بیشتری داشت (جدول ۱). به طوریکه آنتروپی نمونه های حاوی ۲۵٪ آرد کینوا بدون بهبود دهنده (۹۹۱/۴) و ۲۵٪ آرد کینوا همراه با بهبود دهنده (۹۴۱/۴) نسبت به نمونه شاهد بدون بهبود دهنده (۷/۰۷۶) و نمونه شاهد همراه با بهبود دهنده (۶/۱۸۷) کاهش پیدا کرد. با مقایسه اثرات افزودن درصد آرد کینوا به نان مشاهده شد که ۲۵٪ آرد کینوا همراه با بهبود دهنده کمترین میزان آنتروپی را داشت. علت کاهش آنتروپی در اثر افزودن ۲۵٪ آرد کینوا و بهبود دهنده را می توان به دلیل ایجاد یک بافت منظم حاوی سلول های هوای منظم در بافت نان دانست.

کنتراست: از آنجا که شاخص کنتراست نشان دهنده وجود پراکندگی مکانی^{۱۱} در بافت تصویر است، از این رو، درصدهای مختلف آرد کینوا بر شاخص کنتراست تاثیر مستقیمی دارند. نتایج نشان داد که با افزایش درصد آرد کینوا در هر دو نان (بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده) شاخص کنتراست کاهش یافت (جدول ۱). به طوری که این شاخص در نمونه های حاوی ۱۰۰٪ آرد کینوا بدون بهبود دهنده (۱۷/۸۴) و ۱۰۰٪ آرد کینوا همراه با بهبود دهنده (۱۷/۹۳) نسبت به نمونه شاهد بدون بهبود دهنده (۲۳/۰۸) و نمونه شاهد همراه با بهبود دهنده (۲۲/۸۷) کمتر بود. این کاهش کنتراست بدین معنی است که با افزودن آرد کینوا، میزان پراکندگی های مکانی کمتر شده و تصویر یک دست تری از بافت تصویر به وجود آمده است البته مقایسه میانگین نمونه ها نشان می دهد افزایش سهم آرد کینوا در فرمولاسیون، موجب تغییر معناداری در مولفه کنتراست در نمونه ها نشده است.

هموژنیته: هموژنیته مبین میزان یکنواختی تصویر در یک مقدار انرژی ثابت است. از این رو نتایج نشان داد که با افزایش درصد آرد کینوا در هر دو نان (بدون

بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده) شاخص هموژنیته تصویر افزایش یافت. به طوریکه بیشترین میزان هموژنیته مربوط به نمونه های حاوی ۱۰۰٪ آرد کینوا بدون بهبود دهنده (۸۵۹/۰) و ۱۰۰٪ آرد کینوا همراه با بهبود دهنده (۸۶۵/۰) بود، در حالیکه میزان هموژنیته نمونه های شاهد بدون بهبود دهنده (۶۹۸/۰) و نمونه شاهد همراه با بهبود دهنده (۷۲۴/۰) باید توجه داشت که افزایش سهم آرد کینوا در فرمولاسیون موجب تغییر معنادار در میزان هموژنیته نمونه ها نگردید.

بعد برخالی: یکی دیگر از پارامترهای بدست آمده از پردازش تصویر، بعد برخالی است. که یک توصیف عددی از مورفولوژی شکل با ساختارهای پیچیده و منظم می باشد و معمولاً برای توضیح تغییرات رخ داده شده در ساختار مواد غذایی در طول و یا در طی فرایند به کار می رود. این پارامتر در بسیاری از موارد یک عدد غیر صحیح است و به عنوان درجه ای از بی نظمی و پیچیدگی یک شی یا شکل شناخته می شود (۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱ و ۳۲). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود، با افزایش درصد آرد کینوا در هر دو نمونه های نان (بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده)، شاخص بعد برخالی بافت کاهش یافت، به طوری که بالاترین شاخص بعد برخالی (۲/۸۲) مربوط به نمونه شاهد بدون بهبود دهنده و پایین ترین شاخص مربوط به نمونه حاوی ۱۰۰٪ آرد کینوا همراه با بهبود دهنده (۲/۳۸) بود. فررا و همکاران نیز عنوان داشتند که مواد متخلخل همچون نان به عنوان یک سطح چین چروک و به عنوان یک جامد متخلخل در نظر گرفته می شود و بعد برخالی نان بین ۲ تا ۳ قرار دارد. همچنین استفاده از تئوری برخالی برای توصیف بی نظمی سطح نان توسط کاوال و همکاران مورد پژوهش قرار گرفت. این پژوهشگران با بررسی

¹¹ Local variations

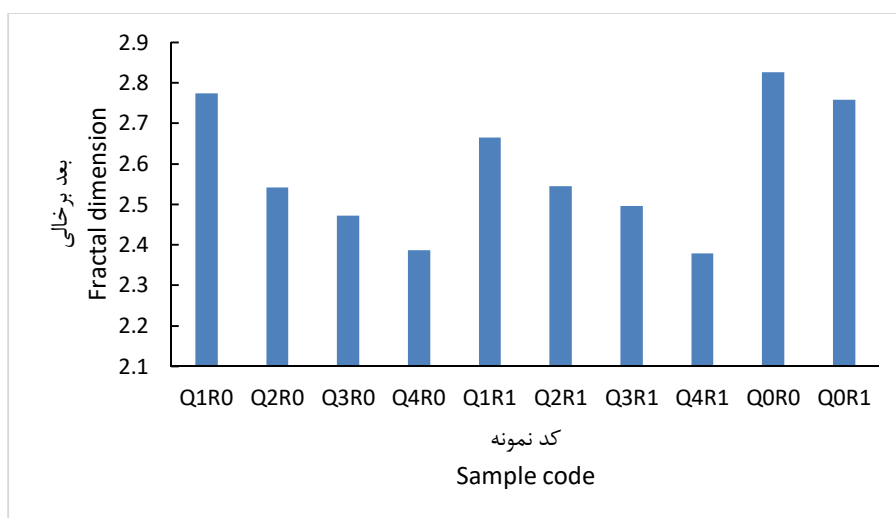
بررسی اثر آرد کینوا بر ساختار مغز نان با استفاده از... / مسعود تقی‌زاده و همکاران

تصاویر خاکستری سطوح نان بیان کردند که با افزایش بی‌نظمی سطح نان، بعد برخالی افزایش می‌یابد [۳۳] [۱۷]. باید توجه داشت که مقایسه میانگین، مولفه بعد برخالی نشان می‌دهد تفاوت معناداری میان نمونه‌های مختلف با افزایش میزان آرد کینوا در فرمولاسیون نمونه‌ها وجود ندارد.

جدول ۳- اثر درصد‌های مختلف آرد کینوا در دو نوع نان (بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده) در سطح معناداری ۹۵ درصد بر پارامترهای بافت تصویر

Table 3. Effect of Quinoa flour in different samples on texture parameters ($p < 0.05$)

هموژنیته	کنتراست	آنتروپی	انرژی	کد نمونه
Homogeneity	Contrast	Entropy	Energy	Sample code
۰/۶۹۸۰ ± ۰/۱۷ ^a	۲۳/۰۸ ± ۰/۱۶ ^a	۷/۰۷۶ ± ۰/۱۱ ^a	۰/۱۶۵۹ ± ۰/۰۱ ^a	Q0R0
۰/۷۴۶۰ ± ۰/۳۵ ^a	۲۱/۵۶ ± ۰/۲۵ ^a	۴/۹۹۱ ± ۰/۱۷ ^a	۰/۱۷۸۹ ± ۰/۰۲۱ ^a	Q1R0
۰/۷۸۴۰ ± ۰/۰۸ ^a	۱۹/۶۷ ± ۰/۶۸ ^a	۵/۱۳۵ ± ۰/۲۵ ^a	۰/۱۸۶۱ ± ۰/۰۵۲ ^a	Q2R0
۰/۸۱۲۰ ± ۰/۶۱ ^a	۱۸/۵۷ ± ۰/۱۰ ^a	۵/۸۱۴ ± ۰/۰۳ ^a	۰/۱۹۶ ± ۰/۰۶۳ ^a	Q3R0
۰/۸۵۹۰ ± ۰/۰۹ ^a	۱۷/۸۴ ± ۰/۵۷ ^a	۵/۹۱۲ ± ۰/۰۹۹ ^a	۰/۲۲۱۶ ± ۰/۰۸۹ ^a	Q4R0
۰/۷۲۴۰ ± ۰/۰۷ ^a	۲۲/۸۷ ± ۰/۱۷ ^a	۶/۱۸۷ ± ۰/۰۹۱ ^a	۰/۱۷۳۵ ± ۰/۰۱۸۲ ^a	Q0R1
۰/۷۵۲۰ ± ۰/۳۹ ^a	۲۱/۶۵ ± ۰/۰۹ ^a	۴/۹۴۱ ± ۰/۰۶۳ ^a	۰/۱۸۵۷ ± ۰/۰۱۶۱ ^a	Q1R1
۰/۷۹۰۰ ± ۰/۲۵ ^a	۱۹/۷۶ ± ۰/۶۸ ^a	۵/۱۴۰ ± ۰/۳۱ ^a	۰/۱۹۲۹ ± ۰/۰۲۰ ^a	Q2R1
۰/۸۱۸۰ ± ۰/۴۸ ^a	۱۸/۶۶ ± ۰/۲۳ ^a	۵/۸۱۹ ± ۰/۰۴ ^a	۰/۲۰۲۸ ± ۰/۰۱۲ ^a	Q3R1
۰/۸۶۵۰ ± ۰/۱۸ ^a	۱۷/۹۳ ± ۰/۵۴ ^a	۵/۹۱۷ ± ۰/۱۲ ^a	۰/۲۲۸۴ ± ۰/۰۱۰ ^a	Q4R1



شکل ۲- اثر درصد‌های مختلف آرد کینوا در دو نوع نان (بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده) بر شاخص بعد برخالی

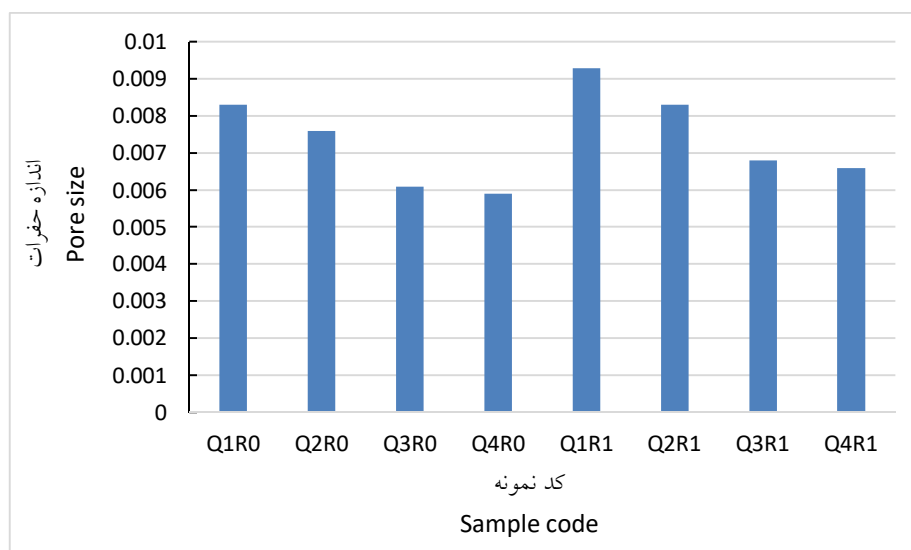
Figure 2 - Effect of Quinoa flour in different samples on Fractal dimension ($p < 0.05$)

۵۰٪ باعث افزایش تعداد کل سلول‌ها نسبت به هر دو نمونه شاهد (بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده) شد، در حالی که نمونه‌های حاوی ۷۵٪ و ۱۰۰٪ آرد کینوا، تعداد کل سلول‌هایشان نسبت به نمونه‌های دیگر کمتر بود (شکل ۳). افزایش تعداد سلول‌ها با

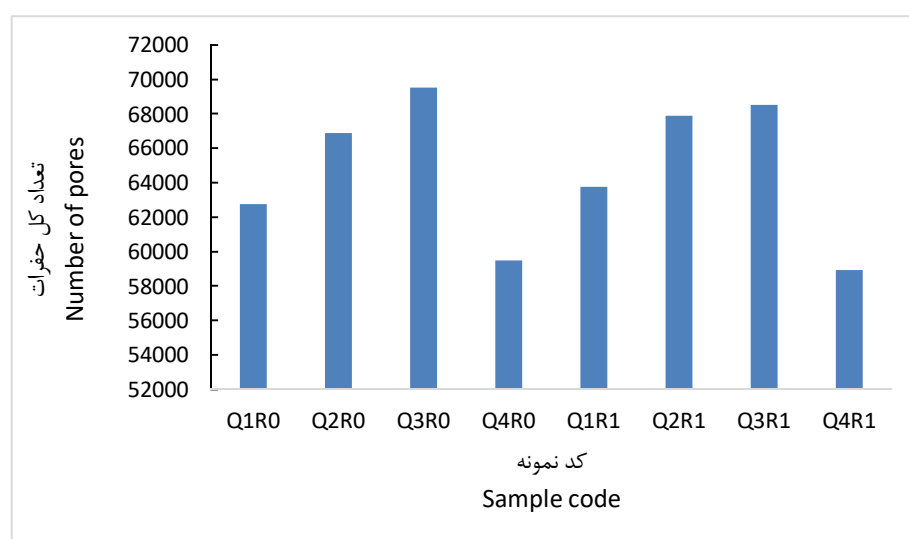
بررسی ساختار مغز نان: نان به عنوان یک ماده جامد اسفنجی، حاوی یک فاز پراکنده (فاز هوا) و یک فاز پیوسته جامد می‌باشد که نحوه توزیع، یکنواختی، تعداد و اندازه سلول‌ها از عوامل موثر بر کیفیت محصول نهایی به شمار می‌آیند. افزودن آرد کینوا تا

نمونه‌های بالاتر از ۵۰٪ آرد کینوا حفرات اندازه‌های کوچکتری نشان دادند. نتایج مساحت کل حفرات نیز نشان داد با افزایش میزان آرد کینوا تا ۵۰٪ مساحت کل حفرات نسبت به نمونه‌های شاهد بیشتر بود در حالیکه در نمونه‌های بالاتر از ۵۰٪ آرد کینوا مساحت کل حفرات کاهش یافت، به طوریکه کمترین میزان سطح حفرات مربوط به نمونه ۱۰۰٪ آرد کینوا بدون بهبود دهنده بود.

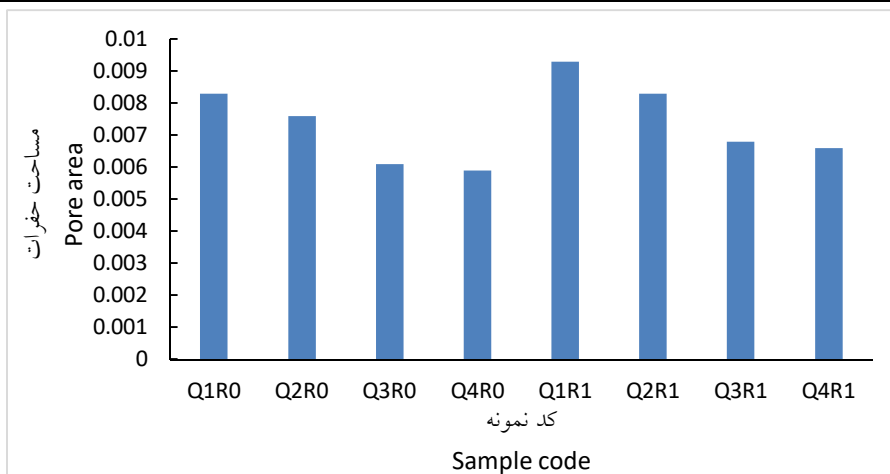
افزایش درصد آرد کینوا تا ۵۰٪ می‌تواند به دلیل تاثیر آن بر پایداری سلول‌های گازی از طریق تشکیل یک لایه ضخیم در سطح سلول‌ها باشد. حضور این لایه در سطح سلول‌ها باعث کاهش به هم پیوستن سلول‌های گازی می‌شود. در حالیکه، نمونه‌های بالاتر از ۵۰٪ آرد کینوا، تعداد سلول‌ها کمتر و اندازه کوچکتری داشتند که دلیل آن می‌تواند عدم حضور شبکه گلوآنی باشد. اندازه‌ی حفرات نیز با افزایش درصد آرد کینوا تا ۵۰٪ افزایش یافت نسبت به نمونه‌های شاهد، در حالیکه در



شکل ۳- اثر درصد‌های مختلف آرد کینوا در دو نوع نان (بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده) در سطح معناداری ۹۵ درصد بر تعداد کل حفرات
Figure 3. Effect of Quinoa flour percentages in different samples on number of pores ($p < 0.05$)



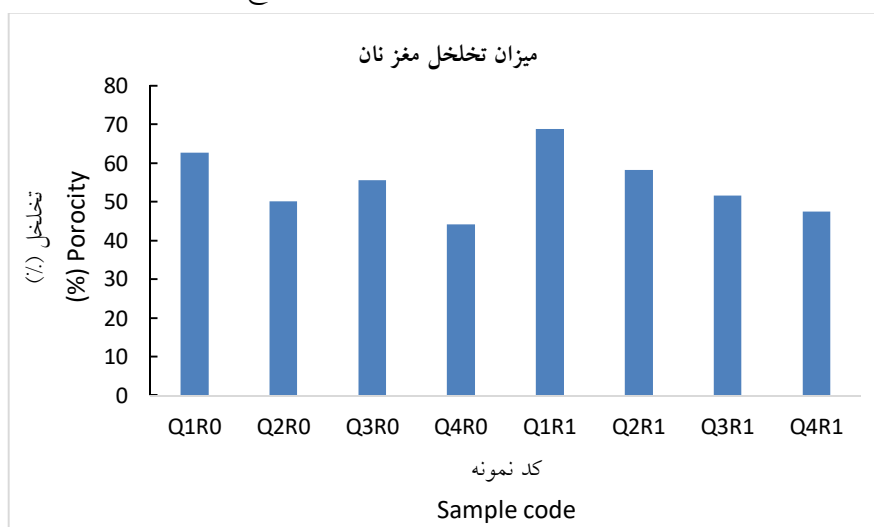
شکل ۴- اثر درصد‌های مختلف آرد کینوا در دو نوع نان (بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده) در سطح معناداری ۹۵ درصد بر اندازه حفرات
Figure 4. Effect of Quinoa flour percentage in different samples on the size of pores ($p < 0.05$)



شکل ۵- اثر درصدهای مختلف آرد کینوا در دو نوع نان (بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده) بر مساحت کل حفرات (cm²)
Figure 5. Effect of Quinoa flour in different samples on the total area of poros (cm²) (p<0.05)

کننده ی نتایج تعداد سلول‌ها در بخش قبلی بود. در نمونه‌های نان شاهد بدون بهبود دهنده و با حضور بهبود دهنده، حفرات بیشتر به شکل بیضوی بوده و نسبت قطر بزرگ بر قطر کوچک آنها زیاد بود، در حالیکه با اضافه شدن آرد کینوا در نمونه‌های ۷۵٪ و ۱۰۰٪، حفرات بیشتر به شکل دایره درآمده و ریزتر شدند. میانگین قطر حفرات نیز حاکی از کاهش مساحت حفرات است، در نمونه های ۷۵٪ و ۱۰۰٪ آرد کینوا چه در حضور بهبود دهنده و چه در عدم حضور بهبود دهنده قطر حفرات ریزتر شدند، که نتایج تایید کننده نتایج بخش ساختار مغز نان بود.

تخلخل: یکی از پارامترهای مهم مغز نان، تخلخل است که به‌طور کلی اشاره به ساختار منافذ موجود در مغز نان دارد، همچنین یکی از پارامترهای مهم در تعیین خواص کیفی مغز نان محسوب می‌شود [۳۴]. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، افزایش درصد آرد کینوا تا ۵۰٪ موجب افزایش میزان تخلخل در هر دو نمونه‌ی بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود شده است، و به طور کلی نمونه های حاوی بهبود دهنده تخلخل بیشتری نسبت به نمونه های بدون بهبود دهنده داشتند. نتایج حاصل از تخلخل تایید



شکل ۶- اثر درصدهای مختلف آرد کینوا در دو نوع نان (بدون بهبود دهنده و همراه با بهبود دهنده) بر میزان تخلخل
Figure 6 - Effect of Quinoa flour in different samples on porosity of bread (p<0.05)

نتیجه گیری

در این مطالعه برای معرفی یک روش جدید و غیرمخرب که بتواند اثرات افزودن درصدهای مختلف آرد کینوا را بر ساختار مغز نان نشان دهد، از سیستم مبتنی بر تصویربرداری استفاده شد و برای کمی کردن این اثرات از مفاهیمی همچون بعد برخالی، پارامترهای بافت تصویر و ساختار مغز نان کمک گرفته شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد با افزایش درصد آرد کینوا، پارامتر L^* (میزان روشنایی) و a^* نمونه‌ها افزایش، در حالیکه پارامتر b^* آن‌ها کاهش یافت. همچنین مشاهده شد با افزایش درصد آرد کینوا میزان انرژی، آنتروپی و هموژنیته نمونه‌ها افزایش یافت در حالیکه، میزان کنتراست و بعد برخالی نمونه‌ها کاهش پیدا کرد. تعداد کل حفرات، اندازه‌ی حفرات، مساحت کل حفرات و تخلخل نمونه‌ها با افزایش آرد

کینوا تا ۵۰٪ افزایش یافت، در حالیکه در نمونه‌های ۷۵٪ و ۱۰۰٪، این پارامترها کاهش یافتند. حفرات نمونه‌های ۷۵٪ و ۱۰۰٪ آرد کینوا بیشتر به شکل دایره درآمده بودند و همچنین اندازه‌ی ریزتری نسبت به حفرات نمونه‌های دیگر داشتند. نتایج ساختار مورفولوژیکی نان در این پژوهش نشان داد که میتوان از تئوری برخال برای بررسی اثرات فرآیندها و ترکیبات استفاده نمود. از طرفی مشخص گردید که آنالیز بافت تصویر به خوبی قادر به بیان تغییرات بافت مغز نان در اثر فرمولاسیون‌های مختلف بوده و با توجه به پارامترهای بافتی شامل کنتراست، هموژنیته، آنتروپی و انرژی می‌توان این تغییرات را به‌طور محسوسی بررسی نمود. براساس نتایج حاصله مشخص شد که نمونه‌ی حاوی ۵۰٪ آرد کینوا به همراه بهبود دهنده خصوصیات بافتی بهتری را نمایش داد.

جدول ۴ - جدول علائم اختصاری نامگذاری

Table 4 - Samples code names

کد نمونه Code	نمونه Sample
Q0R0	شاهد بدون بهبود دهنده Control without improver
Q1R0	۲۵٪ کینوا بدون بهبود دهنده 25% Quinoa without improver
Q2R0	۵۰٪ کینوا بدون بهبود دهنده 50% Quinoa without improver
Q3R0	۷۵٪ کینوا بدون بهبود دهنده 75% Quinoa without improver
Q4R0	۱۰۰٪ کینوا بدون بهبود دهنده 100% Quinoa without improver
Q0R1	شاهد همراه با بهبود دهنده Control with improver
Q1R1	۲۵٪ کینوا همراه با بهبود دهنده 25% Quinoa with improver
Q2R1	۵۰٪ کینوا همراه با بهبود دهنده 50% Quinoa with improver
Q3R1	۷۵٪ کینوا همراه با بهبود دهنده 75% Quinoa with improver
Q4R1	۱۰۰٪ کینوا همراه با بهبود دهنده 100% Quinoa with improver

References

- [1] Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M. & Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *J Cereal Sci*, vol. 48, no. 2, pp. 243–257.
- [2] Hidalgo, A. & Brandolini, A. (2014). Bread: Bread from Wheat Flour,” in *Encyclopedia of Food Microbiology, vol 1.*, Elsevier Ltd, Academic Press, pp. 303–308.
- [3] Dallagnol, A. M., Pescuma, M., De Valdez, G. F. & Rollán, G. (2013). Fermentation of quinoa and wheat slurries by *Lactobacillus plantarum* CRL 778: proteolytic activity, *Appl Microbiol Biotechnol*, vol. 97, pp. 3129–3140.
- [4] Świeca, M., Sęczyk, Ł., Gawlik-Dziki, U. & Dziki, D. (2014). Bread enriched with quinoa leaves—The influence of protein–phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality, *Food Chem*, vol. 162, pp. 54–62.
- [6] Oelke, E. A., Putnam, D. H., Teynor, T. M. & Oplinger, E. S. (1992). Alternative Field Crops Manual, Quinoa, *University of Wisconsin Extension, Cooperative Extension*. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/quinoa>.
- [7] James, L. E. A. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties, *Adv Food Nutr Res*, vol. 58, pp. 1–31.
- [8] Nsimba, R. Y., Kikuzaki, H. & Konishi, Y. (2008). Antioxidant activity of various extracts and fractions of *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus* spp. seeds, *Food Chem*, vol. 106, no. 2, pp. 760–766.
- [9] Caperuto, L. C., Amaya-Farfan, J. & Camargo, C. R. O. (2001). Performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) flour in the manufacture of gluten-free spaghetti, *J Sci Food Agric*, vol. 81, no. 1, pp. 95–101.
- [10] Iglesias-Puig, E., Monedero, V. & Haros, M. (2015). Bread with whole quinoa flour and bifidobacterial phytases increases dietary mineral intake and bioavailability, *LWT-Food Science and Technology*, vol. 60, no. 1, pp. 71–77.
- [11] Milovanović, M. M., Demin, M., Vučelić-Radović, B., Žarković, B. & Stikić, R. (2014). Evaluation of the nutritional quality of wheat bread prepared with quinoa, buckwheat and pumpkin seed blends, *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*, vol. 59, no. 3, pp. 318–328.
- [12] Föste M. *et al.* (2014). Impact of quinoa bran on gluten-free dough and bread characteristics, *European Food Research and Technology*, vol. 239, pp. 767–775.
- [13] KrUpa-KozaK, U., Wronkowska, M. & Soral-ŚMietaNa, M. (2011). Effect of buckwheat flour on microelements and proteins contents in gluten-free bread, *Czech Journal of Food Sciences*, vol. 29, no. 2, pp. 103–108.
- [14] Mendoza, F., Dejmek, P. & Aguilera, J. M. (2007). Colour and image texture analysis in classification of commercial potato chips, *Food Research International*, vol. 40, no. 9, pp. 1146–1154.
- [15] Naji-Tabasi, S. & Mohebbi, M. (2015). Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on macrostructure properties of gluten-free bread by image processing, *Journal of Food Measurement and characterization*, vol. 9, pp. 110–119.
- [16] Wang, S., Opassathavorn, A. & Zhu, F. (2015). Influence of Quinoa Flour on Quality Characteristics of Cookie, Bread and Chinese Steamed Bread, *J Texture Stud*, vol. 46, no. 4, pp. 281–292, Aug. 2015, doi: 10.1111/jtxs.12128.
- [17] Kvaal, K., Wold, J. P., Indahl, U. G., Baardseth, P. & Næs, T. (1998). Multivariate feature extraction from textural images of bread, *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, vol. 42, no. 1–2, pp. 141–158.
- [18] Ribotta, P. D., Pérez, G. T., Añón, M. C. & León, A. E. (2010). Optimization of additive combination for improved soy–wheat bread quality, *Food Bioproc Tech*, vol. 3, pp. 395–405.
- [19] Santacruz-Vázquez, C., Santacruz-Vázquez, V., Chanona-Perez, J., Jaramillo-Flores, M. E., Welti-Chanes, J. & Gutierrez-Lopez, G. (2007). Fractal theory applied to food science, in *Encyclopedia of agricultural, food, and biological engineering*, Taylor & Francis London, pp. 1–13.

- [20] Wu, D., Yang, H., Chen, X., He, Y. & Li, X. (2008). Application of image texture for the sorting of tea categories using multi-spectral imaging technique and support vector machine, *J Food Eng*, vol. 88, no. 4, pp. 474–483.
- [21] Gonzalez, R. C. (2009). *Digital image processing*. Pearson education india.
- [22] PEDRESCHI, F., AGUILERA, J. M. & BROWN, C. A. (2000). Characterization of food surfaces using scale-sensitive fractal analysis, *J Food Process Eng*, vol. 23, no. 2, pp. 127–143.
- [23] Pérez-Nieto, A., Chanona-Perez, J. J., Farrera-Rebollo, R. R., Gutierrez-Lopez, G. F., Alamilla-Beltran, L., & Calderon-Dominguez, G. (2010). Image analysis of structural changes in dough during baking, *LWT-Food Science and Technology*, vol. 43, no. 3, pp. 535–543.
- [24] Yaseen, A. A., Shouk, A. A. & Ramadan, M. T. (2010). Corn-wheat pan bread quality as affected by hydrocolloids, *Journal of American Science*, vol. 6, no. 10, pp. 684–690.
- [25] Park, B., Lawrence, K. C., Windham, W. R., Chen, Y.R. & Chao, K. (2002). Discriminant analysis of dual-wavelength spectral images for classifying poultry carcasses, *Comput Electron Agric*, vol. 33, no. 3, pp. 219–231.
- [26] Gonzalez, R. C. (2009). *Digital image processing*. Pearson education india.
- [27] Upadhyay, R., Ghosal, D. & Mehra, A. (2012). Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure, *J Food Eng*, vol. 109, no. 1, pp. 104–113.
- [28] Peleg, M. & Normand, M. D. (1985). Characterization of the ruggedness of instant coffee particle shape by natural fractals, *J Food Sci*, vol. 50, no. 3, pp. 829–831.
- [29] BARLEITA B. J. & BARBOSA-CÁOVAS, G. V. (1993). Fractal Analysis to Characterize Ruggedness Changes in Tapped Agglomerated Food Powders, *J Food Sci*, vol. 58, no. 5, pp. 1030–1035, 1993, doi: 10.1111/J.1365-2621.1993.TB06105.X.
- [30] Rahman, M. S. (1997). Physical meaning and interpretation of fractal dimensions of fine particles measured by different methods, *J Food Eng*, vol. 32, no. 4, pp. 447–456.
- [31] Chanona, P. J. J., Alamilla, B. L., Farrera, R. R. R., Quevedo, R., Aguilera, J. M. & Gutiérrez, L. G. F. (2003). Description of the convective air-drying of a food model by means of the fractal theory, *Food Science and Technology International*, vol. 9, no. 3, pp. 207–213, Jun. 2003, doi: 10.1177/1082013203035100.
- [32] Kerdpi boon S. & Devahastin, S. (2007). Fractal characterization of some physical properties of a food product under various drying conditions, *Drying Technology*, vol. 25, no. 1, pp. 135–146.
- [33] Farrera-Rebollo, R. R., de la Salgado-Cruz, M. P., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G. F., Alamilla-Beltrán, L. & Calderón-Domínguez, G. (2012). Evaluation of Image Analysis Tools for Characterization of Sweet Bread Crumb Structure, *Food Bioproc Tech*, vol. 5, no. 2, pp. 474–484, Feb. 2012, doi: 10.1007/s11947-011-0513-y.
- [34] Armero E. & Collar, C. (1996). Antistaling additives, flour type and sourdough process effects on functionality of wheat doughs, *J Food Sci*, vol. 61, no. 2, pp. 299–303.