

تأثیر بستر پخت چدنی، سرامیکی و رسی بر ویژگی‌های حرارتی، بافتی، حسی و میزان فلزات سنگین نان

نجمه مظهری^۱، علیرضا صادقیان^۱، حسین زمانی^{۲*}، سمیرا یگانه‌زاد^۱، عباس افراسیابی^۲

۱- گروه فرآوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۲- گروه ماشین‌آلات مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
* نویسنده مسئول (h.zamani@rifst.ac.ir)

چکیده

پخت نان یکی از مهم‌ترین مراحل تهیه نان است. هدف این تحقیق بررسی تأثیر بستر پخت نان برای بهبود کیفیت نان تولیدی است. در این تحقیق بستر چدن به‌عنوان سطح مرجع و دو پوشش سرامیکی و رسی بر سطح چدن جهت مقایسه اعمال شد. به‌منظور بررسی خواص پوشش‌ها آزمایش‌های بررسی ریزساختار، ریزسختی (میکروهاردنس)، سختی‌سنجی، ضخامت‌سنجی و شوک حرارتی انجام گردید و در نهایت کیفیت نان حاصله باتوجه به معیار ارزیابی بافت، آزمون بیاتی، اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین و ارزیابی حسی بررسی شد. جهت آنالیز داده‌ها، برای مقایسه میانگین از آنالیز واریانس و برای گروه‌بندی تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد. براساس مطالعه‌های انجام‌شده مشخص گردید که استفاده از رس و سرامیک به‌صورت یک پوشش روی بستر چدنی، با مکانیسم حفاظت از انتقال آلودگی، باعث کاهش انتقال آلودگی شیمیایی فلزات سنگین به نان می‌شود. بیشترین میزان فلزات سنگین شامل سرب ۰/۵۶۵ میکروگرم بر کیلوگرم، کادمیوم ۰/۰۲۳ میکروگرم بر کیلوگرم و آهن ۴/۴۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نان تولیدشده در بستر چدن به‌دست‌آمد. بیشترین میزان فلزات سنگین در نان تولیدشده در بستر چدن و کمترین میزان فلزات سنگین در نان‌های پخته‌شده در بستر سرامیک به‌دست‌آمد. نمونه‌های پخته‌شده بر بستر چدن نسبت به نمونه‌های پخته‌شده بر بستر رس و سرامیک سفتی کمتری داشتند. از نقطه‌نظر حسی بالاترین امتیاز مربوط به نان‌های پخته‌شده در بستر سرامیک ۴/۹۰۰ و کمترین امتیاز مربوط به نان پخته‌شده در بستر رس ۳/۱۲۶ به‌دست‌آمد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۲
تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۱/۰۵/۲۶

واژه‌های کلیدی

ارزیابی بافت
ارزیابی حسی
بستر پخت
بیاتی
نان



مقدمه

یکی از دلایل دورریز نان پس از کیفیت خمیر، کیفیت پخت آن می‌باشد که بستگی زیادی به خصوصیات فر دارد. پخت نامناسب نان می‌تواند باعث عیوب زیادی از جمله خمیری‌شدن، ایجاد بو، مزه و رنگ نامطلوب، سوختگی، آلوده‌شدن با باقی‌مانده مواد سوختی، فلزات سنگین و بیاتی زودرس نان (Ghanbari & Shahedi, 2008) گردد.

در ایران علی‌رغم تفاوت در شکل ظاهری و ترکیبات خمیر نان‌های سنتی، عمدتاً فرایند پخت در فرها با بستر فلزی صورت می‌پذیرد. از این‌رو، شرایط فلز در کیفیت نان نهایی مؤثر می‌باشد. خوردگی، اکسیداسیون و آلودگی فلزی در سطوح بستر پخت نان به‌عنوان یکی از مشکلات جدی در صنعت پخت نان مطرح می‌باشد. آهن به سرعت در مجاورت رطوبت و حرارت، اکسید می‌شود و

پخته شده در ظروف فولادی، آلومینیوم آندایز شده، ورق آهن، آلومینیوم شفاف، حلب^۱، فولاد ضد زنگ، مس و شیشه انجام گردید، مشخص شد که ۴ ظرف ابتدایی که دارای ضریب صدور بالاتری می باشند، دارای سرعت پخت و کیفیت مغز پخت بهتر نسبت به ۴ ظرف دیگر بودند. باین حال شکل ظاهری و میزان تیره شدن در سایر ظروف بهتر می باشد (Charley, 1950). Hajimohammadi و همکاران (۲۰۱۵)، میزان سرب و کادمیوم در نان تولیدی در شهرستان یزد را اندازه گیری نمودند. براساس نتایج این پژوهش میزان دریافت هفتگی سرب و کادمیوم از طریق نان برای مصرف کنندگان شهرستان یزد در حد قابل قبولی می باشد اما باید این مقدار کاهش یابد تا از بروز خطرهای احتمالی فلزات سنگین جلوگیری شود. Torchi و همکاران (۲۰۱۶) آلودگی فلزات در نان مسطح ایرانی را مورد بررسی قرار دادند، در این پژوهش تعدادی نان لواش، بربری، تافتون و سنگک که از آرد سفید گندم تهیه شده بودند جمع آوری و با اسپکتوفتومتر جذب اتمی شعله ای میزان سرب، کادمیوم و نیکل نمونه ها اندازه گیری شد. آلودگی فلزات در نان مسطح ایرانی را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنالیز بیانگر این بود که میانگین میزان فلز سرب و آهن (به دلیل غنی سازی آرد در ایران) در نمونه ها کمی بیشتر از مقادیر مشخص شده توسط WHO/FAO بود. غلظت بالای سرب، کادمیوم و نیکل می تواند سلامت عمومی را به خطر اندازد. کنترل فلزات سنگین در مراحل تولید گندم، انبار کردن، آسیاب آرد و پخت نان می تواند سبب کاهش خطر تهدید سلامت عمومی جامعه باشد. در ایران تجهیزات فلزی متعددی در پخت نان استفاده می شوند که برای نمونه می توان به سیستم های پخت نان لواش اشاره نمود. در تحقیق منتشر شده توسط Torchi و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر روش های پخت سنتی نان در ایران، بر افزایش فلزات سنگین موجود در آن بررسی شده است. براساس نتایج این مطالعه؛ جنس بستر پخت بر میزان آلودگی فلزی نان مؤثر می باشد و همچنین افزایش میزان فلزات بررسی شده را پس از پخت نشان داد. ایجاد لایه محافظ بین فلز سطح پخت نان و همچنین استفاده از فلزات با مقاومت بیشتر در برابر واکنش دهی با خمیر نان می تواند خواص نان را بهبود داده و آلودگی آن را کاهش دهد.

ضخامت آن لایه لایه کاسته شده و موجب آلوده شدن نان به این فلز خواهد شد. اکسیداسیون و خوردگی علاوه بر اینکه موجب انتقال اکسیدهای آهن به نان می شود، فرایند انتقال حرارت را نیز غیریکنواخت می کند که یکی از دلایل پخت نامناسب نان می باشد. بنابراین در فرایند پخت که هم رطوبت و هم حرارت وجود دارد، قطعاً طول عمر بستر چدنی کمتر خواهد بود (Ahmed et al., 2000). بستر پخت نامناسب، یکی از منابع انتقال سرب و کادمیوم به بدن انسان می باشد. جذب فلزات سنگین موجب عوارضی چون اختلال در عملکرد کلیه و کبد، افزایش بیماری های قلبی-عروقی، کم خونی، عوارض گوارشی، مشکلات عصبی و اسکلتی می شود (Torchi et al., 2016). منبع آلودگی نان به این آلاینده ها می تواند آرد، آب، نوع سوخت و بستر پخت باشد (Hajimohammadi et al., 2015). به طور کلی انتقال حرارت در فرایند همرفت، رسانش و تابش به خمیر صورت می پذیرد. تابش حرارتی نقش مهمی را در فرایند پخت ایفا می نماید. میزان گرمای انتقال یافته از طریق رسانش و تابش به جنس و دمای بستر پخت وابسته است و انتقال حرارت همرفت وابسته به شرایط و نحوه عملکرد محفظه فر می باشد. رسانایی بیشتر منجر به گرم شدن سریع تر و یکنواخت تر بستر پخت می شود. بنابراین استفاده از یک فلز با رسانایی بالا، که ضریب رسانایی حرارتی بالایی دارد، منجر به توزیع یکنواخت حرارت می شوند (Davis et al., 1990). ضریب انتقال حرارت بالاتر منجر به پخت نان بهتر خواهد شد (Ghanbari & Shahedi, 2008). ضریب هدایت حرارتی چدن ۵۸، سرامیک ۳۰ و رس ۸/۱ تا ۱۵ وات بر متر بر درجه کلون است. به همین دلیل پخت نان در بستر چدنی، منجر به تولید نان با کیفیت بهتر و صرفه جویی در مصرف سوخت می گردد. به دلیل رسانایی حرارتی کم خمیر نسبت به بستر پخت، احتمال سوختن نان در محل تماس با سطح بستر افزایش می یابد. بنابراین پارامتر میزان رسانایی بستر بایستی در حد بهینه انتخاب گردد (Howell et al., 2020). یکی دیگر از ویژگی های مطلوب بستر نان، عدم چسبندگی نان پخته شده به سطح بستر و جدا شدن راحت آن پس از پخت می باشد. این ویژگی منجر به کاهش احتمال ورود آلودگی ها از بستر به نان پس از پخت می شود و کیفیت نان را بهبود می بخشد. تحقیقی که توسط Charley (۱۹۵۰) به منظور بررسی کیفیت کیک

¹ Tinned iron

افزایش ضخامت پوشش با سرعت ۲ متر بر ثانیه در سل نهایی غوطه‌ور و پس از ۱۰۰ ثانیه با همان سرعت بیرون کشیده شدند. پس از خشک‌شدن، نمونه‌ها در آون و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت قرار داده شدند.

مراحل انجام فرایند پوشش‌دهی شامل، (۱) شست‌وشو و چربی‌گیری سطح پایه چدنی با استفاده از حرارت و مواد شیمیایی، (۲) زبرنمودن سطح پایه چدنی به منظور چسبندگی بهتر با استفاده از فرایند سندبلاست که طی آن ذرات آهنی با دانه‌بندی ۱۵۰-۲۵۰ میکرون با سرعت لازم به سطح برخورد و یک زبری مناسب در حدود ۵/۲-۵/۴ میکرومتر ایجاد گردید. (۳) غوطه‌وری قطعات در داخل حلال جهت اکتیوسازی سطح، (۴) ایجاد آستر یا پرایمر، (۵) پخت در دمای حدود ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و (۶) ایجاد لایه فوقانی با استفاده از محلول سل-ژل اشباع‌شده از مواد پلی‌تترافلوئوراتیلن به شکل اسپری یا غوطه‌وری با ضخامت لایه فوقانی ۵۰ میکرومتر (Gazo & Sridharan, 2003).

روش اجرای پوشش رسی به روش دستی

به‌این‌منظور از مواد اولیه قابل ریخته‌گری که پایه رسی دارند، استفاده شد. برای ایجاد پوشش رسی، مواد رسی با آب به نسبت ۸۵ درصد مواد رسی و ۱۵ درصد آب مخلوط‌شده و روی سطح پایه چدنی آغشته شدند و بعد از سفت‌شدن به مدت ۲۴ ساعت در خشک‌کن در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد تحت پخت قرار گرفتند تا استحکام لازم را پیدا کنند. قابل ذکر است ضخامت پوشش رسی در حدود ۱۰ میلی‌متر اجرا گردید. پس از تهیه بسترها به‌منظور انتخاب بستر مناسب، آزمایش‌های لازم روی هریک از پوشش‌ها انجام شد.

آنالیز پایه چدنی

چدن خاکستری آلیاژی از دو عنصر آهن و کربن است که معمولاً دارای عناصر دیگری نظیر سیلیسیم، منگنز، فسفر و غیره می‌باشد. آهن به‌عنوان عنصر پایه و کربن به‌عنوان عنصر آلیاژی اصلی به‌کار می‌رود. درصد عنصر کربن در چدن خاکستری معمولاً بیشتر از ۲ درصد وزنی می‌باشد. وجود کربن و سیلیسیم در این چدن سبب پدید آمدن خواص قابل‌توجهی شده است. اولین ویژگی مطلوب این چدن‌ها قابلیت ریخته‌گری عالی آنهاست. علت این امر

هدف از این تحقیق، تهیه بستر پخت مناسب نان جهت بهبود کیفیت نان تولیدی و کاهش آلودگی ناشی از بستر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای دستیابی به بستر مناسب برای پخت نان از روش آزمایشگاهی استفاده شد. به‌این‌منظور سه بستر پخت برای یک دستگاه پخت نان انتخاب و از طریق انجام آزمایش‌های هدفمند روی آنها امکان دستیابی به سطح مناسب برای پخت نان فراهم شد.

تهیه زیرلایه

زیرلایه‌های فلزی از جنس چدن خاکستری به قطر ۶ سانتی‌متر و ضخامت ۲ سانتی‌متر به روش ریخته‌گری در ماسه تهیه گردید. ابتدا زیرلایه‌ها با استفاده از سنباده کاربرد سیلیسیم SiC با شماره ۶۰۰ تا ۱۵۰۰ تحت عملیات سنباده‌کاری مکانیکی قرار گرفتند. سپس عملیات پولیش روی سطح سنباده‌کاری‌شده با استفاده از پارچه پولیش و پودر آلومینا انجام شد. به‌منظور پاکسازی سطح نمونه‌ها از ذرات معلق و آلودگی‌های سطحی، از حمام التراسونیک (مدل ELMAT، ساخت آلمان) استفاده شد. به‌این‌ترتیب که نمونه پولیش‌شده به مدت ۱۵ دقیقه به‌ترتیب در استون، اتانول و آب‌مقطر در دمای محیط پاک‌سازی‌شده و پس از آن در گرم‌خانه با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس یک سطح دایره‌ای توسط ماشین‌کاری و سنگ‌زنی جهت ایجاد پوشش‌های موردنظر آماده گردید (Dunham et al., 2001).

پوشش‌دهی و آماده‌سازی نمونه‌ها

پوشش سرامیکی به روش سل-ژل

در این پژوهش پوشش سرامیکی به روش سل-ژل ایجاد گردید. برای تولید سل از آلکوکسیدهای سیلیسیم و تیتانیوم، اتانول، اتیل استواتات و اسید نیتریک استفاده شد. تمام مواد و محلول‌های شیمیایی به‌کاررفته در این پژوهش با خلوص آزمایشگاهی (مرک، ساخت آلمان) تهیه گردید. برای تهیه این سل، ابتدا ۲ میلی‌لیتر اتانول، ۰/۷ میلی‌لیتر تترااتیل اورتوسیلیکات اضافه گردید سپس اسید نیتریک به‌عنوان کاتالیزور به محلول اضافه و محلول حاصل به مدت ۱ ساعت در حمام اولتراسونیک هم‌زده شد. نمونه‌های آماده‌شده تحت زاویه ۴۵ درجه به‌منظور

گرفت (Momeni et al., 2018).

آزمایش ریزسختی

به منظور تعیین سختی پوشش از دستگاه میکروهاردنس ویکرز (شرکت Buehler، ساخت آلمان) استفاده شد. زیرا با اعمال نیروی چند میلی گرم فرورونده قادر است به مقدار خیلی کم در پوشش نفوذ کرده و سختی پوشش را اندازه گیری کند. لذا استفاده از سختی سنج معمولی که بارهای در حد چند کیلوگرم اعمال می کند برای این منظور توصیه نمی شود. برای بالابردن دقت سختی محاسبه شده و جلوگیری از خطای اندازه گیری، سطح نمونه ها با سنباده شماره ۱۲۰۰ سنباده زنی و سپس پولیش شدند. نیروی اعمالی در این روش برای نمونه های پوشش داده شده ۳۰۰ گرم در نظر گرفته شد. زمان اعمال نیرو بر سطح نمونه ها توسط فرورونده ویکرز ۱۵ ثانیه در نظر گرفته شد. برای تعیین ریزسختی ۵ نقطه در امتداد قطر نمونه در نظر گرفته شد (Zainali et al., 2018).

آزمایش ضخامت سنجی

به منظور تعیین ضخامت پوشش از یک ضخامت سنج مغناطیسی (DT-156، ساخت چین) طبق استاندارد ASTM (۲۰۱۹) استفاده گردید. میزان خطا در این روش، معمولاً کمتر از ۱۰ درصد ضخامت پوشش و یا ۵/۱ میکرومتر (هرکدام که بزرگ تر است) می باشد. برای هر نمونه ۵ اندازه گیری به فواصل باز از هم در کل حجم نمونه انجام شد، به گونه ای که این اندازه گیری ها تاحدامکان معرف کل مساحت سطح نمونه آزمایشی باشند. بنابراین میانگین ۵ اندازه گیری یا بیشتر برای هر نمونه، ضخامت پوشش آن نمونه خواهد بود (Sasanpour et al., 2020).

آزمایش شوک حرارتی

رفتار پوشش ها در حین سیکل های دمایی می تواند تخمینی از عمر پوشش ها در شرایط کاری واقعی را ارائه کند. از این رو، آزمون شوک حرارتی به عنوان اصلی ترین تست عملکردی، یکی از راه های ارزیابی کیفیت پوشش ها می باشد. به منظور بررسی مقاومت پوشش به تنش های حرارتی نمونه های پوشش داده شده به مدت ۱۵ دقیقه در یک آون با دمای ۲۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند، سپس خارج نموده و به مدت ۵ دقیقه توسط یک فن سرد شدند. سیکل حرارتی ذکر شده ۵۰ بار تکرار گردید و

درجه حرارت ذوب نسبتاً پایین، سیالیت خوب و واکنش کم با مواد قالب است و علت آن وجود کربن و نقطه ذوب پایین می باشد. به سبب این ویژگی قابلیت تولید قطعات پیچیده وجود دارد. چدن خاکستری از لحاظ سیالیت جزء بهترین آلیاژهای آهنی است. اگر ترکیب شیمیایی چدن در گستره چدن خاکستری و آهنک انجماد مناسب و درستی باشد، کربن موجود در آهن به هنگام انجماد جدا شده و رشته های گرافیتی را تشکیل می دهند. این چدن ها در سختی هایی که مقاومت سایش خوب دارند، دارای تراش پذیری عالی هستند (Goleus et al., 2012). آنالیز پایه چدنی توسط دستگاه کوانتومتر انجام شد.

بررسی ریزساختار

مشخصات ساختاری ریزساختارها در بازه ۱۰۰۰-۰/۱ میکرومتر است. کربن و سیلیسیم مهم ترین عناصر آلیاژی در چدن خاکستری هستند و بیشترین اثر را بر ریزساختار آن دارند. هرچند تمام عناصر تا اندازه ای بر ریزساختار تأثیر می گذارند، عناصری که موجب گرافیت زایی (تشکیل گرافیت) می شوند پایدارکننده های گرافیت نامیده می شوند. سیلیسیم گرافیت زای قوی است و از نظر ترکیب شیمیایی مهم ترین عامل گرافیت زایی در چدن خاکستری است. گرافیت زایی فرایندی است که در آن یا کربن آزاد در آهن رسوب می کند یا کاربید آهن به آهن و کربن آزاد (گرافیت) تجزیه می شود. ریزساختار یک ماده می تواند روی خواص فیزیکی مانند قدرت، چقرمگی، انعطاف پذیری، سختی، مقاومت در برابر خوردگی، رفتار در درجه حرارت بالا/پایین یا مقاومت در برابر سایش تأثیر بگذارد. این خواص به نوبه خود کاربرد این ماده را در فرایند صنعتی کنترل می کند. بررسی ریزساختار توسط میکروسکوپ نوری انجام گرفت و مورفولوژی سطح پوشش ارزیابی شد (Heidarzadeh, 2020).

آزمایش سختی سنجی

به منظور تعیین سختی پوشش ها از آزمایش تعیین سختی به روش ویکرز استفاده شد. در این آزمایش از یک دندان الماسه کوچک، به شکل هرم مربع القاعده استفاده شد که زاویه نوک آن ۱۳۶ درجه و بار وارده از ۵ تا ۱۲۰ کیلوگرم با تقسیم های ۵ کیلوگرمی می تواند تغییر نماید. بار اعمالی نیز معمولاً بین ۱۰ تا ۱۵ ثانیه اعمال می شود. برای تعیین سختی ۵ نقطه در امتداد قطر نمونه مورد ارزیابی قرار

شامل دو سیکل پیاپی با فشاری معادل ۵۰ درصد ارتفاع نمونه بود. زمان بین دو سیکل ۱۵ ثانیه و سرعت آزمون ۱ میلی‌متر بر ثانیه بود (Periche et al., 2015).

آزمون بیاتی نان

برای انجام این آزمون، ۱۵ میلی‌گرم از نمونه را در ظرف مخصوص دستگاه گرماسنج روبشی تفاضلی (SPICO)، مدل DSC-100، ساخت ایران و چین) قرار داده شد و درب آن را به صورت محکم بسته و قبل از انجام آزمون به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. دستگاه با مادهٔ ایندیوم کالیبره و از ظرف مخصوص خالی دستگاه به عنوان رفرنس استفاده شد. برای تعیین دمای ذوب (T_m) و آنتالپی ذوب (H) از دمای ۵ تا ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد با سرعت ۵ درجه در دقیقه استفاده گردید (Yu & Christie, 2001). سطح زیر منحنی و دمای شروع و پیک تبلور به عنوان معیارهای اصلی تفسیر ژلاتینه‌شدن مورد بررسی قرار گرفتند.

اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین

جهت اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین از روش هضم شیمیایی استفاده شد. هضم نمونه با کمک اسید نیتریک ۶۵ درصد و هیدروژن پراکساید ۳۰ درصد انجام گردید که در واقع هضم مرطوب است. ۰/۵ گرم نمونه را در مایکروویو هضم کرده در بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتر با آب دیونیزه شده به حجم رسانده و با دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (Varian، مدل AA-200، ساخت آمریکا) ابتدا منحنی‌های کالیبراسیون برای هر فلز رسم و مقادیر جذب و غلظت خوانده شد. برای عناصر سرب و کادمیوم از روش طیف‌سنجی نوری جذب اتمی با کورهٔ گرافیتی و در رابطه با اندازه‌گیری آهن از روش طیف‌سنجی نوری جذب اتمی با شعله استفاده شد (Torchi et al., 2016).

آزمون حسی نان

تمام نمونه‌ها با کدهای سه رقمی تصادفی شماره‌گذاری شدند. یک لیوان آب و راهنمایی‌های لازم برای انجام آزمون به ۳۹ نفر ارزیاب (۱۹ مرد و ۲۰ زن در سنین ۲۵ تا ۳۰ سال) داده شد. برای انجام آزمون‌ها از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد و نمونه‌ها از نظر فرم و شکل ظاهری، قابلیت جویدن، سفتی بافت، پوکی و تخلخل، خصوصیات سطح زیرین و فوقانی نان، عطر و طعم و پذیرش کلی نمونه مقایسه گردیدند. در این آزمون به

هرگونه ترک یا جدایش پوشش یادداشت گردید. این روش آزمون برای تعیین تأثیر تغییرات ناگهانی دما روی سطوح خارجی ماده بر قطعات نصب‌شده روی سطوح خارجی یا در قسمت‌های داخلی واقع در نزدیکی سطوح خارجی اعمال می‌شود (Jamali et al., 2012).

تهیهٔ نان نیمه حجیم

آرد کامل گندم با درجهٔ استخراج (۱۰۰ درصد) و ویژگی شیمیایی شامل رطوبت (۱۱/۱۲±۰/۰۶ درصد)، پروتئین (۸/۱±۰/۰۴ درصد)، خاکستر (۰/۰۸±۰/۰۵ درصد)، گلوتن خشک (۲۴/۸۴±۰/۰۱ درصد)، pH (۵/۶±۰/۰۴)، میزان سرب و کادمیوم به ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۰۲۵ میکروگرم بر کیلوگرم و میزان آهن ۴/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم از کارخانهٔ آرد الکازه خریداری شد. فرمولاسیون نان حاصل شامل آرد کامل ۱۰۰ درصد، آب ۶۰ درصد، نمک ۱/۵ درصد و خمیر ترش ۴۰ درصد بود. به منظور تولید نان ابتدا کلیهٔ مواد خشک در مخزن مخلوط‌کن (VMI، Montaigu، ساخت فرانسه) ریخته و آب مورد نیاز به آن اضافه گردید، سپس خمیر به دست آمده را ابتدا ۷ دقیقه با دور کند و ۸ دقیقه با دور تند مخلوط گردید. سپس تخمیر اولیه به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت محیط انجام گردید. خمیر را به قطعات ۲۵ گرمی تقسیم و عمل چانه‌گیری و سپس تخمیر میانی به مدت ۸-۱۰ دقیقه در دمای اتاق صورت گرفت، سپس خمیر را رول کرده و تخمیر نهایی در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت ۷۵-۸۵ درصد به مدت ۴۵ دقیقه انجام گردید و سپس پخت نان در فر گردان با هوای داغ (Zuccihelli formi، ساخت ایتالیا) در دمای ۲۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴ دقیقه در هریک از سه بستر انجام شد. در نهایت ۸۱ نان تولیدی تحت ارزیابی بافت، آزمون بیاتی، اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین، ارزیابی حسی و در نهایت تحت آنالیز آماری قرار گرفتند (Izadi Najafabadi et al., 2015).

آنالیز بافت

اندازه‌گیری خواص بافتی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (Stable micro system، مدل TA.XTplus، ساخت انگلستان) و انجام آزمون TPA صورت گرفت. در ابتدا نمونه‌ها به صورت قطعات مکعبی با ابعاد ۲۰×۲۰×۳۵ میلی‌متر تهیه شد. دستگاه با لود سل ۵ کیلوگرم تجهیز و قطر پروب ۷۵ میلی‌متر انتخاب گردید. شرایط آزمون

نوع A شده که دارای طول و ضخامت بیشتری هستند (Goleus et al., 2012).

تمایل بیش از حد امتیاز ۵ و عدم تمایل بیش از حد امتیاز ۱ داده و امتیاز ۳ محدوده پذیرش قابل قبول در نظر گرفته شد (Ayadi et al., 2009).

آزمون سختی و ریزسختی سنجی

جدول (۱) نتایج آزمون سختی پایه چدنی برحسب برینل و ریزسختی سنجی پوشش سرامیکی را برحسب ویکرز نشان می‌دهد. سختی پوشش سرامیکی مقاوم به سایش تقریباً ۰/۱ سختی چدن است و سختی پوشش نجسب کمتر از پوشش مقاوم به سایش می‌باشد. مهم‌ترین عوامل مؤثر در سختی‌پذیری شامل میزان کربن، اندازه دانه و عناصر آلیاژی است. با افزایش اندازه دانه سختی‌پذیری افزایش اما چقرمگی کاهش می‌یابد. در نتیجه سختی‌پذیری فولاد با دانه‌های ریز کمتر از سختی‌پذیری فولاد با دانه‌های درشت خواهد بود. لیکن، استفاده از فولاد با دانه‌های درشت به‌منظور افزایش سختی‌پذیری عملاً کاربرد صنعتی ندارد، زیرا افزایش سختی‌پذیری از این روش با تغییرات ناخواسته و زیان‌آور در خواص فولاد نظیر افزایش تردی و کاهش انعطاف‌پذیری همراه است. از جمله معایب دیگر که بیشتر در فولادهای دانه درشت به‌وجود می‌آید عبارت است از ترک‌های ناشی از سریع سرد کردن یا ترک‌های ناشی از شوک‌های حرارتی که در اثر تنش‌های حاصل از عملیات حرارتی به‌وجود می‌آیند. سختی‌پذیری یک فولاد به‌شدت تحت تأثیر درصد کربن آن تغییر می‌کند. بدین‌صورت که اگر کربن به‌صورت محلول در آستنیت باشد، افزایش آن باعث افزایش سختی‌پذیری می‌شود. عناصر آلیاژی به‌جز کربن تا حدی که در آستنیت کاملاً حل شده باشند سختی‌پذیری را افزایش می‌دهند. مشخص شده است که عناصری که میل ترکیبی آنها با کربن بیشتر از تمایل آنها به حل شدن در فریت باشد در صورتی بیشترین اثر را روی سختی‌پذیری دارند که قبل از سریع سرد شدن فولاد، در آستنیت کاملاً حل شده باشند. افزایش عناصر آلیاژی، مانند نیکل، کروم و سایرین، باعث کاهش انتشار کربن در فولاد می‌شوند (Heidarzadeh, 2020).

تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور آنالیز آماری داده‌های حاصل، از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و بعد از آنالیز واریانس، برای تعیین اختلاف میانگین داده‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده گردید و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت. برای رسم منحنی از نرم‌افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۱۰ استفاده شد. تمام آزمون‌ها با حداقل سه تکرار انجام گردید.

نتایج و بحث

آنالیز پایه چدنی

خواص اولیه آلیاژ فولاد کربنی استفاده‌شده شامل کربن ۴-۵/۳ درصد، سیلیسیم ۵-۵/۱ درصد، گوگرد کمتر از ۰/۰۶ درصد، فسفر کمتر از ۰/۵ درصد و منگنز ۲-۸ درصد می‌باشد. در دو نقطه از سطح چدن عمل اسپارک انجام گردید. ستون اول آنالیز نقطه اول، ستون دوم آنالیز نقطه دوم و ستون سوم آنالیز متوسط را نشان می‌دهد. آنالیز پایه چدنی نشان داد که درصد عناصر اصلی چدن شامل کربن و سیلیسیم به ترتیب ۴/۵ و ۱/۸ درصد می‌باشد. همان‌طور که از اطلاعات فوق مشاهده می‌شود درصد عناصر چدن خاکستری مورد استفاده تقریباً در محدوده استاندارد است. سیلیس؛ استحکام، سختی‌پذیری و مقاومت سایشی را افزایش می‌دهد و سبب افزایش استحکام تسلیم می‌گردد ولی این افزایش همراه با کاهش شکل‌پذیری و انرژی ضربه است. همچنین وجود این عنصر باعث افزایش مقاومت به پوسته‌شدن در دمای بالا می‌گردد. ضمناً در محیط‌های شیمیایی اکسیدکننده قوی مانند اسید سولفوریک غلیظ و گرم نیز مقاومت خوردگی را افزایش می‌دهد. در چدن خاکستری افزایش کربن سبب افزایش درصد حجمی گرافیت‌ها و بخصوص گرافیت‌های

جدول ۱- سختی سنجی نمونه پایه چدنی و ریزسختی سنجی (میکروهاردنس) پوشش سرامیکی

ردیف	موقعیت سختی سنجی	نیروی اعمالی	متوسط سختی	واحد
۱	نمونه چدنی	۵/۱۸۷ (کیلوگرم)	۲۰۲	HBW
۲	چدن با پوشش ضدسایش	۲۵ (گرم)	۴/۱۸	HV
۳	چدن با پوشش نجسب	۱۰ (گرم)	۷/۱۴	HV

جدول ۲ - ضخامت‌سنجی پوشش‌های سرامیکی

ردیف	کد نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	میانگین (میکرومتر)
۱	چدن با پوشش نچسب	۲۷/۸۰	۳۰/۰۰	۳۰/۲۰	۲۶/۸۰	۳۱/۵۰	۲۹/۲۶
۲	چدن با پوشش ضدسایش	۵۲/۸۰	۴۸/۴۰	۴۹/۴۰	۵۱/۸۰	۵۱/۹۰	۵۰/۹۰

آزمون ضخامت‌سنجی

جدول (۲) نتایج آزمایش ضخامت‌سنجی را برای پوشش‌های سرامیکی نچسب و مقاوم به سایش نشان می‌دهد. ضخامت‌سنجی در ۵ نقطه اندازه‌گیری شد و متوسط آن گزارش شده است. براین اساس ضخامت پوشش نچسب ۲۹ و پوشش ضدسایش ۵۰ میکرون می‌باشد. در بعضی از روش‌ها که مرحله ایجاد آستر حذف می‌شود و لایه فوقانی در چندین مرحله ایجاد می‌گردد، در هر بار، ضخامت لایه حدود ۱۲ میکرون افزایش می‌یابد و در مجموع ضخامت لایه فوقانی ۵۰ میکرون می‌گردد. قابل ذکر است پوشش مقاوم به سایش حاوی ذرات و ترکیبات سیلیکونی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که اندازه و ضخامت دیواره‌ها تأثیر زیادی را روی شکل و اندازه نهایی ندول‌ها و مورفولوژی گرافیت‌ها دارد. اثر ضخامت مقاطع روی مقدار پرلیت در چدن وابسته به ترکیبات شیمیایی است.

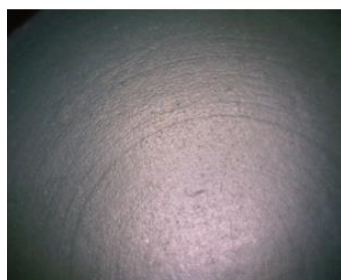
مورفولوژی پوشش‌ها

شکل (۱-الف) مورفولوژی پوشش تفلونی مقاوم به سایش

و **شکل (۱-ب)** مورفولوژی پوشش رسی را بعد از پخت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد که دارای میکروترک است. ایجاد میکروترک‌ها به دلیل انقباض ناشی از زینترینگ می‌باشد. **شکل (۱-ج)** مورفولوژی پوشش تفلونی نچسب را نشان می‌دهد که در مقایسه با پوشش تفلونی مقاوم به سایش از تراکم بیشتری برخوردار است، زیرا همان‌طور که از **شکل (۱-الف)** پیداست حفره‌های ریزی بر سطح پوشش مقاوم به سایش مشاهده گردید که در پوشش نچسب کمتر است. نتایج نشان داد که با افزایش دمای زیرلایه تخلخل ساختار کاهش می‌یابد و در دمای بسیار بالا بافت پوشش حالت تصادفی پیدا می‌کند و مورفولوژی آن به صورت هم‌محور درمی‌آید.

آزمایش‌های شوک حرارتی

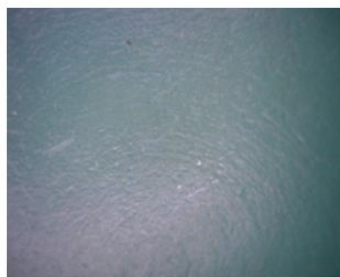
براساس مشاهده‌های چشمی هیچ‌گونه ترک و جدایشی در سطح پوشش‌های نچسب، مقاوم به سایش مشاهده نشد. درمورد پوشش رسی اگرچه ترک‌هایی بعد از پخت پوشش ایجاد شد ولی این ترک‌ها طی شوک‌های حرارتی رشد نکردند.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱- مورفولوژی پوشش‌ها، الف) مورفولوژی پوشش سرامیکی مقاوم به سایش با بزرگنمایی X50، **ب)** مورفولوژی پوشش رسی بعد از زینترینگ اولیه و شوک‌های حرارتی با بزرگنمایی X5 و **ج)** مورفولوژی پوشش سرامیکی نچسب با بزرگنمایی X50

جدول ۳- اثر بستر پخت بر بافت

نوع بستر	سفتی بافت (گرم)	پیوستگی بافت (درصد)	فشریت بافت (درصد)	مقاومت به جویدن (گرم)	چسبندگی (گرم بر سانتی متر)
چدن	۲۳۸/۸۴±۴/۷۵ ^a	۰/۹۶۰±۰/۰۰۸ ^a	۰/۹۷۹±۰/۰۰۵ ^a	۲۲۴/۷۶±۷/۶۶ ^b	۰/۰۰۴ ^d
سرامیک	۴۰۴/۹۵±۱/۶۶ ^b	۰/۸۴۷±۰/۰۰۲ ^b	۰/۹۲۳±۰/۰۲۱ ^b	۳۱۷/۰۹±۵/۰۶ ^c	۰/۰۰۷ ^c
رس	۱۰۱۹/۲±۹/۵۴ ^c	۰/۷۹۰±۰/۰۲۶ ^c	۰/۷۶۵±۰/۰۰۷ ^c	۶۱۷/۰۵±۳۲/۳۵ ^a	۰/۰۱۵ ^a

داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار در سه تکرار بیان شده است. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری آماری می‌باشد ($P < 0.05$).

نتایج آزمون ارزیابی بافت

سفتی بافت از بیشینه نیرو در آزمون کمپرس نان در منحنی نیرو زمان به دست می‌آید. همان‌طور که در **جدول (۳)** مشاهده می‌شود نوع بستر پخت تأثیر معنی‌داری بر سفتی نمونه‌های نان داشته‌اند. بیشترین میزان سفتی مربوط به نان تولیدشده در بستر رس به دست آمده است. در یک دمای ثابت پخت بیشترین پیوستگی بافت نان مربوط به نمونه‌های تولیدشده بر بستر چدنی به دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده میزان فشردگی در نان پخته شده بر بستر چدن بیشتر از سایر بسترها بود. علت این امر رسانش حرارتی سریع‌تر چدن می‌باشد. زمانی که گرما به سرعت وارد سیستم‌های غذایی می‌شود حفره‌های منعطفی ایجاد می‌کند که در نهایت سبب افزایش انعطاف‌پذیری محصول می‌گردد (Al-Muhtaseb et al., 2013). کمترین مقاومت به جویدن مربوط به نان پخته شده بر بستر چدن بود که داده‌های این پارامتر همسو با داده‌های حاصل از سفتی نان می‌باشد. بیشترین میزان چسبندگی در نان‌های تولیدشده بر بستر رس به دست آمده است. کاهش چسبندگی در نان‌های پخته شده در بستر چدن به دلیل کاهش خروج آب طی فرایند پخت و اثر مثبت پلاستیسایزری آن بر شبکه گلوتن-نشاسته در نان می‌باشد (Lian et al., 2020; Serventi et al., 2020). نمونه‌های پخته شده بر بستر چدن نسبت به نمونه‌های پخته شده بر بستر رس و سرامیک از نقطه نظر سفتی، سفتی کمتری داشتند. به طور مثال در دمای ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد، کمترین سفتی (۲۳۸/۸۴ گرم) مربوط به نان پخته شده بر بستر چدن به دست آمد. به طور کلی مکانیزم انتقال حرارت در فرهای سنتی مورد استفاده در صنعت نانوائی ایران هدایت گرمایی، رسانش و تابش است (Yin & Walker, 1995). بستر پخت نیز یکی از عوامل در رسانش حرارت به نان در زمان پخت می‌باشد. هرچه میزان خروج رطوبت از نان بیشتر باشد در نتیجه نان سختی بیشتری خواهد داشت (Içöz et al., 2004). بسترهای چدنی یکی از متداول‌ترین بسترهای پخت مورد

استفاده در صنعت نانوائی ایران می‌باشد. بسترهای چدنی نسبت به سرامیک و رس دارای هدایت حرارت بالاتری می‌باشند. به همین دلیل هم‌زمان با حرارت ایجاد شده در فضای فر و حرارت رسیده به سطح نان، سطح زیرین نیز تحت حرارت قرار می‌گیرد و نان در مدت زمان کمتری پخت می‌شود که ممکن است از خروج رطوبت از مغز نان جلوگیری کند و همچنین مدت زمان پایین پخت از ایجاد پوسته سفت بر سطح نان جلوگیری به عمل آورد (García-Ten et al., 2010; Hostler et al., 2009; Quintaes et al., 2007).

نتایج آزمون ارزیابی ویژگی‌های حرارتی نان

گرماسنجی افتراقی برای بررسی رفتار نشاسته گندم در نان تولیدشده در زمان تولید و نگهداری، مورد استفاده قرار گرفت. به طور کلی دو پدیده احتمالی به عنوان دلایل اصلی بیاتی نان ذکر شده است که عبارتند از رتروگراسیون نشاسته و یا برهم‌کنش بین نشاسته و گلوتن موجود در نان. نشاسته نقش اصلی را در بیاتی نان ایفا می‌کند و به طور کلی برهم‌کنش بین نشاسته و سایر اجزای نان در پیشرفت بیاتی در نان مؤثرند. رتروگراسیون آمیلوز در همان ساعات اولیه پس از پخت آغاز می‌شود، با این حال رتروگراسیون بخش آمیلوپکتین نشاسته در مدت زمان طولانی رخ می‌دهد که به نظر می‌رسد عامل اصلی در سفت شدن نان در زمان طولانی نگهداری باشد. تغییرات ایجاد شده در ساختار نشاسته توسط روش‌های مختلفی از جمله گرماسنجی افتراقی مورد مطالعه قرار گرفته است (Ribotta & Le Bail, 2007). تغییر در شرایط پخت اثر محسوسی بر آنتالپی ذوب کریستال‌های آمیلوپکتین خواهد داشت. همان‌طور که در **جدول (۴)** نشان داده شده است بستر پخت بر آنتالپی ذوب کریستال‌های آمیلوپکتین مؤثر است که دلیل این امر تفاوت در میزان ژلاتیناسیون نشاسته در زمان پخت می‌باشد و بیشترین آنتالپی ذوب در نان‌های پخته شده در بستر رس مشاهده شده است که کمترین رسانندگی حرارتی و در نتیجه کاهش میزان

به‌دست‌آمد. کمینه فلزات سنگین در نان‌های پخته‌شده در بستر سرامیک به‌دست‌آمد. Torchi و همکاران (۲۰۱۶) نیز به نتایج مشابهی در مورد اثر بستر چدنی بر میزان فلز آهن موجود در نان دست یافتند که علت این امر را مهاجرت عنصر آهن از بستر چدنی به نان ذکر کرده‌اند. براساس نتایج حاصل از **جدول (۵)**، نان پخته‌شده روی بستر چدن میزان سرب بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت. Chagas و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند که با افزایش دمای پخت و زمان پخت میزان سرب انتقال‌یافته به ماهی طبخ‌شده در ظروف رسی و سفالی افزایش یافته است. این محققان انتقال سرب به غذا را به دلیل ایجاد پیوند بین پروتئین مواد غذایی و سرب بیان نمودند.

انجام آزمون ارزیابی حسی

براساس نتایج ارزیابی حسی، نان تولیدشده بر بستر چدن و سرامیک از نقطه‌نظر شکل ظاهری دارای امتیاز بالاتری است. نان‌های تولیدشده بر بستر رس از نقطه‌نظر این ویژگی دارای کمترین امتیاز بود که یکی از دلایل این امر رسانندگی حرارتی پایین این بستر نسبت به دو بستر دیگر می‌باشد (Hostler et al., 2009). همچنین به دلیل عدم وجود لایه پوشش‌دهنده (نچسب) بر بستر رس، نان در هنگام پخت به بستر چسبیده و در پایان پخت به دلیل چسبندگی بالای بستر، جدا شدن نان به همراه آسیب به ظاهر رخ می‌دهد. در بین ویژگی‌های فیزیکی نان؛ تخلخل و پوکی بافت نان یکی از ویژگی‌های مؤثر در میزان پذیرش می‌باشد. افزایش تخلخل سبب افزایش حجم نان می‌شود که از نقطه‌نظر اقتصادی نیز حائز اهمیت است (Shittu et al., 2007). نوع بستر اثر محسوسی بر میزان تخلخل بافت نان داشت به طوری که کمترین امتیاز تخلخل در نان‌های پخته‌شده بر بستر رس به‌دست‌آمد. خصوصیات سطح زیرین و فوقانی نان از جمله رنگ و یکنواختی پوسته و سطح زیرین نان از عوامل بصری مهم در انتخاب یک نان نیمه‌حجیم می‌باشد. نوع بستر اثر معنی‌داری بر این دو ویژگی داشت به طوری که کمترین امتیاز مربوط به این دو ویژگی مربوط به نان پخته‌شده بر بستر رس به‌دست‌آمد. چسبندگی این بستر سبب آسیب به سطح زیرین آن می‌شود و همچنین رسانندگی حرارتی پایین این بستر از ایجاد پوسته یک‌دست و یکنواخت بر سطح نان جلوگیری می‌کند و سبب ایجاد ترک بر سطح نان می‌گردد.

ژلاتیناسیون نشاسته را دارد. به‌طور کلی میزان رطوبت مغز نان و پوسته آن با افزایش زمان ماندگاری تغییر می‌یابد. این تغییرات به‌گونه‌ای است که با افزایش زمان ماندگاری میزان رطوبت مغز نان کاهش و رطوبت سطح آن افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده پدیده مهاجرت رطوبت از مرکز به سطح نان و سبب سفت شدن مغز نان و کاهش کیفیت خوراکی آن گردد (Besbes et al., 2014). با کاهش رطوبت مغز نان، رطوبت خارج‌شده از مغز نان وارد ساختارهای کریستالی نشاسته می‌گردد که در نهایت افزایش این ساختارهای کریستالی، سبب افزایش بیاتی در نان می‌گردد. یکی دیگر از پدیده‌هایی که در زمان ماندگاری اتفاق می‌افتد تغییر میزان محتوای آب قابل انجماد در نان می‌باشد. در زمان بیاتی، با افزایش زمان ماندگاری، آب موجود در نان به میزان بیشتری با اجزای نان اتصال برقرار می‌کند و حرکت مولکول‌های آب کاهش می‌یابد. در واقع مولکول‌های آب به داخل ساختارهای محکم بی‌شکل و کریستالی نفوذ می‌کنند که سبب کاهش میزان آب قابل انجماد در زمان‌های نگهداری بیشتر از ۵ روز می‌شود (Ribotta & Le Bail, 2007). با افزایش زمان ماندگاری آنتالپی ذوب آمیلوپکتین افزایش یافته است که دلیل این امر افزایش آب درگیر در ساختارهای کریستالی می‌باشد، در واقع آمیلوپکتین آب را در ساختار خود به‌دام می‌اندازد.

جدول ۴- اثر بستر پخت بر آنتالپی، دمای ذوب و دمای شروع ذوب کریستال آمیلوپکتین در نان

تیمار	آنتالپی (ژول بر گرم)	T _{eo} (درجه سانتی‌گراد)	T _m (درجه سانتی‌گراد)
چدن	۶۰/۵۳۸ ^h	۶۳/۲۰۰ ^a	۷۹/۹۰۰ ^c
رس	۷۷/۹۵۴ ^g	۶۳/۲۰۰ ^a	۷۹/۵۰۰ ^c
سرامیک	۵۸/۴۰۶ ^h	۵۷/۰۹۰ ^b	۷۳/۹۰۰ ^e

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری آماری می‌باشد ($P < 0.05$).

نتایج آزمون ارزیابی میزان فلزات سنگین

براساس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین در **جدول (۵)**، نوع بستر فر اثر معنی‌داری بر میزان فلزات سنگین داشته است. بیشترین میزان فلزات سنگین شامل سرب (۰/۵۶۵ میکروگرم بر کیلوگرم) کادمیوم (۰/۰۲۳ میکروگرم بر کیلوگرم) و آهن (۴/۴۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نان تولیدشده در بستر چدن

جدول ۵- اثر بستر پخت بر محتوای فلزات سنگین نان

تیمار	سرب (میکروگرم/کیلوگرم)	کادمیوم (میکروگرم/کیلوگرم)	آهن (میلی گرم/کیلوگرم)
چدن	۰/۵۱۰±۰/۰۰۱ ^b	۰/۰۲۱±۰/۰۰۷ ^c	۴/۵۳۰±۰/۰۰۱ ^a
رس	۰/۱۷۰±۰/۰۰۱ ^c	۰/۰۰۲±۰/۰۰۰ ^e	۱/۲۱۰±۰/۰۰۴ ^b
سرامیک	۰/۰۰۰±۰/۰۰۰ ^f	۰/۰۰۱±۰/۰۰۰ ^g	۰/۵۵۰±۰/۰۰۰ ^e

داده‌ها به صورت میانگین±انحراف معیار در سه تکرار بیان شده است. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری آماری می‌باشد ($P < 0.05$).

جدول ۶- اثر نوع بستر پخت بر ویژگی‌های حسی نان

تیمار	فرم و شکل ظاهری	قابلیت جویدن	سفتی بافت	پوکی و تخلخل	خصوصیات سطح زیرین	خصوصیات سطح فوقانی	عطر و طعم	پذیرش کلی
چدن	۴/۹۸۷ ^a	۳/۶۴۴ ^c	۴/۴۹۵ ^d	۳/۴۱۳ ^b	۳/۵۴۳ ^b	۴/۷۳۵ ^a	۳/۸۸۰ ^b	۴/۶۷۷ ^a
رس	۴/۳۱۵ ^d	۲/۳۹۶ ^b	۳/۲۸۷ ^b	۱/۹۹۶ ^e	۳/۱۸۷ ^c	۴/۳۰۷ ^b	۳/۱۱۵ ^c	۳/۱۲۶ ^b
سرامیک	۴/۹۸۸ ^c	۳/۹۷۷ ^a	۴/۹۲۳ ^a	۴/۲۳۳ ^a	۴/۷۹۹ ^a	۴/۹۹۸ ^a	۳/۹۰۱ ^a	۴/۹۰۰ ^a

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری آماری می‌باشد ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نشان داده شد که امکان ایجاد یک پوشش مناسب با مقاومت به سایش، سختی، استحکام، مقاومت حرارتی، میزان تخلخل و چسبندگی مناسب روی بستر چدنی وجود دارد. استفاده از رس و سرامیک به صورت یک پوشش روی بستر چدنی با مکانیسم حفاظت از انتقال آلودگی، باعث کاهش انتقال آلودگی شیمیایی فلزات سنگین به نان می‌شود. بیشترین میزان فلزات سنگین در نان تولیدشده در بستر چدن و کمترین میزان فلزات سنگین در نان‌های پخته‌شده در بستر سرامیک به دست آمد. انتقال حرارت و جرم متفاوت حاصل از بسترهای پخت متفاوت، منجر به اختلاف در خصوصیات کیفی مرتبط با اختلاف در سرعت حرارت‌دهی و دماهای پخت مختلف در نان می‌باشد. در مورد انتقال حرارت، ضرایب انتقال حرارت متفاوت و شرایط مرزی متفاوت در بستر پخت می‌توانند از دلایل تفاوت در میزان حرارت دریافت‌شده توسط محصول باشند. بستر چدن به دلیل داشتن ضریب انتقال حرارتی بالایی در مقایسه با بستر پخت سرامیکی و رسی نیاز به زمان پخت کمتری داشته و در نتیجه رطوبت نان کاهش نمی‌یابد اما در تیمارهای سرامیکی به دلیل دارا بودن تخلخل نیاز به مدت زمان بیشتری داشته و در نتیجه شاخص سختی تیمارهای نان افزایش می‌یابد. طی مدت پخت، حجم نان افزایش پیدا کرد، به سرعت پوسته روی سطح نان تشکیل گردید که می‌تواند به عنوان مانعی در برابر خروج رطوبت عمل نماید، بنابراین دسترسی گرانول‌های نشاسته به رطوبت

همچنین رسانندگی پایین در دماهای پایین پخت و زمان طولانی سبب ایجاد پوسته سفت، ضخیم و خشک می‌شود که امتیاز حسی آن را پایین می‌آورد (Harry *et al.*, 2009; Naghipoor *et al.*, 2012; Ribotta & Le Bail, 2007; Schiffer *et al.*, 1994). واکنش‌های پیچیده‌ای که در زمان پخت نان رخ می‌دهد، سبب ایجاد ترکیبات عطر و طعمی در نان می‌شود. دو واکنش مهم در ایجاد این ترکیبات کاراملیزاسیون و فرایند مایلارد می‌باشند. افزایش دمای پخت سرعت واکنش‌های مایلارد و تشکیل این ترکیبات را افزایش می‌دهد (Cho & Peterson, 2010). نان‌های تولیدشده در دماهای بالاتر دارای امتیاز عطر و طعم بیشتری بودند. ماندگاری سبب کاهش این خصوصیت در نان شد که علت آن فراریت ترکیبات ایجادکننده عطر و طعم نان می‌باشد که با افزایش زمان ماندگاری میزان غلظت آنها در سطح نان کاهش می‌یابد (Cho & Peterson, 2010). نان پخته‌شده بر بستر رس از نقطه نظر رایحه، دارای امتیاز پایین‌تری نسبت به سایر تیمارها بود. پذیرش کلی نان تحت تأثیر عوامل مختلف نظیر ظاهر، تخلخل، بافت و عطر و طعم نان قرار می‌گیرد. بر اساس جدول (۶)، نان‌های پخته‌شده بر بستر چدن و سرامیک از نظر پذیرش کلی امتیاز بالاتری نسبت به نان‌های پخته‌شده بر بستر رس به دست آوردند که همسو با نتایج بافتی دستگاهی می‌باشد. ماندگاری نان نیز از پذیرش آن کاست که علت آن افت تمامی ویژگی‌های مطلوب نان در زمان ماندگاری می‌باشد.

شرکت ناهید آسمان ایرانیان (مشهد، ایران) انجام شده است که توسط این دو مرکز حمایت مالی تحقیقاتی صورت گرفته است.

مشارکت نویسندگان

نجمه مظهری: طراحی مطالعه، جمع‌آوری داده، آنالیز داده‌ها، بازبینی و اصلاح مقاله؛ **علیرضا صادقیان:** ارائه ایده پژوهشی و طراحی مطالعه، نظارت بر مطالعه؛ **حسین زمانی:** ارائه ایده پژوهشی و طراحی مطالعه، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، بازبینی و اصلاح مقاله، نظارت بر مطالعه، تأیید نسخه نهایی؛ **سمیرا یگانه‌زاد:** ارائه ایده پژوهشی و طراحی مطالعه، آنالیز داده‌ها، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، نظارت بر مطالعه، تأیید نسخه نهایی؛ **عباس افراسیابی:** ارائه ایده پژوهشی و طراحی مطالعه، آنالیز داده‌ها، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، نظارت بر مطالعه، تأیید نسخه نهایی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

افزایش یافته و ژلاتیناسیون اتفاق می‌افتد. پیوستگی نان در واقع به پیوستگی شبکه گلوتن ارتباط دارد با افزایش زمان پخت به دلیل تغییرات شبکه گلوتنی و کاهش اتساع و قابلیت ارتجاعی آن میزان پیوستگی آن به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. با افزایش مدت زمان پخت با افزایش مدت زمان دسترس قرارگرفتن خمیر، میزان درصد فلزات سنگین به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در مجموع می‌توان گفت که استفاده از رس و سرامیک به صورت یک پوشش روی بستر چدنی، با مکانیسم حفاظت از انتقال آلودگی، باعث کاهش انتقال آلودگی شیمیایی فلزات سنگین به نان می‌شود. علاوه بر آن، ارزیابی حسی نمونه‌ها نشان داد که نان تولیدشده بر بستر چدن و سرامیک از نقطه نظر حسی دارای امتیاز بالاتری است. نان تولیدشده بر بستر سرامیک به این دلیل که باعث کاهش انتقال آلودگی شیمیایی فلزات سنگین به نان می‌شود و بافت قابل‌قبولی ایجاد کرده و هم طعم مناسبی دارد، قابلیت جایگزینی با نمونه نان تولیدشده بر بستر چدن را دارد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش در چارچوب قرارداد پژوهشی مشترک بین موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی (مشهد، ایران) و

منابع

- Ahmed, M. T., Hadi, E.-S. A., El Samahy, S., & Youssof, K. (2000). The influence of baking fuel on residues of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in bread. *Journal of hazardous materials*, 80(1-3), 1-8. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00300-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00300-9)
- Al-Muhtaseb, A. a. H., McMin, W., Megahey, E., Neill, G., Magee, R., & Rashid, U. (2013). Textural characteristics of microwave-baked and convective-baked Madeira cake. *Journal of Food Processing and Technology*, 4(2). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000209>
- ASTM. (2019). Standard Practice for Measuring Coating Thickness by Magnetic-Field or Eddy Current (Electromagnetic) Testing Methods, E376-19. In.
- Ayadi, M., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., & Attia, H. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.01.003>
- Besbes, E., Jury, V., Monteau, J. Y., & Le Bail, A. (2014). Effect of baking conditions and storage with crust on the moisture profile, local textural properties and staling kinetics of pan bread. *LWT - Food Science and Technology*, 58(2), 658-666. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.037>
- Chagas, M. P., Teixeira, L. S., Santana, R. C., Trindade, A. S., Barbosa, I. d. S., Dantas, A. F., . . . Almeida, J. S. (2020). Determination and evaluation of lead migration for foods prepared in clay pots. *Food Analytical Methods*, 13(1), 268-274. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01614-4>
- Charley, H. (1950). Effect of baking pan material on heat penetration during baking and on quality of cakes made with fat. *Journal of Food Science*, 15(2), 155-168. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1950.tb16463.x>

- Cho, I. H., & Peterson, D. G. (2010). Chemistry of bread aroma: A review. *Food Science and Biotechnology*, 19(3), 575-582. <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0081-3>
- Davis, J., Mills, K., & Lampman, S. (1990). *Properties and selection: irons, steels, and high-performance alloys* (Vol. 1). ASM International, Materials Park, Ohio 44073, USA. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v01.9781627081610>
- Dunham, B., Chalk, D., & CHEMICALS, D. (2001). Non-phosphate transition metal coatings. *Cleaning, Pretreatment & Surface Preparation*, 1, 112-118.
- García-Ten, J., Orts, M. J., Saburit, A., & Silva, G. (2010). Thermal conductivity of traditional ceramics: Part II: Influence of mineralogical composition. *Ceramics International*, 36(7), 2017-2024. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2010.05.013>
- Gazo, L. J., & Sridharan, S. (2003). Ceramic substrate for nonstick coating. In: Google Patents.
- Ghanbari, M., & Shahedi, M. (2008). The Effect of Baking Time and Temperature on Taftoon Bread Staling [Research]. *Journal of Water and Soil Science*, 12(43), 327-333. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1387.12.43.27.0> (in Persian)
- Goleus, V., Nagornaya, T., Rubanova, O., Kozyreva, T., & Gurzhi, O. (2012). Chemical stability of titanium enamel coatings. *Glass and Ceramics*, 69(7-8), 274-275. <https://doi.org/10.1007/s10717-012-9461-x>
- Hajimohammadi, B., Mali, A., Mossadegh Mehrjardi, M., Mozafari khosravi, H., Yasini Ardakani, S., Jahed-Khaniki, G., & Rahimzade, A. (2015). A Survey on Lead and Cadmium Content in Bread Produced in Yazd [Applicable]. *Tolooebehdasht*, 14(4), 36-44. <http://tbj.ssu.ac.ir/article-1-1776-en.html> (in Persian)
- Harry, K. G., Frink, L., O'Toole, B., & Charest, A. (2009). How to Make an Unfired Clay Cooking Pot: Understanding the Technological Choices Made by Arctic Potters. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 16(1), 33-50. <https://doi.org/10.1007/s10816-009-9061-4>
- Heidarzadeh, A. (2020). Friction Stir Welding of Monel 400: Microstructure, Substructure, and Mechanical Properties. *Journal Of Metallurgical and Materials Engineering*, 31(2), 45-56. <https://doi.org/10.22067/ma.v31i2.68236> (in Persian)
- Hostler, S. R., Abramson, A. R., Gawryla, M. D., Bandi, S. A., & Schiraldi, D. A. (2009). Thermal conductivity of a clay-based aerogel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(3), 665-669. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.07.002>
- Howell, J. R., Mengüç, M. P., Daun, K., & Siegel, R. (2020). *Thermal radiation heat transfer*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9780429327308>
- Içöz, D., Sumnu, G., & Sahin, S. (2004). Color and texture development during microwave and conventional baking of breads. *International Journal of Food Properties*, 7(2), 201-213. <https://doi.org/10.1081/JFP-120025396>
- Izadi Najafabadi, L., Hamdami, N., Le-Bail, A., Monteau, J. Y., & Keramat, J. (2015). Impact of Baking Bed and Baking Temperature on Staling of Sangak Bread. *mdrsjrns*, 17(2), 375-386. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2015.17.2.3.6>
- Jamali ,H., Mozafarinia, R., Razavi, R. S., & Ahmadi-Pidani, R. (2012). Comparison of thermal shock resistances of plasma-sprayed nanostructured and conventional yttria stabilized zirconia thermal barrier coatings. *Ceramics International*, 38(8), 6705-6712. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.05.060>
- Lian, H., Luo, K., Gong, Y., Zhang, S., & Serventi, L. (2020). Okara flours from chickpea and soy are thickeners: increased dough viscosity and moisture content in gluten-free bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(2), 805-812. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14332>
- Momeni, L., Sajjadi, S. A., Kianirashid, A., & Fatahi, Z. (2018, October). Investigation of mechanical properties of gradient Ni-ZrO₂ nanocomposite produced by spark plasma sintering, Tehran, Iran. International Conference on Mechanical Engineering, Materials and Metallurgy, (in Persian)
- Naghipoor, F., Sahraiyani, B., & Sheikholeslami, Z. (2012). Evaluation of time and temperature of baking on quantitative and qualitative properties of semi-bulk barbari bread. *Innovation in Food Science and Technology (Journal of Food Science and Technology)*, 4(3), 9-16. https://jfst.sabzevar.iau.ir/article_528499_a32b1c57384f4ea7479efc90f7a3f9ce.pdf (in Persian)

- Periche, A., Castelló, M. L., Heredia, A., & Escriche, I. (2015). Influence of drying method on steviol glycosides and antioxidants in *Stevia rebaudiana* leaves. *Food chemistry*, 172, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.029>
- Quintaes, K. D., Amaya-Farfan, J., Tomazini, F. M., Morgano, M. A., de Almeyda Hajisa, N. M., & Neto, J. T. (2007). Mineral migration and influence of meal preparation in iron cookware on the iron nutritional status of vegetarian students. *Ecology of food and nutrition*, 46(2), 125-141. <https://doi.org/10.1080/03670240701285079>
- Ribotta, P. D., & Le Bail, A. (2007). Thermo-physical assessment of bread during staling. *LWT-Food Science and Technology*, 40(5), 879-884. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.03.023>
- Sasanpour, M. T., Sharifzadeh, M., & Taheri, A. (2020). Determining the accuracy of measuring the thickness of steel plates using Compton scattering method. *Radiation Safety and Measurement*, 9(4), 385-390. https://rsm.kashanu.ac.ir/article_112377_86f65021f57d20591330f2e74f40f3c2.pdf (in Persian)
- Schiffer, M. B., Skibo, J. M., Boelke, T. C., Neupert, M. A., & Aronson, M. (1994). New Perspectives on Experimental Archaeology: Surface Treatments and Thermal Response of the Clay Cooking Pot. *American Antiquity*, 59(2), 197-217. <https://doi.org/10.2307/281927>
- Serventi, L., Skibsted, L. H., & Kidmose, U. (2020). Sensory and textural characterization of composite wheat-cassava bread as a function of lipase dose and storage time. *European Food Research and Technology*, 246(1), 23-32. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03387-w>
- Shittu, T. A., Raji, A. O., & Sanni, L. O. (2007). Bread from composite cassava-wheat flour: I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. *Food Research International*, 40(2), 280-290. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.10.012>
- Torchi, M., Seyedain Ardabili, M., Azizi nejad, R., & Nematollahi, F. (2016). Assessing the Effect of Baking Methods on the Levels of Heavy Metals in Iranian Traditional Breads. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 14(1), 5-12. https://jftn.srbiau.ac.ir/article_9596_fdfdf1874f85dbe337ab60390f09ed57.pdf (in Persian)
- Yin, Y., & Walker, C. (1995). A quality comparison of breads baked by conventional versus nonconventional ovens: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 67(3), 283-291. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740670302>
- Yu, L., & Christie, G. (2001). Measurement of starch thermal transitions using differential scanning calorimetry. *Carbohydrate polymers*, 46(2), 179-184. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00301-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00301-5)
- Zainali, K., Beidokhti, B., Mazinani, M., & Kamyabi-Gol, A. (2018). Investigating the properties of coatings created on the surface of W500 low-alloy tool steel by GTAW welding method, Tehran, Iran. 7th International Conference on Materials and Metallurgical Engineering, (in Persian)

The Effect of Cast Iron, Ceramic and Clay Baking Substrate on Thermal, Textural, Sensory Characteristics and the Heavy Metals in Bread

Najmeh Mazhari¹, Alireza Sadeghian¹, Hosein Zamani^{2*}, Samira Yeganehzad¹, Abbas Afrasiabi²

1- Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

2- Department of Food Industry Machineries, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

* Corresponding author (h.zamani@rifst.ac.ir)

Abstract

Baking bread is one of the most important stages of bread preparation. The purpose of this research is to investigate the effect of bread baking substrate to improve the quality of produced bread. In this research, the cast iron substrate was used as a reference surface and two ceramic and clay coatings were applied on the cast iron surface for comparison. In order to check the properties of coatings, microstructure, microhardness, hardness measurement, thickness measurement, and thermal shock tests were performed, and finally, the quality of the resulting bread was evaluated according to texture evaluation criteria, staleness test, measurement of heavy metals and sensory evaluation. To analyze the data, ANOVA was used to compare the mean and Duncan's test was used to group the treatments. Based on the conducted studies, it was found that the use of clay and ceramics as a coating on the cast iron substrate, with the protection mechanism of pollution transfer, reduces the transfer of chemical pollution of heavy metals to bread. The highest number of heavy metals including lead 0.565 $\mu\text{g}/\text{kg}$, cadmium 0.023 $\mu\text{g}/\text{kg}$ and iron 4.470 mg/kg was obtained in bread produced in cast iron bed. The highest number of heavy metals was obtained in bread produced in cast iron bed and the lowest number of heavy metals was obtained in bread baked in ceramic bed. The samples baked on the cast iron bed had less hardness than the samples baked on the clay and ceramic bed. From the sensory point of view, the highest score for bread baked in a ceramic bed was 4.900 and the lowest score for bread baked in a clay bed was 3.126.

Keywords: Baking substrate, Bread, Sensory evaluation, Staleness, Texture evaluation