# نقش اکستروژن در فرآوری مواد غذایی و تأثیر این فرآیند بر ویژگی‌های حسی، تغذیه‌ای و میکروبی این محصولات

طاهره ذبیح پور*[۱]، پیمان ابراهیمی [۲]، آزاده قربانی حسن سرایی [۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت ا... آملی، آمل، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت ا... آملی، آمل، ایران
۳. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت ا... آملی، آمل، ایران

## چکیده

در طی دو دهه اخیر، استفاده از تکنولوژی اکستروژن افزایش‌یافته است. این فرآیند چندمنظوره است و می‌تواند طیف وسیعی از محصولات را توسط تغییر مواد اولیه، شرایط عملیات اکسترودر و شکل قالب‌ها تولید کند. اکستروژن هزینه‌های پردازش و فرآیند کردن کم و بهره‌وری و سودمندی بالایی را نسبت به سایر فرآیندهای پختن و شکل دادن دارد. در این فرآیند اعمال حرارت و برش ماده غذایی در طول فرآوری باعث ایجاد مواردی نظیر اکسیداسیون لیپید، تجزیه ویتامین‌ها، تجزیه ترکیبات ضد تغذیه‌ای، تجزیه فیتوکمیکال‌ها، ایجاد و تغییر طعم، افزایش دسترسی زیستی و حلالیت فیبرهای رژیمی در این ترکیبات می‌شوند. در این مطالعه به بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه می‌پردازیم.

**کلمات کلیدی:** *اکستروژن، دستگاه‌های صنایع غذایی، خواص حسی، ویژگی‌های میکروبی*

*نویسنده مسئول: t.zabihpour@gmail.com

# نقش اکستروژن در فرآوری مواد غذایی و تأثیر این فرآیند بر ویژگی‌های حسی، تغذیه‌ای و میکروبی این محصولات

**مقدمه**

اکستروژن یک فرآیند مداوم است که چندین عملیات واحد ازجمله اختلاط، ورز دادن، اعمال نیروهای برشی، گرم کردن، سرد کردن، فرم دادن و شکل دادن را ترکیب می‌کند. اکستروژن برای تولید طیف گسترده‌ای از محصولات ازجمله غلات صبحانه، غذاهای اسنکی، بیسکویت‌ها، ماکارونی، صنایع شیرینی‌پزی و آنالوگ گوشتی بر پایه سویا و همچنین غذای حیوانات خانگی و خوراک ماهی استفاده می‌شود. اکسترودرها شامل یک یا دو مارپیچ هستند که در یک لوله جریان افقی قرار دارند و مطابق روش کار در اکسترودرهای سرد یا اکسترودرهای پخت طبقه‌بندی می‌شوند [۱]. در مقایسه با سایر روش‌های فرآوری متداول، روش فرآوری اکستروژن بازده دینامیکی حرارتی بالا، حفظ اجزای غذایی حساس به گرما و هزینه کم را نشان می‌دهد [۳۸]. اکستروژن پخت یک فرآیند کوتاه‌مدت با دمای بالا (HTST) است که باعث کاهش تعداد میکروارگانیسم‌های مواد اولیه خام و غیرفعال کردن آنزیم‌های طبیعی موجود می‌شود. شرایط HTST باعث حفظ بسیاری از ترکیبات حساس به گرما می‌شود و درنتیجه باعث حفظ ارزش غذایی می‌شود [۱]. این فرآیند سازگار با محیط زیست است زیرا نسبتاً خشک است و هزینه‌های تصفیه فاضلاب را کاهش می‌دهد [۳۹]. در فرآیند اکستروژن پخت، ماده غذایی بعد از همگن شدن تا نقطه نرم شدن (پلاستیسیته) خود تحت تأثیر حرارت، نیروی برش و فشار بالا قرار می‌گیرد [۲]. غذاهای اسنکی اکسترود شده اغلب بافتی منبسط، گسترده شده و ترد دارند. این خصوصیات بافتی معمولاً با استفاده از مواد نشاسته‌ای حاصل می‌شود [۱۹]. مطالعات زیادی در مورداستفاده از فرآیند اکستروژن برای ترکیب اجزاء تشکیل‌دهنده بر پایه میوه و سبزی‌ها برای غذاهای اسنکی منبسط و گسترده شده انجام‌شده است. ترکیب محصولات اکسترود شده حاصل از غلات به همراه میوه‌ها و سبزی‌ها توانایی فراهم کردن فیبر کافی را برای رژیم غذایی دارند [۲۰-۲۲]. گزارش‌شده است که اکستروژن می‌تواند قابلیت هضم و قابلیت دسترسی زیستی ترکیبات فنولیک را در مقایسه با پخت‌وپز معمولی افزایش دهد [۲۳]. بااین‌حال، برخی از ترکیبات فنولیک ممکن است در طول مرحله اکستروژن متحمل دکربوکسیلاسیون یا پلیمریزاسیون در سطوح نامطلوب شوند که این امر احتمالاً به حساسیت آن‌ها نسبت به شرایط عملیاتی مانند دما و محتوای رطوبت نسبت داده‌شده است [۲۴، ۲۵]. فرآیند اکستروژن یک روش مؤثر برای اصلاح خصوصیات فیزیکی پلی‌ساکاریدها و غذاهای بر پایه پلی‌ساکارید است [۲۶]. در این فرآیند، محدوده محتوای رطوبت اولیه مواد خام تقریباً در کلیه پارامترهای مورد آزمون نظیر خصوصیات فیزیکی، بافت و خصوصیات حسی تأثیر معنی‌داری دارد. افزایش سطح محتوای رطوبت باعث کاهش مصرف انرژی، ضریب انبساط و گستردگی و شاخص WAI می‌شود اما راندمان فرآیند، سختی و قابلیت جویده شدن غلات صبحانه را افزایش می‌دهد [۲۷].

CF می‌تواند به‌عنوان یک اجزای تشکیل‌دهنده عملکردی و مؤثر در فرمولاسیون محصولات اسنکی مورداستفاده قرار گیرد، درواقع، وقتی به مخلوط‌های بر پایه غلات اضافه شود، می‌تواند ارزش غذایی (محتوای بالای فیبر، لیزین و متیونین، ویتامین E و ویتامین‌های گروه B)، خصوصیات فیزیکی (بافت، چگالی و رنگ) و همچنین ویژگی‌های حسی (شیرینی و عطر) محصولات اکسترود شده را بهبود بخشد [۲۸].

طی پژوهشی بهترین کیفیت نودل در رطوبت خوراک ۲۰٪، دمای قالب ۹۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت مارپیچ ۱۵۰ دور در دقیقه به دست آمد. این مطالعه همچنین توانایی فرآیند اکستروژن را در کاهش فاکتورهای ضد تغذیه‌ای مانند اسید فیتیک (۹۳/۱۸٪)، تانن (۹۲/۳۳٪)، مهارکننده (بازدارنده) تریپسین (۹۷/۰۲٪) را نشان می‌دهد. درنتیجه این عمل ثابت شد که فرآیند اکستروژن باعث افزایش ارزش غذایی محصول اکسترود شده می‌شود [۲۹]. ازاین‌رو در این مطالعه به بررسی نقش اکستروژن در فرآوری مواد غذایی و تأثیر این فرآیند بر ویژگی‌های حسی، تغذیه‌ای و میکروبی این محصولات می‌پردازیم.

**۱- مکانیسم فرآیند اکستروژن:**

اکستروژن یک فرآیند مداوم است. فرآیند اکستروژن ترکیبی از فرآیندهای انتقال، شامل جریان مواد درون سیستم، انتقال انرژی حرارتی به سطح و ساختار درونی مواد و نیز انتقال جرم به سطح مواد و ساختار درونی آن‌ها در طی فرآیند می‌باشد. در تمام انواع اکستروژن‌ها مواد درون کانال‌های سیستم جریان می‌یابند. سیستم‌های اکستروژن بر اساس نوع روش عملیاتی مورداستفاده و نوع پیکربندی لوله جریان (Barrel) به گروه‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند. اکستروژن سرد اکثراً برای ایجاد شکل‌های ویژه در ماده اکسترود شده در قسمت‌هایی که جریان از قالب خارج می‌شود به کار می‌رود. در این فرآیند ماده اکسترود شده بدون اعمال انرژی حرارتی خارجی به قسمت قالب پمپ می‌شود. اکستروژن کوکینگ فرآیندی است که در آن از انرژی حرارتی استفاده‌شده باشد. این انرژی حرارتی یا از یک منبع خارجی تأمین گردیده و به ماده تحت فرآیند اعمال می‌شود و یا در اثر اصطکاک میان سطوح داخلی اکسترودر و ماده‌ای که در تماس با آن است، ایجاد می‌گردد. علاوه بر این، انرژی مکانیکی حاصل از اصطکاک میان سطوح و اجزای درون لوله جریان به‌صورت انرژی حرارتی در ماده تحت فرآیند پخش می‌گردد. است. هنگامی‌که اجزای تشکیل‌دهنده محصول نهایی وارد سیستم می‌شوند در معرض دما و فشار بالا قرار می‌گیرند. شکل هندسی لوله جریان سیستم اکستروژن به‌گونه‌ای طراحی می‌شود تا فشار اعمالی به اجزا در حین حرکت از قسمت ورودی سیستم تا زمانی که از سیستم خارج می‌شوند، افزایش یابد. بخشی از فرآیند پخت در جریان خروجی از قالب، صورت می‌گیرد که دلیل آن تغییر سریع در فشار می‌باشد. تغییر فشار به‌واسطه کاهش سریع دما و خروج رطوبت از ماده اکسترود شده رخ می‌دهد. دما، فشار و مقادیر رطوبت را می‌توان به‌گونه‌ای باهم تلفیق کرد تا دامنه وسیعی از خصوصیات محصول ایجاد گردد [۵۰].

## تأثیر فرآیند اکستروژن بر ویژگی‌های حسی و ظاهری محصولات غذایی

### بافت

بافت دهی اکستروژن فرآیندی است که از اعمال برش، گرما و فشار مکانیکی تولیدشده در اکسترودر مواد غذایی برای تغییر ساختار اجزای غذایی ازجمله پروتئین‌ها استفاده می‌کند [۳۱]. تولید بافت‌های خاص یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های پخت اکستروژن است و میزان تغییر در نشاسته یا پروتئین مایع ذوب‌شده طیف گسترده‌ای از بافت‌های محصول را که می‌توان به دست آورد تولید می‌کنند. رابطه بین ساختار سلولی و بافت توسط پژوهشگران موردبررسی قرارگرفته است [۳]. طی پژوهشی این نتایج حاصل شد که اکستروژن پخت با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و محتوای رطوبت ۲۸٪ برای دستیابی به پا ستا با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بافتی مناسب کافی است. خصوصیات بافتی نوع اسپاگتی مانند پا ستا بستگی به میزان ژلاتینه شدن حاصل‌شده در طول فرآیند اکستروژن پخت و تشکیل مجموعه‌های آمیلوز-لیپید دارد. نقطه بحرانی ژلاتینه شدن که فراتر از آن خصوصیات کیفیت محصول کاهش می‌یابد، ۴۶,۵۵ درصد بود [۳۶].

### طعم

شرایط HTST در اکستروژن پخت با توجه به اقامت کوتاه‌مدت ماده و بسته به درجه حرارت، باعث می‌شوند که طعم‌های پخته‌شده حس نشوند. در این فرآیند احتمال از دست رفتن طعم، وقتی‌که محصول از سوراخ‌ها خارج می‌شوند وجود دارد، بنابراین، طعم‌دهنده‌ها به شکل امولسیون‌های اسپری شده به سطح مواد غذایی اسنکی بعد از فرآیند اکستروژن اعمال می‌شوند؛ و در برخی از محصولات این کار موجب چسبندگی محصول می‌شود و ازاین‌رو نیاز به خشک‌کردن بیشتری دارند. غلات صبحانه بعد از اکستروژن تست می‌شوند تا قندهای سطح آن کاراملیزه شوند و طعم ویژه و همچنین رنگ تیره‌تری حاصل شود [۴]. تولید عطروطعم از مایلارد و سایر واکنش‌ها ممکن است

رخ دهد. طعم‌دهنده‌ها ممکن است قبل یا بعد از اکستروژن به مواد اضافه شوند تا طعم‌های مطلوب را تقویت کرده و طعم‌های ناخواسته ایجادشده هنگام فرآیند اکستروژن پخت را بپوشانند [۳۴].

**رنگ**

دماهای بالا و محتوای رطوبتی پایین مورداستفاده در این فرآیند، باعث ایجاد واکنش مایلارد و کاراملیزاسیون می‌شود و ترکیبات زرد/قهوه‌ای را ایجاد می‌کنند. به‌طورکلی، این شرایط عملیاتی برخی از رنگ‌دانه‌های طبیعی را تغییر می‌دهد یا تخریب می‌کند؛ اما طیف وسیعی از رنگ‌دانه‌های طبیعی پایدار شامل سبز، زرد، نارنجی، قرمز و قهوه‌ای توسعه پیدا می‌کنند که بسته به رنگ، دمای اکستروژن را می‌توانند از ۸۰ تا ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد تحمل کنند. از بین رفتن رنگ‌های محصول اکسترود شده، به علت انبساط و گسترش محصول، گرمای بیش‌ازحد یا واکنش با پروتئین‌ها، اکسیداسیون احیای قندها یا یون‌های فلزی می‌باشند. در غذاهایی که رنگ محصول تغییر می‌کند، رنگ‌های سنتزی (مصنوعی) را به خوراک اضافه می‌کنند [۵].

## تأثیر فرآیند اکستروژن بر ویژگی‌های تغذیه‌ای محصولات غذایی

**نشاسته و الیگوساکاریدها:**

کربوهیدرات‌ها در طول فرآیند اکستروژن ژلاتینه می‌شوند و نشاسته ممکن است به دکسترین‌ها تجزیه شود که کربوهیدرات‌هایی با وزن مولکولی کمتر هستند [۴۵]. گرانول‌های نشاسته در طی فرآیند اکستروژن ژلاتینه و ذوب می‌شوند، زیرا پیوندهای هیدروژنی در زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی در اثر حرارت و رطوبت از بین می‌روند [۴۶]. ژلاتینه شدن نقش مهمی در مشخصات محصول نهایی دارد [۴۷]. شرایط حرارت دادن و shearing در اکسترودرهای پخت، سبب ژلاتینه شدن نشاسته می‌شود و وزن مولکولی آمیلوز و آمیلوپکتین را کاهش می‌دهد. این مولکول‌ها سریع‌تر هضم می‌شوند که این ویژگی در غذاهای مغذی خاص مانند غذای کودک و غذای نوزاد مطلوب است. است. بااین‌حال، این ویژگی همچنین می‌تواند منجر به افزایش قند خون و سطح انسولین، پس از مصرف بشود. ازاین‌رو غذاهای اسنکی اکسترود شده، غلات صبحانه و بیسکوئیت‌ها شاخص گلیسمی نسبتاً بالایی دارند. ازاین‌رو سعی می‌شود که از نشاسته مقاوم در برابر هضم استفاده کنند که کاهش کالری را در محصول به همراه داشته باشد. کامیر (۲۰۰۱، ۲۰۱۱) روش‌هایی را برای دست‌کاری و تغییر شرایط اکستروژن برای تولید نشاسته مقاوم به هضم، ازجمله افزودن اسیدسیتریک به خوراک ذرت قبل از اکستروژن برای ایجاد افزایش مقادیر پلی‌دکستروز و الیگوساکاریدها یا اضافه کردن فیبر رژیمی را توصیف کرده است [۶، ۷]. ایجاد نشاسته مقاوم با اکستروژن همچنین ممکن است در کاهش کالری محصولات نقش داشته باشد. غلات صبحانه اکسترود شده‌ای که با استفاده از جایگزینی ۵-۱۵٪ آرد گندم توسط فیبر غذایی محلول و نامحلول تهیه می‌شود، سبب کاهش قابل‌توجهی در کربوهیدرات‌های قابل‌هضم و افزایش سطح کربوهیدرات‌های آهسته هضم شده برای تعدیل تأثیر گلیسمی بالقوه آن‌ها می‌شوند [۸، ۹].

اکستروژن تأثیرات مختلفی روی فیبر موجود در مواد غذایی دارد: مولکول‌های نامحلول بزرگ ممکن است تا حدی شکسته شوند که ممکن است حلالیت آن‌ها را افزایش دهد. بسته به نوع ماده خام اولیه، سطوح پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته محلول و نامحلول ممکن است توسط اکستروژن افزایش یا کاهش یابد. پیامدهای تغذیه‌ای این تغییرات توسط کامر بررسی‌شده است. محصولات سویای اکسترود شده در مقایسه با آرد سویا فرآوری نشده حاوی مقادیر کمتری از الیگوساکاریدهای عامل ایجاد نفخ ازجمله استاکیوز و رافینوز هستند. اکستروژن پخت باعث تخریب جزئی یا کلی ترکیبات و اجزای ضد تغذیه‌ای ازجمله بازدارنده‌های پروتئاز، هماگلوتینین‌ها، تانن‌ها، فیتات‌ها می‌شوند که باعث می‌شوند که ارزش تغذیه‌ای پروتئین‌های گیاهی بافت یافته بهبود یابند [۶، ۷]. در پژوهشی دیگر، فرآیند اکستروژن کاهش در فاکتورهای ضد تغذیه‌ای مانند اسید فیتیک، تانن، مهارکننده (بازدارنده) تریپسین را نشان داده است. ثابت شد که فرآیند اکستروژن به دلیل

کاهش معنی‌دار در عوامل ضد تغذیه‌ای، باعث افزایش ارزش غذایی محصول اکسترود شده می‌شود [۳۰، ۳۵]. استفاده از مکمل‌هایی نظیر ذرت/ لوبیا باعث افزایش محتوای فیبر در ترکیب می‌شوند [۳۶].

## پروتئین‌ها

در فرآیند اکستروژن، کازئین دناتوره نمی‌شود. در مقابل، پروتئین‌های آب پنیر هنگام اکسترود توسط واکنش‌دهنده‌های شیمیایی، گرما یا اعمال برش تغییر می‌کنند [۳۲]. پروتئین‌های آب پنیر اکسترود شده نامحلول هستند و درنتیجه به‌صورت تجمع یافته و متراکم هستند [۳۳]. تشکیل بافت در هنگام افزایش دمای اکستروژن در دمای بالای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، ظرفیت اتصال آب پروتئین‌های آب پنیر را کاهش می‌دهد و سبب می‌شود تا بهتر با نشاسته تعامل داشته باشند [۴۲، ۴۳]. بااین‌حال، محصولات آب پنیر بافت‌دار شده گاهی اوقات با دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد اکسترود می‌شوند تا ساختارهای رشته‌ای، مانند گوشت را تشکیل دهند [۴۴]. ارزش تغذیه‌ای پروتئین‌ها با شرایط اکستروژن پخت ملایم به علت افزایش قابلیت هضم‌پذیری، افزایش می‌یابد. این حاصل از دناتوراسیون پروتئین، غیرفعال کردن بازدارنده‌های آنزیم در مواد خام اولیه و/ یا توسط در معرض قرار گرفتن (ظاهر ساختن) مکان‌های جدید برای آنزیم‌های گوارشی است. اکستروژن داغ پروتئین‌های گیاهی و نیز آنزیم‌هایی را که باعث ایجاد طعم‌های نامطلوب می‌شوند غیرفعال می‌کند. در دماهای بالاتر و محتوای رطوبت کم، واکنش‌های مایلارد با اسیدهای آمینه باعث کاهش کیفیت پروتئین، به‌ویژه لیزین که اسیدآمینه محدودکننده در غلات است، می‌شود. در دسترس بودن اسیدهای آمینه به میزان قابل‌توجهی در محتوای رطوبت پایین‌تر کاهش می‌یابد و به همین دلیل مواد مغذی حساس به گرما، معمولاً پس از انجام فرآیند اکستروژن محصولات اسنکی اضافه می‌شوند [۱۰]. استفاده از مکمل‌هایی نظیر ذرت/ لوبیا باعث افزایش محتوای پروتئین در ترکیب می‌شوند [۳۶]. افزودن آرد بادام‌زمینی به کامپوزیت آرد باعث افزایش محتوای پروتئین غذاهای اسنکی اکسترود شده می‌شود [۳۷]. دناتوراسیون حرارتی کامل پروتئین‌ها به زمان‌های طولانی نیاز دارد: کلاژن در گرمای مرطوب زیر ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد برای دناتوراسیون به ۳۰ دقیقه زمان نیاز دارد، گلوتن گندم باید به مدت ۷۲ دقیقه در دمای ۲۰۰ تا ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد گرمای خشک قرار گیرد [۴۰، ۴۱]. با اعمال تیمار حرارتی ملایم، تغییرات pH و برش در طول تولید مواد غذایی، تغییرات کنترل‌شده‌ای را می‌توان در پروتئین‌ها ایجاد کرد تا با تغییر اسیدهای آمینه خاص، تغییر مطلوب آن‌ها ازنظر بیولوژیکی و عملکردی ایجاد شود [۴۸]. به‌عنوان‌مثال، شرایط اسیدی گلوتامین و آسپاراژین‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، درحالی‌که شرایط قلیایی بر سیستئین، سرین و ترئونین که لیزینوآلانین و دی آمینواسید را تشکیل می‌دهند، تأثیر می‌گذارد [۴۹].

## چربی‌ها

لیپیدها ممکن است در طول فرآیند اکستروژن مجموعه‌های نشاسته-لیپید تشکیل دهند، اما این‌ها بر ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی تأثیری نمی‌گذارند. اکسیداسیون لیپیدها به میزان قابل‌توجه در طول فرآیند اکستروژن انجام نمی‌شود، اما ممکن است در طول ذخیره‌سازی رخ دهد. آرتز و همکاران (۱۹۹۲) عواملی را که باعث افزایش اکسیداسیون می‌شوند، ازجمله یون‌های فلزی ناشی از سایش مارپیچ‌های اکسترودر و افزایش ناحیه سطحی در محصولات منبسط‌شده (گسترش پیداکرده) را موردبررسی قراردادند [۱۱]. آنزیم‌های لیپولیتیک ممکن است توسط فرآیند اکستروژن غیرفعال شوند و مجموعه‌های نشاسته_لیپید ممکن است در برابر اکسیداسیون مقاوم‌تر شوند. کامیر (۲۰۰۱) آنتی‌اکسیدان‌های مورداستفاده در غذاهای اکسترود شده را شرح می‌دهد، همچنین مواد غذایی ممکن است در نیتروژن بسته‌بندی شوند تا اکسیداسیون را کاهش دهند [۶].

## ویتامین‌ها و مواد معدنی

حفظ ویتامین‌ها برای سنجش تغذیه‌ای بسیار مهم است [۴۵]. از بین رفتن ویتامین‌های موجود در غذاهای اکسترود شده با توجه به نوع غذا، میزان رطوبت، دمای فرآوری و زمان نگهداری متفاوت است. معمولاً از بین رفتن ویتامین‌ها در فرآیند اکستروژن سرد حداقل است. شرایط HTST در اکستروژن پخت و خنک کردن سریع بلافاصله بعد از بیرون آمدن محصول از قالب (منافذ اکسترودر)، باعث می‌شود تا اتلاف نسبتاً کمی در بیشتر ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه ضروری رخ دهد. در صورت افزایش رطوبت و کاهش دما، سرعت مارپیچ و انرژی ورودی، میزان حفظ و بقای ویتامین‌ها افزایش می‌یابد [۱۲]. کیلیت (۱۹۹۴) حفظ ویتامین را در غذاهای اکسترود شده بررسی کرده است. به‌عنوان‌مثال در دمای اکسترودر ۱۵۴ درجه سانتی‌گراد، ۹۵٪ از تیامین در محصول حفظ شد و اتلاف کمی از مقادیر ریبوفلاوین، پیریدوکسین، نیاسین یا اسیدفولیک در غلات رخ داد. بااین‌حال، اتلاف اسید اسکوربیک و ویتامین A تا ۵۰ درصد، به مدت‌زمانی که غذا در دماهای بالا نگه‌داشته می‌شود، بستگی دارد. اتلاف لیزین، سیستئین و متیونین موجود در محصولات برنج بسته به شرایط فرآیند بین ۵۰ تا ۹۰ درصد متفاوت است [۱۲]. آتار و همکاران (۲۰۰۶) در طول اکستروژن با مخزن جریان (لوله حاوی خوراک) کوتاه برای مواد غذایی اسنکی حاصل از دانه‌های غلات مختلف، ویتامین‌های گروه B را در حدود ۴۴-۶۲ درصد حفظ کردند. ریبوفلاوین و نیاسین بالاترین ثبات را داشتند و پیریدوکسین در ذرت پایدار بود، اما در جو دوسر یا آرد ذرت/ نخود کمتر است. تیامین ویتامینی با کمترین پایداری بود. آن‌ها نتیجه گرفتند که غذاهای اسنکی اکسترود شده HTST سطح بالاتری از ویتامین‌های B حساس به گرما را نسبت به فرآیندهای اکستروژن طولانی‌مدت و دمای پایین‌تر حفظ می‌کنند. بسیاری از تولیدکنندگان غلات صبحانه پس از فرآیند اکستروژن محلول‌های ویتامین را بر روی محصولات اسپری می‌کنند تا کمبودهای ملاحظه شده ویتامینی را اصلاح کنند. مواد معدنی ازنظر اعمال حرارت پایدار هستند و اکستروژن می‌تواند جذب مواد معدنی را با کاهش فیتات‌ها و تانن‌های متراکم که مانع از جذب می‌شوند، بهبود بخشد [۱۳]. کامیر (۲۰۰۱، ۲۰۱۱) و سینگ و همکاران (۲۰۰۷) تأثیرات اکستروژن بر ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات ضد تغذیه‌ای را موردبررسی قراردادند [۶، ۷ و ۱۴].

## تأثیر فرآیند اکستروژن بر ویژگی‌های میکروبی و عمر ماندگاری محصولات غذایی

از بین بردن میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها در بیشتر موارد مطلوب است [۴۵]. اکثر محصولات حاصل از اکستروژن پخت ازنظر میکروبیولوژی ایمن هستند؛ زیرا فعالیت آبی آن‌ها کم است و تیمار حرارتی HTST که باعث می‌شود که سلول‌های رویشی از بین بروند. شرایطی که تحت آن اسپورها توسط اکستروژن-پخت از بین می‌روند به‌خوبی درک نشده‌اند [۱۵]. گراسو و همکاران در سال ۲۰۱۴ تأثیر اکستروژن را بر باکتری‌های بیماری‌زا موردبررسی قراردادند [۱۶]. لیکیمانی و همکاران در سال ۱۹۹۰ روشی را برای محاسبه مقادیر D و Z برای اسپورهای باسیلوس globigii توصیف کردند [۱۷]. در سال ۱۹۹۹ بلوت و همکاران تأثیرات اکستروژن پخت را بر روی میکروباکتریوم لاکتیکوم و باسیلوس سوبتیلیس بررسی کرند. نتایج حاصل از این پژوهش، ارتباط قوی رابین تنش برشی در دیواره قالب و انرژی مکانیکی خاص ورودی برای از بین بردن و تخریب میکروباکتریوم لاکتیکوم نشان داد. تخریب باکتری‌ها به حرارت اعمال‌شده در طول اکستروژن نسبت داده می‌شود که می‌تواند دیواره سلولی را تضعیف کند و آن‌ها را در برابر نیروهای برشی حساس‌تر کند. به‌طورکلی اشاره‌شده است که اگر نیروهای برشی در حد مطلوب با تیمارهای حرارتی ترکیب شوند، در یک شرایط کم دمایی می‌توان کیفیت مواد غذایی را در حداکثر حفظ کرد، درحالی‌که نیازمندی انرژی فرآیند حداقل باشد [۱۸].

## نتیجه‌گیری

به‌طورکلی مواد خام مورداستفاده در فرآیند اکستروژن را، موادی بر پایه نشاسته و پروتئین تشکیل می‌دهند که در تشکیل ساختار محصولات اکسترود شده مؤثر می‌باشد. این مواد افزودنی اصلی در ایجاد ساختار، بافت، احساس دهانی و دیگر مشخصات مطلوب برای محصول نهایی مؤثر می‌باشند. این فرآیند می‌تواند طیف وسیعی از محصولات را توسط تغییر مواد اولیه، شرایط عملیات اکسترودر و شکل سوراخ‌ها (قالب‌ها) تولید کند. بعلاوه فرآیند اکستروژن سبب دناتوراسیون آنزیم‌ها و ترکیبات ضد تغذیه‌ای نامطلوب و حفظ رنگ طبیعی محصولات ازجمله طیف خاصی از رنگ‌های طبیعی می‌شود؛ و با کنترل سایر فاکتورهای مؤثر در انجام این فرآیند می‌توان اثرات آن را بر روی ترکیباتی نظیر نشاسته و الیگوساکاریدها، پروتئین، ویتامین‌ها کنترل و بهینه کرد. اکثر محصولات حاصل از اکستروژن پخت ازنظر میکروبیولوژی ایمن هستند.

**منابع**


1. Guy, R. ed., 2001. *Extrusion cooking: technologies and applications*. Woodhead publishing.
2. Guerrero, P., Beatty, E., Kerry, J.P. and De La Caba, K., 2012. Extrusion of soy protein with gelatin and sugars at low moisture content. *Journal of Food Engineering*, *110*(1), pp.53-59.
3. Chanvrier, H., Davideka, T., Gumya, J.C., Chassagne-Bercesa, S., Jakubczykb, E. and Blanka, I., 2013, April. Insights into the texture of extruded cereals products. In *InsideFood Symposium* (pp. 9-12).
4. Alvarez-Martinez, L., Kondury, K.P. and Harper, J.M., 1988. A general model for expansion of extruded products. *Journal of Food Science*, *53*(2), pp.609-615.
5. Byrne, J., 2011. New natural colour range can run in extrusion lines, claims Wild, Confectionery News.
6. Camire, M.E., 2001. Extrusion and nutritional quality. In: Guy, R. (Ed.), Extrusion Cooking _ Technologies and Applications. Woodhead Publishing, Cambridge, pp. 108_129.
7. Camire, M.E., 2011. Nutritional changes during extrusion cooking. In: Maskan, M., Altan, A. (Eds.), Advances in Food Extrusion Technology. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 87_102.
8. Brennan, M.A., Monro, J.A. and Brennan, C.S., 2008. Effect of inclusion of soluble and insoluble fibres into extruded breakfast cereal products made with reverse screw configuration. *International journal of food science & technology*, *43*(12), pp.2278-2288.
9. Brennan, M.A., Menard, C., Roudaut, G. and Brennan, C.S., 2012. Amaranth, millet and buckwheat flours affect the physical properties of extruded breakfast cereals and modulates their potential glycaemic impact. *Starch-Stärke*, *64*(5), pp.392-398.
10. Huber, G.O.R.D.O.N., 2001. Snack foods from cooking extruders. *Snack foods processing*, pp.315-367.
11. Artz, W.E., Rao, S.K. and Sauer, R.M., 1992. Lipid oxidation in extruded products during storage as affected by extrusion temperature and selected antioxidants. *Food Sci. Technol*, *449*.
12. Killeit, U., 1994. Vitamin retention in extrusion cooking. *Food Chemistry*, *49*(2), pp.149-155.
13. Athar, N., Hardacre, A., Taylor, G., Clark, S., Harding, R. and McLaughlin, J., 2006. Vitamin retention in extruded food products. *Journal of Food Composition and Analysis*, *19*(4), pp.379-383.
14. Singh, S., Gamlath, S. and Wakeling, L., 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, *42*(8), pp.916-929.
15. Chessari, C.J., Sellahewa, J.N., 2001. Effective process control. In: Guy, R. (Ed.), Extrusion Cooking _ Technologies and Applications. Woodhead Publishing, Cambridge, pp. 83_107.

16. Grasso, E.M., Stan, C.M., Anderson, N.M., Krishnamurthy, K., 2014. Heat and steam treatments. In: Gurtler, J.B., Doyle, M.P., Kornacki, J.L. (Eds.), The Microbiological Safety of Low Water Activity Foods and Spices. Springer Science and Business Media, New York, NY, pp. 418_424.
17. Likimani, T.A., Sofos, J.N., Maga, J.A. and Harper, J.M., 1990. Methodology to determine destruction of bacterial spores during extrusion cooking. *Journal of Food Science*, *55*(5), pp.1388-1393.
18. Bulut, S., Waites, W.M. and Mitchell, J.R., 1999. Effects of combined shear and thermal forces on destruction of Microbacterium lacticum. *Appl. Environ. Microbiol.*, *65*(10), pp.4464-4469.
19. Day, L. and Swanson, B.G., 2013. Functionality of protein-fortified extrudates. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *12*(5), pp.546-564.
20. Altan, A., McCarthy, K.L. and Maskan, M., 2009. Effect of extrusion cooking on functional properties and in vitro starch digestibility of barley-based extrudates from fruit and vegetable by-products. *Journal of Food Science*, *74*(2), pp.E77-E86.
21. Yağcı, S. and Göğüş, F., 2008. Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *Journal of Food Engineering*, *86*(1), pp.122-132.
22. Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., İbanoğlu, E. and İbanoğlu, Ş., 2008. Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, *87*(4), pp.554-563.
23. Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E. and Tiwari, B.K., 2011. Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science & Technology*, *22*(10), pp.570-575.
24. Chiu, H.W., Peng, J.C., Tsai, S.J. and Lui, W.B., 2012. Effect of extrusion processing on antioxidant activities of corn extrudates fortified with various Chinese yams (Dioscorea sp.). *Food and bioprocess technology*, *5*(6), pp.2462-2473.
25. Sharma, P., Gujral, H.S. and Singh, B., 2012. Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, *131*(4), pp.1406-1413.
26. Wolf, B., 2010. Polysaccharide functionality through extrusion processing. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, *15*(1-2), pp.50-54.
27. Wójtowicz, A., Mitrus, M., Oniszczuk, T., Mościcki, L., Kręcisz, M. and Oniszczuk, A., 2015. Selected physical properties, texture and sensory characteristics of extruded breakfast cereals based on wholegrain wheat flour. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, *7*, pp.301-308.
28. Sacchetti, G., Pinnavaia, G.G., Guidolin, E. and Dalla Rosa, M., 2004. Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. *Food Research International*, *37*(5), pp.527-534.
29. Rathod, R.P. and Annapure, U.S., 2017. Physicochemical properties, protein and starch digestibility of lentil based noodle prepared by using extrusion processing. *LWT*, *80*, pp.121-130.
30. Rathod, R.P. and Annapure, U.S., 2016. Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT-Food Science and Technology*, *66*, pp.114-123.
31. Harper, J.M., 1986. Extrusion texturization of foods. *Food Technology*, *40*(3), p.70.
32. Kim, C. H. and Maga, J. A. 1987. Properties of extruded whey protein concentrate and cereal flour blends. LWT Food Sci. Technol. 20, 311–318.

33. Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., and van Boekel, M. A. J. S. 1999. Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.
34. Maga, J. A. and Kim, C. H. 1989. Protein-generated extrusion flavors. In ‘‘Thermal Generation of Aromas’’, (T. H. Parliament, R. J. McGorrin, and C.-T. Ho, Eds), pp. 494–503. American Chemical Society, Washington, DC.
35. Nikmaram, N., Leong, S.Y., Koubaa, M., Zhu, Z., Barba, F.J., Greiner, R., Oey, I. and Roohinejad, S., 2017. Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food control*, *79*, pp.62-73.
36. Giménez, M.A., González, R.J., Wagner, J., Torres, R., Lobo, M.O. and Samman, N.C., 2013. Effect of extrusion conditions on physicochemical and sensorial properties of corn-broad beans (Vicia faba) spaghetti type pasta. *Food chemistry*, *136*(2), pp.538-545.
37. Awolu, O.O., Oluwaferanmi, P.M., Fafowora, O.I. and Oseyemi, G.F., 2015. Optimization of the extrusion process for the production of ready-to-eat snack from rice, cassava and kersting's groundnut composite flours. *LWT-Food Science and Technology*, *64*(1), pp.18-24.
38. Kim, J.H., Tanhehco, E.J. and Ng, P.K.W., 2006. Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour. *Food chemistry*, *99*(4), pp.718-723.
39. Zhang, M., Bai, X. and Zhang, Z., 2011. Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran. *Journal of Cereal Science*, *54*(1), pp.98-103.
40. Meyer, M., Mühlbach, R. and Harzer, D., 2005. Solubilisation of cattle hide collagen by thermo-mechanical treatment. *Polymer degradation and stability*, *87*(1), pp.137-142.
41. Friedman, M., Gumbmann, M.R. and Ziderman, I.I., 1987. Nutritional value and safety in mice of proteins and their admixtures with carbohydrates and vitamin C after heating. *The Journal of nutrition*, *117*(3), pp.508-518.
42. Onwulata, C.I., Konstance, R.P., Smith, P.W. and Holsinger, V.H., 2001. Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. *LWT-Food Science and Technology*, *34*(7), pp.424-429.
43. Onwulata, C.I., Smith, P.W., Konstance, R.P. and Holsinger, V.H., 2001. Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. *Food Research International*, *34*(8), pp.679-687.
44. Hale, A.B., Carpenter, C.E. and Walsh, M.K., 2002. Instrumental and consumer evaluation of beef patties extended with extrusion-textured whey proteins. *Journal of food science*, *67*(3), pp.1267-1270.
45. Björck, I. and Asp, N.G., 1983. The effects of extrusion cooking on nutritional value—a literature review. *Journal of Food Engineering*, *2*(4), pp.281-308.
46. Camire, M.E., Camire, A. and Krumhar, K., 1990. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, *29*(1), pp.35-57.
47. Van de Voort, F.R., Stanley, D.W. and Edamura, R., 1984. Improved utilization of dairy proteins: Coextrusion of casein and wheat flour. *Journal of Dairy Science*, *67*(4), pp.749-758.
48. Onwulata, C.I., Isobe, S., Tomasula, P.M. and Cooke, P.H., 2006. Properties of whey protein isolates extruded under acidic and alkaline conditions. *Journal of dairy science*, *89*(1), pp.71-81.
49. Korhonen, H., Pihlanto-Leppäla, A., Rantamäki, P. and Tupasela, T., 1998. Impact of processing on bioactive proteins and peptides. *Trends in Food Science & Technology*, *9*(8-9), pp.307-319.
50. [50] Singh, R.P. and Heldman, D.R., 2001. Introduction to food engineering. Gulf Professional Publishing.

# Role of extrusion in food processing and its effect on the sensory, nutritional and microbial properties of these products

Tahere Zabihpour*[1], Peyman Ebrahimi[2], Azade Ghorbani hasansaraei[3]

1. PhD student, Department of food sciences and technology, Ayatollah Amoli branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
2. M.Sc student, Department of food sciences and technology, Ayatollah Amoli branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
3. Assistant Professor, Department of food sciences and technology, Ayatollah Amoli branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.

## Abstract

Over the last two decades, the use of extrusion technology has increased. This process is multifunctional and can produce a wide range of products by modifying raw materials and extruder operating conditions. Extrusion has low processing costs and high productivity and usefulness over other baking and shaping processes. Applying heat and cutting the nutrients causes such things as lipid oxidation, vitamin decomposition, decomposition of antihydrogen compounds, phytochemical decomposition, taste creation and alteration, bioavailability and solubility of dietary fiber in these compounds. In this study, we reviewed the research done in this field.

**Key words**: Extrusion, Food Industry Apparatuses, Sensory Properties, Microbial Properties

*Corresponding author: Tahere Zabihpour
E-mail: t.zabihpour@gmail.com