



University of Guilan

University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 9, No. 1, 2023, pages: 43-52
DOI: 10.22124/janb.2023.24743.1205



Effects of extruding Persian acorn, *Quercus brantii* flour under different temperature and humidity conditions on its biochemical indices, phenolic compounds and digestibility by common carp, *Cyprinus carpio*

Hojjatollah Alamdari*, Khadije Musavi

Department of Fishery, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Khuzestan, Iran

Received 01 January 2023

Revised 30 March 2023

Accepted 04 April 2023

KEYWORDS

Biochemical
analysis
Common carp
Extrusion
In-vitro
digestibility
Oak acorn flour

ABSTRACT

Extrusion process is widely used in food processing. This process is effective on the anti-nutritional factors present in food raw materials and their digestibility. In treatments 1, 2 and 3 acorn flour with particles less than 250 microns in diameter was mixed with tap water at the rate of 200, 100 and 200 mL per kg of flour and then extruded by a single-axis extruder under the temperature of 135, 135 and 100 °C, respectively. Treatment 4 (control) was not subjected to the conditions of dough preparation and then extruded. Extruding exhibited no significant effect on ash content and non-tannin phenolic compounds of oak flour ($p>0.05$). However, it significantly decreased the contents of crude protein, crude fat, total phenolic compounds and condensed tannins, while led to the elevation in the digestibility of carbohydrate and protein ($p<0.05$). In extruded treatments, there were no significant differences in crude protein, crude fat, ash, total phenolic compounds, non-tannin phenolic compounds and condensed tannins. The highest carbohydrate digestibility was observed in treatments 1 and 2, and the highest protein digestibility in treatment 2 ($p<0.05$). In total, treatment 2 (135 °C and 100 mL tap water per kg flour) was recognized as the best treatment for extruding oak acorn flour for common carp.

*Corresponding author: alamdari@bkatu.ac.ir; alamdari671@yahoo.com





"مقاله پژوهشی"

اثرات اکستروژن کردن آرد بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در شرایط دمایی و رطوبتی مختلف بر شاخص‌های بیوشیمیایی، ترکیبات فنولی و قابلیت هضم در کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)

حجت اله علمداری*، خدیجه موسوی

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، خوزستان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

کلمات کلیدی

چکیده

از فرآیند اکستروژن به‌طور گسترده در فرآوری مواد غذایی استفاده می‌شود. این فرآیند بر ترکیبات ضد تغذیه‌ای موجود در مواد اولیه غذایی و قابلیت هضم آنها مؤثر است. آرد بلوط با ذرات به قطر کمتر از ۲۵۰ میکرون در تیمارهای ۱، ۲ و ۳ به ترتیب با آب معمولی به‌میزان ۲۰۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم آرد به حالت خمیر در آمد و سپس توسط اکستروژر تک محوره به‌ترتیب در دمای ۱۳۵، ۱۳۵ و ۱۰۰ °C اکستروژن شد. تیمار ۴ (شاهد) در شرایط تهیه خمیر و سپس اکستروژن قرار نگرفت. اکستروژن کردن اثر معنی‌داری بر محتوای خاکستر و ترکیبات فنولی غیر تاننی آرد بلوط نداشت ($p > 0.05$)، اما به‌طور معنی‌دار سبب کاهش محتوای پروتئین خام، چربی خام، کل ترکیبات فنولی و تانن‌های متراکم و افزایش قابلیت هضم کربوهیدرات و پروتئین آن شد ($p < 0.05$). در تیمارهای اکستروژن شده تفاوت معنی‌داری از لحاظ میزان پروتئین خام، چربی خام، خاکستر، کل ترکیبات فنولی، ترکیبات فنولی غیر تاننی و تانن‌های متراکم وجود نداشت. به‌طور معنی‌دار بالاترین قابلیت هضم کربوهیدرات در تیمارهای ۱ و ۲ و بالاترین قابلیت هضم پروتئین در تیمار ۲ مشاهده شد ($p < 0.05$). در مجموع تیمار ۲ (دمای ۱۳۵ °C و رطوبت ۱۰۰ میلی‌لیتر آب به ازای هر کیلوگرم آرد) بهترین تیمار برای اکستروژن کردن آرد بلوط برای کپور معمولی شناخته شد.

مقدمه

ساخت خوراک نیازمند فرمول‌های انعطاف‌پذیر، ارزشمند از لحاظ تغذیه‌ای و به‌صرفه اقتصادی بر پایه محتوا و دسترسی به مواد مغذی ضروری و همچنین، مدیریت عوامل ضد مغذی در مواد خام اولیه است. بنابراین، انواع مختلفی از منابع غذایی برای غذاهای به‌آزبان پرورشی و حفظ رشد سریع مورد انتظار این بخش مورد نیاز هستند (Lemos et al. 2009).

بذرهای گیاهی خوراکی به دلیل داشتن مقادیر زیادی از لیپیدهای سالم، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، الیاف خام و همچنین، بعضی از مواد معدنی ضروری و ویتامین‌ها، منابع مهمی از ترکیبات ارزشمند غذایی برای جانوران هستند. البته به‌رغم همه این فواید، حضور برخی از عوامل ضد تغذیه‌ای از جمله تانن‌ها (ترکیبات پلی‌فنولی) در دانه‌های خوراکی سبب محدودیت در مصرف آن‌ها به‌عنوان ماده اولیه برای تولید خوراک شده است. میوه بلوط حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای تانن و دیگر مواد فنولی است (نارویی و علمداری، ۱۴۰۱؛ ندری و علمداری، ۱۴۰۱). تانن‌ها ممکن است با تشکیل کمپلکس‌های پروتئین-تانن در آنزیم‌های مختلف گوارشی و از طریق ممانعت از تشکیل فرآورده قابل جذب در روده سبب کاهش استفاده از درشت‌مغذی‌های (ماکرونوترینت‌های) غذایی شوند. علاوه بر این، ممکن است تانن سبب اختلال در جذب (آسیمپلاسیون) کربوهیدرات‌ها مانند گلوکوسیداز-مالتاز، سوکراز و روش روده‌ای جذب گلوکز وابسته به سدیم شود (Mandal and Ghosh, 2010). اثرات منفی عوامل ضد تغذیه‌ای را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف عمل‌آوری و از طریق کاهش یا حذف این ترکیبات مضر قبل از مصرف آنها توسط موجود زنده تعدیل کرد (Krupa, 2008).

معمولاً برای بهبود کیفیت غذایی بذرهای گیاهی، روش‌های مرسوم تیمار کردن از قبیل حرارت دادن، کاربرد آنزیم، خیساندن، جوانه زدن، قرار دادن در معرض اشعه و تخمیر استفاده می‌شوند (Nadeem et al. 2010). در سال‌های بعد، فنون دیگری مانند اکسترود کردن به‌عنوان روش جایگزین برای کاهش مقادیر مواد ضد تغذیه‌ای مطرح شده‌اند (Zarei, 2013). از طرف دیگر، صنایع ساخت

خوراک آبزیان از روش اکسترودن برای تولید خوراک خشک استفاده می‌کنند. بازدهی فرآیند اکسترودن در زمینه کاهش بهینه عوامل ضدتغذیه‌ای به شدت فراسنجه‌های فرآیند از قبیل دمای محفظه (بارل) و میزان رطوبت خوراک بستگی دارد. فراسنجه‌های فرآیند بر درجه پخت، ژلاتینه شدن و دکسترینه شدن نشاسته و تغییر ماهیت پروتئین مؤثرند (Nikmaram et al. 2017).

لازمه جستجو برای یافتن مواد اولیه مناسب، غربالگری دقیق، ارزش غذایی بالقوه آن‌ها و تغییراتشان در سطح صنعتی است. تعیین قابلیت هضم ظاهری درون‌تنی (*in vivo*) مواد اولیه غذایی مختلف هنوز یکی از بهترین روش‌های ارزیابی کیفیت آن‌هاست. البته این روش زمان‌بر، معمولاً گران و منطقاً همراه با چالش جمع‌آوری مدفوع است. این مشکلات مشوق محققان به توسعه روش‌های جایگزین ارزیابی قابلیت هضم مواد اولیه غذایی با تمرکز بر روش‌های برون‌تنی (*in vitro*) به‌منظور ارزیابی سریع کیفیت و قابلیت هضم مواد اولیه بوده است (Lewis et al. 2019). روش‌های برون‌تنی با استفاده از آنزیم‌های گوارشی گونه‌های مورد نظر باید به‌عنوان ابزاری مفید در غربالگری اولیه منابع نشاسته‌ای جیره‌های غذایی به حساب آیند (Cousin et al. 1996) و برای ارزیابی قابلیت هضم پروتئین هم قابل اعتماد هستند (Montoya-Martínez et al. 2018). اگرچه در مطالعات متعدد اثر اکسترودن بر کاهش سطوح عوامل ضدتغذیه‌ای در مواد غذایی مختلف به اثبات رسیده است (Nikmaram et al. 2017; Vidal et al. 2017; Konovalenko et al. 2022)، اما تاکنون پژوهشی درباره اثر دما و رطوبت در فرآیند اکسترودن بر سنجش تقریبی، حذف ترکیبات فنولی و قابلیت هضم آرد بلوط در ماهی انجام نشده است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

دانه‌های رسیده بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) از جنگل‌های یاسوج جمع‌آوری شد. پوسته‌های خارجی و داخلی پوشاننده مغز دانه بلوط با چاقو جداسازی شدند. مغز دانه بلوط به مدت یک هفته در سایه خشک، و سپس

اکستروود کردن

برای عمل‌آوری آرد بلوط از اکستروودر تک محوره استفاده شد. سرعت چرخش اکستروودر ۲۰۰ دور در دقیقه، نرخ خوراک‌دهی ۱۶۰-۱۵۰ گرم در دقیقه و قطر حیده آن ۳ میلی‌متر بود. رطوبت و دمای مورد استفاده در این مطالعه پس از انجام آزمون‌های اولیه خارج از تیمارهای آزمایشی انتخاب شد. رطوبت با افزودن آب معمولی به آرد بلوط برای ساخت خمیر تأمین شد و سپس، دمای محفظه اکستروودر ثبت شد (جدول ۱). ماده اکستروود شده در دمای اتاق خشک، و سپس برای سنجش‌های بعدی، مجدداً تا عبور از الک با منفذ ۲۵۰ میکرون آسیاب شد.

آسیاب شد (طالبیان نیک و علمداری، ۱۳۹۹). آرد بلوط قبل از اکستروود کردن با الک ۲۵۰ میکرون غربال شد. مواد لازم برای آزمایش‌های شیمیایی و هضم از بازار خریداری شد. ۱۵ قطعه بچه ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) به وزن حدود ۵۰ گرم از یک مزرعه پرورش ماهی در دزفول تأمین و به مدت ۳ هفته در مخزن ۲۵۰ لیتری با شرایط سالن پرورش سازگاری انجام شد. در مدت سازگاری، ماهیان روزانه دو بار تا حد سیری با غذایی تجاری حاوی ۳۵٪ پروتئین خام تغذیه شدند. دوره نوری به صورت ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی و میانگین دمای آب برابر با ۲۵ °C بود.

جدول ۱ مقدار آب لازم برای ساخت خمیر و دمای اکستروودر.

دمای اکستروودر (°C)	حجم آب برای خمیر کردن یک کیلوگرم آرد (میلی‌لیتر)	تیمار
۱۳۵	۲۰۰	۱
۱۳۵	۱۰۰	۲
۱۰۰	۲۰۰	۳
---	---	۴ (شاهد، بدون اکستروودن)

دقیقه‌ای با فاصله ۵ دقیقه از هم) انجام شد. مایع رویی (سوپرناتانت) با انجام سانتریفوژ به مدت ۱۰ دقیقه و با شدت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به دست آمد. اندازه‌گیری کل ترکیبات فنولی و ترکیبات فنولی غیر تاننی در طول موج ۷۲۵ نانومتر و اندازه‌گیری تانن‌های متراکم در طول موج ۵۵۰ نانومتر انجام شد (Makkar, 2003).

استخراج آنزیم

سه عدد ماهی به‌طور تصادفی برای استخراج آنزیم صید شد. وزن و درازای این ماهیان به ترتیب $2/32 \pm 48/34$ گرم و $0/55 \pm 15/63$ سانتی‌متر (میانگین \pm انحراف استاندارد) بود. کل روده از بدن خارج و در ظرف از قبل سرد شده، قرار داده شد. حذف خون و دیگر مواد زائد از طریق شستشو با آب مقطر و سپس، با محلول بافر فسفات-نمکی (۰/۱ مولار با pH برابر با ۸/۱۵ و حاوی ۰/۹٪ کلرید سدیم) انجام شد. روده‌های تمیز شده با قیچی تکه تکه شد. با استفاده از

سنجش بیوشیمیایی

پروتئین خام، چربی خام و رطوبت آرد بلوط مطابق روش‌های استاندارد (AOAC, 2000) اندازه‌گیری شدند. به‌طور خلاصه، پروتئین خام با اندازه‌گیری نیتروژن به روش کدال و سپس حاصل ضرب آن در عدد ۶/۲۵، چربی خام با عصاره‌گیری از نمونه‌ها به کمک پترولیوم اتر به روش سوکسله و رطوبت با خشک کردن در آون در دمای ۱۰۳ °C به مدت ۸ ساعت تعیین شد. خاکستر آرد بلوط با قرار دادن نمونه در کوره در دمای ۵۵۰ °C در دو بازه زمانی ۳ ساعته و با وقفه‌ای بین این دو زمان برای کاهش دما به زیر ۲۰۰ °C و ورود هوای تازه به کوره انجام شد (Thiex et al. 2012).

کل ترکیبات فنولی، ترکیبات فنولی غیرتاننی و تانن‌های متراکم به روش فولین سیوکالتنو اندازه‌گیری شد. برای این منظور، استخراج عصاره تاننی به‌وسیله استون آبی ۷۰٪ و در حمام آبی اولتراسونیک به مدت ۲۰ دقیقه (دو مرتبه ۱۰

ناگهانی بر روی یخ قرار داده شد. هر لوله آزمایش در ۱۴۰۰۰ g به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. جذب نوری مایع رویی در ۵۰۷ نانومتر اندازه‌گیری، و با منحنی استاندارد تیروزین مقایسه شد. قابلیت هضم پروتئین در شرایط برون‌تنی برحسب میکروگرم تیروزین به ازای هر میلی‌گرم نمونه گزارش شد (Kattakdad et al. 2018).

تجزیه و تحلیل آماری

از آنجا که هدف از این پژوهش بررسی اثرات متقابل بین دما و رطوبت نبود و فقط مقایسه شاخص‌های اندازه‌گیری شده در انواع آرد بلوط اکستروژن شده در شرایط مختلف مورد نظر بود، از قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. کلیه محاسبات به کمک نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۲۰ و Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام شد. کنترل نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، کنترل همگنی واریانس‌ها با آزمون لون، مقایسه متغیرهای مورد مطالعه با آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۰/۰۵ انجام شد ($p < 0/05$).

نتایج

بر اساس نتایج جدول ۲، اکستروژن اثر معنی‌داری بر میزان خاکستر آرد بلوط نداشت ($p > 0/05$)، اما به‌طور معنی‌دار سبب کاهش میزان پروتئین خام و چربی خام در آرد بلوط شد ($p < 0/05$). در تیمارهای اکستروژن شده تفاوت معنی‌داری از لحاظ میزان پروتئین خام، چربی خام و خاکستر وجود نداشت.

طبق نتایج جدول ۳، اکستروژن به‌طور معنی‌دار سبب کاهش میزان کل ترکیبات فنولی و تانن‌های متراکم در آرد بلوط شد ($p < 0/05$)، اما اثر معنی‌داری بر میزان ترکیبات فنولی غیر تاننی در آرد بلوط نداشت ($p > 0/05$). در تیمارهای اکستروژن شده تفاوت معنی‌داری از لحاظ میزان کل ترکیبات فنولی، ترکیبات فنولی غیرتاننی و تانن‌های متراکم وجود نداشت.

محلول بافر، همگن ۱۰٪ توسط هاون چینی و به روش دستی به مدت ۱۰ دقیقه تهیه شد. سپس در ۱۴۰۰۰ g به مدت ۱۵ دقیقه در 4°C سانتریفیوژ شد. مایع رویی جمع‌آوری و به حجم‌های کوچک تقسیم، و تا زمان آزمایش هضم برون‌تنی، در 24°C - نگهداری شد (Khan and Ghosh, 2013).

قابلیت هضم کربوهیدرات

برای تعیین قابلیت هضم کربوهیدرات در شرایط برون‌تنی از بافر فسفات-نمکی و معرف دی‌نیتروسالیسیلیک‌اسید استفاده شد. مخلوط واکنش حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم از هر نمونه آرد بلوط، ۴۰ میلی‌لیتر بافر فسفات-نمکی و ۲۵ میکرولیتر عصاره آنزیمی در دمای اتاق (28°C) در تاریکی بر روی شیکر در ۲۰۰ دور در دقیقه به مدت یک ساعت گرمخانه‌گذاری شد. قبل از آزمایش هضم، ۱/۵ میلی‌لیتر از مخلوط به‌عنوان شاهد برداشته شد. محلولی از ۱/۵ میلی‌لیتر مخلوط هضم شده به مدت یک ساعت یا مخلوط هضم نشده (شاهد) و ۱/۵ میلی‌لیتر معرف دی‌نیتروسالیسیلیک‌اسید در حمام آب جوش به مدت ۵ دقیقه قرار گرفته و سپس تا دمای اتاق خنک شد. میزان جذب نور در ۵۴۰ نانومتر اندازه‌گیری و سپس با منحنی استاندارد مالتوز مقایسه شد. قابلیت هضم کربوهیدرات در شرایط برون‌تنی برحسب میلی‌گرم مالتوز به ازای هر میلی‌گرم نمونه گزارش شد (Kattakdad et al. 2018).

قابلیت هضم پروتئین

قابلیت هضم پروتئین در شرایط برون‌تنی با سنجش نین‌هیدرین تعیین شد. مخلوط واکنش حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم از هر نمونه آرد بلوط، ۴۰ میلی‌لیتر بافر فسفات-نمکی ۰/۱ مولار و ۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی در دمای اتاق (28°C) در تاریکی بر روی شیکر در ۲۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۲ ساعت گرمخانه‌گذاری شد. قبل از آزمایش هضم، ۱/۵ میلی‌لیتر از مخلوط به‌عنوان شاهد برداشته شد. محلولی از ۱/۵ میلی‌لیتر مخلوط هضم شده به مدت ۱۲ ساعت یا مخلوط هضم نشده (شاهد) و ۱/۵ میلی‌لیتر معرف کادمیوم نین‌هیدرین به مدت ۵ دقیقه در 84°C و سپس، به‌طور

جدول ۲ سنجش بیوشیمیایی آرد بلوط بر اساس ماده خشک (میانگین \pm انحراف استاندارد).

تیما	پروتئین خام (%)	چربی خام (%)	خاکستر (%)
۱	۴/۴۱ \pm ۰/۱۶ ^a	۷/۸۹ \pm ۰/۳۳ ^a	۱/۹۸ \pm ۰/۰۳
۲	۴/۵۶ \pm ۰/۰۸ ^a	۶/۴۸ \pm ۰/۲۷ ^a	۱/۹۶ \pm ۰/۰۲
۳	۴/۴۸ \pm ۰/۱۰ ^a	۷/۲۷ \pm ۰/۱۳ ^a	۱/۹۷ \pm ۰/۰۳
۴	۴/۷۶ \pm ۰/۰۶ ^b	۹/۹۸ \pm ۰/۱۷ ^b	۱/۹۳ \pm ۰/۰۲

در هر ستون، حروف متفاوت بیانگر وجود تفاوت معنی دار است ($p < 0.05$).

جدول ۳ ترکیبات فنولی آرد بلوط بر اساس ماده خشک (میانگین \pm انحراف استاندارد).

تیما	کل ترکیبات فنولی (%)	ترکیبات فنولی غیر تاننی (%)	تانن‌های متراکم (%)
۱	۱۲/۸۹ \pm ۰/۵۶ ^a	۰/۲۹ \pm ۰/۰۴	۶/۰۶ \pm ۰/۱۲
۲	۱۲/۴۲ \pm ۰/۵۳ ^a	۰/۳۴ \pm ۰/۰۳	۵/۹۹ \pm ۰/۲۴
۳	۱۲/۱۶ \pm ۰/۱۹ ^a	۰/۳۴ \pm ۰/۰۴	۵/۷۸ \pm ۰/۱۳
۴	۱۴/۷۱ \pm ۰/۵۰ ^b	۰/۳۵ \pm ۰/۰۵	۶/۶۰ \pm ۰/۲۴

در هر ستون، حروف متفاوت بیانگر وجود تفاوت معنی دار است ($p < 0.05$).

مطابق نتایج جدول ۴، بیشترین قابلیت هضم پروتئین به‌طور معنی‌دار در تیمار ۲ با دمای بالاتر (135°C) و رطوبت کمتر (۱۰۰ میلی‌لیتر آب معمولی به ازای هر کیلوگرم آرد) مشاهده شد. صرف نظر از دما، رطوبت بیشتر (۲۰۰ میلی‌لیتر آب معمولی به ازای هر کیلوگرم آرد در تیمارهای ۱ و ۳)، اثر منفی معنی‌دار بر قابلیت هضم پروتئین داشت.

بر اساس نتایج جدول ۴، اکستروژن کردن آرد بلوط سبب افزایش معنی‌دار قابلیت هضم کربوهیدرات شد، به‌طوری‌که بالاترین قابلیت هضم کربوهیدرات در تیمارهای ۱ و ۲ مشاهده شد ($p < 0.05$). به‌عبارت دیگر، قابلیت هضم کربوهیدرات آرد بلوط در دمای بالاتر (135°C) در قالب تیمارهای ۱ و ۲ به‌طور معنی‌دار بیش از مقدار آن در دمای پایین‌تر (100°C در تیمار ۳) بود.

جدول ۴ قابلیت هضم کربوهیدرات و پروتئین آرد بلوط در شرایط برون تنی (میانگین \pm انحراف استاندارد).

تیما	قابلیت هضم کربوهیدرات (میکروگرم مالتوز به ازای هر میلی‌گرم نمونه)	قابلیت هضم پروتئین (میکروگرم تیروزین به ازای هر میلی‌گرم نمونه)
۱	۱۲۵/۸۸ \pm ۱/۴۷ ^c	۰/۵۶ \pm ۰/۰۳ ^a
۲	۱۲۸/۰۳ \pm ۳/۶۵ ^c	۰/۷۸ \pm ۰/۰۴ ^d
۳	۷۷/۷۲ \pm ۴/۰ ^b	۰/۷۰ \pm ۰/۰۱ ^c
۴	۲۷/۷۳ \pm ۱/۴۷ ^a	۰/۶۲ \pm ۰/۰۴ ^b

در هر ستون، حروف متفاوت بیانگر وجود تفاوت معنی دار است ($p < 0.05$).

بحث

الک که در این مطالعه مشاهده شد، از آرد بلوط حذف شده باشد.

در مطالعات متعدد، اثر اکستروژن بر کاهش سطوح عوامل ضد تغذیه‌ای از جمله پلی‌فنول‌ها در مواد غذایی خام و عمل‌آوری شده مختلف به اثبات رسیده است (Nikmaram et al. 2017; Vidal et al. 2017; Konovalenko et al. 2022). در تأیید پژوهش‌های ذکر شده، در مطالعه حاضر هم فرآیند اکستروژن به‌طور معنی‌دار سبب کاهش میزان کل ترکیبات فنولی و تانن‌های متراکم در آرد بلوط شد. دمای بالای مورد استفاده در اکستروژن از طریق فرآیند دکربوکسیله کردن سبب تجزیه ترکیبات فنولی و کاهش مقدار و پایداری ترکیبات فنولی می‌شود. علاوه بر این، محتوای رطوبتی موجود در غذاها هم اثر منفی بر محتوای فنولی فرآورده‌های اکستروژن شده دارد (Cotacallapa-Sucapuca et al. 2021). کاهش تانن‌ها ممکن است در اثر تغییر ساختار مولکولی آن‌ها یا تغییرات در میزان فعالیت شیمیایی آن‌ها در حین فرآیند اکستروژن و همچنین، به دلیل افزایش پلی‌مریزه شدن در زمان اکستروژن که می‌تواند سبب کاهش استخراج‌پذیری آنها شود، اتفاق بیفتد (Patterson et al. 2017).

در این پژوهش، اکستروژن کردن آرد بلوط سبب افزایش معنی‌دار قابلیت هضم کربوهیدرات شد و مقدار آن در دمای بالاتر (135°C) به‌طور معنی‌دار بیش از مقدار آن در دمای پایین‌تر (100°C) بود. ثابت شده است که تیمار کردن حرارتی بر قابلیت هضم کربوهیدرات‌ها مؤثر است. بیشتر گونه‌ها نشاسته پخته را بهتر از نشاسته خام مصرف می‌کنند. در گربه ماهی کانالی نشاسته پخته ۱/۱۲٪ بیش از نشاسته خام قابل هضم است. در ماهی کپور قابلیت هضم نشاسته سیب زمینی پخته شده و نشاسته سیب زمینی خام به ترتیب ۸۵ و ۵۵٪ گزارش شده است (Wilson, 1994). یکی از دلایل این امر، کاهش عوامل ضد تغذیه‌ای است (Khan and Ghosh, 2013) به طوری که در مطالعه حاضر هم اثر معنی‌دار اکستروژن بر کاهش ترکیبات فنولی که از عوامل بازدارنده آمیلاز هستند، به اثبات رسید. از طرف دیگر، تحقیقات نشان داده است که اکستروژن کردن خوراک سبب افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های گوارشی در برخی از

تحقیقات معدودی در مورد اثرات توأم فرآیندهای حرارتی و رطوبتی بر پلت‌ها انجام شده است (مظاهری تهرانی و کرامت امیری، ۱۳۹۵). در پژوهش حاضر، اکستروژن به‌طور معنی‌دار سبب کاهش میزان چربی خام در آرد بلوط شد. اکستروژن کردن مخلوط‌های آردی متشکل از نسبت‌های مختلف برنج، نخود و خرنوب (Arribas et al. 2017) و انواع حبوبات شامل نخود معمولی (chickpea)، نخود آماریلو (Amarillo pea)، نخود دان (Dun pea)، عدس و باقلا (Cargo-Froom et al. 2023) هم سبب کاهش میزان چربی خام شده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌سو می‌باشد. در توجیه این مطلب محققان بیان داشته‌اند که در حین اکستروژن، لیپیدها با نشاسته خصوصاً آمیلوز و پروتئین‌ها تشکیل مجموعه‌هایی را می‌دهند که در برابر بعضی از حلال‌های استخراج چربی (نظیر پترولیوم اتر و هگزان) مقاوم هستند. این مسأله سبب ناپدید شدن ظاهری چربی‌ها در حین فرآیند استخراج آنها می‌شود (Alam et al. 2016).

در مطالعه حاضر، اکستروژن به‌طور معنی‌دار سبب کاهش میزان پروتئین خام شد. درباره اثر اکستروژن بر میزان پروتئین خام در مواد اولیه مختلف گزارش‌های متنوعی وجود دارد. در برخی موارد عدم تغییر در میزان پروتئین خام، در مواردی افزایش و گاهی هم کاهش مشاهده شده است. اکستروژن اثر معنی‌داری بر میزان پروتئین خام در نخود معمولی و باقلا نداشت، اما سبب افزایش معنی‌دار پروتئین خام در نخود آماریلو، نخود دان و عدس و کاهش معنی‌دار آن در کنجاله سویا شد (Cargo-Froom et al. 2023). در صورتی که اکستروژن کردن آرد سویا سبب کاهش میزان پروتئین خام آن نشد (Dust et al. 2004). در مجموع، به نظر می‌رسد علاوه بر نوع ماده اولیه و شرایط اکستروژن، فرآیندهای جانبی قبل یا بعد از اکستروژن هم بر نتیجه مشاهده شده مؤثر بوده‌اند (Cargo-Froom et al. 2023). در پژوهش حاضر، بلوط اکستروژن شده قبل از انجام سنجش شیمیایی آسیاب، و سپس با الک ۲۵۰ میکرون غربال شد. ممکن است بخشی از پروتئین بلوط اکستروژن شده به دلیل تشکیل دانه‌های درشت‌تر و عدم امکان عبور از

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی سازمان صنایع کوچک و شهرک‌های صنعتی ایران انجام شده است. از مدیریت محترم شرکت دانش بنیان آتیه سازان نگین فراز جهت همکاری در انجام فرآیند اکستروژن نهایت تشکر به عمل می‌آید.

منابع

طالبیان نیک، س.س.، علمداری، ح. ۱۳۹۹. افزودن میوه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) به جیره غذایی ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) Linnaeus, 1758 و اثرات آن بر عملکرد رشد، ترکیبات لاشه و مقاومت در برابر تنش شوری. مجله علمی شیلات ایران ۲۹: ۹۱-۸۳.

مظاهری تهرانی، ز.، کرامت امیری، ع. ۱۳۹۵. بررسی خصوصیات فیزیکی پلت اکستروژن و فشرده ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و کپور معمولی (*Cyprinus carpio*). محیط زیست جانوری ۸: ۱۷۱-۱۷۸.

نارویی، م.، علمداری، ح. ۱۴۰۱. تاثیر تغذیه با میوه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) خیسانده و تخمیر شده بر میزان رشد، مصرف غذا و ترکیب لاشه کپور معمولی (*Cyprinus carpio*). مجله علمی شیلات ایران ۳۱: ۴۷-۵۶.

ندری، آ.، علمداری، ح. ۱۴۰۱. اثرات خیساندن میوه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در آب بر حذف ترکیبات فنولی و قابلیت هضم آن برای کپور معمولی (*Cyprinus carpio*). تغذیه آبزیان ۸: ۶۶-۵۷.

ماهیان (Venou et al. 2009; Li et al. 2018) و خرچنگ دراز آب شیرین (Wan et al. 2022) می‌شود. ضمناً دمای مناسب، سبب افزایش ژلاتینه شدن نشاسته و در نتیجه، بهبود قابلیت هضم می‌شود (Kaddour, 2019) که احتمالاً به همین دلیل قابلیت هضم کربوهیدرات در تیمارهای ۱ و ۲ (135°C) به‌طور معنی‌دار بیش از تیمار ۳ (100°C) بوده است.

بیشترین قابلیت هضم پروتئین به‌طور معنی‌دار در تیمار ۲ با رطوبت کمتر (۱۰۰ میلی‌لیتر آب معمولی به ازای هر کیلوگرم آرد) مشاهده شد، اما رطوبت بیشتر (۲۰۰ میلی‌لیتر آب معمولی به ازای هر کیلوگرم آرد در تیمارهای ۱ و ۳)، اثر منفی معنی‌داری بر قابلیت هضم پروتئین داشت. رطوبت یکی از فراسنجه‌های مهم در فرآیند اکستروژن است، به‌طوری‌که افزایش رطوبت سبب کاهش اثر دما بر ماده می‌شود (Badrie and Mellows, 1991). برای اطمینان از اینکه ترکیبات غذایی ارزشمند در دانه‌های خوراکی به هدر نروند، باید متغیرهای فرآیند اکستروژن به‌خوبی انتخاب شوند (Nikmaram et al. 2017). از طرف دیگر، ممکن است اثرات فرآیندهای تولید خوراک بسته به گونه جانوری مورد مطالعه بسیار متغیر باشد (Wan et al. 2022).

در مجموع، بر اساس حذف ترکیبات فنولی و افزایش قابلیت هضم پروتئین و کربوهیدرات، تیمار ۲ (دمای 135°C و رطوبت ۱۰۰ میلی‌لیتر آب به ازای هر کیلوگرم آرد) بهترین تیمار برای اکستروژن کردن آرد بلوط برای کپور معمولی شناخته شد.

Alam, M.S., Kaur, J., Khaira, H., Gupta, K. 2016. Extrusion and extruded products: changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56: 445-473.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. *Official Methods of Analysis* 17th ed. Washington D.C. 2200 p.

Arribasa, C., Cabellosa, B., Sancheza, C., Cuadradoa, C., Guillamonb, E., Pedrosa, M.M. 2017. Impact of extrusion on nutritional composition, dietary fiber and in vitro digestibility of gluten-free snacks based on rice, pea and carob flours blends. *Food and Function* 8: 3654-3663.

Badrie N., Mellows W. 1991. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. *Journal of Food Science* 56: 1334-1337.

- Cargo-Froom, C.L., Newkirk, R.W., Marinangeli, C.P.F., Shoveller, A.K., Ai, Y., Columbus, D.A. 2023. The effects of extrusion on nutrient content of Canadian pulses with a focus on protein and amino acids. *Canadian Journal of Animal Science* 103: 44-58.
- Cotacallapa-Sucapuca, M., Vega, E.N., Maieves, H.A., Berrios, J.D.J., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Camara, M. 2021. Extrusion process as an alternative to improve pulses products consumption. A review. *Foods* 10: 1-23.
- Cousin, M., Cuzon, G., Guillaume, J., AQUACOP. 1996. Digestibility of starch in *Penaeus vannamei*: in vivo and in vitro study on eight samples of various origin. *Aquaculture* 140: 361-372.
- Dust, J.M., Gajda, A.M., Flickinger, E.A., Burkhalter, T.M., Merchen, N.R., Fahey, G.C.J. 2004. Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro digestion of select food ingredients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 2989-2996.
- Kaddour, O. 2019. The Effect of extruder mechanical shear and temperature on aquatic feed pellets micro structure and feed quality. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering* 10: 613-625.
- Kattakdad, S., Jintataporn, O., Worawattanamateekul, W., Chumkam, S. 2018. pH characterization of digestive enzyme and in vitro digestibility of red bee shrimp *Caridina cantonensis* (Decapoda: Atyidae). *Journal of Aquaculture Research and Development* 9: 1-6.
- Khan, A., Ghosh, K. 2013. Phytic acid-induced inhibition of digestive protease and α -amylase in three Indian major carps: An in vitro study. *Journal of the World Aquaculture Society* 44: 853-859.
- Konovalenko, L.Y., Nemenushchaya, L.A., Shchegolikhina, T.A. 2022. Techniques for up-to-date aquaculture compound feed production facilities. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 954: 10.1088/1755-1315/954/1/012038.
- Krupa, U. 2008. Main nutritional and antinutritional compounds of bean seeds—a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 58: 149-155.
- Lemos, D., Lawrence, A.L., Siccardi, A.J. 2009. Prediction of apparent protein digestibility of ingredients and diets by in vitro pH-stat degree of protein hydrolysis with species-specific enzymes for juvenile Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 295: 89-98.
- Lewis, M.J., Francis, D.S., Blyth, D., Moyano, F.J., Smullen, R.P., Turchini, G. M., Booth, M.A. 2019. A comparison of in-vivo and in-vitro methods for assessing the digestibility of poultry by-product meals using barramundi (*Lates calcarifer*); impacts of cooking temperature and raw material freshness. *Aquaculture* 498: 187-200.
- Li, X.Q., Xu, H.B., Sun, W.T., Xu, X.Y., Xu, Z., Leng, X.J. 2018. Grass carp fed a fishmeal-free extruded diet showed higher weight gain and nutrient utilization than those fed a pelleted diet at various feeding rates. *Aquaculture* 493: 283-288.
- Makkar, H.P.S. 2003. Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage. A Laboratory Manual. Springer Dordrecht, 102p.
- Mandal, S., Ghosh, k. 2010. Inhibitory effect of Pistia tannin on digestive enzymes of Indian major carps: an in vitro study. *Fish Physiology and Biochemistry* 36: 1171-1180.
- Montoya-Martinez, C., Nolasco-Soria, H., Vega-Villasante, F., Carrillo-Farnes, O., Alvarez-Gonzalez, A., Civera-Cerecedo, R. 2018. In vitro protein digestibility of animal, vegetal and microbial feed ingredients for *Macrobrachium tenellum*.

- Latin American Journal of Aquatic Research 46: 495-501.
- Nadeem, M., Anjum, F. M., Amir, R.M., Khan, M.R., Hussain, S., Javed, M.S. 2010. An overview of antinutritional factors in cereal grains with special reference to wheat-a review. Pakistan Journal of Food Sciences 20: 54-61.
- Nikmaram, N., Leong, S.Y., Koubaa, M., Zhu, Z., Barba, F.J., Greiner, R., Oey, I., Roohinejad, S. 2017. Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. Food Control 79: 62-73.
- Patterson, C.A., Curran, J., Der, T. 2017. Effect of processing on antinutrient compounds in pulses. Cereal Chemistry Journal 94: 2-10.
- Thiex, N., Novotny, L., Crawford, A. 2012. Determination of ash in animal feed: AOAC official method 942.05 revisited. Journal of AOAC International 9: 1392-1397.
- Venou, B., Alexis, M.N., Fountoulaki, E., Haralabous, J. 2009. Performance factors, body composition and digestion characteristics of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed pelleted or extruded diets. Aquaculture Nutrition 15: 390-401.
- Vidal, L.V.O., Xavier, T.O., Moura, L.B., Michelato, M., Martins, E.N., Furuya, W.M. 2017. Apparent digestibility of wheat and coproducts in extruded diets for the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Revista Brasileira de Saude e Producao Animal 18: 479-491.
- Wan, J., Xi, Q., Tang, J., Liu, T., Liu, C., Li, H., Gu, X., Shen, M., Zhang, M., Fang, J., Meng, X. 2022. Effects of pelleted and extruded feed on growth performance, intestinal histology and microbiota of juvenile red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). Animals 12: 2252.
- Wilson, R.P. 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. Aquaculture 124: 67-80.
- Zarei, M. 2013. Effects of using radiation processing in nutrition science and their restriction: A review. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 1: 222-231.