



Investigating the application of two industrial and designed device pelletizing machines on the ability to produce pellets from green pistachio shell residues and their antinutritional compounds

Kazem Laei¹ | Hossein Hajiagha Alizadeh² | Mohammad Hossein Kianmehr³

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: k.laei@agr.basu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: h-alizade@basu.ac.ir
3. Department of Department of Agrotechnology, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: kianmehr@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 22 February 2023
Received in revised form
28 August 2023
Accepted 10 July 2023
Published online 12 October 2023

ABSTRACT

Introduction: Almost all plants growing in tropical conditions contain phenolic compounds (tannins), which is essential to their survival. However, these inhibitory substances can also adversely affect livestock nutrition and performance. Moreover, phenolic and tannin compounds appear to be the most significant limiting factor in the intake of pistachio residues. This study investigated the pelletization ability of green pistachio shell residues, its effect on anti-nutrients, and several physical and mechanical properties of pistachio shell pellets produced with an industrial and designed device (custom-made) pelletizing machine (equipped with an extruder).

Materials and methods: In this experiment, the designed device was utilized with pistachio green shell residues containing 15% moisture, 1 mm particle size, and a temperature of 65 °C. To improve adhesion and reduce antinutritional substances of pistachio residues, bentonite, wheat, urea, and molasses were used at 3, 6, 4, and 5 kg per 100 kg of pistachio residues, respectively. The custom-made pelletizing machine with an extruder comprised three rollers, a die (mold) with an 8-mm-diameter hole, and a material temperature control system. The industrial pelletizing machine comprised two rollers and a die (mold) with a 10-mm-diameter hole. The density, maximum breaking force, breaking energy, phenolic compounds, tannin, acid detergent insoluble fiber (ADF), and neutral detergent insoluble fiber (NDF) of the pellets produced were determined. Furthermore, the maximum breaking force and breaking energy of the pellets produced by the machine for testing biological materials were measured. The Student's t-test was used to analyze statistically the parameters measured in the pellets produced by two Peltzen machines.

Results and discussion: The research results showed that the density of pellets produced in the industrial machine was significantly higher than in the custom-made machine ($P<0.05$). Conversely, the breaking energy of the produced pellets in the custom-made machine was higher than in the industrial device ($P<0.05$). The pellets produced by the designed machine had higher fracture energy than those produced by the industrial machine ($P<0.05$). The amount of phenolic compounds, tannin, ADF, and NDF for the designed pelletizer was 19%, 26%, 12%, and 10%, respectively, less than that of the industrial pelletizer ($P<0.05$). In other words, the pellets' phenolic compounds, tannins, NDF, and ADF levels were reduced by controlling the pellets' temperature and kneading. In general, it can be concluded that the designed device improves the quality and reduces antinutritional substances in the pellets of green pistachio shells.

Conclusion: Overall, the study demonstrates that using a device designed with an extruder and a temperature control system can enhance the quality and density of the produced pistachio green shell pellets while reducing their antinutritional substances. This also leads to an improvement in the palatability and digestibility of pistachio pellets. Moreover, this technology can be an economically feasible solution for the mass production of animal feed, which can be distributed to other regions of the country.

Keywords:

Antinutritional compounds
Pellet quality
Pelletizing machine design
Pistachio green shell processing

Cite this article: Laei, K., Haji Agha Alizadeh, H., & Kianmehr, M. H. (2023). Investigating the application of two industrial and designed device pelletizing machines on the ability to produce pellets from green pistachio shell residues and their antinutritional compounds. *Journal of Animal Production*, 25 (3), 343-356.
DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2023.355805.623733>





بررسی استفاده از دو دستگاه پلتزن صنعتی و طراحی شده بر قابلیت تولید پلت بقایای پوسته سبز پسته و ترکیبات ضد مغذی آن

کاظم لائی^۱ | حسین حاجی آقا علیزاده^۲ | محمدحسین کیان مهر^۳

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: k.laei@agr.basu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: h-alizade@basu.ac.ir
۳. گروه فنی کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: kianmehr@ut.ac

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

در مطالعه حاضر قابلیت پلت شدن بقایای پوسته سبز پسته و اثر آن بر مواد ضد مغذی و برخی خواص فیزیکی و مکانیکی پلت پوسته پسته با استفاده از دستگاه پلتزن صنعتی و دستگاه پلتزن طراحی شده با استفاده از بقایای پوسته سبز پسته با رطوبت ۱۵ درصد، اندازه ذرات یک میلی متر و از دمای ۶۵ درجه سانتی گراد در دستگاه طراحی شده بررسی شد. به منظور بهبود در چسبندگی و کاهش مواد ضد مغذی بقایای پسته، از بتونیت، گندم، اوره و ملاس به ترتیب سه، شش، چهار و پنج کیلوگرم به ازای ۱۰۰ کیلوگرم بقایای پسته استفاده شد. میزان چگالی، نیروی شکست ماکزیمم، انرژی شکست، ترکیبات فنولی، تانن، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) و فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF) پلت های تولیدی اندازه گیری شد. همچنین برای اندازه گیری خواص مکانیکی پلت های تولیدی از دستگاه آزمون مواد بیولوژیکی استفاده گردید. فراسنجه های اندازه گیری شده در پلت های تولیدی با استفاده از آزمون T-Student مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. نتایج پژوهش نشان داد که چگالی پلت های تولیدی در دستگاه پلتزن صنعتی بیش تر از دستگاه طراحی شده بود ($P \leq 0.05$). انرژی شکست پلت های تولیدی در دستگاه پلتزن طراحی شده بیش تر از دستگاه صنعتی بود ($P \leq 0.05$). میزان ترکیبات فنولی، تانن، ADF و NDF برای دستگاه پلتزن طراحی شده به ترتیب ۱۹، ۲۶، ۱۲ و ۱۰ درصد کم تر از دستگاه پلتزن صنعتی بود ($P \leq 0.05$). به طور کلی می توان نتیجه گرفت استفاده از دستگاه پلتزن طراحی شده موجب بهبود کیفیت و کاهش مواد ضد مغذی ای در پلت های پوسته سبز پسته تولیدی می شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰

کلیدواژه ها:

ترکیبات ضد مغذی

دستگاه پلتزن

فراوری پوسته سبز پسته

کیفیت پلت

استناد: لائی، کاظم؛ حاجی آقا علیزاده، حسین؛ و کیان مهر، محمدحسین (۱۴۰۲). بررسی استفاده از دو دستگاه پلتزن صنعتی و طراحی شده بر قابلیت تولید پلت بقایای پوسته سبز پسته و ترکیبات ضد مغذی آن. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۵ (۳)، ۳۴۳-۳۵۶.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2023.355805.623733>



۱- مقدمه

در صنعت دامپروری، پرورش گوسفند و گاو شیری ایران به دلایل مختلف اعم از کاهش هزینه‌های تولیدی یا عدم دسترسی به مواد خوراکی با کیفیت بالا، تمایل به استفاده از بقایای محصولات کشاورزی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. بقایای پوسته سبز پسته یکی از پسماندهای فیبری است که در کشور ما به‌طور انبوه تولید می‌شود. اگرچه استفاده از این بقایا در کشور رو به افزایش است و می‌تواند به مقدار زیادی جایگزین بخش علفهای شوند، اما با این وجود اطلاعات کمی در خصوص اثر استفاده از آن بر عملکرد دام وجود دارد (قاسمی، ۱۳۹۱). پوست سبز پسته با دارا بودن بیش از ۱۱ درصد پروتئین و ۵۵ درصد قندهای احیا می‌تواند به‌عنوان خوراکی مناسب برای دام مورد استفاده قرار گیرد (گل‌محمدی و رضوی، ۱۳۹۱). البته محدودیت استفاده از بقایای پسته به‌دلیل وجود ترکیبات فنولی (تان‌ها) می‌تواند باعث کاهش میزان مصرف و قابلیت هضم آن شوند (گل‌محمدی و رضوی، ۱۳۹۱). اگرچه در حال حاضر از روش سیلونموند بقایای پوست پسته استفاده می‌شود (شاکری و همکاری، ۱۳۹۵)، اما با توجه به چالش‌هایی (چگالی حجمی کم، تولید گاز متان، فساد، مشکلات ذخیره‌سازی، کوتاه بودن مدت زمان ماندگاری و هزینه حمل‌ونقل) که در روش سیلو برای نگهداری بقایای پوسته سبز پسته وجود دارد، کاربرد روش سیلو در نگهداری این محصول فراگیر نمی‌باشد. بنابراین، بهتر است از روش‌های دیگری مانند خشک‌کردن، بسته‌بندی، استفاده از فناوری‌های نگهداری و حفظ کیفیت، یا تبدیل بقایای پوسته سبز پسته به پلت خوراک دام استفاده گردد تا کیفیت و ماندگاری این محصول حفظ شود. از جمله موانع به‌کاربردن ضایعات کشاورزی به‌عنوان خوراک دام، فساد به‌دلیل محتوای رطوبتی بالا، چگالی کم، حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی این ضایعات به‌دلیل هزینه بالای‌ما می‌باشد (Tumuluru *et al.*, 2011). وجود میکروب‌ها و باکتری‌های مضر در مواد خام اولیه و عدم امکان استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات انتقال از جمله چالش‌های استفاده از ضایعات کشاورزی به شکل خام آنها می‌باشد (Terrill *et al.*, 2007). به‌منظور حل این مشکلات، می‌توان با متراکم‌کردن این مواد طی فرایند پلت‌سازی، چگالی حجمی آن‌ها را بالا برد، هم‌چنین با اعمال فرایندهایی قبل از پلت‌سازی، مواد فاسد و کپک زده موجود در این مواد را از بین برد. از دیگر مزایای استفاده از پلت‌کردن، کاهش آلودگی‌های محیطی به‌دلیل نداشتن ذرات ریز، گردوغبار و افزایش ارزش غذایی به‌دلیل فشرده شدن است (Supriya *et al.*, 2012).

۲- پیشینه پژوهش

تأمین خوراک دام و طیور بیش از ۵۰ تا ۶۰ درصد از هزینه‌های تولید گوشت را به خود اختصاص می‌دهد که استفاده از فناوری‌های نوین در تولید خوراک سبب بهبود بازدهی دام می‌شود، اما اگر این فرایندها به‌صورت بهینه انجام نشوند سبب افزایش قیمت تمام شده محصول نهایی می‌گردند (Abdollahi *et al.*, 2013). در سال‌های اخیر استفاده از پسماند محصولات کشاورزی در تغذیه حیوانات، راه موفقی برای کاهش هزینه‌های خوراک، کاهش آلودگی محیط زیست و هم‌چنین بازگشت سریع و کم‌هزینه این مواد به چرخه طبیعت بوده است (Vasta *et al.*, 2008). با توجه به این‌که در سال ۱۳۹۲ میزان تولید پسته در ایران ۴۷۲ هزار تن بوده است (FAO, 2015)، مقدار بقایای حاصل از برداشت پسته در ایران بیش از ۷۵۵ هزار تن تخمین زده می‌شود (تقوی و همکاران، ۱۳۹۹). بقایای پسته شامل پوسته نرم رویی پسته، ساقه خوشه، برگ و مقادیر اندکی پوسته‌های پوک و نیمه مغز و پوسته چوبی می‌باشد (شاکری و همکاری، ۱۳۹۵). نتایج پژوهش‌های متعدد نشان می‌دهد که بقایای پسته از ارزش قابل‌توجهی برخوردار است و دارای پتانسیل مناسبی برای استفاده به‌صورت خشک و سیلوشده در جیره نشخوارکنندگان می‌باشد (شاکری و همکاری، ۱۳۹۵؛ رضایی نیا، ۱۳۸۸؛ Ghasemi *et al.*, 2012a). اثرات محدودیت تانن پوسته سبز پسته را می‌توان به کاهش استفاده از مواد مغذی، به ویژه پروتئین، کاهش رشد و عملکرد، کاهش خوش‌خوراکی و

مصرف خوراک و کاهش در فعالیت آنزیم‌های گوارشی ارتباط داد (Huang *et al.*, 2018). در کنار اثرات ضد تغذیه‌ای در غلظت زیاد، اثرات مثبت تانن متراکم در غلظت بهینه شامل بهبود افزایش وزن زنده، جلوگیری از نفخ، افزایش تولید شیر، افزایش نرخ تخمک‌ریزی و درصد بره‌زایی، کاهش نماتوده‌های روده‌ای و کاهش تولید نیتروژن آمونیاکی و متان در شکمبه است (Huang *et al.*, 2018). طی سال‌های اخیر بکار بردن روش‌های مختلفی برای غیرفعال کردن ترکیبات فنولی مواد خوراکی و بهبود ارزش غذایی بقایای پوسته پسته انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به نگهداری بی‌هوازی، خشک کردن، اضافه کردن رطوبت، خاکستر چوب و استفاده از مواد شیمیایی (اوره، پلی‌اتیلن‌گلیکول و ...) اشاره کرد (Ghasemi *et al.*, 2012a).

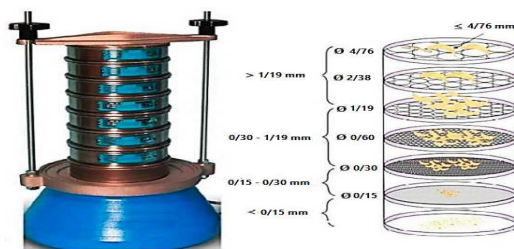
فرایند پلت‌سازی یک روش مناسب و اقتصادی برای تولید خوراک دام از مواد زیست توده است. فشرده‌سازی دارای مزایای زیادی از جمله افزایش بازده حمل‌ونقل، کنترل توزیع اندازه ذرات برای دستیابی به شکل و چگالی یکنواخت، امکان ایجاد جیره غذایی با ترکیب مواد اولیه مناسب با یکدیگر، ایجاد شکل یکنواخت مواد جهت استفاده بهینه از سیستم‌های تغذیه، کاهش گردوغبار در محیط و کاهش خطر آتش‌سوزی این مواد است (Adapa *et al.*, 2007). طی مطالعه‌ای (Haji Agha Alizadeh *et al.*, 2023) اثرات رطوبت، دما و فشار تراکم بر قابلیت فشرده‌سازی پلت‌های خوراک دام تولیدشده از بقایای پوسته سبز پسته توسط دستگاه پلت‌زن هیدرولیکی (آزمایشگاهی) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد پلت‌های تولیدی دارای چگالی، انرژی شکست و چقرمگی خوبی برخوردار هستند که فرایند پلت‌سازی را به گزینه‌ای مناسب برای کاهش حجم، هزینه‌های حمل‌ونقل و تولید خوراک دام تبدیل می‌کند. استفاده از علفه پلت‌شده سبب افزایش عملکرد دام‌ها به دلایل مختلفی از جمله افزایش هضم‌پذیری، افزایش اشتها و کنترل انگل‌های داخلی آن‌ها می‌شود (Terrill *et al.*, 2007).

مطالعات محدودی در زمینه ارتباط تجهیزات و دستگاه‌های پلت‌زن با تولید پلت خوراک دام با کیفیت و تأثیر آن‌ها بر کاهش مواد ضدغذایی و مطابق با پسماندها انجام شده است. با این حال، طراحی، ساخت و بهینه‌سازی دستگاه پلت‌زن مجهز به اکسترودر (ورزدهنده) و دمای کنترل‌شده، می‌توان راه‌حلی مناسب برای چالش‌های مربوط به تغذیه دام با پوسته سبز پسته فراهم کرد. این دستگاه با توجه به رفتارهای رئولوژیکی بقایای پوسته سبز پسته، قادر به تولید پلت خوراک دام با کیفیت و متناسب با این پسماند است.

۳- روش‌شناسی پژوهش

با توجه به این که شهرستان دامغان از استان سمنان یکی از شهرهای کشور در تولید پسته می‌باشد مواد اولیه تهیه گردید. مواد جمع‌آوری شده به مدت دو هفته در فضای آزاد نگهداری شده تا رطوبت اولیه آن‌ها کاهش یابد. سپس بقایای پوسته سبز پسته به منظور فرآوری و تولید پلت به آزمایشگاه گروه فنی کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی (پردیس ابوریحان)، دانشگاه تهران انتقال داده شد.

بقایای پسته تهیه‌شده به‌طور متوسط شامل ۶۲ درصد پوسته سبز، ۲۶ درصد خوشه، ۱۱ درصد برگ، یک درصد مغز و پوسته چوبی بود. به‌منظور کاهش اندازه ذرات به میانگین هندسی یک میلی‌متر (مش ۳۰) از یک آسیاب چکشی استفاده شد. سپس برای اندازه‌گیری میانگین هندسی از دستگاه الک شیکر برقی آزمایشگاهی (مدل، KG 531، ایران) استفاده گردید. الک‌ها در دستگاه شیکر با اندازه سوراخ‌های بزرگ به کوچک روی هم قرار گرفتند (شکل ۱). در ابتدا ۱۰۰ گرم پوسته سبز پسته روی بالاترین الک ریخته شد و دستگاه روشن گردید. پس از لرزش الک‌ها به مدت ۳۰ ثانیه، مقدار پوسته سبز پسته باقی‌مانده در بالای هر کدام از الک‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت (۰/۰۱ گرم) اندازه‌گیری و میانگین هندسی طول ذرات با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (ASAE, 2006).



شکل ۱. الک شیکر برقی برای تعیین میانگین هندسی طول ذرات

$$d_{gw} = \log^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (w_i \log \bar{d}_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه، d_{gw} میانگین هندسی طول ذرات (میلی‌متر)؛ w_i وزن روی الک i ام (گرم)؛ n تعداد الک‌ها به‌علاوه یک و \bar{d}_i اندازه سوراخ الک i ام (میلی‌متر) است.

به‌منظور بهبود در چسبندگی و کاهش مواد ضد‌مغذی پوسته سبز پسته، از بنتونیت، گندم، اوره و ملاس به‌ترتیب سه، شش، چهار و پنج کیلوگرم به‌ازای ۱۰۰ کیلوگرم بقایای پسته استفاده شد.

جهت اندازه‌گیری میزان رطوبت اولیه از روش استاندارد توصیه شده استفاده شد (AOAC, 2000). در ابتدا میزان رطوبت اولیه پوسته پسته تعیین گردید و سپس رطوبت آن براساس ۱۵ درصد استاندارد شد. برای حصول سطوح رطوبت مذکور میزان آب موردنیاز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید و آب موردنیاز (مقطر) با استفاده از آبپاش به پوسته سبز پسته اضافه شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در کیسه‌های پلاستیکی زیپ کیپ درون یخچال نگهداری شدند تا رطوبت به‌طور یکنواخت در نمونه‌های توزیع شود.

$$m_w = \frac{m_i (M_{wf} - M_{wi})}{1 - M_{wf}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه، m_w وزن آب اضافه‌شده (گرم)؛ m_i جرم اولیه پوسته سبز پسته بر مبنای تر (گرم)؛ M_{wf} رطوبت نهایی پلت بر مبنای تر (درصد)؛ M_{wi} رطوبت اولیه پوسته سبز پسته بر مبنای تر (درصد) است.

به‌منظور تعیین چگالی توده، پوسته سبز پسته آسیاب‌شده در داخل یک ظرف با ابعاد مشخص تا حد پرشدن آن ریخته شد. سپس مقادیر اضافه ماده خوراکی که از ظرف مذکور سرریز می‌شود را به‌وسیله یک خط‌کش با حرکت زیگزاگی بر روی دهنه ظرف، از آن تخلیه شده تا یک ظرف کاملاً پر و بدون فشردگی اولیه از مواد حاصل شود. با درنظرگرفتن ابعاد ظرف، حجم ظرف محاسبه گردید و جرم مواد داخل ظرف نیز با استفاده از ترازوی دیجیتال (مدل، LUTRON GM-300P، آلمان) با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد، مقدار چگالی توده از رابطه (۳) برای بقایای پسته ۴۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد.

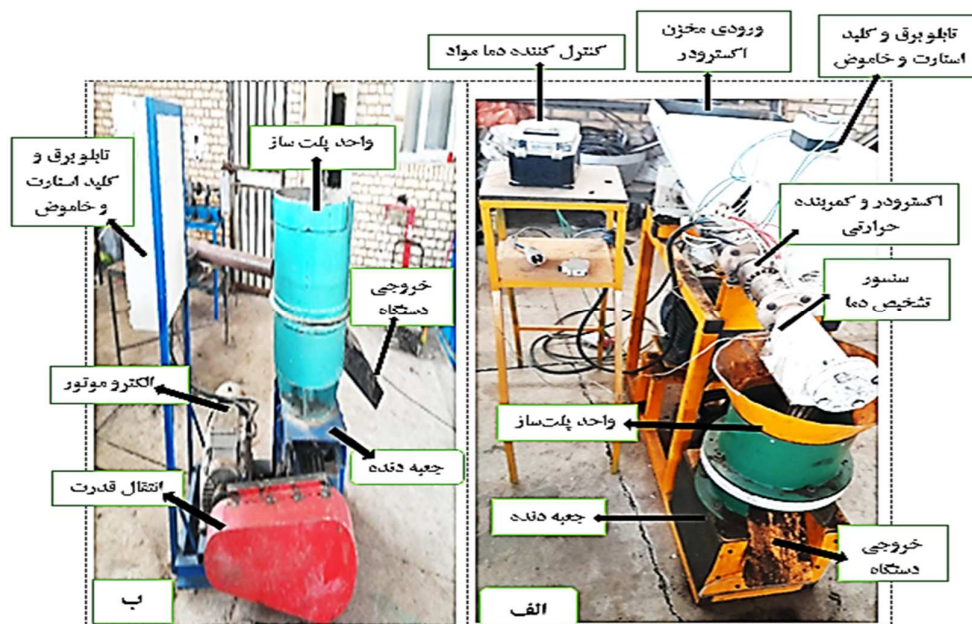
$$p = \frac{m}{v} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، p برابر چگالی توده نمونه (کیلوگرم بر مترمکعب)؛ m جرم نمونه (کیلو گرم) و v حجم نمونه (مترمکعب) است.

برای تولید پلت‌ها با استفاده از دستگاه پلتزن پوسته سبز پسته (طراحی‌شده)، ابتدا مخلوط خوراک دام حاصل از پوسته سبز پسته آماده شد و سپس داخل مخزن اکسترودر ریخته می‌شود (شکل ۲- الف). این دستگاه مجهز به پنج عدد

کمر بند حرارتی از نوع سرامیکی است که توسط یک سنسور دما (K) نصب شده در خروجی مواد از اکسترودر به مخزن ورودی دستگاه پلتزن، دمای ۶۵ درجه سانتی گراد را برای مواد نشان داده و دما را کنترل می کند. مواد داخل اکسترودر با چرخش پیچ ورزدهنده، از مخزن به سمت خروجی انتقال می یابند. در طی این فرایند، مواد به خمیری یکنواخت تبدیل شده و به داخل مخزن دستگاه پلتزن هدایت می گردد. با ورود پیوست مواد خمیری به دستگاه پلتزن، به طور هم زمان سه عدد غلتک مخروطی شکل شروع به دوران می کنند تا یک لایه از ماده خوراکی بر روی سطح دای (قالب) ثابت با قطر سوراخ های هشت میلی متر ایجاد شود. با هر بار عبور غلتک ها (تکرار این سیکل)، مواد بیش تری داخل سوراخ های دای متراکم و به شکل پلت های استوانه ای هم قطر با سوراخ های دای از آن خارج می شوند و در نهایت با تغییر موقعیت تغیه برش در زیر دای، پلت های تولید شده را با طول دلخواه ایجاد می کند.

فرایند تولید پلت با دستگاه پلتزن صنعتی با آماده سازی مخلوط خوراک دام حاوی بقایای پوسته سبز پسته در داخل مخزن دستگاه پلتزن ریخته شد. مکانیزم کار دستگاه پلتزن صنعتی مشابه دستگاه پلتزن طراحی شده است، با این تفاوت که قدرت الکتروموتور، تعداد غلتک دو عدد به شکل استوانه ای و قطر سوراخ های دای (۱۰ میلی متر) آن با دستگاه پلتزن طراحی شده متفاوت است و همچنین این دستگاه فاقد واحد اکسترودر با کمر بندهای حرارتی است (شکل ۲-ب).



شکل ۲. الف) دستگاه پلتزن طراحی شده، ب) دستگاه پلتزن صنعتی

به منظور تعیین چگالی پلت های تولید شده، از کولیس دیجیتال (مدل، CD-6CSX, Mitutoyo Corp, Kawasaki)، برای اندازه گیری طول و قطر پلت ها، جهت محاسبه حجم پلت ها استفاده شد. همچنین وزن هر یک از نمونه ها پلت با استفاده از یک ترازوی دیجیتال (مدل، LUTRON GM -300P، آلمان) با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه گیری شد. بنابراین حجم و چگالی پلت ها با بهره گیری از رابطه (۴) و (۵) محاسبه گردید.

$$V_p = \frac{\pi}{4} d^2 l$$

رابطه (۴)

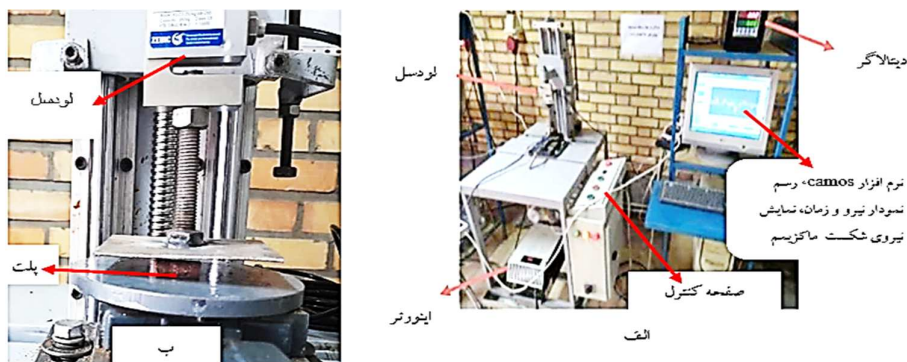
$$p_p = \frac{m_p}{V_p} \quad \text{رابطه ۵}$$

در روابط فوق، V_p ، d ، L ، P_p ، m_p به ترتیب حجم (مترمکعب)، قطر (متر)، طول (متر)، چگالی حقیقی (کیلوگرم بر متر مکعب) و جرم (کیلوگرم) هر پلت است.

برای اندازه‌گیری نیروی شکست ماکزیمم و انرژی شکست پلت‌ها تولیدشده از دستگاه آزمون مواد بیولوژیک استفاده شد (شکل ۳-الف). برای این منظور پلت روی فک ثابت دستگاه در راستای محور افقی قرار گرفت و فک متحرک به لودسل متصل بود و با سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه به سمت پایین حرکت داده شد. سپس نیرو توسط لودسل بر سطح استوانه‌ای پلت تا زمان ایجاد ترک یا شکست که در نمودار نیرو-جاب‌جایی به شکل نقطه سقوط قابل رؤیت است، اعمال شد (شکل ۳-ب). سطح زیر نمودار نیرو-جاب‌جایی بیانگر میزان انرژی موردنیاز برای شکست پلت است با بهره‌گیری از رابطه (۶) محاسبه گردید.

$$E = \frac{1}{2} F_r \times D \quad \text{رابطه ۶}$$

در این رابطه، E انرژی لازم جهت شکستن پلت‌ها (میلی‌ژول)؛ F_r ماکزیمم نیروی لازم جهت شکستن پلت‌ها (نیوتن) و D ، جاب‌جایی معادل مقدار ماکزیمم نیرو (میلی‌متر) می‌باشد.



شکل ۳. الف دستگاه آزمون مکانیکی مواد بیولوژیک (ب) نحوه اعمال نیرو در راستای محور افقی پلت

میزان فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) و فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF) نمونه‌ها توسط دستگاه (مدل، Fibertecsystem Tecator 1010، سوئد) اندازه‌گیری شد (Van Soest et al., 1991). مقدار کل ترکیبات فنولی توسط روش فولین شیکالتو اندازه‌گیری شد (Makkar et al., 1993). مقدار کل تانن از طریق محاسبه میزان اختلاف ترکیبات فنولی قبل و بعد از واکنش با پلی‌وینیل پیرولیدون به دست آمد. ۱۰ میلی‌لیتر استون ۷۰ درصد به لوله آزمایش حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه خشک‌شده جهت استخراج ترکیبات فنولی اضافه شد. سپس کربنات سدیم ۲۰ درصد، فنول فولین شیکالتو (یک مولار) و ۰/۹ میلی‌لیتر آب مقطر به ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره استونی اضافه شده پس از مخلوط‌شدن به مدت ۳۵ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد و سپس در طول موج ۷۲۵ نانومتر (A725) عدد جذب آن توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. با استفاده از محلول اسید تانیک در غلظت‌های مختلف منحنی استاندارد رسم و سپس مقدار ترکیبات فنولی و تانن نمونه محاسبه شد (رضایی‌نیا، ۱۳۸۸).

میزان ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام و خاکستر بقایای پوسته سبز پسته به صورت پلت‌شده براساس روش‌های

استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (AOAC, 2000). داده‌های حاصل از فراسنجه‌های اندازه‌گیری شده در پلت‌های تولیدی بین دو دستگاه پلتزن با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۳) و با آزمون T-Student در دو گروه مستقل تجزیه و تحلیل شدند و میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه و ارزیابی شدند.

۴- یافته‌های پژوهش

نتایج ترکیبات شیمیایی بقایای پوسته سبز پسته خشک‌شده در فضای آزاد در جدول (۱) نشان داده شده است. بقایای پسته قبل از خشک‌شدن در آفتاب دارای ۳۴/۱۵ درصد ماده خشک بود، اما بعد از خشک‌شدن در آفتاب ماده خشک آن ۹۲/۰۵ درصد رسید. از آنجا که نسبت اجزای پوسته سبز پسته متغیر می‌باشد، ترکیب شیمیایی این بقایای نیز در نمونه‌های مختلف دارای اختلاف است. نتایج آنالیز شیمیایی پوسته سبز پسته در پژوهش حاضر با نتایج مطالعه مشابه دیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشت (شاکری و همکاری، ۱۳۹۵).

جدول ۱. ترکیبات شیمیایی پوسته سبز پسته براساس درصد ماده خشک (درصد)

چگالی توده (کلوگرام/ مترمکعب)	ماده خشک	پروتئین خام	چربی خام	NDF	ADF	خاکستر	ترکیبات فنولی	تانن
۴۴۹	۹۲/۰۵	۱۱/۲۵	۵/۴۰	۳۱/۲۴	۲۴	۱۲/۶۵	۸/۴۷	۴/۲۳

NDF: فیبر نامحلول در شوینده خنثی

ADF: فیبر نامحلول در شوینده اسیدی

جدول (۲) نتایج بررسی میانگین‌های میزان چگالی، انرژی شکست و نیروی شکست ماکزیمم پلت‌های تولیدشده از پوسته سبز پسته بین دو دستگاه (صنعتی و طراحی شده) را نشان می‌دهد. این نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری در میزان چگالی پلت‌های تولیدی بین دو دستگاه پلتزن وجود دارد. در نتیجه با توجه به منفی شدن مقدار آزمون T می‌توان بیان نمود که میزان چگالی پلت تولیدشده از پوسته سبز پسته در دستگاه پلتزن صنعتی بیش‌تر از دستگاه پلتزن طراحی شده بود که این امر ممکن است ناشی از افزایش قطر دای (۱۰ میلی‌متر) دستگاه صنعتی نسبت به قطر دای (هشت میلی‌متر) دستگاه طراحی باشد.

متغیر انرژی شکست پلت‌های تولیدشده بین دو دستگاه پلتزن با یکدیگر متفاوت بودند ($P \leq 0/05$) که با توجه به مثبت شدن مقدار آزمون T می‌توان بیان نمود، میزان انرژی شکست پلت تولیدی در دستگاه پلتزن طراحی شده بیش‌تر از صنعتی بود. این امر می‌تواند ناشی از فعال شدن بیش‌تر چسبان‌های بالقوه، مواد افزودنی، وجود اکسترودر و دمای کنترل شده باشد. هم‌چنین کاهش قطر قالب دستگاه طراحی شده نسبت به قطر دستگاه صنعتی نیز می‌تواند در این افزایش تأثیرگذار باشد. بین نیروی شکست ماکزیمم پلت‌های تولیدشده در دو دستگاه پلتزن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

بررسی میانگین میزان ترکیبات فنولی، تانن، ADF و NDF پلت‌های تولیدشده از پوسته سبز پسته بین دو دستگاه پلتزن (صنعتی و طراحی شده) در جدول (۳) ارائه شده است. این نتایج نشان داد که ترکیبات فنولی و تانن پلت‌های تولیدشده بین دو دستگاه پلتزن با هم تفاوت داشتند ($P \leq 0/05$). با توجه به مثبت شدن مقدار آزمون T می‌توان بیان نمود که میزان کاهش ترکیبات فنولی و تانن پلت تولیدشده از پوسته سبز پسته در دستگاه طراحی شده بیش‌تر از دستگاه صنعتی بود که این اختلاف ممکن است به دلیل فعال شدن تغییرات شیمیایی در ساختار مولکولی مواد به‌خاطر مخلوط

خمیری یکنواخت از رطوبت و مواد افزودنی ایجاد شده توسط اکسترودر و دما مواد در ورودی به دستگاه پلتزن طراحی شده نسبت به دستگاه پلتزن صنعتی باشد.

جدول ۲. خصوصیات پلت تولید شده از بقایای پوسته سبز پسته در بین دستگاه پلتزن صنعتی و طراحی شده

متغیر	دستگاه پلتزن	تعداد میانگین	انحراف آمون T	درجه آزادی	درجه میانگین خطای استاندارد	تفاوت	حد پایین	حد بالا
چگالی	طراحی شده	۳۶	۱۱۵۳/۱۳	۳۳/۳۵	۱۲/۱۱ ^{**}	۵۲	-۱۱۹/۱۹	۹/۸۲
	صنعتی	۱۸	۱۲۷۲/۳۳	۳۵/۲۲			-۱۳۸/۹۳	-۹۹/۴۵
انرژی شکست	طراحی شده	۳۶	۰/۵۱۱	۰/۴۹	۴/۱۷ ^{**}	۵۲	۰/۴۹	۰/۷۲
	صنعتی	۱۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲			۰/۵۲	
نیروی شکست	طراحی شده	۳۶	۷۳۳/۵۳	۷۴/۵۰	۱/۰۹ ^{**}	۵۲	۲۲/۸۲	۲۰/۹۱
	صنعتی	۱۸	۷۱۰/۷۲	۶۸/۰۱			-۱۹/۱۲	۶۴/۷۹

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳. خصوصیات پلت تولید شده از بقایای پوسته سبز پسته در بین دستگاه پلت زن صنعتی و طراحی شده

متغیر	دستگاه پلتزن	تعداد میانگین	انحراف آمون T	درجه آزادی	درجه میانگین خطای استاندارد	تفاوت	حد پایین	حد بالا
فتولی	طراحی شده	۳۶	۵/۱۸	-۰/۲۱	۱۶/۸۹ ^{**}	۵۲	۱/۳۳	۱/۰۹
	صنعتی	۱۸	۶/۴۱	-۰/۴۲			۰/۷۰	
تانن	طراحی شده	۳۶	۲/۴	-۰/۴۹	۷/۱۴ ^{**}	۵۲	-۰/۸۷	-۰/۶۹
	صنعتی	۱۸	۳/۲۷	-۰/۲۲			۱/۱۱	
ADF	طراحی شده	۳۶	۱۷/۱۵	۰/۲	۲۱/۱۷ ^{**}	۵۲	۲/۴۵	۲/۲۲
	صنعتی	۱۸	۱۹/۶۱	-۰/۶۳			۰/۱۱	۲/۶۸
NDF	طراحی شده	۳۶	۲۱/۵	-۰/۴۶	۱۶/۲۰ ^{**}	۵۲	۲/۳۱	۲/۰۲
	صنعتی	۱۸	۲۳/۸۱	-۰/۵۳			۰/۱۳	۲/۵۹

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

NDF: فیبر نامحلول در شوینده خنثی

ADF: فیبر نامحلول در شوینده اسیدی

همچنین مشاهده شد که میزان ADF و NDF بین پلت‌های تولید شده در دو دستگاه پلتزن دارای اختلاف بودند ($P \leq 0.05$). با توجه به مثبت شدن مقدار آمون T می‌توان بیان نمود که میزان کاهش ADF و NDF پلت تولیدی در دستگاه پلتزن طراحی شده بیش تر از دستگاه پلتزن صنعتی بود. این امر ممکن است به دلیل فشردگی و ایجاد تغییرات الاستیسیته و پلاستیسیته بین ذرات مواد در فرایند پلت شدن و به موجب آن ژلاتینه شدن نشاسته، تخریب مواد ضد مغذی حساس به حرارت و رطوبت، تخریب دیواره‌های سلولی بیش تر در دستگاه پلتزن طراحی شده نسبت به دستگاه پلتزن صنعتی باشد. اکسترودر همچنین ممکن است حلالیت فیبر غذایی را افزایش دهد، که به نوبه خود ممکن است منجر به افزایش قابلیت هضم انرژی شود، زیرا فیبرهای محلول بیش تر از فیبرهای نامحلول توسط دام‌ها قابل تخمیر هستند (Rojas et al., 2016).

۵- بحث

این مطالعه بر اهمیت افزایش برخی خواص کیفی پلت‌های تولیدی و کاهش مواد ضد مغذی بقایای پوسته سبز پسته با استفاده از دستگاه پلتزن صنعتی و طراحی شده تأکید می‌کند.

فرایند پلت کردن مواد زیست توده توسط دستگاه پلتزن شامل سه مرحله است. در مرحله نخست، ذرات نزدیک به هم قرار می‌گیرند و یک جرم واحد را تشکیل می‌دهند. در این مرحله، خواص ذرات حفظ می‌شود و انرژی به دلیل اصطکاک ذرات با یکدیگر و دیواره قالب به صورت گرما آزاد می‌شود. در مرحله دوم، ذرات به یکدیگر نیرو وارد کرده و تغییر شکل‌های الاستیک و پلاستیک در آن‌ها اتفاق می‌افتد. این کار سبب می‌شود که تماس بین ذرات به طور معنی‌داری افزایش یابد و ذرات توسط نیروهای واندروالسی و الکترومغناطیس به یکدیگر پیوند می‌خورند. در مرحله سوم، به علت کاهش حجم مواد در یک جرم ثابت، چگالی واقعی مواد افزایش می‌یابد. در پایان مرحله سوم، ذرات تغییر شکل یافته و شکسته شده دیگر قادر نیستند موقعیت خود را تغییر دهند، به دلیل آن که تعداد حفره‌ها به حدود ۷۰ درصد کاهش یافته است. نوع بارگذاری طی فرایند فشرده‌سازی از نوع هیدرواستاتیک است و اعمال فشار سبب شکستگی ذرات ترد می‌گردد. این فرایندها منجر به اتصال مکانیکی ذرات به یکدیگر می‌شود (Mani et al., 2003).

در پژوهش حاضر، استفاده از دستگاه پلتزن صنعتی، چگالی پلت‌های تولیدی را نسبت به دستگاه طراحی شده و چگالی توده مواد اولیه به ترتیب ۱۰ و ۱۸۳ درصد افزایش می‌دهد که به دلیل وجود قطر بزرگ‌تر سوراخ‌های دای در دستگاه پلتزن صنعتی می‌باشد. در پژوهشی مشابه نیز نشان داده شده است که با افزایش قطر سوراخ‌های دای دستگاه پلتزن، چگالی پلت‌ها افزایش می‌یابد (Tumuluru, 2018). به طور کلی، افزایش چگالی پلت‌های تولیدی با دستگاه پلتزن صنعتی، می‌تواند بهبود قابل توجهی در عملکرد و کارایی سیستم حمل و نقل و ذخیره‌سازی داشته باشد. در گزارش مشابه با دستگاه پلتزن هیدرولیکی نشان داده شده است که استفاده از قالبی به قطر ۱۰ میلی‌متر می‌تواند محتوای رطوبت، دما و فشار تراکم بر خواص فیزیکی پلت‌های تولید شده از بقایای پوسته سبز پسته را تحت تأثیر قرار دهد که در نتیجه با افزایش محتوای رطوبت، چگالی پلت‌ها کاهش و با افزایش دما و فشار تراکم، چگالی پلت‌ها افزایش می‌یابد (Haji Agha Alizadeh et al., 2023).

در مطالعات دیگری، Monedero et al. (2015) اثر ترکیبات مواد، محتوای رطوبتی و فشار قطر قالب بر روی کیفیت پلت‌های ایجاد شده از ترکیبات خاک اره صنوبر و کاج را بررسی و گزارش کردند که با افزایش قطر قالب از ۱۷ تا ۲۱ میلی‌متر، چگالی پلت را بهبود می‌دهد که با نتایج پژوهش مذکور همخوانی دارد.

در مطالعه حاضر، انرژی شکست پلت‌های تولیدی با دستگاه پلتزن صنعتی نسبت به دستگاه پلتزن طراحی شده ۹۶ درصد کاهش نشان داد. با این حال، به نظر می‌رسد که پلت‌های تولیدی با دستگاه پلتزن طراحی شده در طی فرایند حمل و نقل و ذخیره‌سازی کم‌ترین تلفات و گردوغبار را خواهند داشت که می‌تواند به دلیل وجود قطر کوچک‌تر سوراخ‌های دای دستگاه طراحی شده، اکسترودر و دما باشد. در طی فرایند فشرده‌سازی تحت دما و فشار بالا، رطوبت موجود در مواد به شکل بخار درآمده و طی فرایند هیدرولیز، همی سلولز و لیگنین تبدیل به کربوهیدرات و پلیمرهای قندی می‌شوند، این مواد تحت دما و فشار بالا به عنوان ماده چسبنده و پیونددهنده ذرات به یکدیگر عمل می‌کنند که پایداری پلت‌های تولیدی را بهبود می‌بخشد (Tumuluru et al., 2011). بنابراین، با استفاده از دستگاه پلتزن طراحی شده، می‌توان پلت‌هایی با کیفیت بالا و پایداری بیشتری تولید کرد که در طول فرایند حمل و نقل و ذخیره‌سازی، تلفات و گردوغبار کم‌تری داشته باشند. در مطالعه دیگری استفاده از پلت‌سازی با قالب‌های دارای قطر بزرگ‌تر (۷/۲ میلی‌متر) نسبت به قطر کوچک‌تر (۶/۴ میلی‌متر)، با دانه‌های تقطیر شده از حلال مشخص در شرایط با و بدون بخاردهی به مواد، سبب کاهش پایداری پلت می‌شود (Tumuluru et al., 2010) که این نتایج با یافته‌های انرژی شکست پلت‌های تولیدی پژوهش حاضر مطابقت دارد.

پلت‌های تولیدی با دستگاه پلتزن طراحی شده نسبت به دستگاه صنعتی و حالت پوسته بدون فرآوری شده به ترتیب

میزان ترکیبات فنولی را ۱۹ و ۳۸ درصد و هم‌چنین مقدار تانن را ۲۶ و ۴۴ درصد کاهش داد. به‌نظر می‌رسد کاهش میزان ترکیبات فنولی و تانن در پلت‌های تولیدی با دستگاه پلتزن طراحی شده به‌دلیل وجود اکسترودر و دما باشد که این عوامل می‌توانند ترکیبات فنولی و تانن را تخریب کنند. ژلاتینه‌شدن نشاسته، تخریب مواد ضد‌مغذی حساس به حرارت، تخریب دیواره‌های سلولی و بهبود دسترسی به مواد مغذی می‌توانند به کاهش میزان ترکیبات فنولی و تانن در پلت‌های تولیدی با دستگاه پلتزن طراحی شده منجر شوند. گزارش‌ها نشان می‌دهند که اکسترودر بر قابلیت هضم پروتئین و اسید آمینه اجزای خوراک که حاوی مقادیر بالایی از مواد ضد‌مغذی هستند، تأثیر مثبت دارد (Rojas *et al.*, 2016). هم‌چنین، اکسترودر کردن مواد خوراکی با مقادیر بالای مواد ضد‌مغذی می‌تواند قابلیت هضم روده‌ای پروتئین و اسید آمینه را در خوک‌ها بهبود دهد (Rojas *et al.*, 2016; Sun *et al.*, 2006). مطابق گزارش‌های مشابه استفاده از علف سربسی لاسپدزا با محتوای تانن متراکم پلت‌شده در تأمین نیازهای تغذیه‌ای بزها و کنترل انگل‌های گوارشی آن‌ها مؤثر است (Terrill *et al.*, 2007).

در پژوهش حاضر پلت‌های تولیدی با دستگاه پلتزن طراحی شده نسبت به دستگاه صنعتی و پوسته بدون فرآوری شده به‌ترتیب میزان ADF را ۱۲ و ۲۸ درصد و هم‌چنین مقدار NDF را ۱۰ و ۳۱ درصد کاهش داد. پلت کردن با دستگاه پلتزن طراحی شده مجهز به اکسترودر موجب کاهش میزان ADF و NDF شد که این ممکن است نتیجه قرارگرفتن در معرض رطوبت، ورز دادن، فشار و دمای مورد استفاده در این فرایند باشد. این بهبود به‌طور عمده با ژلاتینه‌شدن نشاسته توجیه می‌شود (Sun *et al.*, 2006). به‌عبارت دیگر، استفاده از دستگاه پلتزن طراحی شده مجهز به اکسترودر و کنترل دما، مواد موجود در پلت‌ها را به گونه‌ای تغییر داده که سطوح ترکیبات فنولی، تانن، ADF و NDF کاهش یافته‌اند. مطالعات مشابه در حیوانات تک‌مده‌ای در رابطه با تغذیه خوک‌ها با جیره‌های حاوی محصولات جانبی با فیبر بالا باعث کاهش عملکرد رشد شد، اما تغذیه با محصولات جانبی پلت‌شده، عملکرد رشد خوک‌ها را بهبود بخشید (Fry *et al.*, 2012). با این حال، مطالعات نشان می‌دهند پلت کردن یا اکستروژن یا ترکیبی از هر دو فناوری در بهبود قابلیت هضم مواد مغذی و انرژی در جیره‌های با فیبر بالا نسبت به جیره‌های حاوی فیبر پایین مؤثرترند (Rojas *et al.*, 2016). هم‌چنین، در گزارش مشابه نشان داده شد که پلت‌سازی تأثیر کم‌تری بر دسترسی به مواد مغذی دارد، درحالی‌که فرایندهای فشرده‌سازی و اکستروژن منجر به تغییرات ساختاری بیش‌تر در مواد تشکیل‌دهنده می‌شوند که ممکن است بر قابلیت هضم مواد مغذی تأثیرگذار باشد (Rojas *et al.*, 2016) که با نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر همخوانی دارد.

۶- نتیجه‌گیری

به‌طورکلی با توجه به نتایج، چگالی پلت‌های تولیدشده در دستگاه پلتزن صنعتی نسبت به دستگاه پلتزن طراحی شده بهبود یافته است. اما با وجود این، انرژی شکست پلت‌های تولیدی در دستگاه پلتزن طراحی شده نسبت به دستگاه پلتزن صنعتی بیش‌تر بوده است. علاوه بر این، بیش‌ترین کاهش را برای مواد ضد‌مغذی (ترکیبات فنولی، تانن، ADF و NDF) در پلت‌های تولیدی از دستگاه پلتزن طراحی شده مجهز به اکسترودر مشاهده شد. این نتیجه ممکن است منجر به افزایش خوش خوراکی و قابلیت هضم بیش‌تر بقایای پوسته پسته شود. هم‌چنین، به‌نظر می‌رسد افزایش چگالی پلت‌های تولیدی نسبت به چگالی مواد خام اولیه پوسته سبز پسته، می‌تواند راه‌حل مناسبی و اقتصادی جهت تولید خوراک دام به‌صورت انبوه، ارسال آن به سایر مناطق کشور و خارج کردن بقایای پوسته سبز پسته در اطراف شهر و پایانه‌های فرآوری و باغات پسته باشد. این امر می‌تواند از خطرات زیست محیطی ناشی از این بقایا جلوگیری نماید.

۷- تشکر و قدردانی

به این وسیله از همکاری گروه فنی کشاورزی دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان) دانشگاه تهران در انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹- منابع

- تقوی، حمید؛ نصریان، عباسعلی؛ ولی زاده، رضا؛ آسوده، احمد و حق پرست، علیرضا (۱۳۹۹). اثر تزریق شکمبه‌ای عصاره آبی محصولات فرعی پسته بر توازن نیتروژن و فراسنجه‌های تخمیری شکمبه در گوسفندان نر بلوچی. *پژوهش‌های علوم دامی ایران*، ۱۲ (۲)، ۱۴۹-۱۳۵.
- رضایی‌نیا، آیدین (۱۳۸۸). اثر استفاده از سطوح مختلف سیلاژ فرآورده فرعی پسته بر عملکرد فراسنجه‌های خونی گاوهای هلشتاین. *پایان نامه ارشد*، به راهنمایی عباسعلی نصریان، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی.
- شاکری، پیروز؛ حسینی غفاری، مرتضی و فضائلی، حسین (۱۳۹۵). محصول فرعی پسته به‌عنوان یک خوراک علوفه‌ای در تغذیه نشخوارکنندگان- یک مقاله مروری (بخش دوم: نیتروژن آمونیاکی، پروتئین میکروبی، تخمیر و بیوهیدروژناسیون شکمبه‌ای، متان و متابولیت‌های خون). *علوم دامی*، ۲۹ (۱۱۳)، ۹۹-۱۱۰.
- قاسمی، سمانه (۱۳۹۱). اثر تانن موجود در پوست پسته بر ویژگی‌های تخمیر شکمبه‌ای و جمعیت باکتری‌های تجزیه کننده سلولز در شرایط برون تنی و گوسفند بلوچی. *رساله دکتری*، به راهنمایی عباسعلی نصریان، مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی.
- گل محمدی، فرهود و رضوی، سید حمید (۱۳۹۱). بررسی راه‌کارها و فواید تولید خوراک دام از پوست تازه پسته. *اولین همایش ملی کشاورزی در شرایط محیطی دشوار*، رامهرمز.

References

- Abdollahi, M. R., Ravindran, V., & Svihus, B. (2013). Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Animal feed science and technology*, 179 (1-4), 1-23.
- Adapa, P. K., Schoenau, G. J., Tabil, L. G., Arinze, E. A., Singh, A., & Dalai, A. K. (2007). Customized and value-added high quality alfalfa products—a new concept. *AgricEngInt: CIGR Journal*, 9, 1-28.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17th end, edited by W. Horwitz. Association of Official Analytical Chemists. Arlington.
- ASAE. (2006). S319.3 Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. pp. 601-605.
- FAO; Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). Website: <http://www.faostat.fao.org>.
- Fry, R. S., Hu, W., Williams, S. B., Paton, N. D., & Cook, D. R. (2012). Diet form and by-product level affect growth performance and carcass characteristics of grow-finish pigs. *J Anim Sci*, 90 (3), 380.

- Ghasemi, S., Naserian, A. A., Valizadeh, R., Tahmasebi, A. M., Vakili, A. R., & Behgar, M. (2012a). Effects of pistachio by-product in replacement of lucerne hay on microbial protein synthesis and fermentative parameters in the rumen of sheep. *Animal Production Science*, 52 (11), 1052-1057.
- Ghasemi, S. (2012). Effect of Pistachio hull tannin on fermentative parameters and population of cellulolytic bacteria on in vivo and in vitro conditions. *Ph.D. Dissertation*, Under Supervisor of Ahmad Afzalzadeh, Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad, *Faculty of Agriculture*. (In Persian).
- Golmohammadi, F., & Razavi, S. H. (2012). Study on the solutions and benefits of producing animal feed from fresh pistachio skin. *The first national conference on agriculture in difficult environmental conditions, Ramhormoz* (In Persian).
- Huang, Q., Liu, X., Zhao, G., Hu, T., & Wang, Y. (2018). Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. *Animal Nutrition*, 4 (2), 137-150.
- Laei, K., Haji Agha Alizadeh, H., & Kianmehr, M. H. (2023). The Effects of Moisture Content, Temperature, and Compaction Pressure on the Compressibility of Animal Feed Pellets Produced From Green Pistachio Shell Residues. *Journal of Nuts*, 14(2), 113-128.
- Makkar, H. P., Blümmel, M., Borowy, N. K., & Becker, K. (1993). Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61 (2), 161-165.
- Mani, S., Tabil, L. G., & Sokhansanj, S. (2003). Compaction of biomass grinds-an overview of compaction of biomass grinds. *Powder Handling and processing*, 15 (3), 160-168.
- Monedero, E., Portero, H., & Lapuerta, M. (2015). Pellet blends of poplar and pine sawdust: Effects of material composition, additive, moisture content and compression die on pellet quality. *Fuel Processing Technology*, 132, 15-23.
- Rezaeina, A. (2009). The effect of using different levels of pistachio by-product silage on the performance of blood parameters of Holstein cows. *Master of Science Thesis*, Isfahan: Under Supervisor of Ahmad Afzalzadeh, Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad, *Faculty of Agriculture*. (In Persian).
- Rojas, O. J., Vinyeta, E., & Stein, H. H. (2016). Effects of pelleting, extrusion, or extrusion and pelleting on energy and nutrient digestibility in diets containing different levels of fiber and fed to growing pigs. *Journal of animal science*, 94 (5), 1951-1960.
- Shakeri, P., Hoseini Ghafari, M., & Fazaali, H. (2017). Pistachio by-product as a forage source for ruminant nutrition: A review (Part B: Ammonia, microbial protein synthesis, fermentation, and biohydrogenation in the rumen, methane, and blood metabolites). *Animal Sciences Journal*, 29 (113), 99-110 (In Persian).
- Sun, T., Lærke, H. N., Jørgensen, H., & Knudsen, K. E. B. (2006). The effect of extrusion cooking of different starch sources on the in vitro and in vivo digestibility in growing pigs. *Animal feed science and technology*, 131(1-2), 67-86.
- Supriya, P., Rajni, B., & Rana, A. C. (2012). Pelletization techniques: A literature review. *International research journal of pharmacy*, 3 (3), 43-47.
- Taghavi, H., Naserian, A. A., Valizadeh, R., Asoodeh, A., & Haghparast, A. R. (2020). Influence of ruminal pistachio by-products aqueous extract infusion on nitrogen balance and rumen fermentation parameters in Baluchi male sheep. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 12 (2), 135-149. (In Persian).
- Terrill, T. H., Mosjidis, J. A., Moore, D. A., Shaik, S. A., Miller, J. E., Burke, J. M., & Wolfe, R. (2007). Effect of pelleting on efficacy of sericea lespedeza hay as a natural dewormer in goats. *Veterinary parasitology*, 146 (1-2), 117-122.
- Tumuluru, J. S. (2018). Effect of pellet die diameter on density and durability of pellets made from high moisture woody and herbaceous biomass. *Carbon Resources Conversion*, 1(1), 44-54.

- Tumuluru, J. S., Tabil, L., Opoku, A., Mosqueda, M. R., & Fadeyi, O. (2010). Effect of process variables on the quality characteristics of pelleted wheat distiller's dried grains with solubles. *biosystems engineering*, 105 (4), 466-475.
- Tumuluru, J. S., Wright, C. T., Hess, J. R., & Kenney, K. L. (2011). A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5 (6), 683-707.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74 (10), 3583-3597.
- Vasta, V., Nudda, A., Cannas, A., Lanza, M., & Priolo, A. (2008). Alternative feed resources and their effects on the quality of meat and milk from small ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 147 (1-3), 223-246.