



تأثیر جایگزینی سبوس گندم با پودر پوست سبز بادام بر شاخص‌های عملکرد رشد *Zophobas morio* (Col.: Tenebrionidae) لارو

عباس ارباب *

 <https://orcid.org/0000-0001-5248-0585>

گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ایران

چکیده: پوست بادام محصول جانبی صنعت فرآوری بادام می‌باشد که اثر آن در تغذیه حشرات ناشناخته مانده است. سوپرورم (*Zophobas morio*) حشره‌ای خوراکی با ارزش غذایی بالا و توانایی زیست‌تبدیلی پسماندهای آلی است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر جایگزینی سبوس گندم با پودر پوست سبز بادام در سطوح ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد (وزنی/وزنی) بر شاخص‌های عملکرد رشد لاروهای سن ششم سوپرورم در شرایط آزمایشگاهی به مدت شش هفته انجام پذیرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که جایگزینی ۲۵ درصد از جیره با پوست بادام، تأثیر منفی معنی‌داری بر شاخص‌های کلیدی رشد شامل نرخ رشد نسبی (۰/۱۳۷ در مقایسه با ۰/۱۵۴ میلی گرم/میلی گرم/روز در شاهد)، درصد افزایش وزن (۷۸/۳۳ در مقایسه با ۸۷/۸۱ درصد)، نرخ تبدیل غذا (۳/۲۷ در مقایسه با ۲/۹۲) و نرخ زنده‌مانی (۹۳ در مقایسه با ۱۰۰ درصد) در پایان روز ۴۲ نداشت ($P>0.05$). با افزایش سطح جایگزینی به مقادیر ۵۰ درصد و بالاتر، تمام شاخص‌های عملکرد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و تولید فضولات افزایش نشان داد؛ به‌طوری‌که در تیمار ۱۰۰ درصد، نرخ رشد نسبی به صفر نزدیک شد، درصد افزایش وزن به ۱۴/۸۸- درصد رسید. نرخ زنده‌مانی نیز به ۳۸ درصد کاهش یافت و نرخ تولید فضولات از ۱/۸۱ در شاهد به ۴/۹۵ افزایش یافت. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که پوست سبز بادام به دلیل ترکیب شیمیایی نامتوازن پروتئین پائین و فیبر بالا، گزینه مناسبی برای پرورش انبوه سوپرورم محسوب نمی‌شود و کاربرد آن فقط در سطوح پائین (تا ۲۵٪) و با هدف مدیریت پسماند کشاورزی قابل توجیه است.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۵/۴/۲۲

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۶/۱۸

واژه‌های کلیدی: پسماندهای کشاورزی، سوپرورم، شاخص‌های تغذیه‌ای، مدیریت پسماند

Citation: Arbab, A. (2026). The effect of replacing wheat bran with green almond hull powder on growth performance indices of *Zophobas morio* (Col.: Tenebrionidae) larvae. *Plant Pest Research*, 16(2), 49-60. DOI: <https://doi.org/10.22124/iprj.2026.34224.1703>

*Corresponding author: abbasarbab@hotmail.com

مقدمه

بادام (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb (Rosales: Rosaceae) به دلیل دارا بودن مقادیر بالای پروتئین، اسیدهای چرب غیراشباع، ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات تقویت کننده سلامت، در کنار محتوای قند پائین، یک خشکبار با ارزش تغذیه‌ای استثنایی و با کاربردهای همه‌جانبه محسوب می‌شود (Chen et al., 2006; Barreca et al., 2020). بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO, 2019)، ایران با تولید سالانه بیش از ۱۷۷ هزار تن، یکی از تولیدکنندگان عمده بادام در جهان به شمار می‌رود. با این حال، برداشت این محصول ارزشمند تنها محدود به مغز بادام نیست و حجم عظیمی از فرآورده‌های جانبی را به همراه دارد که اغلب بدون استفاده رها شده یا سوزانده می‌شوند. انباشت این پسماندها نیز به یک نگرانی فزاینده زیست‌محیطی و اقتصادی تبدیل شده است (Garcia-Perez et al., 2021).

پوست سبز بادام که در واقع همان مزوکارپ میوه است، مهم‌ترین محصول فرعی محسوب شده و به‌تنهایی بیش از نیمی (۵۲٪) از وزن کل میوه تازه را تشکیل می‌دهد. این فرآورده به دلیل رطوبت پایین (۸ تا ۲۰ درصد)، بافت چرمی و طعم گس، برای مصرف مستقیم انسان گزینه مناسبی نیست (Barral-Martinez et al., 2021). با وجود این، داشتن فیبر و کربوهیدرات‌های قابل هضم، آن را به گزینه‌ای بالقوه در تغذیه دام تبدیل کرده است. برای نمونه، استفاده از پوست بادام تا سطح ۲۰ درصد در جیره گاوهای شیری، موجب افزایش هضم‌پذیری خوراک و بالارفتن چربی شیر می‌شود، ولی اثر منفی بر مقدار پروتئین شیر دارد (Swanson et al., 2021). در دهه اخیر، استفاده از حشرات به‌عنوان کارخانه‌های زیستی برای تبدیل پسماندهای آلی به محصولات با ارزش (مانند پروتئین و چربی)، توجه زیادی را به خود جلب کرده و به یکی از ابزارهای اساسی اقتصاد چرخشی بدل شده است (Kee et al., 2023).

رویکرد زیست‌تبدیلی توسط حشرات، به‌عنوان راهکاری پایدار برای مدیریت پسماندهای آلی پیشنهاد شده و کارایی آن در مورد بیش از ۱۵ گونه مختلف از حشرات به تأیید رسیده است (Mannaa et al., 2023; Siddiqui et al., 2024; Ayompe et al., 2025). از میان آن‌ها می‌توان به گونه‌های شاخصی چون جیرجیرک خانگی (*Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758) (Orthoptera: Gryllidae))، مگس سرباز سیاه (*Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae))، سوسک زرد آرد (*Tenebrio molitor* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Tenebrionidae)) و سوسک سوپرورم (*Zophobas morio* (Fabricius, 1776) (Coleoptera: Tenebrionidae)) اشاره کرد (Surendra et al., 2020; Mannaa et al., 2023).

سوسک سوپرورم (۱)، که پیش‌تر به‌عنوان یک آفت انباری درجه دوم برای آرد و غلات شناخته می‌شد (Hagstrum & Subramanyam, 2009)، امروزه به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود به یک گونه امیدبخش در صنعت پرورش حشرات تبدیل شده است. این حشره که بومی مناطق گرمسیری قاره آمریکاست، به طور طبیعی از مواد پوسیده گیاهی و قارچ‌ها تغذیه می‌کند. لاروهای آن با دارا بودن ارزش غذایی بالا، قابلیت هضم مناسب و نرخ تبدیل غذایی مطلوب، به طور گسترده به‌عنوان منبع غذایی برای آبزیان، پرندگان و خزندگان پرورش داده می‌شوند. علاوه بر این، توانایی تولید پپتیدهای ضد میکروبی و ضد سرطانی در این حشره به اثبات رسیده است (Chernysh et al., 2002). همچنین، بررسی‌های مختلف پتانسیل استفاده از لارو سوپرورم را در تولید بیودیزل (Manzano-Agugliaro et al., 2012) و استخراج کیتین و کیتوزان با خلوص بالا (Hahn et al., 2020) نشان داده‌اند. یکی از قابلیت‌های کلیدی *Z. morio*، انعطاف‌پذیری بالای آن در سازگاری با منابع غذایی مختلف، به‌ویژه پسماندهای کشاورزی - صنعتی است (Nascimento et al., 2022). این حشره در مرحله لاروی می‌تواند روی جیره‌های متنوعی از جمله ضایعات غلات، باقی‌مانده نان و ضایعات کلوچه و پوست سیب‌زمینی با موفقیت رشد کند (van Broekhoven et al., 2015). پیش‌تر، پژوهش‌هایی در زمینه استفاده از سایر پسماندهای کشاورزی نظیر تفاله انگور، سبوس برنج و تفاله زیتون در تغذیه این حشره و گونه‌های مشابه انجام شده است (Andreadis et al., 2021; Arbab, 2022; Ojaghi et al., 2026). با وجود این، یک

شکاف تحقیقاتی قابل توجه در این زمینه وجود دارد. تاکنون، تنها یک مطالعه به بررسی استفاده از پوست سبز بادام در تغذیه حشرات، به طور خاص مگس سرباز سیاه (*H. illucens*)، پرداخته است (Palma et al., 2018) و هیچ اطلاعاتی در مورد تأثیر این پسماند فراوان بر شاخص‌های رشدی و تغذیه‌ای لاروهای *Z. morio* در دسترس نیست. همچنین، هیچ داده‌ای برای تعیین سطح بهینه جایگزینی این ماده با سبوس گندم در جیره غذایی این حشره وجود ندارد؛ بنابراین، پژوهش حاضر با هدف پر کردن این خلأ علمی طراحی شد. هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی عملکرد رشد لاروهای سوپرورم با جایگزینی مقادیر مختلف پوست سبز بادام با سبوس گندم و یافتن سطح بهینه‌ای است که در آن بدون کاهش معنی‌دار در کارایی رشد، بتوان از این فرآورده جانبی بهره‌برداری نمود. تحقق این هدف می‌تواند گامی مؤثر در کاهش هزینه‌های پرورش انبوه سوپرورم و همچنین ارائه راهکاری عملیاتی برای مدیریت پایدار پسماند بادام باشد.

مواد و روش‌ها

منبع و پرورش اولیه حشرات

در این تحقیق از کلنی مادری سوپرورم در آزمایشگاه حشره‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان استفاده شد. برای شروع آزمایش، ۵۰۰ گرم لارو سن یک از بستر پرورش اصلی جدا و به سینی‌های پرورش (ابعاد ۳۰ × ۲۰ × ۱۵ سانتی‌متر) منتقل شدند. لاروها با سبوس گندم به عنوان جیره پایه و قطعات تازه هندوانه به عنوان منبع رطوبت تغذیه شدند. شرایط پرورش در اتاقک رشد با دمای 27 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی تنظیم شود (Rumbos & Athanassiou, 2021). پس از شش هفته، تعداد ۳۰۰ لارو سن ششم با وزن تقریبی ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌گرم به طور تصادفی انتخاب شدند. برای به حداقل رساندن اثر رژیم غذایی پیشین، لاروها به مدت ۲۴ ساعت در ظروف بدون غذا نگهداری شده و سپس وارد آزمایش شدند.

تهیه و آماده‌سازی بسترهای غذایی

سبوس گندم (ماده پایه)

سبوس گندم با کاربری خوراک طيور از بازار محلی تهیه شد. به منظور حذف آلودگی‌های میکروبی احتمالی، سبوس در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱۵ پوند بر اینچ مربع به مدت ۳۰ دقیقه سترون شد. پس از خشک شدن در دمای اتاق، با استفاده از الک ۳۰۰ میکرون غربال شد تا ذرات هم‌اندازه فضولات لاروها حذف شود. این کار از خطا در تفکیک غذای مصرف‌نشده و فضولات در طول آزمایش جلوگیری کرد. سبوس آماده‌شده تا زمان استفاده در ظروف در بسته و در دمای اتاق نگهداری شد.

پودر پوست سبز بادام

در اوایل شهریورماه و هم‌زمان با فصل برداشت بادام، ۴۰ کیلوگرم بادام رقم سنگی از باغ‌های اطراف شهر قزوین که سابقه سم‌پاشی نداشتند، جمع‌آوری شد. پوست سبز بادام (مزوکارپ) به صورت دستی از پوسته سخت و مغز جدا شد. نمونه‌ها ابتدا با آب شستشو داده شدند تا گردوغبار و آلودگی‌های سطحی پاک شوند، سپس با جاقوی استیل ضدزنگ به قطعات کوچک (حدود ۰/۵ تا ۱ سانتی‌متر) خرد شدند. قطعات خردشده در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت (تا رسیدن به وزن ثابت) خشک شدند. میزان رطوبت نهایی نمونه‌ها کمتر از ۵ درصد برآورد شد. پوست‌های خشک‌شده با استفاده از آسیاب چکشی به پودری با اندازه ذرات تقریبی ۱ تا ۲ میلی‌متر تبدیل شدند. پودر حاصل در ظروف شیشه‌ای در بسته و در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس تا زمان استفاده نگهداری شد.

طراحی آزمایش و تیمارها

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار غذایی و ۲۰ تکرار (هر تکرار شامل یک لارو در یک ظرف مجزا) انجام شد. تیمارهای غذایی بر اساس درصد وزنی/وزنی (w/w) جایگزینی سبوس گندم با پودر پوست سبز بادام به شرح زیر تعریف شدند:

تیمار A (شاهد): ۱۰۰٪ سبوس گندم + ۰٪ پوست سبز بادام، تیمار B: ۷۵٪ سبوس گندم + ۲۵٪ پوست سبز بادام، تیمار C: ۵۰٪ سبوس گندم + ۵۰٪ پوست سبز بادام، تیمار D: ۲۵٪ سبوس گندم + ۷۵٪ پوست سبز بادام، تیمار E: ۰٪ سبوس گندم + ۱۰۰٪ پوست سبز بادام

روش اجرای آزمایش

لاروهای هم سن (۶ هفته) به طور تصادفی به تیمارهای فوق اختصاص یافتند. هر لارو به صورت انفرادی در یک ظرف پتری شیشه‌ای به قطر ۹ سانتی‌متر با درپوش دارای منافذ توری برای تهویه مناسب قرار داده شد. در ابتدای آزمایش، وزن اولیه هر لارو با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم ثبت شد. روزانه ۲ گرم از جیره خشک مربوط به هر تیمار در اختیار هر لارو قرار گرفت. برای تأمین رطوبت، یک قطعه پوست تازه هندوانه به ابعاد تقریبی ۱×۱ سانتی‌متر به صورت روزانه در هر واحد پرورش گذاشته شد. این قطعات هر ۲۴ ساعت تعویض می‌شدند. ظروف پتری در اتاقک رشد با شرایط دمایی 27 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی نگهداری شدند. هر ۲۴ ساعت، جیره مصرف نشده باقیمانده، فضولات تولیدی و لاروهای مرده جمع‌آوری، تفکیک و وزن‌کشی شدند. وزن لاروهای زنده در فواصل زمانی ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز پس از شروع آزمایش اندازه‌گیری و ثبت شد.

تعیین وزن خشک

از آنجا که تمام شاخص‌های تغذیه‌ای بر اساس وزن خشک محاسبه می‌شوند، تعیین درصد ماده خشک برای هر جزء ضروری بود. بدین منظور، در ابتدای آزمایش، ۲۵ عدد لارو اضافی از جمعیت اولیه به صورت ۵ گروه ۵ تایی توزین و به صورت جداگانه در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت (تا رسیدن به وزن ثابت) خشک شدند. درصد ماده خشک برای هر گروه محاسبه و میانگین $\pm$ خطای معیار آن به عنوان ضریب تبدیل وزن تر به وزن خشک برای هر تیمار استفاده شد. همچنین، ۵ نمونه از هر جیره غذایی و ۵ نمونه از فضولات تولیدی توزین و به صورت جداگانه در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت (تا رسیدن به وزن ثابت) خشک شدند. درصد ماده خشک برای هر جزء محاسبه و برای تبدیل وزن‌های تر به وزن خشک در طول آزمایش استفاده شد.

شاخص‌های ارزیابی

برای ارزیابی عملکرد لاروها در تیمارهای مختلف، شاخص‌های زیر با استفاده از وزن خشک محاسبه شدند:

(۱) نرخ تبدیل غذا (Feed Conversion Ratio: FCR) (Waldbauer, 1968)

بیانگر مقدار خوراک مصرفی لازم برای تولید یک واحد زیست‌توده است. مقادیر کمتر، کارایی بهتر را نشان می‌دهد.

$$FCR = \frac{\text{وزن خشک غذای شده مصرف}}{\text{افزایش وزن خشک لارو}}$$

(۲) نرخ رشد نسبی (Relative Growth Rate: RGR) (Waldbauer, 1968)

بیانگر سرعت رشد لارو نسبت به وزن اولیه در یک بازه زمانی مشخص است.

$$RGR = \frac{\ln(\text{وزن خشک اولیه لارو}) - \ln(\text{وزن خشک نهایی لارو})}{\text{مدت زمان تغذیه (روز)}}$$

(۳) نرخ زنده‌مانی (Survival Rate: SR) (Oonincx et al., 2015)

$$SR(\%) = \frac{\text{تعداد لاروهای زنده نهایی}}{\text{تعداد لاروهای اولیه}} \times 100$$

(۴) درصد افزایش وزن (Weight Gain: WG) (Serra et al., 2026)

$$WG(\%) = \frac{\text{وزن خشک اولیه لارو} - \text{وزن خشک نهایی لارو}}{\text{وزن خشک اولیه لارو}} \times 100$$

(۵) نسبت فضولات (Frass Production Ratio: FP) (Serra et al., 2026)

$$FP = \frac{\text{وزن خشک کل فضولات}}{\text{وزن خشک نهایی لارو}}$$

تجزیه و تحلیل آماری

پیش از تحلیل، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) بررسی شد. در صورت عدم تبعیت از توزیع نرمال، از تبدیل لگاریتمی ($\log_{10}$) استفاده شد. همگنی واریانس‌ها نیز با آزمون لوین (Levene's test) تأیید شد. برای مقایسه میانگین شاخص‌ها بین تیمارها در هر بازه زمانی، از تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر تیمار ($P < 0.05$) مقایسه‌های چندگانه با استفاده از آزمون توکی (Tukey's HSD) در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. تمام تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۲۶ انجام شد. برای مقایسه زنده‌مانی بین تیمارها، ابتدا داده‌های درصدی با استفاده از تبدیل آرک‌سینوس ($\text{Arcsin}\sqrt{p}$) نرمال‌سازی شده و سپس مقایسه بین تیمارها با استفاده از آزمون فیشر انجام شد.

نتایج

تأثیر رژیم‌های مختلف غذایی بر نرخ تبدیل غذا (FCR)

نتایج مربوط به اثر جایگزینی مقادیر مختلف پوست سبز بادام بر نرخ تبدیل غذا (FCR) لاروهای سوپرورم در بازه‌های زمانی ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز پس از شروع آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. در تمام تیمارها، FCR با گذشت زمان به طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0.05$)، به گونه‌ای که بهترین (کمترین) مقدار در روز ۱۴ (۲/۳۲) در تیمار شاهد و ضعیف‌ترین (بالاترین) مقدار در روز ۴۲ (۶/۳۷) در تیمار D ثبت شد. این روند نشان‌دهنده کاهش تدریجی کارایی تبدیلی خوراک با افزایش سن لاروها است. تأثیر ترکیب جیره غذایی نیز بر FCR کاملاً مشهود بود. در مقایسه بین تیمارها در هر بازه زمانی، تیمار شاهد (A) همواره کمترین FCR و در نتیجه بهترین کارایی را به خود اختصاص داد. در روز ۱۴ و ۲۸، تفاوت FCR بین تیمارهای A و B معنی‌دار نبود ($P > 0.05$) که نشان می‌دهد جایگزینی ۲۵ درصدی سبوس با پوست بادام، کارایی تبدیلی غذا را در کوتاه‌مدت و میان‌مدت کاهش نمی‌دهد. با این حال، در روز ۴۲ این تفاوت معنی‌دار شد ($P < 0.05$) و FCR تیمار B (۳/۲۷) به‌طور قابل توجهی بالاتر از شاهد (۲/۹۲) بود. این یافته مهم نشان می‌دهد که اثر تجمعی تغذیه طولانی‌مدت با جیره حاوی پوست بادام، حتی در سطح ۲۵ درصد، می‌تواند کارایی تبدیلی غذا را مختل کند. با افزایش سهم پوست بادام به ۵۰ درصد و بالاتر، FCR در تمام بازه‌های زمانی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0.05$). نکته قابل توجه این است که در تیمار (E) ۱۰۰٪ لاروها در روز ۴۲ نه تنها وزنی اضافه نکردند، بلکه دچار کاهش وزن شدند (جدول ۳). از این رو محاسبه FCR برای آن‌ها در این بازه موضوعیت نداشت (جدول ۱).

تأثیر رژیم‌های مختلف غذایی بر نرخ رشد نسبی (RGR)

نتایج مقایسه نرخ رشد نسبی (RGR) لاروها در تیمارهای مختلف و در طول زمان در جدول ۲ آمده است. مطابق انتظار، در همه تیمارها RGR با گذشت زمان و افزایش سن لاروها کاهش معنی‌داری یافت ($P < 0.05$) که با الگوی عمومی رشد در حشرات مطابقت دارد. در تمام بازه‌های زمانی، بالاترین RGR در تیمار شاهد (A) و تیمار B (۲۵٪ جایگزینی) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($P > 0.05$). این همسانی آماری، سطح ۲۵ درصد را به‌عنوان یک حد جایگزینی ایمن تأیید می‌کند.

با افزایش درصد پوست بادام در جیره (تیمارهای C، D و E)، RGR به طور معنی داری و با یک روند وابسته به غلظت کاهش یافت ($P < 0.05$). این کاهش در تیمار E به قدری شدید بود که مقدار RGR در روز ۲۸ به ۰/۰۰۶۷ رسید و در روز ۴۲ اساساً رشد متوقف شد که نشان دهنده عدم کفایت کامل این جیره برای حمایت از فرآیندهای زیستی رشد است (جدول ۲).

جدول ۱- نرخ تبدیل غذا (FCR) (میانگین $\pm$ خطای معیار) لاروهای *Zophobas morio* تغذیه شده با سطوح مختلف جایگزینی سبوس گندم با پودر پوست سبز بادام

Table 1. Feed conversion rate (FCR) (mean $\pm$ SE) of *Zophobas morio* larvae fed with different levels of wheat bran replacement with green almond hull powder

Treatments	Feed conversion ratio (FCR)		
	Time Interval (day)		
	14 th day	28 th day	42 th day
(A) Wheat bran (100%)	2.32 $\pm$ 0.17 ^a	2.58 $\pm$ 0.22 ^a	2.92 $\pm$ 0.20 ^a
(B) Wheat bran (75%) + almond hull (25%)	2.45 $\pm$ 0.11 ^a	2.86 $\pm$ 0.15 ^a	3.27 $\pm$ 0.38 ^b
(C) Wheat bran (50%) + almond hull (50%)	3.84 $\pm$ 0.25 ^b	4.55 $\pm$ 0.31 ^b	4.96 $\pm$ 0.25 ^c
(D) Wheat bran (25%) + almond hull (75%)	4.21 $\pm$ 0.23 ^c	5.74 $\pm$ 0.24 ^b	6.37 $\pm$ 0.19 ^d
(E) Almond hull (100%)	4.62 $\pm$ 0.16 ^d	6.16 $\pm$ 0.32 ^c	0

*FCR for treatment E on day 42 could not be calculated due to loss of larval weight (negative growth). Different letters in each column indicate significant differences based on Tukey's test ($P < 0.05$).

جدول ۲- نرخ رشد نسبی (RGR) (میانگین $\pm$ خطای معیار) لاروهای *Zophobas morio* تغذیه شده با سطوح مختلف جایگزینی سبوس گندم با پودر پوست سبز بادام

Table 2. Relative growth rate (RGR) (mean $\pm$ SE) of *Zophobas morio* larvae fed with different levels of wheat bran replacement with green almond hull powder

Treatments	Relative growth rate (RGR)		
	Time Interval (day)		
	14 th day	28 th day	42 th day
(A) Wheat bran (100%)	0.0251 $\pm$ 0.0017 ^a	0.0213 $\pm$ 0.0014 ^a	0.0154 $\pm$ 0.0047 ^a
(B) Wheat bran (75%) + almond hull (25%)	0.0231 $\pm$ 0.0011 ^a	0.0189 $\pm$ 0.0009 ^a	0.0137 $\pm$ 0.0035 ^a
(C) Wheat bran (50%) + almond hull (50%)	0.0157 $\pm$ 0.0025 ^b	0.0150 $\pm$ 0.0042 ^b	0.0108 $\pm$ 0.0087 ^b
(D) Wheat bran (25%) + almond hull (75%)	0.0124 $\pm$ 0.0020 ^c	0.0108 $\pm$ 0.0034 ^c	0.0038 $\pm$ 0.0035 ^c
(E) Almond hull (100%)	0.0110 $\pm$ 0.0012 ^d	0.0067 $\pm$ 0.0029 ^d	-

*RGR for treatment (E) at day 42 was calculated to be zero or close to zero and negative due to growth arrest and weight loss. Different letters in each column indicate significant differences based on Tukey's test ($P < 0.05$).

تأثیر رژیم‌های مختلف غذایی بر درصد افزایش وزن (WG)

بررسی درصد افزایش وزن (WG) در جدول ۳، الگوی کاملاً هم‌راستا با RGR را نشان می‌دهد. در سه تیمار اول (تیمارهای A، B و C) روند افزایش وزن در طول ۴۲ روز مثبت بود، اما دو تیمار D و E عملکرد بسیار ضعیفی داشتند. نکته کلیدی، کاهش وزن شدید لاروها در تیمار E در روز ۴۲ (۱۴/۸۸- درصد) است که نشان می‌دهد لاروها نه تنها قادر به رشد نبودند، بلکه برای تأمین انرژی مورد نیاز خود، شروع به تحلیل بردن بافت‌های بدنی کردند. در روز ۱۴، تیمارهای A و B با WG حدود ۴۲ و ۳۸ درصد بهترین عملکرد را داشته و تفاوت معنی داری با هم نداشتند. این برتری تا پایان آزمایش برای تیمار B نسبت به سایر تیمارها (به جز شاهد) حفظ شد، اما کاهش تدریجی WG در تیمار B نسبت به شاهد، در روز ۴۲ محسوس تر بود (۷۸/۳۳ در مقابل ۸۷/۸۱ درصد) که می‌تواند حاکی از اثر بلندمدت ترکیبات ضد تغذیه‌ای یا کمبود عناصر مغذی خاص باشد (جدول ۳).

تأثیر رژیم‌های مختلف غذایی بر درصد زنده‌مانی (SR)

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، لاروهای پرورش یافته در تیمار شاهد (A) در تمام مدت آزمایش ۱۰۰٪ زنده‌مانی داشتند. با افزایش درصد پوست سبز بادام، میزان زنده‌مانی به صورت وابسته به غلظت و زمان کاهش یافت. تا روز ۱۴، تفاوت معنی‌داری در زنده‌مانی تیمارهای A و B مشاهده نشد ($P>0.05$)، اما این تفاوت در روز ۲۸ و به‌ویژه روز ۴۲ معنی‌دار شد. نرخ زنده‌مانی در تیمارهای D و E در روز ۴۲ به ترتیب به ۵۹ و ۳۸ درصد کاهش یافت. این کاهش شدید در زنده‌مانی، هم‌زمان با کاهش وزن (جدول ۳) و افزایش FCR، تصویر کاملی از عدم توانایی لاروها در سازگاری فیزیولوژیک با جیره‌های غذایی با درصد بالای پوست بادام ارائه می‌دهد و آن را به عنوان یک عامل محدودکننده اصلی معرفی می‌کند (جدول ۴).

جدول ۳- درصد افزایش وزن (WG) (میانگین $\pm$ خطای معیار) لاروهای *Zophobas morio* تغذیه‌شده با سطوح مختلف جایگزینی سبوس گندم با پودر پوست سبز بادام

Table 3. Percentage weight gain (WG) (mean $\pm$ SE) of *Zophobas morio* larvae fed with different levels of wheat bran replacement with green almond hull powder

Treatments	Weight gain (WG)		
	Time Interval (day)		
	14 th day	28 th day	42 th day
(A) Wheat bran (100%)	42.44 $\pm$ 3.27 ^a	81.80 $\pm$ 3.14 ^a	87.81 $\pm$ 3.47 ^a
(B) Wheat bran (75%) + almond hull (25%)	38.19 $\pm$ 2.11 ^a	69.86 $\pm$ 2.22 ^a	78.33 $\pm$ 3.45 ^a
(C) Wheat bran (50%) + almond hull (50%)	31.60 $\pm$ 3.15 ^b	39.09 $\pm$ 3.42 ^b	44.86 $\pm$ 4.87 ^b
(D) Wheat bran (25%) + almond hull (75%)	24.10 $\pm$ 1.89 ^c	33.39 $\pm$ 4.04 ^c	17.72 $\pm$ 2.35 ^c
(E) Almond hull (100%)	18.38 $\pm$ 3.52 ^d	20.95 $\pm$ 2.09 ^d	-14.88 $\pm$ 2.58 ^d

Different letters in each column indicate significant differences based on Tukey's test ($p<0.05$).

تأثیر رژیم‌های مختلف غذایی بر نرخ تولید فضولات (FP)

نتایج بررسی نرخ تولید فضولات (FP) در پایان آزمایش (روز ۴۲) در جدول ۵ ارائه شده است. یک رابطه مستقیم و قوی بین افزایش نسبت پوست سبز بادام در جیره و افزایش FP مشاهده شد ($P<0.05$). جالب توجه است که تفاوت FP بین تیمار شاهد (۱/۸۱) و تیمار B (۲/۰۷) معنی‌دار نبود ($P>0.05$) که تأیید می‌کند در سطح ۲۵٪ جایگزینی، کارایی دستگاه گوارش لاروها به خطر نمی‌افتد. اما با افزایش بیشتر پسماند در جیره، FP به‌طور چشمگیری افزایش یافت و در تیمار (E) به ۴/۹۵ رسید که نشان‌دهنده افزایش ۱۷۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد است. این میزان بالای FP، بازتابی از محتوای فیبری بالای جیره و هضم ناقص آن است و نشان می‌دهد که بخش اعظم خوراک مصرفی بدون آنکه به زیست توده تبدیل شود، از بدن لارو دفع شده است (جدول ۵).

بحث

یافته‌های این پژوهش به روشنی نشان داد که جایگزینی سبوس گندم با پوست سبز بادام در جیره غذایی لاروهای *Z. morio* تأثیر وابسته به غلظت بر شاخص‌های عملکرد رشد دارد. نکته قابل توجه این است که حتی در سطح ۲۵ درصد جایگزینی، هرچند تفاوت آماری معنی‌داری با تیمار شاهد مشاهده نشد ($P>0.05$)، اما روند کاهشی در تمام شاخص‌های کلیدی از جمله نرخ رشد نسبی (RGR)، درصد افزایش وزن (WG) و نرخ تبدیل غذا (FCR) مشهود بود. این روند کاهشی نشان می‌دهد که پوست سبز بادام، برخلاف برخی پسماندهای کشاورزی دیگر، گزینه مطلوبی برای جایگزینی سبوس گندم در پرورش سوپرورم نیست و صرفاً در سطح پائین قابل تحمل است. این یافته با نتایج برخی پژوهش‌های پیشین در مورد سایر پسماندها متفاوت است.

جدول ۴- درصد زنده‌مانی (SR) لاروهای *Zophobas morio* تغذیه‌شده با سطوح مختلف جایگزینی سبوس گندم با پودر پوست سبز بادام

Table 4. Survival percentage (SR) of *Zophobas morio* larvae fed with different levels of wheat bran replacement with green almond hull powder

Treatments	Survival ratio (SR)		
	Time Interval (day)		
	14 th day	28 th day	42 th day
(A) Wheat bran (100%)	100 ^a	100 ^a	100 ^a
(B) Wheat bran (75%) + almond hull (25%)	99.33 ^a	95.50 ^a	93 ^b
(C) Wheat bran (50%) + almond hull (50%)	93 ^b	90 ^b	80 ^c
(D) Wheat bran (25%) + almond hull (75%)	83.66 ^c	70.33 ^b	59.44 ^d
(E) Almond hull (100%)	77.85 ^d	52.66 ^c	38 ^e

Different letters in each column indicate significant differences based on Tukey's test ($P < 0.05$).

جدول ۵- نرخ تولید فضولات (FP) (میانگین $\pm$ خطای معیار) لاروهای *Zophobas morio* در پایان دوره پرورش (روز ۴۲) در پاسخ به سطوح مختلف جایگزینی سبوس گندم با پودر پوست سبز بادام

Table 5. Frass production (FP) rate (mean $\pm$ SE) of *Zophobas morio* larvae at the end of the rearing period (day 42) in response to different levels of wheat bran replacement with green almond hull powder

Treatments	FP
(A) Wheat bran (100%)	1.81 $\pm$ 0.11 ^a
(B) Wheat bran (75%) + almond hull (25%)	2.07 $\pm$ 0.89 ^a
(C) Wheat bran (50%) + almond hull (50%)	2.77 $\pm$ 0.58 ^b
(D) Wheat bran (25%) + almond hull (75%)	3.60 $\pm$ 0.97 ^c
(E) Almond hull (100%)	4.9 $\pm$ 0.60 ^d

Different letters indicate significant differences based on Tukey's test ($P < 0.05$).

برای نمونه، ناس کیمنتو و همکاران (Nascimento et al., 2022) گزارش کردند که استفاده از تفاله انگور در جیره *Z. morio* می‌تواند برخی شاخص‌های تغذیه‌ای را بهبود بخشد. با این حال، باید توجه داشت که هر پسماند کشاورزی ویژگی‌های تغذیه‌ای منحصر به فرد خود را دارد و مقایسه مستقیم بین آن‌ها بدون انجام آزمایش‌های مقایسه‌ای در شرایط یکسان، فاقد اعتبار علمی است. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که پوست سبز بادام، به دلیل ترکیب شیمیایی خاص خود، عملکرد ضعیف‌تری نسبت به پسماندهایی مانند تفاله انگور دارد. افزایش سهم پوست بادام به ۵۰ درصد و بالاتر، منجر به افت معنی‌دار و پیش‌رونده در تمام شاخص‌های زیستی شد. این کاهش عملکرد، به‌ویژه در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد که با کاهش وزن و تلفات شدید (تا ۶۲ درصد در تیمار ۱۰۰٪) همراه بود، به وضوح عدم مطلوبیت این پسماند را به عنوان جیره غذایی سوپرورم نشان می‌دهد. تحلیل این پدیده را می‌توان از دو منظر عمده تبیین کرد. نخست فقر مواد مغذی و بار بالای فیبر و دیگری افزایش بار ترکیبات ضدتغذیه‌ای موجود در پوست بادام. پوست سبز بادام با داشتن حداکثر ۶ درصد پروتئین خام، در مقایسه با سبوس گندم (حدود ۱۶ درصد) به‌طور قابل توجهی از ماده کلیدی سازنده زیست‌توده حشره تهی است. از آنجا که پروتئین جیره، مهم‌ترین عامل در تنظیم نرخ رشد و زنده‌مانی حشرات محسوب می‌شود (Wang et al., 2018)، کمبود شدید آن در تیمارهای با درصد بالای پوست بادام، به‌طور مستقیم سنتر پروتئین و رشد لاروها را محدود کرده است. علاوه بر این، محتوای فیبر بالا (حدود ۱۸ درصد در مقابل ۹ درصد در سبوس) و به‌ویژه لیگنین (حدود ۱۲ درصد در مقابل ۳/۴ درصد) (DePeters et al., 2020)، به عنوان عوامل فیزیکی و شیمیایی بازدارنده هضم عمل می‌کنند. این ترکیبات با افزایش حجم غیرقابل هضم غذا، عملاً دسترسی آنزیم‌های گوارشی به مواد مغذی را کاهش می‌دهند. دلیل دیگر برای کاهش شدید عملکرد در سهم‌های بالای جایگزینی، حضور ترکیبات ضدتغذیه‌ای به‌ویژه تانن‌ها و ترکیبات فنولی در

پوست بادام است (Silva et al., 2025). این ترکیبات با اتصال به پروتئین‌ها و مهار فعالیت آنزیم‌های گوارشی، مانع از هضم و جذب مؤثر مواد مغذی موجود در جیره می‌شوند (Singh et al., 2017). لازم به تأکید است که در پژوهش حاضر، اندازه‌گیری مستقیم این ترکیبات انجام نشده است و این توضیح بر اساس داده‌های ترکیبی منتشرشده از پوست بادام مطرح می‌شود. بنابراین، نمی‌توان با قاطعیت در مورد سهم دقیق این ترکیبات در کاهش عملکرد اظهارنظر نمود و انجام آنالیزهای شیمیایی دقیق در پژوهش‌های آینده ضروری است.

در تیمار ۲۵ درصد، غلظت این ترکیبات احتمالاً زیر آستانه تحمل فیزیولوژیک لارو قرار دارد، اما در غلظت‌های بالاتر، اثر تجمعی و بازدارندگی آن‌ها بر سیستم گوارش، منجر به سوء تغذیه و تحلیل بافت‌های بدن می‌شود که به‌وضوح در کاهش وزن لاروها در تیمار E در روز پایانی مشاهده شد. نرخ تولید فضولات (FP) به‌عنوان یک شاخص غیرمستقیم از کارایی هضم، تصویر روشنی از این ناکارآمدی ارائه داد. افزایش ۱۷۳ درصدی نرخ FP در تیمار ۱۰۰٪ نسبت به شاهد، تأیید می‌کند که حجم بالای فیبر و ترکیبات ضدتغذیه‌ای، لاروها را به سمت مصرف بیشتر و هضم ناقص‌تر سوق می‌دهد. مطابق با اصول تغذیه حشرات، هنگامی که کیفیت غذا پائین می‌آید، حشرات ممکن است برای جبران کمبود مواد مغذی، نرخ عبور غذا از دستگاه گوارش را افزایش دهند که نتیجه آن افزایش حجم فضولات دفعی است (Slansky, 1982; Serra et al., 2026). این راهبرد جبرانی در تیمارهای دارای ۷۵ و ۱۰۰٪ پوست سبز بادام به‌وضوح شکست خورده، زیرا افزایش دفع نتوانسته کمبود ذاتی مواد مغذی را جبران کند و در نتیجه به افت زیست‌توده منجر شده است. همچنین، روند صعودی نرخ تبدیل غذا (FCR) در طول زمان، حتی در تیمار شاهد، یک پدیده فیزیولوژیک طبیعی است که نشان می‌دهد با افزایش سن لاروها و نزدیک شدن به مراحل پیش از شفیرگی، کارایی تبدیل غذا به زیست‌توده کاهش می‌یابد. این یافته با مدل‌های رشد حشرات که کاهش نرخ رشد نسبی در سنین بالاتر را امری معمول می‌دانند، کاملاً مطابقت دارد و بر لزوم در نظر گرفتن سن لارو در طراحی روش‌های پرورش تأکید می‌کند.

از منظر پرورش انبوه، باید تأکید کرد که عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۲۵٪ جایگزینی، به معنای مطلوب بودن این جیره برای تولید تجاری نیست. در شرایط تولید انبوه، حتی کاهش‌های غیرمعنی‌دار آماری نیز می‌توانند از نظر اقتصادی قابل توجه باشند. واژه «سازگاری» یا «تحمل» در این زمینه نشان‌دهنده اجبار به تغذیه از یک بستر نامطلوب است که طبیعتاً تأثیر به‌سزایی در کاهش راندمان تولید خواهد داشت. بنابراین، استفاده از پوست سبز بادام در جیره سوپرورم فقط در شرایطی قابل توجیه است که هدف اصلی، مدیریت پسماند کشاورزی و کاهش بار زیست‌محیطی باشد، نه بهینه‌سازی تولید. در مجموع، شواهد به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که پوست سبز بادام، به دلیل ترکیب شیمیایی نامتوازن شامل پروتئین پائین، فیبر بالا و حضور احتمالی ترکیبات فنولی، گزینه نامطلوبی برای پرورش سوپرورم محسوب می‌شود. کاربرد این پسماند فقط در سطوح بسیار پائین (تا ۲۵٪) و با پذیرش کاهش نسبی عملکرد، آن هم به‌طور عمده با هدف مدیریت پسماند قابل توجیه است و توصیه نمی‌شود که به عنوان یک جزء اصلی جیره در سیستم‌های پرورش انبوه در نظر گرفته شود.

از منظر اقتصادی، با توجه به اینکه بیش از ۶۰ درصد هزینه‌های عملیاتی پرورش حشرات مربوط به تأمین خوراک است (Meyer et al., 2021)، جایگزینی یک‌چهارم از سبوس گندم که کالایی با نوسان قیمت بالاست، با یک محصول جانبی ارزان قیمت، می‌تواند به کاهش چشمگیر هزینه‌های تولید منجر شده و حاشیه سود را افزایش دهد. از منظر زیست‌محیطی نیز این راهکار یک مدل عملی از اقتصاد چرخشی ارائه می‌دهد و با تبدیل یک پسماند مسئله‌ساز کشاورزی (با تولید سالانه حدود ۸۵ هزار تن در ایران) به پروتئین حشره، از یک سو از دفن یا سوزاندن این ضایعات جلوگیری کرده و از سوی دیگر فشار بر منابع اولیه مانند غلات را کاهش می‌دهد. با این حال، این مطالعه آشکار ساخت که استفاده از سطوح بالاتر پوست بادام (۵۰٪ و بیشتر)، به دلیل محتوای ناکافی پروتئین، بار فیزیکی بالا و حضور ترکیبات ضدتغذیه‌ای، به‌شدت برای پرورش این حشره مضر بوده و منجر به افت رشد، افزایش تلفات و کاهش کارایی سامانه تولید می‌شود. بررسی‌های آتی می‌بایست بر امکان‌پذیری بهبود ارزش تغذیه‌ای پوست بادام از طریق پیش‌فرآوری‌هایی مانند تخمیر حالت جامد یا افزودن آنزیم‌های تجزیه‌کننده فیبر متمرکز شود تا بتوان سهم بالاتری از این پسماند را

در جیره گنجانده. همچنین، بررسی تأثیر این جیره بر ترکیب شیمیایی و ارزش غذایی محصول نهایی (لاروها) و کیفیت فضولات تولیدی به عنوان یک کود زیستی بالقوه، از اهمیت بالایی برای تکمیل چرخه ارزش آفرینی از این پسماند برخوردار است.

References

- Andreadis, S. S., Panteli, N., Mastoraki, M., Rizou, E., Stefanou, V., Tzentilasvili, S., Sarrou, E., Chatzifotis, S., Krigas, N., & Antonopoulou, E. (2021). Towards functional insect feeds: Agri-food by-products enriched with post-distillation residues of medicinal aromatic plants in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) breeding. *Antioxidants*, 11(1), 68. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11010068>
- Arbab, A. (2022). Evaluation of fruit and vegetable residues on nutritional indicators of barley beetle larvae, *Zophobas morio* (Fabricius, 1776) for farmed fish. *Aquatic Animals Nutrition*, 22, 65-74. DOI: <https://doi.org/10.22124/janb.2023.24170.1198>
- Ayompe, L. M., Masso, C., Epie, W. N., Crook, E. D., & Egoh, B. N. (2025). Insect-based organic waste management: A sustainable pathway to enhanced ecosystem services and food security. *Frontiers in Sustainability*, 6, 1620925. DOI: <https://doi.org/10.3389/frsus.2025.1620925>
- Barral-Martinez, M., Fraga-Corral, M., Garcia-Perez, P., Simal-Gandara, J., & Prieto, M. A. (2021). Almond by-products: Valorization for sustainability and competitiveness of the industry. *Foods*, 10(8), 1793. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10081793>
- Barreca, D., Nabavi, S. M., Sureda, A., Rasekhian, M., Raciti, R., Silva, A. S., Annunziata, G., Arnone, A., Tenore, G. C., Süntar, İ., & Mandalari, G. (2020). Almonds (*Prunus Dulcis* Mill. D. A. Webb): A source of nutrients and health-promoting compounds. *Nutrients*, 12(3), 672. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12030672>
- Chen, C. Y., Lapsley, K., & Blumberg, J. (2006). A nutrition and health perspective on almonds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(14), 2245–2250. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2659>
- Chernysh, S., Kim, S. I., Bekker, G., Pleskach, V. A., Filatova, N. A., Anikin, V. B., Platonov, V. G., & Bulet, P. (2002). Antiviral and antitumor peptides from insects. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(20), 12628-12632. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.192301899>
- DePeters, E. J., Swanson, K. L., Bill, H. M., Asmus, J., & Heguy, J. M. (2020). Nutritional composition of almond hulls. *Applied Animal Science*, 36, 761-770. DOI: <https://doi.org/10.15232/aas.2020-02035>
- Food and Agriculture Organization. (2019). Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved June 10, 2019. From <http://fao.org/crop/statistic>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). FAOSTAT.
- Garcia-Perez, P., Xiao, J., Munekata, P. E. S., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., RiazRajoka, M. S., Barros, L., Sprea, R. M., Amaral, J. S., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2021). Revalorization of almond by-products for the design of novel functional foods: An updated review. *Foods*, 10(8), 1823. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10081823>
- Hagstrum, D. W., & Subramanyam, B. (2009). *Stored-product insect resource*. AACC International.
- Hahn, T., Tafi, E., Paul, A., Salvia, R., Falabella, P., & Zibek, S. (2020). Current state of chitin purification and chitosan production from insects. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 95(11), 2775-2795. DOI: <https://doi.org/10.1002/jctb.6533>
- Kee, P. E., Cheng, Y.-S., Chang, J.-S., Yim, H. S., Tan, J. C. Y., Lam, S. S., & Khoo, K. S. (2023). Insect biorefinery: A circular economy concept for biowaste conversion to value-added products. *Environmental Research*, 221, 115284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115284>
- Mannaa, M., Mansour, A., Park, I., Lee, D. W., & Seo, Y. S. (2023). Insect-based agri-food waste valorization: Agricultural applications and roles of insect gut microbiota. *Environmental Science and Ecotechnology*, 17, 100287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.es.2023.100287>
- Manzano-Agugliaro, F., Sanchez-Muros, M. J., Barroso, F. G., Martínez-Sánchez, A., Rojo, S., & Pérez-Bañón, C. (2012). Insects for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3744-3753. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.017>
- Meyer, A. M., Meijer, N., & van der Fels-Klerx, H. J. (2021). The economics of insect production. In *Insects as food and feed: From production to consumption* (pp. 147-174). Wageningen Academic Publishers. DOI: <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-849-0>

- Nascimento, R. Q., Di Mambro Ribeiro, C. V., Colauto, N. B., da Silva, L., Lemos, P. V. F., de Souza Ferreira, E., Linde, G. A., Machado, B. A. S., Tavares, P. P. L. G., Biasoto, A. C. T., Umsza Guez, M. A., Carvalho, N., de Jesus Assis, D., da Silva, J. B. A., & de Souza, C. O. (2022). Utilization of agro-industrial residues in the rearing and nutritional enrichment of *Zophobas atratus* larvae: New food raw materials. *Molecules*, 27(20), 6963. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27206963>
- Ojaghi, H., Sarraf Moayeri, H. R., & Arbab, A. (2026). Effect of different diets on biological characteristics of *Tenebrio molitor* (Col.: Tenebrionidae). *Plant Pest Research*, 16(1), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.22124/iprj.2026.33395.1683>
- Oonincx, D. G. A. B., van Broekhoven, S., van Huis, A. & van Loon, J. J. A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLOS ONE*, 10(12), e0144601. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>
- Palma, L., Ceballos, S. J., Johnson, P. C., Niemeier, D., Pitesky, M., & VanderGheynst, J. S. (2018). Cultivation of black soldier fly larvae on almond byproducts: Impacts of aeration and moisture on larvae growth and composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5893–5900. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9127>
- Rumbos, C. I., & Athanassiou, C. G. (2021). The superworm, *Zophobas morio* (Coleoptera: Tenebrionidae): A 'sleeping giant' in nutrient sources. *Journal of Insect Science*, 21(2), 13. DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab014>
- Serra, G., Corrias, F., Casula, M., Fadda, M. L., Arrizza, S., Milia, M., Arru, N., & Angioni, A. (2026). Growth performances and nutritional values of *Tenebrio molitor* larvae: Influence of different agro-industrial by-product diets. *Foods*, 15(2), 393. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods15020393>
- Siddiqui, S. A., Harahap, I. A., Osei-Owusu, J., Saikia, T., Wu, Y. S., Fernando, I., Perestrelo, R., & Câmara, J. S. (2024). Bioconversion of organic waste by insects — a comprehensive review. *Process Safety and Environmental Protection*, 187, 1–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.03.080>
- Silva, V., Oliveira, I., Pereira, J. A., & Gonçalves, B. (2025). Almond by-products: A comprehensive review of composition, bioactivities, and influencing factors. *Foods*, 14(6), 1042. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14061042>
- Singh, A., Gupta, S., Kaur, R., & Gupta, H. R. (2017). Process optimization for anti-nutrient minimization of millets. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 36(4), 1–5. DOI: <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-1215>
- Slansky, F. (1982). Insect nutrition: An adaptationist's perspective. *The Florida Entomologist*, 65(1), 45–71. DOI: <https://doi.org/10.2307/3494145>
- Surendra, K. C., Tomberlin, J. K., van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L. L., & Khanal, S. K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Management*, 117, 58-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.050>
- Swanson, K. L., Bill, H. M., Asmus, J., Heguy, J. M., & DePeters, E. J. (2021). Feeding high amounts of almond hulls to lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 104(8), 8846–8856. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-191>
- van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology*, 73, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>
- Waldbauer, G. P. (1968). The consumption and utilization of food by insects. *Advances in Insect Physiology*, 5, 229–288. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(08\)60230-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)60230-1)
- Wang, Z. L., Wang, X. P., Li, C. R., Xia, Z. Z., & Li, S. X. (2018). Effect of dietary protein and carbohydrates on survival and growth in larvae of the *Henosepilachna vigintioctopunctata* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Insect Science*, 18(4), 3. DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/iey067>

The effect of replacing wheat bran with green almond hull powder on growth performance indices of *Zophobas morio* (Col.: Tenebrionidae) larvae

A. Arbab

Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Takestan branch, Iran

✉ abbasrabab@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5248-0585>

Received: 14 July 2026 | Accepted: 10 September 2026 |

Abstract

Almond hull is a by-product of the almond processing industry, and its potential for insect nutrition remains unknown. The superworm (*Zophobas morio*) is an edible insect species with high nutritional value and the ability to bioconvert organic wastes. This study aimed to investigate the effect of replacing wheat bran with green almond hull powder at levels of 0, 25, 50, 75, and 100% (w/w) on the growth performance indices of sixth-instar superworm larvae under laboratory conditions for six weeks. The results showed that replacing 25% of the diet with almond hull had no significant negative effect on key growth indices, including relative growth rate (0.0137 vs. 0.0154 mg/mg/day in the control), weight gain percentage (78.33% vs. 87.81%), feed conversion ratio (3.27 vs. 2.92), and survival rate (93% vs. 100%) at the end of day 42 ($p>0.05$). Increasing the replacement level to 50% or more significantly reduced all performance indices and increased frass production; in the 100% treatment, relative growth rate approached zero, weight gain dropped to -14.88%, survival rate decreased to 38%, and frass production increased from 1.81 in the control to 4.95. The findings of this study show that green almond skin is not a suitable option for mass rearing of superworms due to its unbalanced chemical composition (low protein and high fiber), and its use is justified only at low levels (up to 25%) and for the purpose of agricultural waste management.

Key words: Agricultural waste, nutritional indicators, superworm, waste management

Citation: Arbab, A. (2026). The effect of replacing wheat bran with green almond hull powder on growth performance indices of *Zophobas morio* (Col.: Tenebrionidae) larvae. *Plant Pest Research*, 16(2), 49-60. DOI: <https://doi.org/10.22124/iprj.2026.34224.1703>