

## Research Article

# اثر رژیم‌های غذایی با حداقل ردپای کربن بر شاخص‌های رشدی سوسک زرد آرد *Tenebrio molitor* L. (Col.: Tenebrionidae) به عنوان منبع پروتئینی دوستدار اقلیم

نرگس چناریان نخعی<sup>1</sup>، کمال احمدی<sup>2</sup> و مهدیه اسدی<sup>3</sup>

بخش گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

**چکیده:** این مطالعه به بررسی استفاده از ضایعات غذایی به‌عنوان جیره غذایی لارو سوسک زرد آرد پرداخته است. هدف اصلی، بهره‌برداری بهینه از پسماندها برای کاهش هدررفت مواد غذایی و کاهش رد پای کربن بود. نتایج آزمایشات نشان داد که لارو حشره در تیمار مخلوط پوست لیموترش و سبوس (LS) با میانگین  $(93/33 \pm 1/49)$  درصد بیشترین درصد بقا (SR) را داشت، در حالی که تیمار پوست خارجی میوه پسته (P) با میانگین  $(1/67 \pm 0/75)$  درصد کمترین درصد بقا را به خود اختصاص داد. در بررسی افزایش وزن (WG)، بیشترین مقدار مربوط به تیمار شاهد سبوس (S) با میانگین  $(1/43 \pm 0/1)$  گرم بود و پس از آن تیمار مخلوط غذای رستوران دانشجویی و سبوس (GS) با میانگین  $(1/22 \pm 0/11)$  گرم قرار گرفت. همچنین، بالاترین درصد نرخ رشد ویژه (SGR) در تیمار شاهد (S) با میانگین  $(8/25 \pm 0/63)$  درصد و پس از آن در تیمار GS با میانگین  $(8/19 \pm 0/14)$  درصد مشاهده شد. این دو تیمار با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند اما با سایر تیمارها، به جز تیمار LS، تفاوت معنی‌داری نشان دادند. بیشترین ضریب تبدیل غذایی (FCR) در تیمار مخلوط پوست پسته و سبوس (PS) با میانگین  $(50/58 \pm 7/81)$  گرم و کمترین مقدار در تیمار GS با میانگین  $(0/34 \pm 3/64)$  گرم ثبت شد. همچنین، کارایی مصرف پروتئین (PER) و چربی (LER) در تیمارهای شاهد (S)، LS و GS در شرایط مطلوب قرار داشت. نتایج نشان داد که تیمارهای سبوس، سبوس همراه با تفاله لیموترش، و سبوس همراه با ضایعات رستوران دانشجویی، به دلیل عملکرد مطلوب در تمامی شاخص‌ها، گزینه‌های مناسبی برای پرورش سوسک زرد آرد هستند.

## تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۴

انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۱۲

دبیر تخصصی: عباس ارباب

نویسنده مسئول: کمال احمدی

ایمیل: kahmadi@uk.ac.ir

DOI: <https://doi.org/10.61186/jesi.45.2.11>

کلمات کلیدی: سوسک زرد آرد، ضایعات غذایی، جیره غذایی پایدار، رشد و بقا

## مقدمه

پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که مصرف فرآورده‌های حیوانی بین سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۵۰، ۷۰ تا ۸۰ درصد افزایش خواهد یافت (Ooninx & De Boer, 2012). تأمین خوراک دام، طیور و آبزیان امری ضروری است، اما محدودیت منابع گیاهی و تغییرات اقلیمی این موضوع را به چالشی بزرگ تبدیل کرده است (Nematzadeh, 2021; Alizadeh-Ghamsari & Hosseini, 2020). افزایش سطح زیر کشت به‌عنوان منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف آب و نهاده‌های شیمیایی آثار مخربی بر محیط زیست دارد (Arbab, 2018; Zamani et al., 2020). در این راستا، با توجه به افزایش تقاضا و هزینه‌های بالای تولید ذرت و سویا، محصولات خوراکی مبتنی بر حشرات می‌توانند رقیب مهمی برای منابع سنتی خوراک دام باشند (Arbab, 2018). پودر حشرات به‌خاطر محتوای پروتئین بالا می‌تواند جایگزینی مناسب برای جیره غذایی طیور باشد (Ostadi & Matofi, 2020). پرورش حشرات، به‌ویژه لارو سوسک زرد آرد، به دلیل ضریب تبدیل غذایی مناسب و توانایی تبدیل پسماندهای کشاورزی به زیست‌توده پروتئینی، راهی پایدار برای بهبود امنیت غذایی و کاهش ردپای کربن است (Alizadeh-Ghamsari & Hosseini, 2020).

حدود ۷۵ درصد اراضی کشاورزی و ۸ درصد آب قابل شرب برای پرورش دام مصرف می‌شود و تولید ۳۰۰ گرم گوشت گاو ۲۹ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن منتشر می‌کند (Arbab, 2018; Alizadeh-Ghamsari & Hosseini, 2020). حشرات نه تنها دارای پروتئین، چربی و ویتامین‌های متنوعی هستند، بلکه می‌توانند جایگزینی مناسب برای گوشت قرمز باشند (Alizadeh-Ghamsari & Hosseini, 2020). سوسک زردآرد (*Tenebrio molitor* Linnaeus) به‌عنوان حشره‌ای با ارزش تغذیه‌ای بالا، گزینه‌ای مناسب برای پرورش و جایگزینی پودر ماهی در خوراک آبزیان محسوب می‌شود (Valipour et al., 2019).

سالانه حدود یک سوم مواد غذایی تولید شده هدر می‌رود و ۴۴ درصد این زباله‌ها شامل مواد غذایی و زباله‌های سبز است (Bordiean et al., 2022a). ضایعات کشاورزی غنی از پروتئین و ویتامین‌ها می‌توانند به کاهش مشکلات اقتصادی و زیست‌محیطی کمک کنند (Kotsou et al., 2024). بازیافت این زباله‌ها به مدیریت بهتر شهری و حفاظت از منابع محیط زیست کمک می‌کند (Nematzadeh, 2021). به‌طوری که در کره جنوبی از سال ۲۰۰۵ دفن پسماندهای غذایی

ممنوع شده و این پسماندها به عنوان خوراک برای تغذیه حیوانات مورد استفاده قرار می‌گیرند (Nematzadeh, 2021). استفاده بهینه از پسماندها و ضایعات کشاورزی در طی فرآیندهای تبدیل زیستی می‌تواند از نظر اقتصادی اهمیت فراوان داشته و علاوه بر افزایش تولید ناخالص ملی به رشد بهره‌وری و اشتغال نیز کمک کند (Kotsou et al., 2024). لاروهای *T. molitor* به عنوان طعمه و غذا برای ماهی‌ها و همچنین برای دوزیستان، خزندگان، لاک‌پشت‌ها، پرندگان و پستانداران کوچک که به عنوان حیوانات خانگی نگهداری می‌شوند، شناخته می‌شوند و به عنوان بهترین پروتئین حیوانی در باغ‌وحش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ghaly & Alkoaik, 2009). طول چرخه زندگی این سوسک بین ۲۸۰ تا ۶۳۰ روز متغیر است و مرحله لارو از ۳ تا ۱۸ ماه ادامه دارد (Pickova & Dimberg, 2017). حشرات ماده بین ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ تخم تولید می‌کنند، با میانگین ۴۰۰ تا ۵۰۰ تخم، و طول عمر بالغین بین ۳۷ تا ۹۶ روز است (Ghaly & Alkoaik, 2009). محتوای پروتئین لاروها ۵۰ تا ۶۰ درصد و محتوای چربی ۲۰ تا ۳۴ درصد ماده خشک است. از سوی دیگر آنها به عنوان منبع غنی از اسیدهای آمینه ضروری محسوب می‌شوند (Kröncke & Benning, 2023). همچنین، میزان فیبر خام آن‌ها ۱۰ تا ۱۵ درصد، خاکستر ۳ تا ۵ درصد و انرژی خام بین ۵۸۹۰ تا ۶۵۲۰ کیلوکالری در هر کیلوگرم است (Alizadeh-Ghamsari & Hosseini, 2020). لاروها غنی از آهن، روی و پتاسیم هستند (Arbab, 2018) و وجود کیتین در آن‌ها می‌تواند تاثیر مثبتی بر سامانه ایمنی مصرف‌کننده داشته باشد (Alizadeh-Ghamsari & Hosseini, 2020) که این میزان کیتین در حدود چهار و نیم درصد وزن توده خشک است (Arbab, 2018). این مقادیر با توجه به مرحله رشد، جنسیت، محیط رشد و رژیم غذایی لاروها متفاوت است (Kotsou et al., 2023).

Zamani et al. (2020) به بررسی فراسنجه‌های زیستی کرم زرد آرد با رژیم‌های غذایی مختلف شامل کاه گندم، گندم خرد شده، مقوا، نان خشک پودر شده، سبوس گندم، سبوس جو و کود حیوانی پرداختند. Ojaghi (2021) مطالعه‌ای روی ۱۰ جیره غذایی متفاوت از ضایعات کارخانه بیسکوئیت‌سازی، کارخانه تولید ماکارونی، نان صنعتی و ضایعات مرغ و ماهی انجام داد تا خصوصیات زیستی سوسک زرد آرد را بررسی کند. همچنین Tan et al. (2018) روی چهار رژیم غذایی شامل نان نانوائی (شاهد)، پوست هندوانه، پوست تخم‌مرغ و پوست موز و مخلوطی از این رژیم‌ها به نسبت مساوی مطالعاتی انجام دادند. Mancini et al. (2019) روی ۵ رژیم غذایی از ضایعات نان، کلوچه و غلات مصرف شده در آبخوسازی مطالعه کردند. Liu et al. (2020) تاثیر مکمل‌های گیاهی شامل هویج، پرتقال و کلم قرمز که به عنوان منبع رطوبت به لاروهای کرم زرد آرد داده می‌شود را بررسی کردند. Bordiean et al. (2022b) روی رژیم‌های سبوس گندم، سبوس چاودار، کنجاله کلزا، کیک کتان و کیک خارمریم و تاثیر آن بر رشد و تغذیه سوسک زرد آرد مطالعه کردند. Musembi et al. (2024) روی عملکرد رشد، بقا، تبدیل زیستی سوسک زرد آرد تغذیه شده با ضایعات سیب زمینی در درصدهای مختلف (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰) به سبوس گندم در رژیم غذایی اضافه کردند. همچنین Kröncke & Benning (2023) به بررسی ۱۳ رژیم غذایی شامل آرد پروتئین نخود، آرد پروتئین برنج، آرد کاساوا، آرد لوبین شیرین، سیب‌زمینی و سبوس گندم پرداختند. Kotsou et al. (2023) پودر لایه سفید داخلی پوست پرتقال را در درصدهای مختلف (۱۰، ۱۷/۵ و ۲۵) به سبوس گندم در جیره لارو سوسک زرد آرد اضافه کردند و تاثیر تغذیه‌ای آن را بررسی کردند.

در این تحقیق، به بررسی امکان استفاده از ضایعات مواد غذایی به عنوان جیره غذایی برای پرورش سوسک زرد آرد پرداخته شد. هدف این مطالعه، شناسایی و استفاده بهینه از مواد دورریز و ضایعات به عنوان منبعی پربازده و کم‌هزینه بود که بتواند به عنوان جایگزینی مناسب برای سبوس گندم در رژیم غذایی این حشره مورد استفاده قرار گیرد. با این رویکرد، نه تنها می‌توان به کاهش هدررفت مواد غذایی کمک کرد، بلکه از نظر اقتصادی نیز به یک روش پایدار برای تأمین پروتئین با کیفیت بالا دست یافت. این تحقیق می‌تواند به بهبود زنجیره تأمین غذایی و کاهش فشار بر منابع طبیعی و محیط‌زیست کمک کند، که در نهایت به کاهش ردپای کربن و مقابله با تغییرات اقلیمی منجر خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

**پرورش لاروها.** لاروهای سوسک زرد آرد از انسکتاریوم سلطان در استان قم تهیه و به دانشگاه شهید باهنر کرمان منتقل شدند. این لاروها در محیط انسکتاریوم دانشگاه در جعبه‌های پرورش به ابعاد  $۱۵ \times ۴۰ \times ۵۰$  سانتی‌متر نگهداری شدند. شرایط پرورش شامل دمای ۲۵ درجه سلسیوس و تاریکی ۲۴ ساعته بود. برای بستر پرورش، از سبوس گندم استفاده شد و انواع میوه و سبزی به منظور تأمین رطوبت در اختیار لاروها قرار گرفت. پس از اینکه لاروها غذای خود را به‌طور کامل مصرف کردند، منابع غذایی و رطوبتی مجدد تأمین شد. پس از ظهور حشره کامل و تخم‌گذاری، هر دو هفته یک‌بار تخم‌گیری انجام شد و حشرات کامل به ظرف دیگری منتقل گردید. برای انجام آزمایش، پس از تفریح تخم‌ها و طی شدن مرحله اول لاروی، لاروهای سن دوم جمع‌آوری شدند. این آزمایشگاه در آزمایشگاه حشره‌شناسی گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد.

**آماده‌سازی رژیم‌های غذایی.** به منظور بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف غذایی بر فراسنجه‌های زیستی حشره، ۱۲ رژیم غذایی به عنوان تیمار انتخاب شدند که شامل موارد زیر بود:

۱. تیمار شاهد: ۵۰ گرم سبوس گندم (S)
۲. تیمار تفاله لیموترش: ۵۰ گرم تفاله لیموترش آب گرفته و خشک شده (L)
۳. تیمار تفاله غوره: ۵۰ گرم تفاله غوره آب گرفته شده و خشک شده (A)
۴. تیمار مخلوط ضایعات غذایی رستوران دانشجویی: ۵۰ گرم از مخلوط ضایعات غذایی جمع‌آوری شده از رستوران دانشجویی دانشگاه شهید باهنر در طول یک هفته (G)
۵. تیمار پوست پسته: ۵۰ گرم پوست خارجی پسته خشک شده (P)
۶. تیمار تفاله میوه آب‌گیری شده: ۵۰ گرم مخلوط تفاله‌های میوه از آمیوه‌گیری‌های سطح شهر کرمان (T)

۷. تیمار مخلوط سبوس و تفاله لیموترش: ۲۵ گرم سبوس گندم و ۲۵ گرم تفاله لیموترش (LS)
۸. تیمار مخلوط سبوس و تفاله غوره: ۲۵ گرم سبوس گندم و ۲۵ گرم تفاله غوره (AS)
۹. تیمار مخلوط سبوس و غذای رستوران: ۲۵ گرم سبوس گندم و ۲۵ گرم غذای رستوران (GS)
۱۰. تیمار مخلوط سبوس و پوست پسته: ۲۵ گرم سبوس گندم و ۲۵ گرم پوست پسته (PS)
۱۱. تیمار مخلوط سبوس و تفاله میوه: ۲۵ گرم سبوس گندم و ۲۵ گرم تفاله میوه (TS)
۱۲. تیمار ترکیبی: ۸/۳۳ گرم سبوس گندم، ۸/۳۳ گرم تفاله لیموترش، ۸/۳۳ گرم تفاله غوره، ۸/۳۳ گرم غذای رستوران، ۸/۳۳ گرم پوست پسته و ۸/۳۳ گرم تفاله میوه (ALTPGS)

به منظور تعیین ترکیبات غذایی و تحلیل محتوای مغذی رژیم‌های غذایی مورد استفاده در این مطالعه، نمونه‌های هر یک از تیمارها به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید باهنر کرمان ارسال شدند و تحت آنالیزهای شیمیایی استاندارد قرار گرفتند. نتایج حاصل از این آنالیزها به‌عنوان مبنای ارزیابی اثر رژیم‌های مختلف بر شاخص‌های رشدی لاروهای سوسک زرد آرد به کار گرفته شد.

**آزمایش اول: ارزیابی تأثیر رژیم‌های غذایی بر شاخص‌های بقا و رشد سوسک زرد آرد.** در این آزمایش، برای هر تیمار از ظروف یکبار مصرف به قطر ۱۰ و ارتفاع ۵ سانتی‌متر استفاده شد و ۵۰ گرم از هر یک از رژیم‌های غذایی فوق‌الذکر در داخل هر ظرف ریخته شد. ۳۰ عدد لارو سن دوم که به مدت ۲۴ ساعت گرسنه بودند در ۱۰ تکرار روی بسترها قرار گرفتند. وزن اولیه لاروها پیش از آغاز آزمایش با ترازوی آنالیتیک دیجیتال با دقت یک ده هزارم (۰/۰۰۰۱) گرم اندازه‌گیری شد. به منظور تأمین رطوبت، ۱/۳ گرم هویج به‌صورت هفتگی برای هر تیمار اضافه شد. لاروها به‌مدت ۵ هفته درون اتاقک رشد با دمای ۲۵±۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵۰±۱۰ درصد و شرایط تاریکی کامل نگهداری و رصد شدند. پس از گذشت ۵ هفته، لاروها از بستر جمع‌آوری شده و برای تخلیه روده‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط گرسنگی قرار گرفتند. سپس وزن نهایی لاروها اندازه‌گیری شد. پس از انجام آزمایش با استفاده از داده‌های بدست آمده فراسنجه‌های درصد بقا (SR) (Survival Rate)، افزایش وزن بدن (WG) (Weight Gain)، درصد نرخ رشد ویژه (SGR) (Specific Growth Rate) برای هر تیمار و تکرار با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد (Hamza et al., 2008):

$$SR = \left( \frac{N_t}{N_0} \right) \times 100$$

$$WG = W_t - W_0$$

$$SGR = \left( \frac{\ln(W_t) - \ln(W_0)}{t} \right) \times 100$$

$$N_t = \text{تعداد لاروها در انتهای آزمایش}$$

$$N_0 = \text{تعداد لاروها در ابتدای آزمایش}$$

$$W_t = \text{وزن نهایی لاروها (گرم)}$$

$$W_0 = \text{وزن اولیه لاروها (گرم)}$$

$$t = \text{تعداد روزهای آزمایش}$$

**آزمایش دوم: محاسبه شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سوسک زرد آرد تحت رژیم‌های مختلف غذایی.** برای محاسبه شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سوسک زرد آرد، آزمایش در ظروف یکبار مصرف با قطر ۶ و ارتفاع ۳ سانتی‌متر انجام شد. در هر ظرف، ۰/۲ گرم از رژیم غذایی مورد نظر قرار داده شد و یک لارو سن دوم روی آن قرار گرفت. به‌منظور تأمین رطوبت، هفته‌ای ۰/۵ گرم هویج به‌عنوان منبع رطوبت به لاروها افزوده شد. پس از گذشت ۶ هفته، تمامی مواد غذایی توسط لاروها به‌طور کامل مصرف شد. سایر شرایط محیطی مشابه آزمایش اول حفظ شد. وزن اولیه و نهایی لاروها، پس از ۲۴ ساعت گرسنگی و تخلیه روده، اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های آزمایش شاخص‌های تغذیه‌ای شامل: ضریب تبدیل غذایی (Feed Conversion Ratio = FCR)، کارایی مصرف پروتئین (Protein Efficiency Ratio = PER) و کارایی مصرف چربی (Lipid Efficiency Ratio = LER) به روش زیر محاسبه شد (Hamza et al., 2008):

$$FCR = \frac{\text{مقدار مصرفی غذا}}{WG}$$

$$PER = \frac{WG}{TP}$$

$$LER = \frac{WG}{TL}$$

مقدار کل پروتئین مصرف شده (TP) = مقدار غذای خورده شده × درصد پروتئین تیمار

مقدار کل چربی مصرف شده (TL) = مقدار غذای خورده شده × درصد چربی تیمار

$$WG = W_t - W_0$$

$$W_t = \text{وزن نهایی لاروها (گرم)}$$

$$W_0 = \text{وزن اولیه لاروها (گرم)}$$

**تجزیه و تحلیل داده‌ها.** آنالیزهای آماری داده‌ها در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری STAT PLUS (نسخه ۲۰۰۹) انجام گرفت. ابتدا میانگین‌های هر تیمار محاسبه و سپس اختلافات بین آن‌ها بررسی شد. تفاوت‌های معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد تعیین شد. برای مقایسه میانگین‌های به‌دست‌آمده در مطالعات آزمایشگاهی، از آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA ONE-WAY) و آزمون FISHER LSD با سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

## نتایج

**نتایج حاصل از آنالیز تیمارهای غذایی.** برای تعیین مقدار ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام، کربوهیدرات و خاکستر، تیمارها به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید باهنر ارسال شدند و نتایج حاصل از آزمایش در **جدول ۱** قابل مشاهده است. طبق جدول بیشترین ماده خشک را تیمار P با مقدار ۹۴/۲۷ و کمترین آن تیمار S با مقدار ۹۲/۵۴ به خود اختصاص داده و همچنین بیشترین و کمترین میزان کربوهیدرات به ترتیب مربوط به تیمارهای T و G با مقادیر ۸۳/۵۷ و ۶۸/۳۲ می‌باشد. بیشترین میزان پروتئین خام را تیمار G با مقدار ۱۵/۳۲ و کمترین آن تیمار T با مقدار ۶/۷۰ دارا می‌باشد. در رابطه با چربی خام بیشترین و کمترین میزان چربی را به ترتیب تیمار G با مقدار ۱۱/۳۳ و تیمار T با مقدار ۳/۰۶ را به خود اختصاص داده است. بیشترین میزان خاکستر را در تیمار P با مقدار ۹/۶۰ و کمترین میزان خاکستر را در تیمار TS با مقدار ۳/۸۰ مشاهده می‌کنیم.

**نتایج حاصل از ارزیابی تأثیر رژیم‌های غذایی بر شاخص‌های بقا و رشد سوسک زرد آرد.** در این آزمایش در تیمار P از بین ۳۰۰ لاروی که مورد آزمایش قرار گرفت تنها ۵ لارو زنده مانده بود و تنها درصد بقا (SR) و میزان افزایش وزن (WG) قابل محاسبه بود و مابقی فراسنجه‌ها تیمار P محاسبه نشده است (شکل ۱). در این آزمایش نتایج نشان داد؛ درصد بقا (SR) در تمامی تیمارها به جز تیمار P بالا می‌باشد. همان‌گونه که در **شکل ۱** مشاهده می‌شود، درصد بقای تیمار P ( $1/67 \pm 0/75$ ) درصد می‌باشد که کمترین درصد بقا را به خود اختصاص داده و با تمامی تیمارها اختلاف معنی‌دار دارد ( $p \leq 0/0001$ ) و همچنین تیمار PS نیز با میانگین ( $4/23 \pm 0/66$ ) درصد با تمامی تیمارها اختلاف معنی‌دار دارد ( $p \leq 0/008$ ). بیشترین درصد بقا مربوط به تیمار LS با میانگین ( $93/33 \pm 1/49$ ) درصد می‌باشد که تنها با تیمارهای P، PS و G اختلاف معنی‌دار دارد ( $p \leq 0/01$ ). تیمارهای LS و GS و AS و TS به ترتیب نسبت به تیمار شاهد که سبوس گندم (S) بود درصد بقای بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند.

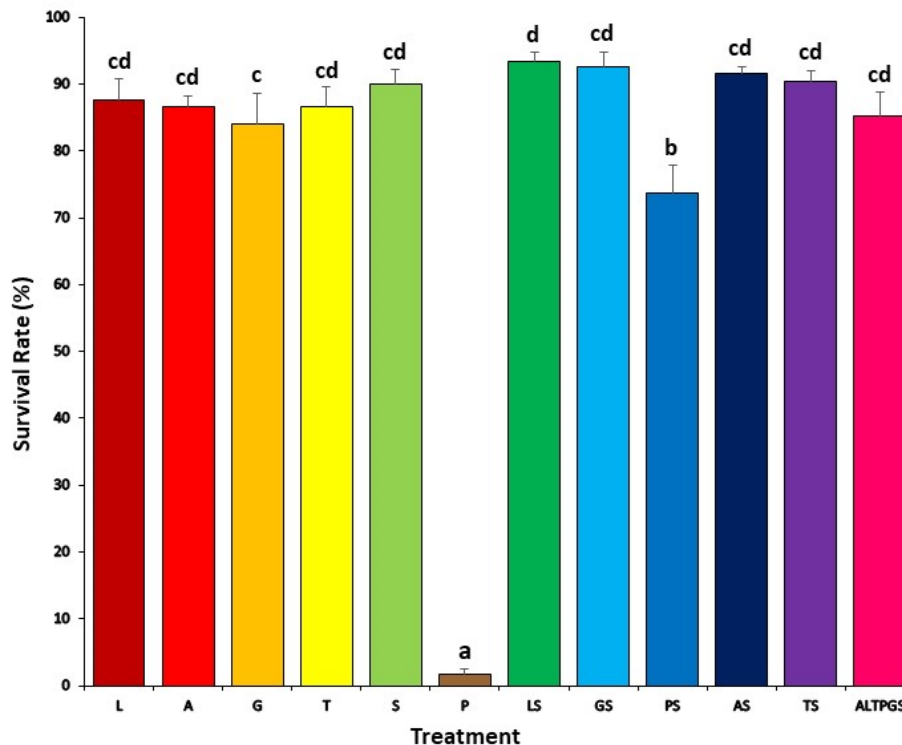
جدول ۱. تجزیه شیمیایی تیمارهای مختلف آزمایش

Table 1. Chemical Analysis of the Tested treatments

Sample	Dry Matter (%)	Crud Fat (%)	Crude Protein (%)	Ash (%)	Total Carbohydrates
AS	93.53	5.25	11.89	6.72	76.14
LS	92.92	3.81	10.46	7.45	78.28
PS	93.52	5.50	11.57	6.25	76.68
GS	93.19	7.12	15.15	5.06	72.67
TS	93.41	4.71	9.18	3.80	82.31
L	94.17	4.62	6.90	7.64	80.84
P	94.27	6.05	10.08	9.60	74.27
T	92.83	3.06	6.70	6.67	83.57
G	93.77	11.33	15.32	5.03	68.32
S	92.54	4.04	14.39	7.53	74.04
A	93.92	3.58	10.79	4.09	81.54
ALTPGS	93.84	5.09	10.43	5.49	78.97

تیمارها شامل: سبوس گندم به عنوان تیمار شاهد (S) - تفاله لیموترش (L) - تفاله غوره (A) - ضایعات غذای رستوران دانشجویی (G) - پوست پسته (P) - تفاله‌های میوه (T) - مخلوط سبوس گندم و تفاله لیموترش (LS) - مخلوط سبوس گندم و تفاله غوره (AS) - مخلوط سبوس گندم و غذای رستوران دانشجویی (GS) - مخلوط سبوس گندم و پوست پسته (PS) - مخلوط سبوس گندم و تفاله میوه (TS) - مخلوط سبوس گندم، تفاله لیموترش، تفاله غوره، باقی‌مانده غذای رستوران، پوست پسته، تفاله میوه (ALTPGS)

The treatments including: wheat bran as the control treatment (S), lemon peel residue (L), sour grape residue (A), student restaurant food waste (G), pistachio hull (P), fruit residues (T), a mixture of wheat bran and lemon peel residue (LS), a mixture of wheat bran and sour grape residue (AS), a mixture of wheat bran and student restaurant food waste (GS), a mixture of wheat bran and pistachio hull (PS), a mixture of wheat bran and fruit residues (TS), and a mixture of wheat bran, lemon peel residue, sour grape residue, student restaurant food waste, pistachio hull, and fruit residues (ALTPGS).



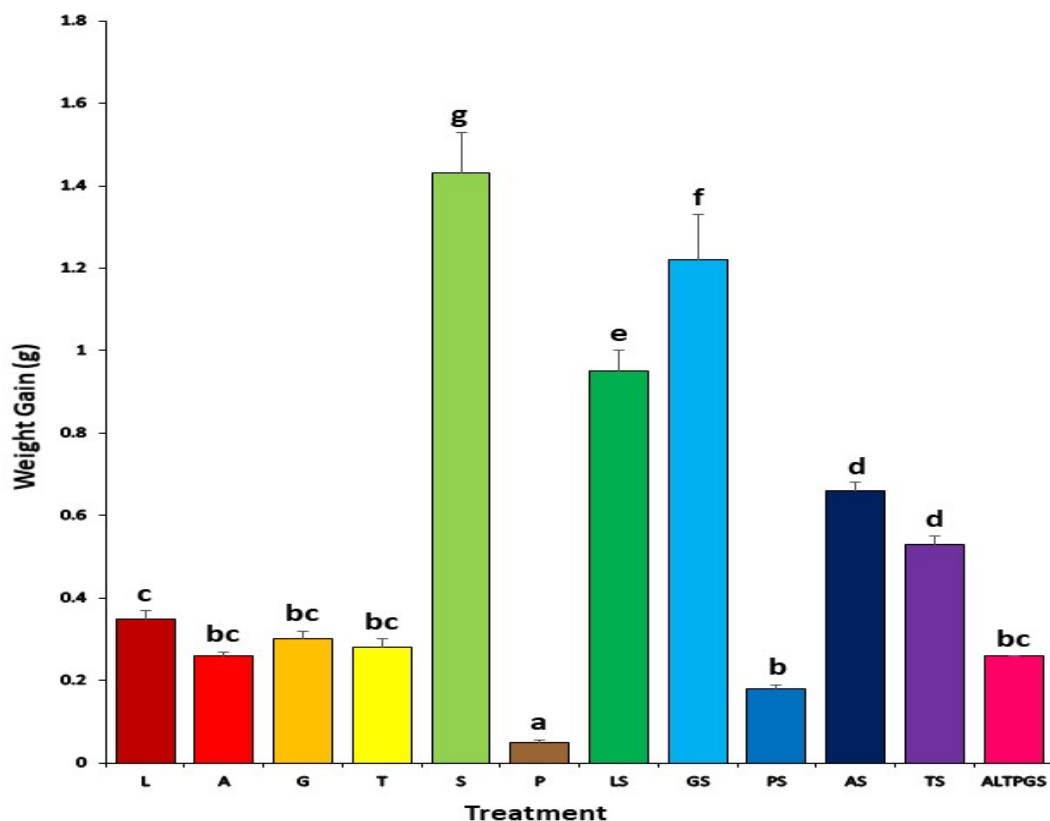
شکل ۱. مقایسه میزان درصد بقای (SR) لاروهای سوسک زرد آرد پس از شش هفته تغذیه با تیمارهای غذایی مختلف شامل: سبوس گندم به عنوان تیمار شاهد (S) - تفاله لیموترش (L) - تفاله غوره (A) - ضایعات غذای رستوران دانشجویی (G) - پوست پسته (P) - تفاله های میوه (T) - مخلوط سبوس گندم و تفاله لیموترش (LS) - مخلوط سبوس گندم و تفاله غوره (AS) - مخلوط سبوس گندم و غذای رستوران (GS) - مخلوط سبوس گندم و پوست پسته (PS) - مخلوط سبوس گندم و تفاله میوه (TS) - مخلوط سبوس گندم، تفاله لیموترش، تفاله غوره، غذای رستوران، پوست پسته، تفاله میوه (ALTPGS)

Fig. 1. Comparison of survival rate (SR) of yellow mealworm larvae after six weeks of feeding with different dietary treatments including: wheat bran as the control treatment (S), lemon peel residue (L), sour grape residue (A), student restaurant food waste (G), pistachio hull (P), fruit residues (T), a mixture of wheat bran and lemon peel residue (LS), a mixture of wheat bran and sour grape residue (AS), a mixture of wheat bran and student restaurant food waste (GS), a mixture of wheat bran and pistachio hull (PS), a mixture of wheat bran and fruit residues (TS), and a mixture of wheat bran, lemon peel residue, sour grape residue, student restaurant food waste, pistachio hull, and fruit residues (ALTPGS).

میزان افزایش وزن (WG) لاروهای سوسک زرد آرد در تیمارهای غذایی مختلف در شکل ۲ قابل مشاهده است که بر اساس آن بیشترین و کمترین افزایش وزن به ترتیب مربوط به تیمار S و P با میانگین به ترتیب  $(1/43 \pm 0/1)$  گرم و  $(0/05 \pm 0/06)$  گرم می باشد که این دو تیمار با تمامی تیمارها اختلاف معنی دار دارند ( $p \leq 0/004$ ). بعد از تیمار شاهد، بیشترین افزایش وزن مربوط به تیمار GS با میانگین  $(1/22 \pm 0/11)$  گرم می باشد که با دیگر تیمارها نیز اختلاف معنی دار دارد ( $p \leq 0/004$ ). تیمارهای A و G و T و PS و ALTPGS و همچنین دو تیمار AS و TS با یکدیگر اختلاف معنی دار ندارند. نتایج مندرج در شکل ۳ نشان می دهد که بیشترین درصد نرخ رشد ویژه (SGR) لاروهای سوسک زرد آرد در بین تیمارهای غذایی مختلف متعلق به تیمار شاهد با میانگین  $(8/25 \pm 0/63)$  درصد و پس از آن تیمار GS با میانگین  $(8/19 \pm 0/14)$  درصد می باشد که با یکدیگر اختلافی ندارند ولی با تیمارهای دیگر به جز تیمار LS اختلاف معنی دار دارند ( $p \leq 0/008$ ). کمترین درصد نرخ رشد ویژه هم متعلق به تیمار PS با میانگین  $(3/7 \pm 0/16)$  درصد می باشد که با تمامی تیمارها به جز تیمار A، T و ALTPGS اختلاف معنی دار دارد ( $p \leq 0/01$ ). تیمار AS با دو تیمار TS و LS و همچنین تیمارهای L، A، G و T و ALTPGS با یکدیگر اختلاف معنی دار ندارند.

**نتایج حاصل از محاسبه شاخص های تغذیه ای لاروهای سوسک زرد آرد تحت رژیم های مختلف غذایی.** بیشترین و کمترین ضریب تبدیل غذایی (FCR) لاروهای سوسک زرد آرد در تیمارهای غذایی مختلف، همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می شود، به ترتیب در تیمارهای PS و GS با میانگین های  $(50/58 \pm 7/81)$  گرم و  $(3/64 \pm 0/34)$  گرم محاسبه شد. تیمار GS با تیمار AS، TS، LS، T و G اختلاف معنی داری ندارد. تیمار PS با تمامی تیمارها اختلاف معنی دار دارد ( $p \leq 0/0001$ ). سه تیمار A، L و ALTPGS نیز با یکدیگر اختلاف معنی دار ندارند.

بیشترین و کمترین کارایی مصرف پروتئین (PER) لاروهای سوسک زرد آرد در تیمارهای غذایی مختلف به ترتیب مربوط به تیمار S و PS با میانگین به ترتیب  $(1/318 \pm 0/1318)$  می باشد (شکل ۵). تیمار S با تمامی تیمارها اختلاف معنی دار دارد ( $p \leq 0/020$ ) و تیمار PS با تیمارهای دیگر به جز A، ALTPGS و G اختلاف معنی دار دارد ( $p \leq 0/0001$ ). هم چنین تیمار LS و GS با یکدیگر اختلاف معنی دار ندارند و بعد از تیمار شاهد به ترتیب دارای بیشترین میانگین می باشند. تیمار L با دو تیمار AS و TS اختلاف معنی دار ندارند و همچنین تیمار L با تیمار T، TS و AS اختلافی ندارد.



شکل ۲. مقایسه افزایش وزن (WG) لاروهای سوسک زرد آرد پس از شش هفته تغذیه با تیمارهای غذایی مختلف شامل: سبوس گندم به عنوان تیمار شاهد (S) - تفاله لیموترش (L) - تفاله غوره (A) - ضایعات غذای رستوران دانشجویی (G) - پوست پسته (P) - تفاله های میوه (T) - مخلوط سبوس گندم و تفاله لیموترش (LS) - مخلوط سبوس گندم و تفاله غوره (AS) - مخلوط سبوس گندم و غذای رستوران (GS) - مخلوط سبوس گندم و پوست پسته (PS) - مخلوط سبوس گندم و تفاله میوه (TS) - مخلوط سبوس گندم، تفاله لیموترش، تفاله غوره، غذای رستوران دانشجویی، پوست پسته، تفاله میوه (ALTPGS)

Fig. 2. Comparison of weight gain (WG) of yellow mealworm larvae after six weeks of feeding with different dietary treatments including: wheat bran as the control treatment (S), lemon peel residue (L), sour grape residue (A), student restaurant food waste (G), pistachio hull (P), fruit residues (T), a mixture of wheat bran and lemon peel residue (LS), a mixture of wheat bran and sour grape residue (AS), a mixture of wheat bran and student restaurant food waste (GS), a mixture of wheat bran and pistachio hull (PS), a mixture of wheat bran and fruit residues (TS), and a mixture of wheat bran, lemon peel residue, sour grape residue, student restaurant food waste, pistachio hull, and fruit residues (ALTPGS).

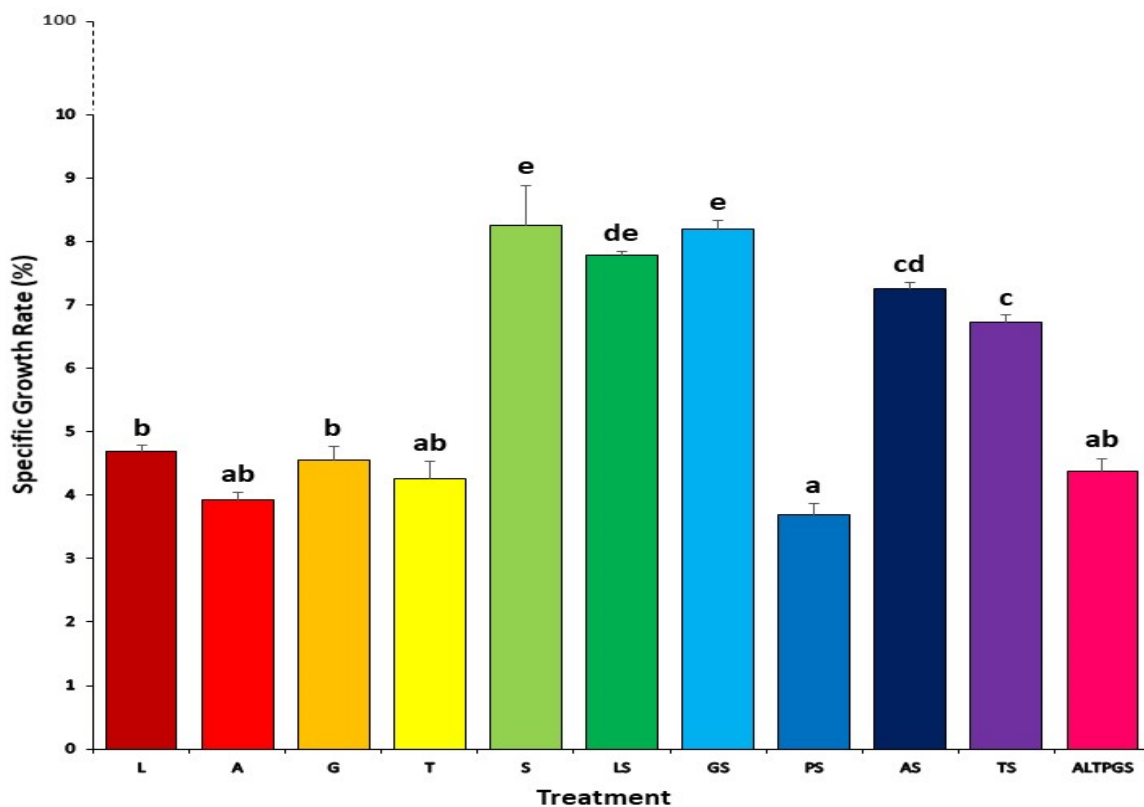
کارایی مصرف چربی (LER) لاروهای سوسک زرد آرد در تیمارهای غذایی مختلف در شکل ۶ قابل مشاهده است. بیشترین میانگین را تیمار شاهد با مقدار  $(0.4696 \pm 0.05729)$  به خود اختصاص داده که با تمامی تیمارها اختلاف معنی دار دارد ( $p < 0.0001$ ). بعد از تیمار شاهد بیشترین کارایی مصرف چربی را به ترتیب تیمار LS با میانگین  $(0.2115 \pm 0.04508)$  و تیمار GS با میانگین  $(0.2524 \pm 0.0669)$  به خود اختصاص داده که با یکدیگر و مابقی تیمارها اختلاف معنی دار دارند ( $p < 0.005$ ). کمترین میزان کارایی مصرف چربی هم مربوط به تیمار G با میانگین  $(0.237 \pm 0.0517)$  می باشد که با تمامی تیمارها به جز PS و ALTPGS اختلاف معنی دار دارد ( $p < 0.018$ ). سه تیمار TS، T و AS با یکدیگر اختلاف معنی دار ندارند و همچنین تیمارهای L، A و ALTPGS فاقد اختلاف معنی دار با یکدیگر هستند.

## بمٹ و نتیجه گیری

نتایج آزمایشات نشان داد که درصد بقا در تیمار پوست پسته (P) کمترین میزان را داشته و تنها ۱/۶۷ درصد از لاروها زنده ماندند. ضایعات پسته دارای ترکیبات پلی فنلی هستند که جذب مواد مغذی را کاهش داده و ممکن است باعث مسمومیت شوند (Ahmadi Mousavi, 2016). بنابراین، این رژیم غذایی برای لاروها مناسب نیست. بیشترین درصد بقا در تیمار (LS) مخلوط سبوس گندم و تفاله لیمو) با ۹۳/۳۳ درصد مشاهده شد. محصولات جانبی لیموترش، از جمله تفاله آن که حاوی ترکیبات زیست فعال مانند فنلها، کاروتنوئیدها و ویتامینها است، خواص ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی دارند (Magalhães et al., 2023; Sadeghi, 2019).

استفاده از ۶۰ درصد پوست نارنگی در جیره لارو ها موجب افزایش طول دوره لاروی و کاهش درصد تبدیل لارو به شفیره می‌شود، اما بیش از دو سوم لاروها قادر به تکمیل چرخه زندگی خود هستند (Ojaghi, 2021). نتایج Kotsou *et al.* (2023) نشان داد که پودر لایه سفید داخلی پوست پرتقال برای تولید لاروهای سوسک زرد آرد بی‌خطر است. همچنین، تحقیقات Tan *et al.* (2018) نشان داد که بیشترین درصد بقا لاروها مربوط به تیمار پوست موز است. نتایج محققین اخیر نشان می‌دهد که پوست مرکبات و برخی از میوه‌ها برای لاروهای این حشره بی‌خطر هستند. این پژوهش نیز درصد بقای بالای لاروها در رژیم غذایی حاوی پوست لیموترش را نشان می‌دهد. Zamani *et al.* (2020) نشان دادند که رژیم‌های غذایی گندم و گندم خرد شده، بهترین تاثیر را در بقا و تکمیل چرخه زیستی لارو سوسک زرد آرد دارند.

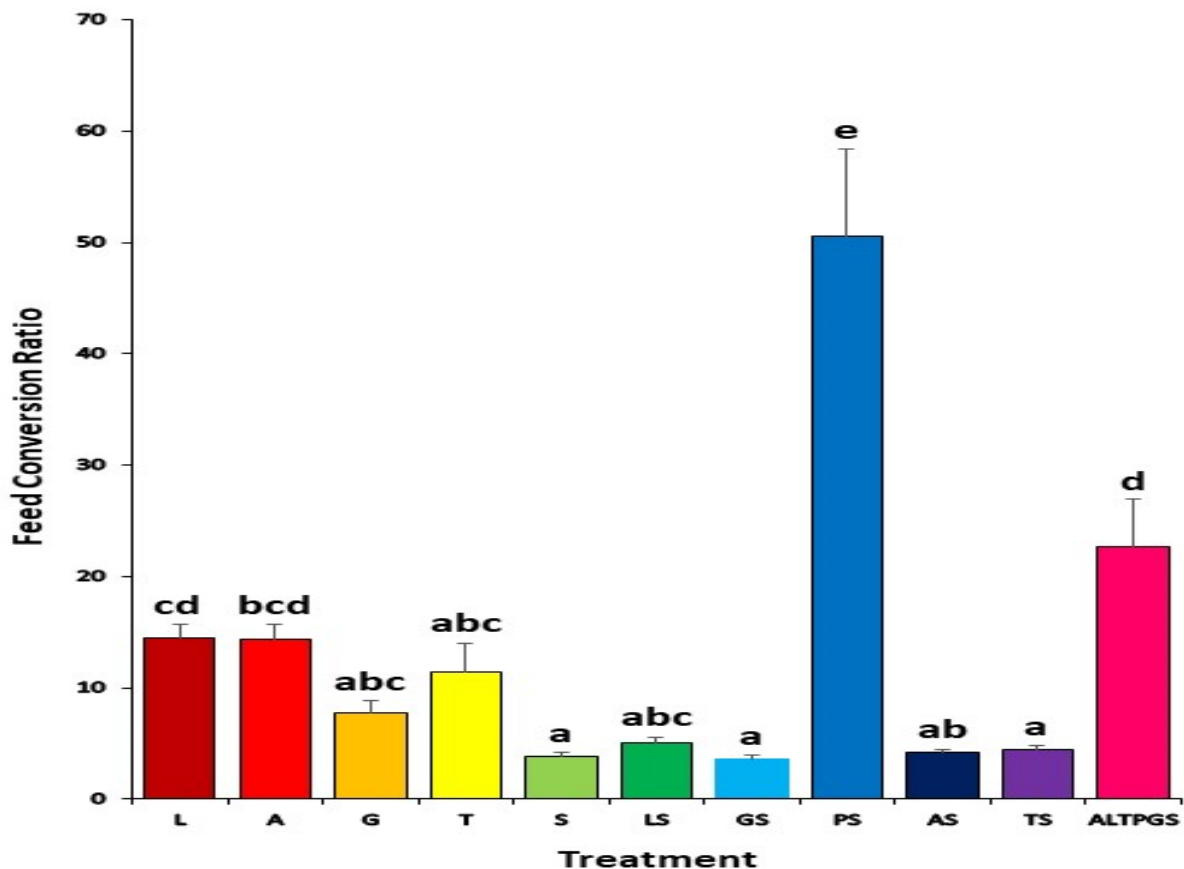
میزان افزایش وزن لارو سوسک زرد آرد در تیمار PS (مخلوط پوست پسته و سیبوس گندم) کمترین مقدار را داشت، در حالی که درصد بقا به نسبت قابل قبول بود. به نظر می‌رسد سیبوس برای افزایش وزن لاروها ضروری است، زیرا تیمارهای فاقد سیبوس افزایش وزن کمی داشتند. بهترین افزایش وزن بعد از تیمار شاهد، در تیمار GS مشاهده شد. رژیم های غذایی دارای پروتئین و چربی بیشتر باعث افزایش وزن بهتری شدند که این موضوع بدیهی به نظر می‌رسد. Bordiean *et al.* (2022a). بهترین وزن نهایی را در مخلوط ۷۵ درصد سیبوس گندم و ۲۵ درصد خوراک مرغ مشاهده کردند که این نتیجه با نتایج این پژوهش مشابهت دارد. Liu *et al.* (2020) نشان دادند که مکمل‌های گیاهی مانند هویج، پرتقال و کلم قرمز به رژیم غذایی سیبوس گندم لاروها افزوده شدند و باعث تسریع رشد و بهبود کارایی لاروها شدند ولی هویج بهترین کارایی را دارد. همچنین، افزودن مخمر به جیره غذایی می‌تواند نیاز لاروها به ویتامین‌های B و مواد معدنی را تأمین کرده و موجب افزایش وزن و کاهش تلفات شود (Arbab, 2018).



شکل ۳. مقایسه نرخ رشد ویژه (SGR) لاروهای سوسک زرد آرد پس از شش هفته تغذیه با تیمارهای غذایی مختلف شامل: سیبوس گندم به عنوان تیمار شاهد (S) - تفاله لیموترش (L) - تفاله غوره (A) - ضایعات غذای رستوران دانشجویی (G) - تفاله های میوه (T) - مخلوط سیبوس گندم و تفاله لیموترش (LS) - مخلوط سیبوس گندم و تفاله غوره (AS) - مخلوط سیبوس گندم و غذای رستوران (GS) - مخلوط سیبوس گندم و پوست پسته (PS) - مخلوط سیبوس گندم و تفاله میوه (TS) - مخلوط سیبوس گندم، تفاله لیموترش، تفاله غوره، غذای رستوران، پوست پسته، تفاله میوه (ALTPGS).

Fig. 3. Comparison of specific growth rate (SGR) of yellow flour beetle larvae after six weeks of feeding with different dietary treatments including : wheat bran as the control treatment (S), lemon peel residue (L), sour grape residue (A), student restaurant food waste (G), fruit residues (T), a mixture of wheat bran and lemon peel residue (LS), a mixture of wheat bran and sour grape residue (AS), a mixture of wheat bran and student restaurant food waste (GS), a mixture of wheat bran and pistachio hull (PS), a mixture of wheat bran and fruit residues (TS), and a mixture of wheat bran, lemon peel residue, sour grape residue, student restaurant food waste, pistachio hull, and fruit residues (ALTPGS).

درصد نرخ رشد ویژه لارو سوسک زرد آرد (SGR) در تیمار شاهد، GS و LS به ترتیب بیشترین مقادیر را داشت. نرخ رشد ویژه به سرعت رشد لاروها اشاره دارد و به طور معمول به صورت درصد افزایش وزن بدن در واحد زمان محاسبه می‌شود. این شاخص نشان می‌دهد که لاروها چگونه از منابع غذایی برای رشد استفاده می‌کنند. در حشرات، این شاخص اطلاعات مفیدی درباره کارایی رژیم غذایی در بهبود رشد و توسعه ارائه می‌دهد. در مطالعه (Tan *et al.* (2018)، بیشترین و کمترین مقادیر SGR به ترتیب در رژیم پوست هندوانه (۲/۵۰) درصد و پوست تخم مرغ (۱/۷۷) درصد مشاهده شد که رژیم پوست هندوانه بهترین عملکرد و اثر تغذیه‌ای را داشت. در این آزمایش، کمترین SGR در تیمار PS ثبت شد که می‌تواند به ترکیبات پلی فنلی موجود در پوست پسته مرتبط باشد. بر اساس یافته‌های علمی، میزان فیبر در رژیم غذایی نباید بیش از ۱۰ درصد باشد، زیرا موجب اختلال در رشد می‌شود (Arbab, 2018). مطالعه Kroncke & Benning (2023) نشان داد که رژیم سبوس گندم خالص بیشترین نرخ رشد لارو سوسک زرد آرد را داشت و افزایش میزان سبوس در رژیم باعث بهبود رشد و تولید لارو می‌شود. در نتیجه، می‌توان گفت که استفاده از مواد غذایی دیگر به همراه سبوس گندم در رژیم غذایی لارو سوسک زرد آرد می‌تواند به دلیل افزایش میزان ویتامین‌ها و مواد معدنی ضروری به بهبود رشد و تولید لارو کمک کند، در حالی که ترکیبات خاص سمی در برخی ضایعات مانند پوست پسته ممکن است تأثیر منفی بر رشد آن‌ها داشته باشند. در تیمار PS بیشترین ضریب تبدیل غذایی (FCR) مشاهده شد که تفاوت زیادی با سایر تیمارها داشت. FCR نشان می‌دهد که برای تولید یک واحد وزن از بدن لارو، چه مقدار غذا مصرف شده است. هر چه مقدار FCR کمتر باشد، به معنای کارایی بهتر رژیم غذایی است، زیرا این نشان می‌دهد که موجود غذایی کمتری برای تولید وزن بدن مصرف کرده است. کمترین FCR به ترتیب در تیمارهای GS و شاهد (S) مشاهده شد. تیمارهایی که حاوی سبوس گندم بودند، به جز مخلوط پوست پسته و سبوس، FCR کمتری داشتند؛ اما در تیمارهای حاوی پسته عملکرد ضعیف‌تری دیده شد.

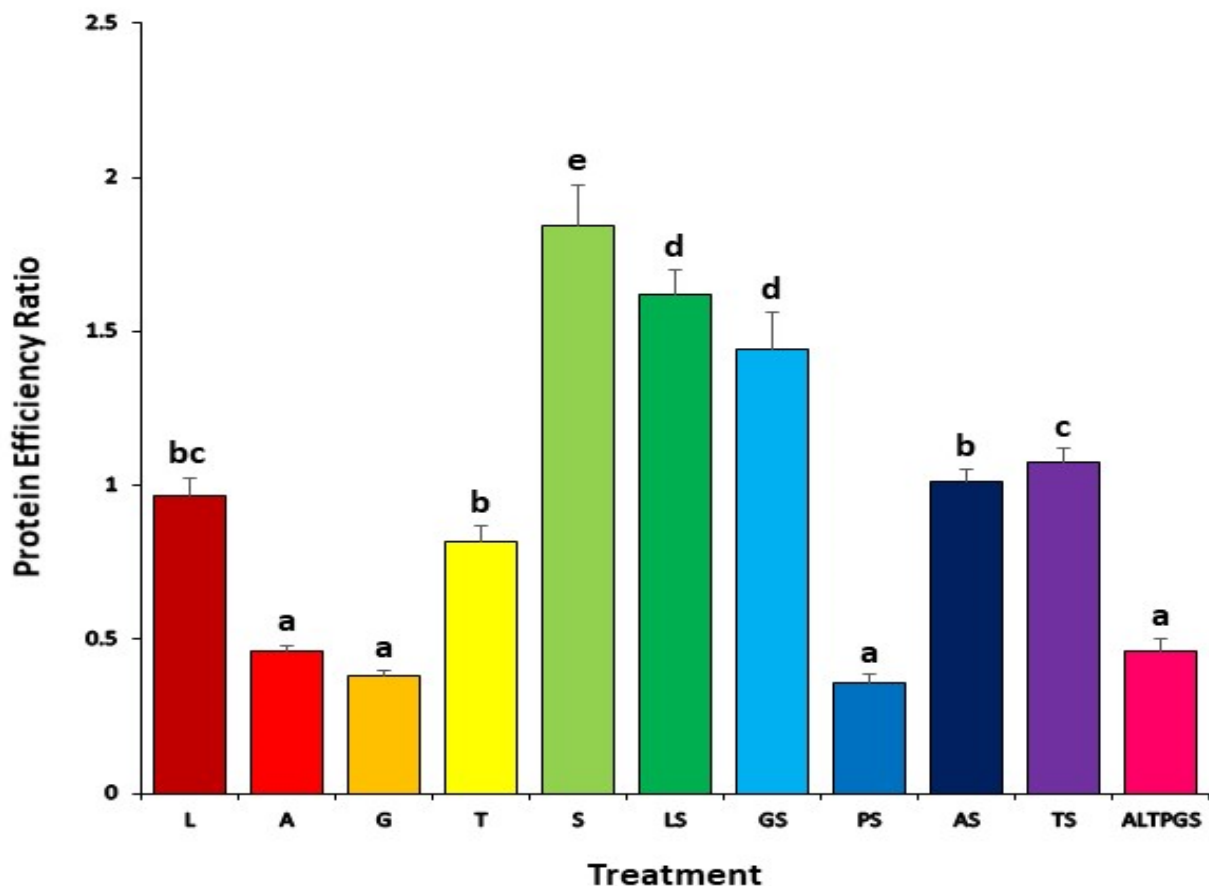


شکل ۴. مقایسه میزان ضریب تبدیل غذایی (FCR) در لاروهای سوسک زرد آرد پس از شش هفته تغذیه با تیمارهای غذایی مختلف شامل: سبوس گندم به عنوان تیمار شاهد (S) - تفاله لیموترش (L) - تفاله غوره (A) - ضایعات غذای رستوران دانشجویی (G) - تفاله‌های میوه (T) - مخلوط سبوس گندم و تفاله لیموترش (LS) - مخلوط سبوس گندم و تفاله غوره (AS) - مخلوط سبوس گندم و غذای رستوران (GS) - مخلوط سبوس گندم و پوست پسته (PS) - مخلوط سبوس گندم و تفاله میوه (TS) - مخلوط سبوس گندم، تفاله لیموترش، تفاله غوره، غذای رستوران دانشجویی، پوست پسته، تفاله میوه (ALTPGS)

Fig. 4. Comparison of feed conversion ratio (FCR) in yellow flour beetle larvae after six weeks of feeding with different dietary treatments including: wheat bran as the control treatment (S), lemon peel residue (L), sour grape residue (A), student restaurant food waste (G), fruit residues (T), a mixture of wheat bran and lemon peel residue (LS), a mixture of wheat bran and sour grape residue (AS), a mixture of wheat bran and student restaurant food waste (GS), a mixture of wheat bran and pistachio hull (PS), a mixture of wheat bran and fruit residues (TS), and a mixture of wheat bran, lemon peel residue, sour grape residue, student restaurant food waste, pistachio hull, and fruit residues (ALTPGS).

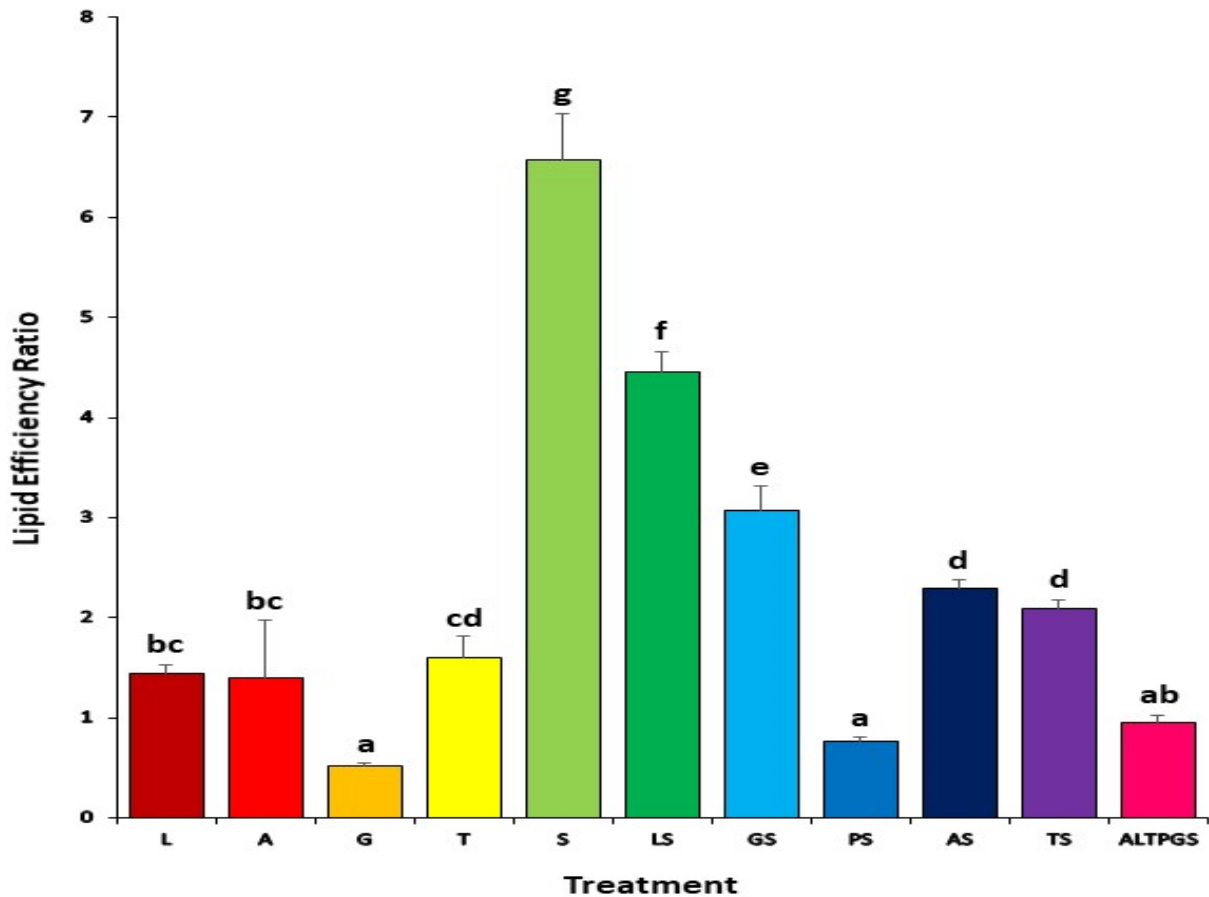


در مطالعه Bordiean *et al.* (2022b)، بهترین رژیم‌های غذایی شامل کنجاله و کیک کلزا بودند که FCR کمتری داشتند. تحقیق Kroncke & Benning (2023) نشان داد که کمترین FCR در ترکیب ۲۰ درصد آرد برنج و سبوس گندم و بیشترین FCR در رژیم آرد نخود مشاهده شد. Mancini *et al.* (2019) نیز نشان دادند که کمترین FCR در تیمار کلوچه و ضایعات غلات مصرف شده در فرآیند آجوز سازی مشاهده شد. همچنین، نوع کربوهیدرات و فیبر موجود در رژیم غذایی تأثیر قابل توجهی بر بهبود FCR دارد. مطالعه Ojaghi (2021) نیز نشان داد که بهترین عملکرد (FCR) در تیمار شاهد (مخلوط سبوس گندم، مخمر نان و هویج) مشاهده شد. در حالی که ضایعات غذایی همچون پودر ضایعات ماهی، مخمر و هویج عملکرد پایین‌تری داشتند و تحقیق وی نشان داد که ضایعات غذایی کیفیت لازم برای پرورش سوسک زرد آرد را در مقایسه با رژیم استاندارد ندارند که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی ندارد. در مطالعه Musembi *et al.* (2024)، ترکیب سبوس گندم با ضایعات سبزمینی باعث افزایش رشد لارو و بهبود کارایی تبدیل غذا به وزن بدن (FCR) شد. به طور کلی، ترکیب کربوهیدرات و پروتئین در رژیم غذایی تأثیر زیادی بر FCR دارد، به طوری که رژیم‌های غذایی با میزان کربوهیدرات بیشتر FCR بالاتری دارند. رژیم‌های غذایی که حاوی نسبت مناسب کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها هستند، معمولاً کارایی بهتری در تبدیل غذا به وزن بدن دارند. این به دلیل این است که پروتئین‌ها برای رشد و تولید بافت‌های بدن حشرات ضروری هستند، در حالی که کربوهیدرات‌ها منبع انرژی مهمی برای فعالیت‌های متابولیک هستند. بنابراین، رژیم‌های غذایی با نسبت صحیح این دو، عملکرد بهتری دارند.



شکل ۵. مقایسه میزان کارایی مصرف پروتئین (PER) لاروهای سوسک زرد آرد پس از شش هفته تغذیه با تیمارهای غذایی مختلف شامل: سبوس گندم به عنوان تیمار شاهد (S) - تفاله لیموترش (L) - تفاله غوره (A) - ضایعات غذای رستوران دانشجویی (G) - تفاله های میوه (T) - مخلوط سبوس گندم و تفاله لیموترش (LS) - مخلوط سبوس گندم و تفاله غوره (AS) - مخلوط سبوس گندم و غذای رستوران (GS) - مخلوط سبوس گندم و پوست پسته (PS) - مخلوط سبوس گندم و تفاله میوه (TS) - مخلوط سبوس گندم، تفاله لیموترش، تفاله غوره، غذای رستوران دانشجویی، پوست پسته، تفاله میوه (ALTPGS)

Fig. 5. Comparison of protein efficiency ratio (PER) of yellow flour beetle larvae after six weeks of feeding with different dietary treatments including: wheat bran as the control treatment (S), lemon peel residue (L), sour grape residue (A), student restaurant food waste (G), fruit residues (T), a mixture of wheat bran and lemon peel residue (LS), a mixture of wheat bran and sour grape residue (AS), a mixture of wheat bran and student restaurant food waste (GS), a mixture of wheat bran and pistachio hull (PS), a mixture of wheat bran and fruit residues (TS), and a mixture of wheat bran, lemon peel residue, sour grape residue, student restaurant food waste, pistachio hull, and fruit residues (ALTPGS).



شکل ۶. مقایسه میزان کارایی مصرف چربی (LER) لاروهای سوسک زرد آرد پس از شش هفته تغذیه با تیمارهای غذایی مختلف شامل: سیوس گندم به عنوان تیمار شاهد (S) - تفاله لیموترش (L) - تفاله غوره (A) - ضایعات غذای رستوران دانشجویی (G) - تفاله های میوه (T) - مخلوط سیوس گندم و تفاله لیموترش (LS) - مخلوط سیوس گندم و تفاله غوره (AS) - مخلوط سیوس گندم و غذای رستوران (GS) - مخلوط سیوس گندم و پوست پسته (PS) - مخلوط سیوس گندم و تفاله میوه (TS) - مخلوط سیوس گندم، تفاله لیموترش، تفاله غوره، غذای رستوران، پوست پسته، تفاله میوه (ALTPGS)

Fig. 6. Comparison of lipid efficiency ratio (LER) of yellow flour beetle larvae after six weeks of feeding with different dietary treatments including: wheat bran as the control treatment (S), lemon peel residue (L), sour grape residue (A), student restaurant food waste (G), fruit residues (T), a mixture of wheat bran and lemon peel residue (LS), a mixture of wheat bran and sour grape residue (AS), a mixture of wheat bran and student restaurant food waste (GS), a mixture of wheat bran and pistachio hull (PS), a mixture of wheat bran and fruit residues (TS), and a mixture of wheat bran, lemon peel residue, sour grape residue, student restaurant food waste, pistachio hull, and fruit residues (ALTPGS).

کارایی مصرف پروتئین و چربی در تیمارهای شاهد، LS و GS در سطح بالایی مشاهده شد. شاخص های PER و LER بیانگر میزان کارایی پروتئین و چربی در رژیم غذایی است و نشان می دهد که چقدر از پروتئین و چربی مصرفی به انرژی برای رشد و فعالیت های دیگر تبدیل می شود. به عبارت دیگر، PER و LER به درصدی از پروتئین و چربی موجود در رژیم غذایی اشاره دارد که به انرژی مفید برای رشد تبدیل می شود. هر چه این مقدار بالاتر باشد، نشان دهنده استفاده بهینه تر از پروتئین است. همانطور که پیشتر ذکر شد، بیشترین میزان چربی در جیره های مرتبط با غذای رستوران دانشجویی وجود دارد. به طور معمول، لاروهای این حشره به درون بستر خود نفوذ می کنند، اما در تیمار G، لاروها روی سطح بستر باقی ماندند و به درون بستر نفوذ نکردند، که این موضوع منجر به افزایش وزن کمتری شد. کمترین نرخ تبدیل چربی به انرژی (LER) در تیمار G مشاهده گردید، که نشان می دهد لاروها نتوانسته اند از چربی موجود در جیره استفاده بهینه کنند. همچنین، کمترین نرخ تبدیل پروتئین به انرژی (PER) پس از تیمار PS در تیمار G مشاهده شد. به نظر می رسد جیره G به تنهایی مناسب برای پرورش لاروهای این حشره نباشد، اما زمانی که با سیوس گندم به میزان مساوی ترکیب شود، به جیره ای مناسب تبدیل می شود که از نظر ضریب تبدیل غذایی، نرخ بقا و نرخ رشد ویژه، تفاوت معنی داری با تیمار شاهد ندارد.

با توجه به بررسی نتایج، تیمارهای سیوس گندم، سیوس + تفاله لیموترش و سیوس + ضایعات غذایی رستوران دانشجویی به دلیل عملکرد بهتر در تمام شاخص ها می توانند به عنوان گزینه های مناسب برای پرورش سوسک زرد آرد توصیه شوند. استفاده از تیمارهای ترکیبی (تیمار سیوس + تفاله لیموترش و تیمار سیوس + پسماند غذایی رستوران دانشجویی) که ۵۰ درصد مقدار وزنی آنها از ضایعات به دست می آید، می تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش ردپای کربن در فرایند پرورش سوسک زرد آرد داشته باشد. این تغییر در رژیم غذایی نه تنها به کاهش اثرات مخرب محیطی ناشی از پسماندهای اخیر کمک می کند بلکه می تواند منجر به تولید خوراک ارزان تر و پایدارتر برای پرورش سوسک زرد آرد شود.

## Author's Contributions

**Narges Chenarian Nakhaei:** Investigation, methodology, formal analysis, visualization, draft preparation, final review and editing.

**Kamal Ahmadi:** Conceptualization, methodology, formal analysis, supervision, project administration, funding acquisition, final review and editing. **Mahdieh Asadi:** Supervision and methodology.

## Author's Information

Narges Chenarian Nakhaei

✉ nargeschn99@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0006-7035-9715>

Kamal Ahmadi

✉ kahmadi@uk.ac.ir

 <https://orcid.org/0000-0002-8330-4119>

Mahdieh Asadi

✉ m.asadi@uk.ac.ir

 <https://orcid.org/0000-0002-3038-8486>

## Funding

This research received financial support from Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

## Data Availability Statement

All data supporting the findings of this study are available within the paper.

## Acknowledgments

This research was financially supported by Shahid Bahonar University, for which we are greatly appreciative. The authors would like to express their sincere thanks to the Sultan Mealworm Production Unit in Qom for providing the insects, and to the Central Laboratory of Shahid Bahonar University for conducting the chemical analysis of the treatments.

## Ethics Approval

Insects were used in this study. All applicable international, national, and institutional guidelines for the care and use of animals were followed. This article does not contain any studies with human participants performed by the author.

## Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

## REFERENCES

- Ahmadi Mousavi, E. S. (2016) Use of pistachio hull as a supplement to activated sewage sludge for vermicomposting. MSc Thesis, University of Kerman [In Persian with English summary]
- Arbab, A. (2018) Industrial insects: The Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) introduction, Breeding & Processing. Vol. 1, 215pp. Azad University Publication. [In Persian]
- Alizadeh-Ghamsari, A. H. & Hosseini, S. A. (2020) A review of insect utilization in poultry nutrition, opportunities and challenges. *Animal Science Journal* 34(131), 167-186. <https://doi.org/10.22092/ASJ.2020.351213.2084> [In Persian with English summary]
- Bordiean, A., Krzyzaniak, M. & Stolarski, M. J. (2022a) Bioconversion potential of agro-industrial byproducts by *Tenebrio molitor*—long-term results. *Insects* 13(9), p. 810. <https://doi.org/10.3390/insects13090810>.
- Bordiean, A., Krzyzaniak, M., Aljewicz, M. & Stolarski, M. J. (2022b) Influence of different diets on growth and nutritional composition of yellow mealworm. *Foods*, 11(19), p. 3075. <https://doi.org/10.3390/foods11193075>.
- Ghaly, A. E. & Alkokaik, F. (2009) The yellow mealworm as a novel source of protein. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(4), 319-331. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2009.319.331>.
- Hamza, N., Mhetli, M., Ben Khemis, I., Cahu, C. & Kestemont, P. (2008) Effect of dietary phospholipid levels on performance, enzyme activities and fatty acid composition of pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae. *Aquaculture* 275(1-4), 274-282. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.01.014>.
- Kotsou, K., Chatzimitakos, T., Athanasiadis, V., Bozinou, E., Adamaki-Sotiraki, C., Rumbos, C. I., Athanassiou, C. G. & Lalas, S. I. (2023) Waste orange peels as a feed additive for the enhancement of the nutritional value of *Tenebrio molitor*. *Foods* 12(4), p. 783. <https://doi.org/10.3390/foods12040783>.

- Kotsou, K., Chatzimitakos, T., Athanasiadis, V., Bozinou, E. & Lalas, S. I. (2024) Exploiting agri-food waste as feed for *Tenebrio molitor* larvae rearing: A review. *Foods* 13(17), p. 1027. <https://doi.org/10.3390/foods13071027>.
- Kröncke, N. & Benning, R. (2023) Influence of dietary protein content on the nutritional composition of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Insects* 14, p. 261. <https://doi.org/10.3390/insects14030261>.
- Liu, Ch., Masri, J., Perez, V., Maya, C. & Zhao, J. (2020) Growth performance and nutrient composition of mealworms (*Tenebrio Molitor*) fed on fresh plant materials-supplemented diets. *Foods* 9(2), p. 151. <https://doi.org/10.3390/foods9020151>.
- Mancini, S., Fratini, F., Turchi, B., Mattioli, S., Bosco, A. D., Tuccinardi, T., Nozic, S. & Paci, G. (2019) Former foodstuff products in *Tenebrio molitor* rearing: Effects on growth, chemical composition, microbiological load, and antioxidant status. *Animals* 9, p. 484. <https://doi.org/10.3390/ani9080484>.
- Magalhães, D., Vilas-Boas, A. A., Teixeira, P. & Pintado, M. (2023) Functional ingredients and additives from lemon by-products and their applications in food preservation: A review. *Foods* 12(5), p.1095. <https://doi.org/10.3390/foods12051095>.
- Musembi, J. P., Owino, E. A., Oyieka, F. A., Tanga, C. H. M., Beesigamukama, D., Subramanian, S., Cheseto, X. & Egonyu, J. P. (2024) Efficient agri-food waste valorization using mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) into nutrient-rich biomass for food and feed. *Economic Entomology* 117(4), 1242–1253. <https://doi.org/10.1093/jee/toae035>.
- Nematzadeh, S. (2021) Feasibility study of designing a food-making machine for livestock, poultry, or pets using scientific and academic center's food waste. MSc Thesis, University of Mohaghegh Ardabili [In Persian with English summary].
- Ojaghi, H. (2021) Effect of different diets on biological characteristics of *Tenebrio molitor* (Col.: Tenebrionidae). MSc Thesis, University of Zanjan [In Persian with English summary].
- Ostadi, Y. & Matofi, E. (2020) Determine and compare the chemicals composition (protein, fat, ash, moisture, carbohydrate and fiber) *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* larvae for livestock and poultry rations. *Halal Research* 3(2), 71-80. <https://doi.org/10.30502/h.2021.245889.1048> [In Persian with English summary].
- Oonincx, D. G. A. B. & de Boer, I. J. M. (2012) Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. *PLoS One* 7(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>.
- Pickova, J. & Dimberg, L. (2017) The yellow mealworm *Tenebrio molitor*, a potential source of food lipids. Department of Molecular Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Sadeghi, F. (2019) Effect of dietary lemon (*Citrus limon*) peel and probiotic *Bacillus licheniformis* on the growth parameters, non-Specific immune and antioxidant enzyme activity in Common carp (*Cyprinus carpio*). MSc Thesis, University of Zabol [In Persian with English summary].
- Tan, S. W., Lai, K. S. & Loh, J. Y. (2018) Effects of food wastes on yellow mealworm *Tenebrio molitor* larval nutritional profiles and growth performances. *Examines in Marine Biology and Oceanography* 2 (1), 173-178. <https://doi.org/10.31031/EIMBO.2018.02.000530>.
- Valipour, M., Oujifard, A., Hosseini, A., Sotoudeh, E. & Bagheri, D. (2019) Effects of dietary replacement of fishmeal by yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae meal on growth performance, hematological indices and some of non-specific immune responses of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Iranian Scientific Fisheries Journal* 28(2), 13-26 <https://doi.org/10.22092/ISFJ.2019.118906> [In Persian with English summary].
- Zamani, F., Jalalizand, A. & Soleyman Nejadian, E. (2020) The effect of diet on the life table parameters of the Mealworm, *Tenebrio molitor*. *Entomological Research* 12(1), 29-40 <https://sanad.iau.ir/Journal/jer/Article/915431/FullText> [In Persian with English summary].




**Citation:** Chenarian Nakhaei, N., Ahmadi, A. & Asadi, M. (2025) Effects of various low carbon footprint diets on the growth parameters of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* Linnaeus) (Col.: Tenebrionidae) as a climate-friendly protein source. *J. Entomol. Soc. Iran*, 45 (2), 327–339.

DOI: <https://doi.org/10.61186/jesi.45.2.11>

URL: [https://jesi.areeo.ac.ir/article\\_131275.html](https://jesi.areeo.ac.ir/article_131275.html)



## Effects of various low carbon footprint diets on the growth parameters of yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Col.:Tenebrionidae) as a climate-friendly protein source

Narges Chenarian Nakhaei , Kamal Ahmadi  & Mahdieh Asadi 

Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

**Abstract.** This study investigated the use of food waste as a dietary source for the larvae of the yellow mealworm beetle (*Tenebrio molitor* L.). The main objective was to optimize the use of food waste to reduce food waste and carbon footprint. The experimental results showed that the larvae in the treatment of a mixture of lemon peel and wheat bran (LS) had the highest survival rate (SR) with an average ( $93.33\% \pm 1.49\%$ ). In contrast, the treatment with pistachio hull (P) had the lowest survival rate, with an average ( $1.67\% \pm 0.75\%$ ). In terms of weight gain (WG), the highest value was recorded for the control treatment with wheat bran (S), with an average ( $1.43 \pm 0.10$ ) grams, followed by the treatment of a mixture of student restaurant waste and wheat bran (GS), with an average ( $1.22 \pm 0.11$ ) grams. Additionally, the highest specific growth rate (SGR) was observed in the control treatment (S), with an average ( $8.25\% \pm 0.63\%$ ), followed by GS with an average ( $8.19\% \pm 0.14\%$ ). These two treatments did not show a significant difference from each other but showed significant differences compared to other treatments, except for the LS treatment. The highest feed conversion ratio (FCR) was recorded for the pistachio hull and wheat bran mixture (PS) with an average ( $50.58 \pm 7.81$ ) grams, while the lowest value was found in the GS treatment with an average ( $3.64 \pm 0.34$ ) grams. Furthermore, the protein efficiency ratio (PER) and lipid efficiency ratio (LER) were favorable in the control (S), LS, and GS treatments. The results indicated that wheat bran, wheat bran mixed with lemon peel, and wheat bran mixed with student restaurant waste are suitable options for yellow mealworm beetle farming due to their optimal performance across all indicators.

**Keywords:** Yellow mealworm, food waste, sustainable diet, growth and survival

### Article history

Received: 25 September 2024  
Accepted: 03 April 2025  
Published: 02 May 2025

Subject Editor: Abbas Arbab

Corresponding author: Kamal Ahmadi

E-mail: [kahmadi@uk.ac.ir](mailto:kahmadi@uk.ac.ir)

DOI: <https://doi.org/10.61186/jesi.45.2.11>