تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد۲٤ / شماره /۷٦ / بهار و تابستان/ ۱٤۰۳ /ص : ۹٤ - ۷۹

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

مدل‌سازی اثر بهداشت انبار بر جمعیت آفات انباری خرما با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

مریم جلیلی مقدم[۱]، جاماسب نوذری[۲*]، مسعود لطیفیان[۳]، سید پژمان شیرمردی[٤]، سید محمد علی ابراهیم زاده موسوی[٥]

[۱]دانشجوی دکتری رشته حشره شناسی کشاورزی، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

[۲]دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

[۳]استاد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، کرج، ایران

[٤]دانشیار مهندسی هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

[٥]استاد گروه مهندسی علوم وصنایع غذایی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۳/۲۲

چکیده

این پژوهش برای بررسی اثر شاخص‌های استاندارد انبارداری خرما بر فراوانی آفات انباری در شش استان خرماخیز ایران در سال ۱٤۰۱ به‌اجرا درآمد. مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی در این پژوهش از سه لایهٔ ورودی، خروجی و پنهان تشکیل شده است. هر لایه شامل گروهی از سلول‌های عصبی (نورون= جمعیت هر یک از آفات انباری خرما) است که عموماً با کلیهٔ نورون‌های لایه‌های دیگر شامل رعایت‌شدن و رعایت‌نشدن شاخص انبارداری و عامل مشاهده ناپذیر حاصل تجزیه عاملی در ارتباط هستند. نتایج پژوهش نشان داد که شاخص‌های چیدمان محصول شامل پالت، ظروف نگهداری، تفکیک ارقام، فاصله‌گذاری، قفسه‌بندی به ترتیب دارای بیشترین اثر بر شدت آلودگی *O. surinaemensis*، *E. elutella*، *E. elutella* و *E. calidella* هستند. شاخص‌های ساختمانی شامل کف‌سازی، دیوارهای داخلی، گذرگاه شیبدار در مبادی ورودی، دسترسی مناسب به فضاهای داخلی، وجود بارانداز به ترتیب بیشترین تأثیر را بر آلودگی *D. melanogaster*، *D. melanogaster*، *E. kuhniella* و *O. surinaemensis* داشته‌اند. شاخص‌های تنظیم شرایط محیطی انبار شامل سیستم‌های تهویه، دما، رطوبت، بهداشت محیط و کف انبار به ترتیب بیشترین تأثیر را بر آلودگی *E. kuhniella*، *D. melanogaster*، *D. melanogaster* و *E. kuhniella* داشته‌اند. مدل شبکه عصبی شامل ۲۸ سیناپس بین لایه‌های مختلف است. داده‌های سیستم روشنایی، دسترسی مناسب، فاصله‌گذاری و کف‌سازی به ترتیب به میزان ۱۰۰، ۹٤/۹، ۷۷/۱ و ٦۰/۲ درصد در پیش‌بینی تراکم جمعیت آفات انباری مؤثرند و بیشترین اهمیت را بر وقوع آفات انباری داشته‌اند. الگوریتم حاصل از شبکهٔ عصبی اهمیت رعایت استانداردهای انبارداری را در مدیریت آفات انباری خرما مشخص کرده است.

واژه‌های کلیدی: استاندارد، انبارداری، پیش‌بینی، شبیه‌سازی ، خسارت

مقدمه

گرم‌شدن کره زمین بر توزیع حشرات آفات انباری در سراسر جهان تأثیر می‌گذارد. با این همه، نظارت دقیقی روی آفات انباری وجود ندارد. افزایش خسارت این آفات بر امنیت غذایی جهان تأثیر منفی می‌گذارد. این موضوع برای محصولاتی مانند خرما در کشورهای جهان سوم اهمیت اساسی دارد (Adler *et al.*, 2022). بنابراین، کنترل مؤثر آفات در دوره انبارداری چالشی جهانی است. شایع‌ترین علل ضایعات پس از برداشت شامل حشرات، پوسیدگی، آسیب مکانیکی، جابه‌جایی نامناسب، مدیریت نامناسب دما، رطوبت و مشکلات بهداشتی در حین انبارداری است (Elik *et al.*, 2019).

نویسنده مسئول: **Email**: nozari@ut.ac.ir

http://doi: 10.22092/fooder.2024.365515.1388

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

هنگامی که انسان شروع به تولید کالاهای کشاورزی مازاد کرد، نیاز به ذخیرهٔ ایمن برای دورهٔ زمانی طولانی‌تر وجود داشت که ابتدا منجر به ظهور انبارهای غله در مناطق کشاورزی شد. این امر باعث توسعهٔ مجموعه‌ای وسیع از ساختارهای ذخیره‌سازی شد. در این فرآیند، بسیاری از حشرات به تغذیه از میزبان‌های طبیعی ترجیحی خود ادامه دادند. در واقع آنچه را انسان به‌عنوان ساختار ذخیره‌سازی محصولات کشاورزی ایجاد کرد، تبدیل شد به مکان‌هایی که در آنجا غذا برای حشرات بسیار بیشتر بود تا در زیستگاه طبیعی آن‌ها. تخمین زده می‌شود که بین ۸ تا ۷۰ درصد غذای جهان پس از برداشت در اثر حملهٔ حشرات و دیگر آفات، بسته به مکان و مدیریت آفات پس از برداشت، از بین می‌رود (Kaur & Kaur, 2022).

بهداشت نامناسب و انبارداری غیراستاندارد پس از برداشت، در سراسر دورهٔ ذخیره‌سازی، خسارت آفات انباری را تشدید می‌کند. میزان تأثیر مدیریت نامناسب انبارداری بر شدت خسارت آفات، بسته به گونه آفت، متفاوت است. تأثیر شاخص‌های مختلف انبارداری استاندارد نیز بر گونه‌های آفت انباری مختلف است (Sudhakar *et al*., 2020). برای مثال، برخی از گونه‌های حشرات انباری آب متابولیک بدن خود را در حین تغذیه ذخیره می‌کنند و سازگاری خوبی با کاهش رطوبت دارند. حشرات برای زندگی در محیط انباری دارای تهویه و سیستم کنترل رطوبت، سازگار شده‌اند (Singh *et al*., 2009). برخی از گونه‌ها مانند *Tribolium castaneum* (Herbst) در حاشیهٔ دیوارها و نواحی لبه‌دار محصور هستند. رعایت‌نشدن ساختار استاندارد در ایجاد سازه‌های مناسب ساختمانی می‌تواند زمینه را برای تشدید فعالیت آنها ایجاد کند (Morrison *et al*., 2019). وجود گردوغبار و ریختن ضایعات محصولات انباری، خطر آلودگی ناشی از رعایت‌نشدن بهداشت را افزایش می‌دهد. سازگاری‌های متنوع دیگری در فیزیولوژی، رشد و تاریخچهٔ زندگی آفات انباری وجود دارد که ممکن است برخی شرایط غیراستاندارد را به نفع حشرات انباری تغییر دهد (Abd El-Aziz, 2011). در پژوهشی تأثیر عوامل مختلف مدیریت انبار بر میزان آلودگی غلات به حشرات بررسی شد. نتایج آن پژوهش ارائهٔ طرحی علمی پیشرفته برای ذخیره‌سازی ایمن غلات به‌منظور کاهش ضایعات ناشی از آفات انباری بود (Loganathan *et al*., 2018). دستورالعمل‌های متعددی در زمینهٔ مدیریت بهینهٔ انبار محصولات مختلف کشاورزی اعم از زراعی و باغی برای کاهش خسارت آفات انباری توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است (Heeps, 2016). اما تا پیش از این پژوهش اثرهای متقابل عوامل مدیریت بهینه و استاندرد انبار در کاهش آلودگی انبارهای انتظار خرما به آفات انباری بررسی نشده بود

با توجه به پیچیده بودن ارتباط بین شاخص‌های استاندارد انبارداری با تغییرات جمعیت و خسارت آفات انباری، پژوهشگران مختلف از روش‌های مختلف شبیه‌سازی از جمله شبکهٔ عصبی مصنوعی برای بررسی اثرهای متقابل استانداردهای بهداشتی و تغییرات تراکم جمعیت آفات انباری استفاده کرده‌اند. برای مثال، در مطالعه‌ای کارآیی روش‌های صوتی در مدیریت آفات با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی بررسی شده است (Santiago *et al*., 2017). در پژوهشی دیگر از روش چند متغیرهٔ شبکهٔ عصبی مصنوعی برای ارزیابی و پیش‌بینی تراکم جمعیت *Callosobruchus chinensis* و *Callosobruchus maculatus* در حبوبات ذخیره‌شده فله استفاده شد (Banga *et al*., 2020). تا پیش از پژوهش حاضر، گزارشی در این زمینه برای آفات انباری خرما ارائه نشده بود.

شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌های ریاضی هستند که سلول‌های عصبی زیستی را تقلید می‌کنند و نیازی به روابط اساسی از پیش تعریف‌شده بین متغیرهای مستقل و وابسته ندارند. این مدل‌ها ابزارهایی قدرتمند برای استفاده از آن‌ها در مسائل پیش‌بینی جمعیت حشرات هستند (Zhang & Zhang,

2008). علاوه بر این، در شبکه‌های عصبی مصنوعی به دلیل ویژگی‌های خاص مانند غیرخطی‌بودن و سازگاری، قابل‌تعمیم بوده، صحت و دقت مدل قابل‌پیش‌بینی خوهد بود (Ul Rahman *et al*., 2023). در حال حاضر این روش در بسیاری از زمینه‌ها از کنترل، بهینه‌سازی و فرآیندهای تصمیم‌گیری مدیریت تلفیقی آفات استفاده می‌شود (Tay *et al*., 2021).

این پژوهش به‌منظور بررسی اثر شاخص‌های استاندارد انبارداری خرما در مناطق مختلف خرماخیز ایران بر فراوانی جمعیت آفات انباری به کمک شبکه عصبی مصنوعی اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

ارزیابی جمعیت آفات انباری خرما

این پژوهش در شش استان مهم خرماخیز ایران شامل کرمـان، فارس، خوزسـتان، سیسـتان و بلوچسـتان، بوشـهر و هرمـزگان در سال ۱۴۰۱ به‌اجرا در آمد. در هر استان ۱۵ انبار خرما به‌صورت تصادفی انتخاب شد. از میوهٔ خرما بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۲۹۴۴ نمونه‌برداری شد. برای این منظور از هر انبار یک نمونه مرکب به مقدار ۳ کیلوگرم شامل ۱۰ نمونهٔ ۳۰۰ گرمی به‌صورت تصادفی از تودهٔ خرماهای انباری برداشت شد. پس از جداسازی خرماهای آلوده، لارو و شفیرهٔ آن‌ها در آزمایشگاه در ظرف‌های محتوی جیرهٔ غذایی پرورش داده شدند. برای پرورش حشرات، از مخلوط آب و مقداری مخمر نانوایی روی خرماهای هسته‌گیری شده استفاده شد. نمونه‌ها در ظرف‌های پلاستیکی در دار منفذدار، که منافذ آن با توری پوشیده شده بود، در انکوباتور با دمای ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دور نوری به تاریکی ۱۲ به ۱۲ ساعت قرار گرفتند تا حشرات کامل ظاهر شوند. تعداد و آفات در هر نمونه و از تیپ گونه‌های مختلف به‌صورت جداگانه برای هر انبار ثبت شد.

ارزیابی شاخص‌های استاندارد انبارداری

از ۹۰ انبار در شش استان خرماخیز بازدید شد. در هر انبار براساس استانداردهای 12196، 12214، 12259، 12802، 13963-5، 1480، 1891، 21096، 4013، 55 و 56 مصوب سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۵ شاخص مختلف ارزیابی شد. شاخص‌های ارزیابی شده شامل استانداردهای چیدمان محصول (پالت، ظروف نگهداری، تفکیک ارقام، فاصله گذاری، قفسه-بندی)، استانداردهای ساختمانی(کف‌سازی، دیوارهای داخلی، گذرگاه شیبدار در مبادی ورودی، دسترسی مناسب به فضاهای داخلی، وجود بارانداز و محل دریافت) و استانداردهای تنظیم شرایط محیطی انبار (سیستم‌های تهویه، تنظیم دما، تنظیم رطوبت، بهداشت محیط و کف) بودند. در هر انبار رعایت‌شدن یا رعایت‌نشدن هر استاندارد به صورت ۱ و صفر ثبت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

ارتباط میان هر یک از شاخص‌ها با تراکم جمعیت آفات انباری، با استفاده از روش ارزیابی همبستگی میان متغیرهای ناپیوسته کندال، بررسی شد. تحلیل عاملی به‌منظور تشخیص عامل‌های مشاهده‌ناپذیر ترکیبی مؤثر بر نوع توزیع جمعیت هر یک از آفات انباری بر پایه مجموعه شاخص‌های استاندارد صورت گرفت. ترکیب‌های خطی به‌دست‌آمده نتیجه توصیف ویژگی‌های هر شاخص استاندارد انبارداری و ارتباط آن با شاخص‌های محاسبه شده با آن امکان‌پذیر خواهد شد. استخراج عامل‌ها از ماتریس ضریب همبستگی، چرخش عامل‌ها به‌منظور به حداکثر رساندن رابطه بین شاخص‌ها و عامل‌ها و محاسبهٔ بار عاملی (نمره عامل‌ها) برای تعیین عامل‌های موردنظر اجرا گردید.

مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی

تفکیک لایه‌های مدل

مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده شده در این پژوهش از سه‌لایهٔ ورودی، خروجی و پنهان تشکیل شده است. هر لایه

شامل گروهی از سلول‌های عصبی (نورون= جمعیت هر یک از آفات انباری خرما) است که عموماً با همهٔ نورون‌های لایه‌های دیگر شامل رعایت‌شدن و رعایت‌نشدن شاخص استاندارد انبارداری و عامل مشاهده‌ناپذیر حاصل آنالیز تجزیهٔ عاملی برای برآورد شاخص های ترکیبی مشاهده‌ناپذیر انبارداری در ارتباط هستند. نورون کوچک‌ترین واحد پردازشگر اطلاعات است که شامل هر داده مربوط به جمعیت آفات انباری و استانداردهای انبارداری مشاهده شده و مشاهده‌ناپذیر ترکیبی در هر انبار است و اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. مدل شبکه عصبی برآورد تراکم جمعیت آفات انباری شامل مجموعه‌ای از نورون‌هاست که با قرارگرفتن در لایه‌های مختلف، معماری خاصی را بر مبنای ارتباطات بین نورون‌ها در لایه‌های مختلف تشکیل می‌دهد. نورون تابع ریاضی غیرخطی است، در نتیجه، مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی تراکم جمعیت آفات انباری که از اجتماع این نورون‌ها تشکیل می‌شود، نیز می‌تواند سامانه‌ای کاملاً پیچیده و غیرخطی باشد. در مدل شبکهٔ عصبی تراکم جمعیت آفات انباری هر نورون به طور مستقل عمل می‌کند و رفتار کلی شبکه برآیند رفتار نورون‌ها در زمان‌های مختلف طی ۹۰ مرحله نمونه‌برداری است. وزن اتصال بین نورون‌ها، نحوهٔ ارتباط بین اجزای آن را تعیین می‌کند. شبکهٔ عصبی می‌تواند بازه وسیعی از مدل‌های آماری را بدون نیاز به فرض رابطه مشخص بین متغیرهای وابسته و مستقل، تخمین بزند. در عوض، نوع ارتباط حین فرآیند یادگیری مشخص می‌شود (Xia *et al.*, 2018).

در هر شبکهٔ عصبی چندلایه، یک لایهٔ ورودی وجود دارد که اطلاعات را دریافت می‌کند، تعدادی لایهٔ پنهان وجود دارد که اطلاعات را از لایه‌های قبلی می‌گیرند. یک لایهٔ خروجی وجود دارد که نتیجهٔ محاسبات به آن لایه می‌رود و خروجی آن خروجی نهایی مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی است. در این پژوهش، علاوه بر دو لایهٔ اصلی ورودی (شاخص‌های استاندارد انبارداری مشاهده شده و عامل مشاهده‌ناپذیر حاصل آنالیز تجزیه عاملی) و لایهٔ خروجی (تراکم جمعیت آفات انباری)، یک‌لایهٔ پنهان دیگر نیز در نظر گرفته شده است. لایهٔ پنهان شامل گره‌ها (واحدهای) غیرقابل‌مشاهدهٔ شبکه است. هر واحد پنهان تابعی از حاصل‌جمع وزن‌دهی‌شدهٔ ورودی‌هاست، نوعی تابع فعال‌کننده است و با وزن‌دهی به الگوریتم تخمین مشخص می‌شود. داده‌ها در این پژوهش به‌صورت استاندارد شده ($\frac{X-Mean}{S}$) به مدل وارد شدند (مقدار میانگین از داده تفریق و بر انحراف معیار تقسیم می‌شود) (Wang & Bu, 2022).

معماری شبکهٔ عصبی

در این تحقیق از شبکهٔ پرسپترون (پیش‌خور) چند لایه، الگوریتم لونبرگ مارکوارت و تابع انتقال سیگموئید استفاده شد. شبکه پرسپترون نوعی از شبکهٔ عصبی بر مبنای یک واحد محاسباتی به نام پرسپترون ساخته می‌شود. یک پرسپترون بُرداری از ورودی‌های با مقادیر حقیقی را می‌گرد و ترکیبی خطی از این ورودی‌ها را محاسبه می‌کند. اگر حاصل از مقدار آستانه بیشتر بود، خروجی پرسپترون برابر با ۱ و در این صورت معادل ۱- خواهد بود. در واقع پرسپترون برای پیداکردن وزن (W) هر یک از نورون‌هاست (Park *et al.*, 2007). تابع سیگموئید ($Y_c = \frac{1}{1+e^{-c}}$) مقادیر واقعی را می‌گرد و آنها را به مقادیری در بازه (۰ و ۱) تبدیل می‌کند. تابع فعال کننده بین حاصل جمع داده‌های وزن‌دهی‌شده برای واحدها در یک لایه و مقادیر واحدهای لایهٔ بعدی رابطه برقرار می‌کند. در این پژوهش از مدل سیگموئیدی برای این تابع فعال کننده استفاده شد (Da Silva *et al.*, 2017).

آموزش مدل شبکهٔ عصبی

نوع آموزش چگونگی پردازش داده‌های بایگانی شده را تعیین می‌کند. در این روش آموزش دسته‌ای [1] استفاده شد. در این روش،

1 - Batch

وزن‌های سیناپسی از تمام مقادیر ضبط شده در بانک اطلاعاتی برای آموزش استفاده می‌کنند. معمولاً آموزش دسته‌ای در مدل‌سازی شبکهٔ عصبی به دیگر روش‌ها ترجیح داده می‌شود، زیرا این روش خطاهای کلی را به حداقل می‌رساند. الگوریتم بهینه‌سازی[1] روشی است که برای تخمین وزن‌های سیناپسی استفاده می‌شود. در این پژوهش، باتوجه به انتخاب روش آموزش دسته‌ای مدل از طریق گرادیان توأم مدرج برای الگوریتم بهینه‌سازی مدل استفاده شد و گزینه‌های آموزش برای گرادیان توأم مدرج شامل لاندای اولیه، سیگمای اولیه و حدفاصل وزنی داده‌ها به ترتیب معادل ۰/۰۰۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۱ و ۰/۰۰۰۱ انتخاب شدند (Günther & Fritsch, 2010).

دقت مدل

دقت مدل به کمک معیار ضریب تبیین $R^2 = \frac{(obs-\overline{obs})(Pre-\overline{Pre})}{\sum_{i=1}^{n}(obs-\overline{obs})^2 \sum_{i=1}^{n}(Pre-\overline{Pre})^2}$ محاسبه شد. در این رابطه: obs و $\overline{obs}$ به ترتیب مقادیر و میانگین مقادیر مشاهده‌ای، pre و $\overline{pre}$ مقادیر و میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه، N تعداد کل داده‌ها در هر مرحله از آموزش و آزمایش است. نزدیک‌تربودن R^2 به یک ب، نشان‌دهندهٔ نزدیک‌تر بودن مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده به یکدیگر و دقیق‌تر بودن جواب‌ها در هر مرحله است (Bianconi *et al*., 2010).

نتایج و بحث

گونه‌های آفت انباری فعال در انبارهای شش استان خرماخیز کشور شامل شش گونه شب‌پره (*Batrachedra amydraula*, *Ephestia calidella*, *Ephestia elutella*, *Ephestia kuehniella*, *Plodia interpunctella*, و *Cadra figulilella*)، هفت گونه سوسک (*Oryzaephilus surinaemensis*، *Oryzaephilus mercator*، *Tribolium castaneum*، *Tribolium confusum*، *Carpophilus hemipterus*، *Carpophilus mutilates* و *Togoderma ganarium*)، سه گونه سوسری *Periplaneta americana* (سوسری آمریکایی)، *Blatella orientalis* (سوسری شرقی) و *Blatella germanica* (سوسری آلمانی) و یک گونه مگس سرکه (*Drosophila melanogaster*) بودند.

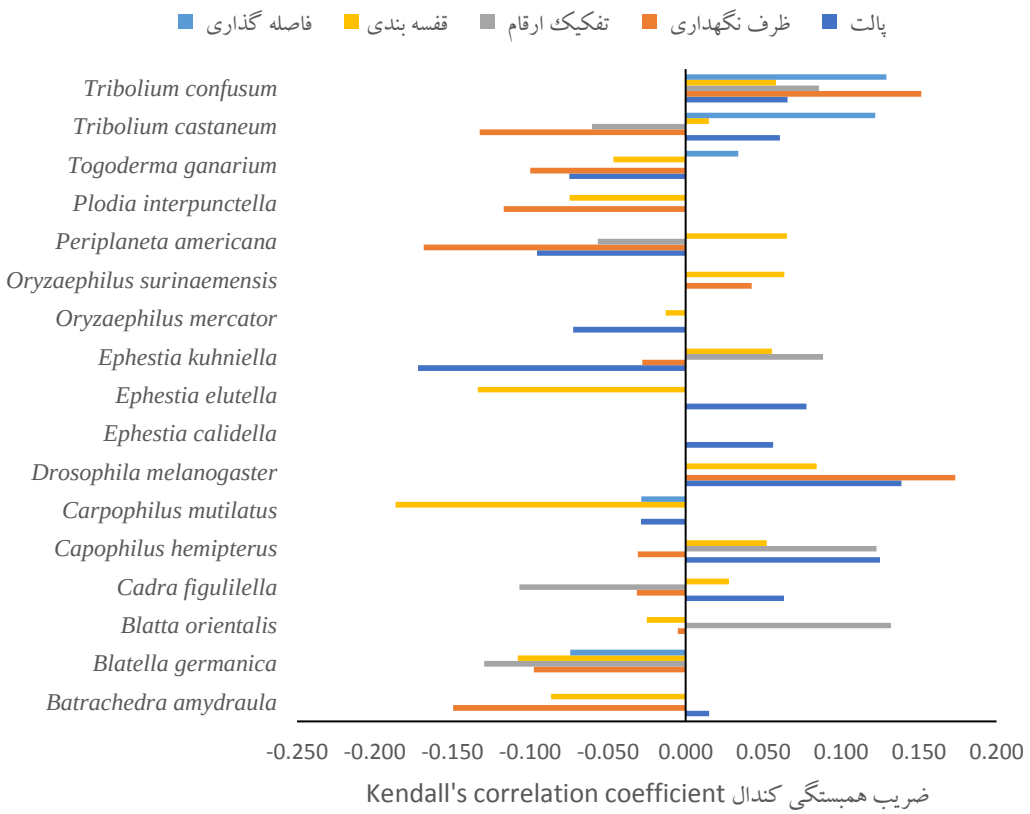
اثر شاخص‌های استاندارد انبارداری بر تراکم جمعیت آفات انباری خرما

همبستگی جمعیت ۱۷ گونه حشرهٔ آفت انباری با هر یک از سه گروه شاخص‌های ارزیابی شده شامل استانداردهای چیدمان محصول، استانداردهای ساختمانی و استانداردهای تنظیم شرایط محیطی انبار ارائه شده است. ضریب همبستگی همیشه عددی بین ۱ تا ۱- است. هرچه این ضریب به ۱ نزدیک‌تر باشد ارتباط بین دو شاخص همبستگی قوی‌تر دارد. همبستگی مثبت یعنی با افزایش یک شاخص، دیگری نیز افزایش می‌یابد. ضریب همبستگی بین ۰ تا ۱- به معنی داشتن همبستگی منفی دو شاخص است و هرچه مقدار آن به ۱- نزدیک‌تر باشد همبستگی منفی قوی‌تر بین دو شاخص برقرار است.

ارتباط شاخص‌های استاندارد چیدمان با جمعیت آفات انباری

شدت اثر شاخص‌های استاندارد چیدمان محصول شامل پالت، ظروف نگهداری، تفکیک ارقام، فاصله‌گذاری، قفسه‌بندی با تغییرات جمعیت ۱۷ گونه حشره فعال در ۹۰ واحد انبار خرمای مورد بررسی در شش استان خرماخیز کشور با ضریب همبستگی کندال در شکل ۱ نشان‌داده‌شده است.

1 - Optimization algorithim



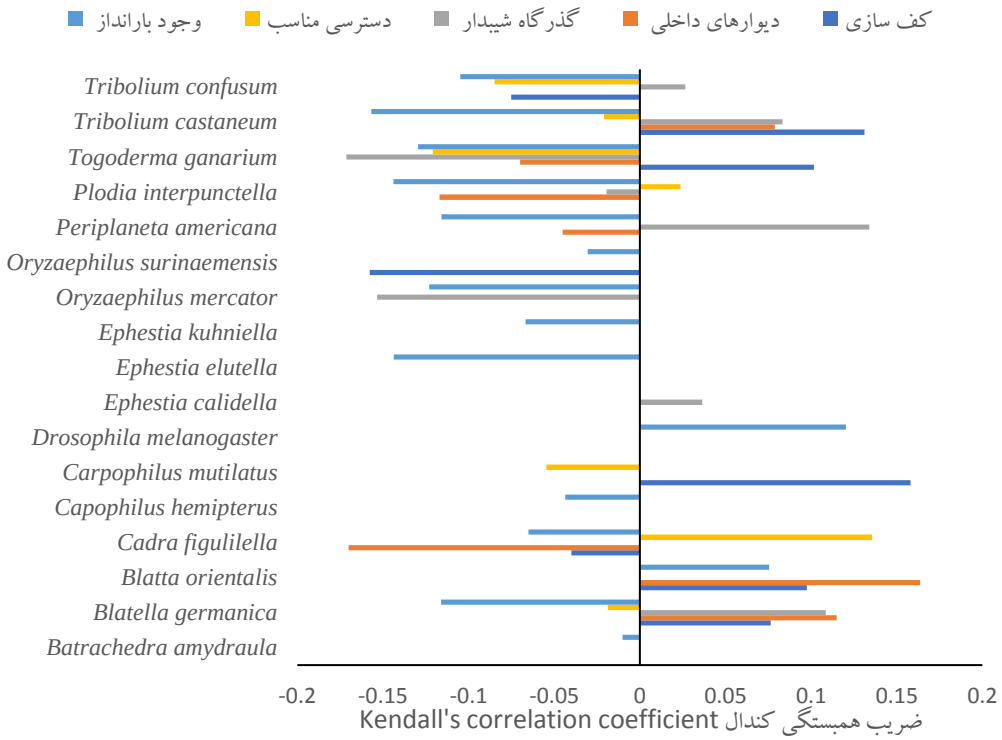
شکل ۱- ضریب‌های همبستگی کندال میان شاخص‌های استاندارد چیدمان با جمعیت حشرات آفات انباری در شش استان خرماخیز ایران

Figure 1- Kendall's correlation coefficients between the standard indicators of layout and the insect population of storage pests in six date-producing provinces of Iran

باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده، شاخص‌های استاندارد چیدمان محصول شامل پالت، ظروف نگهداری، تفکیک ارقام، فاصله‌گذاری، قفسه‌بندی به ترتیب بیشترین اثر را بر تغییرات شدت آلودگی *O. surinaemensis*، *E. elutella*، *E. elutella* و *E. calidella* داشتند. مطالعات مشابه روی آفات انباری در شرایط نگهداری غلات نشان داده است که نحوهٔ چیدمان و روش نگهداری محصول در توزیع پراکنش و گسترش آفات در محصولات انباری تأثیر دارد. بسته به ترجیحات گونهٔ غالب آفت انباری، با اتخاذ استراتژی چیدمان مناسب می‌توان از گسترش آلودگی آفات انباری جلوگیری کرد. واکنش آفات مختلف به شاخص‌های چیدمان متفاوت اسن و امکان دارد کاهش دسترسی یک آفت با تغییر ساختار چیدمان منجر به افزایش گونهٔ دیگر شود (Cox & Collins,2002).

ارتباط شاخص‌های استاندارد ساختمانی با جمعیت آفات انباری

شدت اثر شاخص‌های استانداردهای ساختمانی شامل کف-سازی، دیوارهای داخلی، گذرگاه شیب‌دار در مبادی ورودی، دسترسی مناسب به فضاهای داخلی، وجود بارانداز و محل دریافت با تغییرات جمعیت ۱۷ گونه حشرهٔ فعال در ۹۰ واحد انبار خرمای مورد بررسی در شش استان خرماخیز کشور با ضریب همبستگی کندال در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- ضریب‌های همبستگی کندال میان شاخص‌های استاندارد ساختمانی با جمعیت حشرات آفات انباری در شش استان خرماخیز ایران

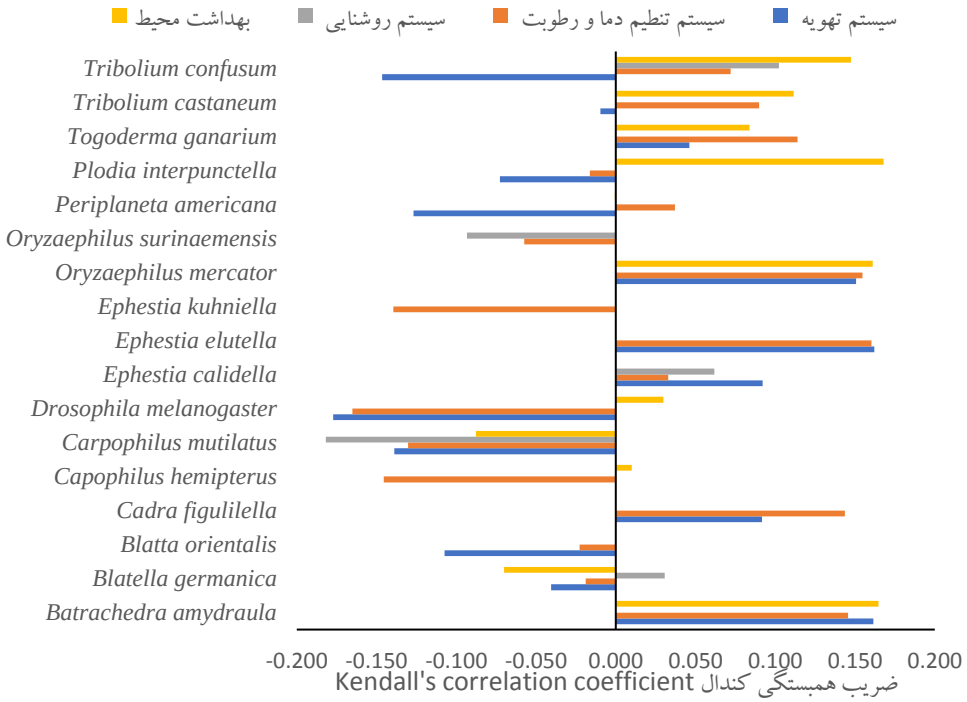
Figure 2- Kendall's correlation coefficients between building standard indicators and the insect population of warehouse pests in date-producing provinces of Iran

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمد، شاخص‌های استانداردهای ساختمانی شامل کف‌سازی، دیوارهای داخلی، گذرگاه شیب‌دار در مبادی ورودی، دسترسی مناسب به فضاهای داخلی، وجود بارانداز و محل دریافت به ترتیب بیشترین تأثیر را بر شدت آلودگی *E. kuhniella*، *D. melanogaster* ،*D. melanogaster* و *O. surinaemensis* داشته‌اند.

نتایج تحقیقات مشابه نشان داده است که حشرات همهٔ انبارهای محصولات کشاورزی را به یک اندازه آلوده نمی‌کنند. عمدتاً انبارهای خارج از استاندارد ساختمانی در معرض آلودگی بیشتری هستند. اما تأثیر شاخص‌های استاندارد ساختمانی بر شدت آلودگی به گونه‌های آفات انباری متفاوت است. پایش وضعیت بهداشت ساختمانی بخش مهمی از مدیریت تلفیقی آفات انباری محسوب می‌شود. استانداردهای ساختمانی در اثربخشی تیمارهای کنترل مانند گازدهی با آفت‌کش‌های تدخینی نیز مؤثر است. هیچ روش درمانی کامل نیست و توجه به شاخص‌های استاندارد ساختمان انبار در کنار دیگر روش‌های مدیریت تلفیقی آفات انباری اثربخش خواهد بود (Querner,2015).

ارتباط شاخص‌های استاندارد تنظیم شرایط محیطی با جمعیت آفات انباری

شدت اثر شاخص‌های استاندارد تنظیم شرایط محیطی انبار شامل سیستم‌های تهویه، تنظیم دما، تنظیم رطوبت، بهداشت محیط و کف انبار با تغییرات جمعیت ۱۷ گونه حشرهٔ فعال در ۹۰ واحد انبار خرمای مورد بررسی در شش استان خرماخیز کشور با ضریب همبستگی کندال در شکل ۳ نشان‌داده‌شده است.



شکل ۳- ضرایب همبستگی کندال میان شاخص‌های استاندارد محیطی با جمعیت حشرات آفات انباری در شش استان خرماخیز ایران

Figure 3- Kendall's correlation coefficients between standard environmental indicators and insect populations of storage pests in six date-producing provinces of Iran

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده، شاخص‌های استاندارد تنظیم شرایط محیطی انبار شامل سیستم‌های تهویه، تنظیم دما، تنظیم رطوبت، بهداشت محیط و کف انبار به ترتیب بیشترین تأثیر را بر شدت آلودگی *D. melanogaster*، *E. kuhniella*، *D. melanogaster* و *D. melanogaster*، *E. kuhniella* و *D. melanogaster* داشته‌اند.

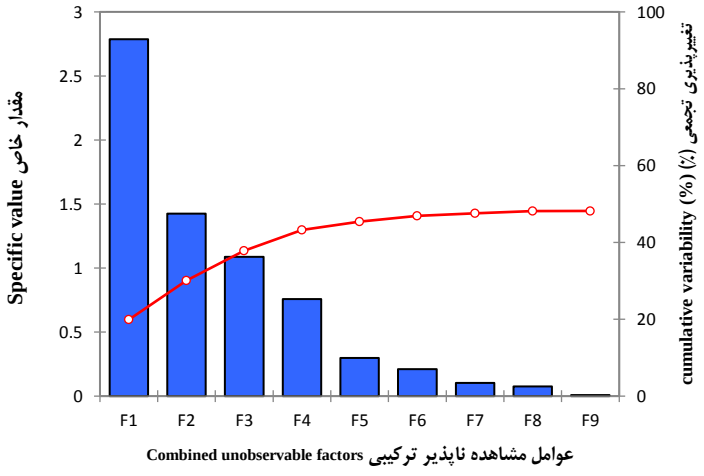
عوامل زیادی در حفظ ایمنی انبار محصولات کشاورزی دخیل هستند. اما شرایط محیطی انبار از جمله دما، رطوبت و نور نقش بسزایی در تغییرات جمعیت حشرات آفات انباری دارند. اقدامات کنترلی، چه با استفاده از آفت‌کش شیمیایی و چه با تغییر محیط فیزیکی از جمله تنظیم دما، رطوبت یا سطح اکسیژن، اثرهای متفاوتی بر شدت بروز آفت انباری دارند. در هر محیطی، محدودیت‌های دمای بالا و پایین برای بقای هر گونهٔ آفت وجود دارد، به طور مشابه، افراد جمعیت حشرات نیز از نظر واکنش به تغییرات رطوبت متفاوت هستند. برنامه‌های مدیریت آفات برای کنترل مؤثر باید آستانه‌های دمایی برای رشد، تحرک و پرواز حشرات را در نظر بگیرند تا بتوانند رشد و پراکندگی جمعیت را کنترل کنند. لازمهٔ اقدام مؤثر برای اِعمال این شرایط وجود سیستم‌های تهویه، کنترل دما، رطوبت و نور است. توانایی حشرات آفت انباری به تغییرات گرادیان دما و رطوبت در محصولات کشاورزی انباری متفاوت است، از این رو آگاهی از نقش سیستم‌های تنظیم شرایط محیطی در مدیریت تلفیقی آفات ضروری است و برای هر محصول با ترکیب آفات مختلف مهاجم فعال روی آن باید ارزیابی شود و به‌عنوان دستورالعمل تلفیقی در کنار دیگر برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات انباری اِعمال گردد (Bell, 2014).

برآورد شاخص‌های ترکیبی مشاهده نشدهٔ مؤثر بر بهداشت انبارهای خرما

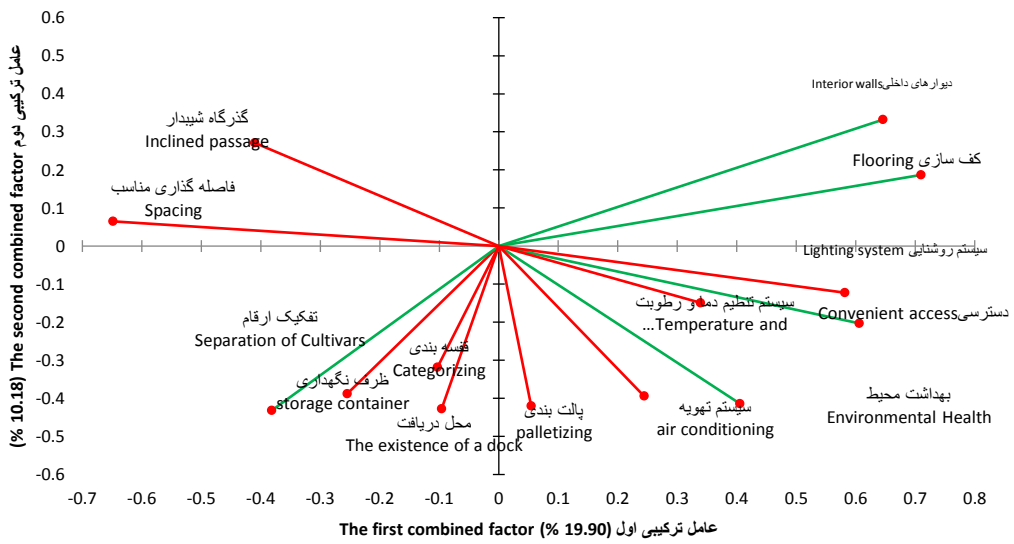
شاخص‌های استاندارد اثرهای متفاوتی بر آفات مختلف دارند، برخی از شاخص‌های انبارداری مشاهده نشده ممکن است دارای اثرهای مستقیم یا غیرمستقیمی در تغییرات جمعیت آفات انباری باشند. از طرف دیگر، تلفیق برخی از عوامل با زیرمجموعه‌ای از عوامل دیگر نیز دارای اثرهای متفاوتی بر آفات انباری خرماست. این عوامل با استفاده از روش تحلیل عاملی و بر اساس داده‌های حاصل از ارزیابی سه گروه شاخص‌های استاندارد چیدمان، ساختمان و محیط برآورد شد. بر اساس رابطه بین شاخص‌ها (شکل ۴) با سه عامل با داشتن ریشه‌های بزرگ‌تر از یک معنی‌دار است و در تمام موارد بیش از ۶۰ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه می‌کنند (جدول ۱). باتوجه‌به دوران عامل‌ها با چرخش واریماکس که واریانس بین عوامل را حداکثر و تفسیر عوامل را ساده‌تر می‌کند، عواملی که درصد بیشتری از تغییرات شاخص‌ها را در استاندارد انبار خرما را توجیه می‌کنند، در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. دو عامل ترکیبی اول و دوم بیشترین تأثیر را دارند و ۱۹/۹ و ۱۰/۱۸ درصد تغییرات را توجیه می‌کنند.

مدل شبکهٔ عصبی ارتباط بین شاخص‌های استاندارد مدیریت با جمعیت آفات انباری خرما

فرآیند شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد ۸۱/۱ درصد از داده‌های مشاهده شده طی نمونه‌برداری‌ها از ۹۰ انبار در شش استان خرماخیز در تحلیل مدل وارد شده‌اند. از داده‌ها که از فرآیند خارج شده‌اند، ۱۸/۹ درصد مربوط بوده است به خطای نمونه‌برداری که از نظر آماری پذیرفتنی است. مدل شبکهٔ عصبی برازش شده شامل ۲۸ سیناپس بین دو لایهٔ پنهان، لایهٔ ورودی (شامل استانداردهای چیدمان محصول، استانداردهای ساختمانی و استانداردهای تنظیم شرایط محیطی) با لایهٔ خروجی (تراکم جمعیت آفات انباری خرما) است. مقدار میانگین مربعات خطا (MSE) و خطای نسبی (RV) به ترتیب معادل ۱۵/۹۹ و ۰/۹۸ نشان دهندهٔ توانایی مناسب مدل شبکه عصبی در پیش‌بینی تراکم جمعیت آفات انباری است و بین مشاهدات حاصل از نمونه‌برداری و پیش‌بینی‌های مدل اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. براساس نتایج ساختار شبکهٔ مدل عصبی، پیش بینی تراکم جمعیت آفات انباری (به عنوان لایهٔ خروجی) براساس لایه ورودی (شاخص‌های مشاهده شده و مشاهده نشده) و لایه‌های پنهان در شکل ۵ نشان داده شده است.



الف



ب

شکل ٤- مقدار ویژه عامل‌های مشاهده نشده ترکیبی مؤثر در الگوی بهداشت انبار(الف) و درجه تأثیر آن‌ها در استاندارد نهایی پس از چرخش واریمکس در شش استان خرماخیز ایران

Figure 4- The specific value of the unobserved combined factors effective in the warehouse hygiene model (a) and their degree of influence in the final standard after varimax rotation in six date-producing provinces of Iran

جدول ۱- نتایج تجزیه به عامل‌ها به منظور تشخیص عامل‌های مشاهده ناپذیر ترکیبی مؤثر الگوی استاندارد مدیریت انبارداری در مناطق خرماخیز ایران

Table 1- The results of analysis into factors to identify the unobservable factors of the effective combination of the standard storage management model in the date growing areas of Iran.

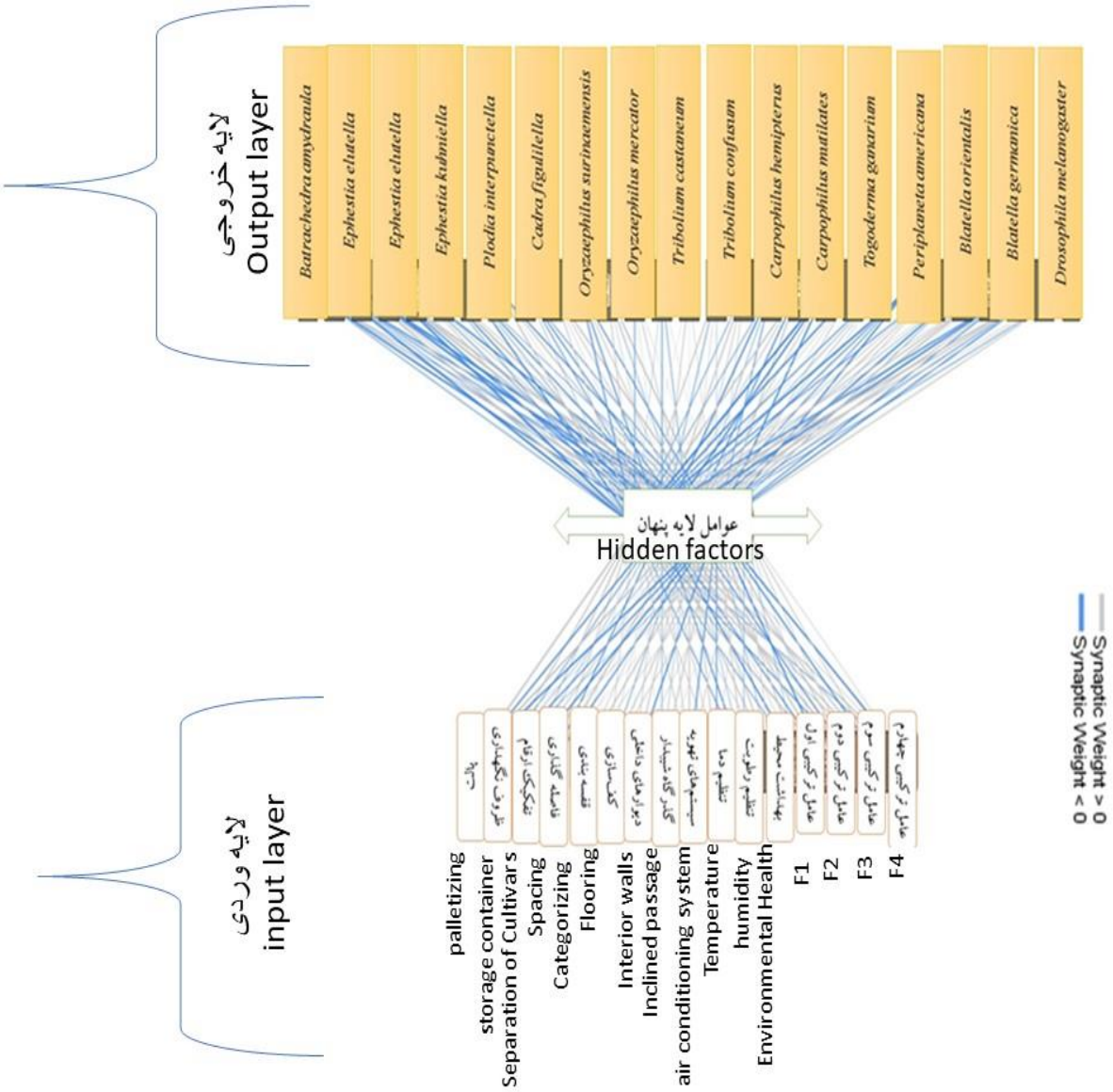
عامل‌های مشاهده شده Observed factors	عامل ترکیبی ۱ Combination factor1	عامل ترکیبی ۲ Combination factor2	عامل ترکیبی ۳ Combination factor3	عامل ترکیبی ۴ Combination factor4
دیوارهای داخلی Interior walls	0.261	0.286	0.396	0.375
کف‌سازی Flooring	0.229	0.063	0.126	0.213
سیستم روشنایی Lighting system	0.176	-0.061	0.123	-0.265
دسترسی مناسب Convenient access	0.161	-0.159	-0.178	0.202
سیستم تهویه air conditioning system	0.110	-0.238	0.109	-0.173
تنظیم دما و رطوبت Temperature and humidity control	0.088	-0.083	0.166	-0.292
بهداشت محیط Environmental Health	0.049	-0.152	-0.010	-0.006
پالت‌بندی palletizing	0.027	-0.187	-0.192	0.206
قفسه‌بندی Categorizing	-0.019	-0.121	0.098	0.013
وجود بارانداز The existence of a dock	-0.025	-0.185	0.182	0.073
ظرف نگهداری storage container	-0.055	-0.177	0.095	0.168
تفکیک ارقام Separation of Cultivars	-0.094	-0.234	0.153	0.151
گذرگاه شیب‌دار Inclined passage	-0.114	0.094	0.148	0.032
فاصله‌گذاری Spacing	-0.229	0.049	0.305	0.059

مدل شبکهٔ عصبی ارتباط بین شاخص‌های استاندارد مدیریت با جمعیت آفات انباری خرما

فرآیند شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد ۸۱/۱ درصد از داده‌های مشاهده شده طی نمونه‌برداری‌ها از ۹۰ انبار در شش استان خرماخیز در تحلیل مدل وارد شده‌اند. از داده‌ها که از فرآیند خارج شده‌اند، ۱۸/۹ درصد مربوط بوده است به خطای نمونه‌برداری که از نظر آماری پذیرفتنی است. مدل شبکهٔ عصبی برازش شده شامل ۲۸ سیناپس بین دو لایهٔ پنهان، لایهٔ ورودی (شامل استانداردهای چیدمان محصول، استانداردهای ساختمانی و استانداردهای تنظیم شرایط محیطی) با لایهٔ خروجی (تراکم جمعیت آفات انباری خرما) است. مقدار میانگین مربعات خطا (MSE) و خطای نسبی (RV) به ترتیب معادل ۱۵/۹۹ و ۰/۹۸ نشان دهندهٔ توانایی مناسب مدل شبکه عصبی در پیش‌بینی تراکم جمعیت آفات انباری است و بین مشاهدات حاصل از نمونه‌برداری و پیش‌بینی‌های مدل اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. براساس نتایج ساختار شبکهٔ مدل عصبی، پیش بینی تراکم جمعیت آفات انباری (به عنوان لایهٔ خروجی) براساس لایه ورودی (شاخص‌های مشاهده شده و مشاهده نشده) و لایه‌های پنهان در شکل ۵ نشان داده شده است.

اهمیت متغیرهای مستقل در تشخیص این نکته است که مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه به چه میزان با تغییر مقادیر متغیر مستقل تغییر می‌کند. نرمال‌سازی این ضرایب اهمیت و با تقسیم مقادیر اهمیت بر بزرگ‌ترین مقدار آن حاصل و به‌صورت درصد بیان شده است (جدول ۲). همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود داده‌های سیستم روشنایی، دسترسی مناسب، فاصله‌گذاری و کف‌سازی به ترتیب به میزان ۱۰۰، ۹۴/۹، ۷۷/۱ و ۶۰/۲ درصد در پیش‌بینی تراکم جمعیت آفات انباری توسط مدل شبکه عصبی مؤثرند و بنابراین شاخص‌های بالا بیشترین اهمیت را از نظر درجه تأثیر بر وقوع آفات انباری داشته است.

در این پژوهش، از شبکهٔ عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه و الگوریتم یادگیری لونبرگ مارکوارت برای تخمین پتانسیل وقوع جمعیت آفات انباری با استفاده از متغیرهای استاندارد مدیریت انبار استفاده شد. دقت و صحت شبکه با معیارهای ضریب تبیین و میانگین مربعات خطا سنجیده شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه می‌تواند تغییرات جمعیت آفات انباری خرما را با ضریب تبیین بالا با استفاده از متغیرهای ورودی پیش‌بینی کند. این پژوهش در توسعهٔ بهداشت و مدیریت انبار در کنترل آفات انباری کاربردی جدید از شبکهٔ عصبی ارائه می‌دهد که در آن فرآیند وقوع آفات انباری بر اساس شبکهٔ عصبی قادر است واکنش‌های کوتاه‌مدت و وقوع آفات انباری را تحت‌تأثیر تغییرات شاخص‌های مدیریت انبار نشان دهد. این مدل در واقع یک شبیه‌سازی از ارتباط بین رویکرد مدیریت صحیح انبار و سطوح مختلف فرآیندهای مثبت و منفی تأثیرگذار بر جمعیت است. مدل‌هایی مانند مدل ارائه شده در پژوهش می‌توانند مؤلفه‌های شناختی جدیدی را برای تصمیم‌گیری دقیق‌تر در برنامه‌های مدیریت آفات انباری خرما ارائه کنند.



شکل ۵- وزن و ضریب‌های لایه‌های ورودی و خروجی مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی پیش بینی تراکم جمعیت آفات براساس شاخص‌های استاندارد مدیریت انبارهای خرما

Figure 5- Weight and coefficients of the input and output layers of the artificial neural network model for predicting pest population density based on the standard indicators of date warehouse management

جدول ۲- درجهٔ اهمیت شاخص‌های لایهٔ ورودی(استانداردهای چیدمان محصول، استانداردهای ساختمانی و استانداردهای تنظیم شرایط محیطی) در پیش‌بینی لایهٔ خروجی (تراکم جمعیت آفات انباری) توسط مدل شبکهٔ عصبی

Table 2- The degree of importance of the indicators of the input layer (standards of product arrangement, construction standards, and environmental regulation standards) in predicting the output layer (density of warehouse pest population) by neural network model

شاخص‌های استاندارد انبارداری Standard warehousing indicators	ضریب اهمیت Coefficient of importance	درصد اهمیت نرمال شده Normalized significance percentage
پالت‌بندی palletizing	.014	7.0%
ظرف نگهداری storage container	.036	17.9%
تفکیک ارقام Separation of Cultivars	.011	5.4%
قفسه‌بندی categorizing	.012	6.1%
فاصله‌گذاری Spacing	.155	77.1%
کف‌سازی Flooring	.121	60.2%
دیوارهای داخلی Interior walls	.021	10.5%
گذرگاه شیب‌دار Inclined passage	.074	36.7%
دسترسی مناسب Convenient access	.190	94.9%
بارانداز The existence of a dock	.049	24.3%
سیستم تهویه air conditioning system	.095	47.1%
تنظیم دما و رطوبت Temperature and humidity control	.019	9.5%
سیستم روشنایی Lighting system	.201	100.0%
بهداشت محیط Environmental Health	.004	1.9%

باتوجه‌به وضع مقررات خاص بهداشتی بر محصولات کشاورزی و توجه ویژهٔ مصرف‌کنندگان به اصول بهداشت انبارداری در بخش کشاورزی، تحقیقات بیشتر روی مسائل مهندسی و فناوری انباری و امکان کنترل و ارزیابی کیفیت مستمر و بدون خطا متمرکز شده است. به طور خاص، حوزهٔ کنترل آفات از جمله ویژگی‌های مهم بهداشتی است که برای دستیابی به کیفیت مطلوب نگهداری محصول موردتوجه است. در دههٔ گذشته شاهد افزایش پویا در استفاده از روش‌های کاربردی برای ارزیابی کیفیت محصولات انباری کشاورزی بر اساس روش‌های هوش مصنوعی بوده‌ایم. با استفاده از این روش‌ها، نه‌تنها می توان ارزیابی دقیقی کرد از وضعیت آفات در محصولات انباری ، بلکه تأثیرگذاری ویژگی‌های منحصربه‌فرد محصول، انبار و روابط بین این شاخص‌ها در تغییرات شدت آلودگی آفات انباری نیز ممکن می‌شود (Lutz & Coradi, 2022). با استفاده از نتایج تجزیه و تحلیل شبکهٔ عصبی مصنوعی امکان ارزیابی سریع کیفیت محصولات انباری فراهم می‌شود و برای اندازه‌گیری و پیش‌بینی جمعیت آفات در محصولات انباری کشاورزی به‌کار می‌رود (Ali *et al*., 2021). نتیجه به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که به‌منظور ارتقای چشم‌انداز صنعت خرما با تولید کارآمد، زیست‌محیطی

و هوشمند باید از فناوری‌های اطلاعاتی مدرن در مدیریت آفات انباری در کشور استفاده شود. بر اساس تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مختلف انبارداری و آفات هدف، امکان برنامه‌ریزی هوشمند برای مدیریت تلفیقی آفات انباری خرما فراهم شده است.

نتیجه‌گیری

توسعه و بهینه‌سازی روش‌های کنترل آفات انباری در هر مرحله از فرآیند تولید، از مواد اولیه تا محصولات نهایی، اهمیت فزاینده‌ای در فناوری فراوری مواد غذایی دارد. این امر نیازمند توسعهٔ روش‌های نظارت و کنترل کیفی نوآورانه است. این پژوهش یک موتور شبکهٔ عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی وضعیت انواع آفات انباری بر اساس کیفیت استانداردهای انبارهای خرما ارائه می‌دهد. الگوریتم حاصل از شبکهٔ عصبی مصنوعی درجهٔ اهمیت رعایت استانداردهای انبارداری را در مدیریت تلفیقی آفات انباری خرما مشخص کرد و نیز مشخص شد که شبکهٔ عصبی مصنوعی ابزاری دقیق برای تعیین اقدامات بهداشتی در مدیریت پس از برداشت محصول خرماست.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوءرفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافع تجاری در این راستا وجود ندارد.

منابع

Abd El-Aziz, S. E. (2011). Control strategies of stored product pests. J. Entomol, 8(2), 101-122.

Adler, C., Athanassiou, C., Carvalho, M. O., Emekci, M., Gvozdenac, S., Hamel, D., ... & Trematerra, P. (2022). Changes in the distribution and pest risk of stored product insects in Europe due to global warming: Need for pan-European pest monitoring and improved food-safety. Journal of Stored Products Research, 97, 101977.

Ali, M. M., Hashim, N., Abd Aziz, S., & Lasekan, O. (2021). Quality inspection of food and agricultural products using artificial intelligence. Advances in Agricultural and Food Research Journal, 2(2).

Banga, K. S., Mohapatra, D., Babu, V. B., Giri, S. K., & Bargale, P. C. (2020). Assessment of bruchids density through bioacoustic detection and artificial neural network (ANN) in bulk stored chickpea and green gram. Journal of stored products research, 88, 101667.

Bianconi, A., Zuben, C.J.V., Serapião, A.B.D.S., Govone, J.S. (2010). Artificial neural networks: A novel approach to analysing the nutritional ecology of a blowfly species, *Chrysomya megacephala*. *Journal of Insect Science*, 10(1): 58.

Bell, C. H. (2014). A review of insect responses to variations encountered in the managed storage environment. Journal of stored products research, 59, 260-274.

Cox, P. D., & Collins, L. E. (2002). Factors affecting the behaviour of beetle pests in stored grain, with particular reference to the development of lures. Journal of Stored Products Research, 38(2), 95-115.

Da Silva, I.N., Hernane Spatti, D., Andrade Flauzino, R., Liboni, L.H.B., dos Reis Alves, S.F., da Silva, I.N., Hernane Spatti, D., Andrade Flauzino, R., Liboni, L.H.B., dos Reis Alves, S.F. (2017). Artificial neural network architectures and training processes (pp. 21-28). Springer International Publishing.

Elik, A., Yanik, D. K., Istanbullu, Y., Guzelsoy, N. A., Yavuz, A., & Gogus, F. (2019). Strategies to reduce post-harvest losses for fruits and vegetables. Strategies, 5(3), 29-39.

Günther, F., Fritsch, S. (2010). Neuralnet: training of neural networks. R J., 2(1):30.
Heeps, J. (2016). Insect management for food storage and processing. Elsevier. 231pp.
Kaur, M., & Kaur, J. (2022). Performance score to estimate agricultural market hygiene and infrastructure. Journal of Agriculture and Food Research, 9, 100332.
Loganathan, M., Akash, U., Durgalakshmi, R., & Anandharamakrishnan, C. (2018). Constraints in grain quality management: a warehouse journey. Julius-Kühn-Archiv, (463).
Lutz, É., & Coradi, P. C. (2022). Applications of new technologies for monitoring and predicting grains quality stored: Sensors, internet of things, and artificial intelligence. Measurement, 188, 110609.
Morrison III, W. R., Bruce, A., Wilkins, R. V., Albin, C. E., & Arthur, F. H. (2019). Sanitation improves stored product insect pest management. Insects, 10(3), 77.
Park, Y.S., Rabinovich, J., Lek, S. (2007). Sensitivity analysis and stability patterns of two-species pest models using artificial neural networks. *Ecological modelling*, 204(3-4): 427-438.
Querner, P. (2015). Insect pests and integrated pest management in museums, libraries and historic buildings. Insects, 6(2), 595-607.
Santiago, R. M. C., Rabano, S. L., Billones, R. K. D., Calilung, E. J., Sybingco, E., & Dadios, E. P. (2017, November). Insect detection and monitoring in stored grains using MFCCs and artificial neural network. In TENCON 2017-2017 IEEE Region 10 Conference (pp. 2542-2547). IEEE.
Singh, T., Bhat, M. M., & Khan, M. A. (2009). Insect adaptations to changing environments-temperature and humidity. International Journal of Industrial Entomology, 19(1), 155-164.
Sudhakar, N., Karthikeyan, G., RajhaViknesh, M., Saranya, A. S., & Shurya, R. (2020). Technological Advances in Agronomic Practices of Seed Processing, Storage, and Pest Management: An Update. Advances in Seed Production and Management, 359-398.
Tay, A., Lafont, F., Balmat, J.F. (2021). Forecasting pest risk level in roses greenhouse: Adaptive neuro-fuzzy inference system vs artificial neural networks. *Information Processing in Agriculture*, 8(3):386-397.
Ul Rahman, J., Makhdoom, F., Ali, A., Danish, S. (2023). Mathematical modeling and simulation of biophysics systems using neural network. *International Journal of Modern Physics* B, p.2450066.
Wang, J., Bu, Y. (2022). Internet of Things-based smart insect monitoring system using a deep neural network. *IET Networks*, 11(6):245-256.
Xia, D., Chen, P., Wang, B., Zhang, J., Xie, C. (2018). Insect detection and classification based on an improved convolutional neural network. Sensors, 18(12): 4169.
Zhang, W. and Zhang, X. (2008). Neural network modeling of survival dynamics of holometabolous insects: A case study. *Ecological Modelling*, 211(3-4), pp.433-443.

Food Engineering Research/Vol.24/No.76/ Spring& Summer/ 2024/P: 79-94

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Modeling the effect of warehouse hygiene on the population of date-stored pests using an artificial neural network

M. Jalili Moghadam, J. Nozari*, M. Latifian, S.P. Shirmardi, S.M.A. Ebrahimzadeh Mosavi

Corresponding Author: Department of Plant Protection, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
Email: nozari@ut.ac.ir
Received:29 April 2024 **Accepted**: 11 June 2024
http://doi: 10.22092/fooder.2024.365515.1388

Abstract

This study was studied the effects of common date-storage indicators on the occurrence of store pests in six date-producing provinces of Iran in 2022. The research employs an artificial neural network model with three layers: input, hidden, and output. Each layer contains a group of nerve cells (neuron = population of each date stored pest) which are generally related to all the neurons of other layers, including compliance and non-compliance with the storage index and the unobservable factor resulting from factor analysis. The results showed that the indicators of product layout, including pallets, storage containers, cultivars separation, spacing, and shelving had the greatest effect on the severity of *O. surinaemensis*, *E. elutella*, *E. elutella*, *E. elutella*, and *E. calidella* respectively. Building indicators, including flooring, internal walls, sloping passage at the entrance, proper access to internal spaces, and the presence of a dock had the greatest effect on the contamination of *D. melanogaster*, *D. melanogaster*, *E. kuhniella*, *O. surinaemensis*, and *E. kuhniella* respectively. The indicators of setting the environmental conditions of the warehouse, including ventilation systems of temperature, humidity, environmental hygiene, and warehouse floor, had the greatest effect on the contamination of *E. kuhniella*, *D. melanogaster*, *D. melanogaster*, *E. kuhniella*, and *D. melanogaster* respectively. The neural network model included 28 synapses between different layers. The data from lighting system, proper access, spacing, and flooring are effective in predicting warehouse pests' population density by 100%, 94.9%, 77.1%, and 60.2%, respectively. These factors are crucial in preventing pest infestations. The algorithm obtained from the neural network determined the importance of complying with storage standards in managing date storage pests.

Keywords: Damage, Prediction, Simulation, Standard, Storage

http://doi: 10.22092/fooder.2024.365515.1388 **Email**: nozari@ut.ac.ir **نویسنده مسئول:**

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).