پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۱۰ (۳): ۳۹-۲۹ (۱۴۰۰)- مقاله پژوهشی
Journal of Applied Research in Plant Protection 10(3): 29-39 (2021)-Research Article

DOI: https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2021.13324

بهینه‌سازی کنترل حشرات کامل سوسک توتون *Lasioderma serricorne* با استفاده از اتمسفر کنترل شده در مقایسه با کاربرد قرص فستوکسین

نرمین صادق‌زاده خیاطی، اروج ولیزادگان✉

گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. ✉ o.valizadegan@urmia.ac.ir

دریافت: ۹۹/۹/۵ بازنگری: ۹۹/۱۰/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۲۴

چکیده

سوسک توتون *Lasioderma serricorne* به بسیاری از محصولات انباری خسارت می‌زند. کنترل این آفت هنوز متکی به استفاده از قرص فستوکسین است که با توسعه مقاومت بسیاری از آفات انباری در برابر آن به یک ترکیب کمتر موثر تبدیل شده است. در این تحقیق اثر حشره‌کشی گازهای دی اکسید کربن و نیتروژن به تنهایی و در تلفیق با هم علیه حشرات کامل سوسک توتون مورد ارزیابی قرار گرفت. تلفات بعد از ۲۴ ساعت ثبت گردید. نتایج نشان داد که گاز نیتروژن به تنهایی فاقد اثر کشندگی قابل توجه و معنی‌دار روی حشرات کامل آفت است. مقدار LC_{50} گاز دی اکسید کربن نیز برابر با ۲۴۹۸/۵۹ پی‌پی‌ام به دست آمد. در تلفیق گازهای مذکور نیز غلظت‌های ۲۵۴، ۳۸۱ و ۵۰۸ پی‌پی‌ام از گاز نیتروژن با مقدار LC_{50} گاز دی اکسید کربن تلفیق داده شد. نتایج حاصل از اختلاط این دو گاز نشان داد بیشترین مقدار کشندگی گاز دی اکسید کربن در غلظت‌های پایین از گاز نیتروژن حاصل می‌شود. طبق نتایج حاصل از تحقیق، هزینه استفاده از قرص فستوکسین در مقایسه با گاز دی اکسید کربن برای کنترل سوسک توتون بسیار بیشتر بود. می‌توان روش برنامه ریزی خطی را به عنوان یک روش مفید برای بهینه‌سازی مدیریت کنترل این آفت معرفی کرد و با در نظر گرفتن هزینه پایین و اثر حشره‌کشی بالای دی اکسید کربن و با بررسی کردن دیگر جوانب استفاده از آن، این فومیگانت را یک جایگزین مناسب برای فستوکسین در نظر گرفت.

کلمات کلیدی: آفت انباری، برنامه‌ریزی خطی، قرص فستوکسین، گاز دی اکسید کربن، گاز نیتروژن

Optimizing control of *Lasioderma serricorne* adults using controlled atmosphere compared with phostoxin tablets application

Narmin Sadeghzadeh Khayati, Orouj Valizadegan✉

Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran. ✉o.valizadegan@urmia.ac.ir

Received: 25 Nov 2020 Revised: 30 Dec 2020 Accepted: 13 Apr 2020

Abstract

The cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* damages a wide range of stored products. Control of this pest still relies on the use of phostoxin tablets, which is becoming less effective as storage pests develop resistance to this compound. In this research mortality effect of carbon dioxide and nitrogen gases evaluated individually and in combination, against adults of *L. serricorne*. Mortality was recorded after 24 h. Results indicated that nitrogen did not have a significant lethal effect on adults of pest. The LC_{50} value of carbon dioxide was estimated 2498.59 ppm. In combination tests of these gases, concentrations of 254, 381 and 508 ppm of nitrogen were combined with the LC_{50} value of carbon dioxide. Results showed that insect mortality was increased by decreasing the concentration of nitrogen or by increasing that of carbon dioxide. According to the results of this study, the cost of using phostoxin tablets was much higher than that of carbon dioxide. Linear programming can be introduced as a useful method for optimizing control managing of this pest. Also, by considering the low-cost control and high insecticidal effect of carbon dioxide and evaluating other aspects, this fumigant can be introduced as a suitable alternative to phostoxin.

Keywords: Carbon dioxide, Linear programming, Phosphine tablet, Nitrogen, Stored-product pests

How to cite:
Sadeghzadeh Khayati N, Valizadegan O, 2021. Optimizing adult control of *Lasioderma serricorne* by using of controlled atmosphere compared with utilization of phostoxin tablets. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 10 (3): 29 –39.

مقدمه

سوسک توتون *Lasioderma serricorne* Fabricius (Coleoptera: Anobiidae) مهمترین آفت انباری توتون می‌باشد که خسارت آن در روی برگ‌های خشک توتون سالانه به میلیون‌ها دلار می‌رسد. این آفت همه بوده و علاوه بر توتون، به انواع مختلف ذرت، برنج، بادام زمینی، کاکائو، میوه‌های خشک، گیاهان دارویی، شیرینی‌جات، بیسکویت و همچنین ماهی خشک زیان‌های سنگینی را وارد می‌سازد. خسارت مهم دیگر آن به کتاب، کاغذ، کارتن، مبل، قالی، خز، ابریشم، چرم، پارچه و غیره می‌باشد (Bagheri Zonouz 1996; Marouf *et al.* 2009). سوسک توتون به وسیله ایجاد حفره و دالان در برگ‌های توتون و ایجاد شکستگی و در نهایت خرد شدن برگ‌های خشک توتون موجب ایجاد خسارت اقتصادی می‌گردد (Oppert *et al.* 2010). همچنین سوسک توتون علاوه بر خسارت اقتصادی، با تغذیه از توتون‌های انباری و سیگار موجب اضافه شدن فضولات به توتون و در نهایت ایجاد مشکلات بهداشتی و تنفسی برای مصرف کنندگان می‌گردد (Sepasgozarian 1978; Sajjadian *et al.* 2012).

در ایران برنامه‌های کنترل هر ساله با صرف هزینه‌های سنگین علیه این آفت انجام می‌شوند و در مواردی مشکلات بهداشتی برای مجریان عملیات کنترل نیز ایجاد می‌شود (Marouf *et al.* 2009). از جمله روش‌های کنترل این آفت می‌توان به استفاده از ترکیبات تدخینی، حشره‌کش‌های شیمیایی، تله‌های فرمونی، قارچ‌ها و ویروس‌های بیمارگر اشاره کرد (Mediouni-Ben Jemaa *et al.* 2011). در میان سایر ترکیبات تدخینی، فسفین (فسفید آلومینیوم) و متیل بروماید بیشترین استفاده را داشته اند. اما هر یک از این ترکیبات معایبی دارند. گاز متیل بروماید باعث از بین رفتن لایه ازون می‌شود. همچنین برای انسان و سایر جانوران خونگرم سمی و کشنده است. مطابق پروتکل مونترال استفاده از این گاز می‌بایست تا سال ۲۰۱۵ متوقف می‌شد (Cassanova 2002; Emekci 2010). در مورد قرص فستوکسین نیز، طیف گسترده‌ای از حشرات در سراسر جهان به آن مقاومت نشان داده‌اند. طولانی بودن طول دوره فومیگاسیون، تاثیر مخرب روی عوامل اجرایی فومیگاسیون و ایجاد ناهنجاری‌هایی ژنتیکی از جمله معایب دیگر استفاده از فستوکسین هستند (Rajendran & Muralidharan 2001). امروزه تلاش‌ها بیشتر در جهت یافتن ترکیبات غیر شیمیایی و گنجاندن آنها در چارچوب مدیریت تلفیقی آفات IPM می باشد (Radek *et al.* 2017). اتمسفر اصلاح شده یا کنترل شده به عنوان یکی از کاندیدهای این امر، بیشترین امیدواری را در کنترل و مدیریت آفات انباری دارد. استفاده از گازهای غیر سمی برای محافظت ترکیبات انباری به سال ۱۹۷۰ بر می‌گردد (Lindgren & Vincet 1970). این روش مبنی بر کاهش غلظت اکسیژن (به میزان کمتر از یک درصد) یا به ته رسانیدن مقدار آن و افزایش غلظت دی اکسید کربن یا نیتروژن است. استفاده از این روش هیچ گونه باقیماندگی یا مواد خارجی روی مواد غذایی یا محصولات انباری ندارد (Navarro 2012; Radek *et al.* 2017; Cao *et al.* 2019). همچنین احتمال بروز مقاومت در حشرات نسبت به آن کمتر است و در طولانی مدت حتی رشد قارچ‌ها را کنترل کرده و به حفظ قدرت جوانه‌زنی بذور نیز کمک می‌نماید (Beikpor *et al.* 2009). با این حال، هنوز ناشناخته‌هایی در مورد استفاده از این روش مانند ترکیب آن با سایر روش‌های کنترلی (از جمله به کارگیری دشمنان طبیعی) و بررسی مکانیسم‌هایی مانند مقاومت تقاطعی آفات در برابر آن وجود دارد (Cao *et al.* 2019).

بهینه‌سازی به معنای استفاده از منابع و فناوری‌های موجود به بهترین شکل ممکن است. مدل‌های کمی و روش‌های مختلف ریاضی مانند برنامه‌ریزی خطی منجر به تولید نتیجه بهتر در امر مدیریت آفت می شوند (Khan 2014). برنامه‌ریزی خطی که به آن بهینه‌سازی خطی نیز گفته می‌شود، دارای مولفه‌های کمی از قبیل: تابع هدف (به حداکثر رساندن سود و یا به حداقل رساندن هزینه‌ها)، محدودیت‌ها (محدودیت منابع تولید) و متغیرهای تصمیم‌گیری می‌باشد. در فرمول بندی مساله برنامه‌ریزی خطی، فرض بر این است که یک سری از روابط خطی (یا حداقل خطی)، از جمله متغیرهای تصمیم‌گیری، در محدوده گزینه‌های در نظر گرفته شده برای مساله وجود داشته باشند (Yue 2013).

مبارزه با آفات انباری با حفظ کمیت و کیفیت محصولات انباری، از دغدغه‌های مهم و اصلی تولید کنندگان، صادرکنندگان و مصرف کنندگان این محصولات در سراسر جهان می‌باشد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که گاز نیتروژن مانع جذب اکسیژن توسط حشرات آفت شده و در نتیجه منجر به مرگ آنها در اثر خفگی می‌گردد. گاز دی اکسید کربن نیز با باز نگه داشتن سوراخ‌های تنفسی حشرات، می‌تواند در ورود مقادیر بیشتر گازها به داخل بدن حشرات آفت و در نتیجه در کنترل آنها نقش داشته باشد (Ahmdani 2009; Sekhon *et al.* 2010). با توجه به رایج بودن استفاده از قرص فستوکسین در کنترل آفات انباری علیرغم معایب بسیار زیاد آن، در این پژوهش سعی شد تا از بعد هزینه و مالی نیز مقایسه‌ای از آن با روش اتمسفر کنترل شده انجام

گیرد تا گامی در جهت مستلزم دانستن تحقیقات بیشتر برای وارد کردن ترکیب جایگزین آن برداشته شود. همچنین راهکار موثر و کم هزینه برای کنترل سوسک توتون ارائه گردد.

مواد و روش ها

پرورش حشره

سوسک توتون از بخش حشره‌شناسی گروه گیاهپزشکی دانشگاه ارومیه تهیه شد. برای پرورش حشره از ظروف یک لیتری استفاده شد و جهت ایجاد تهویه روی دهانه آنها پارچه توری نصب گردید. ماده غذایی جهت پرورش، آرد، گندم و حبوبات موجود در اتاق آفات انباری به همراه پنج درصد مخمر بود. ظروف پرورش حشره در اتاق پرورش گروه با شرایط دمایی ۲ ± ۳۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و در تاریکی نگهداری شدند.

بررسی اثر گازهای دی اکسید کربن و نیتروژن روی حشرات کامل سوسک توتون

جهت تامین گازهای دی اکسید کربن و نیتروژن مورد نیاز در تحقیق، از کپسول‌های تحت فشار که توسط اداره آتش‌نشانی ارومیه شارژ شده بودند، استفاده گردید. هر یک از این کپسول‌ها مجهز به رگلاتور و دو عدد فشار سنج (درجه بندی شده بر حسب میلی بار) در کنار آن بودند که اولی فشار درون مخزن و دومی فشار گاز خروجی را نشان می‌داد. آزمایش گازدهی مطابق با روش Gilberg (1989) با اندکی تغییرات انجام شد. تعداد ۳۰ عدد حشره کامل یک تا دو روزه داخل ظروف پتری پلاستیکی (هشت سانتی‌متری) و حاوی دو گرم از مواد غذایی حشره قرار گرفتند. ظروف پتری داخل جارهای بی‌هوازی شیشه‌ای (Glass anaerobic jar) (سه لیتری) قرار داده شدند و عمل گازدهی در داخل آنها انجام شد. جارهای بی‌هوازی مجهز به یک درب مخصوص فلزی بودند که روی آن شیرهای ورود و خروج گاز به طور جداگانه تعبیه شده بود. از این دریچه‌ها برای ایجاد شرایط خلا و همچنین تزریق گاز استفاده شد. در شروع آزمایش، قبل از عمل گازدهی هوای داخل شیشه توسط پمپ خلا (مدلVarian DSE 42, Germany) خارج گردید. برای وصل کردن کپسول گاز به جار بی‌هوازی، از یک شلنگ پلاستیکی نیم اینچی مخصوص گاز به طول پنج متر استفاده شد. سر دیگر این شلنگ سرپیچی داشت که از آنجا به شیر جار بی‌هوازی محکم می‌شد. با باز کردن شیر ورودی، گاز به داخل شیشه تزریق شد. برای محاسبه وزن گاز خروجی از کپسول، حجم معینی از گاز در واحد زمان (ثانیه) به داخل کیسه‌های پلاستیکی تزریق شد. اندازه‌گیری زمان تزریق توسط زمان سنج با دقت یک صدم ثانیه کنترل شد. در آزمایشات مقدماتی این عمل در مدت زمان ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ ثانیه و در سه تکرار انجام گرفت. پس از محاسبه میانگین تکرارهای تزریق، وزن گاز بر حسب گرم طبق زمان‌های مختلف تزریق محاسبه و غلظت آن در حجم جار بی‌هوازی بر مبنای پی‌پی‌ام محاسبه شد.

تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند. جارهای بی‌هوازی پس از انجام عمل گازدهی، به اتاق رشد حشرات (با شرایط دمایی ۲ ± ۳۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و تاریکی) منتقل شدند. مرگ و میر پس از گذشت ۲۴ ساعت ثبت شد. در این آزمایش حشراتی که با نزدیک کردن سوزن داغ به پاها و شاخک‌هایشان حرکتی نمی‌کردند، به عنوان مرده تلقی شدند.

بررسی تاثیر مخلوط گازهای دی اکسید کربن و نیتروژن روی حشرات کامل سوسک توتون

به منظور بررسی اثر ترکیب دو گاز دی اکسید کربن و نیتروژن، پس از انجام آزمایش‌های مقدماتی، سه غلظت انتخابی از گاز نیتروژن (۲۵۴، ۳۸۱ و ۵۰۸ پی‌پی‌ام) با مقدار LC_{50} گاز دی اکسید کربن (۲۴۹۸/۵۹ پی‌پی‌ام) تلفیق داده شدند. برای بررسی اثر این تلفیق از روش Gisi (1996) استفاده شد. روش انجام آزمایش‌ها مشابه روش شرح داده شده در بخش بالا بود. هر آزمایش در سه تکرار انجام شد. مرگ و میر بعد از گذشت ۲۴ ساعت ثبت گردید.

برنامه ریزی خطی

داده‌های مورد نیاز برای اجرای این روش آماری از افراد و مراکز مربوطه جمع‌آوری شدند. یک سیلوی ۱۰۰۰۰ تنی گندم به عنوان مدلی برای این امر در نظر گرفته شد و داده‌های مربوط به آن شامل هزینه‌های گاز، قرص فستوکسین، کارگر، نگهداری سیلو (آب و برق و غیره) و هزینه‌های استهلاک بودند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

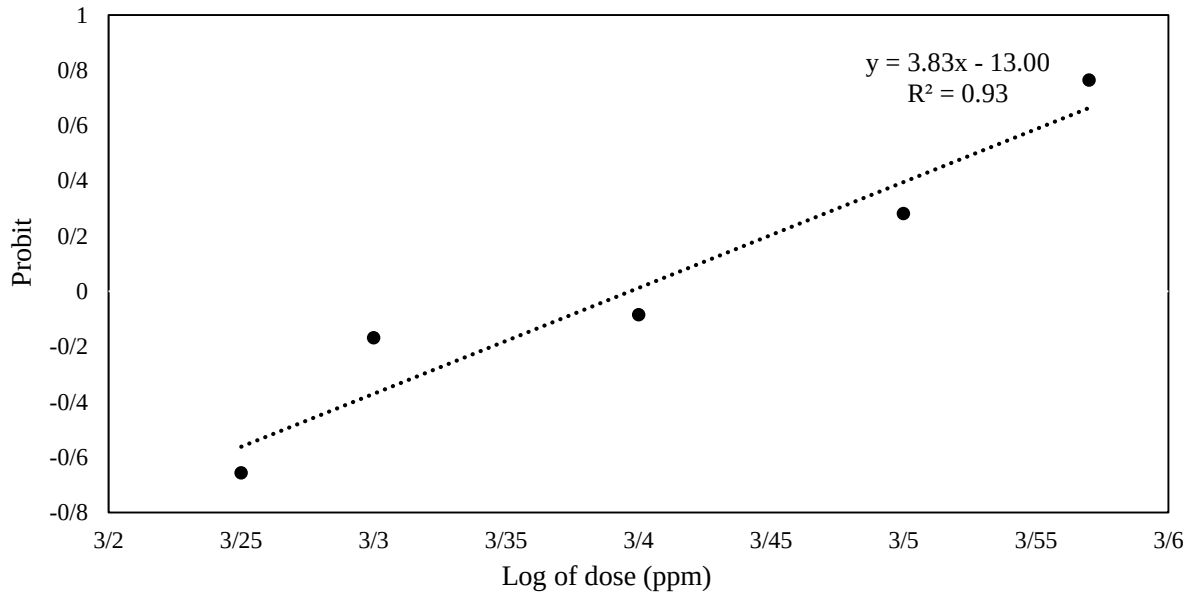
آزمایش‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شدند. در صورت نیاز، آزمون نرمال بودن و تبدیل داده‌ها انجام گرفت. برای تعیین مقادیر LC_{50} گازها، از روش پروبیت در نرم افزار SPSS version 17.0 استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال آماری یک درصد و با روش ONE-WAY ANOVA استفاده گردید. برای محاسبه اثر

سینرژیستی/ آنتاگونیستی از فرمول $C_{exp} = A + B - (AB/100)$ % استفاده شد که در آن A و B مقادیر درصد مرگ و میری هستند که هر یک از گازها به تنهایی داشته‌اند. AB درصد مرگ و میر حاصل از ترکیب دو گاز را نشان می‌دهد (C_{obs} = Observed mortality) و C_{exp} بیانگر درصد مرگ و میر مورد انتظار (Expected mortality) می‌باشد. هرگاه حاصل نسبت بین درصد مرگ و میر مشاهده شده و درصد مرگ و میر مورد انتظار ($\text{Ratio} = \frac{C_{obs}}{C_{exp}}$) بیشتر از یک باشد، بیانگر اثر سینرژیستی بین دو ترکیب بوده و اگر حاصل کسر فوق کمتر از یک شود، اثر آنتاگونیستی را نشان می‌دهد (Gisi 1996). نمودارها با استفاده از نرم افزار EXCEL 2013 رسم شدند.

نتایج و بحث

اثر گازهای دی اکسید کربن و نیتروژن روی حشرات کامل سوسک توتون

نتایج حاصل از تاثیر گازهای دی اکسید کربن و نیتروژن روی حشرات کامل سوسک توتون نشان داد که گاز نیتروژن به تنهایی اثر کشندگی معنی دار و قابل توجهی روی حشرات کامل سوسک توتون ندارد. طبق نتایج حاصل از تحقیق با افزایش غلظت گاز نیتروژن، میزان تلفات سوسک توتون بیشتر از ۱۲ درصد نبود و میانگین مرگ و میر مربوط به تیمارهای مختلف آن اختلاف معنی داری با شاهد نداشت ($F = 0.31, df = 4, P>0.001$). در بررسی اثر گاز دی اکسید کربن روی حشرات کامل سوسک توتون، نتایج نشان داد با افزایش غلظت فومیگانت مزبور، مرگ و میر حشرات کامل به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد ($F = 176.14, df = 4, P<0.001$). غلظت‌های به دست آمده بین ۲۵ تا ۷۵ درصد تلفات از گاز دی اکسید کربن علیه حشرات کامل سوسک توتون برابر با (۱۷۹۸/۸۷، ۱۹۵۵/۲۶، ۲۵۱۱/۸۹، ۳۱۶۲/۲۸، ۳۶۹۸/۲۸) پی‌پی‌ام بودند (شکل ۱، ۲ و ۳). مطابق نتایج به دست آمده میزان LC_{50} گاز دی اکسید کربن روی حشرات کامل سوسک توتون برابر با ۲۴۹۸/۵۹ پی‌پی‌ام بود.



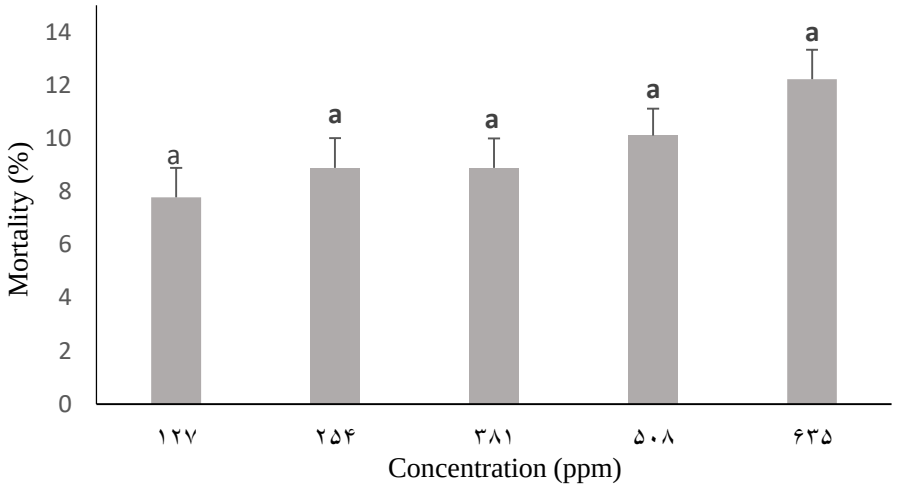
شکل ۱. رابطه دز-پاسخ حشرات کامل سوسک توتون تحت تاثیر دی اکسید کربن پس از ۲۴ ساعت.

Figure 1. Dose-Response relationship of adults of *Lasioderma serricorne* treated with carbon dioxide after 24 h.

اثر تلفیقی گاز دی اکسید کربن و نیتروژن روی حشرات کامل سوسک توتون

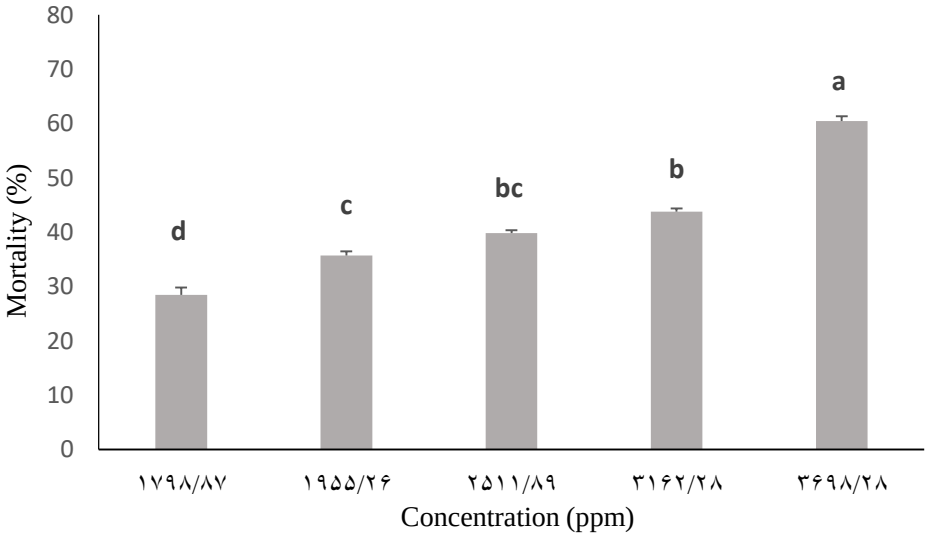
برای بررسی اثر تلفیقی این دو گاز غلظت LC_{50} گاز دی اکسید کربن با سه غلظت انتخابی از گاز نیتروژن (۲۵۴، ۳۸۱ و ۵۰۸ پی‌پی‌ام) تلفیق شد. طبق نتایج حاصل، در تمامی موارد نسبت درصد مرگ و میر مشاهده شده و درصد مرگ و میر مورد انتظار (Ratio) بیشتر از یک بوده و بیانگر اثر سینرژیستی می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد اثر کشندگی گاز دی اکسید کربن با کاهش غلظت گاز نیتروژن افزایش پیدا می‌کند (جدول ۱). در تکمیل محاسبه مرگ و میرهای مربوط به جدول ۱، لازم به ذکر است که تلفات ناشی از غلظت کشنده ۵۰ درصد گاز دی اکسید کربن ۴۶/۶۷ درصد بود. تلفات ناشی از غلظت‌های ۲۵۴،

۳۸۱ و ۵۰۴ پی‌پی‌ام گاز نیتروژن نیز همانطور که در شکل بالا به آن اشاره شده است به ترتیب برابر با ۸/۸۹، ۸/۸۹ و ۱۰/۱۰ درصد بود.



شکل ۲. میانگین درصد تلفات حشرات کامل سوسک توتون در اثر غلظت‌های مختلف گاز نیتروژن. حروف مشابه روی ستون‌ها نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال آماری یک درصد است.

Figure 2. Mean mortality of *Lasioderma serricorne* adults exposed to different nitrogen concentrations. Similar letters on the top of columns indicate no significant difference at 1% level.



شکل ۳. میانگین درصد تلفات حشرات کامل سوسک توتون در اثر غلظت‌های مختلف گاز دی اکسید کربن. حروف غیر مشابه روی ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال آماری یک درصد است.

Figure 3. Mean mortality of *Lasioderma serricorne* adults exposed to different carbon dioxide concentrations. Non similar letters on the top of columns indicate significant difference at 1% level.

جدول ۱. درصد تلفات حشرات کامل سوسک توتون تحت تاثیر ترکیب دو گاز دی اکسید کربن و نیتروژن بعد از گذشت ۲۴ ساعت.

Table 1. Percentage mortality of *Lasioderma serricorne* exposed to mixture of carbon dioxide and nitrogen after 24 h.

Insect	n	Concentration (ppm)	Expected mortality (%) ± SE	Observed mortality (%) ± SE	Ratio
adult	90	carbon dioxide 2498.59+ 254 nitrogen	54.79 ± 0.33	76.89 ± 1.01	>1
adult	90	carbon dioxide 2498.59+ 381 nitrogen	54.90 ± 0.32	65.56 ± 1.11	>1
adult	90	carbon dioxide 2498.59+ 508 nitrogen	56.19 ± 0.33	56.67 ± 0.23	>1

*Ratio: Ratio between observed and expected mortality (%).

در تحقیق حاضر اثر حشره‌کشی گازهای دی اکسید کربن خالص و نیتروژن خالص به تنهایی و در ترکیب با یکدیگر روی آفت سوسک توتون *L. serricorne* مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج حاصل بعد از گذشت مدت زمان ۲۴ ساعت، گاز نیتروژن اثر کشندگی ناچیز و گاز دی اکسید کربن اثر کشندگی قابل توجهی روی آفت مورد نظر داشتند. آزمایشات مربوط به ترکیب این دو گاز نیز نشان داد که بیشترین درصد کشندگی در سوسک توتون زمانی اتفاق می افتد که نسبت گاز نیتروژن کمتر و دی اکسید کربن بیشتر باشد. مطالعات مختلف استفاده از ترکیب فومیگانت‌ها را توصیه کرده‌اند زیرا هیچ کدام از فومیگانت‌های رایج به تنهایی دارای خصوصیات کاملا ایده آل نیستند (Navarro 1986) که نتایج تحقیق حاضر نیز این مطلب را تایید می‌کند. همچنین، بررسی‌های مختلف نشان داده‌اند برای دستیابی به اثر بخشی نیتروژن و ایجاد مرگ و میر قابل ملاحظه در آفات انباری، باید مدت زمان در معرض گیری حشره در برابر آن بسیار طولانی باشد که این امر در مورد بسیاری از محصولات، خصوصا محصولات صادراتی امکان پذیر و مناسب نیست. نتایج تحقیق Sujeetha *et al*. (2015) در بررسی اثر کشندگی اتمسفر کنترل شده روی سوسک توتون در زمان‌های ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت نشان داد با گذشت زمان اثر کشندگی نیتروژن افزایش پیدا کرد. طبق نتایج تحقیق آنها، بیشترین میزان کشندگی بعد از گذشت مدت زمان ۲۴ ساعت، در ترکیب اتمسفری حاوی نیتروژن و مقادیر بالاتر از ۲۰ درصد دی اکسید کربن به دست آمد. از طرف دیگر، طبق بررسی‌های مختلف انجام گرفته، افزایش نسبت دی اکسید کربن (به میزان بالاتر از ۱۰ درصد)، منجر به باز نگه داشته شدن سوراخ‌های تنفسی حشرات (اسپیراکل‌ها) شده و در نتیجه مرگ حشرات در اثر از دست رفتن آب بدن آنها اتفاق می‌افتد. اثرات سمی دی اکسید کربن از طریق تراشه‌ها عمل کرده و مستقیما روی سیستم عصبی حشرات اثر می‌گذارد. در بعضی از موارد، افزایش نسبت دی اکسید کربن می‌تواند منجر به اسیدی شدن همولنف و در نتیجه نارسایی غشا در بعضی از بافت‌ها شود (Nicolas & Sillans 1989). همچنین، نتایج بررسی‌های مختلف نشان داده است که افزایش دی اکسید کربن در ترکیب اتمسفر، باعث تغییر فعالیت آنزیم‌های متابولیکی حشرات نیز می‌گردد. به عنوان مثال در سوسک توتون بعد از قرار گیری در اتمسفر با نسبت بالای دی اکسید کربن، فعالیت آنزیم کربوکسیل استراز افزایش پیدا کرد (Zhou *et al*. 2001; Li *et al*. 2007). بررسی‌های Sadeghi & Jamshidnia (2014) نشان داد که ترکیب گاز نیتروژن و دی اکسید کربن بعد از گذشت ۲۴ ساعت باعث افزایش مرگ و میر در *Sitophilus oryzae* L.، *Tribolium castaneum* (Herbst 1797)، *Rhyzopertha dominica* (Fabricius)، *Oryzaephilus surinamensis* و *Plodia interpunctella* (Hanber) می‌شود. Bailey (1955) نشان داد که قرار دادن سوسک *Calandra granaria* به مدت ۱۷ روز در ترکیب اتمسفری ۴۰ درصد دی اکسید کربن و دو درصد اکسیژن موجب مرگ و میر ۱۰۰ درصدی آفت می‌شود. در تحقیق دیگری Sauer & Shelton (2002) ترکیب اتمسفری ۸۰ درصد دی اکسید کربن و ۲۰ درصد نیتروژن را روی آفت شب پره هندی *P. interpunctella* مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که ترکیب مزبور بعد از گذشت ۱۲ ساعت موجب کشندگی ۱۰۰ درصدی آفت می‌گردد. همچنین تحقیقات Husain *et al*. (2015) روی مرحله لاروی بید آرد *Ephestia cautella* (Walker 1863) نشان داد که ترکیب اتمسفری خالص دی اکسید کربن (۱۰۰ درصد دی اکسید کربن) و همچنین ترکیب اتمسفری ۷۵ درصد دی اکسید کربن و ۲۵ درصد نیتروژن بعد از گذشت ۷۲ ساعت موجب مرگ ۱۰۰ درصدی آفت خواهد شد. تحقیق Jay & Cuff (1981) نیز نشان داد که اگر لارو و حشرات کامل شپشه آرد *T. castaneum* به ترتیب به مدت ۷۲ و ۲۴ ساعت در معرض ترکیب اتمسفری ۹۷ درصد دی اکسید کربن، ۰/۵ درصد اکسیژن و ۲/۵ درصد نیتروژن قرار گیرند، مرگ و میر به ۱۰۰ درصد می‌رسد. در تحقیق دیگری Shahab Ghayoor *et al*. (2020) نیز نشان دادند گاز دی اکسید

کربن نتایج کنترلی خوبی روی حشرات کامل سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات *Callosobruchus maculatus* (Fabricius 1775) و شپشه گندم *S. granaries* (L.) بعد از گذشت مدت زمان ۲۴ ساعت دارد. نتایج این تحقیقات با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارند و نشان می‌دهند که دی اکسید کربن می‌تواند به عنوان یک فومیگانت موثر روی بسیاری از آفات انباری مورد استفاده قرار گیرد.

برنامه‌ریزی خطی

طبق برآوردهای حاصل از این تحقیق، هزینه کنترل سوسک توتون با استفاده از قرص فستوکسین (روش رایج مبارزه با آفت) و گاز دی اکسید کربن (بنا بر داده‌های بدست آمده از این تحقیق) برای یک سیلوی ۱۰ هزار تنی محاسبه شدند (جدول ۲).

جدول ۲. کل هزینه مورد نیاز برای نگهداری یک سیلوی ۱۰۰۰۰ تنی در برابر سوسک توتون.

Table 2. Total cost required for maintenance a silo with a capacity of 10,000 tons against *Lasioderma serricorn*e.

Parameter	Average cost (Rial)
Carbon dioxide (10L)	120,000
Worker	5000,000
Silo maintenance	30,000,000
Phosphine tablets	500,000,000
Depreciation	10,000,000

در برآورد هزینه‌ها، حجم‌های مختلف ۲۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد از سیلو از نظر پر بودن از دانه‌های گندم مد نظر قرار گرفتند و کل فضای در دسترس برای گازدهی در حجم‌های مختلف از سیلو برآورد گردید (جدول ۳).

جدول ۳. برآورد فضای خالی کل در سیلو جهت فومیگاسیون گاز دی اکسید کربن (مترمکعب).

Table 3. Total empty space of silo for fumigation of carbon dioxide (m^3).

Volume of silo that filled with seeds	20	40	50	60	80	100
The occupied space by seeds	452.16	904.32	1130.40	1356.48	1808.64	2260.80
Empty space above the silo	1356.48	904.32	678.24	452.16	452.16	0
Empty space between the seeds	174.0816	348.1632	435.204	522.2448	696.3264	870.408
Total empty space for fumigation	1530.5616	1252.4832	1113.444	974.4048	1148.4864	870.408

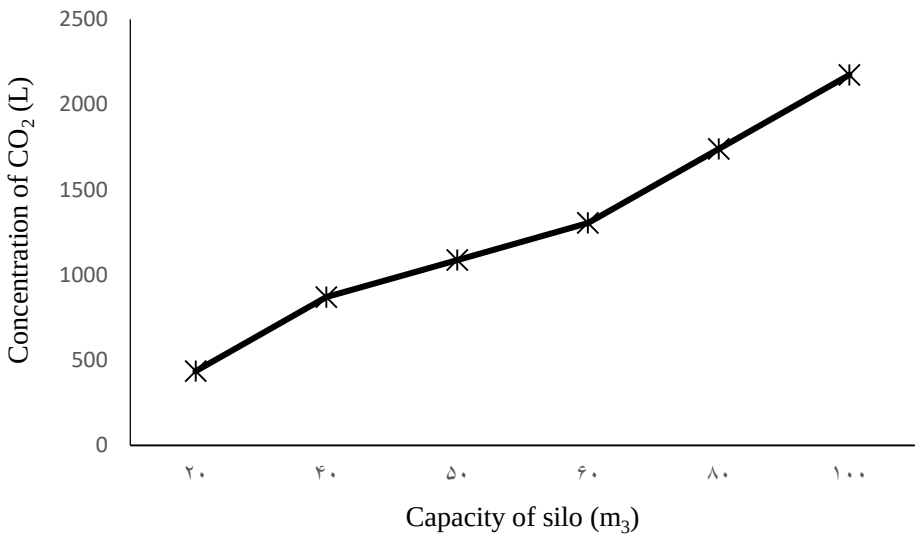
بنابر اطلاعات به دست آمده، مقدار مورد نیاز از گاز دی اکسید کربن و هزینه نگهداری سیلو در برابر سوسک توتون با استفاده از این فومیگانت محاسبه شد (شکل ۴ و ۵).

هزینه برآورد شده گاز دی اکسید کربن مورد نیاز برای کنترل سوسک توتون در حجم‌های مختلف انبار با دیگر هزینه‌های لازم برای نگهداری سیلو که در جداول بالا به آنها اشاره شد، جمع گردید. مقدار کل این هزینه در شکل ۶ نشان داده شده است.

در نهایت هزینه کنترل با استفاده از دو روش قرص فستوکسین و گاز دی اکسید کربن با یکدیگر مقایسه شدند (شکل ۷).

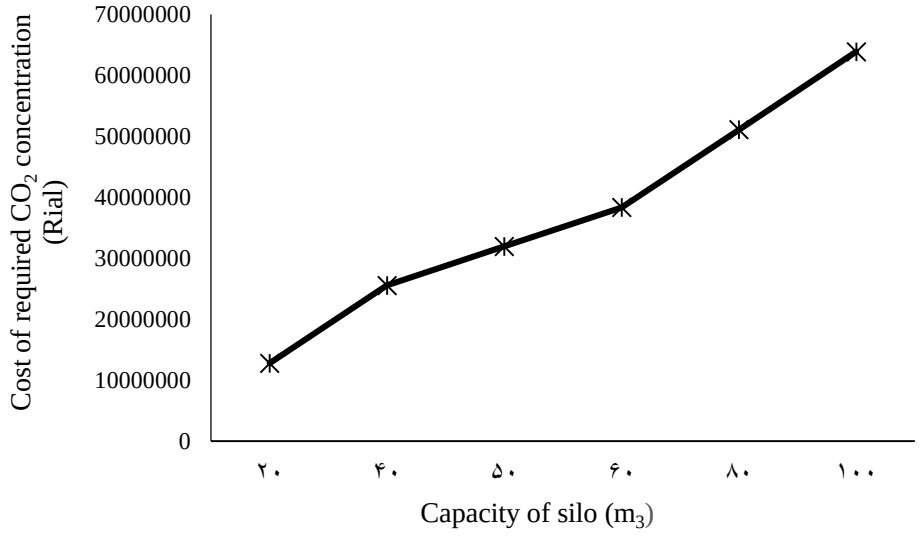
طبق نتایج حاصل، در حجم‌های مختلف انبار هزینه کنترل سوسک توتون با استفاده از گاز دی اکسید کربن بسیار پایین‌تر از هزینه کنترل با استفاده از قرص فستوکسین بود.

نوسانات قیمت محصولات کشاورزی همواره یکی از مسائل اصلی برای تولیدکنندگان و سیاست گذاران این بخش به ویژه در کشورهای در حال توسعه بوده است. در این راستا برآورد قیمت تمام شده می‌تواند نقش مهمی در کنترل ناپایداری قیمت‌ها و کاهش ریسک بازار داشته باشد. وجود اطلاعات تمام شده محصولات کشاورزی برای اتخاذ تصمیم‌گیری ضروری و حیاتی است (Ghaderzadeh *et al*. 2016). کشاورزی پایدار مستلزم وجود نوعی مدیریت است که ضمن بهبود عملکرد، همزمان توازن اکولوژیکی مناسبی را در اکوسیستم کشاورزی برقرار کند (Ruttan 1997). برنامه ریزی خطی یکی از ساده‌ترین راهها برای بهینه‌سازی است و مدل‌های آن خصوصا برای بهینه سازی مصرف آفتکش‌های شیمیایی در کشاورزی مفید می‌باشند (Samadov *et al*. 2019; Eldein & Sobhi 2019). در تحقیقی



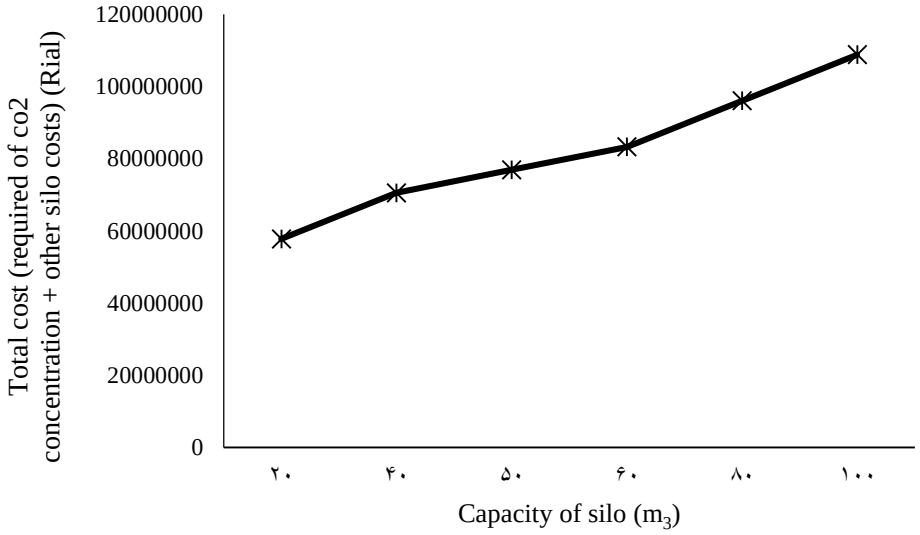
شکل ۴. مقدار مورد نیاز گاز دی اکسید کربن برای کنترل سوسک توتون در حجم‌های مختلف سیلو.

Figure 4. Required concentration of carbon dioxide to control of *Lasioderma serricorne* in different volumes of silo.



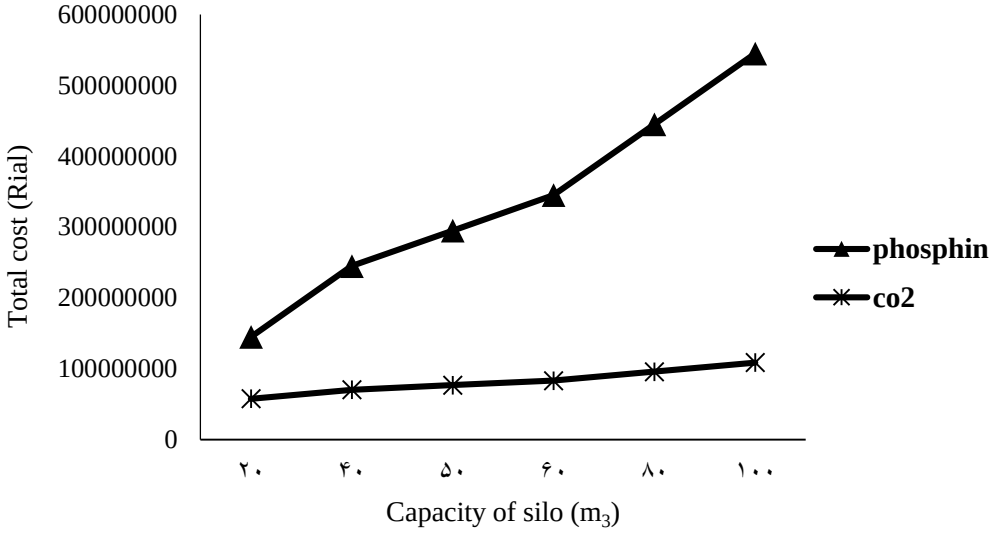
شکل ۵. هزینه غلظت مورد نیاز گاز دی اکسید کربن برای کنترل سوسک توتون در حجم‌های مختلف سیلو.

Figure 5. Cost of required concentration of carbon dioxide to control of *Lasioderma serricorne* in different volumes of silo.



شکل ۶. مجموع هزینه نگهداری سیلو و هزینه مورد نیاز گاز دی اکسید کربن برای کنترل سوسک توتون در حجم های مختلف سیلو.

Figure 6. Sum cost of maintaining the silo and the cost of carbon dioxide for controlling *Lasioderma serricorne* in different volumes of silo.



شکل ۷. هزینه‌های کنترل سوسک توتون با استفاده از گاز دی اکسید کربن و قرص فستوکسین.

Table 7. Total cost to control of *Lasioderma serricorne* by using CO_2 and phosphine tablets.

Yue (2013) با در نظر گرفتن هزینه‌های مختلف، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی به بررسی مناسب‌ترین و کم‌هزینه‌ترین آفت‌کش برای کنترل تریپس غربی گل در گلخانه پرداختند.

همچنین Hassan *et al*. (2005) نیز در تحقیق خود در جهت استفاده بهینه از منابع موجود (آب، زمین، سرمایه کشاورزی) با استفاده از الگوی برنامه ریزی خطی به بررسی مناسب‌ترین الگوی کاشت در پاکستان پرداختند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله نهایت تشکر و قدردانی خود را از مسئولین و پرسنل آزمایشگاه‌های گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه به جهت مساعدت‌های فنی و آزمایشگاهی در انجام این پژوهش ابراز می‌نمایند.

References

Ahmdani MS, 2009. Phytosanitary management of *Trogoderma granarium* Everts with methyl bromide alternatives to ensure food security and safety, PhD Thesis of Arid Agriculture University Rawalpindi, Pakistan, 427 pp.

Bagheri Zonouz E, 1996. Stored Product Pests and Their Control Methods. Sepehr Publication Center. Tehran, Iran, 305 pp. (In Persian).

Bailey SW, 1955. Air-tight storage of grain; its effects on insect pests. I. *Calandra granaria* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Australian Journal of Agricultural Research* 6: 33–51.

Beikpor AR, Shayesteh N, Kazemi MH, Sadeghi R, 2009. Application of carbon dioxide and phosphine for controlling different life stages of *Plodia interpunctella* Hubner. *Agricultural Sciences* 3(9): 89–102 (In Persian with English abstract).

Cao Y, Xu K, Zhu X, Bai Y, Yang W, *et al*., 2019. Role of modified atmosphere in pest control and mechanism of its effect on insects. *Frontiers in Physiology* 10: 206.

Cassanova JL, 2002. An overview of the scientific aspect of ozone depletion and their impact on environment. Proceeding of *International Conference on Alternative to Methyl Bromide*, 5–8 March, Sevilla, Spain. Pp. 23–27.

Eldein SAS, Sobhi N, 2019. Waste reduction by linear programing optimizing. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 610(1): 012079.

Emekci M, 2010. Fumigation modified atmospheres and hermetic storage, 10th *International Working Conference on Stored Product Protection*, Julius-Kühn-Archiv, Pp. 303–313.

Ghaderzadeh H, Ganji S, Ganji A, 2016. Determine the cost and share of cost factors in the production of potatoes (Case study: Gorveh and Dehgolan plain). In Proceedings of *1 th International Conference on Economic Planning, Sustainable and Balanced Regional Development, Approaches and Applications*, 13–14 May, University of Kurdistan (In Persian with English abstract).

Gilberg M, 1989. Inert atmosphere fumigation of museum objects. *Studies in Conservation* 34: 128–148.

Gisi U, 1996. Synergistic interaction of fungicides in mixtures. *Phytopathological* 86(11): 1273–1279.

Hassan I, Muhammad AR, Khan AI, Ilahi R, 2005. Use of linear programming model to determine the optimum cropping patter, production and income level: a case study from dera ghazi khan division. *Journal of Agricultural and Social Science* 1(1):32–34.

Husain M, Rasool KG, Tufail M, Alhamdan AM, Mehmood, K, *et al*., 2015. Comparative efficacy of CO2 and ozone gases against *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae under different temperature regimes. *Journal of Insect Science* 15: 126.

Jay EG, Cuff W, 1981. Weight loss and mortality of three life stages of *Tribolium castaneum* (Herbst) when exposed to four modified atmospheres. *Journal of Stored Products Research* 17(3): 117–124

Khan MA, 2014. Transportation cost optimization using linear programming. *Proceedings International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering*, 26–27 December, ICMIEE. Pp. 2241–2245.

Li C, Li Z, Zhou B, Zheng XW, Cao Y, 2007. Effect of carbondioxide enriched atmosphere on the activity of acetylcholinesterase in adults of *Stegobium paniceum* and *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). *Journal of Plant Protection* 34: 642–646.

Lindgren DL, Vincent LE, 1970. Effect of atmospheric gases alone or in combination on the mortality of granary and rice weevils. *Journal of Economic Entomology* 63(1970): 1926–1929.

Marouf A, Shayesteh N, Rostam Kolaii SE, 2009. Assessment of the efficacy of current recommendations for fumigation with Phosphine to control *Lasioderma serricorne* F. (Col., Anobiidae) in tobacco storages. *Journal of Entomological Research* 1(3): 249–259.

Mediouni-Ben Jemâa J, Tersim N, Khouja ML, 2011. Composition and repellent efficacy of essential oil from Laurus nobilis against adults of the cigarette beetle *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). *Tunisian Journal of Plant Protection* 6: 29–41.

Navarro S, 1986. Gaseous fumigant mixtures with special reference to mixture of carbon dioxide with phosphine or methyl bromide. *Proceedings of GASGA Seminar on Fumigation Technology in Developing Countries*, 18–21 March, Berkshire, England. Pp. 150–158.

Navarro S, 2012. The use of modified and controlled atmospheres for the disinfestation of stored products. *Journal of Pest Science* 85(3): 301–322.

Nicolas G, Sillans D, 1989. Immediate and latent effects of carbon dioxide on insects. *Annual Review of Entomology* 34: 97–116.

Oppert C, Klingeman WE, Willis JD, Oppert B, Jurat-Fuentes JL, 2010. Prospecting for cellulolytic activity in insect digestive fluids. *Comparative Biochemistry and Physiology B* 155: 145–154.

Ruttan VW, 1988. Sustainability is not enough. *American Journal of Alternative Agriculture* 3: 128-130.

Rajendran S, Muralidharan N, 2001. Performance of phosphine in fumigation of bagged paddy rice in indoor and outdoor stores. *Journal of Stored Products Research* 37(4): 351–358.

Ruttan VW, 1997. Alternative agriculture “Sustainability is not enough. *Agriculture Science and Technology* 130–134

Sadeghi R, Jamshidnia A, 2014. Effects of nitrogen and carbon dioxide mixtures on the mortality of five stored-product insects. *Romanian Journal of Plant Protection 7*: 56–64.

Sajjadian SM, Hosseininaveh V, Vatanparast M, 2012. Cellulase activity in the larval digestive tract of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) and the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). *Journal of Crop Protection* 1(3): 201–210.

Samadov VS, Yusubaliyev YK, Jafarova SF, Isgandarova TH, Asilbayova TM, et al., 2019. Application of linear programming methods to integrated pest management in Walnut plantations of Azerbaijan. *Sylwan Journal* 163: 129–135.

Sauer JA, Shelton MD, 2002. High-temperature controlled atmosphere for post-harvest control of indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) on preserved flowers. *Journal of Economic Entomology* 95: 1074–1078.

Sepasgozarian H, 1978. Stored Pests of Iran and Their Control. Tehran University Press, Tehran, Iran. 288 pp. (in Persian).

Sekhon RK, Schilling MW, Phillips TW, Aikins RMJ, Hasan MM, *et al*., 2010. Effects of carbon dioxide and ozone treatments on the volatile composition and sensory quality of dry-cured ham. *Journal of Food Science* 75: 452–458.

Shahab Ghayoor H, Valizadegan O, Aramideh S, 2020. Fumigant effect of carbon dioxide and ammonia gases on adults of *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus granarius*. *Journal of Applied Research in Plant Protection 9*(3): 77–86.

Sujeetha AR, Meenatchi R, Venkatesan P, Brimapureeswaran R, 2015. Nitrogen based modified atmosphere for the management of Cigarette beetle, Lasioderma sericorne. *International Journal for Science and Advance Research in Technology* 1(11): 84–87.

Yue X, 2013. A linear programming model and partial budget analysis to optimize management strategies of western flower thrips in greenhouse impatiens production. MSc Thesis, Agricultural Economics and Agribusiness, Louisiana State University.

Zhou S, Criddle RS, Mitcham EJ, 2001. Metabolic response of *Platynota stultana* pupae during and after extended exposure to elevated CO_2 and reduced O_2 atmospheres. *Journal of Insect Physiology* 47:401–409.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)