Plant Prod., 2022, 45(3), 347-359
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2022.40213.2016
Received: 18 April 2022
Accepted: 17 September 2022

Plant Productions
Research Article

Risk Assessment of Gas Pollutants on Seed Germination of Canola by Grey Theory and Image Analysis

Fatemeh Afsharnia[1], Seyed Amir Moosavi [2]*

1- Department of Agricultural Machinery engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

Citation: Afsharnia, F., & Moosavi, S. A. (2022). Risk assessment of gas pollutants on seed germination of Canola by Grey theory and image analysis. *Plant Productions,* 45(3), 347-359.

Abstract

Introduction

From an agricultural point of view, seeds are the starting point of all activities that lead to crop production. Today, agricultural machinery is one of the most important sources of environmental pollutants in mechanized farms and pollution caused by them can disrupt the germination process and plant growth. Therefore, in addition to a variety of environmental challenges, such as salinity and drought stress, contamination from agricultural machinery can also be added to germination and seedling growth as a threat.

Materials and Methods

Based on the gray correlation coefficient between the comparison series and the standard series, a relative series can be created. If γ (x_0, x_i) ≥γ (x_0, x_j), which indicates the degree of correlation between x_i and x_0, is greater than x_j and x_0; In this case, the relationship between potential causes and the optimal amounts of decision factors is shown. In the sense that a larger degree of connection has a smaller effect. Therefore, increasing the degree of prioritization of risk indicates the potential reasons that need to be improved. To analyze the risk of gaseous pollutants leaving the tractor exhaust, the treatment with the lowest gray correlation coefficient should show the highest risk priority. So that the highest degree of gray connection determines the best state of seed treatment. The aim of this study was to investigate the effect of pollutants from tractor exhaust in three different initial life, useful life and burn on canola seed germination. This factorial experiment was performed based on a completely randomized design with three replications. Experimental treatments include three different tractor life periods including

* **Corresponding Author:** Seyed Amir Moosavi
E-mail: amirmoosavi@asnrukh.ac.ir

© 2022 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

initial life, useful life and wear as the first factor, and treatment for the duration of seeds exposed to tractor exhaust pollution including zero, 30, 60, 90, and 120 minutes as the factor. The second was considered.

Results and Discussion

The results showed that the highest values of root and stem length, germination rate coefficient, germination index, germination rate index and canola seed vigor were obtained from the absence of exhaust pollution; while the lowest amount of these traits was related to the treatment of exposure to contamination for 120 minutes and worn tractor. Conversely, the amount of seed protein and the activity of antioxidant enzymes catalase and peroxidase increased with increasing tractor wear and duration of contamination. Calculations based on gray theory showed that the treatment with a lower rank is the preferred treatment and has a lower risk according to all growth indices considered for rapeseed. In this study, zero time for different tractor lives without treatment, the risk was identified. Therefore, it is likely that increasing the exposure time to the tractor exhaust contaminant will gradually reduce the seed tolerance and poisoning threshold.

Conclusion

Gray's theory has shown that the duration of exposure is more important than the amount of contamination. The severity of exposure also varied depending on the degree of infection. Rapeseed seeds were more sensitive to contaminants from worn-out tractors than new tractors. The sensitivity of these seeds doubles the need to replace worn-out machines, service and repair tractors in a timely manner, use clean fuel, and use new or serviceable tractors.

Keywords: Pollution, Seed, Tractor

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۱، ۴۵(۳)، ۳۵۹-۳۴۷
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2022.40213.2016
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۶

تولیدات گیاهی

مقاله پژوهشی

تعیین خطر آلاینده‌های گازی بر جوانه‌زنی بذر کلزا با استفاده از تئوری خاکستری و تحلیل تصویر

فاطمه افشارنیا[۱]، سیّد امیر موسوی[۲]*

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

چکیده

بذر از دیدگاه کشاورزی نقطه آغاز تمامی فعالیت‌های منجر به تولید محصول است. امروزه ماشین‌های کشاورزی از جمله مهم‌ترین منشأ تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی در مزارع مکانیزه می‌باشند و آلودگی ناشی از آن‌ها می‌تواند سبب اختلال در فرآیند جوانه‌زنی و رشد گیاهان گردد. بنابراین علاوه بر انواع چالش‌های محیطی، مانند تنش‌های شوری و خشکی، آلودگی‌های حاصل از ماشین‌های کشاورزی نیز می‌تواند به جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به‌عنوان یک تهدید اضافه شود. رویکرد تئوری خاکستری به عنوان یکی از تئوری‌های جدید ریاضی برگرفته از مجموعه خاکستری جهت اولویت‌بندی خطرها بکار می‌رود و هدف آن حل مسئله، اولیت‌بندی و کمک به تصمیم‌گیری است. مطالعه حاضر در سال ۱۳۹۸ با هدف بررسی اثر آلاینده‌های ناشی از اگزوز تراکتور در سه عمر مختلف اولیه، عمر مفید و فرسودگی بر جوانه‌زنی بذر کلزا در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا گردید. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش، شامل سه دوره عمر مختلف تراکتور شامل عمر اولیه، عمر مفید و فرسودگی به عنوان عامل اوّل، و تیمار مدّت زمان‌های قرار گرفتن بذرها در معرض آلودگی خروجی از اگزوز تراکتور شامل صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه به عنوان عامل دوّم در نظر گرفته شد. اگر $\gamma(x_0,x_j)\geq\gamma(x_0,x_i)$ که نشان‌دهنده درجه ارتباط بین x_i و x_0 می‌باشد، بزرگ‌تر از x_j و x_0 باشد؛ در این صورت، ارتباط بین علل بالقوه و مقادیر بهینه فاکتورهای تصمیم را نشان می‌دهد. با این مفهوم که درجه ارتباط بزرگ‌تر اثر کوچک‌تری دارد. بنابراین، افزایش رتبه درجه ارتباط اولویت خطر دلایل بالقوه را نشان می‌دهد که بایستی بهبود یابند. برای آنالیز خطر آلاینده‌های گازی خروجی از اگزوز تراکتور، تیمار با کمترین ضریب ارتباط خاکستری، بایستی بالاترین اولویت خطر را نشان دهد. به طوری که بیشترین درجه ارتباط خاکستری، بهترین حالت تیمار بذر را مشخص می‌کند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر کلزا از تیمار عدم وجود آلودگی ناشی از اگزوز بدست آمد؛ در حالی که کمترین میزان این صفات مربوط به تیمار قرار گیری در معرض آلودگی به مدت ۱۲۰ دقیقه و تراکتور فرسوده بود. برعکس، میزان پروتئین بذر و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پرکسیداز با افزایش فرسودگی تراکتور و مدت زمان قرار گرفتن در آلودگی افزایش نشان داد. محاسبات انجام شده بر اساس تئوری خاکستری نشان داد که تیمار با رتبه کمتر، تیمار مورد ترجیح و دارای خطر کمتر با توجه به تمامی

* **نویسنده مسئول:** سیّد امیر موسوی
رایانامه: amirmoosavi@asnrukh.ac.ir

© 2022 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

شاخص‌های رشد در نظر گرفته شده برای بذر کلزا می‌باشد که در این مطالعه، مدت زمان صفر برای عمرهای مختلف تراکتور تیمار بدون خطر شناخته شد. بنابراین احتمال می‌رود که افزایش زمان در معرض‌گیری با آلاینده اگزوز تراکتور به تدریج موجب کاهش آستانه تحمل بذر و مسمومیت آن گردد. تئوری خاکستری مشخص ساخت که مدت زمان قرار گرفتن در معرض آلودگی از میزان آلودگی مهم‌تر است. شدت تأثیرپذیری بسته به میزان آلودگی نیز متفاوت بود. حساسیت بذر کلزا به آلاینده‌های ناشی از تراکتور فرسوده بیشتر از تراکتور نو بود. حساسیت این بذرها لزوم تعویض ماشین‌های فرسوده، سرویس و تعمیر به موقع تراکتورها، استفاده از سوخت پاک و بکارگیری تراکتورهای نو یا با دوره عمر مفید را دو چندان می‌کند.

کلیدواژه‌ها: آلودگی، بذر، تراکتور

مقدمه

استفاده بیش از اندازه از سوخت‌های فسیلی یکی از علّت‌های اصلی افزایش آلودگی‌های محیطی است (Perera, 2017). در این میان جای خالی مطالعاتی که بتوانند خطر اثرات نامطلوب زیست‌محیطی سوخت‌های فسیلی را در مقیاس‌های مختلف بررسی نمایند به شدت احساس می‌شود. رویکرد تئوری خاکستری به عنوان یکی از تئوری‌های جدید ریاضی برگرفته از مجموعه خاکستری جهت اولویت‌بندی خطرها بکار می‌رود (Amiri & Nasirzadeh, 2010). اساس این روش مبتنی بر روش مقایسه با حل بهینه است. در این روش، ابتدا یک راه‌حل مطلوب از پارامترها تعیین می‌شود و پس از تعیین مقادیر واقعی آنها و مقایسه با مقادیر مطلوب متناظرشان، راه‌حلی که فاصله بیشتری با مقادیر مطلوب داشته باشد در اولویت قرار می‌گیرد. در الگوریتم تحلیل رابطه خاکستری که هدف آن حل مسائل نامشخص و مبهم است، ابتدا داده‌ها نرمال می‌شوند و سپس ضرایب رابطه خاکستری و رتبه آن محاسبه می‌شود و با استفاده از آن، ترکیب بهینه مشخص می‌شود (Shafei Nikabadi et al., 2016).

امروزه تراکتور به عنوان مهم‌ترین منبع تولید توان در کشاورزی مکانیزه، افزایش چشمگیری داشته است (Afsharnia et al., 2013). متأسفانه، با حرکت هر چه بیشتر کشاورزی به سمت مکانیزه شدن، با افزایش ماشین‌ها و تراکتورها در مزارع و درنتیجه افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، آلودگی‌های ناشی از آن نیز شدت می‌یابد. بر اساس یافته‌های لیجسکی و مرکیسز (Lijewski et al., 2013) مقادیر دی‌اکسیدکربن، مونوکسیدکربن، اکسید نیتروژن و هیدوکربن‌ها در تراکتورهای کشاورزی به‌ترتیب ۸۵٪، ۹۷٪، ۹۰٪ و ۶۲٪ بیشتر از خودروها می‌باشد. اکثر تراکتورها بدلیل احتراق ناقص، فرسودگی و عدم سرویس به موقع دود سیاهی را ایجاد می‌کنند (Shafiq & Iqbal, 2012) که می‌تواند شامل ذرات کربن، هیدروکربن‌های سوخته و نیم‌سوز، ترکیبات سرب و دیگر عناصر ناشی از سوخت نیز باشد که روی سطح بذور و گیاهان در مزرعه رسوب می‌کند. این آلاینده‌ها اثر بازدارنده و مخربی بر قابلیت جوانه‌زنی بذور دارند (Mahmood & Iqbal, 1989; Qadir & Iqbal, 1991; Türkan, 1988). امروزه، تکنولوژی‌های جدید با هدف کاهش انتشار گازهای خروجی اگزوز به عنوان یک تهدید جدی برای اتمسفر، در مزارع، افزایش حاصلخیزی خاک، تحریک فعالیت‌های میکروبی خاک و کاهش هزینه‌های گزاف کود، دود اگزوز تراکتور را به خاک تزریق می‌کنند و حتی در کارنده‌های نیوماتیک از فشار حاصل از دود اگزوز تراکتور که دمای آن را با خنک‌کننده کاهش می‌دهند، برای کاشت بذر استفاده می‌کنند. بنابراین بذرها نه تنها در زمان کاشت با کارنده نیوماتیک مجهز به bio-active emissions technology، بلکه در زمان کوددهی که بوسیله تزریق دود تراکتور در خاک انجام می‌شود، به شدت در معرض دود تراکتور قرار می‌گیرند (Khan et al., 2017). علاوه بر این، استفاده از تراکتور در زمان داشت و خصوصاً زمان رسیدگی محصول در مزرعه می‌تواند بذرهای رسیده را در معرض آلایندگی قرار دهد. با توجه به کوچک بودن مزارع، حتی اگر تراکتور در مزارع مجاور خصوصاً اگر برای شخم زمین استفاده شود که به دلیل تحت بار قرار گرفتن موتور، تراکتور به شدت دود می‌کند، بکار برده شود؛ آلودگی ناشی از دود و انتشار آن در هوا موجب نشست و رسوب دود در محصول رسیده مزارع اطراف خواهد شد.از میان گیاهان زراعی، امروزه روند تقاضا برای دانه‌های روغنی، با توجه به جایگاه ویژه آن‌ها به عنوان منبع تأمین روغن مورد نیاز برای مصرف خوراکی انسان و هم‌چنین ایجاد مشاغل و صنایع جانبی روز به روز در حال افزایش است. گیاهان خانواده *Brassica spp.* از جمله کلزا (*Brassiva napus* L.) از گیاهان روغنی مهم و استراتژیک محسوب می‌شوند (Ahmadi et al., 2021; Rahimi et al., 2012). کاشت، داشت و برداشت کلزا در ایران به صورت مکانیزه و با استفاده از تراکتورها با عمرهای مختلف انجام می‌پذیرد و در نتیجه رفت و آمد ماشین‌های مختلف به زمین نیز

به دفعات صورت می‌پذیرد. در این مطالعه، برای اولین بار استفاده از تئوری خاکستری و ترکیب آن با آنالیز واریانس به عنوان رویکردی نوین از ریاضیات نااطمینانی بدون نیاز به تابع عضویت و بر اساس محدوده اطلاعات در دسترس، جهت ارزیابی خطر حاصل از اعمال آلاینده‌های اگزوز و رتبه‌بندی تیمارها معرفی گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر آلاینده‌های دود اگزوز تراکتور بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کلزا رقم هایولا ۵۰، آزمایش فاکتوریلی بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. در این آزمایش بذرها توسط دود حاصل از اگزوز تراکتور نیوهلند با سه عمر اولیه، مفید و فرسودگی که تحت نگهداری و تعمیرات اصلاحی (Corrective Maintenance) بود، در یک جعبه جمع‌آوری دود با حجم ۳/۷ لیتر که بذرها نیز در آن قرار داشتند، تیمار شدند. آلاینده‌های دود اگزوز با استفاده از دستگاه سنجشگر آلاینده دودکش مدل Testo 350 اندازه‌گیری شد (جدول ۱). قوه نامیه بذرهای کلزا قبل از شروع آزمایش بر اساس دستورالعمل استاندارد موسسه بین المللی آزمون بذر (Association, 2017) تعیین گردید. قبل از شروع آزمایش پتری‌ها با استفاده از الکل ضدعفونی شدند. برای تیمار هر بذر توسط دود تراکتور، تعداد سه پتری که هر کدام حاوی ۲۵ بذر بودند، در نظر گرفته شد. پتری‌ها هر کدام توسط غلظت برابر از دود اگزوز تراکتور به مدت زمان صفر ،۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه تیمار شدند. در این آزمایش تیمارهای آزمایشی شامل عامل اوّل عمر تراکتور (عمر اولیه، مفید و فرسودگی) و عامل دوّم مدت زمان در معرض دود اگزوز تراکتور قرار گرفتن (صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه) بودند. آزمایش در ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه سلسیوس انجام شد. جوانه‌زنی به روش روی کاغذ در پتری‌های شیشه‌ای با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ بررسی شد (Association, 2017). به منظور محاسبه درصد جوانه‌زنی نهایی، ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی (Kader, 2005) و بنیه بذر، شمارش بذرهای جوانه‌زده ۲۴ ساعت پس از شروع آزمایش آغاز و هر روز در همان ساعت معین انجام گرفت. بذرهایی که طول ریشه‌چه آن‌ها ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود، جوانه‌زده در نظر گرفته شدند. شاخص‌های جوانه‌زنی بذر به شرح زیر با استفاده از روابط (۱)، (۲)، (۳)، (۴)، (۵) و (۶) محاسبه شدند:

(۱) درصد جوانه‌زنی = (تعداد کل بذور/تعداد بذرهای جوانه‌زده) ×۱۰۰ نهایی

(۲) ضریب سرعت جوانه‌زنی = $N_1+ N_{2+}.+ N_x/100\times N_1T_1+N_2T_2+...+N_xT_x$

(۳) شاخص سرعت جوانه‌زنی = $G_1/1 + G_2/2+...+G_x/x$

(۴) شاخص جوانه‌زنی = $(10\times n_1) + (9\times n_2)+...+(1\times n_{10})$

(۵) شاخص طولی بنیه گیاهچه = طول گیاهچه×قابلیت جوانه‌زنی

(۶) کل تعداد بذرهای جوانه‌زده / تعداد روز x × تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز x = متوسط زمان جوانه‌زنی

در این روابط، N_x تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز xام، G_x درصد جوانه‌زنی ×۱۰۰ در xامین روز پس از کشت، n_1-n_{10} تعداد بذرهای جوانه زده از روز اول تا دهم می‌باشند.

در پایان روز سوّم، ۵ گیاهچه به‌طور تصادفی از هر پتری انتخاب شد و طول ریشه‌چه با استفاده از تکنیک پردازش تصویر دیجیتال اندازه‌گیری شد. تصویر تهیه شده از هر گیاهچه به کامپیوتر منتقل و پردازش مورد نیاز بر روی آن‌ها در نرم‌افزار MATLAB R2018b انجام پذیرفت. مراحل پردازش شامل فیلترسازی، استخراج عکس باینری، حذف نویز، حذف حفره و درنهایت استخراج طول ریشه‌چه بود (شکل ۲).

فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT, EC. 1.11.1.6) به روش Aebi در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش حاوی بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=7) به میزان ۲۵۰ میکرو لیتر، آب‌اکسیژنه ۷۰ میلی‌مولار محلول در فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار به میزان ۲۵۰ میکرو لیتر، آب مقطر استریل به میزان ۵۰۰ میکرو لیتر و عصاره آنزیمی به میزان ۳۰ میکرو لیتر بود. از مخلوط واکنش بدون عصاره آنزیمی به عنوان شاهد اسپکتروفتومتر استفاده شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX, EC 1.11.1.7) به روش Hemeda & Klein (1990) در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=7) به میزان ۲۵۰ میکرولیتر، گایاکول (Guaiacol) ۱۰ میلی‌مولار محلول در آب دو بار تقطیر به میزان ۲۵۰ میکرولیتر، H_2O_2 ۷۰ میلی‌مولار محلول در فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=7) به میزان ۳۴ میکرولیتر، آب دو بار تقطیر استریل شده به میزان ۴۶۷ میکرولیتر و عصاره آنزیمی به میزان ۲۰ میکرولیتر بود. فعالیت ویژه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به ازای واحد در میلی‌گرم پروتئین گزارش شد. برای اندازه گیری میزان پروتئین ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده توسط ازت مایع را برداشته و سپس ۳ میلی لیتر بافر استخراج به آن اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ۲۱ دقیقه با سرعت ۱۱۵۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ سلسیوس سانتریفیوژ شد. سپس قسمت بالایی عصاره را جدا کرده و مجدداً به مدت ۲۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از انجام این مرحله ۵ میلی لیتر از محلول برادفورد و ۲۹۰ میکرولیتر از بافر استخراج را با همدیگر مخلوط کرده و در ادامه ۱۰ میکرولیتر از عصاره‌های تهیه شده به آن‌ها اضافه شد. محلول حاصل توسط ورتکس خوب هم زده شد و سپس جهت تعیین میزان جذب در اسپکتروفتومتر با طول موج

۵۹۰ نانومتر قرار داده شد(Bradford, 1976). از میزان پروتئین برای سنجش فعالیت آنزیم در میزان پروتئین استفاده شد.

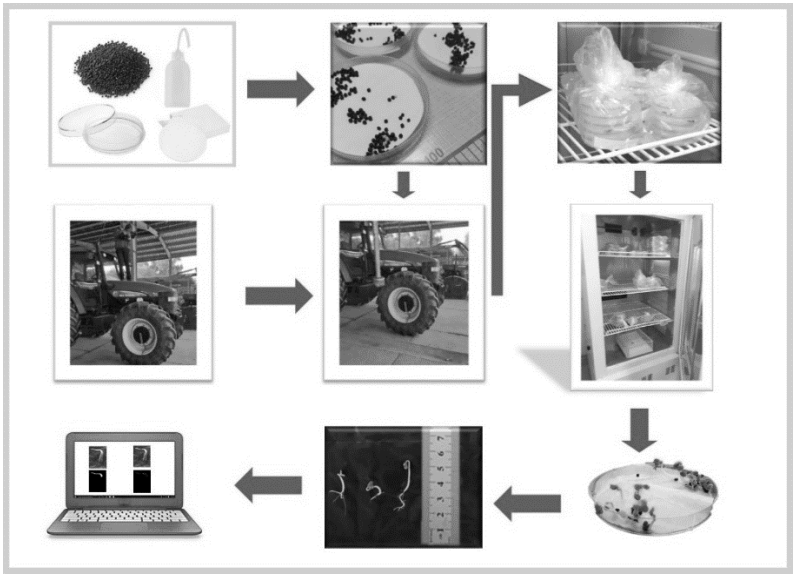


Figure 1. Schematic representation of custom-made container to collect exhaust emission

Table 1. Composition of diesel exhaust gases and air ambient

Gas	Unit	Value			
		Tractor exhaust			Ambient Air
		Infant Mortality life	Useful life	Wear out life	
O_2	%	17.82	18.26	18.45	20
CO_2	%	1.89	2.01	2.34	0.72
CO	mg/m^3	1233 (0.107%)	2253 (0.196%)*	2921 (0.255%)	18.32
NO	mg/m^3	1260.8	2110.7	2218.5	-
NO_2	mg/m^3	800.1	859.8	1621.2	0.028
NO_x	mg/m^3	2788.7	4194.1	4850.3	-
H_2S	mg/m^3	14	111	112	-
SO_2	mg/m^3	2.9	1651	2101	0.057
H_2	ppm	15	16	26	-
E-air	%	77.5	78.8	79.7	-
Eff g	%	73.3	74.4	75.3	-
PM10	$\mu g/m^3$	-	-	-	88
PM2.5	$\mu g/m^3$	-	-	-	134
Ta	ºC	29.2	28.3	31.3	28.3
Tg	ºC	105.2	115.4	102.3	-

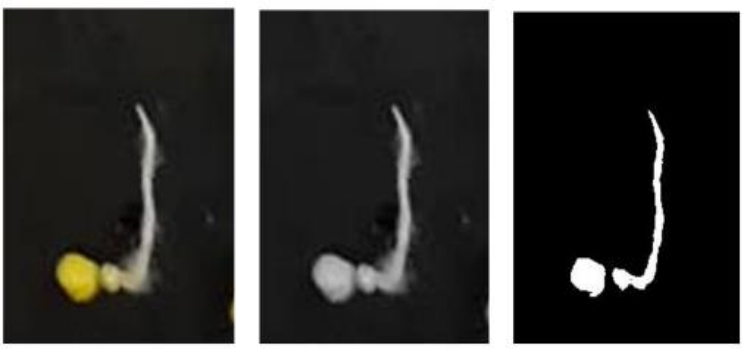


Figure 2. Seedling growth measurements using digital image processing

تئوری خاکستری

تئوری خاکستری، به منظور اولویت‌بندی خطرها به کار می‌رود (Zhou et al., 2016). اساس این روش مبتنی بر روش مقایسه با حل بهینه است. در این روش، ابتدا یک راه حل مطلوب از پارامترها تعیین می‌شود و پس از تعیین مقادیر واقعی کلیه پارامترها و مقایسه با مقادیر مطلوب متناظرشان، راه‌حلی که فاصله بیشتری با مقادیر مطلوب داشته باشد، در اولویت قرار می‌گیرد.

محاسبه ضرایب ارتباط خاکستری

$X = \{x_i | i \in I, i = 0, 1, 2, \dots, m\}$، $x_i, y_i \in X, \gamma(x_i, y_i)$ مقادیر ضریب خاکستری بین x_i و y_i می‌باشند. اگر $\Delta_{0j}(k)$ اختلاف بین $x_0(k)$ و $x_j(k)$ باشد و x_j سری‌های مقایسه‌ای باشند، ضریب ارتباط خاکستری به صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$\gamma\left(x_0(k), x_i(k)\right) = [x(\min) + \zeta x(\max)]/[\Delta_{0i}(k) + \zeta x(\max)] \quad (۷)$$

دراینجا:

$$x(\min) = min_i min_k \Delta_{0i}(k) \quad (۸)$$

$$x(\max) = max_i max_k \Delta_{0i}(k) \quad (۹)$$

$\zeta \epsilon [0, 1]$ یک تعیین‌کننده است که مطابق با اصول حداقل اطلاعات برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (۳۹).

$$\Delta_{0i}(k) = x_0(k) - x_i(k) \quad (۱۰)$$

تعیین درجه ارتباط

درجه ارتباط برابر با مقدار ضریب ارتباط خاکستری یا $\gamma\left(x_0(k), x_i(k)\right)$ خواهد بود اگر $k = 1, 2, \dots, n$ باشد.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} \gamma(x_0(k), x_i(k)) \quad (۱۱)$$

برای محاسبه درجه نسبی خاکستری (GRG):

$$\gamma(x_0, x_i) = \gamma\left(x_0(Root), x_i(Root)\right) + \gamma\left(x_0(Shoot), x_i(Shoot)\right) + \gamma\left(x_0(Vigor), x_i(Vigor)\right) + \gamma\left(x_0(CVG), x_i(CVG)\right) + \gamma\left(x_0(GI), x_i(GI)\right) + \gamma\left(x_0(GRI), x_i(GRI)\right) + \gamma\left(x_0(Pr), x_i(Pr)\right) + \gamma\left(x_0(CAT), x_i(CAT)\right) + \gamma\left(x_0(POX), x_i(POX)\right)$$

(۱۲)

بر اساس ضریب ارتباط خاکستری بین سری‌های مقایسه‌ای و سری‌های استاندارد، یک سری نسبی می‌تواند ایجاد شود. اگر $\gamma(x_0, x_i) \geq \gamma\left(x_0, x_j\right)$ که نشان‌دهنده درجه ارتباط بین x_i و x_0 می‌باشد، بزرگ‌تر از x_j و x_0 باشد؛ در این صورت، ارتباط بین علل بالقوه و مقادیر بهینه فاکتورهای تصمیم را نشان می‌دهد. با این مفهوم که درجه ارتباط بزرگ‌تر اثر کوچک‌تری دارد. بنابراین، افزایش رتبه درجه ارتباط اولویت خطر دلایل بالقوه را نشان می‌دهد که بایستی بهبود یابند. برای آنالیز خطر آلاینده‌های گازی خروجی از اگزوز تراکتور، تیمار با کمترین ضریب ارتباط خاکستری، بایستی بالاترین اولویت خطر را نشان دهد. به‌طوری که بیشترین درجه ارتباط خاکستری، بهترین حالت تیمار بذر را مشخص می‌کند.

پس از شناخت حالت بهینه، مرحله بعد انجام آنالیز واریانس (ANOVA) جهت تشخیص پارامترهای مؤثر چندپاسخی است. از آنجایی که اثر هر پارامتر بر حالت چندپاسخی نمی‌تواند بوسیله روش تاگوچی مشخص شود، آنالیز واریانس جهت یافتن میزان تأثیر هر پارامتر بکار گرفته شد.

در این روش، جهت رده‌بندی تیمارها بر حسب فاکتورهای آن‌ها شامل طول ساقه، طول ریشه، بنیه بذر، ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، درصد پروتئین، کاتالاز و پروکسیداز که از نظر خبرگان و متخصصان بذر ثبت شده، استفاده شد. بر اساس نظرات خبرگان برای طول ساقه، طول ریشه، بنیه بذر، ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، درصد پروتئین، کاتالاز و پروکسیداز به ترتیب وزن ۰/۱، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۱، ۰/۱، ۰/۱۷۵، ۰/۱، ۰/۰۷۵ و ۰/۰۵ داده شد. با توجه به این اطلاعات، ضریب تئوری خاکستری برای تیمارهای مختلف برآورد و محاسبه شد.

نتایج مربوط به مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده (بنیه بذر، ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه) به منظور بررسی اثر فرسودگی تراکتور و مدّت زمان در معرض بودن با آلاینده‌های ناشی از دود اگزوز بر صفات در شکل ۳ ارائه شده است. مقایسه میانگین‌های اثر سطوح مختلف زمانی تیمار بذر توسط دود اگزوز تراکتورهای مختلف در شکل ۳ نشان داد که بنیه بذر کلزا، کمترین مقدار خود را در تیمار آلودگی به مدت زمان ۱۲۰ دقیقه در تراکتور فرسوده ایجاد کرد. هم‌چنین بیشترین مقدار این صفت (۱۴۸۲۹) به تیمار شاهد تعلق داشت (شکل ۳). اثر متقابل نوع تراکتور و مدت زمان مربوط به صفت بنیه بذر و طول ریشه‌چه نشان داد که در گیاه کلزا، مدت زمان صفر با تمام سطوح زمانی ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ تفاوت معنی‌داری داشت. بیشترین طول ریشه‌چه (۱۲۰/۴۱ میلی‌متر) مربوط به مدت زمان صفر می‌باشد؛ کمترین مقادیر برای هر دو صفت مربوط به مدت زمان ۱۲۰ دقیقه بود. نتایج صفت شاخص سرعت جوانه‌زنی حاکی از آن بود که در گیاه کلزا، مدت زمان صفر

(شاهد) با تمام سطوح زمانی تفاوت معنی‌دار داشت. بیشترین مقادیر برای گیاه کلزا (۶۱/۱۶)، مربوط به مدت زمان صفر می‌باشد؛ در صورتی که کمترین مقدار (۲۷/۲۷) مربوط به مدت زمان ۱۲۰ دقیقه و تراکتور فرسوده بود (شکل ۳). بیشترین و کمترین مقدار در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه به‌ترتیب در تراکتور با عمر اولیه (۴۶/۲۷) و تراکتور فرسوده (۲۷/۲۷) مشاهده گردید. بیشترین مقدار صفت شاخص جوانه‌زنی در هر سه عمر تراکتور مربوط به مدت زمان صفر بود و رفته رفته با افزایش مدت زمان در معرض قرار گرفتن با دود تراکتور، این مقدار کاهش یافت تا به مقدار ۴۲۳/۶۶ در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه در معرض با دود اگزوز تراکتور فرسوده رسید. سرعت جوانه‌زنی در تیمار ۶۰ دقیقه به ترتیب برابر ۵۴/۴، ۵۰/۷۷ و ۴۴/۶۹ درصد در روز برای تراکتور با عمر اولیه، مفید و فرسوده محاسبه شد. نتایج صفت ضریب سرعت جوانه‌زنی حاکی از آن بود که مدت زمان صفر (شاهد) با تمام سطوح زمانی تفاوت معنی‌دار داشت. بیشترین مقدار ضریب سرعت جوانه‌زنی برای گیاه کلزا برابر ۵۹/۲۶ بود که مربوط به مدت زمان صفر می‌باشد؛ در صورتی که کمترین مقدار مربوط به مدت زمان ۱۲۰ دقیقه بود. بررسی صفت متوسط زمان جوانه‌زنی نشان داد که در هر سه نوع تراکتور، مدت زمان صفر (شاهد) با تمام سطوح زمانی تفاوت معنی‌دار داشت. بیشترین مقادیر مربوط به مدت زمان ۱۲۰ دقیقه بود؛ در صورتی که کمترین مقدار مربوط به مدت زمان صفر بود (شکل ۳).

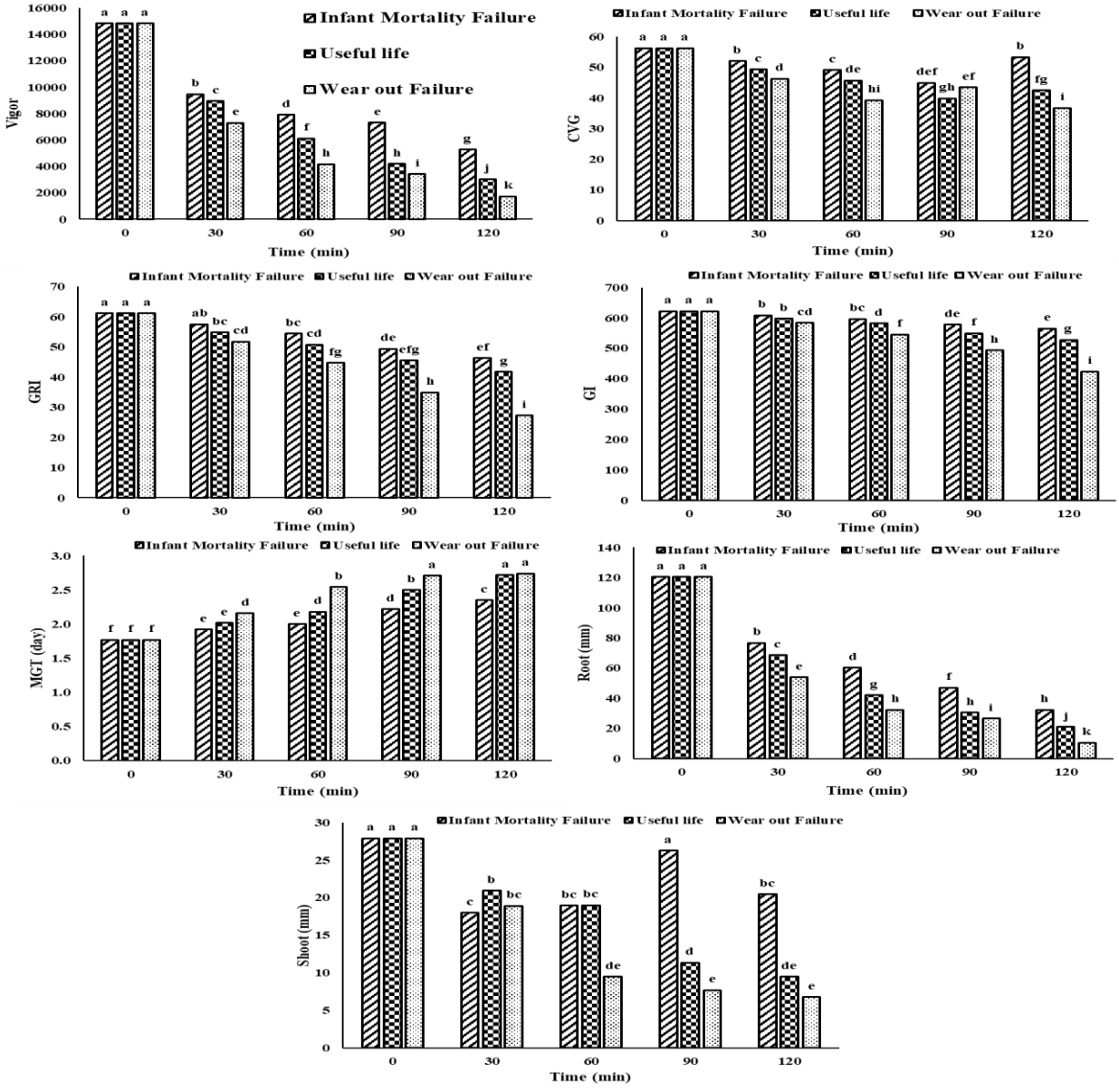


Figure. 3. The effect of emission exhaust gases on germination factors

میزان پروتئین محلول در برابر افزایش مدت زمان تیمار در معرض آلودگی دود اگزوز برای گیاه کلزا به صورت خطی و با شیب بسیار زیادی افزایش پیدا کرد. با افزایش مدت زمان در معرض آلودگی با دود اگزوز، پروتئین محلول در بذرهای کلزا افزایش یافت و از ۰/۲۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر در شرایط بدون آلودگی به ترتیب به ۳/۷۲ و ۴/۵ و ۴/۶۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه در تراکتورهای با عمر اولیه، عمر مفید و عمر فرسودگی افزایش یافت. میزان پروتئین محلول در بذر، در معرض تیمار دود حاصل از اگزوز تراکتور با فرسودگی بیشتر روند افزایشی از خود نشان داد. بطوری‌که، میزان پروتئین محلول کلزا، ۰/۲۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر بود که با قرار گرفتن در معرض دود به مدت زمان ۳۰، ۶۰ دقیقه به ترتیب ۰/۶۰ و ۱/۶۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر افزایش یافت. در تیمار ۱۲۰ دقیقه در معرض آلودگی دود، حداکثر میزان پروتئین محلول کلزا به ۳/۷۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید (شکل ۴).

روند تغییرات فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان داد که افزایش زمان قرار گرفتن در معرض آلودگی حاصل از دود اگزوز موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در بذر کلزا شد.

در تیمار شاهد، سطح فعالیت آنزیم کاتالاز بذر کلزا ۰/۲۴ واحد استاندارد در میلی گرم پروتئین بر دقیقه بود، که پس از قرار گرفتن در معرض دود اگزوز تراکتور با عمر مفید به مدت ۶۰ دقیقه به ۰/۳۷ افزایش پیدا کرد (شکل ۵). با افزایش زمان قرار گرفتن در معرض آلودگی، همین روند افزایشی در فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز برای کلزا وجود داشت. میزان فعالیت پراکسیداز کلزا در تیمار شاهد بدون آلودگی، ۰/۰۷۶ واحد استاندارد در میلی گرم پروتئین بر دقیقه بود که پس از ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه در معرض آلودگی با دود اگزوز تراکتور فرسوده به‌ترتیب به ۰/۱۰۲ و ۰/۱۲۷ واحد استاندارد در میلی‌گرم پروتئین بر دقیقه افزایش یافت (شکل ۶).

مقادیر ضریب نسبی خاکستری با استفاده از رابطه (۱۱) برای شاخص‌های طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، بنیه بذر ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، پروتئین بذر، آنزیم کاتالاز و پروکسیداز محاسبه گردید (جدول ۲). با توجه به این مقادیر و با استفاده از رابطه (۱۲) درجه نسبی خاکستری و رتبه‌بندی تیمارها در جدول ۳ بدست آمد. همانطور که مشخص است تیمار با رتبه کمتر، تیمار مورد ترجیح و دارای خطر کمتر با توجه به تمامی شاخص‌های رشد در نظر گرفته شده برای بذر کلزا می‌باشد که در این مطالعه، مدت زمان صفر برای عمرهای مختلف تراکتور تیمار بدون خطر شناخته شد. پس از آن، مدت زمان ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه برای تراکتور با عمر اولیه به‌ترتیب در رتبه‌های دوم، سوم و چهارم قرار گرفتند. امّا رتبه پنجم و ششم مربوط به مدت زمان ۳۰ و ۶۰ دقیقه تراکتور با عمر مفید بود و پس از آن تیمار مدت زمان ۱۲۰ دقیقه تراکتور با عمر اولیه در رتبه هفتم جای گرفت. این ترتیب گویای این نکته است که مدت زمان قرار گرفتن در معرض آلودگی از میزان آلودگی مهم‌تر است. بنابراین احتمال می‌رود که افزایش زمان در معرض‌گیری با آلاینده اگزوز تراکتور به تدریج موجب کاهش آستانه تحمل بذر و مسمومیت آن گردد. جهت بررسی این نکته و دقت نتایج به‌دست آمده و هم‌چنین رتبه‌بندی دو فاکتور در نظر گرفته شده در این مطالعه اثر فاکتورهای اصلی بر میانگین درجه نسبی خاکستری مورد محاسبه قرار گرفت و همان‌طور که در جدول ۴ آمده است، مدّت زمان در رتبه اوّل و نوع تراکتور که حاکی از میزان آلودگی است در رتبه دوّم جای گرفت.

نتایج مربوط به تجزیه واریانس ضریب نسبی خاکستری نیز به منظور بررسی اثر نوع تراکتور و مدت زمان در معرض بودن با آلاینده‌های ناشی از دود اگزوز بر کلیه صفات بذر در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج مربوط به تجزیه واریانس نشان داد که از نظر تیمارهای مدت زمان، نوع تراکتور و هم‌چنین اثر متقابل مدت زمان× نوع تراکتور، مقادیر درجه نسبی خاکستری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند.

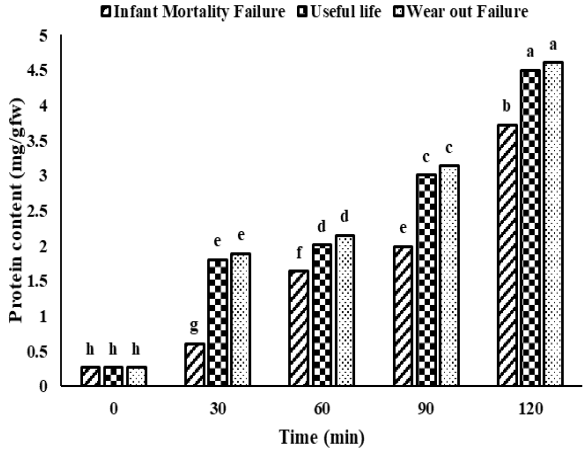


Figure. 4 Effect of diesel exhaust emissions on seed soluble protein

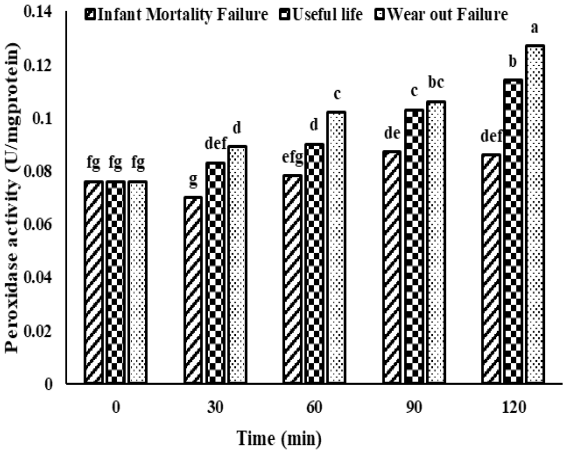


Figure. 6 Effect of diesel exhaust emissions on seed peroxidase activity

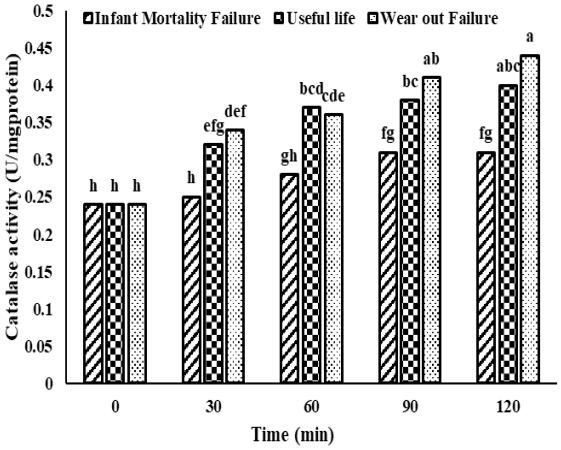


Figure. 5 Effect of diesel exhaust emissions on seed catalase activity

Table 2. Grey relational generation values

Tractor	Time of exposure	Shoot length	Root length	Seed vigor	CVG	GI	GRI	Seed protein	CAT	POX
Infant mortality life	0	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1	1	0.81
	30	0.48	0.45	0.45	0.39	0.35	0.35	0.57	0.91	1
	60	0.46	0.52	0.51	0.44	0.36	0.38	0.53	0.71	0.77
	90	0.35	0.6	0.54	0.54	0.38	0.43	0.43	0.57	0.62
	120	0.43	0.71	0.65	0.62	0.4	0.47	0.33	0.58	0.63
Useful life	0	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1	1	0.81
	30	0.42	0.48	0.47	0.43	1	0.38	0.86	0.55	0.6
	60	0.46	0.63	0.6	0.52	0.48	0.42	0.61	0.43	0.47
	90	0.69	0.73	0.72	0.75	0.42	0.48	0.55	0.4	0.44
	120	0.79	0.83	0.83	1	0.46	0.54	0.38	0.38	0.33
Wear out life	0	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1	1	0.81
	30	0.46	0.55	0.54	0.5	0.37	0.41	0.57	0.51	0.68
	60	0.79	0.71	0.72	0.79	0.43	0.49	0.53	0.45	0.59
	90	0.92	0.77	0.79	0.59	0.54	0.69	0.43	0.37	0.46
	120	1	1	1	0.37	0.81	1	0.33	0.33	0.39

Table 3. Grey relational coefficient and grey relational grade values

	Tractor														
	Infant mortality life					Useful life					Wear out life				
Time (min)	0	30	60	90	120	0	30	60	90	120	0	30	60	90	120
GRG	0.43	0.45	0.46	0.47	0.51	0.43	0.47	0.49	0.57	0.64	0.43	0.52	0.59	0.63	0.75
Ranking	1	2	3	4	7	1	5	6	9	12	1	8	10	11	13

Table 4. Main effects on mean grey relational grade

Factor	Mean Grey relational grade					Max -Min	Ranking
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5		
Tractor	0.46	0.53	0.58	-	-	0.12	2
Time	0.43	0.48	0.51	0.55	0.63	0.2	1

Table 5. Results of ANOVA on grey relational grade

S.O.V	df	Seq SS	MS	F	P	Remarks
Tractor type	2	0.093	0.046	215	0.0	Significant
Time	4	0.0001	0.054	251	0.0	Significant
Tractor type*Time	8	0.067	0.008	39		
Error	30	0.006	0.00			
Total	45	13				

نتایج و بحث

جوانه‌زنی یک مرحله مهم رشد است که به تنش‌ها بسیار حساس است. یکی از اولین پاسخ‌های گیاهان به تنش، کاهش میزان رشد می‌باشد. در این مطالعه کاهش درصد جوانه‌زنی نهایی، بنیه بذر، ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی و افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی در اثر در معرض قرار گرفتن با دود تراکتور نسبت به شاهد حاکی از تأثیر بازدارندگی آلاینده‌های خروجی موتورهای دیزل بکار رفته در مزارع بر این شاخص‌هاست. درصد جوانه‌زنی نهایی بذر کلزا با افزایش زمان در معرض قرارگرفتن با دود ناشی از اگزوز تراکتور کاهش معنی‌داری را نشان داد. دلیل این امر می‌تواند مرگ تعدادی از بذور در اثر قرار گرفتن در معرض دود بمدت طولانی و اثر سمی دود باشد (Moreira et al., 2010). علاوه بر این، حضور گاز مونوکسید کربن که در تراکتور مورد بررسی ۰/۱۲ درصد به‌دست آمد؛ به‌عنوان یک گاز بسیار سمی در دود اگزوز از تنفس میتوکندری که نقشی اساسی در جوانه‌زنی بذر دارد، جلوگیری می‌کند (Dekker & Hargrove, 2002). به‌طورکلی حساسیت به گازهای آلاینده دود تراکتور با افزایش فرسودگی تراکتور و در نتیجه افزایش آلاینده‌های ناشی از اگزوز افزایش یافت. قدرت بذر که مهم‌ترین جز کیفیت بذر می‌باشد، با افزایش فراوانی عوامل نامطلوب محیطی، سریع‌تر از قوه نامیه کاهش می‌یابد. با افزایش شدت تأثیرگذاری عوامل نامطلوب محیطی مانند تنش و یا فرآیندهای زوال ظرفیت بذر یا قابلیت جوانه‌زنی نیز کاهش خواهد یافت (Zafar et al., 2019). هم‌چنین با زوال بذر طول گیاهچه کاهش می‌یابد (Van Pijlen et al., 1995) و در نتیجه عملکرد محصول کاهش می‌یابد.

سرعت جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین کیفیت بذر است. هر بذری که در دوره زمانی کوتاه‌تری جوانه بزند، از سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار می‌باشد. همان‌طور که مشاهده گردید در معرض قرار گرفتن با دود تراکتور سبب کاهش سرعت جوانه‌زنی بذور گردید که این مسئله می‌تواند موجب کاهش محصول و افزایش ضایعات گردد. علّت اصلی این پدیده، وجود ترکیبات بسیار سمّی موجود در دود خروجی از اگزوز مانند مونوکسیدکربن است که مقادیر آن‌ها در دود تراکتورهای مورد مطالعه با عمر اولیه، عمر مفید و عمر فرسودگی به‌ترتیب ۰/۱۰۷، ۰/۱۹۶ و ۰/۲۵۵ درصد بود. این ترکیبات با مختل کردن دریافت اکسیژن و درگیر نمودن فرآیندهای فیزیولوژیکی به مسیرهای جانبی با فعال شدن واکنش‌های سمّی، نه تنها باعث افت توانایی جوانه‌زنی و ظرفیت رشد دو گیاه شدند، بلکه درنهایت با افزایش زمان این تیمارها، جوانه‌زنی بطور کامل متوقف گردید.

شاخص جوانه‌زنی به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در تعیین جوانه‌زنی بذر، رابطه مستقیمی با کیفیت و قدرت زیست بذرها دارد. به عبارتی هرچه بذرها از کیفیت بهتری برخوردار باشند؛ تعداد بذرهای جوانه‌زده و درصد جوانه‌زنی بیشتر و در نتیجه شاخص جوانه‌زنی بیشتر خواهد بود (Ghorbani et al., 2008). آلودگی و سمیّت ناشی از دود تراکتور موجب کاهش درصد جوانه‌زنی می‌گردد که به‌دنبال آن شاخص جوانه‌زنی نیز کاهش می‌یابد. درجه تأثیرپذیری بذور به توانایی ژنتیکی و سازگاری آن‌ها با تنش‌های محیطی بستگی دارد (Qadir & Iqbal, 1991). این نتایج با نتایج شفیق و اقبال (Shafiq and Iqbal, 2012) که گزارش دادند تجمع مواد سمّی از جمله هیدروکربن و فلزات نقش قابل ملاحظه‌ای در کاهش سرعت جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه‌چه دارد مطابقت دارد. علاوه بر این، با افزایش زمان در معرض قرار گرفتن با آلاینده‌های خروجی موتور تراکتور، متوسط زمان جوانه‌زنی که شاخصی از شتاب و سرعت جوانه‌زنی محسوب می‌شود (Bayati et al., 2016) افزایش یافت. افزایش متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی احتمالاً به دلیل وقفه‌ای است که در شروع فرآیند جوانه‌زنی در بذرهای تیمار شده با دود تراکتور ایجاد می‌شود.

گیاهان از نظر قدرت تحمل و قابلیت دفاعی در برابر ترکیبات سمّی متفاوت هستند. تغییر در الگوی کیفی پروتئینی و تشکیل باندهای جدید در گیاهان تحت تأثیر آلاینده‌های جوی در برخی پژوهش‌ها گزارش شده است (Clemens, 2001; Chehregani, et al., 2004; Chehregani & Kouhkan, 2008) و نشان داده شده که این پروتئین‌های جدید در پاسخ به اثرات تنشی آلاینده‌ها تولید می‌شوند و آنها دارای اثرات ضد سمّی و مسمومیت‌زدایی هستند (Yousefi et al., 2011). افزایش میزان پروتئین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در بذر کلزا نشان دهنده افزایش انواع اکسیژن فعال و بروز تنش اکسیداتیو در گیاه می‌باشد که به‌عنوان یک سیستم دفاعی در مقابله با آسیب‌های ناشی از این نوع تنش می‌باشد. افزایش انواع فعال اکسیژن علاوه بر این‌که نشان‌دهنده بروز تنش اکسایشی در گیاه هستند؛ می‌توانند به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان در گیاهان تحت تنش عمل کنند و گیاه را از وضعیت فعلی آگاه نمایند. به‌عنوان نمونه، میزان پروتئین و نیز فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بذر کلزا با افزایش آلایندگی

افزایش یافت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گیاه کلزا و واریته مورد مطالعه نسبت به آلودگی هوا و به ویژه گازهای خروجی اگزوز از مقاومت نسبی بالایی برخوردارند و با افزایش پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سعی در کاهش اثر منفی حاصل از آلودگی گازهای منتشر شده از اگزوز تراکتور را دارند. هم‌چنین، تیمارهای زمانی مورد بررسی سبب مسمومیت حاد در این بذر نشده است و به نظر می‌رسد که افزایش زمان در معرض‌گیری بیش از ۱۲۰ دقیقه موجب کاهش آستانه تحمل بذر و مسمومیّت کامل آن گردد.

مقادیر ضریب نسبی خاکستری با استفاده از رابطه (۱۱) برای شاخص‌های طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، بنیه بذر ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، پروتئین بذر، آنزیم کاتالاز و پروکسیداز محاسبه گردید (جدول ۲). با توجه به این مقادیر و با استفاده از رابطه (۱۲) درجه نسبی خاکستری و رتبه‌بندی تیمارها در جدول ۳ به‌دست آمد. همان‌طور که مشخص است تیمار با رتبه کمتر، تیمار مورد ترجیح و دارای خطر کمتر با توجه به تمامی شاخص‌های رشد در نظر گرفته شده برای بذر کلزا می‌باشد که در این مطالعه، مدت زمان صفر برای عمرهای مختلف تراکتور تیمار بدون خطر شناخته شد. پس از آن، مدت زمان ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه برای تراکتور با عمر اولیه به ترتیب در رتبه‌های دوم، سوم و چهارم قرار گرفتند. امّا رتبه پنجم و ششم مربوط به مدت زمان ۳۰ و ۶۰ دقیقه تراکتور با عمر مفید بود و پس از آن تیمار مدت زمان ۱۲۰ دقیقه تراکتور با عمر اولیه در رتبه هفتم جای گرفت. این ترتیب گویای این نکته است که مدت زمان قرار گرفتن در معرض آلودگی از میزان آلودگی مهم‌تر است. بنابراین احتمال می‌رود که افزایش زمان در معرض‌گیری با آلاینده اگزوز تراکتور به تدریج موجب کاهش آستانه تحمل بذر و مسمومیت آن گردد. جهت بررسی این نکته و دقت نتایج به‌دست آمده و هم‌چنین رتبه‌بندی دو فاکتور در نظر گرفته شده در این مطالعه اثر فاکتورهای اصلی بر میانگین درجه نسبی خاکستری مورد محاسبه قرار گرفت و همان‌طور که در جدول ۴ آمده است، مدّت زمان در رتبه اوّل و نوع تراکتور که حاکی از میزان آلودگی است در رتبه دوّم جای گرفت.

نتایج مربوط به تجزیه واریانس ضریب نسبی خاکستری نیز به‌منظور بررسی اثر نوع تراکتور و مدت زمان در معرض‌بودن با آلاینده‌های ناشی از دود اگزوز بر کلیه صفات بذر در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج مربوط به تجزیه واریانس نشان داد که از نظر تیمارهای مدت زمان، نوع تراکتور و هم‌چنین اثر متقابل مدت زمان× نوع تراکتور، مقادیر درجه نسبی خاکستری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند.

نتیجه‌گیری

آلودگی‌های زیست‌محیطی و خطر ناشی از بکارگیری ماشین‌های کشاورزی اثر به شدت منفی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان دارند که اندازه‌گیری و رتبه‌بندی آن مرهون بکارگیری روش‌های نوینی است که قادر به ترکیب اثر کلیه شاخص‌های مورد بررسی و نتیجه‌گیری بر اساس آن باشند. در این مطالعه، برخلاف روش تجزیه واریانس که تنها اثرات اصلی و متقابل فاکتورها را برای هر شاخص به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌دهد، تئوری خاکستری با ترکیب کلیه شاخص‌های جوانه‌زنی بذر شامل طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، میزان پروتئین محلول، آنزیم کاتالاز و پروکسیداز و با در نظرگرفتن اهمیت و وزن هر کدام در یک ضریب به نام ضریب ارتباط خاکستری به رتبه‌بندی تیمارها پرداخت. علاوه بر این، با رتبه‌بندی اثر فاکتورهای اصلی به‌وسیله تئوری خاکستری مشخص شد که مدت زمان قرارگرفتن در معرض آلودگی از میزان آلودگی مهم‌تر است. هم‌چنین، شدت تأثیرپذیری بسته به میزان آلودگی نیز متفاوت بود که در این مطالعه، حساسیت بذر کلزا به آلاینده‌های ناشی از تراکتور فرسوده بیشتر از نو بود. حساسیت این بذرها لزوم تعویض ماشین‌های فرسوده، سرویس و تعمیر به موقع تراکتورها، استفاده از سوخت پاک و بکارگیری تراکتورهای نو یا با دوره عمر مفید را دو چندان می‌کند.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله نویسندگان، مراتب سپاس و تشکر خود را از حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (طرح پژوهشی به شماره:۹۸۱/۴۱) و بنیاد ملّی نخبگان ابراز می‌نمایند.

References

Ahmadi, M., Omidi, M., Alizadeh, B., & ShahNejat Bushehri, A. (2021). Evaluation of adaptation and sustainabilit of winter oilseed rape mutant lines in cold and mild cold regions of Iran by GGE biplot method. *Plant Productions*, 44(3), 345-347. [In Persian]

Amiri, N., Nasirzadeh, F. (2010). *Application of FMEA approach to evaluate risk assessment of signaling system damages, markers, control and metro communications.* The 2th International Conference on Recent Advances in Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran.

Association IST. (2017). *International rules for seed testing*. Edition: Zürich.

Bayati, P., Ghobadi, M., Ghobadi, M. E., & Mohammadi, Gh. R. (2016). Establishment of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Seedlings in Field. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5(1), 27-38. [in Persian]

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.

Chehregani, A. and Kouhkan, F. (2008). Diesel Exhaust Particles and allergenicity of pollen grain of Lilium martagon. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69, 568-573 .

Chehregani, A., Majde, A., Gholami, M., Shariatzadeh, M., et al. (2004). Effect of air pollution on some cytogenetic characteristics, structure, viability and proteins of Zinnia elegans pollen grains. *Pakistan Journal Biological Science*, 7, 118-122.

Clemens, S. (2001). Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. *Planta*, 212, 475-486 .

Dekker, J. and Hargrove, M. (2002). Weedy adaptation in Setaria spp. V. Effects of gaseous environment on giant foxtail (Setaria faberii) (Poaceae) seed germination. *American Journal of Botany*, 89(3), 410-416.

Ghorbani, M., Soltani, A. and Amiri, S. (2008). The effect of salinity and seed size on response of wheat germination and seedling growth. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(6), 44-52 .

Hemeda, H. M. and Kelin, B. P. (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetables extracts. *Journal Food Science*, 55, 184-192 .

Kader, M. A. (2005). Comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. *Journal and Proceeding of the Royal Society of New South Wales*, 138, 65-75 .

Lijewski, P. and Merkisz, J. (2013). Exhaust emissions from farm tractors operating in urban areas. *WIT Transactions on The Built Environment*, 130, 447-453.

Mahmood, M. and Iqbal, M. (1989). Impact of vehicular emission on seed germination of some roadside trees Albizia lebbeck, Peltophorum roxburghii and Dalbergia sissoo. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, 32, 752-753.

Moreira, B., Tormo, J., Estrelles, E. and Pausas, J. (2010). Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in Mediterranean Basin flora. *Annals of Botany*, 105(4), 627-635 .

Perera, F.P. (2017). Multiple threats to child health from fossil fuel combustion: impacts of air pollution and climate change. *Environmental Health Perspectives*, 125(2), 141-148 .

Qadir, N. and Iqbal, M.Z. (1991). Growth of some plants raised from polluted and unpolluted seeds. *International Journal of Environmental Studies,* 39(1-2), 95-99 .

Rahimi, M., Rabiei, B., Rabiei. M. (2012). Important Morphological Traits on Canola Yield as Second Cultivation in Guilan. *Plant Production*, 35(2), 85-98. [In Persian]

Shafei Nikabadi, M., Farkhoden, H., Fallah Sanami, S. (2016). FMEA optimization using combine methods Demtel, Taguchi and Gray theory analysis. *Industrial Engineering and Management*, 31(2), 73-82.

Shafiq, M. and Iqbal, M.Z. (2012). Effect of autoexhaust emission on germination and seedling growth of an important arid tree Cassia siamea Lamk. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(3), PP: 234 .

Türkan, I. (1988). The effect of exhaust gas on seed germination and seedling growth of cucumber (*Cucumber sativus* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L. subsp. vulgare). *Journal of Turk Phytopath,* 17(2), 81-87 .

Van Pijlen, J., Kraak, H., Bino, R. and De Vos, C. (1995). Effects of aging and osmopriming on germination characteristics and chromosome aberrations of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds. *Seed Science and Technology (Switzerland),* 23, 823- 830 .

Yousefi, N., Chehregani, A., Malayeri, B., Lorestani, B. and Cheraghi, M. (2011). Effect of the heavy metals on the developmental stages of ovule and seed proteins in *Chenopodium botrys* L.(Chenopodiaceae). *Biological Trace Element Research,* 144(1-3), 1142-1149 .

Zafar, N., Iqbal, M.Z., Shafiq, M. and Kabir, M. (2019). Effects of Exhaust Pollutants and Garden Soil on Seed Germination and Seedling Growth of Maize (*Zea mays* L.) and Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Asian Journal of Research in Crop Science*, 1-7.