

The effect of soil temperature on allelopathic of *Brassica napus* and *Hordeum vulgare* residues: The study of the growth of *Hordeum spontaneum* Koch and *Amaranthus retroflexus*

Fatemeh Ahangari¹, Mostafa Oveisi^{2*}, Hassan Alizadeh³, Hamid Rahimian Mashhadi³, Sorayya Navid⁴

1,2, 3, 4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj.

(Received: November 19, 2023 - Accepted: April 30, 2024)

ABSTRACT

Keeping and returning plant residues to the soil not only improve the physical and chemical structure of the soil, but the presence of chemical compounds of the residues can also reduce the germination and growth of weeds. In this regard, a factorial experiment based on randomized complete blocks design with three replications was conducted at the experimental greenhouse of agricultural research station of the college of agriculture and natural resources, university of Tehran in 2019-2020. Treatments included three levels of plant residues (no-residues, residues of *Brassica napus* and *Hordeum vulgare*), two types of soil (no-sterile and sterile), three levels of soil temperature (25, 35 and 45°C) and two types of weed (*Amaranthus retroflexus* and *Hordeum spontaneum*). By increasing the temperature from 25 to 45°C, the final emergence percentage and emergence rate of weed seedling in the no-residues increased and in the treatments with *Brassica* and *Hordeum* residues decreased. In both sterile and no-sterile soils, the highest final emergence percentage (76.1 and 66.1%) and emergence rate of weed seedling (0.12 and 0.11 h⁻¹) were observed in the no-residues. In addition, in sterile soil, the mentioned treatment was very different from the treatments of *Brassica* and *Hordeum* residues. Although the allelopathic effect of *Brassica napus* residues for controlling the emergence of the *H. spontaneum* and *A. retroflexus* compared to *H. vulgare* was greater; however, both crops were able to disrupt the emergence of the weeds. Therefore, preserving soil plant residues by strengthening the population of soil microorganisms and the relative control of the weed population can be important in reducing the amount and cost of application herbicides, environmental protection, and maintaining the stability of agricultural systems.

Key words: Allelopathy, final seedling emergence percentage, mean time of seedling emergence, seedling emergence rate, sterile soil.

اثر دمای خاک بر دگرآسیبی بقایای گیاهان زراعی کلزا و جو: مطالعه رویش علفهای هرز تاج خروس ریشه قرمز و جودره

فاطمه آهنگری^۱، مصطفی اویسی^{۲*}، حسن علیزاده^۳، حمید رحیمیان مشهدی^۳، ثریا نوید^۴

۱، ۲، ۳، ۴- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانش‌آموخته دکتری، دانشیار و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده

کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۱۱)

چکیده

حفظ و بازگرداندن بقایای گیاهی به خاک نه تنها باعث بهبود ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود، بلکه وجود ترکیبات شیمیایی دگرآسیب بقایا می‌تواند باعث کاهش سبز شدن و رشد علف‌های هرز شود. در این راستا، آزمایشی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران انجام شد. تیمارهای آزمایش در سه سطح بقایای گیاهی (عدم بقایا، بقایای کلزا و جو)، دو نوع خاک (استریل و مزرعه)، سه سطح دمای خاک (۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) و دو نوع علف هرز تاج خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus*) و جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) بودند. با افزایش دمای خاک از ۲۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد، درصد و سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز، در خاک مزرعه افزایش و در تیمارهای بقایای جو و کلزا کاهش یافت. در خاک‌های استریل و مزرعه نیز، بیشترین درصد ظهور گیاهچه (به ترتیب ۷۶/۱ و ۶۶/۱) و سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز (به ترتیب ۰/۱۲ و ۱۱/معکوس ساعت) در تیمار بدون بقایای گیاهی مشاهده شد. برخلاف خاک مزرعه در شرایط استریل شده، تیمار بدون بقایای گیاهی اختلاف زیادی با تیمارهای بقایای جو و کلزا داشت. اگرچه اثر دگرآسیبی بقایای گیاه کلزا نسبت به جو در کنترل صفات رویش و استقرار علف‌های هرز تاج خروس ریشه قرمز و جودره بیشتر بود؛ با این حال، هر دو گیاه زراعی توانستند فرآیند سبز شدن علف‌های هرز مورد نظر را مختل کنند؛ بنابراین، حفظ بقایای گیاهی خاک می‌تواند با تقویت جمعیت میکروارگانیزم‌های خاک و کنترل نسبی جمعیت علف‌های هرز، در کاهش مقدار و هزینه کاربرد علف‌کش‌ها، حفظ محیط زیست و پایداری سیستم‌های کشاورزی حائز اهمیت باشد.

واژه‌های کلیدی: آلوپاتی، خاک استریل، درصد ظهور نهایی گیاهچه، سرعت ظهور گیاهچه، میانگین زمان ظهور گیاهچه.

مقدمه

دگرآسیبی روش طبیعی و ایزاری مناسب برای کنترل زیستی علف‌های هرز اراضی کشاورزی می‌باشد (Gage *et al.*, 2019) که در آن قارچ‌ها، ویروس‌ها، میکروارگانیسم‌ها و گیاهان با تولید متابولیت‌های ثانویه (مواد آلوپاتیک) روی گیاهان هم‌گونه خود و یا سایر گونه‌ها می‌توانند اثر تحریکی یا مهارکننده داشته باشند (Xu *et al.*, 2023). این امر در تمام اندام‌های گیاهان در حال رشد و هم در بقایای گیاهی پوسیده حاصل از آن‌ها گزارش شده است (Khamare *et al.*, 2022). گیاهان پوششی با بقایای بیشتری که در سطح یا درون خاک ایجاد می‌کنند و با تأثیر بر خصوصیات بستر کاشت سبز-شدن و رشد گیاه، پتانسیل بیشتری از دگرآسیبی را دارند و حتی می‌توانند محیطی سمی علیه خود ایجاد کنند (Pan & Sano, 2008). در مطالعات مختلفی تأثیر گیاهان دگرآسیب بر برخی از واکنش‌های فیزیولوژیک گیاهی از جمله جوانه‌زنی، فتوسنتز، تنفس، فعالیت آنزیم‌ها و همچنین بر برخی از ویژگی‌های بوم‌سامانه‌های طبیعی - زراعی مانند توالی گیاهی، ساختار جامعه گیاهی، غلظت و تنوع گیاهی توسط محققان گزارش شده است (Iqbal *et al.*, 2020; Nannipieri *et al.*, 2018; Dafallah & Ahmed, 2018). تحقیقات نشان داده است که گونه‌های براسیکاسه از جمله کلزا (*Brassica napus*) اثرات دگرآسیبی نسبتاً شدیدی روی علف‌های هرز و برخی از گیاهان زراعی پس از خود اعمال می‌کنند و محتوی یک نوع آلوکیمیکال ویژه به نام گلوکوزینولات هستند که

پس از هیدرولیز توسط آنزیم میروزیناز به ترکیبات بازدارنده نظیر ایزوتیوسیانات، تیوسیانات و نیتریل تبدیل می‌شوند (Turk & Tawaha, 2008). تجزیه بقایای گیاهی و انتشار مواد آلی و غیر آلی، توسط ریزجانداران هوازی خاک صورت می‌گیرد که فعالیت این جانداران متأثر از عوامل محیطی مانند دما، نوع و رطوبت خاک می‌باشد (Kohli *et al.*, 2015). محققان گزارش کردند که افزایش دما و کاهش رطوبت خاک می‌تواند با تأثیر در فعالیت میکروبی خاک بر فرآیند تجزیه بقایای گیاهی و تولید مواد دگرآسیب نقش داشته باشد (Hierro & Callaway, 2021; Barreiro *et al.*, 2020). همچنین بقایای گیاهی با تأثیر بر مقدار نیترات خاک، ممانعت از نفوذ نور و تغییر مقدار رطوبت خاک، می‌توانند رشد و نمو گیاهان و علف‌های هرز را تحت تأثیر قرار دهند (Humphries *et al.*, 2021; Yu *et al.*, 2020). بسته به مقدار و نوع بقایای گیاهی و همچنین شیوه‌های مدیریتی و محیطی که بقایای گیاهی تجزیه می‌شوند، گیاهان دگرآسیب در کنترل گونه‌ها می‌توانند اثرات متفاوتی داشته باشند. بنابراین برخلاف اکثر مطالعات که از عصاره گیاهان دگرآسیب برای کنترل علف‌های هرز استفاده می‌شود، در تحقیق حاضر از بقایای گیاهان پایزه کلزا و جو به صورت مخلوط با خاک استفاده شد و اثر آلوپاتیک آن‌ها بر رویش علف‌های هرز تابستانه تاج‌خروس ریشه قرمز و جودره در شرایط دمایی مختلف خاک مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

Table 1. Physical and chemical properties of the experimental soil.

Depth (cm)	pH	EC (ds m ⁻¹)	OC (%)	Total N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mgkg ⁻¹)	Texture
0-30	7.5	0.68	0.77	0.08	6.61	108.00	Loam-Silty

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در استان البرز و شهرستان کرج با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا انجام شد. منطقه کرج از نظر اقلیمی جزء مناطق نیمه‌خشک و معتدل بوده که متوسط بارندگی آن برابر ۲۴۱ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت آن ۱۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه مورد هدف، اقدام به نمونه‌برداری از پنج نقطه مزرعه شد و پس از مخلوط کردن آن‌ها، یک نمونه مرکب به آزمایشگاه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران ارسال شد. بر پایه نتیجه تجزیه، بافت خاک مزرعه آزمایشی مورد نظر لومی-سنی بود (جدول ۱).

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش سه سطح بقایای گیاهی (عدم بقایا، بقایای گیاهان زراعی جو و کلزا)، دو نوع خاک (استریل‌شده و استریل‌نشده/شرایط مزرعه)، سه سطح دمای خاک (۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد)، و دو نوع علف‌هرز (تاج‌خروس و جودره) بودند. جهت بررسی اثر دگرآسیبی گیاهان کلزا و جو بر ویژگی‌های استقرار گیاهچه‌های

علف‌های هرز تاج‌خروس ریشه قرمز و جودره، در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ تمام بقایای گیاهان ذکرشده پس از برداشت محصول اصلی از زیر خوشه (شبه برداشت کمباین و باقی‌گذاشتن کلش زیاد) و از سطح خاک مزرعه آموزشی و تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران جمع‌آوری شدند. سپس توسط دستگاه خرمن‌کوب (مدل TH610) در اندازه بسیار کوچک (به‌صورت پودری و اندازه ذرات خاک) خرد شدند. بر اساس میزان بقایای یک متر مربع از هر گیاه در زمین، آن را با خاک مخلوط کرده و سپس بسترهای کشت مورد نیاز برای کشت علف‌های هرز تاج‌خروس ریشه قرمز و جودره بر اساس نوع تیمار محیطی (سطوح دما و نوع خاک) آماده شدند. بدین‌منظور جهت استریل-کردن خاک، ابتدا قسمتی از خاک مورد استفاده که حاوی تیمارهای بقایای گیاهی بودند، در دستگاه اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. جهت اعمال سه سطح دمای خاکی (۲۵، ۳۵، ۴۵ درجه سانتی‌گراد) نیز، همه نمونه‌های خاک به مدت دو ماه در ژرمیناتور (مدل NSTG 600) قرار داده شدند.

نمونه‌های خاک آماده‌شده به گلدان‌های آزمایشی (با قطر ۱۹ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر) انتقال داده شد. جهت تهیه بذر علف‌های هرز، در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ از بوته‌های موجود در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه

در رابطه ۲، n تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده در طی d روز، d تعداد روزها و $\sum n$ کل تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده می‌باشد. برای محاسبه سرعت ظهور گیاهچه (ER)^۳ نیز از رابطه ۳ استفاده شد که از عکس میانگین زمان لازم برای ظاهر شدن گیاهچه به دست آمد.

$$ER = \frac{1}{MTE} \quad \text{رابطه ۳}$$

در نهایت پس از گردآوری داده‌ها و ثبت در نرم‌افزار اکسل^۴ و اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه‌های آماری این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (SAS Institute, 2008) صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز بر پایه آزمون LSD در سطح یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های رویش علف‌های هرز تاج خروس و جودره

درصد ظهور نهایی گیاهچه (FEP)

اثر اصلی تیمارهای بقایای گیاهی، دما و نوع خاک و برهمکنش‌های دوجانبه بقایای گیاهی × نوع خاک، بقایای گیاهی × دمای خاک و بقایای گیاهی × نوع علف‌هرز بر درصد ظهور نهایی گیاهچه علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). سایر برهمکنش‌های دوجانبه و هیچ‌کدام از اثرات سه‌جانبه و چهارجانبه بر درصد ظهور نهایی گیاهچه معنی‌دار نشدند. بررسی اثر اصلی تیمارهای مورد مطالعه نشان داد که بالاترین درصد ظهور نهایی گیاهچه علف‌های هرز در تیمار

تهران ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و بذرها آنها جدا و ترکیب شد. تست اولیه جوانه‌زنی بذرها علف‌های هرز در آزمایشگاه انجام شد که حدود ۹۵ درصد بود. سپس به تعداد ۱۵ عدد از بذر علف‌های هرز تاج‌خروس ریشه قرمز و جودره در عمق یک سانتی‌متری خاک کشت و سپس گلدان‌ها در شرایط دمای خاک گلخانه قرار داده شدند. بلافاصله بعد از کشت نیز گلدان‌ها آبیاری شد. در گلخانه بلافاصله پس از مشاهده ظهور اولین گیاهچه‌ها، به‌صورت شمارش روزانه تعداد بوته‌های سبز شده در هر واحد آزمایشی آغاز و تا زمانی که تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده ثابت شدند، شمارش ادامه داشت. مدت زمان آزمایش حدود ۴۵ روز بود. پس از آن نیز وزن خشک علف‌های هرز توسط ترازوی دیجیتالی توزین شد. در نهایت، شاخص‌های مربوط به قدرت رویش گیاهچه بر اساس شاخص‌های ذیل محاسبه شد.

درصد ظهور نهایی گیاهچه^۱ (FEP):

به‌صورت تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده (n) تقسیم بر تعداد بذرها کشت شده ($\sum n$) ضربدر ۱۰۰ (رابطه ۱) به دست آمد (Anonymous, 2012). میانگین زمان لازم برای ظهور گیاهچه^۲ (MTE) نیز که به‌عنوان شاخصی از سرعت ظاهر شدن گیاهچه محسوب می‌شود، با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Anonymous, 2012).

$$FEP = \left(\frac{n}{\sum n} \right) \times 100 \quad \text{رابطه ۱-}$$

$$MTE = \frac{\sum(nd)}{\sum n} \quad \text{رابطه ۲-}$$

³ Seedling emergence rate

⁴ Excel

¹ Final seedling emergence percentage

² Mean time of seedling emergence

علف‌های هرز در شرایط بدون بقایا × خاک مزرعه (۷۶/۱ درصد) مشاهده شد (جدول ۴ و شکل ۲). تیمار بقایای کلزا × خاک مزرعه نیز با ۲۷/۷ درصد، کمترین درصد ظهور نهایی گیاهچه علف‌های هرز را داشتند. در خاک استریل‌شده نیز درصد ظهور نهایی گیاهچه علف‌های هرز مورد مطالعه در حضور و عدم حضور بقایای گیاهی اختلاف معنی‌دار داشتند (شکل ۲)؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که کاربرد بقایای گیاهان زراعی کلزا و جو در خاک مزرعه نسبت به تیمار شاهد، میزان درصد ظهور نهایی گیاهچه علف‌های هرز را کاهش داد که نشان‌دهنده اثر دگرآسیبی این گیاهان می‌باشد، لذا از گیاهان مذکور در کنترل زیستی علف‌های هرز تاج‌خروس و جودره می‌توان استفاده کرد.

بدون بقایای گیاهی (۷۱/۱ درصد) در مقایسه با خاک‌های دارای بقایای گیاهی، خاک استریل‌شده (۶۱/۷ درصد) در مقایسه با خاک مزرعه و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (۵۷/۹ درصد) در مقایسه با سایر دماهای مورد بررسی بود (جدول ۳). کاربرد بقایای گیاهی کلزا و جو به ترتیب ۴۸/۷ و ۴۲/۲ درصد، ظهور نهایی گیاهچه علف‌های هرز را کاهش داد که تأثیر کاهش گیاه کلزا بیشتر از جو بود. با افزایش دمای خاک، درصد ظهور نهایی گیاهچه علف‌های هرز کاهش یافت؛ به طوری که بیشترین درصد ظهور گیاهچه (۵۸ درصد) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین (۵۰ درصد) در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد خاک بود (شکل ۱).

برهمکنش دوجانبه بقایای گیاهی × نوع خاک نشان داد که بیشترین درصد ظهور نهایی گیاهچه

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر ویژگی‌های استقرار گیاهچه علف‌های هرز تاج‌خروس و جودره.
Table 2. Analysis of variance of the effects of studied traits on the seedling emergence traits of *Amaranthus retroflexus* and *Hordeum spontaneum*.

Source of variation (SOV)	Degree of freedom	Final emergence percentage	Mean emergence time	Emergence rate
Replication	2	234.02 ^{ns}	4.00 ^{ns}	0.000425 ^{ns}
R: Plant residues	2	8263.19 ^{**}	192.76 ^{**}	0.017611 ^{**}
S: Soil type	1	6455.79 ^{**}	61.86 ^{**}	0.002914 ^{**}
T: Soil temperature	2	525.69 ^{**}	2.84 ^{ns}	0.000014 ^{ns}
W: Weed type	1	2455.79 ^{**}	5.84 ^{**}	0.000720 ^{**}
R × S	2	4380.79 ^{**}	26.19 ^{**}	0.001904 ^{**}
R × T	4	598.26 ^{**}	21.83 ^{**}	0.002652 ^{**}
R × W	2	141.89 ^{**}	0.25 ^{ns}	0.000136 ^{**}
S × T	2	34.95	6.64 ^{**}	0.000504 ^{**}
S × W	1	5.78 ^{ns}	1.00 ^{ns}	0.000080 ^{ns}
T × W	2	1.62 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.000033 ^{ns}
R × S × T	4	8.91 ^{ns}	3.02 ^{**}	0.000248 ^{**}
R × S × W	2	39.12 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.000009 ^{ns}
R × T × W	4	3.35 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.000027 ^{ns}
S × T × W	2	48.8 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.000009 ^{ns}
R × S × T × W	4	6.13 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.000008 ^{ns}
Error (خطا)	70	35.69	0.67	0.000066
CV (%) (درصد تغییرات)	-	11.05	7.40	8.58

در جدول R: نوع بقایای گیاهی، S: نوع خاک، T: دمای خاک و W: نوع علف‌هرز می‌باشد. ^{ns} و ^{**} به ترتیب به عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح آماری یک درصد می‌باشد.

^{ns} and ^{**}: Non significant and significant differences at 1% level of probability, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی بقایای گیاهی، نوع خاک و گونه علف‌هرز بر ویژگی‌های استقرار گیاهچه علف‌های هرز مورد مطالعه.

Table 3. Mean comparison of the effects of plant residues, soil type and weed type on seedling emergence traits of studied weeds.

Treat	Level of treat	Final emergence percentage (%)	Mean emergence time (day)	Emergence rate (h ⁻¹)
Plant residue	No-Residues	71.11a	8.50c	0.120a
	<i>Brassica</i>	48.75b	11.92ab	0.086b
	<i>Hordeum vulgare</i>	42.22c	12.92a	0.079c
Soil type	Sterile	61.75a	10.36b	0.100a
	No- Sterile	46.29b	11.87ab	0.090b
Weed	<i>Amaranthus retroflexus</i>	49.25b	11.34a	0.092b
	<i>Hordeum spontaneum</i>	58.79a	10.88b	0.097a

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بدون تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد هستند.

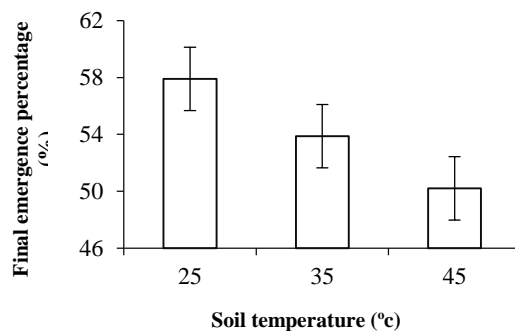
*Mean with in each Column having at least same letter are not significantly difference at 1% level of probability.

برهمکنش دوجانبه بقایای گیاهی × دمای خاک نشان داد که در هر سه شرایط دمایی مورد مطالعه بیشترین درصد ظهور نهایی گیاهچه در تیمار بدون بقایای گیاهی رخ داد (جدول ۵). در شرایط بدون بقایای گیاهی، با افزایش دمای خاک از ۲۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد، درصد ظهور نهایی گیاهچه علف‌های هرز از ۶۷/۹ به ۷۶/۲ درصد افزایش یافت و بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. برهمکنش دوجانبه بقایای گیاهی × دمای خاک نشان داد که کمترین درصد ظهور نهایی گیاهچه در حضور بقایای کلزا و جو در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد خاک (به ترتیب ۳۴/۱ و ۴۰/۴ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد و بین تیمارهای مذکور نیز اختلاف وجود داشت (جدول ۶) و همانند اثر اصلی با افزایش دمای خاک، درصد ظهور نهایی گیاهچه علف‌های هرز کاهش یافت (شکل ۱). به نظر می‌رسد در شرایط حضور بقایای گیاهی، افزایش دمای خاک احتمالاً با تأثیر بر سرعت فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، سرعت تجزیه و آزادسازی مواد دگرآسیب را افزایش داده که به تبع آن نیز درصد رویش و رشد علف‌های هرز کاهش یافته است. همچنین در تمام

بررسی‌های قبلی نشان داده است که عوامل محیطی همچون دما بر رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌ها مؤثر بوده و افزایش دما به بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند منجر به کاهش فعالیت‌های میکروارگانیسم‌ها شود، بنابراین استریل کردن خاک با دمای بالا می‌تواند باعث از بین رفتن میکروارگانیسم‌های خاک شود، چراکه در دمای بالا متابولیسم سلولی مختل شده و منجر به مرگ سلولی می‌شود (Barreiro et al., 2020). مطالعات نشان داد که میکروارگانیسم‌های خاک نسبت به تغییرات دمایی حساسیت بالایی داشته و این تغییرات در دمای کم و بالا متفاوت است؛ به طوری که در دمای بالا یا در شرایط آتش‌سوزی، جامعه میکروارگانیسم‌ها می‌تواند به طور کامل از بین رود (Barreiro et al., 2020). افزایش دما در خاک و محیط آن، می‌تواند به تجزیه مواد آلی کمک کند، این تأثیر از طریق تحریک کردن میکروارگانیسم‌های خاک برای رشد و فعالیت بیشتر در مدت زمان کوتاه‌تر باشد، در این حالت تجزیه زیست‌توده‌های گیاهی افزایش می‌یابد (Wei et al., 2021; Nannipieri et al., 2018).

آنزیم‌ها) اثر منفی داشته باشد (Min *et al.*, 2003). همچنین مطالعات نشان داد که مواد دگرآسیب با تولید انواع رادیکال‌های آزاد اکسیژن قادر به تخریب لیسیدهای غشا، پروتئین‌ها و مواد وراثتی سلول^۵ (DNA) می‌باشند (Farooq & Azam, 2006). محققان با بررسی توان دگرآسیبی ارقام جو نشان دادند که عصاره آبی ارقام جو باعث کاهش جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه بذر خردل وحشی شد و درصد جوانه‌زنی در حضور ارقام قدیمی‌تر جو کمتر از ارقام جدید بود (Oveisi *et al.*, 2008).

تیمارهای مورد مطالعه درصد ظهور نهایی گیاهچه جودره بیشتر از تاج‌خروس ریشه قرمز (۴۹ درصد) بود. همچنین در خاک استریل‌شده و مزرعه با افزایش دمای خاک از ۲۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد، روند کاهش درصد ظهور نهایی گیاهچه در علف‌هرز جودره نسبت به تاج‌خروس از الگوی یکسانی پیروی کرد (شکل ۲). محققان گزارش کردند که مواد دگرآسیب می‌توانند بر فرآیندهای رشد و جوانه‌زنی بذر، تقسیم میتوزی در ریشه‌چه و ساقه‌چه و فعالیت‌های هورمونی، سرعت جذب یون‌ها و تشکیل پروتئین‌ها (فعالیت



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر دمای خاک بر درصد ظهور نهایی گیاهچه علف‌های هرز مورد مطالعه.

Figure 1. Mean comparison of the effects of soil temperature on final emergence percentage of studied weeds.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای بقایای گیاهی × نوع خاک بر ویژگی‌های استقرار گیاهچه علف‌های هرز مورد مطالعه.

Table 4. Mean comparison of the effect of plant residues × soil type on the seedling emergence traits of the studied weeds.

Plant residues × Soil type	Final emergence percentage (%)	Mean emergence time (day)	Emergence rate (h ⁻¹)
No-Residues × Sterile	66.11b	8.82d	0.11b
No-Residues × No- Sterile	76.11a	8.29e	0.12a
<i>Hordeum vulgare</i> × Sterile	62.50b	10.55d	0.09c
<i>Hordeum vulgare</i> × No- Sterile	35.00d	13.30b	0.07e
<i>Brassica napus</i> × Sterile	56.67c	11.81c	0.08d
<i>Brassica napus</i> × No- Sterile	27.78e	14.03a	0.07e

* میانگین‌های دارای حداقل حرف مشترک در هر ستون بدون تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد هستند.

*Means in each column having at least same letter are not significantly difference at 1% level of probability.

⁵ DNA (Deoxyribonucleic acid)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای بقایای گیاهی × دمای خاک بر ویژگی‌های استقرار گیاهچه علف‌های هرز مورد مطالعه.

Table 5. Mean comparison of the effect of plant residues × soil temperature on the seedling emergence traits of the studied weeds.

Plant residues × Soil temperature	Final emergence percentage (%)	Mean emergence time (day)	Emergence rate (h ⁻¹)
No-Residues × 25 °c	67.92b	9.90e	0.10c
No-Residues × 35 °c	69.17b	8.31f	0.12b
No-Residues × 45 °c	76.28a	7.31g	0.13a
<i>Hordeum vulgare</i> × 25 °c	56.67c	11.02d	0.09d
<i>Hordeum vulgare</i> × 35 °c	49.17d	11.67cd	0.08e
<i>Hordeum vulgare</i> × 45 °c	40.42e	13.08b	0.07f
<i>Brassica napus</i> × 25 °c	49.17d	11.88c	0.08e
<i>Brassica napus</i> × 35 °c	43.33e	12.95b	0.07f
<i>Brassica napus</i> × 45 °c	34.17f	13.93a	0.07f

* میانگین‌های دارای حداقل حرف مشترک در هر ستون بدون تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد هستند.

*Means in each column having at least same letter are not significantly difference at 1% level of probability.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر تیمارهای نوع خاک × دمای خاک بر ویژگی‌های استقرار گیاهچه علف‌های هرز مورد مطالعه.

Table 6. Mean comparison of the effect of soil type × soil temperature on the seedling emergence traits of the studied weeds.

Soil type × Soil temperature	Mean emergence time (day)	Emergence rate (h ⁻¹)
Sterile × 25 °c	9.81c	0.10a
Sterile × 35 °c	10.12c	0.10ab
Sterile × 45 °c	11.15b	0.09bc
No- Sterile × 25 °c	12.06a	0.08e
No- Sterile × 35 °c	11.83a	0.09de
No- Sterile × 45 °c	11.73a	0.09de

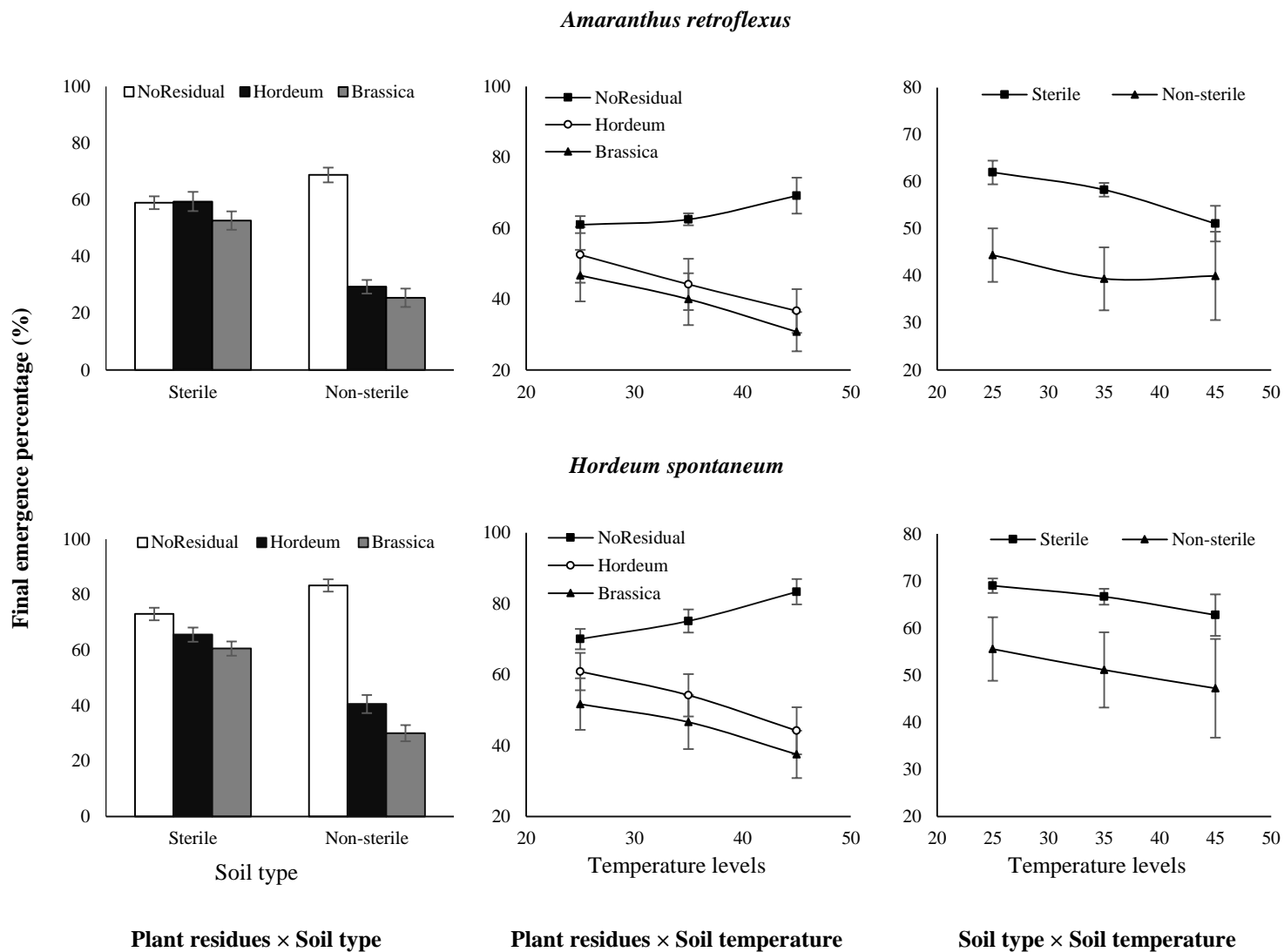
* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بدون تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد هستند.

*Means in each column having at least same letter are not significantly difference at 1% level of probability.

برهمکنش دوجانبه بقایای گیاهی × نوع خاک نشان داد که بیشترین میانگین زمان لازم برای ظهور گیاهچه علف‌های هرز در تیمارهای بقایای کلزا × خاک مزرعه (۱۴/۰ روز) و بقایای جو × خاک مزرعه (۱۳/۳ روز) مشاهده شد (جدول ۴). تیمارهای بدون بقایای گیاهی × خاک استریل شده و بدون بقایای گیاهی × خاک مزرعه نیز به ترتیب با ۸/۲ و ۸/۸ روز، از کمترین میانگین زمان لازم برای ظهور گیاهچه علف‌های هرز برخوردار بودند که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

میانگین زمان لازم برای ظهور گیاهچه (MTE)

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تیمارهای بقایای گیاهی و نوع خاک به غیر از دمای خاک و برهمکنش‌های دوجانبه بقایای گیاهی × نوع خاک، بقایای گیاهی × دمای خاک و بقایای گیاهی × نوع علف‌هرز و سه‌جانبه بقایای گیاهی × نوع خاک × دمای خاک بر میانگین زمان لازم برای ظهور گیاهچه علف‌های هرز تاج‌خروس و جودره در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲).



شکل ۲- برهمکنش دوجانبه تیمارهای مورد مطالعه بر درصد ظهور نهایی گیاهچه علف‌های هرز تاج خروس و جو دره.

Figure 2. The effect of studied treats on final seedling emergence percentage of *Amaranthus* and *Hordeum spontaneum*.

(جدول ۷). افزایش دما در خاک مزرعه می‌تواند فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک را افزایش دهد، در این شرایط سرعت تجزیه بقایای گیاهی افزایش یافته و مواد دگرآسیب موجود در بقایا وارد خاک شده و می‌تواند باعث کاهش سرعت ظهور گیاهچه و متوسط سرعت آن شود.

محققان طی مطالعه‌ای روی اثرات دگرآسیب گیاهان زراعی لوبیا، کلم، گل کلم، بادمجان، فلفل، سیب‌زمینی، تربچه و گوجه‌فرنگی روی علف‌های هرز تاج‌خروس، سلمک، خرفه، پنیرک، منداب گزارش کردند که عصاره استخراج‌شده از ساقه‌ها و برگ گیاهان زراعی به‌طور قابل توجهی قدرت رویش و رشد گیاهچه‌های علف‌های هرز را کاهش داد (Qasem & Issa., 2018). همچنین تأثیر بقایای این گیاهان در خاک در طول زمان اثر متفاوتی بر رویش علف‌های هرز داشته، به‌طوری‌که باقی‌مانده گیاه گوجه‌فرنگی، کلم و لوبیا و بادمجان نسبت به سایر گیاهان در خاک تأثیر بیشتری بر کاهش رویش علف‌های هرز داشت (Qasem & Issa., 2018). محققان طی بررسی اثر دگرآسیب گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L) بر رویش گیاه گندم، سویا، سورگوم، ارزن و ذرت گزارش کردند که با افزایش غلظت عصاره گیاه درصد رویش گیاهان مورد مطالعه کاهش یافت، همچنین نتایج نشان داد همبستگی منفی میان افزایش غلظت و صفات موردنظر وجود داشت (Dafaallah & Ahmad., 2018).

سرعت ظهور گیاهچه (ER)

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده

برهمکنش دوجانبه بقایای گیاهی × دمای خاک نیز نشان داد که بیشترین میانگین زمان لازم برای ظهور گیاهچه علف‌های هرز در تیمارهای بقایای گیاهی کلزا × دمای خاک ۴۵ درجه سانتی‌گراد و بقایای گیاهی جو × دمای خاک ۴۵ درجه سانتی‌گراد (به-ترتیب ۱۳/۹ و ۱۳/۰ روز) مشاهده شد. در هر سه دمای خاک مورد مطالعه (۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) تیمارهای بدون بقایای گیاهی و خاک استریل‌شده از کمترین میانگین زمان لازم برای ظهور گیاهچه برخوردار بودند (جدول ۵).

بررسی‌ها نشان داد که احتمالاً در شرایط حضور بقایای گیاهی، افزایش دمای خاک آزمایش به‌دلیل تأثیر بر سرعت تجزیه بقایای گیاهی می‌تواند متوسط زمان لازم برای سبزشدن و استقرار گیاهچه را افزایش دهد. هر عاملی که موجب کاهش فرآیندهای جوانه‌زنی شود، عملاً موجب افزایش متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی می‌شود، در این شرایط مواد دگرآسیب با تأثیر بر بذر و ویژگی‌های جوانه‌زنی آن می‌تواند زمان لازم را برای جوانه‌زنی افزایش دهد. برهمکنش سه‌جانبه بقایای گیاهی × نوع خاک × دمای خاک نیز نشان داد که بیشترین میانگین زمان لازم برای ظهور گیاهچه با ۱۴/۴ روز در تیمار بقایای کلزا × خاک مزرعه × دمای خاک ۴۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین با ۷/۱ روز در شرایط بدون بقایا × خاک مزرعه و دمای خاک ۴۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (جدول ۷). بررسی‌ها نشان داد در شرایط کاربرد بقایای گیاهی، افزایش دما در هر دو نوع خاک آزمایش، موجب افزایش میانگین زمان لازم برای ظهور گیاهچه علف‌های هرز شد

کمتری کاهش یافت و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد تفاوتی در سرعت ظهور گیاهچه علف‌هرز تاج‌خروس در هر دو خاک استریل‌شده و مزرعه مشاهده نشد (شکل ۳).

برهمکنش سه‌گانه بقایای گیاهی × نوع خاک × دمای خاک نیز نشان داد که بیشترین سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز با ۰/۱۳۹ معکوس ساعت در تیمار بدون بقایای گیاهی × خاک مزرعه × دمای خاک ۴۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین سرعت ظهور گیاهچه با ۰/۰۶۹ معکوس ساعت در شرایط بقایای کلزا × خاک مزرعه × دمای خاک ۴۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (جدول ۷). در شرایط بقایای گیاهی، افزایش دما باعث افزایش فعالیت میکروارگانیزم‌ها و تجزیه‌کنندگان بقایا شده، لذا در این حالت آزادسازی مواد دگرآسیب در خاک افزایش پیدا می‌کند. افزایش این مواد می‌تواند بر خصوصیات جوانه‌زنی علف‌های هرز تأثیرگذار باشد. در شرایط بدون بقایا افزایش دما می‌تواند با توجه به تأثیرگذاری بر فعالیت میکروارگانیزم‌های خاک، زمینه فعالیت مثبت آن‌ها را افزایش دهد. در شرایط کاربرد بقایا، افزایش دما باعث کاهش سرعت ظهور گیاهچه می‌شود؛ درحالی‌که، در شرایط بدون بقایا، افزایش دما عملاً منجر به افزایش سرعت ظهور گیاهچه شده است.

بررسی اثر دگرآسیبی گیاه‌زراعی جو روی علف‌هرز سلمه تره نشان داد که مواد دگرآسیب آن با تخریب غشای سلولی بذر علف‌هرز اثر منفی بر سرعت ظهور گیاهچه، وزن تر و فعالیت‌های آنزیمی بذر علف‌هرز داشت (Farhoudi et al., 2014). بررسی دگرآسیبی عصاره بقایای کلزا و گندم بر جوانه‌زنی

تیمارهای بقایای گیاهی و نوع خاک و برهمکنش‌های دوجانبه بقایای گیاهی × نوع خاک، بقایای گیاهی × دمای خاک، بقایای نوع خاک × دمای خاک و بقایای گیاهی × نوع خاک × دمای خاک سه‌جانبه بقایای گیاهی × نوع خاک × دمای خاک بر سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز تاج‌خروس و جودره در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). بررسی اثرهای ساده تیمارهای مورد مطالعه نشان داد که بالاترین سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز در تیمار بدون بقایای گیاهی (۰/۱۲ معکوس ساعت)، خاک استریل‌شده (۰/۱۰ معکوس ساعت) و علف‌هرز جودره (۰/۹۷ معکوس ساعت) مشاهده شد (جدول ۳). برهمکنش بقایای گیاهی × نوع خاک آزمایش نشان داد که بیشترین سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز در تیمارهای بدون بقایای گیاهی × هر دو نوع خاک مزرعه و استریل-شده به ترتیب (۰/۱۲ و ۰/۱۱ معکوس ساعت) و کمترین در تیمارهای بقایای کلزا و جو در خاک مزرعه مشاهده شد (جدول ۴). نتایج برهمکنش نوع خاک × دمای خاک نشان داد که در خاک استریل-شده و در خاک مزرعه با افزایش دما از ۲۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد، سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز افزایش یافت (جدول ۶)، به طوری‌که بالاترین سرعت ظهور گیاهچه با ۰/۱۰۳ در خاک استریل × دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین سرعت ظهور گیاهچه با ۰/۰۸۵ معکوس ساعت در خاک مزرعه × دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (جدول ۶). لازم به ذکر می‌باشد که در خاک استریل‌شده با افزایش دمای خاک، سرعت ظهور گیاهچه علف‌هرز تاج‌خروس نسبت به جودره با شیب

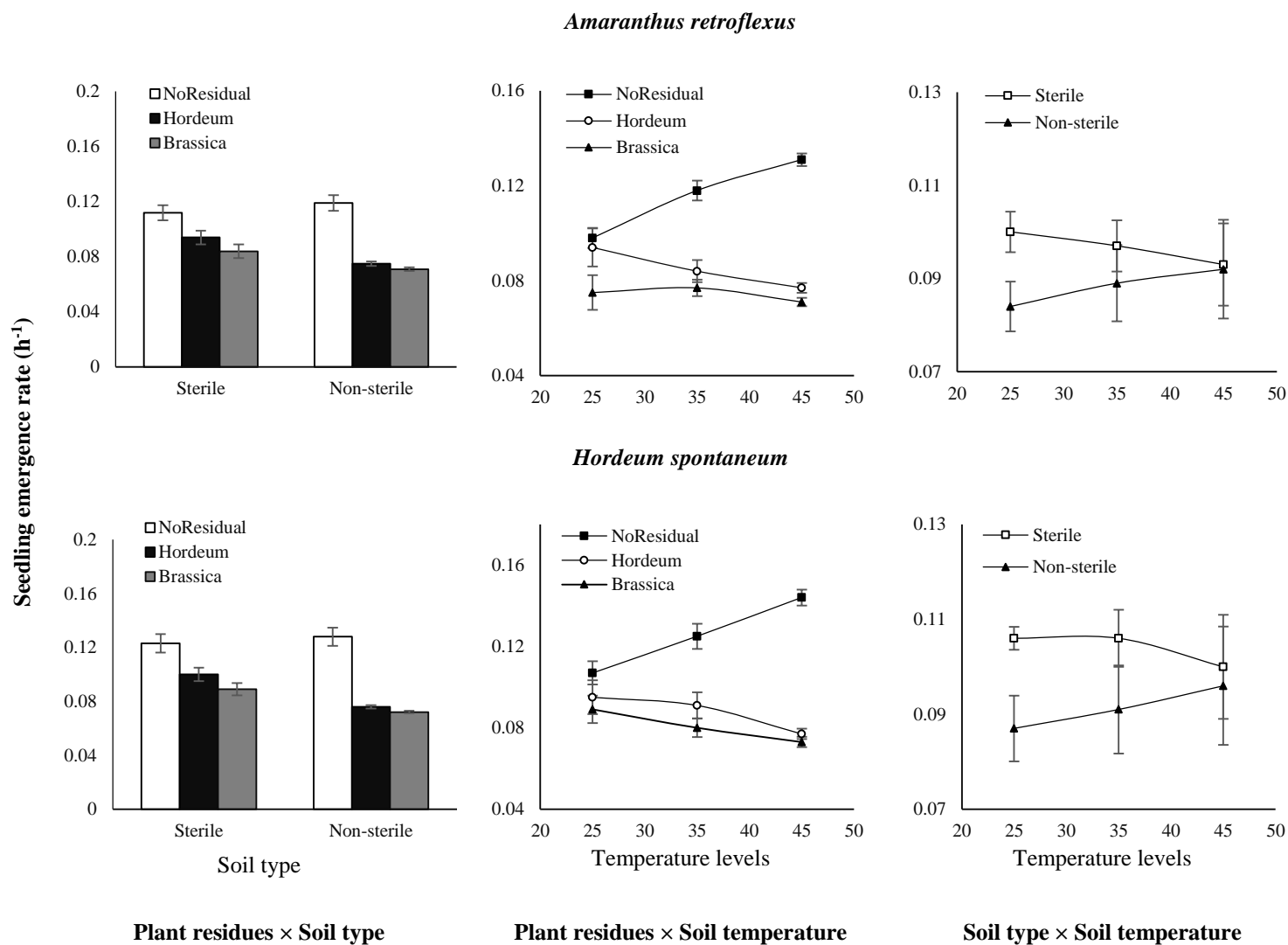
گیاهان زراعی و علف‌های هرز نشان داد عصاره کلزا
 تأثیر عصاره دگرآسیب کلزا با کاهش ویژگی‌های
 خواص دگرآسیب بالاتری دارد، همچنین در این
 جوانه‌زنی همراه بود (Pourreza & Bahrani, 2016).
 بررسی نشان داده شد که علف‌هرز تاج‌خروس تحت

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر بقایای گیاهی × نوع خاک × دمای خاک بر ویژگی‌های استقرار گیاهچه علف‌های هرز.
 Table 7. Mean comparison of the effect of plant residues × soil type × soil temperature on the seedling emergence traits of the weeds.

Plant residues × Soil type × soil temperature	Mean emergence time (day)	Emergence rate (h ⁻¹)
No-Residues × Sterile × 25 °c	10.32f	0.09f
No-Residues × Sterile × 35 °c	8.41h	0.12bc
No-Residues × Sterile × 45 °c	7.45ji	0.13a
No-Residues × No -Sterile × 25 °c	9.48fg	0.10de
No-Residues × No -Sterile × 35 °c	8.22hi	0.12b
No-Residues × No -Sterile × 45 °c	7.17j	0.13a
<i>Hordeum vulgare</i> × Sterile × 25 °c	8.92gh	0.11cde
<i>Hordeum vulgare</i> × Sterile × 35 °c	10.14f	0.09ef
<i>Hordeum vulgare</i> × Sterile × 45 °c	12.59de	0.08gh
<i>Hordeum vulgare</i> × No -Sterile × 25 °c	13.12dc	0.07ghi
<i>Hordeum vulgare</i> × No -Sterile × 35 °c	13.20bcd	0.07ghi
<i>Hordeum vulgare</i> × No -Sterile × 45 °c	13.57abc	0.07ghi
<i>Hordeum vulgare</i> × Sterile × 25 °c	10.17f	0.09ef
<i>Hordeum vulgare</i> × Sterile × 35 °c	11.82e	0.08g
<i>Hordeum vulgare</i> × Sterile × 45 °c	13.43bcd	0.07hi
<i>Brassica napus</i> × No -Sterile × 25 °c	13.59abc	0.07hi
<i>Brassica napus</i> × No -Sterile × 35 °c	14.08ab	0.07hi
<i>Brassica napus</i> × No -Sterile × 45 °c	14.44a	0.06i

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بدون تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد هستند.

*Means in each column having at least same letter are not significantly difference at 1% level of probability.



شکل ۳- برهمکنش دوجانبه تیمارهای مورد مطالعه بر سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز تاج‌خروس و جو دره.

Figure 3. The effect of studied treats on seedling emergence rate of *Amaranthus* and *Hordeum spontaneum*.

نتیجه‌گیری کلی

به تبع آن، افزایش آزادسازی مواد دگرآسیب در خاک سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز کاهش یافت.

نتایج نشان داد که بقایای گیاهان زراعی کلزا و جو در خاک، می‌توانند از رشد و توسعه علف‌های هرز تاج‌خروس ریشه قرمز و جودره جلوگیری کنند. اگرچه بقایای کلزا اثر منفی بیشتری بر ویژگی‌های استقرار گیاهچه و سبز شدن علف‌های هرز داشت؛ با این حال، هر دو گیاه کلزا و جو توانستند فرآیند سبز شدن علف‌های هرز مورد مطالعه را مختل کنند؛ بنابراین، به‌طور کلی می‌توان گفت حفظ بقایای گیاهی و تقویت جمعیت میکروارگانیزم‌های خاک می‌تواند با کنترل نسبی جمعیت علف‌های هرز، در کاهش موارد مصرف علف‌کش‌ها و بروز مقاومت به آن‌ها جلوگیری کند. این عمل علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی می‌تواند در جهت حفظ محیط‌زیست و پایداری سیستم کشاورزی نیز حائز اهمیت باشد.

در شرایط خاک مزرعه، با کاربرد بقایای کلزا و جو درصد و سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز تاج‌خروس و جودره کاهش و میانگین زمان لازم برای سبز شدن افزایش یافت. با توجه به اینکه دگرآسیبی اغلب زمانی می‌تواند بروز کند که میکروارگانیزم‌های خاک قادر به تجزیه مواد دگرآسیب باشند تا مواد در خاک انباشته شده و تأثیرگذار باشند، بنابراین در خاک استریل شده احتمالاً به دلیل کاهش جمعیت میکروارگانیزم‌های خاک، سرعت تجزیه بقایا و آزادسازی مواد دگرآسیب، وضعیت برعکس بوده و بیشترین درصد و سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز در تیمار بدون بقایای گیاهی مشاهده شد. همچنین در تیمار بدون بقایای گیاهی، با افزایش دمای خاک سرعت ظهور گیاهچه علف‌های هرز افزایش و با کاربرد بقایای گیاهی جو و کلزا احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت میکروارگانیزم‌ها و تجزیه‌کنندگان خاک و

منابع

- Anonymous. 2012. Handbook for Seedling Evaluation (3rd. ed.). International Seed Testing Association (ISTA), Zurich, Switzerland.
- Baghestani, M.A. 2008. Investigating efficiency of sulfosulfuron (Apyros 75 WDG) on different species of wild barley (*Hordeum* spp.) control in wheat field. Final report of project, Iran Res. Instit. Plant Prot. 76 Pp. (In Persian).
- Barreiro, A. Lombao, A. Martin, A. Cancelo-Gonzalez, J. Carballas, T. and Diaz-Ravina, M. 2020. Soil heating at high temperatures and different water content: Effects on the soil microorganisms. *Geosci. J.* 10(9): 355.
- Choudhary, C.S. Behera, B. Basit, M. Mrunalini, K. Bhoi, T. and Lal, M. 2022. Mechanisms of allopathic interaction for sustainable weed management. *Rhizosphere.* 25: 100667.
- Dafaallah, A.B. and Ahmed, S.A. 2018. Allopathic effects of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) on seed emergence and seedling growth of some poaceous crops. *Int. J. Environ. Agric. Biotech.* 2(5): 2629-2635.
- Farhoudi, R. Modhej, A. and Alavinia, S.R. 2014. Effects of allelopathic compounds of barley (*Hordeum vulgare* L.) on seed germination, seedling growth and some antioxidant activities

- of *Chenopodium album* L. Iran J. Plant Prot. Sci. 28(2): 234-241.
- Farooq, S. and Azam, F. 2006. The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerance wheat varieties. J. Plant Physiol. 163: 629-637.
- Gage, K.L. Krausz, R.F. and Walters, S.A., 2019. Emerging challenges for weed management in herbicide-resistant crops. J. Agric Sci. 9(8): 180-194.
- Hierro, J.L. and Callaway, R.M. 2021. The ecological importance of allelopathy. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 52: 25–45.
- Humphries, T. Florentine, S.K. Dowling, K. Turville, C. and Sinclair, S. 2021. Weed management for landscape scale restoration of global temperate grasslands. Land Degrad. Dev. 32: 1090–1102.
- Iqbal, N. Khaliq, A. and Cheema, Z.A. 2020. Weed control through allopathic crop water extracts and metolachlor in cotton. Inf. Process. Agric. 7: 165–172.
- Khamare, Y. Chen, J. and Marble, S.C. 2022. Allelopathy and its application as a weed management (A review). Front Plant Sci. 13: 1034649.
- Kohli, R.K. Singh, H.P. and Batish, D.R. 2015. Allelopathy in agro ecosystems. Food Prod. USA. 447p.
- Min, A. Liu, D.L. Johnson, I.R. and Lovett, J.V. 2003. Mathematical modeling of allelopathy the dynamics of allele-chemicals from living plants in the environment. Ecol Modell. 161: 53-66.
- Nannipieri, P. Trasar-Cepeda, C. and Dick, R.P. 2018. Soil enzyme activity: A brief history and biochemistry as a basis for appropriate interpretations and meta-analysis. Biol. Fertil. Soils. 54(1): 11-19.
- Oveisi, M. Mashhadi, H.R. Baghestani, M.A. Alizadeh, H.M. and Badri, S. 2008. Assessment of the allelopathic potential of 17 Iranian barley cultivars in different development stages and their variations over 60 years of selection. Weed Biol. Manag. 8: 225–232.
- Pan, X. and Sano, Y. 2005. Fractionation of wheat straw by atmospheric acid process. Bioresour Technol. 96:1256-1263.
- Pourreza, J. and Bahrani, 2016. Allelopathic potential of wheat and canola residues on germination and initial growth of some crops and weeds in laboratory condition. J. Agroecol. 11(4): 35-47. (In Persian).
- Qasem, J.R. and Issa, N.N., 2018. Germination and growth management of some common annual weeds by phytotoxicity of selected vegetable crops. Sci. Hortic. 233: 431-445.
- SAS Institute. 2000. The SAS System for Windows, Release 8.0. Carry, NC: Statistical Analysis System Institute.
- Turk, M.A. and Tawaha, A.M. 2008. Allelopathy effects of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.). Crop. Prot. 22: 673-677.
- Wei, L. Zhu, Z. Liu, S. Xiao, M. Wang, J. Deng, Y. Kuzyakov, Y. Wu, J. and Ge, T. 2021. Temperature sensitivity (Q10) of stable, primed and easily available organic matter pools during decomposition in paddy soil. Appl. Soil Ecol. 157: p.103752.
- Xu, Y. Chen, X. Ding, L. and Kong, C.H. 2023. Allelochemical in grasslands and forests. Forests. 14: 562-584.
- Yu, L. Zhao, H. Chen, G. Yuan, S. Lan, T. and Zeng, J. 2020. Allelochemical-driven N preference switch from NO^{-3} to NH^{+4} affecting plant growth of *Cunninghamia lanceolata* hook. Plant Soil. 451: 419–434.