

## اثرات مواد آلویشیمیایی سیاهدانه بر بازدارندگی رشد علف هرز خاکشیر در مقایسه با گندم نان (*Triticum aestivum*)

الهام مددی<sup>۱</sup>، سینا فلاح<sup>۲\*</sup>، امیر صادق پور<sup>۳</sup> و حسین بارانی بیرانوند<sup>۴</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۰)

### چکیده

هدف از این مطالعه ارزیابی و تعیین اثرات سمیت عصاره سیاهدانه (*Nigella sativa*) بر جوانه زنی و رشد گیاهچه های خاکشیر (*Descurainia sophia* L.) در مزارع گندم (*Triticum aestivum*) و جداسازی و شناسایی ترکیبات مهم فعال زیستی عصاره آبی آن بود. در این راستا، دو آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. در هر آزمایش تیمارها شامل دو سطح عصاره آبی سیاهدانه (ریشه و شاخساره) و چهار غلظت عصاره (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ mL/L) بودند. نتایج نشان داد بیشترین طول ساقچه به گندم تیمار شده با ۵۰ mL/L عصاره ریشه سیاهدانه و کمترین به علف هرز خاکشیر تیمار شده با ۱۵۰ mL/L عصاره شاخساره سیاهدانه تعلق داشت. با افزایش غلظت عصاره سیاهدانه میزان شاخص بنیه گیاهچه کاهش معنی داری یافت. علاوه بر آن اثر بازدارندگی عصاره شاخساره سیاهدانه بر وزن خشک گیاهچه و درصد جوانه زنی بیشتر از عصاره ریشه آن بود. در عصاره ریشه و شاخصاره سیاهدانه ترکیبات فلاونوئیدی (به ترتیب ۱۶/۷٪، فنل (به ترتیب ۱۹/۴ و ۲۶/۷٪) و ترپنوئیدها (به ترتیب ۱۴/۵ و ۱۹/۲٪) مشاهده شد. مهار جوانه زنی و رشد گیاهچه خاکشیر به ترکیبات بازدارنده مهم شامل پلی فنل ها، فلاونوئیدها مانند اسیدهای تری کربوکسیلیک، ترکیبات آلکالوئیدی مانند مگنوفلورین، میریستین، نورارجمونین و نیجلامین نسبت داده شدند. به طور کلی نتیجه گیری می شود که عصاره سیاهدانه با داشتن سمیت قوی بر علف های هرز می تواند به توسعه علف کش های زیستی کمک کنند.

واژه های کلیدی: ترکیب شیمیایی، مهار جوانه زنی، علف کش زیستی، فلاونوئیدها، پلی فنل ها

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی دکترا و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳. استادیار، گروه گیاه، خاک و سیستم های کشاورزی، دانشگاه ایلینوی جنوبی، ایلینوی، آمریکا

۴. استادیار، گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد، اصفهان، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: falah1357@yahoo.com

## مقدمه

علف‌های هرز گیاهان ناخواسته‌ای هستند که به صورت‌های مختلف با گیاه زراعی و یا سایر گیاهان رقیب تداخل دارند. در اغلب موارد، علف‌های هرز برای کسب منابع غذایی با گیاهان زراعی رقابت می‌کنند و باعث مشکلات عدیده‌ای چون کاهش عملکرد، کاهش کیفیت محصولات زراعی و افزایش هزینه‌های تولید می‌شوند (۱۱). اگرچه برای کنترل علف‌های هرز مزارع غلات علف‌کش‌های شیمیایی متعددی در دسترس هستند، اما کاربرد گسترده آن‌ها اثر منفی بسیاری بر محیط اطراف و سلامت انسان دارند. بنابراین، انجام تحقیقات برای جایگزین‌های ایمن، کارآمد، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست ضروری است (۱۶ و ۲۳). از این نظر، بهره‌برداری از پدیده آللوپاتیک گیاهان برای مدیریت طبیعی علف‌های هرز در سیستم‌های زراعی مورد تأکید قرار گرفته است (۲۴). گیاهان آللوپاتیک انواع متابولیت‌های ثانویه (آلوشیمیایی) را آزاد می‌کنند که به سرکوب علف‌های هرز کمک می‌کنند. علاوه بر این، شیوه‌های مختلف زراعی ممکن است توانایی گیاهان در رقابت با علف‌های هرز را تقویت کند (۹). این شیوه‌ها شامل کاربرد میزان بیش‌تر بذر، فاصله کم بین گیاهان زراعی، مدیریت کود و بقایای گیاهی در خاک است که قدرت رقابت در برابر علف‌های هرز را بهبود داده و توانایی تولید مثل علف‌های هرز را کاهش می‌دهند (۹).

ترکیب مواد با فعالیت آللوپاتیک در کشاورزی می‌تواند آلودگی محیط زیست را کاهش داده و تولید کشاورزی را برای مدیریت پایدار علف‌های هرز افزایش دهد (۴۱). گیاهان با اثر آللوپاتیک قادرند مکانیسم‌های دفاعی را بر اساس سنتز برخی متابولیت‌های ثانویه توسعه دهند که در صورت رها شدن در محیط در مرحله‌ای از چرخه حیات سایر گیاهان تداخل ایجاد می‌کنند (۲۷). مواد شیمیایی آللوکمیکال از نظر ترکیب، غلظت و محل عمل، متفاوت هستند (۲۱). اثرات فیتوتوکسیک این مواد متعلق به دسته‌های مختلف ترکیبات مانند فنل‌ها، ترپن‌ها، آلکالوئیدها، پلی‌استیلن‌ها، اسیدهای چرب، پپتیدها، گلیکوزیدها

و ساپونین‌ها است (۴۶).

گیاهان ترکیب‌های آللوکمیکال را از طریق تجزیه بقایای گیاهی، ترشحات ریشه‌ای، آبشویی و تبخیر به محیط آزاد می‌کنند (۱۳ و ۴۵). همچنین تحقیقات دیگر نشان می‌دهد که گیاهان آللوپاتیک علاوه بر سرکوب علف‌های هرز، اثرات مثبتی در خاک مانند بهبود دسترسی به مواد غذایی از طریق افزایش فعالیت میکروبی خاک دارند (۴۹).

گیاهان آللوپاتیک، مواد شیمیایی سیتوتوکسیک را در محیط آزاد می‌کنند که می‌تواند توانایی آن‌ها را برای رقابت با ارگانسیم‌های اطراف برای منابع محدود افزایش دهد. گیاهان دارویی از جمله سیاهدانه (*Nigella sativa*) دارای متابولیت‌های ثانویه متعددی هستند (۴۰) که در گروه ترکیبات آللوپاتیک قرار دارند. خاصیت آللوپاتیکی این قبیل گیاهان می‌تواند به وجود فنل‌ها نسبت داده شود که از نفوذپذیری غشاء، جذب مواد غذایی، گسترش دیواره سلولی، سنتز کلروفیل، فتوسنتز و فعالیت‌های آنزیمی جلوگیری می‌کنند (۲۵). علاوه بر این، دیگر مواد شیمیایی قابل توجه مانند پلی‌فنل‌ها، کومارین‌ها، ترپنوئیدها، آلکالوئیدها، گلیکوزیدهای سیانوزینیک، کومارین‌ها، تانن‌ها، فلاونوئیدها، استروئیدها و کوئینون‌ها نیز مانع جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهان دیگر می‌شوند و تعدادی ترکیبات استخراج شده از گیاهان از قبیل سینثول، بنزوکسازینون، لپتوسپرانون، بنزوکازینون‌ها و اسید کینولینیک که در زمینه‌های مختلف برای کنترل علف‌های هرز استفاده و به‌عنوان اصلی‌ترین مواد آلوشیمی معرفی شدند (۳۵).

گندم (*Triticum aestivum*) در الگوی کشت بسیاری از کشورهای دنیا، از جمله ایران، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (۳۹) و بیش از هر محصول دیگری در دریافت کالری و پروتئین روزانه انسان نقش دارد. به‌همین دلیل، جلوگیری از کاهش عملکرد ناشی از علف‌های هرز در این محصول اهمیت بالایی برای پایداری غذا دارد (۳۹). علف‌کش‌ها و خاک‌ورزی نقش مهمی در کنترل علف‌های هرز دارند، اما استفاده از آن‌ها اغلب پیامدهای نامطلوبی برای انسان و محیط زیست به همراه

می‌شود. از طرفی رسیدگی آن زودتر از گندم است و موجب پراکنش بذر زیادی در مزرعه می‌شود. روش اصلی کنترل آن، استفاده از علف‌کش‌های مصنوعی است که دارای پیامدهای زیست محیطی و توسعه بیوتیپ‌های مقاوم به علف‌کش است (۲۰). علاوه بر این، استفاده شدید از سموم دفع آفات باعث تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و در نتیجه کاهش بهره‌وری محصول می‌شود (۷، ۲۰ و ۳۳).

هدف از تحقیق حاضر، شناسایی تأثیر آلوده‌شیمیایی عصاره گیاه دارویی سیاهدانه به‌عنوان مسئول اثرات آلوده‌شیمیایی در خاکشیر به‌عنوان یکی از علف‌های هرز مهم اقتصادی محصول گندم بود. روابط متقابل غلظت - نوع عصاره و پاسخ بین این شاخصه‌های فیتوتوکسین و پارامترهای رشد گیاهان هدف نیز مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

دو آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارها شامل عصاره آبی سیاهدانه در دو سطح (ریشه و شاخساره) و غلظت‌های عصاره در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ mL/L) بودند.

برای تهیه عصاره آبی، بوته‌های سیاهدانه در مرحله گلدهی از مزارع سیاهدانه منطقه فلارد از توابع لردگان در مرداد ماه سال ۱۳۹۹ جمع‌آوری و پس از ریشه‌شویی به آزمایشگاه منتقل و در شرایط سایه دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس خشک شدند. پس از خشک شدن اندام‌های گیاهی جداگانه آسیاب شدند تا به‌صورت پودر درآمده و نرم شوند. سپس برای تهیه محلول به نسبت ۱:۱۰ مقدار ۵۰ گرم از ریشه و شاخساره به‌طور جداگانه به ۵/۰ لیتر آب مقطر اضافه شدند. عصاره تهیه شده ۴۸ ساعت در محیط کاملاً تاریک در یخچال قرار داده شدند، سپس از پارچه تنظیف کتانی دولایه عبور داده و از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ نیز عبور داده شد تا عصاره‌ای صاف و خالص به‌دست آید، که به‌عنوان عصاره ۱۰۰٪ در نظر گرفته شد. سپس عصاره با آب مقطر رقیق و غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و

دارد. علاوه بر این، دامنه علف‌کش‌های مؤثر بر علف‌های هرز کلیدی به‌دلیل تکامل مقاومت به علف‌کش‌ها در حال کاهش است (۴۶).

از جمله تکنیک‌های مختلف کنترل علف‌های هرز در مزارع گندم می‌توان به روش‌های شیمیایی (استفاده از علف‌کش‌ها) و غیر شیمیایی (تناوب زراعی، تغییر رژیم رطوبتی خاک، مدیریت کوددهی، کشت مخلوط، استفاده از ارقام دارای قدرت رقابتی بالا، استفاده از دام و استفاده از ترکیبات دگرآسیب اشاره کرد (۴۶). با استفاده از اثرات آلوپاتیک گیاهان تولید محصولات ارگانیک در کشاورزی پایدار نیز امکان‌پذیر است. برهم‌کنش ترکیبات آلوپاتیک و علف‌های هرز ممکن است کوچک به‌نظر برسد، اما این تعامل با تغییر رفتار، تأثیر شدیدی دارد و غلظت این ترکیبات می‌تواند تحت تأثیر مراحل رشد گیاهان و شرایط محیطی باشد (۱۸). هم‌چنین تولید آلوده‌شیمیایی به قسمت‌های مختلف گیاه بستگی دارد. برگ‌ها و بقایای آنها معمولاً مهم‌ترین منبع هستند و ریشه در مقایسه با برگ‌ها اثر آلوپاتیک کمتری دارد (۱۸).

اثرات آلوپاتیک می‌تواند بر تمام عوامل اکولوژیکی مانند رشد موضعی، جانشینی تاج پوشش گیاهی، بقا، گسترش و تولید محصول تأثیر گذارد و این ترکیبات را می‌توان به‌عنوان مدلی برای تولید علف‌کش استفاده کرد (۱۸). ممانعت توسط ترکیبات آلوپاتیک تمام مراحل زندگی، از بذر تا بلوغ گیاه و جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، سطح برگ و تولید ماده خشک را در بر می‌گیرد (۱۸).

خاکشیر (*Descurainia sophia* L.) علف هرزی بسیار مهم و شایع در مزارع گندم است و باعث خسارت زیادی می‌شود. این علف هرز متعلق به تیره شب‌بو است و گیاهی دولپه، علفی و بوته‌ای با عادت رشد پاییزه و یک‌ساله است که در باغات، مزارع غلات، کلزا و یونجه رشد می‌کند. هر بوته آن بذر زیادی تولید می‌کند که این بذور ریز به‌راحتی در بانک بذر خاک قرار می‌گیرند. به‌علت هم‌زمانی جوانه‌زنی با گندم و رشد اولیه سریع‌تر از گندم موجب ایجاد رقابت شدیدی با این گیاه زراعی

جهت تعیین وزن خشک گیاهچه نیز به طور تصادفی ۵ نمونه انتخاب و با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن شدند.

به منظور محاسبه شاخص قدرت (Vitality index) از رابطه ارائه شده توسط رن و همکاران (۳۶) استفاده شد:

$$Vitality\ index = \sum (Gt \times Dt) \times S \quad (2)$$

Gt: تعداد بذور جوانه زده در روز t و Dt: تعداد روزهای شمارش از شروع آزمایش و S: میانگین طول ریشه چه است.

شاخص بنیه گیاهچه (SVI) که معیار مناسبی جهت تخمین قدرت گیاهچه است (۴۴) با استفاده از معادله ۳ تعیین شد (۲۴).

$$SVI = (GP \times SR) / 100 \quad (3)$$

در این معادله، SR: به ترتیب طول ریشه چه و ساقه چه (مجموعاً طول گیاهچه) است و GP: درصد جوانه زنی است.

درصد بازدارندگی/ارتقاء با استفاده از معادله ای که توسط چانگ و همکاران (۱۳) (اصلاح شده) ارائه شده است، محاسبه شد:

$$= \text{درصد (+) ارتقاء / (-) بازدارندگی} \quad (4)$$

$$100 \times (\text{شاهد} / \text{شاهد} - \text{تیمار})$$

برای امکان مقایسه گندم با خاکشیر، در هر گیاه همه داده ها به غلظت صفر (شاهد) تقسیم و سپس در عدد ۱۰۰ ضرب شدند و بنابراین داده ها و میانگین ها به صورت میانگین درصد کنترل مورد مقایسه قرار گرفتند (۳۸). تجزیه و تحلیل به وسیله نرم افزار آماری SAS v. 9.4 انجام شد و میانگین ها با آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند.

## نتایج و بحث

### ترکیبات عصاره سیاهدانه

تجزیه و تحلیل LC.MS از عصاره ریشه و شاخساره سیاهدانه از ۷۰٪ v.v متانول (MeOH) نشان داد که این عصاره ها حاوی مخلوطی از فلاونوئیدها، ترکیبات فنلی، ترپن ها و آلکالوئید هستند، به گونه ای که بخش اعظم ترکیبات موجود فلاونوئید (عصاره ریشه ۱۲/۹٪ و شاخساره ۱۶/۷٪)، فنل (عصاره ریشه ۱۹/۴٪ و شاخساره ۲۶/۷٪) و ترپن ها (عصاره ریشه ۱۴/۵٪ و

۱۵۰ mL/L از آن تهیه شد. لازم به ذکر است که میزان هدایت الکتریکی عصاره های تهیه شده نیز توسط EC متر اندازه گیری شد و ترکیبات عصاره ریشه و اندام هوایی توسط روش LC-mass در دو فاز مثبت و منفی با دستگاه مدل Waters Alliance 2695 HPLC-Micromass Quattro micro API Mass Spectrometer تعیین شد.

ابتدا کف هر پتری توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۱ پوشانده و سپس بر روی کاغذ صافی ۲۵ عدد بذر خاکشیر و گندم به طور جداگانه قرار داده شد. پس از اضافه کردن عصاره تیمارهای فوق الذکر، درب ظروف پتری گذاشته شده و ظروف درون اتاقک رشدی با شرایط تاریکی، با  $22 \pm 2$  درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰٪ قرار گرفتند.

شش روز پس از شروع آزمایش گیاهچه ها از هر پتری خارج شد و پارامترهای اندازه گیری و محاسبه شد. معیار جوانه زنی، خروج ریشه چه به اندازه ۲ میلی متر است (۳۷).

صفات اندازه گیری شده شامل درصد جوانه زنی، غلظت پراکسیداسیون هیدروژن، میزان پراکسیداسیون لیپیدی غشاء، محتوای پرولین، شاخص میتوزی، زیستایی سلول، طول ریشه چه و ساقه چه، وزن خشک گیاهچه، شاخص قدرت و شاخص بنیه گیاهچه بودند.

درصد جوانه زنی (GP) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$GP = 100 \times \frac{n}{N} \quad (1)$$

در این معادله، n تعداد بذور جوانه زده پس از روز ششم و N تعداد کل بذور کشت شده است (۲۲).

برای تخمین میزان پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) و میزان پراکسیداسیون لیپیدی غشا از روش نگ و همکاران استفاده شد (۳۰). همچنین محتوای پرولین نیز با روش بیتس و همکاران (۶) انجام و محاسبه شد.

پس از آنکه بذور گندم با عصاره سیاهدانه تیمار شدند شاخص میتوزی و زیستایی سلول از روش یان و همکاران (۴۷) محاسبه شد. بعد از اتمام دوره رویشی مورد نظر طول ریشه چه و ساقه چه گیاهچه توسط خط کش میلی متری اندازه گیری شد.

همچنین ۲-متیل سولفانیل-۵-پیریمیدینول (2-(methylsulfanyl)-5-pyrimidinol)، داماسکینین (damascenine)، ان-دکان (N-decane)، نیجراجیلین-تترایدرو (nigragilline)، نیجلیسیمین (nigellimine)، نیجلیدین (nigellidine)، استریچنین (strychnine)، ان-هنیکاسا (N-heneicosane)، نیجلیدون (nigellidone) (تنها در شاخصاره) بیانگر نقش مهارکنندگی آلوپاتی است. مطالعات نشان دادند که آلوپاتیها، متابولیسم ذخایر غذایی مخصوصاً نشاسته را در طی فرآیند جوانه زنی بذرهای گیاهی مانند آفتابگردان (*Helianthus annuus*) به تأخیر می‌اندازند (۲).

### جوانه زنی

در آزمایش حاضر، اثرات قابل توجهی از نوع و غلظت عصاره سیاهانه و اثر متقابل آنها بر درصد جوانه زنی گیاه گندم ( $P \leq 0.05$ ) مشاهده شد (جدول ۱). بیشترین بازدارندگی مربوط به عصاره شاخصاره و غلظت ۱۵۰ mL/L بود که درصد جوانه زنی خاکشیر را ۵۹/۵ و ۷۲/۲٪ در مقایسه با شاهد کاهش داد (شکل ۱- الف). درحالی که، تیمار عصاره شاخصاره با غلظت ۱۵۰ mL/L فقط ۹/۴٪ اثر مهاری بر درصد جوانه زنی گندم داشت (شکل ۱- ب). غلظت‌های دیگر عصاره شاخصاره نیز جوانه زنی خاکشیر را کاهش داد، اما در گندم غلظت ۵۰ mL/L عصاره ریشه و شاخصاره درصد جوانه زنی را در مقایسه با شاهد ۲/۸ و ۱۲/۴٪ افزایش داد (شکل ۱- الف). به دلیل تغییر یا عدم کفایت پارامترهای مورد نیاز جوانه زنی مانند کمبود آب یا اکسیژن، فعالیت آنزیم‌ها کاهش و سایر فعالیت‌های متابولیکی با مشکل مواجه خواهد شد. بنابراین در غلظت بالاتر عصاره، رطوبت قابل دسترس بذر کاهش یافته و سبب اختلال در فعل و انفعالات متابولیکی قبل از فرآیند جوانه زنی شده و همانند بذور کشت شده در شرایط تنش، جوانه زنی کاهش یافته است (۲۸).

مهاری بر درصد جوانه زنی گندم داشت (شکل ۱- الف). غلظت‌های دیگر عصاره شاخصاره نیز جوانه زنی خاکشیر را کاهش داد، اما در گندم غلظت ۵۰ mL/L عصاره ریشه و شاخصاره درصد جوانه زنی را در مقایسه با شاهد ۲/۸ و ۱۲/۴٪ درصد افزایش داد (شکل ۱

شاخصاره ۱۹/۲٪) بودند. علاوه بر این، ۶/۵٪ از ترکیبات عصاره ریشه و ۲۵٪ عصاره ترکیبات شاخصاره را آلوپاتیها تشکیل داده‌اند، همچنین عصاره این گیاه حاوی ساپونین به میزان ۱/۶٪ در ریشه و ۴/۲٪ در شاخصاره بود. در عصاره شاخصاره همچنین شاهد وجود لایمین، کوئینون و کومارین بودیم. ترکیبات مشابه که علاوه بر شاخصاره (با درصد بیشتر) در عصاره ریشه یافت شد عبارت بودند از: چند ترکیب از گروه فلاونوئیدها، لایمین و ترکیبات فنلی، همچنین ترکیباتی چون سیکلوآرتنول (cycloartenol)، دی‌لیمونن (D-limonen)، میرسن (myrcene)، آلفاپینن ( $\alpha$ -pinene)، پارا-سیامین (P-cymene)، کارواکرول (carvacrol)، کاروون (carvone)، تیمول (thymol) (THY)، تیموکینون (thymoquinone)، آپول (apiol)، میرستیسین (myristicin)، آلفا بیسابولول ( $\alpha$ -bisabolol)، فarnesol)، برخی اسیدهای چرب و غیره.

عصاره‌های استفاده شده دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۰/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر بودند، بنابراین اثرات مشاهده شده در فرایندهای سلولی گیاهچه خاکشیر و گندم مستقل از شوری است و به عنوان اثرات فیتوتوکسین‌های موجود در عصاره‌ها مربوط می‌شوند. از آنجا که شوری عصاره می‌تواند باعث تغییراتی در فرایندهای سلولی شود و این اثرات احتمالی با فیتوتوکسیک مواد آلوپاتییک اشتباه می‌شوند، سنجش هدایت الکتریکی عصاره ضروری است (۱۰).

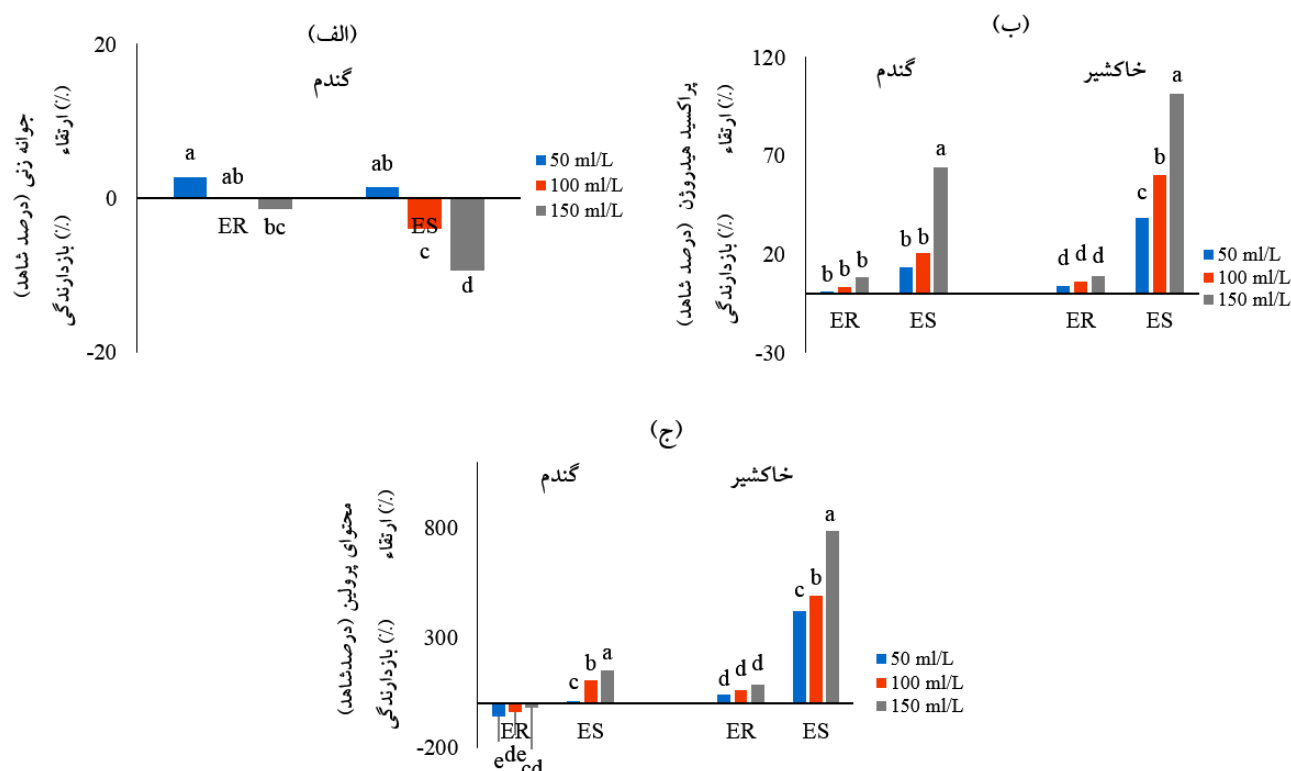
وجود pyridine-3-carboxylic acid که نوعی ویتامین ب<sup>۳</sup> است، در عصاره ریشه گیاه سیاهانه، می‌تواند تا حدودی تحمل تنش گیاهچه‌های تیمار شده با عصاره ریشه را نشان دهد، زیرا ویتامین‌های گروه ب محلول در آب بوده و می‌توانند نقش مهمی در مهار گونه‌های فعال اکسیژن و همچنین تحریک غیرمستقیم ساخت پرولین داشته باشند که در مواجهه گیاه با تنش در مسیر پنتوز فسفات دخیل هستند (۱۷).

وجود ترکیبات آلوپاتی شامل مگنوفلورین (magnoflorine) (در شاخصاره و به مقدار اندک در ریشه)، میرستیسین (myristicin)، نورارجمونین (norargemonine) و نیجلامین (nigellamine (A1, A2, A3, B1, B2, C, D)،

جدول ۱. درصد بازدارندگی ارقاء جوانه‌زنی، پراکسید هیدروژن، مالون‌دی‌آل‌دئید، محتوای پروتئین، نسبت جذب ایوانزبلو، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه، شاخص قدرت و شاخص بنیه گیاهچه گندم و خاکشیر در حضور انواع و غلظت‌های مختلف عصاره سیاه‌دانه.

تیمارها	درصد کنترل										تیمارها
	شاخص بنیه گیاهچه	شاخص قدرت	وزن خشک گیاهچه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول ایوانزبلو	نسبت جذب ایوانزبلو	محتوای پروتئین	مالتون‌دی‌آل‌دئید	پراکسید هیدروژن	جوانه‌زنی
خاکشیر	گندم	خاکشیر	گندم	خاکشیر	گندم	خاکشیر	گندم	خاکشیر	گندم	خاکشیر	گندم
۴۵/۱ <sup>a</sup>	۹۶/۶ <sup>a</sup>	۴۷/۲ <sup>a</sup>	۱۱۱ <sup>a</sup>	۷۲/۶ <sup>a</sup>	۸۸/۵ <sup>a</sup>	۸۲/۵ <sup>a</sup>	۹۶/۸ <sup>a</sup>	۸۷/۶ <sup>a</sup>	۱۰۳ <sup>a</sup>	۱۰۴ <sup>b</sup>	۵۱/۹ <sup>a</sup>
۲۰/۶ <sup>b</sup>	۶۳/۶ <sup>b</sup>	۱۸/۹ <sup>b</sup>	۶۹/۹ <sup>b</sup>	۳۷/۶ <sup>b</sup>	۶۶/۹ <sup>b</sup>	۵۸/۶ <sup>b</sup>	۷۶/۵ <sup>b</sup>	۶۶/۴ <sup>b</sup>	۴۶/۴ <sup>b</sup>	۱۳۳ <sup>a</sup>	۹۵/۹ <sup>b</sup>
۴۷/۲ <sup>a</sup>	۹۵/۵ <sup>a</sup>	۵۳/۶ <sup>a</sup>	۱۰۵ <sup>a</sup>	۶۳/۵ <sup>a</sup>	۷۴/۱ <sup>a</sup>	۷۴/۱ <sup>a</sup>	۹۲/۴ <sup>a</sup>	۹۵/۳ <sup>a</sup>	۱۱۱ <sup>c</sup>	۱۰۷ <sup>b</sup>	۶۱/۹ <sup>a</sup>
۳۳/۹ <sup>b</sup>	۷۴/۴ <sup>b</sup>	۳۱/۱ <sup>b</sup>	۸۰/۱ <sup>b</sup>	۵۵/۱ <sup>b</sup>	۷۳/۳ <sup>b</sup>	۷۲/۷ <sup>b</sup>	۶۵/۱ <sup>b</sup>	۳۷/۶ <sup>b</sup>	۴۱/۳ <sup>b</sup>	۱۱۲ <sup>b</sup>	۹۸/۵ <sup>b</sup>
۱۷/۵ <sup>c</sup>	۶۵/۵ <sup>c</sup>	۱۴/۶ <sup>c</sup>	۶۱/۹ <sup>c</sup>	۴۷/۳ <sup>c</sup>	۶۹/۹ <sup>c</sup>	۶۹/۷ <sup>c</sup>	۵۶/۳ <sup>c</sup>	۵۳/۴ <sup>a</sup>	۴۶/۳ <sup>a</sup>	۱۵۵ <sup>a</sup>	۹۴/۶ <sup>c</sup>
تجزیه واریانس											
نوع عصاره (E)											
غلظت عصاره (C)											
E × C											
**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
*	NS	**	NS	*	NS	NS	NS	**	NS	*	*

در هر گروه میانگین حروف مشابه در  $P < 0.05$  (آزمون LSD) از نظر آماری معنی‌دار نبود. NS، \*\* و \* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در  $P < 0.01$  و  $P < 0.05$  بود.



شکل ۱. درصد بازدارندگی/ارتقاء درصد جوانه‌زنی گندم (الف)، پراکسید هیدروژن گندم و خاکشیر (ب) و محتوای پروتئین گندم و خاکشیر (ج) با انواع و غلظت‌های مختلف عصاره سیاهدانه. ER و ES نشان‌دهنده عصاره ریشه و عصاره شاخساره است. در هر گیاه، حروف مختلف تفاوت معنی‌داری را در  $P < 0.05$  نشان می‌دهند.

هیدروکاروون (dihydrocarvone)، پلاندرال (phellandral) و دلاکونین (dolaconine) (در شاخساره).

با افزایش غلظت عصاره، میزان جوانه‌زنی بذر در هر دو گونه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، اما در علف هرز خاکشیر با شیب بیشتری بود (جدول ۱). علاوه بر این، در عصاره شاخساره سیاهدانه، میزان فنل‌های بیشتری در مقایسه با ریشه مشاهده شد، به‌همین دلیل می‌توان نقش بیشتر مهارکنندگی ترکیبات فنلی را در ممانعت از جوانه‌زنی و افزایش کشیدگی ریشه تأیید نمود که متعاقباً در رشد طبیعی و رشد کل گیاهان، بالاخص خاکشیر، اختلال ایجاد می‌کند. اسیدهای آلی موجود در عصاره سیاهدانه مانند اسید فرولیک (ferulic acid)، اسید اکتادکانوئیک (octadecenoic acid)، اسید اولئیک (oleic acid)، اسید لینولئیک (linoleic acid)، اسید پالمیتیک (palmitic acid)، اسید سیتریک (citric acid)، اسید کوماریک (coumaric acid)

عملکردهای طبیعی ترپنوئیدها (مونوترپن و سسکویی‌ترپن‌ها) بسیار متنوع است و اثرات مهارکننده قوی بر روی رشد گیاه و جوانه‌زنی بذر دارند. تعدادی از موارد شناخته شده آنها در عصاره سیاهدانه عبارتند از: الکل‌های ترپن مانند سیکلوآرتنول (cycloartenol)، بیسابولول (bisabolol)، لیمونن (limonen)، پاراسیمن (P-cymene)، O-سیمن (O-cymene)، گاماترپین (γ-terpinene)، فarnesol (farnesol)، او-۸-سینئول (1,8-cineole)، آلفاتوجن (α-thujene)، سابینن (sabinene)، ترپینولن (terpinolene)، آلفاپینن (α-pinene)، بتاپینن (β-pinene)، میرسن (myrcene)، پاراسیمن-۸-ال (P-cymen-8-ol)، دی‌ال-آرابینوز (DL-arabinose)، کارواکرول (carvacrol) و تیمول (thymol) (در ریشه با نسبت کمتر و شاخساره با نسبت بیشتر)، کاریوفیلن اکسید (caryophyllene oxide)، فنشون (fenchone)، دی-

در گیاهان چندین نوع ROS در کنترل فرایندهایی مانند رشد، پاسخ به محرک‌های زیست محیطی و غیرزنده، دفاع پاتوژن و رفتار روزنه دارند. همچنین مواد شیمیایی طبیعی می‌توانند تولید ROS را در گیاهان گیرنده افزایش دهند (۴). با تولید ROS توسط عصاره سیاهدانه در گیاهچه گندم و خاکشیر (جدول ۱)، ممکن است در زنجیره انتقال الکترون تداخل ایجاد شود. از طرفی ROS احتمالاً نقش مهمی در مهار رشد ناشی از سیاهدانه دارد که این نقش را طبق مطالعه حاضر می‌توان به حضور فلاونوئیدهای موجود در عصاره سیاهدانه از جمله ان-نونانول (N-nonanol)، ان-دکان (N-decane)، نارینژنین (naringenin)، کامفرول (kaempferol)، آپیزنین (apigenin)، لتولین (leteolin)، کوئرستین (quercetin) و ایزورهمنتین (isorhamnetin) مربوط دانست.

#### پراکسیداسیون لیپید

تأثیر نوع و غلظت عصاره بر پراکسیداسیون لیپید هر دو گیاه از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). در هر دو گیاه، عصاره شاخساره، پراکسیداسیون لیپید بیشتری نسبت به ریشه داشت و میزان پراکسیداسیون لیپید وابسته به غلظت بود. بیشترین پراکسیداسیون لیپید در خاکشیر و گندم تیمار شده با ۱۵۰ mL/L عصاره شاخساره به ترتیب ۳/۶۳ و ۱/۰۷ برابر شاهد ثبت شد. اثر متقابل نوع و غلظت عصاره برای میزان پراکسیداسیون لیپید هیچ یک از گیاهان معنی‌دار نبود (جدول ۱). در گندم، بین ۵۰ تا ۱۰۰ mL/L برای عصاره ریشه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۱).

دلیل افزایش غلظت مالون‌دی‌آلدئید نتیجه مستقیم فراوانی پراکسیداسیون لیپیدی از جمله لیپیدهای غشایی است. تجزیه این لیپیدها منجر به کاهش انسجام و پایداری غشاءهای سیتوپلاسمی می‌شوند. بنابراین عصاره سیاهدانه با تأثیر بر پراکسیداسیون لیپید غشاء و آسیب اکسیداتیو (جدول ۱ و شکل ۱-ب) و در نتیجه شکستن چربی‌ها، موجب تغییر در نفوذپذیری و سیالیت لایه‌های لیپیدی غشاء شده و می‌تواند

اسید ۲-بوتانئیک (2-butenic acid)، اسید اکوسانوئیک (eicosanoic acid) و اسید مالیک (malic acid) (در عصاره شاخساره)، که خود زیرمجموعه فنلیک‌ها محسوب می‌شوند، از جوانه‌زنی بسیاری از بذور جلوگیری کرده و اثرات آلوپاتی را بر روی فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی (مهار تقسیم سلولی، طولیل شدن و ساختارهای زیرمیکروسکوپی، مهار جذب مواد مغذی گیاهان، ممانعت از سنتز هورمون‌های درون‌زای گیاه و سنتز پروتئین) در گیاهان اعمال می‌کنند، به‌طوری‌که در بسیاری از موارد درصد جوانه‌زنی بذور گیاهان در غلظت ۱۵۰ mL/L عصاره به صفر نزدیک شد و به‌نظر می‌رسد که مواد آلوکشیمیایی موجود در عصاره شاخساره، قبل از سایر مکانیسم‌ها، سبب مهار آنزیم‌های مورد نیاز در جوانه‌زنی بذر می‌شود. ممکن است رابطه مستقیمی بین سطح پایین جوانه‌زنی، رشد و نمو گیاه و کاهش جذب آب و فعالیت لیپاز با وجود فیتوتوکسین‌ها در خاک وجود داشته باشد (۴۵).

#### پراکسید هیدروژن

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که استفاده از غلظت‌های مختلف عصاره سیاهدانه باعث تغییر معنی‌داری در مقدار پراکسید هیدروژن در خاکشیر و گندم شد ( $P \leq 0.01$ ) (جدول ۱). اگرچه با افزایش غلظت عصاره‌های ریشه و شاخساره سیاهدانه، مقدار پراکسید هیدروژن افزایش یافت، اما این روند در خاکشیر نسبت به گندم شیب بیشتری داشت (شکل ۱-ب). بیشترین میزان پراکسید هیدروژن در خاکشیر با ۱۵۰ mL/L عصاره شاخساره (۱/۰۱ برابر نسبت به شاهد) و کمترین آن در تیمار ریشه با غلظت ۵۰ mL/L سیاهدانه (به میزان ۲۳/۵۸٪ افزایش نسبت به شاهد) مشاهده شد. غلظت‌های دیگر عصاره شاخساره و حتی غلظت‌های مختلف عصاره ریشه نیز مقدار پراکسید هیدروژن در خاکشیر را افزایش داد (شکل ۱-ب). در حالی‌که در گندم، تنها غلظت ۱۵۰ mL/L عصاره شاخساره تفاوت معنی‌داری در میزان پراکسید هیدروژن ایجاد کرد و سایر غلظت‌ها مقدار پراکسید هیدروژن را تغییر نداد (شکل ۱-ب).



به‌طور چشمگیری یکپارچگی سلول را تغییر دهد (جدول ۱).

### محتوای پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات اصلی نوع و غلظت عصاره سیاهدانه و اثر متقابل آنها بر میزان پرولین معنی‌دار بود ( $P \leq 0.01$ ) (جدول ۱). اگرچه بیشترین میزان آن در خاکشیر با بیشترین غلظت عصاره شاخساره (۱۵۰ mL/L) مشاهده شد، اما سایر غلظت‌های عصاره شاخساره نیز دارای محتوای پرولین بالایی بودند (شکل ۱-ج). با این حال، میزان پرولین این تیمار برای گندم بسیار کمتر از خاکشیر و میزان پرولین خاکشیر حدود ۵ برابر گندم بود (شکل ۱-ج). محتوای پرولین خاکشیر تحت درمان با عصاره ریشه تغییر چندانی نکرد، اما میزان پرولین گیاه گندم تیمار شده با عصاره ریشه سیاهدانه حتی کمتر از شاهد بود (شکل ۱-ج).

پرولین به‌عنوان پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می‌دهد و گیاه را در تحمل تنش یاری می‌نماید (۱۸ و ۴۳). در گندم و خاکشیر نیز پرولین آزاد در پاسخ به تنش ایجاد شده تجمع یافته و در نتیجه می‌تواند به‌عنوان یک مولکول سیگنالینگ برای تعدیل چند عملکرد مانند تنظیم اسمزی، سم‌زدایی از ROS و محافظت از یکپارچگی غشاء عمل کند، تجمع پرولین نیز با تولید ROS تحت تنش (تنش اکسیداتیو) همراه است که در آزمایش حاضر وجود پراکسید هیدروژن (شکل ۱-ب) ناشی از عصاره سیاهدانه، موجب تولید پرولین بیشتر در گیاه خاکشیر نسبت به گندم و در مورد به‌کارگیری عصاره شاخساره با غلظت بالاتر برای کاهش این اکسیدها دیده شد (شکل ۱-ج).

### شاخص میتوزی

اگرچه برای ارزیابی شاخص میتوزی خاکشیر و گندم چندین روش مورد آزمایش قرار گرفت، اما به‌دلیل اندازه کوچک سلول‌های خاکشیر و عدم تفکیک مناسب، فقط نتایج شاخص میتوز گندم ثبت شد. شاخص میتوزی گیاهچه گندم به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نوع و غلظت عصاره سیاهدانه و تداخل هر

دو عامل قرار گرفت (جدول ۲). همان‌طور که در شکل ۲-الف نشان داده شده است، در غلظت ۵۰ mL/L عصاره سیاهدانه، شاخص میتوزی نوک ریشه گندم بیش از ۷۰٪ و روند مهار آن در مقایسه با شاهد ۳۰٪ گزارش شده است. صفت مذکور کاهش بیشتری در غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ mL/L عصاره ریشه نسبت به غلظت ۵۰ mL/L نشان داد. همه غلظت‌های عصاره شاخساره از نظر مهار تقسیم میتوز در مقایسه با عصاره ریشه قوی‌تر بودند (شکل ۲-الف)، به گونه‌ای که حتی شدت مهار تقسیم میتوز با غلظت ۵۰ mL/L عصاره شاخساره، ۲۲٪ بیشتر از میزان اثر غلظت ۱۵۰ mL/L عصاره ریشه بود (شکل ۲-الف).

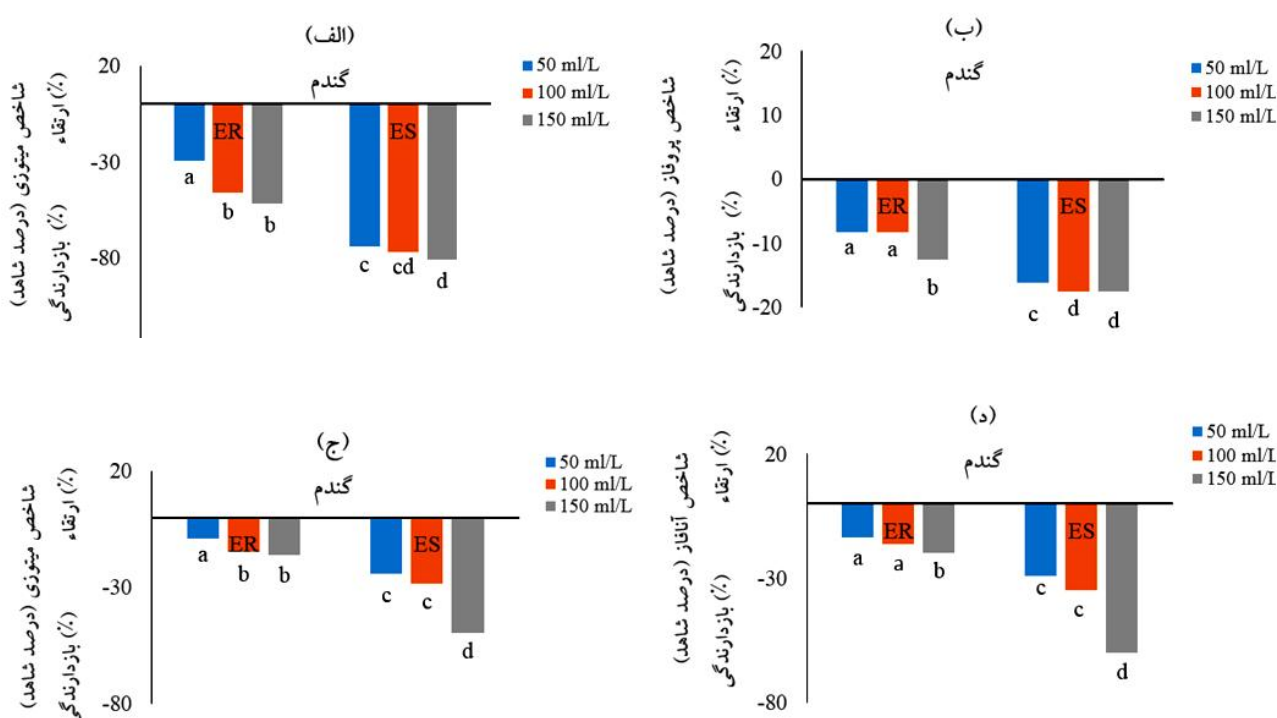
پاسخ مراحل تقسیم سلولی به نوع عصاره، به جز در مرحله پروفاز، مشابه شاخص میتوز بود. با این حال، یافته‌های ما تأثیر وابسته به غلظت عصاره را بر مراحل تقسیم سلولی گندم نشان داد و بیشترین و کمترین میزان هر تقسیم سلولی به‌ترتیب با کمترین و بیشترین غلظت عصاره ثبت شد (جدول ۲).

مالکار و همکاران (۲۹) معتقدند که در غلظت‌های بالا، مواد آلوده‌کننده دارای نقش بازدارنده بر خصوصیات رشدی برخی گیاهان هدف هستند اما غلظت‌های پایین این مواد تأثیرات متفاوتی از خود نشان می‌دهند. عوامل شیمیایی خاصی توانایی مهار میتوز را دارند و بر فعالیت کیناز وابسته به سیکلین (CDK)، سنتز DNA و میکروتوبول تأثیر می‌گذارند (۳۴). با توجه به اینکه تعداد و مقدار ترکیباتی مانند پلی‌فنل‌ها، فلاونوئیدها، کومارین‌ها، ترپنوئیدها، کوئینون‌ها و آلکالوئیدها، در عصاره شاخساره بیش از عصاره دیگر بود، احتمالاً عصاره شاخساره منجر به تأثیر بر توابع آنزیمی کلیدی، تنفس، رونویسی، سنتز پروتئین، پایداری غشاء، انتقال سیگنال، انتقال الکترون، سنتز هورمون‌های درون‌زای گیاه، مهار تقسیم سلولی و همانندسازی شده و در نهایت با اتصال به آنزیم‌های پردازش DNA یا DNA/RNA و پیوند به آنها، می‌تواند بیش از عصاره ریشه، همانندسازی یا رونویسی را مختل کنند (جدول ۲ و شکل ۲-الف).

جدول ۲. درصد بازدارندگی/ارتقاء شاخص میتوزی، شاخص پروفاز، شاخص متافاز، شاخص آنافاز و شاخص تلوفاز گندم در حضور انواع و غلظت‌های مختلف عصاره سیاهدانه

تیماها	شاخص میتوزی	شاخص پروفاز	شاخص متافاز	شاخص آنافاز	شاخص تلوفاز	
	درصد کنترل					
نوع عصاره	ریشه	۵۷/۶ <sup>a</sup>	۸۹/۹ <sup>a</sup>	۸۶/۶ <sup>a</sup>	۸۳/۵ <sup>a</sup>	۹۰/۱ <sup>a</sup>
	شاخساره	۲۲/۹ <sup>b</sup>	۸۲/۹ <sup>a</sup>	۶۵/۸ <sup>b</sup>	۵۸/۷ <sup>b</sup>	۶۰/۳ <sup>b</sup>
غلظت عصاره	۵۰	۴۸/۴ <sup>a</sup>	۸۷/۸ <sup>a</sup>	۸۳/۲ <sup>a</sup>	۷۸/۶ <sup>a</sup>	۷۹/۶ <sup>a</sup>
	۱۰۰	۳۸/۴ <sup>b</sup>	۸۶/۵ <sup>b</sup>	۷۸/۵ <sup>b</sup>	۷۴/۵ <sup>b</sup>	۷۴/۳ <sup>b</sup>
	۱۵۰	۳۳/۹ <sup>b</sup>	۸۴/۹ <sup>c</sup>	۶۷/۱ <sup>c</sup>	۶۰/۲ <sup>c</sup>	۷۱/۷ <sup>c</sup>
تجزیه واریانس						
نوع عصاره (E)	**	**	**	**	**	**
غلظت عصاره (C)	**	**	**	**	**	**
E × C	**	**	**	**	**	NS

میانگین حروف مشابه در  $P < 0.05$  (آزمون LSD) از نظر آماری معنی‌دار نبود. NS و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در  $P < 0.01$  بود.



شکل ۲. درصد بازدارندگی شاخص میتوزی (الف)، شاخص پروفاز (ب)، شاخص متافاز (ج) و شاخص آنافاز گندم (د) با انواع و غلظت‌های مختلف عصاره سیاهدانه. ES و ER نشان‌دهنده عصاره ریشه و عصاره شاخساره است. در هر گیاه، حروف مختلف تفاوت معنی‌داری را در  $P < 0.05$  نشان می‌دهند.

زنده ماندن سلول گندم تحت درمان با عصاره ریشه حتی افزایش یافته بود (شکل ۳-الف).

کاهش زنده ماندن سلول‌های انتهایی ریشه در غلظت‌های بالای عصاره شاخساره (مرگ سلولی و مرگ دو برابری سلول‌های گیاه خاکشیر در مقایسه با گندم) بیانگر وجود مواد بازدارنده تقسیم سلولی در سیاهدانه و حساسیت مختلف گونه‌ها به این مواد بازدارنده بود (جدول ۱). از آنجا که مقدار مواد آلوپاتیک بازدارنده رشد در اندام‌های مختلف متفاوت گزارش شده است (۸) لذا علت اثر بازدارندگی کم عصاره ریشه را می‌توان به پایین بودن میزان پرولین و وجود pyridine-3-carboxylic acid (ویتامین ب ۳) نسبت داد. بنابراین اندام‌های گیاه سیاهدانه نیز دارای ترکیبات بازدارنده رشد هستند و حساسیت سلول‌های خاکشیر به این مواد بیشتر از سلول‌های گندم بوده است.

#### طول ریشه‌چه

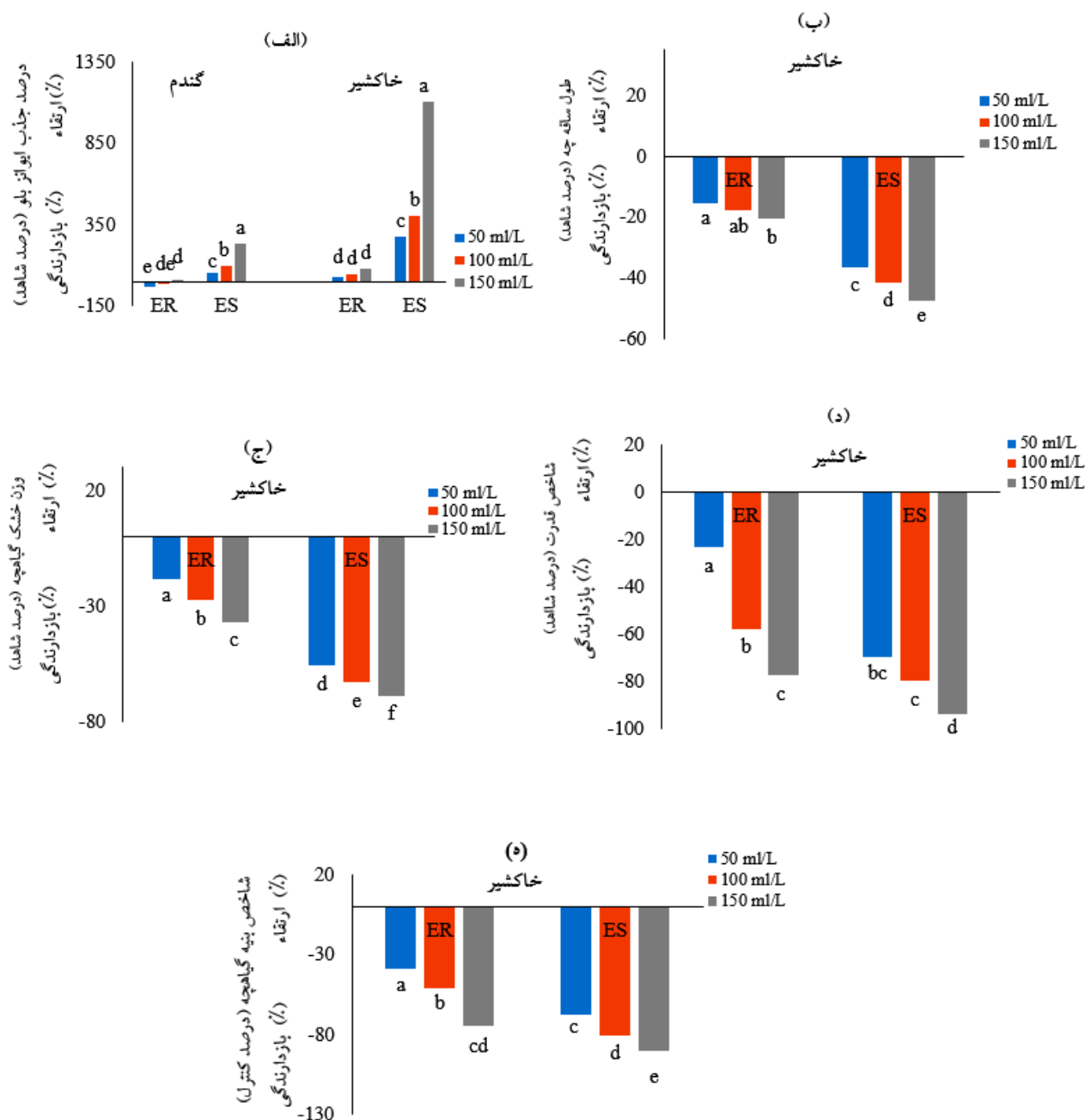
داده‌های جدول تجزیه واریانس نشان داد که نوع و غلظت عصاره سیاهدانه تأثیر معنی‌داری ( $P \leq 0.01$ ) بر رشد طولی ریشه‌چه‌های خاکشیر و گندم داشت (جدول ۱). عصاره ریشه و شاخساره طول ریشه‌چه خاکشیر را به ترتیب ۱۲ و ۵۳٪ کاهش دادند، در حالی‌که عصاره ریشه طول ریشه گندم را ۱/۵٪ افزایش و عصاره شاخساره ۴۴٪ کاهش داد (جدول ۱). در این مطالعه مهار وابسته به غلظت در مواجهه با عصاره سیاهدانه طول ریشه‌چه را کاهش داد. کاهش طول ریشه‌چه در غلظت‌های مختلف عصاره در خاکشیر بین ۲۰/۵ تا ۴۳/۷٪ در مقایسه با شاهد متفاوت بود (جدول ۱)، در حالی‌که استفاده از حداکثر غلظت عصاره در گندم، تنها ۳۰٪ طول ریشه‌چه را کاهش داد (جدول ۱).

به‌طور کلی، کاهش طول ریشه‌چه ممکن است بیانگر این نکته باشد که طولی شدن سلول‌ها از طریق ممانعت از عمل جیبرلین و ایندول استیک اسید و یا احتمالاً با برهم زدن تعادل جیبرلین و اتیلن، به‌وسیله عوامل آلوپاتیک تحت تأثیر قرار

پس از اعمال تیمار، تعداد سلول‌ها در تمام مراحل میتوزی (شکل ۲-ب، ج و د) در ریشه گندم به سرعت کاهش یافت، که نشان می‌دهد این ترکیب ممکن است در فاز خاصی از چرخه سلولی تداخل ایجاد کرده و از ورود سلول به میتوز جلوگیری کند، لذا مهار میتوز توسط این ترکیب به‌وضوح یکی از عواملی است که باعث کاهش رشد ریشه می‌شود (جدول ۲). در واقع فلاونوئیدها و کومارین موجود در عصاره سیاهدانه، از طریق ممانعت از تقسیم سلولی و طولی شدن سلول در مراحل جوانه‌زنی سبب بازدارندگی، جوانه‌زنی و کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بذر علف هرز خاکشیر می‌شود. لذا وجود ترکیبات آلوپاتیک مانند فلاونوئیدها و کوئینون‌ها مانند دی‌تیموکینون (TQD3 (dithymoquinone)، بنزوکیونین (TQD1 (benzoquinone)، ۲-بنزوکیونین (1,2-benzoquinone)، ۲،۳،۶-تری‌متی-فنل-۴-متوکسی (2,3,6-trimethy-phenol-4-methoxy)، تیموهایدروکیونین (thymohydroquinone)، سیکلودودسن (cyclododecene)، پلاستوکیونین (plastoquinone) و سایر ترکیبات فنلی و اسیدهای تری کربوکسیلیک در عصاره آبی سیاهدانه، با تخریب غشاهای سلولی و تأثیر منفی بر فعالیت آنزیم‌های گیاهان در مرحله جوانه‌زنی، سبب کاهش رشد گیاهچه گیاهان مورد مطالعه در این تحقیق شدند.

#### زیستایی سلول

تأثیر نوع و غلظت عصاره و تداخل این عوامل بر جذب ایوانزبلو (EB) در خاکشیر و گندم قابل توجه بود (جدول ۱). جذب EB نشان‌دهنده یک رابطه منفی با زنده ماندن سلول است. با افزایش غلظت عصاره شاخساره، میزان جذب EB افزایش یافته و میزان افزایش در خاکشیر بیشتر از گندم بود (شکل ۳-الف). غلظت ۱۵۰ mL/L عصاره شاخساره در افزایش جذب EB در خاکشیر و گندم به ترتیب ۱۱/۱ و ۲/۲۹ برابر شاهد تأثیرگذار بود. اگرچه غلظت‌های مختلف عصاره ریشه تفاوت قابل توجهی در جذب EB خاکشیر نشان نداد، اما این غلظت‌ها باعث کاهش زنده ماندن سلول شد. در حالی‌که،



شکل ۳. درصد بازدارندگی/ارتقاء درصد جذب ایوانزبلو در گندم و خاکشیر (الف)، طول ساقه‌چه خاکشیر (ب)، وزن خشک گیاهچه خاکشیر (ج)، شاخص قدرت (د) و شاخص بنیه گیاهچه خاکشیر (ه) با انواع و غلظت‌های مختلف عصاره سیاهدانه. ER و ES نشان‌دهنده عصاره ریشه و عصاره شاخساره است. در هر گیاه، حروف مختلف تفاوت معنی‌داری را در  $P < 0.05$  نشان می‌دهند.

حساسی نسبت به فیتوتوکسین‌ها است. همچنین به دلیل نبود مواد مترشح از کلاهک ریشه و در نتیجه کمی لعاب نوک ریشه، مواد آلوکمیkal به راحتی به دیواره‌های سلولی نفوذ می‌کنند. ترشحات ریشه‌ای و مواد آلوکمیkal علاوه بر اینکه

گرفته باشد (۵ و ۳۱). آمو و همکاران (۳) گزارش کردند بر اثر مصرف آلوکمیkal، توانایی گیاهان برای رشد نرمال در نتیجه کاهش طول ریشه‌چه و نکروزه شدن آن به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و بیان کردند که طول ریشه، شاخص

به دلیل به وجود آمدن پتانسیل اسمزی منفی‌تر در محیط جوانه‌زنی، میزان جذب آب توسط بذر کاهش و در نتیجه انجام فعالیت‌های متابولیکی مانند تجزیه ترکیبات بزرگ‌تر به مواد حدواسط و انتقال آنها به محل مصرف کاهش و در نتیجه خروج ریشه‌چه و ساقه‌چه به ترتیب دیرتر آغاز شد و در نهایت رشد گیاهچه کاهش یافت (۱).

### وزن خشک گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غلظت و عصاره اندام‌های مختلف بر وزن خشک گیاهچه هر دو گیاه تأثیر معنی‌داری داشت ( $P \leq 0.01$ ) (جدول ۱)، اگرچه تعامل این دو جزء تنها بر علف هرز مورد مطالعه معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ) (جدول ۱). بیشترین روند کاهشی وزن خشک گیاهچه با استفاده از عصاره شاخساره سیاهدانه مربوط به خاکشیر (۶/۴٪) و گندم (۳۳٪) بود. علاوه بر این، غلظت‌های مختلف عصاره، وزن خشک خاکشیر را در حدود ۳۷ تا ۵۲/۷٪ در مقایسه با شاهد کاهش داد (جدول ۱). عصاره ریشه با غلظت‌های مختلف طول گیاهچه خاکشیر را بین ۱۸ تا ۳۶/۶٪، اما عصاره شاخساره این خصوصیت را بین ۵۵/۸ تا ۶۸/۹٪ کاهش داد (شکل ۳-ج). تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره بر گندم روند مشابه اما با شیب کمتر داشت و در مقایسه با شاهد حدود ۱۱/۴ تا ۳۰٪ کاهش نشان داد (جدول ۱).

کاهش وزن خشک گیاهچه را به کاهش جذب عناصر غذایی، آب و کاهش برگ‌های فتوسنتز کننده و در نتیجه ترکیبات آلوکیمیکال نسبت دادند (۱۴). در برخی از مطالعات گزارش شده است که مواد آلوده‌کننده احتمالاً با برهم زدن تعادل جیبرلین و اتیلن، تقسیم سلولی و متابولیسم سلولی را کاهش داده و در نتیجه این امر، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز کاهش یافته و یا متوقف شده است (۵).

### شاخص قدرت

عصاره سیاهدانه در غلظت‌های مختلف توانست پتانسیل‌های

مانع جذب یون می‌شوند، به‌طور معنی‌داری تراوش یون از ریشه را افزایش داده، که این بر اختلال در عملکرد غشای سلولی سلول‌های ریشه دلالت دارد (۳۲). از طرفی تأخیر و یا توقف تحرک مواد ذخیره‌ای در بذوری که در معرض آلوکیمیکال‌ها قرار گرفته‌اند، می‌تواند منجر به کمبود فرآورده‌های سوبستراهای تنفسی شوند، بنابراین سلول‌ها قادر به استفاده کارآتر از ذخایر انرژی خود نخواهند بود، لذا ریشه‌چه کوتاه‌تر و میزان رشد ساقه‌چه نیز کندتر از گیاهان شاهد خواهد بود (۱۴).

### طول ساقه‌چه

تأثیر نوع عصاره و غلظت آن بر طول ساقه‌چه معنی‌دار بود ( $P \leq 0.01$ )، اما اثر متقابل نوع و غلظت عصاره سیاهدانه فقط بر طول ساقه‌چه خاکشیر معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ) (جدول ۱). با افزایش غلظت، طول ساقه‌چه گندم و خاکشیر پاسخ منفی و متفاوتی نشان داد. اما اثر مهاری عصاره بر طول ساقه‌چه گندم در مقایسه با خاکشیر قابل توجه نبود (جدول ۱). شکل ۳-ب نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین طول ساقه‌چه خاکشیر در معرض غلظت‌های مختلف عصاره ریشه وجود نداشت. با این حال، عصاره شاخساره تأثیر زیادی بر کاهش طول ساقه‌چه داشت و مهار وابسته به غلظت در این صفت در مواجهه با عصاره شاخساره بیشتر بود (شکل ۳-ب). بیشترین طول ساقه‌چه گندم در تیمار ۵۰ mL/L و از سوی دیگر در عصاره ریشه سیاهدانه مشاهده شد. علاوه بر این، تفاوت بین طول ساقه‌چه گندم در غلظت‌های مختلف عصاره بین ۷/۵۷ تا ۱۶/۵٪ بود (جدول ۱).

مطالعات نشان داده است که غلظت‌های مختلف از ترکیبات فنلی افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را مهار کرده (۱۵) و از تقسیم سلولی نیز جلوگیری می‌کند (جدول ۲).

بنابراین با افزایش غلظت عصاره، میزان ترکیبات بازدارنده موجود در محیط جوانه‌زنی بیشتر شده که سبب بازدارندگی بیشتر در رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود. از طرف دیگر

مشاهده شد (جدول ۱)، به طوری که در اثرات اصلی عصاره شاخساره و همچنین در غلظت ۱۵۰ mL/L شاخص بنیه گیاهیچه خاکشیر در مقایسه با شاهد به ترتیب ۷۹/۴ و ۸۲/۵٪ کاهش یافت (جدول ۱). با بررسی تأثیر اصلی عصاره سیاهدانه بر گندم، مشخص شد که عصاره ریشه نسبت به عصاره شاخساره اثر نامطلوب کمتری داشت و غلظت ۱۵۰ mL/L نیز در مقایسه با ۵۰ mL/L دارای اثر بازدارندگی بالاتری (۲۹/۹٪ بیشتر) در روند کاهش شاخص مذکور بود. اثرات متقابل نوع عصاره و غلظت بر شاخص بنیه گیاهیچه فقط در علف هرز خاکشیر معنی دار بود (جدول ۱). عصاره شاخساره با غلظت‌های مختلف شاخص بنیه گیاهیچه خاکشیر را در محدوده ۶۷ تا ۹۰٪ کاهش می‌دهد، اما عصاره ریشه با غلظت‌های مشابه تا ۳۸ (در غلظت ۵۰ mL/L) روند صعودی ویژگی فوق را تحریک می‌کند و حداکثر غلظت آن، ۷۵٪ بازدارنده بود (شکل ۳-ه).

ماندل و همکاران (۲۶) نشان دادند تجمع مواد سمی و ترشح آن از گیاهان آلوپاتیک موجب کاهش جوانه‌زنی و شاخص طولی قدرت گیاهیچه می‌شوند. در این تحقیق هرچند طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و سرعت جوانه‌زنی گیاهان زراعی با افزایش غلظت عصاره آلوپاتیک کاهش معنی‌داری یافت، اما میزان کاهش شاخص‌های مورد بررسی در علف‌های هرز بیشتر بود. همین عامل باعث شد تا گیاهان زراعی سریع‌تر بتوانند سیستم ریشه‌ای خود را توسعه دهند و در رقابت با علف‌های هرز بهتر عمل کنند (۴۲).

### نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که عصاره گیاه دارویی سیاهدانه اثرات قابل توجهی از نوع و غلظت خود در جهت ارتقاء درصد جوانه‌زنی گیاه گندم داشت و از سوی دیگر زیستایی سلول، طول و وزن گیاهیچه و نهایتاً شاخص بنیه گیاهیچه علف هرز خاکشیر را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد. شاخص میتوزی گیاهیچه گندم به طور قابل توجهی تحت تأثیر عصاره قرار گرفت که با توجه بر شدت اثر عصاره شاخص‌های

مختلف آلوپاتیک را بر شاخص قدرت گیاه زراعی و خاکشیر، اعمال کند. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، تا زمانی که صفت در معرض افزایش غلظت عصاره آبی فوق قرار گیرد، روند کاهش یا بازدارندگی را نشان می‌دهد. تأثیر نوع عصاره و غلظت آن بر شاخص قدرت از نظر آماری معنی‌دار بود ( $P \leq 0.01$ )، اما برهم‌کنش بین نوع و غلظت عصاره سیاهدانه فقط بر خاکشیر تأثیر معنی‌داری داشت ( $P \leq 0.01$ ) (جدول ۱). بیشترین شاخص قدرت گندم در غلظت ۵۰ mL/L و از سوی دیگر در عصاره ریشه سیاهدانه مشاهده شد. غلظت ۱۵۰ mL/L مانع از افزایش شاخص قدرت گندم و خاکشیر به ترتیب ۳۸ و ۸۵/۴٪ شد (جدول ۱). در بین عصاره‌های کاربردی، عصاره شاخساره بیشترین تأثیر را بر روی دو گیاه داشت و این شاخص را در گندم (۳۰٪) و خاکشیر (۸۱٪) کاهش داد. لازم به ذکر است که عصاره شاخساره با غلظت ۱۵۰ mL/L، ۹۳/۷٪ شاخص قدرت را در خاکشیر کاهش داد، عصاره ریشه با غلظت ۱۰۰ mL/L تأثیر مشابه غلظت ۵۰ mL/L شاخساره نشان داد و تأثیر عصاره شاخساره با غلظت ۱۰۰ mL/L مشابه غلظت ۱۵۰ mL/L ریشه بود (شکل ۳-د). قدرت گیاهیچه از مهم‌ترین ارکان بذر است، اگر قدرت گیاهیچه کاهش یابد به دنبال آن جوانه‌زنی و قوه نامیه نیز کاهش می‌یابد (۴۸). عصاره‌های آلوپاتیک با تأثیر بر محتوای کلروفیل برگ میزان فتوسنتز را کاهش و در نتیجه منجر به کاهش رشد و تضعیف بنیه گیاه می‌شوند (۴۸).

### شاخص بنیه گیاهیچه

چنانچه مشاهده می‌شود گیاه دارویی سیاهدانه با افزایش غلظت دارای پتانسیل بازدارندگی قابل توجهی در شاخص بنیه گیاهیچه گیاهان مورد مطالعه است. در مطالعه حاضر، تمام غلظت‌های عصاره سیاهدانه به طور قابل توجهی بازدارنده جوانه‌زنی و رشد طولی گیاهیچه خاکشیر شدند. با توجه به ارتباط مستقیم شاخص بنیه گیاهیچه، جوانه‌زنی و رشد گیاهیچه کمترین میزان شاخص بنیه گیاهیچه در تیمار عصاره شاخساره و غلظت ۱۵۰ mL/L

۱۶/۷٪، فنل (به ترتیب ۱۹/۴ و ۲۶/۷٪) و ترپنویدها (به ترتیب ۱۴/۵ و ۱۹/۲٪) مشاهده شد. مهار جوانه زنی و رشد گیاهچه خاکشیر به ترکیبات بازدارنده مهم شامل پلی فنل ها، فلاونوئیدها مانند اسیدهای تری کربوکسیلیک، ترکیبات آلکالوئیدی مانند مگنوفلورین، میریستیسین، نورارجمونین و نیجلامین نسبت داده شد. به طور کلی نتیجه گیری می شود که عصاره سیاهدانه با داشتن سمیت قوی بر علف های هرز می تواند به توسعه علف کش های زیستی کمک کند و علاوه بر این، کشت این گیاه در برنامه های تناوب می تواند در کاهش رشد علف هرز خاکشیر مؤثر باشد.

غیرمیتوزی در خاکشیر نسبت به گندم، پیش بینی می شود شدت عمل آن پیرامون شاخص میتوزی در خاکشیر نیز بیشتر است. مقدار پراکسید هیدروژن، پراکسیداسیون لیپید و محتوای پرولین در گیاه گندم و خاکشیر به طور وابسته به غلظت عصاره افزایش یافت ولی شیب تغییرات در خاکشیر بیشتر از گندم بود. بر اساس یافته های این آزمایش بیشترین ترکیبات آلوپاتی تأثیرگذار بر جوانه زنی و رشد گیاه در شاخص عصاره گیاه سیاهدانه وجود داشت که در غلظت های ۱۰۰ و ۱۵۰ mL/L فرآیند رشد خاکشیر را شدیداً دچار اختلال کرد. در عصاره ریشه و شاخص عصاره سیاهدانه ترکیبات فلاونوئیدی (به ترتیب ۱۲/۹ و

### منابع مورد استفاده

1. Akram-Ghaderi, F., B. Kamkar and A. Soltani. 2008. Principles of Seed Science and Technology. ACECR Press, Mashahad. (In Farsi).
2. Ameri, A. A., H. Rabbani Nasab, M. R. Jalilvand and M. Imani. 2012. Allelopathic effects of some weed species on germination of Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences* 4: 23-32. (In Farsi).
3. Amoo, S. O., A. U. Ojo and J. V. Staden. 2008. Allelopathic potential of *Tetrapleura tetraptera* leaf extracts on early seedling growth of five agricultural crops. *South African Journal of Botany* 74: 149-152.
4. Apel, K. and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology* 55: 373-399.
5. Azadbakht, A., S. Mahmoodi, R. Amraie, B. Amraie and H. Nasrollahi. 2013. Evaluation the allelopathic effects of aerial and underground extract of sunflower (*Helianthus annuus* L.) on germination characteristics and seedling growth of hoary cress (*Cardaria draba*). *Annals of Biological Research* 4: 188-195.
6. Bates, L., R. P. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 3: 205-207.
7. Batish, D. R., K. Arora, H. P. Singh and R. K. Kohli. 2007. Potential utilization of dried powder of *Tagetes minuta* as a natural herbicide for managing rice weeds. *Crop Protection* 26: 566-571.
8. Berlin, J., Ch. Rugenhagen, N. Greidziak and I. N. Kuzovkina. 1993. Biosynthesis of serotonin and  $\beta$ -carboline alkaloids in hairy root cultures of *Peganum harmala*. *Phytochemistry Journal* 18: 593-597.
9. Buhler, D. D. 2002. Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Science* 50: 273-280.
10. Caser, M., S. Demasi, F. Caldera, N. K. Dhakar, F. Trotta and V. Scariot. 2020. Activity of *Ailanthus altissima* (Mill.) swingle extract as a potential bioherbicide for sustainable weed management in horticulture. *Article in Agronomy* 10: 965-982.
11. Che'Ya, N. N., E. Dunwoody and M. Gupta. 2021. Assessment of weed classification using hyperspectral reflectance and optimal multispectral UAV imagery. *Agronomy Journal* 11: 1435-1451.
12. Chung, I. M., J. K. Ahn, and S. J. Yun. 2001. Assessment of allelopathic potential of barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) on rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Crop Protection* 20: 921-928.
13. Djanagu, I. M., R. Vaidynathan, J. Anniesheeba, D. Durgadevi and U. Bangarus. 2005. Physiological responses of *Eucalyptus globulus* leaf leachate on seedling physiology of rice, sorghum and blakgram. *International Journal of Agriculture and Biology* 7: 35-38.
14. El-Khatib, A. A., A. K. Hegazy and H. K. Gala. 2004. Does allelopathy have a role in the ecology of *Chenopodium murale*? *Annales Botanici Fennici* 41: 37-45.
15. Enteshari, S. and F. Ahrabi. 2010. Effect of coumarin on some biochemical and physiological responses of canola, Hyola 401 cultivar. *Journal of Plant Biology* 3: 23-36. (In Farsi).
16. Food and Agriculture Organization. (2021). FAO Statistics. Available online at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Accessed 28 Desember 2021.

17. Fardet, A., E. Rock and R. Christian. 2008. Is the in vitro antioxidant potential of whole grain cereals and cereal produces well reflected in vivo?. *Journal of Cereal Science Abbreviation* 48: 258-276.
18. Fleury, Ph., S. Bellon and S. Penvern. 2010. The double-bind relationship between environment and organic agriculture. In: Proceeding of International Conference on Organic Agriculture in Scope of Environmental Problems, Famagista, Cyprus. fhal-02752507f.
19. Gajewska, E., M. Sklodowska, M. Slaba and J. Mazur. 2006. Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots. *Biologia Plantarum* 50: 653-659.
20. Grisi, P. U., S. C. J. Gualtieri, S. Anese, V. C. Pereira and M. R. Forim. 2013. Effect of *Serjania lethalis* ethanolic extract on weed control. *Planta Daninha* 31: 239-248.
21. Hong, N. H., T. D. Xuan, E. Tsuzuki, H. Terao, M. Matsuo and T. D. Khanh. 2004. Weed control of four higher plant species in paddy rice fields in Southeast Asia. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190: 59-64.
22. Ikic, I., M. Maricevic, S. Tomasovic, J. Gunjaca, Z. Sarcevic and H. Arcevic. 2012. The effect of germination temperature on seed dormancy in creation-grown winter wheats. *Euphytica* 188: 25-34.
23. Izquierdo, J., A. E. Milne, J. Recasens, A. Royo-Esnal, J. Torra, R. Webster and B. Baraibar. 2020. Spatial temporal stability of weed patches in cereal fields under direct drilling and harrow tillage. *Agronomy Journal* 10: 452-472.
24. Jabran, K., E. Ullah, M. Hussain, M. Farooq, U. Zaman, M. Yaseen and B. S. Chauhan. 2015. Mulching improves water productivity, yield and quality of fine rice under water-saving rice production systems. *Journal of Agronomy and Crop Science* 201: 389-400.
25. Leather, G. R. and F. A. Einhellig. 1988. Bioassay of naturally occurring allelochemical for toxicity. *Journal of Chemical Ecology* 14: 1821-1828.
26. Mandel, M. S. H., S. M. Masum, M. H. Ali, M. N. Haque and A. K. Mahto. 2012. Influence of *parthenium hysterophorus*, *chromolaena odorata* and PRH on seed germination and seedling growth of maize, soybean and cotton. *Bangladesh Journal of Weed Science* 3: 83-90.
27. Marco, C. A., E. Teixeira, A. Simplício, C. Oliveira, J. Costa and J. Feitosa. 2012. Chemical composition and allelopathic activity of essential oil of *Lippia sidoides* Cham. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72: 157-160.
28. Milthrope, F. L. 1995. Change in the drought resistance of wheat seedling during germination. *Annals of Botany* 14: 79-86.
29. Mlakar, S. G., M. Jakop, M. Bavec and F. Bavec. 2012. Allelopathic effects of *Amaranthus retroflexus* and *Amaranthus cruentus* extracts on germination of garden cress. *African Journal of Agricultural Research* 7: 1492-1497.
30. Nag, S., K. Saha and M. A. Choudhuri. 2000. A rapid and sensitive assay method for measuring amine oxidase based on hydrogen peroxide-titanium complex formation. *Plant Science* 157: 157-163.
31. Nikneshan, P., H. Karimmojeni, M. Moghanibashi and N. Hosseini. 2011. Allelopathic potential of sunflower on weed management in safflower and wheat. *Australian Journal of Crop Science* 5: 1434-1440.
32. Ozpinar, H., S. Dag and E. Yigit. 2017. Allelopathic effects of benzoic acid, salicylic acid and leaf extract of *Persica vulgaris* Mill. (Rosaceae). *South African Journal of Botany* 108: 102-109.
33. Panozzo, L. E., D. Agostinetto, P. V. D. Moraes, D. A. Magano, A. Harter and L. B. Pinto. 2014. Control of *Echinochloa* sp. in the irrigated rice crop. *International Journal Agronomy* 2014: 1-6.
34. Planchais, S., N. Glab, D. Inze and C. Bergounioux. 2000. Chemical inhibitors: a tool for plant cell cycle studies. *FEBS Letters* 476: 78-83.
35. Qasim, M., Y. Fujii, M. Z. Ahmed, I. Aziz, K. N. Watanabe and M. A. Khan. 2019. Phytotoxic analysis of coastal medicinal plants and quantification of phenolic compounds using HPLC. *Plant Biosystems-an International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology* 153: 767-774.
36. Ren, Y., W. Wang, J. He, L. Zhang, Y. Wei and M. Yang. 2020. Nitric oxide alleviates salt stress in seed germination and early seedling growth of pakchoi (*Brassica chinensis* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 187: 109785.
37. Samad, M. A., M. M. Rahman, A. K. M. M. Hossaini, M. S. Rahman and S. M. Rahman. 2008. Allelopathic effects of five selected weed species on seed germination and seedling growth of corn. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 2: 13-18.
38. Sbai, H., I. Zribi, M. DellaGreca and R. Haouala. 2017. Bioguided fractionation and isolation of phytotoxic compounds from *Apium graveolens* L. aerial parts (Apiaceae). *South African Journal of Botany* 108: 423-430.
39. Shah, A. M., S. Ali, I. Ahmad, G. Wazir, O. Shafique, M. A. Hanif, B. A. Khan and S. Zareen. 2018. Weeds population studies and wheat productivity as influenced by different sowing techniques and herbicides. *Pakistan Journal of Agricultural Research* 32: 87-94.
40. Sicak, Y. and E. A. Erdogan Eliuz. 2019. Chemical content and biological activity spectrum of *Nigella sativa* seed oil. *KSU Journal of Agriculture and Nature* 22: 928-934.



41. Sodaieizadeh, H., M. Rafieiolhossaini, J. Havlik and P. V. Damme. 2009. Allelopathic activity of different plant parts of *Peganum harmala* L. and identification of their growth inhibitors substances. *Plant Growth Regulation* 59: 227-236.
42. Tahamizarandi, M. K. and P. Rezvanimoghadam. 2011. Investigation of germination and seedling morphological characteristics of Wild Oat (*Avena ludoviciana*) under aqueous extract of the aerial parts of medicinal plants. *Crop Protection* 25: 398-406.
43. Teklic, T., M. Engler, V. Cesar, H. Lepedua, N. Paraikovic, Z. Loncaric, I. Tolfa, T. Marotti, N. Mikac and N. Zarkovic. 2008. Influence of excess copper on lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in soil and nutrient solution. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 6: 439-444.
44. Tekrony, D. M. and D. B. Egli. 1977. Relationship between laboratory indices of soybean seed vigor and field emergence. *Crop Sciences* 17: 573-577.
45. Tigre, R. C., N. H. Silva, M. G. Santos, N. K. Honda, E. P. S. falcao and E. C. Pereira. 2012. Allelopathic and bioherbicidal potential of *Cladonia verticillaris* on the germination and growth of *Lactuca sativa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 84: 125-132.
46. Van der Meulen, A. and B. S. Chauhan. 2017. A review of weed management in wheat using crop competition. *Crop Protection* 95: 38-44.
47. Yan, Zh. Q., D. D. Wang, L. Ding, H. Y. Cui, H. Jin, X. Y. Yang, J. Sh. Yang and B. Qin. 2015. Mechanism of artemisinin phytotoxicity action: Induction of reactive oxygen species and cell death in lettuce seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry* 88: 53-59.
48. Yang, C. M., F. Chang, S. J. Li and C. H. Chou. 2004. Effects of three allelopathic phenolics on chlorophyll accumulation of rice (*Oryza sativa*) seedlings: II. Stimulation of consumption-orientation. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 45 :119-125.
49. Zeng, R. S. 2014. Allelopathy-the solution is indirect. *Journal of Chemical Ecology* 40: 515-516.

## Effects of *Nigella sativa* Allelochemical Substances on Growth-Inhibiting of Flixweed Compared With Wheat (*Triticum aestivum*)

E. Madadi<sup>1</sup>, S. Fallah<sup>2\*</sup>, A. Sadeghpour<sup>3</sup> and H. Barani-Beiranvand<sup>4</sup>

(Received: November 22-2021; Accepted: May 10-2022)

### Abstract

The aim of this study was to evaluate the toxicity of black cumin (*Nigella sativa*) extract on germination and growth of flixweed (*Descurainia Sophia*) seedlings grown in wheat (*Triticum aestivum*) fields, isolation and identification of important bioactive compounds of its aqueous extract. Two factorial experiments were conducted in a completely randomized design with three replications. In each experiment, the treatments included two levels of black cumin aqueous extract (root and shoot) and four concentrations of the extract (0, 50, 100 and 150 mL/L). The results showed that the highest plumule length belonged to wheat treated with 50 mL/L of black cumin root extract and the lowest to flixweed treated with 150 mL/L of black cumin shoot extract. With increasing the concentration of black cumin extract, the amount of seedling vigor index decreased significantly. In addition, the inhibitory effect of black cumin shoot extract on seedling dry weight and germination percentage was higher than the root extract. In root and shoot extract of black cumin, flavonoid compounds (12.9% and 16.7%, respectively), phenol (19.4% and 26.7%, respectively), terpenoids (14.5% and 19.2%, respectively) were observed. Inhibition of germination and seedling growth of flixweed was attributed to important inhibitory compounds including polyphenols, flavonoids such as tricarboxylic acids, alkaloid compounds such as magnetofluorine, myristicin, norargemonin and nigramine. In general, it is concluded that black cumin extract with strong toxicity to weeds can help the development of biocides.

**Keywords:** Bioherbicide, Chemical composition, Inhibition of germination, Flavonoids, Polyphenols

1, 2. PhD Student and Professor, Respectively, Department of Agronomy, Faculty of agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Plants, Soil and Agricultural Systems, Southern Illinois University, Illinois, United States.

4. Assistant Professor, Department of Biology, Islamic Azad University of Najafabad, Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: falah1357@yahoo.com