

تأثیر بیوچار طبیعی بر پاسخ‌های دفاعی گیاه و کنترل پسیل معمولی پسته

Agonoscena pistaciae (Hemiptera: Aphalaridae) تحت شرایط مزرعه

محمد کاظم ایران نژاد پاریزی^۱، محمد امین سمیع^{۱*}، مهدی ضیاءالدینی^۱

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

چکیده

پسیل معمولی پسته از آفات درجه اول پسته کشور و یکی از آفات بومی در پسته کاری‌های ایران و کشورهای همجوار است. گسترش و طغیان این آفت، ضرورت بازنگری در کنترل شیمیایی برای کاهش مصرف سموم و همچنین تشخیص و به‌کارگیری روش‌های غیرشیمیایی سازگار با محیط زیست را ایجاب می‌کند. در این پژوهش تأثیر بیوچار طبیعی بر فعال سازی پاسخ‌های دفاعی درختان پسته و امکان‌سنجی ایجاد مقاومت القایی برای کنترل پسیل پسته، با مقایسه تغییر تراکم تخم و پوره‌های آفت در سطوح مختلف برگ در طول دو نسل مورد بررسی قرار گرفت. روند تغییرات فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو شامل کاتالاز و پراکسیداز و دفاع غیر آنزیمی گیاه بررسی شد. نتایج نشان داد که تراکم تخم و پوره‌های پسیل پسته متأثر از کاربرد بیوچار هستند و از روز هفتم به بعد در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت و در روز بیست و هشتم به کمترین میزان خود رسید. در ارتباط با تغییر تراکم پوره‌ها مقدار مجذور اتا در آزمون لاندای ویلکز برای اثر متقابل زمان و تیمار برابر با ۰/۱۲۹ تعیین شد. میزان سیلیسیم تجمع یافته در برگ متأثر از محلول‌پاشی بیوچار به عنوان یک دفاع فیزیکی موثر پس از گذشت ۴۸ ساعت با میزان ۱/۱ برابر و متعاقب آن پس از گذشت ۱۴ روز به میزان ۱/۴ برابر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. براساس نتایج به دست آمده کاربرد بیوچار طبیعی معدنی می‌تواند به واسطه‌ی افزایش سطح عوامل بازدارنده تغذیه و تخم‌ریزی باعث ایجاد دفاع مستقیم و القای مقاومت درختان پسته به پسیل معمولی پسته شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت آفات، بیوچار طبیعی، مقاومت القایی، پسیل معمولی پسته

^۱ گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان
*نویسنده مسئول: samih@vru.ac.ir

مقدمه

اصول مدیریت آفات در سیستم‌های کشت

ارگانیک مبتنی بر اتخاذ شیوه‌های سازگار با محیط زیست برای مقابله با آفات و به حداقل رساندن نیاز به استفاده از روش‌های شیمیایی طراحی شده است. این استراتژی حفاظت از محصول که ¹IPM نامیده می‌شود، بر مبنای دانش فعل و انفعالات بیولوژیکی و اطلاعات مربوط به محصول و محیط پیرامون است. حساسیت در مورد تعادل اکوسیستم (کیفیت خاک، تغذیه گیاه، تنوع زیستی) به دستیابی به گیاهانی کمک می‌کند که توانایی مقاومت بیشتری در برابر تغذیه حشرات داشته باشند و شدت آفات و بیماری‌ها را کاهش می‌دهد (Costa et al., 2019).

عملکرد و رفتار حشرات به طور قابل ملاحظه‌ای

متأثر از کیفیت تغذیه‌ای گیاه میزبان همچنین دفاع فیزیکی و شیمیایی گیاه می‌باشد (Vidal & Murphy, 2018). گیاهان مجموعه‌ای از استراتژی‌های دفاعی را برای جلوگیری از خسارت حشرات آفت، توسعه داده‌اند. ایجاد محدودیت برای آفات حشره‌ای به واسطه‌ی انواع روش‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی از جمله‌ی این استراتژی‌های دفاعی می‌باشد (War et al., 2012). دفاع گیاه در برابر گیاه‌خواران شامل مکانیسم‌های مقاومت (به عنوان مثال موانع فیزیکی و شیمیایی در مقابله با گیاه‌خواری) و همچنین مکانیسم تحمل در برابر حمله، از جمله رشد

استفاده‌ی مکرر از حشره‌کش‌های شیمیایی در طی دهه‌های اخیر، مشکلاتی جدی از جمله افزایش مقاومت حشرات نسبت به حشره‌کش‌ها، طغیان آفات کم‌اهمیت‌تر و ثانویه، آلودگی محیط زیست، تجمع بقایای حشره‌کش‌ها و بزرگنمایی زیستی بقایای حشره‌کش در زنجیره‌ی غذایی را سبب شده است (Vora et al., 2008). به دلیل مضراتی که در نتیجه‌ی استفاده‌ی غیر علمی از آفت‌کش‌ها در کشاورزی ایجاد شده است نیاز فوری به کاهش استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی در زمینه مدیریت آفات دیده می‌شود. در این ارتباط، کشاورزی ارگانیک توسط محققان پیشنهاد شده است تا در کنار افزایش کارایی تولید با استفاده از روش‌های تلفیقی مانند روش‌های زراعی، تناوب محصولات، استفاده از ارقام متحمل و پرمحصول و غیره، کاربرد انواع مواد شیمیایی روی محصولات کشاورزی را کاهش دهد. اولین بار، حدود یک قرن پیش مشخص شد که گیاهان زمانی که در خاک‌های حاوی هوموس بالا رشد می‌کنند، در مقابل آفات و بیماری‌های گیاهی در مقایسه با گیاهانی که در خاک حاوی کودهای شیمیایی رشد می‌کنند مقاوم‌تر هستند و محصول بیشتری تولید می‌کنند (Howard, 1921).

¹ Integrated pest management

کیفیت غذایی گیاه میزبان اثر می‌گذارد (Fürstenberg-
Hägg *et al.*, 2013).

پسیل معمولی پسته، *Agonoscaena pistaciae* Burckhardt & Lauterer, (Hemiptera: Aphalaridae) آفت کلیدی درختان پسته در ایران است. مراحل پوره و حشره‌ی کامل این آفت از شروع دوره زندگی تا زمان مرگ از گیاه پسته تغذیه و به آن خسارت وارد می‌کنند. این آفت پس از متورم شدن و باز شدن جوانه‌های پسته در اواخر اسفند ماه فعال می‌شود و جمعیت آن به سرعت افزایش می‌یابد. این حشره تا زمان ریزش برگ‌ها در پاییز، روی درختان پسته حضور دارد. پوره‌های پسیل سطح رویی برگچه‌های درختان پسته را برای استقرار ترجیح داده و از شیره گیاه تغذیه می‌کنند. پوره‌ها مواد پروتئینی شیره گیاهی را جذب نموده و مواد قندی را به صورت شیره (عسلک) دفع می‌کنند که این مواد قندی در مجاورت هوا خشک می‌شود. تراکم شدید جمعیت حشره همزمان با مغز بستن پسته و یا پس از آن، سبب ایستایی در روند پر شدن مغز می‌گردد و در نتیجه خسارت جبران‌ناپذیری به محصول پسته وارد می‌گردد، به طوری که گاهی محصول سه سال متوالی را متأثر می‌سازد. به همین دلیل، باغداران پسته حساسیت شدیدی نسبت به این آفت دارند و پیوسته با بکارگیری مواد آفت‌کش سعی در کنترل آن می‌نمایند. گسترش و طغیان این آفت، ضرورت بازنگری در کنترل شیمیایی برای کاهش میزان مصرف

جبرانی در پاسخ به گیاه‌خواری می‌باشد (Núñez-Farfán *et al.*, 2007).

مقاومت گیاه میزبان شکل مهمی از دفاع گیاه در برابر گیاه‌خواری حشرات است و به طور گسترده‌ای در محافظت از محصولات در برابر آفات و بیماری‌ها نقش دارد (Sharma *et al.*, 2009; Pieterse *et al.*, 2012; War *et al.*, 2012). علاوه بر مقاومت ذاتی در گیاهان که شامل آنتی بیوز، آنتی‌زنوز یا عدم رجحان و تحمل که به صورت ارثی بروز می‌کنند، یکی از انواع مقاومت گیاهان به گیاه‌خواران، القای مقاومت یا مقاومت القا شده در گیاهان است. اصطلاح مقاومت القایی به منظور توصیف دفاع گیاهانی که در اثر خسارت حشرات القاء می‌شوند، به کار می‌رود، برای آن که معمولاً این گیاهان کمتر در معرض طغیان‌های بعدی توسط حشرات یا بیماری‌ها قرار می‌گیرند (Kaloshian *et al.*, 2000). دفاع سازنده گیاه بدون در نظر گرفتن محرک‌های خارجی در گیاهان وجود دارد، در حالی که دفاع القایی با تغذیه حشرات و یا با استفاده از محرک تحریک می‌شود (Sharma *et al.*, 2009; War *et al.*, 2012). گیاهانی که مقاومت در آن‌ها القا شده است، اثرات گوناگونی روی زیست‌شناسی، فیزیولوژی و رفتار حشرات مرتبط با خود می‌گذارند. به عنوان مثال مقاومت القایی روی کارایی یک حشره آفت به وسیله کاهش یا افزایش تعداد کل حشرات و یا روی

دخیل در کاهش بیماری‌های گیاهی و آفات در خاک‌های اصلاح شده با بیوچار را تشریح کردند.

به طور خلاصه بیوچار چشم انداز گسترده‌ای را در ترویج کشاورزی پایدار و پایداری زیست محیطی نشان می‌دهد. کشاورزی ارگانیک و خاک سالم می‌تواند منجر به تولید محصول سالم‌تر شود و این محصول سالم، در مقابل آفات و بیماری‌ها از مقاومت بیشتری برخوردار خواهد بود (Wang & Wang, 2019). با این حال، این گزارش‌ها فاقد شواهد مستقیم و قانع‌کننده مبنی بر تحریک مکانیسم‌های دفاعی گیاه متأثر از کاربرد مستقیم و محلولپاشی بیوچار در ایجاد مقاومت القایی و مدیریت آفات هستند. در این پژوهش برای نخستین بار در سطح جهان کارآیی بیوچار طبیعی معدنی کوهبنان کرمان^۲ به عنوان یک ترکیب ارگانیک و سازگار با محیط زیست در مقایسه با ترکیبات متداول، در برنامه مدیریت مهمترین آفت کلیدی درختان پسته تحت شرایط مزرعه بررسی شد. در این ارتباط میزان تغییرات جمعیت و مرگ و میر پسیل معمولی پسته متأثر از محلولپاشی بیوچار طبیعی معدنی کوهبنان همچنین تأثیر بر تحریک مکانیسم‌های دفاعی درختان پسته و امکان‌سنجی ایجاد مقاومت القایی، مدت زمان تأثیر و دوام بیوچار طبیعی معدنی مورد ارزیابی قرار گرفت.

سموم و تشخیص و به کارگیری روش‌های غیر شیمیایی را ایجاب می‌کند (Mehrnejad, 2001; 2002).

بیوچار صنعتی، زغال بیولوژیکی غنی از کربن است که در دمای بالا و پیرولیز آهسته (اکسیژن محدود) از بقایای ارگانیک تولید می‌شود (Roberts *et al.*, 2015). عموماً بیوچار برای بهبود شرایط خاک، مدیریت پسماندهای آلی، کاهش تغییرات اقلیمی و تولید انرژی تهیه و مصرف می‌شود (Tejerina *et al.*, 2010). طیف گسترده‌ای از اثرات بیوچار به کنترل عوامل بیماری‌زا قارچی ریشه یا شاخه و برگ کمک می‌کند. القاء دفاع سیستمیک توسط بیوچار در ریشه‌ها برای کاهش قارچ‌های بیماری‌زای شاخ و برگ، فعال شدن پاسخ‌های هورمونی و همچنین تغییرات در گونه‌های فعال اکسیژن^۱ (ROS) نشان دهنده یک پیام‌رسانی هماهنگ هورمونی در داخل گیاه است. بیوچار همچنین می‌تواند نماتد و حشرات را کنترل کند. افزودن بیوچار به خاک باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های خاک می‌شود (Zhang *et al.*, 2019). Viger *et al.* (۲۰۱۵) عنوان کردند اثرات مفید بیوچار علاوه بر القاء دفاع گیاهان به اثر تقویت‌کننده رشد آن نیز مربوط می‌شود. Poveda *et al.* (۲۰۲۱) مکانیسم‌های

¹ Reactive oxygen species

² kouhbanan organic biochar mine

روش انجام پژوهش

انجام مطالعات باغی و طرح آزمایش

این تحقیق در شهرستان رفسنجان، منطقه کبوترخان، با مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه و ۵۵/۲۸ ثانیه طول شرقی و ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه و ۳۵/۳۶ ثانیه عرض شمالی روی درختان ۴۰ ساله پسته رقم فندقی، طی سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹، در منطقه‌ای به مساحت یک هکتار و شامل ۲۰ ردیف انجام شد. طول ردیف درختان در باغ تحت آزمایش ۱۰۰ متر، فاصله درختان بین ردیف‌ها ۶ متر و فاصله درختان روی ردیف‌ها یک متر بود بین تیمارها یک ردیف از درختان پسته به عنوان گارد حفاظتی انتخاب شد تا از تداخل اثر تیمارها اجتناب شود. مطالعات مزرعه در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار در ۳ تکرار در ردیف‌های مختلف انجام شد. هر تکرار شامل ۱۰۰ درخت سالم بود که در یک ردیف قرار داشتند. هر تیمار شامل ۳ ردیف و تعداد درختان تحت آزمایش در هر تیمار مشتمل بر ۳۰۰ درخت در مساحت ۲۵۰۰ متر مربع بود که نمونه‌برداری جهت برآورد جمعیت پسیل معمولی پسته به صورت تصادفی از برگ درختان تحت تیمار صورت پذیرفت (Shahabinejad *et al.*, 2014).

این پژوهش با ۴ تیمار شامل بیوچار طبیعی معدنی کوهبنان به فرم پودر (غلظت ۵ درصد)، ترکیب

بیوچار طبیعی معدنی کوهبنان (غلظت ۵ درصد) و گوگرد به فرمولاسیون پودر وتابل (غلظت ۱ درصد)، گوگرد به فرمولاسیون پودر وتابل (غلظت ۲ درصد) و آب به عنوان تیمار شاهد انجام شد. بیوچار طبیعی مورد استفاده در این پژوهش از معدنی (با مختصات جغرافیایی ۵۶ درجه و ۱۳ دقیقه و ۵۳ ثانیه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۶ ثانیه عرض شمال) در شهرستان کوهبنان واقع در استان کرمان تهیه شد.

ارزیابی جمعیت پسیل معمولی پسته

در این آزمایش طی دو مرحله (۱) قبل از محلول‌پاشی (یک ساعت قبل از عملیات محلول‌پاشی) و (۲) بعد از محلول‌پاشی (۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز) نمونه‌برداری از جمعیت آفت پسیل پسته صورت پذیرفت. به ازای هر تیمار در هر نوبت نمونه‌برداری تعداد ۱۰ برگچه به صورت متناظر از هر واحد آزمایشی برداشت و جهت شمارش مراحل مختلف رشدی پسیل پسته به آزمایشگاه حشره‌شناسی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان منتقل شد. تعداد تخم و پوره‌های پسیل پسته به تفکیک در پشت و روی هر برگ شمارش شد.

مطالعات فیتوشیمیایی

متناسب با تغییرات جمعیت پسیل در تیمار شاهد به منظور بررسی وضعیت دفاع غیرآنزیمی گیاه، پس از گذشت ۱۴ روز از محلول‌پاشی درختان، به ازای هر تیمار تعداد ۱۰ عدد برگ کامل به صورت تصادفی از درختان محلول‌پاشی شده (برگ‌های چهارم یا پنجم از سرشاخه‌های بارده فاقد خوشه با حدود ۳ ماه سن) برداشت و جهت تعیین میزان عناصر شاخص برگ در ایجاد مقاومت در مقابل آفات شامل پتاسیم، منگنز، آهن و سیلیسیم به آزمایشگاه منتقل شد. در همین ارتباط همزمان با افزایش تراکم تخم و پوره‌های پسیل پسته در تیمار شاهد در دو مرحله (۲۱ و ۲۸ روز پس از محلول‌پاشی درختان پسته)، نمونه‌برداری برگ جهت بررسی روند تغییرات فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو شامل کاتالاز^۱ و پراکسیداز^۲ در گیاه تازه و سنجش تغییرات در میزان کلروفیل (a و b) و همچنین کارتنوئید برگ صورت پذیرفت. پس از نمونه برداری، برگ‌ها به منظور حذف گرد و غبار و ترکیبات موجود در سطح برگ به دقت با آب لوله‌کشی و سپس با آب مقطر شست و شو شد. بعد از آخرین مرحله آبکشی، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با حرارت ۷۰ درجه سلسیوس خشک و نهایتاً آسیاب گردید. میزان

پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر و میزان منگنز و آهن با استفاده از اسپکتروفتومتری جذب اتمی تعیین شد (Walsh, 1971). میزان سیلیسیم برگ به روش هضم نمونه گیاهی توسط اتوکلاو و کالریمتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Moyer *et al.*, 2008). میزان کلروفیل a و کلروفیل b به روش Hill *et al.* (۱۹۸۵) در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و میزان کاروتنوئید کل با روش Lichtenthaler & Buschmann (۲۰۰۱) در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم کاتالاز بر مبنای اکسیداسیون پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. (Hugo & Lester, 1984). فعالیت کاتالاز با توجه به ضریب خاموشی مولی پراکسید هیدروژن ($\epsilon = 36 \text{ mM}^{-1}$) (cm^{-1} محاسبه شد).

فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از پیش ماده گایاکول مورد سنجش قرار گرفت (Racusen & Foote, 1965). فعالیت پراکسیداز بر مبنای تغییر در جذب در مدت یک دقیقه به‌ازای هر گرم وزن گیاه تازه بیان شد (Taggar *et al.*, 2012). یک واحد فعالیت آنزیمی به عنوان

¹ Catalase

² Peroxidase

مقدار آنزیمی است که یک میلی مول گایاکول را در مدت یک دقیقه اکسید کند.

روش‌ها و ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها:

برای دوری از محاسبات پیچیده و غیر ضروری و برای درک ساده‌تر موضوع، داده‌های تراکم جمعیت آفت با استفاده از آنالیز واریانس اندازه مکرر یک طرفه^۱ با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 26.0، انجام شد. در همین ارتباط به منظور ارزیابی روند تغییرات تراکم تخم پسیل پسته متأثر از تیمارهای تحت آزمون، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت. روند تغییرات داده‌های مربوط به ویژگی‌های بیوشیمیایی متأثر از تیمارها مورد ارزیابی قرار گرفت و اثر تیمارها با هم مقایسه شد. و در نهایت نمودارها با استفاده از نرم افزار OriginPro, 2021 رسم گردید.

نتایج و بحث

روند تغییرات تراکم تخم پسیل معمولی پسته در

سطوح مختلف برگ

مقایسه تأثیر تیمارها بر مجموع تراکم تخم پسیل معمولی پسته در پنج مرحله نمونه‌برداری، در دو سطح

برگ مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی این مقایسه از طرح‌های اندازه‌گیری مکرر استفاده شد. ابتدا به بررسی برابری ماتریس کوواریانس مشاهده شده متغیرهای وابسته در بین گروه‌های مختلف پرداخته شد مقدار $F(5/0.4)$ در سطح خطای داده شده $(0/0.01)$ معنی دار بود (Box M $= 307.26$; $df1 = 45$ و $df2 = 3207.97$) بنابراین فرض صفر رد می‌شود به این معنی که ماتریس‌های کوواریانس مشاهده شده بین گروه‌های مختلف با هم برابر نیستند.

آزمون‌های چند متغیره (اثر پیلائی^۲، لاندای ویلکز^۳، اثر هتلینگ^۴ و بزرگترین ریشه روی^۵) مربوط به اثر مراحل نمونه‌برداری، سطوح مختلف برگ و اثر تیمار در ارتباط با تغییر تراکم تخم پسیل معمولی پسته مورد ارزیابی قرار گرفت. از بین همه آزمون‌ها، آزمون لاندای ویلکز از معروفیت بیشتری نسبت به چهار آزمون دیگر برخوردار است. نتایج آزمون لاندای ویلکز نشان داد که اثر زمان (پنج مرحله نمونه‌برداری) $F(4,69) = 5.904$, $p = 0.000$ و اثر متقابل زمان و تیمار $F(12,183) = 6.126$, $p = 0.000$ در سطح $0/0.1$ معنی دار می‌باشند. مقدار اتای اثر زمان برابر با $0/255$ محاسبه شد یعنی اندازه اثر زمان

¹ One-way Repeated Measures Analysis of Variance

² Pillai's Trace

³ Wilks' Lambda

⁴ Hotelling's Trace

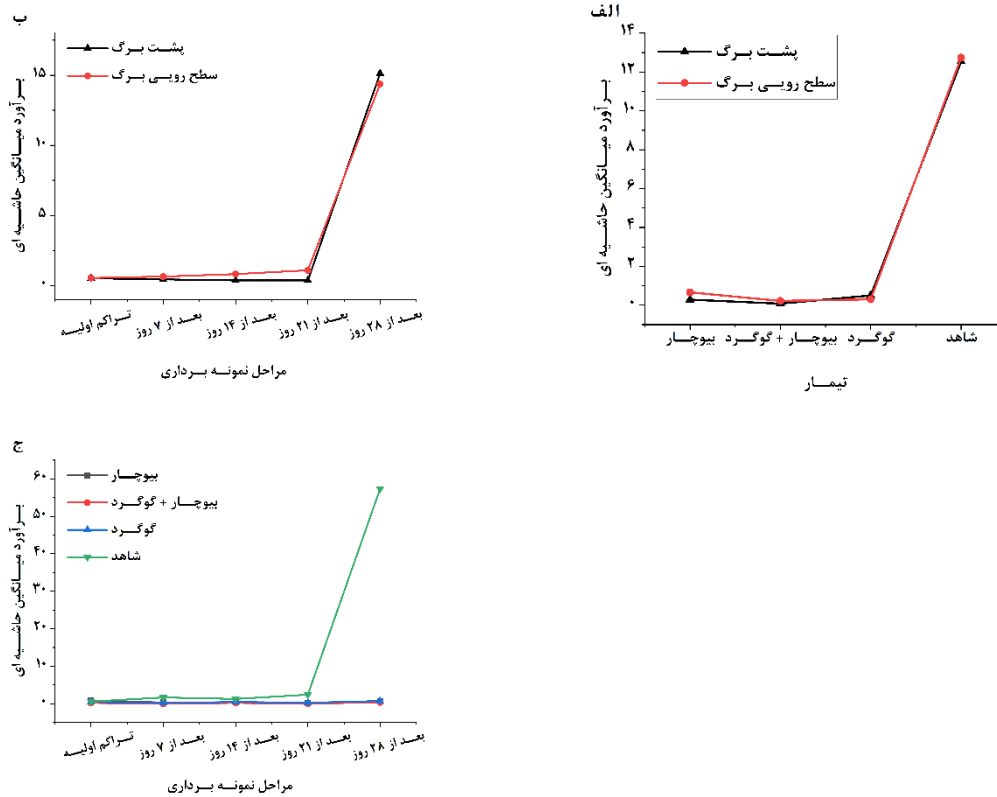
⁵ Roy's Largest Root

در حد متوسط می‌باشد (بین ۰/۰۴ و ۰/۳۶). برای اثر متقابل زمان و تیمار مقدار انا در آزمون لاندای ویلکز برابر با ۰/۲۵۸ تعیین شد که این اندازه اثر نیز در حد متوسط (بین ۰/۰۴ و ۰/۳۶) می‌باشد. براساس نتایج جدول ۱ اثر تیمار معنی‌دار می‌باشد؛ یعنی بین میزان مجموع تراکم تخم پسیل معمولی در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد. اما برای اثر سطوح مختلف برگ و اثر متقابل سطوح برگ و تیمار در ارتباط با تغییرات تراکم تخم پسیل معمولی پسته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است. به این معنی که میزان مجموع تراکم تخم بر حسب سطوح مختلف برگ و همچنین سطوح برگ و تیمار بصورت همزمان در روزهای متفاوت تفاوتی را نشان نمی‌دهد. میزان اثر تیمار نیز برابر ۰/۵۰۴ که میزان اثر قوی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) بررسی اثرات چند متغیره در ارتباط با تغییر تراکم تخم پسیل پسته

منبع تغییرات	مجموع مربعات نوع سوم	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	مقدار معنی‌داری	مجذور انا
عرض از مبدا	۴۶۶۴/۸۹۰	۱	۴۶۶۴/۸۹۰	۳۰/۰۱۲	۰/۰۰۰	۰/۲۹۴
تیمار	۱۱۳۵۲/۴۱۰	۳	۳۷۸۴/۱۳۷	۲۴/۳۴۵	۰/۰۰۰	۰/۵۰۴
سطح برگ	۱/۶۹۰	۱	۱/۶۹۰	۰/۰۱۱	۰/۹۱۷	۰/۰۰۰
تیمار*سطح برگ	۴/۴۱۰	۳	۱/۴۷۰	۰/۰۰۹	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰
خطا	۱۱۱۹۱/۴۰۰	۷۲	۱۵۵/۴۳۶			

شکل ۱ (الف) میزان مجموع تراکم تخم پسیل متأثر از تیمارها را بر حسب سطوح مختلف برگ نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مجموع تراکم تخم پسیل در سطح رویی و پشت برگ متأثر از هر تیمار یکسان می‌باشد اما بطور کلی تیمار شاهد دارای بیشترین میزان تراکم تخم پسیل (هم در سطح رویی برگ و هم پشت برگ) می‌باشد.

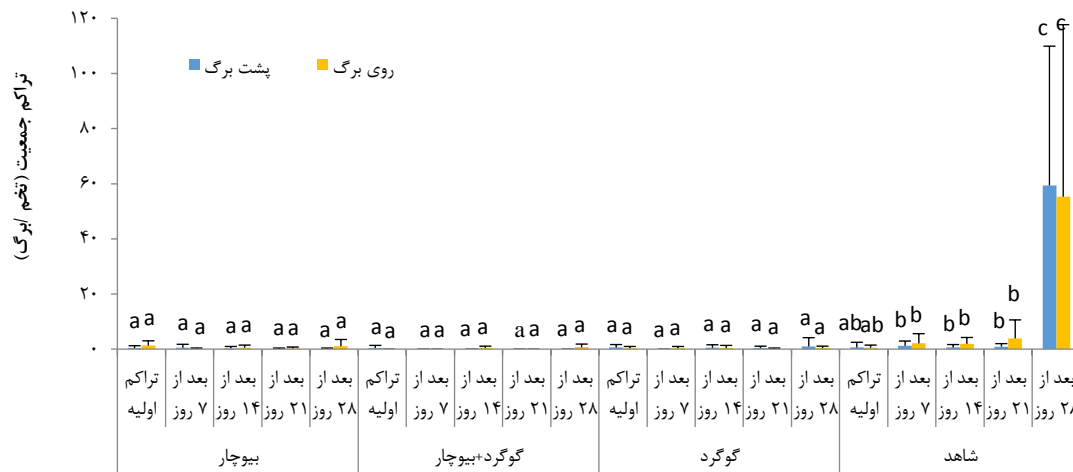


شکل ۱- نمودار برآورد میانگین‌های حاشیه‌ای مربوط به روند تغییرات تراکم تخم پسته؛ (الف) میزان مجموع تراکم تخم پسته متأثر از تیمارها بر حسب سطوح مختلف برگ. (ب) میزان مجموع تراکم تخم پسته در سطوح مختلف برگ بر حسب مراحل مختلف نمونه‌برداری. (ج) روند تغییرات تراکم تخم پسته معمولی پسته متأثر از تیمارهای مختلف بر حسب مراحل مختلف نمونه‌برداری

و یکم پس از محلول‌پاشی یک‌دفعه تغییر بسیار زیادی داشته و در روز بیست و هشتم به بالاترین میزان خود رسیده است. شکل ۱ (ج) روند تغییرات تراکم پسته معمولی پسته متأثر از تیمارهای مختلف را بر حسب روزهای مختلف نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که ۲۸ روز پس از محلول‌پاشی در تیمار شاهد بیشترین میزان

شکل ۱ (ب) میزان مجموع تراکم تخم پسته در سطوح مختلف برگ را بر حسب مراحل مختلف نمونه‌برداری نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که ۲۸ روز پس از محلول‌پاشی بیشترین میزان تخم‌ریزی پسته در هر دو سطح برگ رخ داده است. شایان ذکر است میزان تخم‌ریزی پسته برای پشت و روی برگ از روز بیست

تخم‌ریزی پسیل رخ داده است و همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود افزایش تخم‌ریزی در تیمار شاهد از روز هفتم در مقایسه با سایر تیمارها معنی‌دار بوده است.



شکل ۲- روند تغییرات تراکم تخم پسیل معمولی پسته متأثر از تیمارها

آزمون‌های چند متغیره مربوط به اثر مراحل نمونه‌برداری، سطوح مختلف برگ و اثر تیمار در ارتباط با تغییر تراکم پوره‌های پسیل معمولی پسته مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمون لاندای ویلکز نشان داد که اثر زمان (پنج مرحله نمونه برداری در روزهای مختلف) $[F(4,69) = 39.636, p = 0.000]$ ، اثر متقابل زمان و تیمار $[F(12,183) = 2.586, p = 0.003]$ و اثر متقابل زمان و سطح برگ $[F(4,69) = 11.895, p = 0.000]$ در سطح $0/01$ معنی‌دار می‌باشند. مقدار اتای اثر زمان برابر با $0/697$ محاسبه شد یعنی اندازه اثر زمان در حد قوی

روند تغییرات تراکم پوره‌های پسیل معمولی پسته در سطوح مختلف برگ

ابتدا به بررسی برابری ماتریس کوواریانس مشاهده شده متغیرهای وابسته در بین گروه‌های مختلف پرداخته شد، مقدار $F(2/91)$ در سطح خطای داده شده ($0/01$) معنی‌دار بود ($Box M = 289.66$; $df1 = 75$ و $df2 = 4902.18$) بنابراین فرض صفر رد می‌شود به این معنی که ماتریس‌های کوواریانس مشاهده شده بین گروه‌های مختلف با هم برابر نیستند.

تفاوت معنی‌داری وجود دارد. اما برای اثر متقابل سطح برگ و تیمار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است. به این معنی که میزان تراکم پوره‌های سنین مختلف بر حسب سطح برگ و تیمار بصورت همزمان در روزهای متفاوت تفاوتی را نشان نمی‌دهد. میزان اثر تیمار نیز برابر $0/304$ که میزان اثر متوسط را نشان می‌دهد، می‌باشد. اثر سطوح برگ نیز برابر $0/253$ می‌باشد که میزان اثر متوسطی را نشان می‌دهد.

می‌باشد (بیشتر از $0/36$). برای اثر متقابل زمان و تیمار مقدار ا تا در آزمون لاندای ویلکز برابر با $0/129$ تعیین شد که این اندازه اثر نیز در حد متوسط (بین $0/04$ و $0/36$) می‌باشد. برای اثر متقابل زمان و سطح برگ این اندازه اثر برابر $0/408$ و در حد قوی ارزیابی شد. جدول ۲ مهمترین نتایج پژوهش را در بر دارد. همانطور که مشاهده می‌شود اثر تیمار و اثر سطوح برگ معنی‌دار می‌باشد. یعنی بین میزان تراکم پوره‌های سنین مختلف پسپیل معمولی پسته در تیمارهای مختلف و همچنین در سطوح مختلف برگ

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) بررسی اثرات چند متغیره در ارتباط با تغییر تراکم پوره‌های پسپیل پسته

منبع تغییرات	مجموع مربعات نوع سوم	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	مقدار معنی‌داری	مجذور ا تا
عرض از مبدا	۵۱۵۵/۲۴۰	۱	۵۱۵۵/۲۴۰	۹۸/۵۵۵	۰/۰۰۰	۰/۵۷۸
تیمار	۱۶۴۶/۹۴۰	۳	۵۴۸/۹۸۰	۱۰/۴۹۵	۰/۰۰۰	۰/۳۰۴
سطح برگ	۱۲۷۴/۴۹۰	۱	۱۲۷۴/۴۹۰	۲۴/۳۶۵	۰/۰۰۰	۰/۲۵۳
تیمار*سطح برگ	۲۵۹/۱۳۰	۳	۸۶/۳۷۷	۱/۶۵۱	۰/۱۸۵	۰/۰۶۴
خطا	۳۷۶۶/۲۰۰	۷۲	۵۲/۳۰۸			

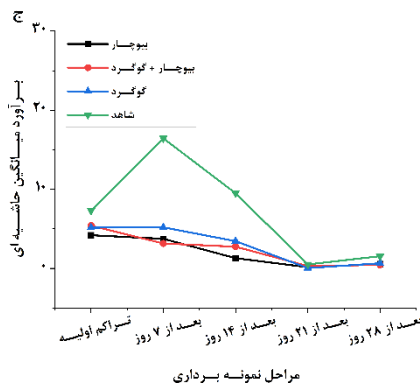
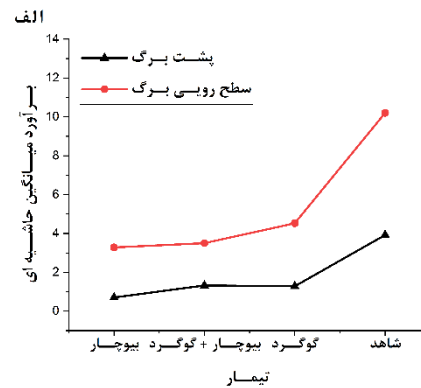
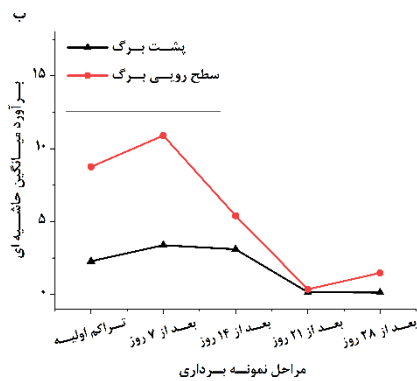
تیمار شاهد دارای بیشترین میزان تراکم پوره (چه روی برگ، چه پشت برگ) می‌باشد. بعلاوه مشاهده می‌شود که میزان تراکم پوره‌های پسپیل معمولی پسته در تیمار شاهد در روی برگ بیشتر از تراکم پوره‌ها مربوط به تیمار شاهد در پشت برگ می‌باشد. برای تیمارهای دیگر نیز میزان

شکل ۳ (الف) میزان تراکم پوره‌های سنین مختلف پسپیل معمولی پسته در تیمارهای مورد آزمون را بر حسب سطوح برگ نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که بین سطوح تراکم پوره‌ها - تیمار بر حسب سطح برگ (پشت برگ یا روی برگ) تفاوت وجود دارد. بطور کلی

مشاهده می‌شود که روز هفتم دارای بیشترین میزان تراکم پوره در سطح رویی برگ می‌باشد. در کل دوره میزان تراکم پوره‌ها برای پشت برگ کمتر از روی برگ می‌باشد. بطور کلی با گذشت زمان میزان تراکم پوره‌های پسیل پسته همزمان با ظهور حشرات کامل و شروع نسل بعد پسیل کاهش پیدا می‌کند.

تراکم پوره‌های پسیل پسته روی برگ بیشتر از پشت برگ می‌باشد. بعلاوه مشاهده می‌شود که تیمار بیوچار دارای میزان تراکم پوره کمتری نسبت به تیمارهای دیگر می‌باشد.

شکل ۳ (ب) میزان تراکم پوره‌های سنین مختلف پسیل معمولی پسته در سطوح برگ را بر حسب مراحل مختلف نمونه برداری در روزهای مختلف نشان می‌دهد،



شکل ۳- نمودار برآورد میانگین‌های حاشیه‌ای مربوط به روند تغییرات تراکم پوره‌های پسیل معمولی پسته؛ (الف) میزان مجموع تراکم پوره‌های پسیل متأثر از تیمارها بر حسب سطوح مختلف برگ. (ب) میزان مجموع تراکم پوره‌های پسیل پسته در سطوح مختلف برگ بر حسب مراحل مختلف نمونه برداری. (ج) روند تغییرات تراکم پوره‌های پسیل معمولی پسته متأثر از تیمارهای مختلف بر حسب مراحل مختلف نمونه برداری

بیوچار کاملاً مشهود می‌باشد، به طوری که در روز بیست و هشتم به کمترین میزان خود رسیده است.

پسیل معمولی پسته *A. pistaciae* از آفات درجه اول پسته کشور و یکی از آفات بومی در پسته کاری‌های ایران و کشورهای همجوار است. پسیل معمولی پسته در بین پسته کاران استان کرمان به نام "شیره خشک" معروف می‌باشد. این حشره بلافاصله پس از متورم شدن و باز شدن جوانه‌های درختان پسته در روزهای اول بهار شروع به فعالیت می‌کند و جمعیت آن معمولاً به سرعت افزایش می‌یابد. وجود تراکم بالای جمعیت حشره همزمان با شروع مغز بستن پسته و یا پس از آن موجب اختلال در روند پر شدن مغز می‌گردد و در نتیجه خسارت جبران ناپذیری به محصول پسته وارد می‌گردد به طوری که گاهی محصول سه سال متوالی را متاثر می‌سازد (Mehrnejad, 2001). به همین دلیل باغداران پسته حساسیت شدیدی نسبت به این آفت دارند و بطور مداوم با به کارگیری آفت‌کش‌ها سعی در کنترل آن دارند.

همراه با اثرات جانبی که حشره‌کش‌ها روی محیط زیست و حشرات مفید وارد می‌کنند، پدیده ظهور مقاومت نیز در جمعیت‌های پسیل همواره دیده می‌شود و می‌توان ادعا نمود که حشره‌کش‌ها در جلوگیری از طغیان این آفت کارایی نداشته‌اند. لذا تحقیق در زمینه دستیابی به

شکل ۳ (ج) میزان تراکم پوره‌های سنین مختلف پسیل معمولی پسته متاثر از تیمارهای مورد مطالعه را بر حسب مراحل نمونه‌برداری در روزهای مختلف نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که ۷ روز پس از محلولپاشی تیمار شاهد دارای بیشترین میزان تراکم پوره می‌باشد. در همین زمان که جمعیت پوره‌ها در تیمار شاهد به واسطه ظهور پوره‌ها، نشو و نما و تفریح تخم‌های زنده مانده از محلولپاشی (با گذشت ۷ روز از محلولپاشی) روند افزایشی داشته و میانگین تراکم پوره‌ها بالاتر از سطح زیان اقتصادی می‌باشد در سایر تیمارها و علی‌الخصوص پوره‌ها و تخم‌های پسیل پسته متاثر از بیوچار طبیعی معدنی کوهبنان تراکم آن‌ها روند نزولی داشته و میانگین جمعیت زیر سطح زیان اقتصادی^۱ می‌باشد. Hassani et al. (۲۰۰۹) محدوده محاسبه‌شده سطح زیان اقتصادی (EIL) پوره‌های پسیل پسته روی هر برگچه انتهایی در رقم پسته اوحدی در رفسنجان را بین ۷/۷ تا ۳۰/۷ پوره-روز تعیین کردند. کمترین میزان تراکم پوره برای تیمار شاهد در روز بیست و یکم می‌باشد که همزمان با شروع نسل بعد و افزایش تخم‌ریزی حشرات کامل پسیل معمولی پسته می‌باشد. تراکم پوره‌های پسیل پسته در سایر تیمارها روند نزولی داشته است که این کاهش تراکم پوره‌ها در تیمار

¹ Economic injury levels

پیشرفت فصل تغییر می‌یابد. پس از آن جوانه‌های ماقبل انتهایی بر سایر بافت‌ها رجحان دارد اما با رویش سرشاخه‌ای جدید، این حشره به طور وسیع روی بافت‌های تازه و آبدار تخم‌گذاری می‌کند (Horton, 1990). پسیل زیتون *Euphyllura phillyrae* Forster ترجیح می‌دهد روی جوانه‌های متورم گل که کاملاً رشد کرده‌اند تخم گذاری کند، اما روی گل‌های باز شده تخم گذاری نمی‌نماید. پوره‌های پسیل زیتون از برگ‌های جوان و گل‌ها تغذیه می‌کنند. تحقیقات نشان می‌دهد تولید مثل موفقیت آمیز پسیل زیتون به وجود محل مناسب برای تخم گذاری این حشره بستگی دارد (Prophetou- Athanasiadou, 1996) پسیل مرکبات *Trioza erytrae* تخم‌گذاری روی برگ‌های جوان میزبان را ترجیح می‌دهد و بنابراین نوسانات جمعیت حشره شدیداً به رویش برگ‌های جدید میزبان بستگی دارد (Catling, 1969). در پژوهش صورت گرفته توسط بختیاری و همکاران (۱۳۹۵) اثر حشره‌کشی گوگرد میکرونیزه و اختلاط آن با کائولین فرآوری شده (پودر وتابل ۹۵ درصد) روی پوره پسیل پسته در منطقه کاشمر استان خراسان رضوی بررسی شد. نتایج نشان داد که اختلاط گوگرد میکرونیزه موجب افزایش کارایی کائولین می‌گردد.

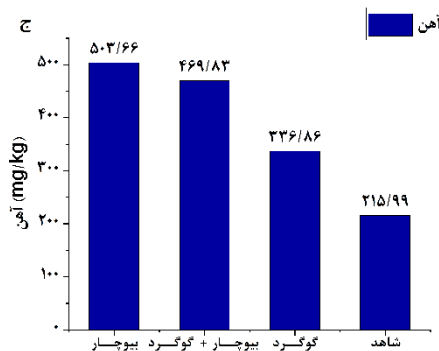
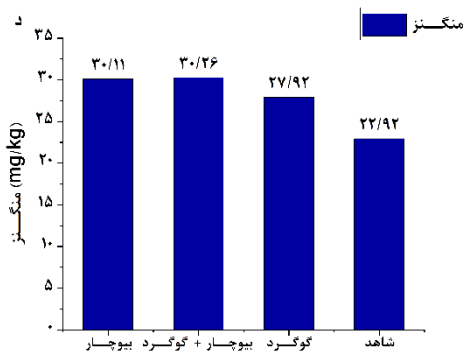
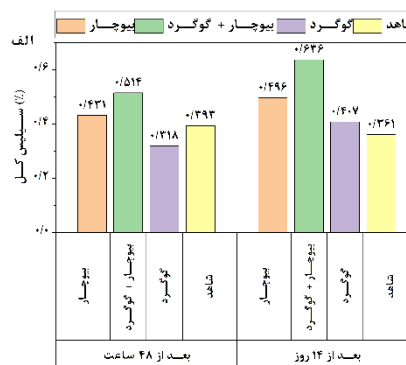
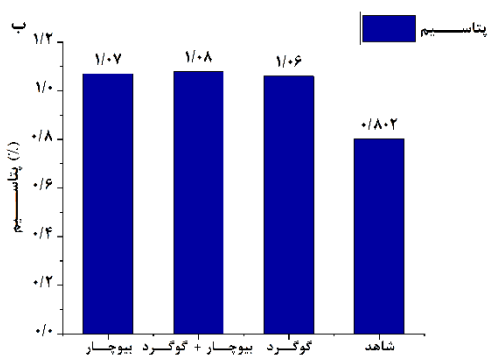
روش‌های جایگزین و برنامه‌های مدیریت آفت در زمینه مبارزه منطقی با این آفت امری اجتناب ناپذیر است. کنترل این حشره از اوایل دهه‌ی ۱۳۴۰ به بعد عمدتاً با استفاده از مواد شیمیایی حشره‌کش بوده است و تا به حال بیش از ۷۰ نوع ماده حشره‌کش بطور رسمی روی این آفت آزمایش شده است ولی به دلیل ظهور پدیده مقاومت، حشره‌کش‌ها یکی پس از دیگری تأثیر خود را از دست دادند (مهرنژاد، ۱۳۹۲).

شادابی بافت گیاه و امکان جذب آب بوسیله‌ی تخم از طریق پایه موجود در قاعده آن از جمله پارامترهای موثر در انتخاب محل تخم‌گذاری و پراکنش پسیل‌ها می‌باشد (Hodkinson, 2009). بافت گیاهی که مورد حمله پسیل‌ها قرار می‌گیرد و این گروه از حشرات از آن تغذیه می‌کنند یا برای تخم‌گذاری استفاده می‌کنند، در میان گونه‌های پسیل متفاوت است. همچنین محققین معتقدند که انتخاب سلول‌های گیاهی برای تغذیه توسط پسیل به طور تصادفی صورت نمی‌گیرد بلکه روند انتخاب توسط سلول‌های حساس و گیرنده‌ی حشره دنبال می‌شود، مانند اعضا حساس موجود روی لب پایین و پنجه‌های پسیل گلابی که مسئولیت شناسایی محل تغذیه حشره را به عهده دارند. افراد فرم زمستان گذران پسیل گلابی در محل شیارهای زیر جوانه انتهایی در اسپند تخم‌گذاری می‌کنند، اما این رجحان محل تخم گذاری با

تحریک مکانیسم‌های دفاعی گیاه

براساس نتایج به دست آمده افزایش میزان سیلیس کل در برگ متأثر از تیمارهای حاوی بیوجار در مقایسه با سایر تیمارها محسوس می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۴ (الف) مشاهده می‌شود میزان سیلیسیم تجمع یافته در برگ متأثر از محلولپاشی بیوجار طبیعی معدنی

کوهبنان و همچنین اختلاط بیوجار و گوگرد پس از گذشت ۴۸ ساعت (به ترتیب با میزان ۱/۱ و ۱/۳ برابر افزایش) و متعاقب آن پس از گذشت ۱۴ روز (به ترتیب با میزان ۱/۴ و ۱/۸ برابر افزایش) در مقایسه با تیمار شاهد به میزان قابل توجهی افزایش یافته است.



شکل ۴- مقادیر سیلیس کل (الف) پتاسیم (ب) آهن (ج) و منگنز (د) برگ درختان پسته ۱۴ روز بعد از محلول‌پاشی

فسفیت پتاسیم، به‌عنوان یک ترکیب کود-سم فراگیر علیه عوامل بیماری‌زای قارچی و باکتریایی خاکزاد و هوازاد است، که به‌صورت سیمپلاستیک در گیاه حرکت کرده و خاصیت پیشگیری، ایمن‌سازی و درمان دارد (Thao & Yamakawa, 2009). فسفیت‌ها می‌توانند تأثیر مستقیم روی بیمارگر و یا تأثیر غیر مستقیم با تحریک پاسخ‌های دفاعی میزبان داشته باشند (Deliopoulos *et al.*, 2010). تأثیر مستقیم شامل مهار رشد قارچ و کاهش یا تغییر سوخت و ساز بیمارگر و تأثیر غیر مستقیم شامل تحریک سازوکارهای دفاعی گیاه مانند افزایش تولید فیتوالکسین‌ها و گونه‌های اکسیژن فعال، القای پروتئین‌ها^۲ و تقویت دیواره سلولی است (Lobato *et al.*, 2008). در پژوهشی اثر محلولپاشی غلظت‌های مختلف ترکیب کودی سیلیکات پتاسیم روی کاهش جمعیت مینوز (*Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae) در گیاه داودی بررسی شد. نتایج نشان داد که در غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و بالاتر کاهش معنی‌داری در جمعیت مینوز مشاهده شد (Parrella *et al.*, 2006). نتایج مربوط به تغییرات میزان کلروفیل (a و b) و کارتنوئید برگ پس از گذشت ۲۱ و ۲۸ روز از محلولپاشی در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود

تجمع سیلیسیم (Si) در گیاهان به‌عنوان یک دفاع فیزیکی موثر در برابر گیاهخواران شناخته شده است (Reynolds *et al.*, 2016)، این موضوع به‌ویژه در گیاهان علوفه‌ای از جمله غلات، که دفاع از طریق متابولیت ثانویه در آن‌ها محدود می‌باشد اهمیت بالاتری داشته به طوری که مقادیر نسبتاً بالاتری سیلیسیم (بیش از ۱۰ درصد وزن خشک) می‌تواند در این گیاهان تجمع یابد (Moore & Johnson, 2016). گیاهان پس از جذب فعال یا جذب غیرفعال اسید ارتوسیلیک^۱ از طریق ریشه‌ها و انتقال از طریق آوند چوبی، سیلیس (SiO₂) را در بافت‌ها، از جمله ساختارهای دفاعی فیزیکی (مانند تریکوم‌ها) ذخیره می‌کنند (Mandlik *et al.*, 2020).

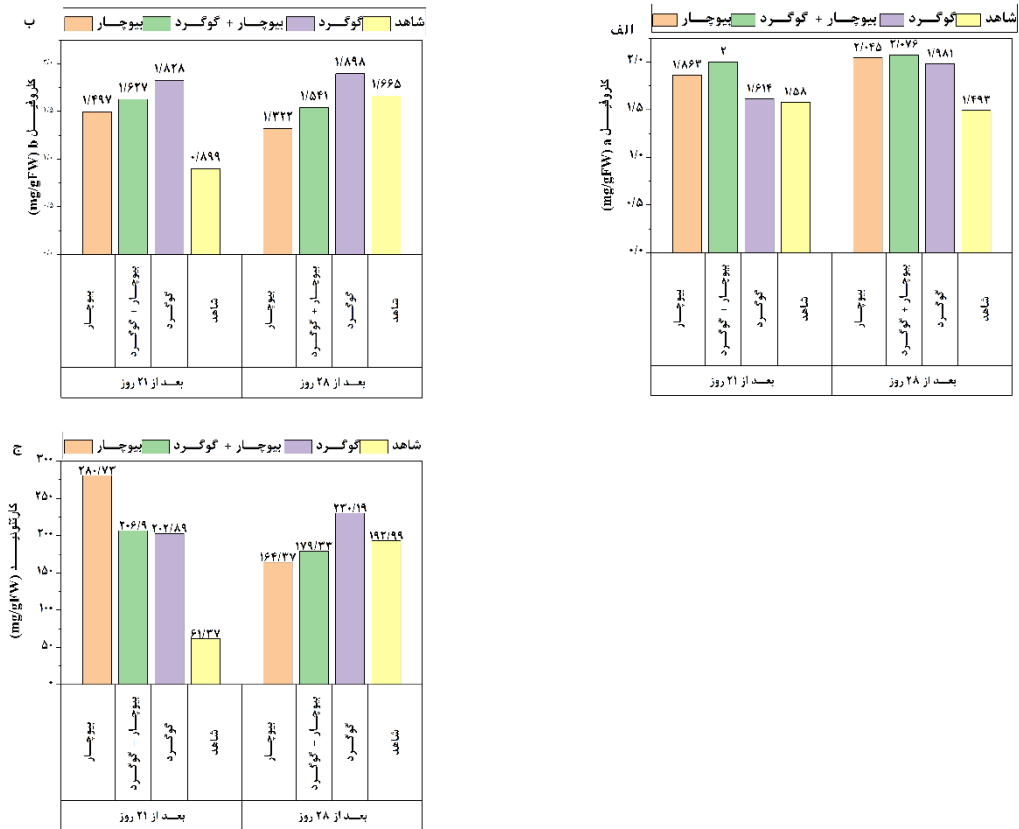
با توجه به شکل ۴ (ب)، (ج) و (د)، همان‌گونه که مشاهده می‌شود میزان پتاسیم، آهن و منگنز برگ ۱۴ روز بعد از محلولپاشی در تیمارهای حاوی بیوچار به میزان قابل توجهی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافته است. به واسطه افزایش جذب پتاسیم در گیاه، گردش نیتروژن محلول در بافت آبکش کاهش یافته و این موضوع باروری آفات مکنده از جمله شته‌ها را به تأخیر می‌اندازد (Keller *et al.*, 2015).

¹ Orthosilicic acid

² Pathogenesis-related protein

گیاه باعث می‌شود کلروفیل به مقدار کافی ساخته نشده و برگ‌ها رنگ پریده شود. از آنجا که کلروفیل انرژی نور خورشید را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کند، کاهش مقدار کلروفیل برگ منجر به کاهش ماده سازی در گیاه شده و در نهایت محصول کاهش می‌یابد (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۸۷).

میزان کلروفیل a در برگ علی‌الخصوص در تیمارهای حاوی بیوجار افزایش قابل توجهی در مقایسه با تیمار شاهد داشته است. با توجه به شکل ۴ و ۵ مشخص می‌شود، افزایش میزان کلروفیل به تبع افزایش میزان آهن و منگنز در برگ صورت پذیرفته است این امر می‌تواند به دلیل نقش مهم این عناصر در تولید کلروفیل و فتوسنتز باشد به طوری که کمبود آهن و یا کمی تحرک آن در



شکل ۵- تغییرات میزان کلروفیل a (الف)، کلروفیل b (ب) و کارتنوئید (ج) در برگ پس از گذشت ۲۱ و ۲۸ روز از محلول پاشی

حشرات و/یا کشتن آنهاست، بنابراین از آسیب لاروهایی که از آنها بیرون می‌آیند اجتناب می‌کنند (Hilker & Meiners, 2006). متابولیت‌های ثانویه القایی، ترکیبات بازدارنده تغذیه و سموم در گیاهان تولید شده در پاسخ به هجوم حشرات و/یا کاربرد محرک منجر به کاهش تخمگذاری و کاهش رشد و نمو لارو می‌شود (War *et al.*, 2013).

براساس نتایج به دست آمده در پژوهش اخیر افزایش تراکم تخم پسیل پسته در تیمار شاهد پس از گذشت ۲۱ روز در مقایسه با سایر تیمارها معنی‌دار بوده است لذا تیمارهای مورد مطالعه علی‌الخصوص ترکیب بیوچار طبیعی معدنی کوهبنان با ایجاد سدهای دفاعی فیزیکی شامل افزایش تجمع سیلیس در برگ منجر به کاهش روند تخم‌گذاری پسیل معمولی پسته گردیده است ضمناً افزایش پتاسیم، آهن و منگنز و کلروفیل در برگ بر کاهش ارجحیت گیاه میزبان برای حشرات کامل پسیل پسته موثر بوده است.

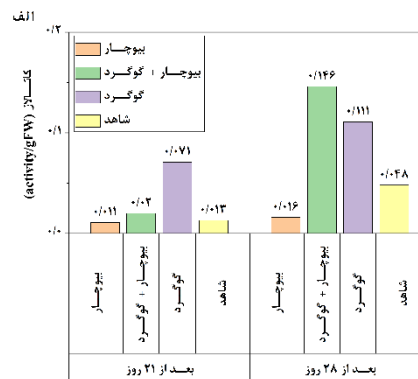
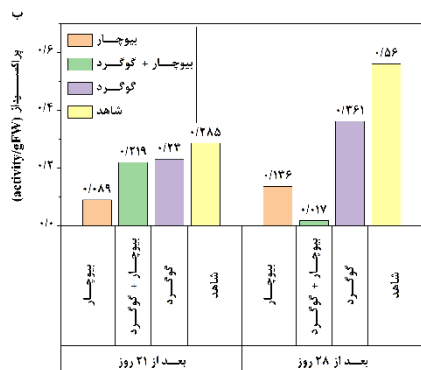
به منظور بررسی فرآیندهای فیتوشیمیایی برگ همزمان با شکستن سدهای دفاعی گیاه و افزایش تراکم تخم پسیل، ۲۱ و ۲۸ روز پس از محلولپاشی در تیمارهای مورد مطالعه روند تغییرات میزان آنزیم‌های اکسیداتیو شامل کاتالاز و پراکسیداز مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). همان‌گونه که مشاهده می‌شود میزان آنزیم کاتالاز و

مطالعات متعددی برای شناسایی ویژگی‌های طیف‌سنجی آلودگی گیاهان به آفات انجام شده است. Blanchfield *et al.* (۲۰۰۶) با استفاده از اندازه‌گیری میزان بازتاب برگ‌های آلوده یک روش غیر مستقیم برای تشخیص آلودگی درختان انگور به شته فیلوکسرا از طریق ترکیب رنگدانه برگ را بررسی نمودند. آنها کاهش کلروفیل برگ و افزایش غلظت رنگدانه محافظ نور را به دلیل آلودگی به شته فیلوکسرا گزارش کردند. اندازه‌گیری طیف‌سنجی همچنین برای تشخیص خسارت ناماتدها مورد استفاده قرار گرفت، حتی این مطالعه برای پنبه (Lee & Tardaguila, 2023) و چغندرقد (Hillnhütter *et al.*, 2011) انجام شد.

تخمگذاری حشرات اولین و مهمترین مورد در میان زنجیره رویدادها در برهمکنش حشره و گیاه است. مناسب بودن گیاه میزبان برای تخمگذاری حشرات، مقاومت گیاه و یا موفقیت حشرات در بقاء و استمرار چرخه زندگی حشره را تعیین می‌کند (Hilker & Meiners, 2006). مواد شیمیایی سطحی، فرارهای گیاهی، تریکوم‌ها و ضخامت سطحی اجزای گیاه اجزای مهمی هستند که میانجی ترجیح/عدم ارجحیت گیاه میزبان برای تخمگذاری هستند (War *et al.*, 2013). گیاهان از طریق دفاع مستقیم و غیرمستقیم به تخمگذاری حشرات پاسخ می‌دهند، که هدف آنها خلاص شدن از شر تخم‌های

است که میزان این دو آنزیم در تیمار بیوجار طبیعی معدنی تغییر محسوسی نداشته است.

پراکسیداز همزمان با افزایش تراکم پوره‌ها و تخم پسپیل در تیمار شاهد و گوگرد افزایش یافته است و این در حالی



شکل ۶- تغییرات میزان آنزیم کاتالاز (الف) و آنزیم پراکسیداز (ب) در برگ پس از گذشت ۲۱ و ۲۸ روز از محلول پاشی

افزایش یافته و تنش اکسیداتیو ایجاد می‌گردد (Jaleel *et al.*, 2009).

گیاه در صورتی می‌تواند در مقابل خسارت ناشی از تنش مقاومت کند که ظرفیت دفاعی خود را بالا ببرد. این سیستم شامل مکانیسم‌های سم‌زدایی آنزیمی و غیرآنزیمی است (Zhang & Kirkham, 1996) که خسارات ناشی از رادیکال‌ها را به واسطه بروز تغییراتی در میزان آنزیم‌های دفاعی گیاه و ترکیبات دیگری از جمله فنل‌ها تخفیف می‌دهد و یا ترمیم می‌کند (Honty, 2005).

در شرایط بهینه رشد گیاه، بین تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و مصرف آن تعادل وجود دارد. در شرایط عادی فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو مثل کاتالاز، پلی‌فنل‌اکسیداز^۱، پراکسیداز، فنیل‌آلانین‌آمونیا لیاز^۲ همچنین سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مثل کاروتنوئیدها و ترکیبات فنلی و غیره این تعادل را حفظ می‌کند (Khanna-Chopra & Selote, 2007). در گیاه تحت تنش، این تعادل بهم خورده، تولید رادیکال‌های آزاد

¹ Poly-phenol oxidase

² Phenylalanine ammonialyase

پراکسیداز، فنیل آلانین آمونیاکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز ارتباط نزدیکی با مقاومت یونجه به شته دارد و می‌تواند به عنوان شاخص‌های فیزیولوژیکی برای آزمایش مقاومت به شته در یونجه مورد استفاده قرار گیرد.

پراکسیدازها گروهی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو هستند که باعث تجزیه آب اکسیژنه به وسیله اکسیداسیون یک ماده همراه شده، سلول را در برابر مقادیر سمی پراکسید هیدروژن حفاظت می‌نمایند و از جمله آنزیم‌هایی هستند که بر اثر تنش‌های زیستی فعال می‌شود (Parida & Das, 2005) و در سیتوسول، واکوئل، کلروپلاست و فضای خارج سلولی واقع شده‌اند. تجمع پراکسیدازها در سلول نقش مهمی در مستحکم سازی دیواره‌ی سلولی در طی تمایز سلولی و افزایش مقاومت به نفوذ عوامل بیمارگر دارد. آنزیم پراکسیداز در شماری از عملکردهای متابولیکی اولیه و ثانویه مختلف از جمله در تنفس گیاهان عالی از طریق اکسیداسیون متابولیت‌ها به واسطه پراکسید هیدروژن به عنوان پذیرنده الکترون (Frič, 1976)، تنظیم کشیدگی سلول (Goldberg *et al.*, 1986)، لیگنیفیکاسیون^۳ (Egea *et al.*, 2001)، اکسیداسیون فنل (Schmid & Feucht, 1980)، رسوب

چندین آنزیم محافظ مانند سوپراکسید دیسموتاز^۱، کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز و آسکوربات پراکسیداز^۲ در سم‌زدایی ROS نقش دارند (Lu *et al.*, 2017). مطالعات نشان می‌دهد که میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشانه تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌باشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان معمولاً در شرایط تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد که با حفاظت سلول‌ها مرتبط است (Parida & Das, 2005).

در پژوهشی مشابه، افزایش فعالیت آنزیم‌های محافظ سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز یکی از مهمترین اجزاء پاسخ‌های دفاعی در برگ‌های نوظهور نخود به تنش اکسیداتیو ناشی از شته نخود (*Acyrtosiphon pisum*) (Harris تعیین شد (Mai *et al.*, 2013). (Maserti *et al.*, 2011) دریافتند که ۴ پروتئین از ۵۰ پروتئین شناسایی شده که تولید آن توسط کنه دو لکه‌ای *Tetranychus urticae* و متیل جاسمونات در برگ مرکبات القا شده است، آنزیم‌های مرتبط با تنش اکسیداتیو، از جمله گلوکاتایون فسفولیپید، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، هستند. (Wei *et al.*, 2007) دریافتند که تغییرات در فعالیت سوپراکسید دیسموتاز،

¹ Superoxide dismutase

² Ascorbate peroxidase

^۳ Lignification

تیمارهای هورمونی همراه با چندین شاخص از وضعیت فیزیولوژیکی گیاه در سطح بیوشیمیایی مورد سنجش قرار گرفت. نتیجه اصلی این پژوهش کاهش قابل توجه تعداد تخم‌ها و پوره‌های *A. pistaciae* بر روی برگ‌های درختان پسته در معرض تیمار هورمونی به‌ویژه سالیسیلیک اسید بود (Shahabinejad *et al.*, 2014).

امکان القای هورمونی مقاومت به درختان بالغ پسته نسبت به پسیل معمولی پسته به وسیله هورمون‌های متیل جاسمونات، سالیسیلیک اسید و ماده سیلیس آزمایش شد. در کلیه تیمارها تراکم تخم، پوره‌های سنین ۱-۴ و پوره سن آخر در مقایسه با شاهد به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. متیل جاسمونات به ترتیب به میزان ۶۹، ۶۴ و ۸۶ درصد، (متیل جاسمونات+سیلیس) تا ۶۳، ۷۶ و ۹۵ درصد، سالیسیلیک اسید تا ۸۸، ۷۶ و ۸۶ درصد، (سالیسیلیک اسید +سیلیس) تا ۷۱، ۸۴ و ۹۵ درصد و سیلیس تا ۷۰، ۸۵ و ۹۷ درصد تراکم جمعیت این سه مرحله رشدی را کاهش دادند. متیل جاسمونات به‌طور معنی‌داری محتوی ترکیبات فنل و (متیل جاسمونات+سیلیس) فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز برگ را افزایش داد (شهابی‌نژاد، ۱۳۹۱).

Poveda *et al.* (۲۰۲۱) تغییر تنوع زیستی

نماتدها، افزایش نماتدهای غیرانگل گیاهی، افزایش

مواد فنلی بر روی دیواره‌های سلولی در طی واکنش‌های مقاومت (Graham & Graham 1991) و التیام دادن زخم‌ها (Espelie *et al.*, 1986) نقش دارند.

دهم‌ده (۱۳۹۵) نقش ترکیبات القاکننده شامل بیولوگ سیدروفوریک، فسفیت پتاسیم، کمپلکس آمینواسید و موونتو را به عنوان فعال‌کننده مکانیسم‌های دفاعی گیاه لوبیا علیه کنه تارتن دولکه‌ای در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که تیمار بیولوگ سیدروفوریک دارای بیشترین تاثیر و تیمار موونتو دارای کمترین تاثیر روی نرخ ذاتی افزایش و نرخ خالص تولید مثل جمعیت بودند. همچنین مشخص شد ۵ روز پس از تیمار گیاه لوبیای آلوده به کنه تارتن دولکه‌ای با ترکیبات القاکننده میزان آنزیم‌های پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز و محتوای فنل کل افزایش یافت. با توجه به نتایج بدست آمده، ترکیبات القاکننده دارای پتانسیل القای سیستمیک آنزیم‌های پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز و محتوای فنل کل در گیاه هستند که در سیستم گیاهی اثر دارند و می‌توانند در مدیریت کنه تارتن دولکه‌ای مورد توجه قرار گیرند.

امکان استقرار پسیل معمولی پسته روی برگ‌های درختان پسته پس از محلول‌پاشی متیل جاسمونات و سالیسیلیک اسید در شرایط مزرعه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. پاسخ‌های دفاعی القا شده در گیاهان توسط

جمله پراکسیداز، به حداقل برسد. همچنین پراکسید می‌تواند به عنوان یک سوبسترا در اکسیداسیون ترکیب فنلی توسط پراکسیدازها نقش داشته باشد. با این حال در این پژوهش، برای بررسی این استراتژی دفاعی هیچ آزمون آزمایشی انجام نشده است که باید توسط تحقیقات اختصاصی بیشتر تأیید شود.

براساس دستاوردهای پژوهش اخیر، کاربرد بیوچار طبیعی معدنی کوهبنان باعث کاهش جمعیت پوره‌های پسیل معمولی پسته در دو سطح برگ گردید. بازدارندگی ترکیب بیوچار طبیعی معدنی کوهبنان موجب عدم رجحان این آفت کلیدی در تخم‌ریزی و همچنین اختلال در تغذیه و استقرار پوره‌های پسیل معمولی پسته شد. شایان ذکر است که کنترل این آفت خطرناک و کلیدی پسته نه به واسطه کاربرد سمی مهلک بلکه در سایه بکارگیری ترکیبی کاملاً سازگار با محیط زیست ممکن گردید. در نتیجه، این اولین مطالعه‌ای است که تأثیر محلولپاشی بیوچار طبیعی را به عنوان یک ماده معدنی سازگار با محیط زیست بر مدیریت پسیل معمولی پسته *A. pistaciae* در شرایط باغ و تحریک پاسخ دفاعی درختان پسته مورد ارزیابی قرار داده است.

سپاسگزاری

بدینوسیله از جناب آقای مهندس محمد مجیدی کوهبنانی به سبب در اختیار قرار دادن ماده بیوچار طبیعی

میکروارگانسیم‌های مفید، سمیت مستقیم (به واسطه ترکیبات ضد نماتدی)، القاء دفاع گیاهی (افزایش نسخه‌برداری ژن‌های اتیلن و تجمع H_2O_2) در راستای مدیریت نماتدهای گیاهی، مقاومت سیستمیک القایی و همچنین القاء دفاع گیاهی (مقاومت سیستمیک القایی) در جهت کنترل حشرات و کنه‌ها را به عنوان مهمترین مکانیسم‌های دخیل در کاهش بیماری‌های گیاهی و آفات در خاک‌های اصلاح شده با استفاده از بیوچار عنوان کردند.

نتیجه‌گیری کلی

گیاهان از طریق ترکیبی از دفاع سازنده و القایی که عملکرد گیاهخوار را کاهش می‌دهد از خود در برابر گیاهخواران محافظت می‌کنند. از این رو، کاربرد خارجی بیوچار طبیعی معدنی کوهبنان بر روی برگ‌های پسته می‌تواند باعث ایجاد دفاع مستقیم به واسطه‌ی افزایش سطح متابولیت‌های ثانویه یا آنزیم‌هایی شود که به عنوان سموم یا مواد بازدارنده تغذیه عمل می‌کنند (Pieterse *et al.*, 2012). پس از کاربرد ترکیب القاکننده، افزایش سطح H_2O_2 عموماً در ۲۴ ساعت اول بسیار سریع است (Gómez-Vásquez *et al.*, 2004). در این پژوهش، سطح H_2O_2 و تغییرات میزان آنزیم‌های اکسیداتیو به منظور ارزیابی مکانیسم‌های احتمالی ایجاد مقاومت القایی در زمان مقتضی اندازه‌گیری نشده است. بنابراین ممکن است که محتوای H_2O_2 قبلاً توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، از

۵. مهرنژاد، م. (۱۳۹۲). آفات درختان پسته ایران، (دشمنان طبیعی و روش‌های کنترل). انتشارات سپهر. تهران.

6. Blanchfield, A. L., Robinson, S. A., Renzullo, L. J., & Powell, K. S. (2006). Phylloxera-infested grapevines have reduced chlorophyll and increased photoprotective pigment content — can leaf pigment composition aid pest detection? *Functional Plant Biology*, 33(5), 507–514. <https://doi.org/10.1071/fp05315>
7. Catling, H. D. (1969). The bionomics of the South African citrus psylla, *Trioza erythraea* (Del Guercio) (Homoptera: Psyllidae) I. The influence of the flushing rhythm of citrus and factors which regulate flushing. *Journal of the entomological Society of Southern Africa*, 32(1), 191-208.
8. Costa, C., Guiné, R., Costa, D. C., Correia, H., & Nave, A. (2019). Pest Control in Organic Farming. In *Elsevier eBooks* (pp. 41–90). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813272-2.00003-3>
9. Deliopoulos, T., Kettlewell, P. S., & Hare, M. C. (2010). Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. *Crop Protection*, 29(10), 1059–1075. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.011>

معدنی کوهبنان و پشتیبانی فنی و مالی پروژه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱. بختیاری، س، فرازمند، ح، جبلیه، ع، رضانی مقدم، م، سیرجانی، م. و حشمت‌پژوه، م. (۱۳۹۵). تاثیر اختلاط گوگرد میکرونیزه با کائولین فرآوری شده روی پسپیل معمولی پسته در منطقه کاشمر. بیست و دومین کنگره گیاه‌پزشکی ایران، ۶ تا ۹ شهریورماه، دانشگاه تهران، ۸۲۶–۸۲۷.
۲. دهمرده، ع. (۱۳۹۵). تاثیر برخی ترکیبات القاکننده مقاومت در گیاه لوبیا بر میزان خسارت و پارامترهای دموگرافی کنه تارتن دولک‌های *Tetranychus urticae*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شهید ولی عصر رفسنجان، ۱۰۲ صفحه.
۳. شهبابی‌نژاد، م. (۱۳۹۱). اثرات متیل جاسمونات، اسید سالیسیلیک و سیلیس بر مقاومت درختان بالغ پسته به پسپیل معمولی پسته. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۲۰ صفحه.
۴. ملکوتی، م.ج. و طباطبایی ج. (۱۳۷۸). تغذیه صحیح درختان میوه. نشر آموزش کشاورزی. کرج.

- aspects of plant peroxidases*/edited by H. Greppin, C. Penel, Th. Gaspar. University of Geneva, Geneva, Switzerland. 208-220.
15. Gómez-Vásquez, R., Day, R., Buschmann, H., Randles, S., Beeching, J. R., & Cooper, R. M. (2004). Phenylpropanoids, phenylalanine ammonialyase and peroxidases in elicitor-challenged cassava (*Manihot esculenta*) suspension cells and leaves. *Annals of Botany*, 94(1), 87–97. <https://doi.org/10.1093/aob/mch107>
16. Graham, M. Y., & Graham, T. L. (1991). Rapid accumulation of anionic peroxidases and phenolic polymers in soybean cotyledon tissues following treatment with *Phytophthora megasperma* f. sp. *Glycinea* Wall Glucan. *Plant Physiology*, 97(4), 1445–1455. <https://doi.org/10.1104/pp.97.4.1445>
17. Hassani, M. R., Nouri-Ganbalani, G., Izadi, H., Shojai, M., & Basirat, M. (2009). Economic Injury Level of the Psyllid, *Agonoscena pistaciae*, on Pistachio, *Pistacia veracv.* Ohadi. *Journal of Insect Science*, 9(40), 1–4. <https://doi.org/10.1673/031.009.4001>
18. Hilker, M., & Meiners, T. (2006). Early Herbivore Alert: Insect Eggs Induce Plant Defense. *Journal of Chemical Ecology*, 32(7), 1051–1061. <https://doi.org/10.1007/s10841-006-9148-3>
19. Egea, C., Ahmed, A. S., Candela, M., & Candela, M. E. (2001). Elicitation of peroxidase activity and lignin biosynthesis in pepper suspension cells by *Phytophthora capsici*. *Journal of Plant Physiology*, 158(2), 151–158. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00079>
20. Espelie, K. E., Franceschi, V. R., & Kolattukudy, P. E. (1986). Immunocytochemical localization and time course of appearance of an anionic peroxidase associated with suberization in wound-healing potato tuber tissue. *Plant Physiology*, 81(2), 487–492. <https://doi.org/10.1104/pp.81.2.487>
21. Frič, F. (1976). Oxidative Enzymes. In *Springer eBooks* (pp. 617–631). https://doi.org/10.1007/978-3-642-66279-9_22
22. Fürstenberg-Hägg, J., Zagrobelny, M., & Bak, S. (2013). Plant Defense against Insect Herbivores. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 10242–10297. <https://doi.org/10.3390/ijms140510242>
23. Goldberg, R., Imberty, A., Liberman, M., & Prat, R. (1986). Relationships between peroxidatic activities and cell wall plasticity. *Molecular and physiological*

- 19(2), 357–361. <https://doi.org/10.1093/ee/19.2.357>
24. Howard, A. (1921). The influence of soil factors on disease resistance. *Annals of Applied Biology*, 7(4), 373–389. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1921.tb05525.x>
25. Hugo, A., & Lester, P. (1984). Catalase in vitro. *Methods Enzymol*, 105, 121-126.
26. Jaleel, C. A., Riadh, K., Gopi, R., Manivannan, P., Ines, J., Al-Juburi, H. J. & Panneerselvam, R. (2009). Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 427–436. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0275-6>
27. Kaloshian, I., Kinsey, M. G., Williamson, V. M., & Ullman, D. E. (2000). *Mi*-mediated Resistance against the Potato Aphid *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae) Limits Sieve Element Ingestion. *Environmental Entomology*, 29(4), 690–695. <https://doi.org/10.1603/0046-225x-29.4.690>
28. Keller, M., Rogiers, S. Y., & Schultz, H. R. (2003). Nitrogen and ultraviolet radiation modify grapevines' susceptibility to powdery 1379–1397. <https://doi.org/10.1007/s10886-006-9057-4>
19. Hill, C. M., Pearson, S. A., Smith, A. J., & Rogers, L. J. (1985). Inhibition of chlorophyll synthesis in *Hordeum vulgare* by 3-amino 2, 3-dihydrobenzoic acid (gabaculin). *Bioscience Reports*, 5(9), 775–781. <https://doi.org/10.1007/bf01119876>
20. Hillnhütter, C., Mahlein, A. K., Sikora, R. A., & Oerke, E. C. (2011). Remote sensing to detect plant stress induced by *Heterodera schachtii* and *Rhizoctonia solani* in sugar beet fields. *Field Crops Research*, 122(1), 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.02.007>
21. Hodkinson, I. D. (2009). Life cycle variation and adaptation in jumping plant lice (Insecta: Hemiptera: Psylloidea): a global synthesis. *Journal of Natural History*, 43(1–2), 65–179. <https://doi.org/10.1080/00222930802354167>
22. Honty, K. (2005). Some biochemical changes in pear fruit tissue induced by *Erwinia amylovora*. *Acta Biologica Szegediensis*, 49(1-2), 127-129.
23. Horton, D. R. (1990). Oviposition by Overwintering Morph of Pear Psylla (Homoptera: Psyllidae) with Information on Conditioning. *Environmental Entomology*,

33. Lu, F., Liang, X., Lu, H., Li, Q., Chen, Q., Zhang, P., Zhang, L. (2017). Overproduction of superoxide dismutase and catalase confers cassava resistance to *Tetranychus cinnabarinus*. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/srep40179>
34. Mai, V. C., Bednarski, W., Borowiak-Sobkowiak, B., Wilkaniec, B., Samardakiewicz, S., & Morkunas, I. (2013). Oxidative stress in pea seedling leaves in response to *Acyrtosiphon pisum* infestation. *Phytochemistry*, 93, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2013.02.011>
35. Mandlik, R., Thakral, V., Raturi, G., Shinde, S., Nikolic, M., Tripathi, D. K. Deshmukh, R. (2020). Significance of silicon uptake, transport, and deposition in plants. *Journal of Experimental Botany*, 71(21), 6703–6718. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa301>
36. Maserti, B. E., Del Carratore, R., Della Croce, C. M., Podda, A., Migheli, Q., Froelicher, Y. & Rossignol, M. (2011). Comparative analysis of proteome changes induced by the two spotted spider mite *Tetranychus urticae* and methyl jasmonate in citrus leaves. *Journal of plant mildew. VITIS-GEILWEILERHOF-*, 42(2), 87-94.
29. Khanna-Chopra, R., & Selote, D. S. (2007). Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than -susceptible wheat cultivar under field conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 60(2), 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.11.004>
30. Lee, W. S., & Tardaguila, J. (2023). Pest and Disease Management. In *Advanced Automation for Tree Fruit Orchards and Vineyards* (pp. 93-118). Cham: Springer International Publishing.
31. Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, 1(1), F4-3.
32. Lobato, M. C., Olivieri, F. P., Altamiranda, E. G., Wolski, E. A., Daleo, G. R., Caldiz, D. O., & Andreu, A. B. (2008). Phosphite compounds reduce disease severity in potato seed tubers and foliage. *European Journal of Plant Pathology*, 122(3), 349–358. <https://doi.org/10.1007/s10658-008-9299-9>

- 541–566.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095822>
42. Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324–349.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
43. Parrella, M. P., Costamagna, T. P., & Kaspi, R. (2006, February). The addition of potassium silicate to the fertilizer mix to suppress *Liriomyza* leafminers attacking chrysanthemums. In *VIII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Advances in Soil and Soilless Cultivation under 747* (pp. 365-370).
44. Pieterse, C. M. J., Van Der Does, D., Zamioudis, C., Leon-Reyes, A., & Van Wees, S. C. M. (2012). Hormonal Modulation of Plant Immunity. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 28(1), 489–521.
<https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-092910-154055>
45. Poveda, J. I., Martínez-Gómez, Á, Fenoll, C., & Escobar, C. (2021). The Use of Biochar for Plant Pathogen Control. *Phytopathology*, *physiology*, 168(4), 392-402.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.07.026>
37. Mehrnejad, M. R. (2001). The current status of pistachio pests in Iran. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 56(1), 315–322.
38. Mehrnejad, M. R. (2002). Bionomics of the common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae*, in Iran. *Acta Horticulturae*, (591), 535–539.
<https://doi.org/10.17660/actahortic.2002.591.82>
39. Moore, B. D., & Johnson, S. N. (2017). Get tough, get toxic, or get a bodyguard: identifying candidate traits conferring belowground resistance to herbivores in grasses. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1925.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01925>
40. Moyer, C., Peres, N. A., Datnoff, L. E., Simonne, E. H., & Deng, Z. (2008). Evaluation of Silicon for Managing Powdery Mildew on Gerbera Daisy. *Journal of Plant Nutrition*, 31(12), 2131–2144.
<https://doi.org/10.1080/01904160802459641>
41. Núñez-Farfán, J., Fornoni, J., & Valverde, P. L. (2007). The Evolution of Resistance and Tolerance to Herbivores. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38(1),

- peroxidase in cherry 111(9), 1490–1499.
shoots. *Gartenbauwissenschaft*, 45(2), 68-73. <https://doi.org/10.1094/phyto-06-20-0248-rvw>
51. Shahabinejad, M., Shojaaddini, M., Maserti, B. E., Arvin, S. M. J., & Seyedi, S. M. (2014). Exogenous application of methyl jasmonate and salicylic acid increases antioxidant activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Fandoughi) trees and reduces the performance of the phloem-feeding psyllid *Agonoscena pistaciae*. *Arthropod-plant Interactions*, 8(6), 525–530. <https://doi.org/10.1007/s11829-014-9334-z>
52. Sharma, H. C., Sujana, G., & Manohar Rao, D. (2009). Morphological and chemical components of resistance to pod borer, *Helicoverpa armigera* in wild relatives of pigeonpea. *Arthropod-Plant Interactions*, 3, 151–161. <https://doi.org/10.1007/s11829-009-9068-5>
53. Taggar, G. K., Gill, R. S., Gupta, A. K., & Sandhu, J. S. (2012). Fluctuations in peroxidase and catalase activities of resistant and susceptible black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper) genotypes elicited by *Bemisia tabaci* (Gennadius) feeding. *Plant Signaling & Behavior*, 7(10), 1321–1329. <https://doi.org/10.4161/psb.21435>
46. Prophetou-Athanasidou, D. A. (1996). Egg distribution patterns of olive psyllid *Euphyllura phillyreae* (Homoptera: Aphalaridae) on *Phillyrea latifolia* and *Olea europaea* in northern Greece. *Environmental Entomology*, 25(6), 1297–1303. <https://doi.org/10.1093/ee/25.6.1297>
47. Racusen, D., & Foote, M. (1965). Protein synthesis in dark-grown bean leaves. *Canadian Journal of Botany*, 43(7), 817-824.
48. Reynolds, O. L., Padula, M. P., Zeng, R., & Gurr, G. M. (2016). Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 7, 744. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00744>
49. Roberts, D. D., Paul, N. A., Bird, M. I., & De Nys, R. (2015). Bioremediation for coal-fired power stations using macroalgae. *Journal of Environmental Management*, 153, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.036>
50. Schmid, P. P. S., & Feucht, W. (1980). Tissue-specific oxidative browning of polyphenols by

- Microbial Pesticides*. Satish Serial Publishing House, 251p.
59. Walsh, L. M. (1971). *Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue*. Wiley-Blackwell, 222p.
60. Wang, J., & Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1002–1022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>
61. War, A. R., Hussain, B., & Sharma, H. C. (2013). Induced resistance in groundnut by jasmonic acid and salicylic acid through alteration of trichome density and oviposition by *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Aob Plants*, 5. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plt053>
62. War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. S. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signaling & Behavior*, 7(10), 1306–1320. <https://doi.org/10.4161/psb.21663>
63. Wei, H., Zhikuan, J., & Qingfang, H. (2007). Effects of herbivore stress by *Aphis medicaginis* Koch on the Malondialdehyde contents and the activities of protective
54. Tejerina, M. R. (2010). Biochar as a strategy for sustainable land management, poverty reduction and climate change mitigation/adaptation: Thermolysis of lignin for value-added products. *Institute of Environmental Studies (Instituut vor Milieustudies-IVM), Vrije Universiteit, Amsterdam, the Netherlands*.
55. Thao, H. T. B., & Yamakawa, T. (2009). Phosphite (phosphorous acid): Fungicide, fertilizer or bio-stimulator? *Soil Science and Plant Nutrition*, 55(2), 228–234. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00365.x>
56. Vidal, M. C., & Murphy, S. M. (2018). Bottom-up vs. top-down effects on terrestrial insect herbivores: a meta-analysis. *Ecology Letters*, 21(1), 138–150. <https://doi.org/10.1111/ele.12874>
57. Viger, M., Hancock, R. E. W., Miglietta, F., & Taylor, G. (2014). More plant growth but less plant defence? First global gene expression data for plants grown in soil amended with biochar. *Gcb Bioenergy*, 7(4), 658–672. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12182>
58. Vora, M. S., Shelat, H. N., & Vyas, R. V. (2008). *Handbook of Biofertilizers and*

147. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(95\)04295-4](https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04295-4)
65. Zhang, L., Xiang, Y., Jing, Y., & Zhang, R. (2019). Biochar amendment effects on the activities of soil carbon, nitrogen, and phosphorus hydrolytic enzymes: a meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(22), 22990–23001. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05604-1>
- enzymes in different alfalfa varieties. *Acta Ecologica Sinica*, 27(6), 2177–2183. [https://doi.org/10.1016/s1872-2032\(07\)60048-1](https://doi.org/10.1016/s1872-2032(07)60048-1)
64. Zhang, J., & Kirkham, M. B. (1996). Enzymatic responses of the ascorbate-glutathione cycle to drought in sorghum and sunflower plants. *Plant Science*, 113(2), 139–

The Effect of Natural Biochar on Plant Defense Responses and Control of Common Pistachio Psylla, *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Aphalaridae) Under Field Conditions

Mohammad Kazem Irannezhad Parizi¹, Mohammad Amin Samih^{1*}, Mahdi Ziaaddini¹

Abstract

Common pistachio psylla is one of the first-rate pests of pistachios and one of the native pests in pistachio farms in Iran and neighboring countries. The spread and outbreak of this pest requires a review of chemical control to reduce the consumption of pesticides, as well as the identification and use of environmentally friendly non-chemical methods. In this research, the effect of the natural biochar on activating the defense responses of pistachio trees and the feasibility of inducing resistance to control pistachio psylla was investigated by comparing the changes in the density of eggs and nymphs in different leaf levels during two generations. Changes in activity of catalase and peroxidase and non-enzymatic plant defense were investigated. The density of eggs and nymphs affected by the application of biochar decreased significantly from the seventh day onwards compared to the control and reached its lowest level on the twenty-eighth day. In connection with the change in the density of the nymphs, the eta value in the Wilks' Lambda test for the interaction effect of time and treatment was determined as 0.129. The amount of silicon accumulated in the leaves affected by biochar foliar application as an effective physical defense increased by 1.1 times after 48 hours and subsequently by 1.4 times after 14 days compared to the control treatment. Based on the obtained results, the use of biochar can create direct defense and induce resistance of pistachio trees to pistachio psylla by increasing the level of factors inhibiting nutrition and spawning.

Keywords: Pest management, Natural biochar, Induced resistance, Common Pistachio Psylla,

¹ Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

* Corresponding author: samih@vru.ac.ir