



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور

نشریه فنی

کنترل زیستی آفات بالپولکدار درختان بلوط
با استفاده از *Bacillus thuringiensis*

نگارنده:

رسول مرزبان

شماره ثبت:

۶۴۵۲۵

۱۴۰۲

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور

کنترل زیستی آفات بالپولکدار درختان بلوط
با استفاده از *Bacillus thuringiensis*

نگارنده:

رسول مرزبان

۶۴۵۲۵

۱۴۰۲

مخاطبان نشریه فنی: کشاورزان پیشرو، مروجین و کارشناسان ارشد مراکز
آموزشی، پژوهشی و اجرایی وابسته به وزارت جهاد کشاورزی

موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، نشریه فنی
کنترل زیستی آفات بالپولکدار درختان بلوط با استفاده از *Bacillus thuringiensis*

نگارنده: رسول مرزبان

ویراستار: شهرام فرخی

ناشر: موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور

سال نشر: ۱۴۰۲

شماره و تاریخ ثبت نشریه: شماره ثبت ۶۴۵۲۵ مورخ ۱۴۰۲/۹/۱۱

نشانی مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی: تهران، بزرگراه شهید چمران، خیابان یمن،

پلاک ۱ - سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

فهرست مندرجات

۱	پیش‌گفتار
۳	آفات مهم بلوط
۵	پایش و مدیریت آفات درختان بلوط
۹	اهمیت کنترل بیولوژیک آفات بلوط
۱۲	نحوه اثر آفت کش بیولوژیک Bt بر حشرات آفت
۱۷	مقاومت آفات بالپولکدار درختان بلوط به Bt
۱۸	توصیه‌های کاربردی
۲۰	فهرست منابع

پیش گفتار

فقط حدود هفت درصد مساحت کل کشور ما را پوشش های جنگلی تشکیل می دهد. پهنه رویشی زاگرس شامل رشته کوه های زاگرس، وسیع ترین و اصلی ترین رویشگاه گونه های مختلف بلوط در ایران بوده که حدود ۳۰ میلیون هکتار وسعت دارد و به همین دلیل این منطقه از اهمیت بسیار ویژه ای برخوردار است. درختان بلوط گونه مقاوم و خشکی پسندی است که قدمتی بیش از ۵۵۰۰ سال دارد. جنگل های بلوط منطقه زاگرس از شمال غربی ایران آغاز و در ادامه غرب ایران و سپس جنوب غرب ایران را طی می کند. جنگل های زاگرس با ۵/۵ میلیون هکتار مساحت و گستردگی در ۹ استان کشور، ۴۰ درصد جنگل های ایران را تشکیل می دهد که حدود ۷۰ درصد تپ گونه های آن شامل انواع بلوط ها می باشد. جنگل های زاگرس به دلیل دارا بودن ویژگی های خاص، اکوسیستم (بوم سازگان) منحصر به فردی را ایجاد کرده اند که تلفیقی از عناصر مختلف شامل بلوط (عنصر سازنده جنگل)، جوامع محلی و جنگل نشینان و مؤلفه های دام و زراعت در آن قابل مشاهده است.

در زاگرس جنگل های بلوط با دامداری و کشاورزی درهم آمیخته که دخالت انسان به شکل تغییر کاربری اراضی جنگلی، دامداری و قطع درختان بلوط برای تهیه سوخت یا ذغال سبب زوال تدریجی جنگل های زاگرس شده است. خشکسالی و تغییر اقلیم و به طبع آن طغیان آفات نیز فشار مضاعفی بر جنگل های زاگرس وارد کرده است. جنگل های بلوط زاگرس نقش مهمی در تولید اکسیژن و کاهش دی اکسید کربن دارند. جنگل های زاگرس یکی از ذخیره گاه های مهم تنوع زیستی است. بلوط های زاگرس میراث و ثروت ملی هستند که قدمتی چند هزار ساله دارند. اگر این جنگل ها از دست برود، کارون و زاینده رود نیز از دست

می‌رود، زیرا درختان بلوط وظیفه استحصال آب و هدایت آب به سفره‌های زیرزمینی را به عهده دارند.

هر هکتار جنگل بلوط، سالانه ۵۰۰ تا ۲ هزار مترمکعب آب را در فصل بارندگی، ذخیره می‌کند که منبع قابل توجهی برای آب در شرایط کم‌آبی کشور محسوب می‌شود. درختان بلوط ضمن حفظ خاک، آب مناطق محلی را تأمین می‌کنند و حدود ۴۰ درصد منابع آب کشور در زاگرس استحصال می‌شود. ارزش یک درخت بلوط حدود ۱۰ میلیارد ریال برآورد شده است. زندگی حدود ۱۰ میلیون نفر از جمعیت کشور وابسته به جنگل‌های زاگرس بوده و ۷۰ درصد عشایر در این ناحیه ساکن هستند. پنجاه درصد از کل دام کشور مربوط به حوزه زاگرس است (شکل ۱).



شکل ۱. درخت بلوط (بهبهان؛ مرزبان ۱۴۰۲)

آفات مهم بلوط

یکی از مشکلات حادی که دامنگیر جنگل‌های زاگرس شده است، حشرات آفت می‌باشند. جوانه‌خوار، برگ‌خوار و بذرخوار بلوط از جمله آفاتی هستند که زاگرس را با خطر مواجه کرده‌اند (جدول ۱). آن‌ها جزو اکوسیستم زاگرس هستند و به‌خودی خود آفت محسوب نمی‌شوند، اما زمانی که عوامل اقلیمی یا دخالت انسانی موجب برهم خوردن تعادل زیستی می‌شود، جمعیت آنها طغیان کرده و تبدیل به آفت می‌شوند. طغیان آفات و میزان خسارت وارد شده توسط آن‌ها با توجه به نوع اقلیم و شرایط اجتماعی حاکم بر کشور که امکان تجدید حیات در جنگل‌های بلوط را ناممکن یا بسیار محدود کرده، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آفات مختلفی درختان بلوط را مورد حمله قرار داده و در اکثر مواقع خسارت جدی به آن وارد می‌کنند. مهم‌ترین گونه‌های شناخته شده آن‌ها شامل پروانه جوانه‌خوار بلوط، پروانه برگ‌خوار سفید بلوط، پروانه برگ‌خوار گزنه بلوط، پروانه میوه خوار بلوط، سرخرطومی بذرخوار بلوط، ابریشم باف ناجور و پروانه تخم‌انگشتری است.

در سال‌های اخیر با توجه به شرایط اقلیمی پیش آمده و کاهش بارندگی زمینه مناسبی برای طغیان گونه‌هایی از آفات چوبخوار فراهم شده است. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته بالغ بر یک میلیون و ۴۰۰ هزار هکتار از جنگل‌های زاگرس تاکنون بر اثر بیماری زوال بلوط خشک شده، یا در معرض خشکیدگی است. علاوه بر بلوط، گونه‌هایی چون ارژن، شن و گون نیز درگیر این پدیده و خشکیدگی شده‌اند. گونه گون که رویشگاه آن بیشتر در ارتفاعات زاگرس است، در حال زرد و خشک شدن می‌باشد که پدیده‌ای نوظهور محسوب می‌شود. گونه ارزشمند درخت بلوط بلند مازو یا شاه بلوط نیز گونه‌ای در حال نابودی است.

نقش عوامل بیمارگر و تنش‌های محیطی در پدیده زوال درختان بلوط مهم است، در این میان قارچ عامل بیماری ذغالی، *Biscogniauxia mediterranea* نیز خسارت جدی به جنگل‌های بلوط وارد کرده است. این قارچ با قابلیت پخش شدن در محیط می‌تواند روی سایر درختان غیرآلوده نیز قرار گیرد. به همین دلیل اکنون بسیاری از درختان سالم نیز به این قارچ آلوده شده‌اند. سوسک چوبخوار نیز خسارت به جنگل‌های بلوط را تشدید کرده است. اکنون سطح آلودگی در شش استان واقع در سلسله کوه‌های زاگرس گسترش یافته که در این میان استان‌های ایلام و لرستان به ترتیب شاهد بیشترین خسارت بوده‌اند. آفات درختان جنگل‌های بلوط زاگرس در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- آفات مهم جنگل‌های بلوط زاگرس

<i>Tortrix viridana</i> (Tortricidae)	شب پره جوانه خوار بلوط
<i>Leucoma wilthshirei</i> (Erebidae)	شب پره برگخوار سفید بلوط
<i>Lasperyresia.fagiglandana</i> (Tortricidae)	پروانه میوه‌خوار بلوط
<i>Esfandiaria obesa</i> (Acrididae)	ملخ بال کوتاه بلوط
<i>Porthesia melania</i> (Erebidae)	شب پره برگخوار گزنده بلوط
<i>Lymantria dispar</i> (Lymantriidae=Erebidae)	شب پره ابریشم‌باف ناجور
<i>Euproctis chrysoorhoea</i> (Lymantriidae = Erebidae)	شب پره دم قهوه‌ای بلوط
<i>Malacosoma neustria</i> (Lasiocampidae)	شب پره تخم انگشتری
<i>Agriopsis beschkov</i> (Geometridae)	شب پره ژئومترید

<i>Catocala</i> sp. (Noctuidae)	شب پره
<i>Dicyla oo</i> (Noctuidae)	شب پره دو لکه بلوط
<i>Curculio glandium</i> (Curculionidae)	سرخرطومی میوه خوار بلوط
<i>Andricus</i> spp. (Cynipidae)	زنبورهای گالزای بلوط
Scolytidae خانواده	سوسک‌های پوستخوار
Cerambycidae, خانواده‌های	سوسک‌های چوبخوار
Buprestidae	

پایش و مدیریت آفات درختان بلوط

تغییر اقلیم و افزایش فعالیت‌های انسانی باعث ایجاد تغییراتی در زیستگاه موجودات مختلف از جمله گیاهان و حیوانات می‌شود و در نتیجه باعث کاهش پایداری اکوسیستم و افزایش شیوع آفات و عوامل بیماری‌زا می‌شود. برای به حداقل رساندن اثرات و کنترل موثر آنها، سیستم‌های مناسب برای پایش، ارزیابی و مدیریت آفات و بیماری‌های درختان جنگلی امری ضروری است. ما معتقدیم که این موضوع درک بهتری از ساختارها و فرایندهای موجود در اکوسیستم‌های جنگلی و اطلاعات اساسی برای مدیریت موثر آفات جنگلی را فراهم می‌کند. آفات جنگلی، از جمله حشرات و میکروارگانیسم‌ها، یک عامل تنظیم‌کننده در چرخه مواد مغذی و جریان انرژی در اکوسیستم‌های جنگلی در نظر گرفته می‌شوند (Hobbie, 2015). در این میان، برخی از گونه‌ها می‌توانند آسیب شدیدی به منابع طبیعی جنگل وارد کرده و در نتیجه تغییرات جدی در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی ایجاد کنند. آفات جنگلی اثرات منفی متنوعی بر

اقتصاد جنگلداری، تنوع زیستی و مدیریت پایدار اکوسیستم دارند (Seidle *et al.*, 2017).

اولین قدم برای مدیریت موثر آفات جنگلی، پایش وقوع و ارزیابی خسارت آنها خواهد بود. نتایج پایش می‌تواند اطلاعات اساسی را برای استراتژی‌های مدیریت مؤثر فراهم کند. به طور ویژه، برنامه‌های نظارت بلندمدت در مورد آفات جنگلی بینشی را در خصوص گسترش و طغیان آنها ارائه می‌دهد که برای مدیریت مؤثر اکوسیستم‌های جنگلی اساسی است (Choi, 2019). نتایج برنامه‌های پایش بلندمدت می‌تواند اطلاعاتی در مورد الگوهای وقوع آفات جنگلی ارائه دهد. داده‌های برنامه‌های پایش می‌تواند منجر به توسعه روش‌های جدید برای نظارت، ارزیابی خسارت و توسعه تکنیک‌های مدیریت شود. برنامه‌های پایش آفات جنگلی به وفور در بسیاری از کشورها از جمله ایالات متحده آمریکا و کشورهای اروپایی انجام شده است (Potter, 2018). در ایالات متحده، وضعیت آفات اصلی جنگل، مانند ابریشم‌باف ناجور، سوسک کاج کوهی، *Dendroctonus ponderosae* (Hopkins) و سوسک کاج جنوبی، *Dendroctonus frontalis* (Zimmermann) همراه با نقشه‌های خطر برای حشرات و بیماری‌های اصلی، در تارنمای <https://www.fs.fed.us> ارائه و به روزرسانی می‌شود. با استفاده از داده‌های پایش طولانی مدت، تجزیه و تحلیل پویایی جمعیت حشرات آفت جنگلی به طور گسترده انجام می‌شود (Turchin, 1992). داده‌های پایش طولانی مدت آفات بالپولکدار کاج، از جمله *Hyloicus pinastri* L. و *Bupalus piniarius* L. در جنگل‌های کاج کره جنوبی از سال ۱۸۸۰ تا ۱۹۴۰ ثبت و برای روشن‌سازی تناوب وقوع این آفات استفاده شده (Choi, 2019; 2012)، که شامل پایش آفات دائمی و دوره‌ای جنگل است. آفات

انتخاب شده برای پایش با توجه به شدت خسارت آنها تغییر می کند (Choi, 2019). به عنوان مثال، پروانه کاج، *Dendrolimus spectabilis* یکی از آفات اصلی بود که از دهه ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ تحت نظارت قرار گرفت. اما در سال ۲۰۱۶ به دلیل کاهش جمعیت از فهرست نظارت حذف شد. در حال حاضر، پنج آفت اصلی، از جمله بیماری پژمردگی کاج ناشی از نماتد کاج؛ سوسک پوستخوار کاج *Matsucoccus Thecodiplosis japonensis* (Uchida and Inouye) بیماری پژمردگی بلوط و پروانه سفید امریکائی *matsumurae* (Kuwana) از نظر توزیع، مناطق آسیب دیده یا تراکم آنها تحت نظارت و پایش قرار دارند.

ارزیابی رابطه بین عوامل محیطی و آفات جنگل اطلاعات اساسی در مورد وقوع و فراوانی آنها فراهم می کند که برای تصمیم گیری در مورد استراتژی های مدیریت ضروری است. از این رو مطالعات زیادی در مورد تأثیر عوامل محیطی بر بروز آفات جنگلی انجام شده است. به عنوان مثال، (Kurz, et al. 2008) گزارش کردند که افزایش دمای زمستان به دلیل تغییرات آب و هوایی اخیر و همچنین ساختار سنی یکنواخت جنگل ها با درختان مسن تر باعث شیوع سوسک کوهی کاج، *Dendroctonus ponderosae* (Hopkins) در بریتیش کلمبیا کانادا شد. بارش بیشتر در شهریور ماه و خشکسالی در بهار عوامل کلیدی بودند که تراکم جمعیت آفات را کاهش دادند (Choi, 2012 & Hyun, 1968). دما یک عامل محدودکننده برای تعیین توزیع جغرافیایی سوسک های چوبخوار *Monochamus saltuarius* و *Monochamus alternatus* در کره جنوبی است (Kwon et al., 2006).

توسعه روش‌های موثر در مدیریت آفات جنگل، برای کاهش خسارت آفات جنگل مهم است. اطلاعاتی که برای تصمیم‌گیری لازم است از طریق رتبه‌بندی خطر، بررسی اثرات بالقوه اقتصادی و اکولوژیکی، پیش‌بینی الگوهای پراکندگی آفات جنگلی و غیره ارائه می‌شود. مدل‌ها می‌توانند شرایط طبیعی را برای درک علل وقوع و کاهش آفات جنگلی شبیه‌سازی کنند و تأثیر عوامل مختلف محیطی را ارزیابی کند. هنگامی که آفت نگران‌کننده‌ای شناسایی شد و تحت پایش قرار گرفت، تراکم جمعیت را می‌توان ارزیابی کرد و برای تعیین اینکه چه زمانی باید یک استراتژی کنترل اعمال شود، استفاده کرد. آستانه‌های اقتصادی که به عنوان آستانه عمل نیز شناخته می‌شوند برای بسیاری از گونه‌های آفات حشرات موجود است. سطح زیان اقتصادی (EIL) به عنوان کمترین تعداد حشرات که باعث آسیب اقتصادی می‌شود، تعریف می‌شود. آستانه اقتصادی تراکم جمعیت آفات است که در آن یک روش مدیریتی باید برای جلوگیری از رسیدن جمعیت به سطح آسیب اقتصادی اجرا شود. یادآوری این نکته مهم است که در بسیاری از موارد، گیاهان می‌توانند آسیب‌هایی را بدون کاهش قابل توجهی در عملکرد تحمل کنند. همچنین نظارت بر دما برای ثبت دماهای کمینه و بیشینه روزانه برای تعیین انباشت گرما به صورت روز درجه مهم است. رشد حشرات که موجوداتی خونسرد هستند، به شدت با دمای محیط مرتبط است، بنابراین بهتر است برای ردیابی رشد حشرات بیشتر به روز درجه‌ها توجه کنیم تا تاریخ‌های تقویمی. برای بسیاری از گونه‌های آفت، مدل‌های روز درجه بر اساس دما ایجاد شده‌اند و به پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی آفت مورد نظر کمک می‌کنند. به عنوان مثال، با استفاده از داده‌های مربوط به تغییرات دمای ثبت شده در ایستگاه هواشناسی قادر خواهیم بود تصمیم‌های آگاهانه‌ای در مورد زمان اعمال استراتژی مدیریت برای

مراحل خاص زندگی آفت مورد نظر بگیریم. برای نظارت و پایش جمعیت آفات می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد، از جمله شمارش مستقیم در محل نمونه‌برداری از خاک برای آفات خاکزی، استفاده از سینی و تکان دادن شاخه‌ها، تله‌های پیت فال، تله‌های فرمونی و تله‌های نوری. گاهی اوقات بهتر است علائم آسیب و خسارت مشخصه را تحت نظر داشته باشید (شکل ۲).



شکل ۲. درختان بلوط (فارس، شهرستان رستم؛ مرداد ۱۴۰۲)

اهمیت کنترل بیولوژیک آفات بلوط

در عرصه‌های جنگلی اولویت اول با حفظ محیط زیست و حفظ اکوسیستم جنگل است. در جنگل روش مبارزه شیمیایی و استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی با دامنه تأثیر وسیع به معنی مرگ جنگل و زیست بوم جنگل است، چرا که چرخه حیات جنگل با نابودی جانوران مختل و احتمال طغیان آفات ثانویه بسیار زیاد است. در عرصه‌های جنگلی آفات طغیانی که در اثر برهم خوردن تعادل طبیعی به واسطه تغییرات اقلیمی یا دخالت بشر و یا ورود آفات قرنطینه‌ای خسارت ایجاد می‌کنند، بایستی به روش‌های غیرمضر برای محیط زیست و اکوسیستم جنگل کنترل شوند.

روش کنترل بیولوژیک به ویژه کنترل میکروبی که الگویی برگرفته از طبیعت و هم سو و دوستدار طبیعت می باشد، بهترین انتخاب برای کنترل آفات جنگلی است. حشرات در جنگل نقش های متعددی مانند گرده افشانی، گیاه خواری، گوشت خواری و تجزیه کنندگی دارند. مناطق جنگلی، بیابانی و کویری ایران صدها گونه حشره مفید و آفت را در خود جای داده است که تا کنون حدود ۱۲۵۰ گونه حشره جمع آوری و شناسایی شده اند. غنای فون حشرات مفید همواره کنترل طبیعی آفات را در عرصه های طبیعی و جنگلی و حتی عرصه های کشاورزی تأمین و تضمین نموده است. بندپایان و حشرات بخش مهمی از اکوسیستم جنگل هستند که نقش مهمی در پویایی ساختار توده های جنگلی دارند. درک و فهم اکولوژی جنگل و شناخت اکوسیستم جنگل نقش مهمی در مدیریت آفات جنگل دارد. روش دیگر برای کاهش جمعیت آفات بلوط از طریق کنترل بیولوژیک، حفظ و حمایت از دشمنان طبیعی آن است. گونه های متعددی از بندپایان مانند کفشدوزک های *Exochomus quadripustulatus*، *Oenopia conglobata*، سن های شکارگر، *Chrysoperla carnea* و *Mallada flavifrons*، مورچه، عنکبوت، زنبورهای و مگس های پارازیتوید، سن های شکارگر و سوسک های *Carabidae* جمعیت آفات را در سال های طغیانی تعدیل می نمایند (قاسمی و آل حسین، ۱۳۸۹).

اکثر آفات جنگلی ایران را پروانه ها و شب پره ها تشکیل می دهند و یکی از عوامل مؤثر در کنترل آفات بلوط عوامل کنترل میکروبی هستند که در اکثر کشورها به این شیوه آفات جنگلی را کنترل می کنند. برای مدیریت آفات همواره بر انبوهی جمعیت و خسارت توجه می شود و بایستی بتوان قبل از خسارت و خشک شدن درختان آفت را کنترل کرد. البته در استراتژی های بلندمدت باید در خصوص

مرتفع کردن عوامل مستعدکننده طغیان آفات برنامه‌ریزی کرد، اما این نافی برنامه کوتاه‌مدت کنترل آفت نیست. در استراتژی‌های کوتاه‌مدت برای مهار و کنترل اثرات عوامل زنده مخرب بلوط که همانا آفات هستند نیاز به اقدام و برنامه‌ریزی فوری است که در عین حال بایستی با شرایط اکولوژیکی و زیست محیطی نیز سازگار باشد.

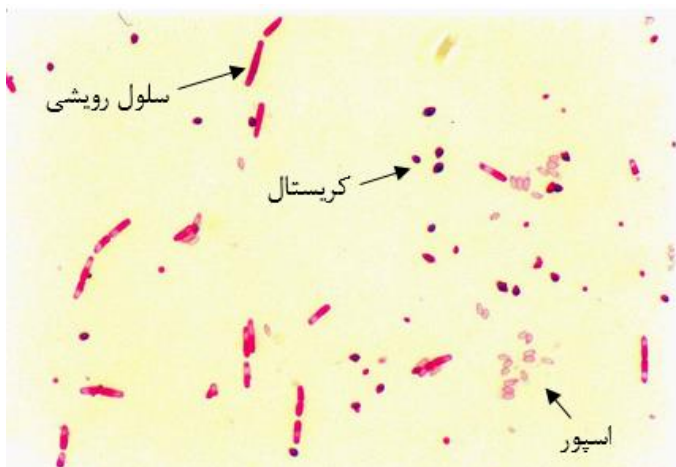
برای مدیریت جمعیت‌های طغیانی آفات به ویژه در مناطق زاگرس که اختلاط کشاورزی و دامداری در جنگل و عرصه‌های طبیعی مشهود است و تکه تکه شدن زیست بوم رخ داده است، استفاده از عوامل کنترل بیولوژیک آفات به ویژه (Bt) *Bacillus thuringiensis var. kurstaki* توصیه می‌شود. این عامل بیولوژیک بدون تحمیل فشار مضاعف بر زیست‌بوم شکننده زاگرس، ضمن کاهش جمعیت آفت، محیط را مساعد فعالیت سایر دشمنان طبیعی نموده و با ایجاد تنوع زیستی فعال، به کنترل سریع آفت کمک شایانی خواهد کرد. از سال ۱۹۸۵، در دنیا نزدیک به ۸ میلیون هکتار از جنگل‌هایی که مورد هجوم حشرات آفت قرار گرفته‌اند با Bt محلول‌پاشی شده‌اند. امروزه Bt نه تنها موثرترین ابزار برای کنترل پروانه جوانه‌خوار صنوبر، بلکه موفق‌ترین محصول تجاری برای استفاده در برابر آفات جنگلی است که به طور گسترده در برنامه‌های حفاظت از جنگل‌های امریکا، کانادا و در سراسر جهان استفاده می‌شود. محلول‌پاشی هوایی Bt، در حال حاضر موثرترین و ارزان‌ترین روش برای مدیریت طغیان آفات بالپولکدار در سرتاسر دنیا محسوب می‌شود.

تنها نگرانی در زمینه کاربرد Bt در جنگل، اثرات جانبی آن بر بالپولکداران بومی و غیرهدف است، اما باید به این نکته توجه داشت که بی‌برگ شدن درختان، خود می‌تواند طیفی از اثرات منفی را به اکوسیستم تحمیل کند. اثر بر فون بالپولکداران،

تنها یکی از چندین پیامد بی‌برگ شدن درختان است که این شرایط می‌تواند بیش از اثر Bt بر این موجودات باشد. کشورهایی مثل ایالات متحده و کانادا، به پشتوانه بیش از ۶۰ سال تحقیقات میدانی، به دستورالعمل‌های کارآمد و ثابتی برای کاربرد Bt در دوره‌های طغیانی آفات بالپولکدار رسیده‌اند. درصد موفقیت برنامه مهار طغیان آفات بر پایه Bt به چند عامل مهم از جمله زمان عملیات مهار آفت، دُز و تعداد دفعات محلول‌پاشی، حجم محلول و اندازه قطرات وابسته است.

نحوه اثر آفت‌کش بیولوژیک Bt بر حشرات آفت

باکتری Bt از نوع میله‌ای‌شکل، هوازی و گرم‌مثبت است که به خانواده Bacillaceae تعلق دارد. تقریباً تمام گونه‌های این خانواده از روی تولید اندوسپور مقاوم به گرما، خشکی و مواد شیمیایی شناخته می‌شوند (Mandic-Mulec *et al.*, 2015). اسپورهای این باکتری، در حضور منابع غذایی و شرایط محیطی خاصی جوانه زده و رشد رویشی آنها از طریق تقسیم دوتایی انجام می‌شود. در شرایط نامساعد، Bt وارد فاز اسپورزایی می‌شود. مشخصه بارز گونه *B. thuringiensis* در مقایسه با تمام گونه‌های جنس باسیلوس این است که همزمان با اسپورزایی، یک یا چند نوع کریستال پروتئینی تولید می‌کند. این کریستال‌ها در زیرگونه‌ها و سویه‌های مختلف Bt، به شکل‌های کروی، دوهرمی و مکعبی دیده می‌شوند (شکل ۳). هر کریستال پروتئینی، دربرگیرنده یک یا چند نوع زهرابه است که برای گروه‌های خاصی از حشرات و حتی گونه خاصی از آفات اثرات کشنده دارند (جدول ۲) (Gill *et al.*, 1992). در فرمولاسیون‌های تجاری Bt، معمولاً مخلوطی از اسپورها و کریستال‌های پروتئینی حاوی زهرابه با تراکم مشخص فرموله می‌شود (Saber *et al.*, 2020).



شکل ۳. اسپور، کریستال و سلول‌های رویشی باکتری Bt (مرزبان، ۱۳۷۴)

به‌طور کلی، کریستال‌های پروتئینی Bt حاوی زهرابه، باید توسط لارو حشره هدف خورده شده و وارد دستگاه گوارش شود. در محیط قلیایی معده حشره ($\text{pH} \geq 9$) و در حضور آنزیم پروتئاز، کریستال پروتئینی حل شده و زهرابه فعال در فضای معده آزاد می‌شود. زهرابه‌های فعال شده، به گیرنده‌های اختصاصی خود در سطح سلول‌های دیواره معده متصل می‌شوند (Jurat-Fuentes *et al.*, 2021). اتصال زهرابه Bt به گیرنده‌های سطح غشای معده، یک سری فعل و انفعالات را راه‌اندازی می‌کند که احتمالاً به ایجاد منفذ در دیواره دستگاه گوارش، برهم خوردن تعادل اسمزی بین دستگاه گوارش و همولنف و مرگ برنامه‌ریزی شده سلول‌های درگیر منجر می‌شود (Florez *et al.*, 2018).

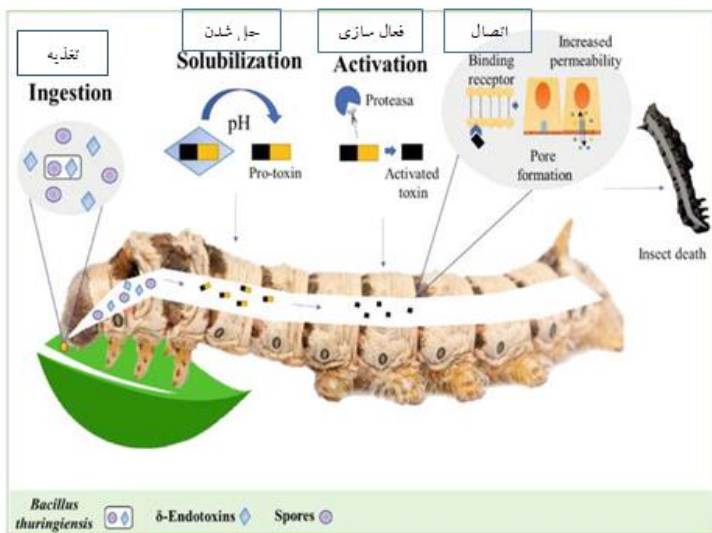
جدول ۲- ژن‌های کدکننده کریستال‌های پروتئینی (زهرابه‌های) Bt و حشرات آفت هدف

ژن‌های cry	آفات هدف	راسته حشرات
cryIA(a)	کرم جوانه‌خوار توتون، کرم ابریشم، ساقه‌خوار اروپایی ذرت	بالپولکداران
cryIA(b)	کرم غوزه پنبه، جوانه‌خوار توتون، سفیده کلم، پشه‌ها	بالپولکداران و دوبالان
cryIA(c)	کرم غوزه پنبه، جوانه‌خوار توتون، کرم وجبی کلم	بالپولکداران
cryIA(e)	کرم جوانه‌خوار توتون	بالپولکداران
cryIB	سفیده کلم	بالپولکداران
cryIC	برگخوار مصری پنبه، پشه‌ها	بالپولکداران و دوبالان
cryIC(b)	کرم برگخوار چغندر قند	بالپولکداران
cryID	جوانه‌خوار توتون، برگخوار چغندر قند	بالپولکداران
cryIE	برگخوار مصری پنبه	بالپولکداران
cryIF	برگخوار چغندر قند، ساقه‌خوار اروپایی ذرت	بالپولکداران
cryIG	پروانه موم‌خوار زنبور عسل	بالپولکداران
cryIIA	کرم غوزه پنبه، ابریشم‌باف ناجور، پشه‌ها	بالپولکداران
cryIIB	کرم وجبی کلم، جوانه‌خوار توتون، ابریشم‌باف ناجور	بالپولکداران
cryIIC	جوانه‌خوار توتون، ابریشم‌باف ناجور	بالپولکداران
cryIIIA	سوسک برگخوار سیب‌زمینی	سخت‌بالپوشان
cryIIIA(a)	سوسک برگخوار سیب‌زمینی	سخت‌بالپوشان
cryIIIB	سوسک برگخوار سیب‌زمینی	سخت‌بالپوشان
cryIIIC	سوسک خال‌دار خیار	سخت‌بالپوشان

دوبالان	پشه‌های آئدیس و کولکس (<i>Aedes and Culex</i>)	cryIVA
دوبالان	پشه‌های آئدیس (<i>Aedes</i>)	cryIVB
دوبالان	پشه‌های کولکس (<i>Culex</i>)	cryIVC
دوبالان	پشه‌های آئدیس و کولکس (<i>Aedes and Culex</i>)	cryIVD
بالپولکداران و سخت‌بالپوشان	ساقه‌خوار اروپایی ذرت، سوسک خال‌دار خیار	cryV

لاروهایی که دُز کشته شده Bt را دریافت کرده‌اند، چند ساعت پس از خوردن کریستال پروتئینی، تغذیه خود را متوقف کرده و معمولاً پس از ۲۴ تا ۷۲ ساعت، در اثر گرسنگی و عفونت خونی (Septicemia) می‌میرند (Federici *et al.*, 2006) اسپورها پس از ورود به همولنف که محیطی غنی از مواد غذایی و دارای pH خنثی است، جوانه زده و رشد رویشی باکتری اتفاق می‌افتد (شکل ۴).

همانگونه که از مکانیسم اثر Bt پیداست، حداقل چهار مرحله باعث اختصاصی شدن هرچه بیشتر Bt به عنوان یک آفتکش بیولوژیک می‌شود. اول اینکه کریستال‌های پروتئینی باید توسط لارو حشرات خورده شوند؛ دوم محیط معده باید قلیایی باشد تا کریستال‌ها حل شده و پیش زهرابه از کریستال آزاد شود؛ سوم اینکه آنزیم‌های پروتئاز خاصی باید وارد عمل شوند تا زهرابه فعال شود و در نهایت زهرابه باید به گیرنده‌های اختصاصی خود در دیواره معده متصل شود تا اثر کند. برآورده نشدن هر یک از این چهار مرحله در یک موجود زنده، باعث خروج آن از دامنه میزبانی Bt خواهد شد (Federici *et al.*, 2006).



شکل ۴. مکانیسم عمل Bt روی لارو حشرات آفات (Fernández-Chapa *et al.*, 2019)

اثر اشعه فرابنفش (UV) بر بقای کریستال‌های پروتئینی Bt در سطح اندام هوایی گیاهان، حتی از اثر آن بر اسپورها نیز شدیدتر است، به طوری که معمولاً کریستال‌های پروتئینی فرمولاسیون‌های تجاری در مدت کوتاه‌تری نسبت به اسپورها غیرفعال می‌شوند (Hung *et al.*, 2016). در بیشتر مطالعات انجام شده، نیمه‌عمر فرمولاسیون‌های تجاری Bt در سطح گیاهان زراعی و درختان میوه یا جنگلی، حتی با وجود داشتن ترکیبات محافظت‌کننده در برابر اشعه UV، حداکثر سه روز گزارش شده است (Beegle *et al.*, 1981).

مقاومت آفات بالپولکدار در ختان بلوط به Bt

اصولا این سوال مطرح است که آیا در صورت تداوم مصرف آفتکش‌های مبتنی بر Bt، امکان بروز مقاومت در جمعیت آفات بالپولکدار جنگلی وجود دارد؟ براساس تئوری، فشار انتخابی شدید Bt یا هر حشره‌کش دیگری روی یک جمعیت، می‌تواند در درازمدت به افزایش مقاومت آن جمعیت منجر شود. پیش‌نیاز این اتفاق، قرار گرفتن نسل‌های متوالی و بخش اعظم جمعیت هر نسل در معرض زهرابه‌های Bt است (Ibrahim et al., 2010). مزارع تراویخته چنین شرایطی را دارند، چرا که تقریباً در سرتاسر دوره رشد گیاه در مزرعه، بخش اعظم جمعیت حشره هدف در معرض زهرابه Bt قرار دارند. در چنین شرایطی، امکان توسعه جمعیت‌های مقاوم به Bt دور از انتظار نیست. اما به نظر نمی‌رسد که این اتفاق در مورد طغیان آفات بالپولکدار جنگلی نیز به‌وقوع بپیوندد چراکه عملاً امکان محلول‌پاشی کل سطح جنگل و یا همه درختان جنگل در یک زمان مشخص امکان‌پذیر نخواهد بود.

دوبویس (Dubois, 1993) احتمال بروز مقاومت ابریشم‌باف ناجور به Bt در شرایط جنگل را مورد بررسی قرار داده است. به عقیده این محقق، زیستگاه‌های جنگلی و آفات بالپولکدار درختان جنگلی شرایط متفاوتی نسبت به سیستم‌های کشاورزی دارند که امکان بروز مقاومت به Bt در این شرایط را به حداقل ممکن می‌رساند. در مناطق جنگلی که معمولاً گستره وسیعی را در برمی‌گیرد، پایش صحیح و به‌موقع جمعیت آفت و پیش‌بینی نقاط کانونی طغیان می‌تواند محدوده کنترل را به بخش بسیار کوچکی از جنگل کاهش دهد. با توجه به پیوستگی سیستم‌های جنگلی، مهاجرت افراد حساس از زیستگاه‌های مجاور که محلول‌پاشی در آنها انجام نشده است، امکان بروز مقاومت را از جمعیت می‌گیرد.

توصیه‌های کاربردی

۱) برای بسیاری از گونه‌های آفت، مدل‌های روز درجه بر اساس دما ایجاد شده‌اند و به پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی آفت مورد نظر کمک می‌کنند. تعیین زمان دقیق محلول پاشی Bt که هم زمان با سنین اولیه لاروی است از مهمترین اقدام‌های لازم برای کنترل موفق جمعیت طغیانی آفات جنگل می‌باشد، لذا برای پیش‌آگاهی آفات درختان جنگلی، به‌جای تاریخ‌های ثابت و تقویمی می‌بایست به روز درجه‌ها تکیه کرد.

۲) در زمان طغیان انفجاری آفات بالپولکدار درختان جنگلی، برای سرکوب جمعیت طغیانی شایسته است از دو برابر دُز توصیه شده Bt استفاده شود.

۳) با توجه به اینکه Bt اثر گوارشی دارد و فاقد اثر تماسی و تدخینی است، در زمان اسپری کردن تمام سطح گیاه به‌ویژه قسمت‌هایی که در معرض آسیب و تغذیه آفت هدف است، محلول پاشی شود.

۴) مناسب‌ترین ابزار برای محلول‌پاشی Bt استفاده از هواپیما است، که هم امکان دسترسی به مناطق صعب‌العبور را فراهم می‌کند و هم مقرون به صرفه است.

۵) بهترین زمان کاربرد Bt برای برگ‌خوار سفید بلوط هنگامی است که اندازه لارو آفت کمتر از ۵ میلی‌متر باشد یا تخم‌های حشره آفت شروع به تفریخ شدن می‌کنند. اما در مورد جوانه خوار سبز بلوط بایستی زمانی انجام شود که لاروهای سن دوم و سوم از داخل جوانه‌ها خارج شده باشند.

۶) از آنجا که نور خورشید عامل مخرب و خشتی‌کننده Bt است، بنابراین اسپری کردن Bt در هنگام صبح، سبب از بین رفتن آن در اثر گرما و اشعه خورشید در میانه روز می‌شود، لذا بهترین زمان کاربرد آن بعد از ظهر می‌باشد که زمان تشعشع اشعه فرابنفش کمتر و Bt به مدت طولانی‌تر روی سطح گیاه می‌ماند و هوای خنک نیز به ماندگاری آن کمک می‌کند.

۷) در زمان تهیه سوسپانسیون Bt در داخل تانکر بهتر است با افزودن مقداری سرکه سفید (۵/۰ در هزار) به آب تانکر شرایط را برای تاثیر بیشتر Bt فراهم کنیم، چرا که آب‌های قلیایی باعث کاهش اثر Bt می‌شوند.

۸) در زمانی که حداقل به مدت ۴۸ ساعت احتمال بارندگی نباشد اقدام به محلول‌پاشی کنیم، چرا که باران سبب شسته شدن آن از روی درختان می‌شود.

۷) محلول Bt تهیه شده در تانکر بایستی در مدت ۱۲ ساعت استفاده شود، بنابراین از تهیه سوسپانسیون بیش از حد نیاز اجتناب شود.

۹) در هنگام حمل و نقل و انبارداری توجه شود که فرآورده‌های تجاری Bt در محیط خشک و خنک (کمتر از ۲۵ درجه سلسیوس) و به دور از نور آفتاب نگهداری شوند.

۱۰) واگذار کردن محلول‌پاشی به پیمانکاران متخصص و حرفه‌ای و نظارت بر نحوه انجام کار آنها

۱۱) هماهنگی بخش اجرا و پژوهش و تعیین دقیق مناطق آلوده به آفت با استقرار تله‌های فرمونی یا نوری ضروری است.

۱۲) با توجه به اهمیت آفات جوانه خوار و برگ خوار سفید بلوط و مسائل اجتماعی که علاوه بر خسارت اقتصادی ایجاد می کنند، پایش جمعیت آفات مذکور در مناطق آلوده لازم و ضروری است.

۱۳) تعیین پراکنش دقیق آفات در کشور و در صورت لزوم برقراری قرنطینه داخلی برای جلوگیری از گسترش آنها به سایر مناطق

فهرست منابع:

آل حسین، س.ا، سعادت، س.ح. و حمزه زرقانی، ح. ۱۳۹۲. تغییرات جمعیت پروانه جوانه خوار بلوط (*Tortrix viridana* (Lep., Tortricidae) و شناسایی دشمنان طبیعی آن در استان فارس، فصلنامه گیاه پزشکی. شماره ۵: ۱-۱۲. بهداد، ا. ۱۳۷۵. دایره المعارف گیاه پزشکی ایران آفات، بیماری ها و علف های هرز (چهار جلدی). انتشارات یادبود اصفهان. ۳۱۵۳ صفحه.

جوزیان، ع.، وفایی شوشتری، ر. و عسکری، ح. ۱۳۹۵. بررسی سوسک های چوب خوار بلوط و دشمنان طبیعی آنها در جنگل های استان ایلام. نشریه تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل ها و مراتع ایران. دوره ۱۴، شماره ۲: ۱۰۷-۱۲۱.

مرزبان، ر.، کلانتری، م. و یوسفی، آ. ۱۳۹۳. آشنایی با کاربرد باکتری بی تی در محصولات کشاورزی، نشریه ترویجی. ناشر موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور.

- Beegle, C.C., Dulmage, H.T., Wolfenbarger, DA. and Martinez, E. 1981. Persistence of *Bacillus thuringiensis* Berliner insecticidal activity on cotton foliage. *Environ. Entomol.*, 10: 400-401.
- Cha, D.J., Kim, D.S., Lee, S.K. and Han, H.R. 2019. A new on-site detection method for *Bursaphelenchus xylophilus* in infected pine trees. *For. Pathol.*, 49: e12503.
- Choi, W.I. and Park, Y. S. 2012. Dispersal patterns of exotic forest pests in South Korea. *Insect Sci.*, 19: 535-548.
- Choi, W.I., Song, H.J., Kim, D.S., Lee, D. S., Lee, C. Y., Nam, Y., Kim, J.B. and Park, Y.S. 2017. Dispersal patterns of pine wilt disease in the early stage of its invasion in South Korea. *Forests*, 8: 411.
- Choi, W.I.; Nam, Y.; Lee, C.Y.; Choi, B.K.; Shin, Y.J.; Lim, J. H.; Koh, S.H. and Park, Y.S. 2019. Changes in major insect pests of pine forests in Korea over the last 50 years. *Forests*, 10: 692.
- Dubois, N.R. 1993. Is development of resistance to *Bacillus thuringiensis* a risk in forest protection? Proceedings: Combined Meeting of the Northeastern Forest Pest Council and the 25th Annual Northeastern Forest Insect Work Conference. Latham, N.Y. March 8-10, 1993 p. 13-15
- Federici, B.A., Park, H.W. and Sakano, Y. 2006. Insecticidal protein crystals of *Bacillus thuringiensis*. In: Microbiology Monographs, Inclusions in Prokaryotes (Ed.): Shively, J. M. Springer-Verlag, Heidelberg, 1: 195-236.
- Florez, A.M., Suarez-Barrera, M.O., Morales, G.M., Rivera, K.V., Orduz, S., Ochoa, R., Guerra, D. and Muskus, C. 2018. Toxic

- Activity, Molecular modeling and docking simulations of *Bacillus thuringiensis* Cry11 toxin variants obtained via DNA shuffling. *Front. Microbiol.*, 9: 2461.
- Gill, S.S., Cowles, E.A. and Pietrantonio, P.V. 1992. The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. *Annual Review of Entomology*, 37: 615-636.
- Hobbie, S.E. and Vileger, S. 2015. Interactive effects of plants, decomposers, herbivores, and predators on nutrient cycling. In: *Trophic Ecology: Bottom-Up and Top-Down Interactions across Aquatic and Terrestrial System*; Hanley, T.C., Pierre, K.J.L. (Eds.); Cambridge University Press: Cambridge, UK, pp. 233-259.
- Hung, T.P., van Truong, L., Ngo, DB., Roger, F. and Herve, Q. 2016. Fate of insecticidal *Bacillus thuringiensis* Cry protein in soil: differences between purified toxin and biopesticide formulation. *Pest Management Science*, 72: 2247-2253.
- Hyun, J.S. 1968. Studies on the prevision for occurrence of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* Butler. *Ent. Res. Bull.*, 4, 57-80.
- Ibrahim, M.A., Griko, N., Junker, M. and Bulla, L.A. 2010. *Bacillus thuringiensis*: A genomics and proteomics perspective. *Bioengineered Bugs*, 1: 31-50.
- Kurz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Rampley, G.J., Neilson, E.T., Carroll, A.L., Ebata, T. and Safranyik, L. 2008. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, 452: 987-990.

- Kwon, T.S., Lim, J.H., Sim, S.J., Kwon, Y.D., Son, S.K., Lee, K.Y., Kim, Y.T., Park, J.W., Shin, C.H. and Ryu, S.B. 2006. Distribution patterns of *Monochamus alternatus* and *M. saltuarius* (Coleoptera: *Cerambycidae*) in Korea. *J. Korean For. Soc.*, 95: 543-550.
- Mandic-Mulec I, Stefanic P, and van Elsas JD. 2015. Ecology of Bacillaceae. *Microbiol Spectrum*, 3: TBS-0017-2013.
- Saberi, F., Marzban, R., Ardjmand, M., Pajoum Shariati, F., Tavakoli, O. 2020. Optimization of Culture Media to Enhance the Ability of Local *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(7): 468-475.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M. and Honkaniemi, J. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nat. Clim. Chang.*, 7: 395.
- Turchin, P. and Taylor, A.D. 1992. Complex dynamics in ecological time series. *Ecology*, 73: 289-305.



Iranian Research Institute of Plant Protection

**Ministry of Jihad-e-Agriculture
Agricultural Research, Education & Extension Organization
Iranian Research Institute of Plant Protection**

***Biological control of oak Lepidopteran pests
using *Bacillus thuringiensis****

Rasoul Marzban

64525

2023