مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۷ شماره ۱ صفحه های ۱ تا ۱۶ (۱۴۰۵)

مقاله مروری

کاربرد کندکننده‌های رشد در گیاهان: چالش‌ها و فرصت‌ها

فاطمه شاهسوندی[1*]، سعید عشقی[1]، یوسف احمدی[2]، حمزه مفاخری[3]

۱. بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲. گروه ژنتیک و به نژادی، پژوهشکده گل و گیاهان زینتی، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، محلات، ایران

۳. بخش گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

*نویسنده مسئول، پست الکترنیک: (shahsavandif@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۲۸

چکیده

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی ترکیبات طبیعی یا مصنوعی هستند که رشد و بلوغ گیاهان را از طریق تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی تغییر یا کنترل می‌کنند. اگر این ترکیبات به صورت طبیعی در گیاه تولید شوند، به آنها فایتوهورمون یا هورمون گیاهی گفته می‌شود. پنج گروه اصلی هورمون‌های گیاهی شامل اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، جیبرلین‌ها، اتیلن و آبسیزیک اسید هستند. با این حال، گروه‌های دیگری از مواد فعال رشد گیاهی نیز وجود دارند که نمی‌توان آنها را در این پنج دسته جای داد، اما عملکرد مشابهی دارند و می‌توانند رشد گیاه را مهار یا تحریک کنند. این ترکیبات شامل براسینواستروئیدها، سالسیلیک اسید، جاسمونیک اسیدها، تریازول‌ها، محرک‌های رشد (مانند هیمکسازول و پیری‌پروپانول)، برگ‌ریزان‌ها (مانند کلسیم سیانامید و دی‌متیپین) و کندکننده‌های رشد هستند. کندکننده‌های رشد گیاهی در غلظت مناسب می‌توانند بدون ایجاد سمیت یا بدشکلی، طول شاخ و برگ و آهنگ رشد گیاه را کاهش دهند. این اثر عمدتاً از طریق کاهش بزرگ‌شدن سلولی و تا حدی از طریق کاهش نرخ تقسیم سلولی حاصل می‌شود. برخی از این کندکننده‌ها اهمیت تجاری بالایی در کشاورزی و باغبانی دارند و ابزار موثری برای دستیابی به اهداف مورفولوژیکی خاص محسوب می‌شوند. با این حال، اثرگذاری آن‌ها به گونه گیاهی، مرحله رشد، دز مصرفی و شرایط محیطی بستگی دارد. استفاده بیش از حد یا نابهنگام می‌تواند منجر به توقف رشد، تأخیر در گلدهی یا پیامدهای منفی دیگر شود. علاوه بر این، برخی علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها نیز از گروه تنظیم‌کننده‌ها و کندکننده‌های رشد هستند که نیازمند دقت در زمان و غلظت کاربرد می‌باشند تا اثر منفی بر رشد گیاه ایجاد نکنند. هدف این مقاله، معرفی برخی از کندکننده‌های رشد، نکات کلیدی در زمان استفاده برای دستیابی به عملکرد مطلوب، کاربردهای آنها و پیامدهای بالقوه استفاده نادرست این ترکیبات است. درک صحیح از این عوامل می‌تواند به بهینه‌سازی استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد و افزایش بهره‌وری کشاورزی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، جیبرلین، تریازول‌ها، شرایط محیطی.

مقدمه

هورمون‌ها، پیام‌رسان‌های شیمیایی هستند که در یک سلول یا بافت تولید می‌شوند و فرآیندهای سلولی را در برهم‌کنش با پروتئین‌های خاص موسوم به گیرنده‌های هورمونی تنظیم می‌کنند. بیشتر هورمون‌های گیاهی در یک بافت ساخته شده و در همان بافت یا در بافت‌های دیگر با غلظت بسیار اندک عمل می‌کنند (Taiz & Zeiger, 2002). تمامی گیاهان به‌طور طبیعی هورمون‌ها را در پاسخ به شرایط محیطی برای تنظیم رشد، نمو و سایر فرآیندهای متابولیکی خود تولید می‌کنند. هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، تقسیم سلولی، طویل شدن سلولی، تمایز سلولی و واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی را کنترل می‌کنند. آن‌ها بسته به بافت هدف، مرحله رشدی گیاه، غلظت نسبی، میزان جذب و ذخیره آب و عناصر غذایی و نیز شرایط اقلیمی می‌توانند پاسخ‌های متفاوتی را در گیاه ایجاد کنند. همان‌طور که اشاره شد، این هورمون‌ها در غلظت‌های بسیار کم در بافت‌های گیاهی ساخته می‌شوند که همین امر جداسازی، شناسایی و استخراج مقادیر مناسب آن‌ها را برای مطالعات آزمایشگاهی با چالش‌های جدی مواجه می‌کند (Farman *et al*., 2019).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

برخی مواد به‌صورت مصنوعی تولید و اثراتی مشابه با هورمون‌های طبیعی گیاهی بر تشکیل و رشد جوانه‌ها، گل‌ها، میوه‌ها و ریشه‌ها نشان می‌دهند. این مواد تحت عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (PGR[1]) شناخته می‌شوند (Moradi, 2016). تنظیم‌کننده‌های رشد ترکیباتی هستند که فرآیندهای فیزیولوژیکی را تغییر داده و از سه طریق عمل می‌کنند: الف) تقلید از اثرات هورمون‌های طبیعی، ب) کاهش یا افزایش سنتز هورمون‌ها، و ج) تغییر در انتقال یا محل اثر هورمون‌ها. بنابراین می‌توان گفت که تمام هورمون‌ها در زمره تنظیم‌کننده‌های رشد قرار می‌گیرند، اما تمامی تنظیم‌کننده‌های رشد الزاماً هورمون نیستند (Moradi, 2016).تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌طور گسترده در کشاورزی و باغبانی به کار می‌روند و فرآیندهایی همچون تنژگی بذرها و رشد نهال‌ها، زمان گلدهی، تعیین جنسیت گل‌ها، پیری برگ‌ها و میوه‌ها، تشکیل برگ، رشد ساقه، رسیدن میوه‌ها، طول عمر گیاه و حتی مرگ برنامه‌ریزی‌شده را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برخی از تنظیم‌کننده‌های مصنوعی نیز به‌عنوان علف‌کش یا آفت‌کش مورد استفاده قرار می‌گیرند (Agboola *et al.*, 2014). تاکنون بیش از ۱۱۵ گروه از تنظیم‌کننده‌های رشد شناسایی شده‌اند که بر اساس عملکرد در گروه‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شوند (Moradi, 2016). براساس گزارش انجمن علوم باغبانی آمریکا، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در شش گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند: اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها، تولیدکننده‌های اتیلن، بازدارنده‌های رشد و کندکننده‌های رشد (Fishel, 2006). با این حال، به‌طور کلی پنج گروه اصلی هورمون‌های گیاهی شامل اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، جیبرلین‌ها، اتیلن و اسید آبسزیک در نظر گرفته می‌شوند (Agboola *et al.*, 2014). افزون بر این، گروه‌های دیگری مانند براسینواستروئیدها، سالیسیلیک اسیدها، جاسمونیک اسیدها، برگ‌ریزان‌ها، پلی‌آمین‌ها، بازدارنده‌ها و آزادکننده‌های اتیلن، بازدارنده‌های رشد و کندکننده‌ها و همچنین تسریع‌کننده‌های رشد نیز در دسته تنظیم‌کننده‌های رشد قرار می‌گیرند. تحقیقات بر روی چرخه سنتز برخی از این ترکیبات همچنان ادامه دارد (Moradi, 2016). در این میان، گروهی از ترکیبات وجود دارند که در فرآیند هماهنگی رشد، عموماً موجب مهار رشد می‌شوند و تحت عنوان بازدارنده‌های رشد شناخته می‌شوند. این ترکیبات به‌صورت طبیعی یا مصنوعی می‌توانند از رشد و نمو گیاه جلوگیری کنند و علاوه بر این نقش‌های مهمی در ساختار ظاهری و بقای گیاه دارند. در صورت فقدان خواب یا تعلیق رشد در بذرها و جوانه‌ها، این اندام‌ها ممکن است پس از جوانه‌زنی یا آغاز دوباره رشد با شرایط نامساعدی چون گرما، سرما یا خشکی مواجه شده و از بین بروند. مکانیزم خواب اجازه می‌دهد که بذرها و جوانه‌ها آغاز رشد جدید خود را به تعویق بیندازند و تنها زمانی رشد کنند که سطوح ABA کاهش یافته و شرایط محیطی برای تکمیل چرخه رشد مناسب باشد (Deepthi, 2016). علاوه بر بازدارنده‌های رشد گیاهی، گروه پرکاربردی از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی وجود دارند که کندکننده‌های رشد نامیده می‌شوند این ترکیبات در غلظت مناسب بدون بروز سمیت، بدشکلی یا تغییر نامطلوب در الگوی رشدی، سبب کاهش رشد گیاهان می‌شوند. این اثر عمدتاً از طریق مهار طویل شدن سلولی و در مرحله بعد با کاهش سرعت تقسیم سلولی اعمال می‌گردد. کندکننده‌های رشد از اهمیت تجاری زیادی در کشاورزی و باغبانی برخوردارند و ابزاری کارآمد برای دستیابی به اهداف مدیریتی و اصلاح مورفولوژی گیاهان محسوب می‌شوند (Rademacher, 1990). بزرگ‌ترین گروه از کندکننده‌های رشد ترکیبات شیمیایی هستند که بیوسنتز جیبرلین، به‌عنوان یکی از هورمون‌های اصلی مسئول رشد، را مهار یا متوقف می‌کنند. بازدارنده‌های بیوسنتز جیبرلین که به‌طور تجاری به کار می‌روند شامل ترکیبات اونیوم، ترکیبات تریازولی، شبه‌ساختارهای ۲-اکسوگلوتاریک اسید[2] و ۱۶،۱۷-دی‌هیدروجیبرلین‌ها[3] هستند (Rademacher, 2000). با انتخاب صحیح نوع کندکننده رشد، غلظت مناسب و زمان کاربرد متناسب با مرحله رشدی، پرورش‌دهندگان می‌توانند از این ترکیبات به‌طور بهینه بهره‌برداری کنند. در این مقاله به معرفی مهم‌ترین کندکننده‌های رشد و فرصت‌ها و چالش‌های کاربرد آن‌ها پرداخته خواهد شد.

معرفی برخی از پرمصرف‌ترین کندکننده‌های رشد

سایکوسل[4]

کلرمکوات کلراید[5] با نام تجاری سایکوسل و علامت اختصاری CCC ، یکی از مشتقات کولین[6] است که از واکنش تری‌متیل‌آمین و یک آلفاتیک هالید به نام ۱،۲-دی‌کلرواتان تولید می‌شود. تأثیر کلرمکوات کلراید بر رشد، نخستین بار توسط تولبرت در سال

۱- Plant Growth Regulators ۲- structural mimics of 2-oxoglutaric acid ۳- 16,17-dihydroGAs ۴- Cycocel
۵- Chlormequat chloride ۶- Choline

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

۱۹۶۰ در طیف وسیعی از گیاهان به اثبات رسید. سایکوسل از ترکیبات اونیومی[۱] و از پرمصرف‌ترین کندکننده‌های رشد گیاهی به‌ویژه در اروپا بوده و امروزه جهت کاهش خوابیدگی (ورس) و کنترل رشد رویشی گیاهان زراعی غلات کاربرد فراوانی دارد (Bahrami *et al*., 2014; Memari *et al*., 2011). سایکوسل با اختلال در مسیر چرخه بیوسنتز جیبرلیک اسید مانع از فعالیت آنزیم آنت‌کائورن سنتتاز شده و ارتفاع گیاهان را کاهش می‌دهد. عمل آن از طریق جلوگیری از چرخه Trans-geranyl-geranyl-pyrophosphate است که از تبدیل گرانیل‌گرانیل دی‌فسفات به انت‌کائورن جلوگیری کرده و منجر به غلظت پایین پیش‌سازهای GA_3می‌شود؛ در نتیجه، سطوح جیبرلین داخلی کاهش می‌یابد (Bahrami *et al.,* 2014). در پژوهش‌های متعددی، کاربرد سایکوسل موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در گیاهان گندم، جو و برنج گردید (Miranzadeh *et al*., 2010). همچنین در پژوهشی که روی اثر کندکننده‌های رشد بر روی نشاء گوجه‌فرنگی به صورت غوطه‌وری بذر صورت گرفت نشان داده شد که استفاده از کندکننده‌های رشد مانند سایکوسل و پاکلوبوترازول (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر قطر و طول نشاء، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره، تعداد گل در اولین خوشه و عملکرد میوه به صورت معنی‌داری مؤثر است (Pahloozadeh *et al*., 2017).

دامینوزاید[۲]

دامینوزاید با نام تجاری B-Nine یا Dazide یکی دیگر از رایج‌ترین کندکننده‌های رشد مورد استفاده در صنعت گلکاری است. دامینوزاید آنزیم کلیدی در پایان فرایند تولید GA_1 را غیرفعال می‌کند، بنابراین سطح جیبرلین را در گیاه تیمار شده کاهش می‌دهد. این ماده فقط به صورت محلول‌پاشی استفاده می‌شود زیرا در هنگام اعمال روی بستر به سرعت تجزیه می‌گردد (Currey & Lopez, 2009). از آنجایی که کاربرد کلرمکوات کلراید به‌تنهایی ممکن است سمیت ایجاد کند، دامینوزاید اغلب با کلرمکوات کلراید مخلوط می‌شود تا سمیت کاهش یابد و کنترل بیشتری بر کاهش رشد ساقه فراهم گردد (Marshall, 2022). دامینوزاید دارای تحرک بالایی است و به سرعت از نقطه کاربرد به تمام قسمت‌های گیاه حرکت می‌کند. معمولاً در غلظت‌های بین ۱۲۵۰ تا ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده می‌شود (Whipker & Evans, 2012). دامینوزاید روی بیشتر گیاهان به جز زنبق مؤثر است و در کنترل رشد نهال‌ها و به‌ویژه در آب‌وهوای سردتر بسیار کارآمد می‌باشد.

ترکیبات تریازول[۳]

تریازول‌ها یک دسته مهم از ترکیبات هتروسیکلیک هستند که طیف وسیعی از فعالیت‌ها را نشان می‌دهند. این ترکیبات که به عنوان پیرودیازول نیز شناخته می‌شوند، دارای یک سیستم حلقه‌ای پنج‌عضوی و غیراشباع هستند که شامل سه اتم نیتروژن در یک هسته هتروسیکلیک می‌باشد. تریازول‌ها به دو شکل ایزومری، ۱،۲،۳-تریازول و ۱،۲،۴-تریازول در طبیعت وجود دارند. این ترکیبات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گروه‌های قارچ‌کش‌های سیستمیک، با ویژگی‌های حفاظتی و درمانی، در کنترل بیماری‌های قارچی مختلف مانند زنگ‌ها، سفیدک پودری و گونه‌های فوزاریوم استفاده می‌شوند (Ijaz *et al*., 2015). حدود یک‌پنجم مواد مؤثره موجود در قارچ‌کش‌ها متعلق به گروه آزول‌ها است. بازار جهانی قارچ‌کش‌های تریازولی در حال رشد است و از ۳/۸۷میلیارد دلار در سال ۲۰۲۳ به ۴/۰۹ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۴ رسیده است (https://www.sphericalinsights.com). این ترکیبات با مهار بیوسنتز ارگوسترول، که جزء حیاتی غشای سلولی قارچ‌ها است، باعث توقف تکثیر و رشد قارچ‌ها می‌شوند (Rademacher, 2000). در جدول زیر اسامی قارچ‌کش‌های تریازولی بازدارنده رشد به همراه نوع اثر در گیاه و دوز پیشنهادی آورده شده است (جدول ۱).

تریازول‌ها علاوه بر اثرات قارچ‌کشی، دارای خواص تنظیم‌کنندگی رشد نیز هستند و به‌دلیل توانایی ذاتی آن‌ها در القای تحمل به تنش‌های غیرزیستی، از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌ها و تجمع مولکول‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تحت تنش، به‌عنوان ترکیبات محافظت‌کننده در برابر تنش شناخته می‌شوند (Jaleel *et al.,* 2007). خاصیت تنظیم‌کنندگی رشد تریازول‌ها به‌واسطه توانایی آن‌ها در تغییر توازن هورمون‌های گیاهی، از جمله کاهش سطح جیبرلین، افزایش آبسیزیک اسید و تحریک سنتز سیتوکینین، اعمال می‌شود (Hajihashemi *et al.,* 2007). این ترکیبات موجب بروز پاسخ‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان می‌شوند؛ از جمله جلوگیری از طویل شدن شاخه‌ها، تحریک رشد ریشه، افزایش سنتز سیتوکینین، افزایش گذرای آبسیزیک اسید و همچنین افزایش مقاومت در برابر تنش‌های محیطی مختلف (Desta & Amare, 2021). برخی از

۱- Onnium compounds ۲- Daminozide ۳- Triazole

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

تریازول‌های شناخته‌شده شامل پاکلوبوترازول، یونیکونازول، تتراکونازول و تریادیمفون هستند که هر یک موجب بروز پاسخ‌های قابل‌توجهی در گیاهان می‌شوند (Rajasekar *et al.*, 2015). بر اساس نتایج تجربی، کشاورزان، به‌ویژه در گلخانه‌های تولید نشاء، از ترکیبات تریازولی (به‌خصوص پروپیکونازول) برای کاهش رشد گیاهان استفاده می‌کنند؛ به‌ویژه در شرایطی که زمین کشاورزی برای انتقال نشاء آماده نیست و گیاهچه‌ها در حال افزایش بیش از حد ارتفاع هستند، کاربرد این ترکیبات به کنترل رشد و جلوگیری از طویل شدن نشاها کمک می‌کند، اما باید در کاربرد این ترکیبات و غلظت مورد استفاده دقت لازم را به کار برد. به عنوان مثال همانطور که در شکل یک آورده شده است در این گلخانه به دلیل آماده نبوده زمین کشاورزی برای کشت، در گلخانه مجبور شده‌اند که نشای گوجه را نگه دارند، که برای جلوگیری از قد کشیدن و علفی شدن نشا از ترکیب پروپیکونازول به تعداد سه بار محلول پاشی استفاده شده که سبب تغییر در فرم برگ و رویش نشا شده است.

جدول ۱- اسامی قارچکش‌های تریازولی بازدارنده رشد.

Table 1. Names of triazole fungicides that inhibit growth.

نام قارچ‌کش Fungicide name	نام تجاری Trade names	اثر بر رشد گیاه Effect on plant growth	دز پیشنهادی Suggested dosage	گیاهان هدف Target plants
پروپیکونازول Propiconazole	تیلت Tilt	کاهش رشد، افزایش ضخامت ساقه Decreased growth, increased stem thickness	5-15 ppm	گوجه، فلفل، توت‌فرنگی Tomatoes, peppers, strawberries
تبوکونازول Tebuconazole	فولیکور Follicor	کاهش رشد و متراکم شدن گیاه Reduced growth and plant compaction	10-20 ppm	غلات، گوجه، خیار Cereals, tomatoes, cucumbers
فلوتریافول Flutriafol	ایمپکت Impact	کاهش رشد، افزایش تعداد برگ Decreased growth, increased number of leaves	10-15 ppm	گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی Tomatoes, potatoes

شکل ۱- مصرف بالای قارچکش تیلت یا پروپیکونازول در گلخانه تولید نشای گوجه فرنگی در مرودشت.

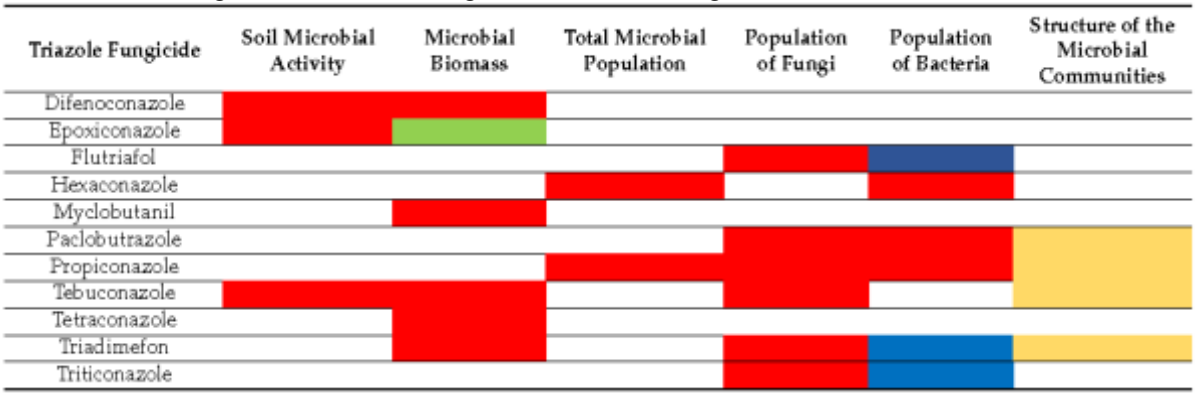
Fig. 1. High usage of Tillet or Propiconazole fungicides in tomato seedling production greenhouse in Marvdasht.

استفاده مکرر از این ترکیبات در خزانه می‌تواند منجر به توقف رشد نشاها پس از انتقال به زمین شود. در ایران، استفاده از ترکیبات تریازول به‌صورت خاک‌پاشی برای کنترل بیماری‌های قارچی بین کشاورزان رایج است. دزهای بالای قارچ‌کش‌های تریازول تأثیر قابل‌توجهی بر ساختار جوامع میکروبی خاک دارند و معمولاً جمعیت میکروبی و فعالیت آنزیم‌های خاک را کاهش می‌دهند (جدول ۲) (Roman *et al.*, 2021).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

جدول ۲- اثرات دزهای بالای قارچ‌کش‌های تریازول بر میکروارگانیسم‌های خاک.

Table 2. Effects of high doses of triazole fungicides on soil microorganisms.



رنگ‌ها به شرح زیر تفسیر شده‌اند: رنگ قرمز نشان‌دهنده کاهش مقادیر نسبت به شاهد، رنگ آبی نشان‌دهنده افزایش مقادیر نسبت به شاهد، رنگ سبز بیانگر عدم تأثیر قارچ‌کش‌ها بر میکروبیوتای خاک، رنگ زرد نشان‌دهنده تغییرات در ساختار جوامع میکروبی و رنگ سفید نشان‌دهنده کمبود داده‌های موجود است.

Red cells indicate decreased values compared to the control; blue cells indicate increased values; green cells show no effect of the fungicides on the soil microbiota; yellow cells represent changes in the structure of microbial communities; white cells indicate the lack of available data.

پاکلوبوترازول

پاکلوبوترازول، با نام‌های تجاری Bonzi، PP333، Piccolo، Paczol و عضو گروه تریازول‌ها است و به‌طور گسترده در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ترکیب یک مهارکننده بزرگ شدن سلول و توسعه میانگره‌ها است که اثر خود را از طریق جلوگیری از بیوسنتز جیبرلین اعمال می‌کند (Basooriya *etal.*,2025). جیبرلین‌ها باعث تحریک بزرگ شدن سلول‌ها می‌شوند؛ بنابراین، وقتی تولید جیبرلین مهار شود، تقسیم سلولی ادامه می‌یابد اما سلول‌های جدید کشیده نمی‌شوند. نتیجه این فرآیند شاخه‌هایی با همان تعداد برگ و میانگره فشرده و طول کمتر است. کاهش رشد در قطر تنه و شاخه‌ها نیز مشاهده شده است (Kumar *et al,* 2020). پاسخ دیگر گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول، افزایش تولید هورمون آبسیزیک اسید و فیتول است که هر دو برای رشد و سلامت گیاه مفید هستند. پاکلوبوترازول همچنین ممکن است باعث تغییرات مورفولوژیکی برگ‌ها شود، از جمله: منافذ روزنه‌ای کوچک‌تر، برگ‌های ضخیم‌تر، افزایش تعداد و اندازه زائده‌های سطحی، و افزایش تراکم ریشه، که می‌تواند به بهبود تحمل تنش‌های محیطی و مقاومت در برابر بیماری‌ها کمک کند (Desta & Amare, 2021). این ترکیب هم به صورت کاربرد خاکی و هم به صورت محلول پاشی در درختان میوه استفاده می شود در محلول پاشی پاکلوبوترازول بوسیله دمبرگ‌ها و ساقه‌ها جذب می‌شود و از آوند چوبی به نقاط رشدی منتقل می شود. در پژوهشی کاربرد برگی پاکلوبوترازول درمرحله ریزش گلبرگ ها در گلابی باعث افزایش ۳۴ درصدی عملکرد شد (Orozco-Meléndez *et al.*, 2021). در پژوهشی دیگراثر پاکلوبوترازول به صورت کاربرد خاکی روی زردآلوی رقم «لاسجردی» مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد شروع گلدهی در همه تیمارها نسبت به شاهد یک تا دو روز زودتر آغاز شد. درصد تشکیل میوه اولیه در تیمارهای پاکلوبوترازول به طور معنی داری نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین مقدار رشد رویشی سرشاخه‌ها بسته به نوع تیمار پاکلوبوترازول ۴۰ تا ۵۰٪ نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار داشت (Sedighi *et al.*, 2008).

در مطالعه‌ای گزارش شد که ترکیب پاکلوبوترازول و عنصر بر باعث افزایش تعداد و وزن میوه‌های گیاه توت فرنگی می‌شود و کاربرد پاکلوبوترازول در ترکیب با سولفات روی منجر به افزایش تعداد گل‌آذین‌ها و عملکرد می‌شود (Abdolahi *et al.*, 2012). علاوه بر این، به‌دلیل ظرفیت آن به‌عنوان یک تریازول در مهار بیوسنتز استرول‌ها، پاکلوبوترازول دارای فعالیت قارچ‌کشی نیز می‌باشد (Chaney, 2005). پاکلوبوترازول از طویل شدن ساقه جلوگیری می‌کند. گزارش شده است که PP333 باعث کاهش طویل شدن شاخه‌های جدید در هلو شد و این اثر با افزایش غلظت از ۵۰۰ به ۱۵۰۰ ppm افزایش یافت. همچنین محلول پاشی برگی PP333 با غلظت ۱۰۰۰ یا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، رشد نهال هلو را کاهش می‌دهد (Kumar *et al*, 2020).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

اثرات ترکیبات تریازولی در رشد و نمو گیاهان

اثرات مثبت ترکیبات تریازولی در گیاهان

قارچ‌کش‌های تریازولی به‌طور مستقیم بر آنزیم‌ها و مکانیسم‌های داخلی گیاه تأثیر می‌گذارند که مسئول فرآیندهای مختلف مانند رشد گیاه، میوه‌دهی، اکسیداسیون، سنتز کلروفیل، تولید ترکیبات فنولی و سایر متابولیت‌ها هستند. این تأثیرات عمدتاً ناشی از تغییرات در هورمون‌ها و فرآیندهای متابولیک گیاهان می‌باشد (Gopi *et al.,* 2007; Jakl *et al.,* 2021). مهم‌ترین اثرات مثبت تریازول‌ها در گیاهان عبارتند از: افزایش سبزینگی گیاهان به دلیل افزایش میزان کلروفیل، افزایش رشد ریشه، افزایش محتوای پروتئین در دانه‌ها، افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی، شامل دماهای نامساعد (سرما و گرما)، کمبود آب و خشکی، رطوبت بیش از حد، شوری کلریدی، تابش فرابنفش (UV-B) و تنش اکسیداتیو و جلوگیری از ورس یا خوابیدگی غلات (Jakl *et al.,* 2021) می‌باشد.

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ترکیبات تریازولی اثرات مهارکننده رشد در گیاهانی مانند غلات و کلزا دارند و موجب کاهش طول ساقه و ریشه همراه با افزایش قطر آن‌ها می‌شوند. از آنجا که این گیاهان به دلیل رشد رویشی زیاد مستعد ورس و خوابیدگی هستند، تریازول‌ها به‌عنوان کندکننده رشد گیاه برای کاهش خطر ورس و بهبود استحکام ساقه استفاده می‌شوند (Pavlova *et al.,* 1995).

علاوه بر این، تریازول‌ها در بسیاری از گیاهان موجب تحریک رشد سیستم ریشه شده و با تقویت تشکیل جوانه‌های گل، تسریع گل‌دهی و بهبود تشکیل و کیفیت میوه‌ها نقش مؤثری در رشد گیاه دارند. این ترکیبات همچنین باعث افزایش انرژی جوانه‌زنی و سرعت سبز شدن بذر گندم بهاره شده و در نهایت عملکرد گندم بهاره و زمستانه را بهبود می‌بخشند (Bora *et al.,* 2007).

مشتقات تریازول‌ها میزان کلروفیل و سایر رنگدانه‌های فتوسنتزی را افزایش داده و بر متابولیسم کربوهیدرات‌ها نیز تأثیر می‌گذارند. برای مثال، استفاده از تبوکونازول به‌تنهایی یا در ترکیب با کلرکولین‌کلرید در دوره رویش بهاری کلزای زمستانه، علاوه بر کاهش ارتفاع گیاهان، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ‌ها و تعداد غلاف‌های گیاه را افزایش می‌دهد (Matysiak & Kaczmarek, 2013). همچنین، تیمار گیاهان سیب‌زمینی در مرحله جوانه‌زنی با محلول ۰/۰۰۲۵٪ تبوکونازول باعث تغییرات در ساختار میانه برگ‌ها و افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی شد. این ترکیبات با مهار فعالیت آنزیم‌های آلفا-آمیلاز و فروکتان‌اکزوهیدرولاز، به تجمع نشاسته نیز کمک می‌کنند (Rogach *et al.,* 2016) .

اثرات منفی ترکیبات تریازولی در گیاهان

تریازول‌ها می‌توانند موجب ایجاد سمّیت در گیاهان شوند که عمدتاً به دلیل مهار بیوسنتز استرول‌ها، القای تنش اکسیداتیو و اختلال در جذب مواد معدنی اتفاق می‌افتد. این ترکیبات با اختلال در عملکرد آنزیم دمتیلاز استرول گیاهی و سیگنال‌دهی مرتبط با استرول‌ها، فرآیندهای تکثیر و تمایز سلولی را تحت تأثیر قرار داده و تولید رادیکال های آزاد (ROS) را افزایش می‌دهند. این اثرات منفی می‌توانند تعادل هورمونی و نیتروژنی گیاه را برهم زده و منجر به کاهش جوانه‌زنی بذر، اختلال در رشد و توسعه ریشه و حتی ایجاد ناهنجاری‌های کروموزومی شوند (Shishatskaya *et al.,* 2018).

در گیاهچه‌های گندم تیمارشده با تبوکونازول، طول ریشه و ساقه، وزن تر و خشک، و میزان کلروفیل و پروتئین به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این اثرات با اختلال در مسیرهای سنتز اسیدهای آمینه، چربی‌ها، ویتامین‌ها و پیریمیدین‌ها و نیز فرآیندهای آمینواسیل tRNA-و اسیدهای چرب غیراشباع مرتبط بودند. همچنین، ایزومرهای Rac و R موجب کاهش قندهای محلول، اسیدهای آمینه و اسیدهای آلی شدند، در حالی‌که ایزومر S تبوکونازول با فسفریلاسیون اسید فسفاتیدیک، غلظت دی‌آسیل‌گلیسرول‌پیروفُسفات را افزایش داد. علاوه‌براین، تبوکونازول با برهم‌زدن تعادل ردوکس، باعث کاهش شدید تعداد سلول‌های مرزی و اندازه لایه ژله‌ای در ریشه گندم گردید (Dong, 2024).

به‌طور خاص، تبوکونازول و مشتقات آن که از تجزیه این ترکیب حاصل می‌شوند، اثرات سمی بر بذرهای کاهو و پیاز دارند (Arsand *et al.,* 2021). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تبوکونازول باعث کاهش جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه و فعالیت میتوزی در ریشه‌های پیاز می‌شود و همزمان میزان ناهنجاری‌های کروموزومی و هسته‌ای را افزایش می‌دهد (Bernardes *et al.*, 2015).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

همچنین، در بذرهای جوانه‌زده کاهو، تبوکونازول در غلظت‌های بالا باعث تغییرات کروموزومی و تخریب DNA می‌شود (Aragão *et al.,* 2021).

تأثیرات سمی تبوکونازول بر گیاهان گندم آلوده به فوزاریوم نیز بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که تبوکونازول باعث کاهش تعداد سلول‌های مرزی در نوک ریشه‌ها و ایجاد تغییرات تخریبی در نوک ریشه‌ها می‌شود که به تجزیه لایه انتهایی ریشه‌ها منجر می‌گردد (Shishatskaya *et al.*, 2018). دوزهای نامناسب قارچ‌کش‌های تریازولی می‌تواند باعث کاهش جوانه‌زنی بذر و مهار رشد گیاه شود. حتی در دوزهای توصیه‌شده نیز استفاده از قارچ‌کش‌های تری‌آزولی به‌عنوان پوشش بذر ممکن است در شرایط تنش سرمایی، رشد طبیعی ساقه ذرت را مختل کند. به‌عنوان نمونه، در شمال چین در سال ۲۰۰۸ بروز گیاه‌سوزی ناشی از پوشش بذر با قارچ‌کش‌های تری‌آزولی در ذرت تحت دمای پایین پس از کاشت، با شیوع ۱۰ تا ۳۰ درصد گزارش شد.(Yang *et al.,* 2016).

در یک مطالعه، قرار گرفتن بذرهای پیاز در محلول‌های دیفنکونازول و تبوکونازول به مدت ۴۸ ساعت موجب کاهش جوانه‌زنی، کاهش رشد ریشه‌ها و کاهش شاخص تقسیم میتوزی شد. همچنین تعداد انحرافات کروموزومی و هسته‌ای افزایش یافت. اثر مهاری تبوکونازول بر رشد از غلظت‌های ۱۲.۵ میکروگرم در میلی‌لیتر آغاز شده و در غلظت‌های ۵۰ تا ۲۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر منجر به توقف کامل رشد و قطع تقسیم میتوزی شد (Bernardes *et al.*, 2015).

در گیاه Bidens laevis ، قرارگیری در معرض تبوکونازول با غلظت‌های ۰/۱ تا ۱۰۰ میکروگرم در لیتر به مدت ۱۴ روز منجر به افزایش انحرافات کروموزومی و کاهش شاخص میتوزی شد. همچنین، این قارچ‌کش باعث کاهش سرعت رشد کلی گیاه (طول ساقه + طول ریشه) در تمامی غلظت‌های مورد بررسی شد؛ به‌ویژه رشد ریشه‌ها در غلظت‌های ۰/۱ و ۱۰ میکروگرم بر لیتر کاهش یافت و بیشترین میزان مهار رشد ریشه‌ها (۶۸٪/۸) مشاهده شد (Moreyra *et al.,* 2019).

یک پژوهش دیگر اثر قارچ‌کش‌های تریازولی تبوکونازول، سیپروکونازول و پنکونازول بر تولید ترکیبات فنولیک در پوست میوه گوجه‌فرنگی، میزان کلروفیل a و b در برگ‌ها و پارامترهای رشد گیاه مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که تیمار با تریازول‌ها وزن میوه‌های برداشت اول را حدود ۴۳٪ افزایش داد، اما این اثر در برداشت‌های بعدی مشاهده نشد. همچنین، افزایش تنش اکسیداتیو در حضور تریازول‌ها با تولید بیشتر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فنولیک در اولین برداشت تأیید شد. مهم‌ترین اثر منفی مشاهده‌شده شامل کاهش وزن ساقه‌های نازک و برگ‌ها و کاهش غلظت کلروفیل a و b در برگ‌های گیاهان تیمار شده بود (Jakl *et al.,* 2021).

در گیاه گوجه‌فرنگی، مصرف تریازول‌ها به‌عنوان بازدارنده رشد در مرحله نشا می‌تواند تأثیرات نامطلوبی بر سیستم ریشه‌ای داشته باشد. این ترکیبات موجب افزایش غیرطبیعی حجم ریشه در ناحیه طوقه و بالای ریشه اولیه شده و سبب رشد افقی ریشه‌ها می‌شوند. باوجود این افزایش حجم، کیفیت و کارایی ریشه کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که توانایی نفوذ به عمق خاک و جذب مؤثر آب و مواد مغذی مختل شده و در نتیجه گیاهان علائم کمبود آب و عناصر غذایی را نشان می‌دهند.

تریازول‌ها با تأثیر بر مسیرهای متابولیکی و هورمونی، فرآیندهای جذب را دچار اختلال کرده و کارایی فیزیولوژیکی ریشه را کاهش می‌دهند. علاوه بر این، رشد افقی ریشه‌ها و عدم تماس مؤثر با خاک باعث می‌شود که علی‌رغم افزایش حجم ریشه، سطح فعال جذب افزایش نیافته و توانایی ریشه در تأمین نیازهای گیاه محدود شود. همچنین با کاربرد غلظت و زمان نامناسب تریازول‌ها، توازن هورمونی در گیاه به هم ریخته و تمایزیابی سیستم آوندی در ناحیه طوقه دچار اختلال می‌شود؛ زیرا تقسیم سلولی در لایه کامبیوم و تمایزیابی سیستم آوند آبکش و آوند چوب نیازمند توازن هورمونی مناسب به‌ویژه از نظر اکسین، سایتوکینین و جیبرلین است. بنابراین، انتقال آب و عناصر غذایی از ریشه به اندام هوایی و انتقال مواد فتوسنتزی از اندام هوایی به ریشه به‌درستی انجام نمی‌گیرد. در پژوهشی گزارش شده است که کاربرد پاکلوبوترازول روی درختان انبه باعث زود رسی و کاهش اندازه میوه ها در صورت استفاده مداوم و بیش از یکسال می شود (Kumar *et al* , 2019).

اثرات ترکیبات تریازولی بر محیط زیست و انسان

از آنجایی که قارچ‌کش‌های تریازول سیستمیک هستند، برای کشاورزان تزریق این قارچ‌کش‌ها در سیستم آبیاری بسیار آسان و کم‌هزینه است. بنابراین، استفاده از این قارچ‌کش‌ها افزایش یافته و به ویژه در محصولات صیفی‌جات مانند گوجه فرنگی به دلیل

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

مشکلات فراوان ناشی از بیماری‌های قارچی کاربرد زیادی دارند. بقایای تبوکونازول اغلب در نمونه‌های محیطی و مواد غذایی شناسایی شده است و خطرات بالقوه‌ای را برای انسان ایجاد می‌کند (Dong, 2024).

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که قارچ‌کش‌های تریازول می‌توانند سمیت قابل توجهی برای طیف وسیعی از موجودات غیرهدف داشته باشند. اثرات شناخته‌شده تریازول‌ها بر فعالیت خاک وابسته به دوز مصرفی است. دوزهای بالا به شدت بر ساختار جوامع میکروبی خاک تأثیر گذاشته و معمولاً جمعیت میکروبی و فعالیت آنزیم‌های خاک را کاهش می‌دهند (Tahat *et al., 2020*).

آنزیم‌های خاک عمدتاً از میکروارگانیسم‌ها، بقایای گیاهی یا حیوانی منشأ می‌گیرند. این آنزیم‌ها یا به صورت آزاد در خاک تجمع می‌یابند یا عمدتاً روی مواد آلی خاک تثبیت می‌شوند که فعال‌ترین بخش اجزای آلی خاک هستند. آن‌ها با افزایش سرعت واکنش‌های تجزیه مواد آلی و آزاد کردن مواد مغذی در تمام فرآیندهای بیوشیمیایی خاک مشارکت دارند و برای عملکردهای حیاتی میکروبی ضروری هستند. به دلیل پایداری و حساسیت بالا، آنزیم‌های خاک به عنوان شاخص‌های سلامت خاک استفاده می‌شوند (Rao *et al*., 2014). بنابراین، کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها می‌تواند سلامت گیاهان زراعی و عملکرد آن‌ها را کاهش دهد.

قارچ‌کش‌های تریازولی در سراسر جهان مورد استفاده هستند. پرندگان می‌توانند در طول سال از طریق مسیرهای مختلف، از جمله جذب خوراکی، تماس پوستی با سطوح تیمار شده و استنشاق اسپری بیش از حد، در معرض این مواد قرار گیرند. یکی از نگرانی‌های مهم، که می‌تواند ماه‌ها پس از قطع قرارگیری در معرض رخ دهد، کاهش بازده تولید مثلی پرندگان شامل تأخیر در تخم‌گذاری، کاهش اندازه تخم‌ها، کاهش نرخ جوجه‌درآوری و افزایش مرگ و میر جوجه‌ها است (Jiménez-Peñuela *et al.,* 2025).

تریازول‌ها، که در دهه ۱۹۸۰ عرضه شدند، یکی از مهم‌ترین گروه‌های آفت‌کش در کشاورزی هستند و علاوه بر کنترل بیماری‌ها، به عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاه و فراینده تاب‌آوری گیاه در برابر تنش، کاربرد دارند. انسان‌ها معمولاً از طریق غذا، آب و داروها در معرض این ترکیبات قرار می‌گیرند و نگرانی‌هایی در مورد اثرات نامطلوب بالقوه بر سلامتی مطرح است.

یکی از نگرانی‌های مهم، تأثیر تریازول‌ها بر توان تولید مثل انسان است. این ترکیبات می‌توانند با اختلال در تولید هورمون‌ها و تداخل با عملکردهای تولید مثلی در تخمدان و سیستم مردانه، اثرات منفی بر باروری انسان داشته باشند. قرار گرفتن در معرض تریازول‌ها، به ویژه در فعالیت‌های کشاورزی و مصارف پزشکی، با اختلال در عملکرد تخمدان، رشد غیرطبیعی فولیکول و کاهش باروری زنان مرتبط دانسته شده است. همچنین، آن‌ها آنزیم‌هایی مانند آروماتاز را مهار کرده و می‌توانند اثرات تراتوژنیک بر جنین ایجاد کرده و منجر به ناهنجاری‌های رشدی و نقص‌های مادرزادی شوند (Sharma & Pandey, 2025).

مکانیسم عمل کندکننده‌ها

کندکننده‌های رشد گیاه ترکیبات شیمیایی هستند که توانایی مهار بیوسنتز جیبرلین‌ها (GAs) و در نتیجه کاهش رشد گیاه را دارند. اگرچه ویژگی‌های دقیق ساختار مولکولی که فعالیت‌های تنظیم‌کننده رشد گیاه را ایجاد می‌کند، هنوز به‌طور کامل درک نشده است، به نظر می‌رسد این فعالیت‌ها به آرایش استریوشیمیایی جایگزین‌ها در زنجیره کربن مرتبط باشد. شواهد نشان می‌دهند که انانتیومرهایی با پیکربندی S در کربن کایرال که گروه هیدروکسیل دارند، مهارکننده‌های بیوسنتز جیبرلین هستند (Gopi & Jaleel, 2009).

یکی از کندکننده‌های رشد پرکاربرد، کلرمکوات کلراید است که یک ترکیب آمونیوم چهارتایی محسوب می‌شود و کوپالیل دی فسفات سنتاز CDPS و کائورن سنتاز را در مسیر بیوسنتزی جیبرلین‌ها مهار می‌کند. یکی دیگر از مهارکننده‌های بیوسنتز جیبرلین، پاکلوبوترازول است که عمدتاً به عنوان کندکننده رشد و محافظ تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Karimi *et al.,* 2019). اثر تأخیر در رشد ناشی از تداخل پاکلوبوترازول با بیوسنتز جیبرلین است، که با مهار اکسیداسیون انت-کائورن به انت-کورونوئیک اسید از طریق غیرفعال کردن اکسیژناز وابسته به سیتوکروم P450 صورت می‌گیرد .(Desta & Amare, 2021) فزون بر این، پاکلوبوترازول نسبت به سایر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در غلظت پایین‌تر تاثیر بیشتری دارند. همچنین مشخص شده

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

است که پاکلوبوترازول بر سنتز هورمون آبسیزیک اسید و فیتول تأثیر می‌گذارد. آبسیزیک اسید از طریق مسیر ترپنوئیدی سنتز می‌شود. هنگامی که سنتز جیبرلین مسدود شود، پیش‌سازهای مسیر ترپنوئیدی انباشته شده و تولید آبسیزیک اسید افزایش می‌یابد. همچنین مشخص شده که پاکلوبوترازول از کاتابولیسم آبسیزیک اسید نیز جلوگیری می‌کند. بنابراین، اثر پاکلوبوترازول بر سنتز و کاتابولیسم آبسیزیک اسید موجب افزایش غلظت این هورمون در برگ‌ها می‌شود (Dong, 2024).

از دیگر کند کننده های رشد گیاهی که بیشتر در صنعت گلکاری مورد استفاده قرار میگرد دامینوزایدها می‌باشد، این ترکیبات از طریق مسدود کردن فعالیت آنریم ۳بتا هیدروکسیلاسیون از تبدیل GA_{20} به GA_1 جلوگیری می‌کند بنابراین سطح جیبرلین را در گیاه تیمار شده کاهش می‌دهد (Miroshnichenko *etal.,* 2021).

فاکتورهای موثر در کاربرد کندکننده‌های رشد

شرایط محیطی

فاکتورهای زیادی برای رسیدن به نتیجه مطلوب در زمان استفاده از کندکننده‌های رشد موثر هستند. شرایط محیطی یکی از فاکتورهایی می‌باشد که به صورت معنی داری کارایی تنظیم کننده‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد(Thakur, 2025). استفاده از تنظیم کننده‌های رشد در اوایل صبح که میزان تبخیر کمتر است باعث جذب بیشتر مواد شیمیایی می شود. گیاهان در زمان کاربرد تنظیم کننده‌های رشد نباید در شرایط تنش آبی قرار گیرند زیرا این امر خطر ایجاد سمیت در گیاهان را افزایش می‌دهد. پس از استفاده تنظیم کننده رشد باید اجازه داد تا گیاه خشک شود و از خیس شدن برگ‌ها خودداری شود. پس از استفاده از دامینوزاید شاخ و برگ گیاه باید به مدت چهار ساعت خشک شود در حالی که سایر تنظیم کننده‌های رشد گیاه تنها به یک ساعت نیاز دارند. در دماهای بالاتر بیشتر کندکننده‌های رشد، اثرشان کمتر می‌شود و غلظت‌های بیشتر یا کاربردهای اضافی ممکن است مورد نیاز باشد. همچنین در شرایط دمای بالا پتانسیل سمیت گیاهی هم افزایش می‌یابد. کاربردهای محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد گیاه در شرایطی که سرعت خشک شدن کندتر است (مانند نور کم، رطوبت بالا، دمای خنک) موثرتر است. این به این دلیل است که ماده موثره پس از خشک شدن جذب نمی‌شود، بنابراین هر چه شاخ و برگ در اثر محلول‌پاشی مرطوب بماند، ماده فعال بیشتری جذب می‌شود (Whipker & Evans, 2012) .

نوع محصول

فاکتور موثر دیگر نوع گیاه می‌باشد، گیاهان مختلف و حتی ارقام مختلف یک محصول ممکن است واکنش متفاوتی به کند کننده‌های رشد گیاه نشان دهند. برخی از محصولات به برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه پاسخ نمی‌دهند یا ممکن است با درجات مختلف پاسخ دهند. برای هر تنظیم‌کننده رشد و گیاه، غلظت بهینه‌ای وجود دارد که باید اعمال شود. همچنین، برخی از محصولات زراعی ممکن است نسبت به سایرین در معرض سمیت گیاهی ناشی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی خاص باشند. به‌طور معمول، برچسب بازدارنده رشد، تمام محصولاتی را که ممکن است این ماده روی آنها اعمال شود فهرست می‌کند (Whipker & Evans, 2012). به عنوان مثال در گلابی کاربرد۲۰۰ میلی گرم بر لیتر باعث کاهش رشد رویشی وافزایش کیفیت و عملکرد میوه شد اما در درختان زیتون کاربرد ۱۰الی ۲۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول باعث کاهش رشد رویشی شد(Orozco-Meléndez *et al.,* 2021).

مرحله رشد

فاکتور دیگر مرحله رشد گیاهان می باشد، محصولات زراعی ممکن است در مراحل مختلف رشد، حساسیت کم یا زیادی به عوامل بازدارنده رشد داشته باشند. برای جلوگیری از اثرات نامطلوب بر رشد باید از کندکننده‌های رشد در مرحله صحیح استفاده کرد. به عنوان مثال، استفاده دیرهنگام از مواد کندکننده رشد گیاه روی بنت قنسول می تواند منجر به کاهش اندازه براکته‌ها شود (Whipker & Evans, 2012). در مواردی که زمین کشاورزی برای انتقال نشاء آماده نمی‌باشد و یا گلخانه‌دار نشای آزاد (تولید نشا بدون سفارش کشاورز می‌باشد که گلخانه دار آن را تولید می‌کند و در صورت نیاز کشاورزان در دقیقه ۹۰ خریداری می‌کنند) تولید می‌کند از کندکننده‌های رشد روی نشاهای موجود در گلخانه برای جلوگیری از رشد زیاد و کاهش ارتفاع استفاده می‌کند که در برخی موارد نه تنها یک بار بلکه چندین بار استفاده می‌کند که سبب می‌شود هنگام انتقال به زمین رشد نشا متوقف شود و کشاورز به اشتباه آبیاری یا کوددهی را برای شروع رشد نشا بیش از حد انجام دهد که این مورد خود سبب ایجاد مشکلات دیگر مانند مسمومیت عناصر غذایی در خاک یا ایجاد پوسیدگی در ناحیه طوقه (بوته میری) و ریشه گردد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

غلظت کندکننده‌ها

غلظت کندکننده‌های رشد یکی دیگر از فاکتورهای تعیین‌کننده در اثربخشی آن‌ها است. برای هر محصول و هر نوع کندکننده رشد، یک غلظت بهینه خاص لازم است تا نتایج مطلوب حاصل شود. کندکننده‌های رشد معمولاً در غلظت‌های پایین فعال هستند و می‌توانند چرخه رشد گیاه را مهار یا تحریک کنند. از بین کندکننده‌های رشد، تریازول‌ها در غلظت‌های پایین بسیار پایدار و فعال هستند، بنابراین احتمال خطا و مصرف بیش از حد آن‌ها در محصولات، بیشتر از سایر کندکننده‌ها است (Thakur, 2025).

روش کاربرد

روش‌های مختلفی برای اعمال تنظیم کننده‌های رشد روی گیاهان وجود دارد. برخی از بازدارنده‌های رشد را می‌توان فقط به عنوان محلول پاشی استفاده کرد، در حالی که برخی دیگر را می‌توان به صورت کاربرد خاکی استفاده کرد. در برخی موارد می‌توان از روش پرایمینگ بذر قبل از کاشت یا به روش غوطه وری گیاه در محلول تنظیم کننده قبل از کاشت استفاده کرد (Sajjad *et al.*,2017). هنگام استفاده از محلول پاشی برگی، حجم اعمال شده باید به اندازه‌ای باشد که شاخ و برگ و ساقه‌ها در مورد کند کننده‌های رشد تری آزول) خیس شود، بدون اینکه مقدار قابل توجهی از کند کننده رشد وارد بستر کشت شود. هنگام کاربرد خاکی یک کند کننده رشد، حجم‌های بالاتری اما با ماده فعال کمتر در هر گیاه استفاده می‌شود (Whipker & Evans, 2012). در انتخاب روش کاربرد کند کننده‌ها علاوه بر نوع محصول، نوع کند کننده مورد استفاده نیز اهمیت دارد به طور مثال انسیمیدول توسط برگ، ساقه و ریشه‌ها جذب می‌شود در حالی که دامینوزاید فقط به صورت محلول پاشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sajjad *et al*.,2017). در مورد پاکلوبوترازول، هم به صورت محلول پاشی و هم به صورت کاربرد خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرد در محلول پاشی به‌وسیله دمبرگ‌ها و ساقه‌ها جذب می‌شود و از طریق آوند چوبی به نوک شاخه‌های در حال رشد منتقل می شود، در کاربرد خاکی آن‌ها به وسیله ریشه جذب می‌شوند و سپس از طریق آوند چوبی به مریستم‌های انتهایی منتقل می‌شوند. در مورد پاکلوبوترازول کاربرد خاکی شاید موثرتر از محلول پاشی برگی باشد. نیمه عمر پاکلوبوترازول در خاک بسته به نوع خاک و شرایط محیطی بین ۶ تا ۱۲ ماه است (Desta & Amare 2021).

پوشش و یکنواختی

یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر در کارایی کندکننده‌های رشد، پوشش و یکنواختی محلول کاربردی است. پوشش یکنواخت برای دستیابی به رشد و ارتفاع محصول یکسان ضروری است. در مورد بازدارنده‌های رشد تریازولی، تماس مستقیم ماده با ساقه نیز برای اثرگذاری مؤثر کندکننده، ضروری است (Whipker & Evans, 2012).

اهداف و کاربردها

تحمل به تنش‌ها

پژوهش‌های زیادی در زمینه کاهش آثار سوء تنش خشکی و به دست آوردن میزان رشد مناسب در شرایط کمبود آب صورت گرفته و کاربرد کندکننده‌های رشد در کاهش اثرات سوء تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفته است. اگرچه کندکننده‌ها، رشد گیاه را مهار می کنند، برخی اثرات مفید آن ها بر روی گیاهان مشاهده شده است، به خصوص زمانی که گیاهان با تنش های غیرزیستی مواجه می‌شوند. به عنوان مثال، نشان داده شده است که فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی با کاربرد کلرمکوات کلراید در سیب زمینی افزایش یافته است (Wang *et al.*, 2010). از آنجایی که تنش اکسیداتیو یکی از علل اصلی آسیب گیاهان در شرایط تنش خشکی است افزایش آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی و در نتیجه مهار رادیکال‌های آزاد، راهکار مفیدی برای مقابله با تنش خشکی در گیاهان است. همچنین نشان داده شده است که پاکلوبوترازول اثر منفی تنش خشکی بر پراکسیداسیون لیپیدی برگ استویا را کاهش داده که منجر به کاهش نشت الکترولیت در غشاء سلولی می‌شود (Haji Hashemih & Ehsanpour, 2013) . از طرفی همان‌طور که اشاره شد پاکلوبوترازول موجب افزایش غلظت ابسیزیک اسید در برگ‌ها می‌شود. یکی از نقش‌های مهم ABA باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش اتلاف آب از برگ‌ها از طریق تعرق می‌شود. بهبود روابط آب در گیاهان تیمار شده به دلیل افزایش محتوای ABA می‌باشد که باعث کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش رشد ساقه و ایجاد سطح کمتر برای تعرق، ریشه بیشتر برای جذب آب و تغییرات آناتومیکی در برگ‌ها که مانع از دست دادن آب می‌شود، صورت می‌گیرد (Desta & Amare 2021).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

در پژوهشی اثر کلرمکوات کلراید بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گندم تحت شرایط تنش خشکی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که به طورکلی، اگرچه تنش خشکی موجب کاهش رشد و عملکرد گندم شد، لیکن، محلول‌پاشی کلرمکوات کلراید توانست بخشی (۳۰تا ۶۰درصد) از این کاهش عملکرد را جبران کند (Rokh Afroz et *al*.,2016). در پژوهشی، Memari و همکاران (2011) گزارش کردند که در زیتون رقم شنگه کاربرد غلظت ۵۰۰ میلی گرم در لیتر سایکوسل بر آثار سوء تنش خشکی غلبه کرد. کاربرد سایکوسل با غلظت ۵۰۰ میلی گرم در دور آبیاری ۶ هفته موجب افزایش معنی دار میزان کلروفیل برگ گردید (Memari *et al.*, 2011). کلرومکوات کلراید تعداد روزنه‌ها را کاهش داده و از این راه منجر به کاهش تعرق آب در واحد سطح گیاه می‌شود افزایش پتانسیل آب برگ در تیمار با کلرمکوات کلراید ناشی از نقش تنظیم کنندگی آن در تنظیم روزنه‌ها است تیمار با کلرمکوات کلراید باعث تجمع اسیدهای آمینه و قندها می‌شود که سبب پایین آمدن پتانسیل آب گیاه به زیر فشار مکش می‌شود. استفاده از سایکوسل در غلات منجر به افزایش طول و وزن ریشه یا نسبت بیشتر ریشه به ساقه می‌شود و به عنوان یک استراتژی برای جلوگیری از اثر مخرب تنش های محیطی مانند تنش خشکی و شوری محسوب می‌شود سایکوسل همچنین می‌تواند موجب تحریک رشد ریشه، کاهش تعرق، افزایش کارایی مصرف آب، جلوگیری از تخریب کلروفیل و در نهایت موجب بهبود تحمل گیاه به تنش شود.

مطالعاتی در زمینه اثر کندکننده‌های رشد روی افزایش یا القای مقاومت گیاهان به شرایط شوری در برخی گیاهان انجام شده است. نتایج این مطالعات بیان می‌کند که استفاده از کندکننده‌های تریازولی می‌تواند یک راه موثر در افزایش مقاومت گیاه به شرایط شوری باشد. جمالیان و همکاران نشان دادند که استفاده از پاکلوبوترازول روی گیاهان توت فرنگی در زمان تنش شوری باعث کاهش اثرات مخرب شوری می‌شود و باعث افزایش قابل توجه تعداد آکن‌ها در هر میوه ، افزایش ویتامین C در میوه ها می‌شود و از اثرات منفی شوری روی عملکرد میوه‌ها جلوگیری می‌کند (Jamalian *et al*.,2009). در پژوهشی دیگر گزارش شده است که پاکلو بوترازول می‌تواند اثر شوری را از طریق کاهش دسترسی یون‌های نمکی در محیط کشت کاهش دهد (Abdi *et al*., 2010).

کنترل رشد گیاهان

کنترل اندازه گیاه یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تولید محصولات گلخانه‌ای است. پرورش‌دهندگان می‌توانند ارتفاع گیاه را به سه روش کنترل کنند: ژنتیکی، محیطی و شیمیایی. کنترل ژنتیکی عمدتاً از طریق انتخاب ارقام کوتاه‌تر انجام می‌شود. کنترل محیطی شامل دستکاری نور (افزایش شدت نور، کاهش نسبت نور قرمز دور و تنظیم دوره نوری) یا دما (کاهش اختلاف دمای روز و شب یا (DIF) است. کنترل مدیریتی یا عامیانه شامل مدیریت رطوبت (ایجاد تنش کنترل‌شده) و محدود کردن فسفر یا نیتروژن می‌شود. این روش‌ها می‌توانند استراتژی‌های مؤثری برای کاهش ارتفاع برخی محصولات باشند، اما وقتی گلخانه حاوی انواع مختلف جنس‌ها، گونه‌ها یا ارقام گیاهی باشد، این تکنیک‌ها ممکن است برای همه محصولات به یک شکل مؤثر نباشند. یک استراتژی جایگزین و مؤثر برای کنترل ارتفاع، استفاده از کندکننده‌های رشد شیمیایی است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کاربرد پاکلوبوترازول به صورت محلول‌پاشی موجب کاهش رشد شاخه‌ها و افزایش تعداد شاخه‌های جانبی می‌شود و به طور کلی، نقش موثری در کنترل اندازه و بهبود کیفیت گیاهان دارد (Rostami *et al*., 2014). کشاورزان می‌توانند با انتخاب تنظیم‌کننده رشد مناسب، کاربرد بهینه و استفاده از غلظت مناسب برای هر محصول، ارتفاع مطلوب محصول را کنترل کنند. مواد شیمیایی متعددی در فرموله‌های تجاری موجود است و استراتژی‌های مختلفی برای کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد وجود دارد؛ بنابراین قبل از استفاده از این محصولات، رعایت مراقبت‌های ویژه ضروری است (Currey & Lopez, 2018).

جدول ۳- مواد مؤثر رایج در کندکننده‌های رشد گیاهی، نام‌های تجاری، تولیدکنندگان و فواصل ورود مجدد.

Table 3. Common active ingredients in plant growth retardants, trade names, manufacturers, and re-entry intervals (REI).

ماده موثره active ingredients	نام تجاری trade names	تولید کننده manufacturers	فاصله ورود مجدد (ساعت) REI(hours)
آنسیمیدول ancymidol	A-Rest Abide	SePRO Corp. Fine Americas, Inc.	12
کلرمکوات کلراید	Chlormequat E-Pro	Etigra, LLC	12

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

	Fine Americas, Inc. OHP, Inc.	Citadel Cycocel	chlormequat chloride
24	OHP, Inc. Fine Americas, Inc.	B-Nine Dazide	دامینوزاید daminozide
۴۸	Monterey Lawn and Garden Products, Inc.	Florel	اتفون ethephon
۱۲	SePRO Corp.	Topflor	فلورپریمیدول flurprimidol
۱۲	Syngenta Crop Protection Greenleaf Chemical, LLC OHP, Inc. Fine Americas, Inc.	Bonzi Downsize Paczol Piccolo	پاکلوبوترازول paclobutrazol
12	Fine Americas, Inc. Valent USA Corp.	Concise Sumagic	یونیکونازول uniconazole

جذول ۴- مواد مؤثر کندکننده رشد گیاه و ویژگی‌های آن‌ها.

Table 4. Plant growth retardant active ingredients and their characteristics.

ماندگاری (سال) Shelf Life (years)	روش‌های استفاده Application Method(s)	محل‌های جذب Absorption Site(s)	دشواری استفاده Difficulty of Use	فعالیت نسبی Relative Activity	مواد موثره Active Ingredient
۳	محلولپاشی، غوطه وری، خیس کردن Spray, dip, drench	برگ‌ها، ریشه‌ها Leaves, roots	متوسط Medium	متوسط Medium	آنسیمیدول ancymidol
۳	محلول‌پاشی Spray	برگ‌ها، ریشه‌ها Leaves, roots	کم Low	کم Low	کلرومکوات کلراید chlormequat chloride
۲	محلول‌پاش Spray	برگ‌ها Leaves	کم Low	کم Low	دامینوزید daminozide
نامحدود	محلول‌پاشی Spray	برگ‌ها Leaves	کم Low	متوسط Medium	اتفون ethephon
۲	محلولپاشی، غوطه وری، خیس کردن Spray, dip, drench	ساقه‌ها، ریشه ها Stems, roots	زیاد High	زیاد High	فلورپریمیدول flurprimidol
۴	محلولپاشی، غوطه وری، خیس کردن Spray, dip, drench	ساقه‌ها، ریشه ها Stems, roots	زیاد High	زیاد High	پاکلوبوترازول paclobutrazol
۲	محلولپاشی، غوطه وری، خیس کردن Spray, dip, drench	ساقه‌ها، ریشه ها Stems, roots	زیاد High	زیاد High	یونیکونازول uniconazole

کاربرد کند کننده‌های رشد در نشاء

Ahmadi (2022) نشان داد که محلول‌پاشی ۳ تا ۵ سی‌سی پاکلوبوترازول در ۱۰۰۰ لیتر آب بر روی نشاء گوجه‌فرنگی در مرحله ۴ تا ۶ برگی، در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد پاکلوبوترازول)، موجب کاهش ارتفاع نشاء و افزایش قطر ساقه و طوقه شد. در شرایط بدون استفاده از پاکلوبوترازول، نشاءها رشد رویشی بیشتر، ساقه‌های بلند و باریک و ریشه‌های ضعیف‌تری داشتند. کاربرد پاکلوبوترازول باعث افزایش رشد و گسترش سیستم ریشه‌ای، افزایش توده ریشه و وزن خشک نشاء می‌شود. این تأثیرات نه تنها توسعه ریشه را تقویت می‌کند، بلکه مقاومت نشاءها در برابر تنش‌های محیطی را افزایش داده و به استقرار بهتر آن‌ها پس از انتقال به مزرعه کمک می‌نماید.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

جدول ۵- میزان مصرف ترکیبات بازدارنده در تولید نشا.

Table 5. Application rates of plant growth retardants in seedling production

نام قارچ‌کش Fungicide name	نام تجاری trade names	میزان مصرف (میلی لیتر در ۲۰ لیتر آب) Usage rate (ml per 20 liters of water)	گیاهان هدف Target plants
پروپیکونازول Propiconazole	تیلت Tilt	۰.۴ تا ۱.۲ میلی لیتر	گوجه، فلفل، توت‌فرنگی Tomatoes, peppers, strawberries
تبوکونازول Tebuconazole	فولیکور Follicor	۰.۸ تا ۱.۶ میلی لیتر	غلات، گوجه، خیار Cereals, tomatoes, cucumbers
فلوتریافول Flutriafol	ایمپکت Impact	تا ۱.۲ میلی لیتر0.8	گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی Tomatoes, potatoes
پاکلوبوترازول paclobutrazol	کولتار Coulter	۱ میلی لیتر	گوجه‌فرنگی و خیار Tomatoes and cucumbers
		۰.۵ میلی لیتر	بادمجان Eggplant

نابسامانی‌های فیزیولوژیک در اثر کاربرد نامناسب کند کننده‌ها

در گلخانه‌های تولید نشاء، معمولاً برنامه کوددهی یکسان و شرایط نوردهی یکنواخت رعایت نمی‌شود. در فصولی که نور کافی وجود ندارد، ارتفاع نشاءها ممکن است بیش از حد مطلوب افزایش یابد، که برای کشاورزان قابل قبول نیست. علاوه بر این، ممکن است زمین کشاورز در زمان مناسب برای انتقال نشاء (مثلاً ۶ تا ۸ هفته برای گوجه‌فرنگی) آماده نباشد. در این شرایط، تولیدکنندگان نشاء ناچار به استفاده از کندکننده‌های رشد (که به‌طور عامیانه «استوپر» نامیده می‌شوند) می‌شوند تا رشد نشاءها را کند کرده و زمان نگهداری آن‌ها در گلخانه افزایش یابد. یکی از ترکیبات رایج در این زمینه، پروپیکونازول (قارچ‌کش تیلت) است که اثر کندکنندگی رشد دارد. با این حال، استفاده مکرر یا در دزهای بالا می‌تواند رشد نشاءها را پس از انتقال به زمین اصلی به شدت کاهش دهد و مشکلاتی برای کشاورز ایجاد کند. به عنوان مثال، در پژوهشی روی نشاءهای ماگنولیا گزارش شد که دزهای بالای یونیکونازول باعث چروکیدگی و چسبیدن برگ‌ها شد و خطر بروز اختلالات فیزیولوژیک ناشی از کاربرد بیش از حد کندکننده‌ها را نشان داد (Shi *et al*., 2020).

نتیجه گیری

جامعه کشاورزی ما امروزه بیشتر از هر چیزی نیازمند دانش فنی می باشد. با توجه به تنوع بیماری‌ها و آفات مختلف و از طرفی گران شدن سموم و کودها، استفاده بی‌رویه از یک ترکیب می‌تواند سبب خسارت جبران ناپذیری گردد که معیشت کشاورز و اقتصاد جامعه را هدف قرار می‌دهد. در برخی مواقع کنترل رشد گیاه مورد نیاز می‌باشد که برای انجام این مورد باید دانش لازم در مورد کننده‌های رشد گیاهی وجود داشته باشد. کندکننده‌های رشد گیاه، ترکیبات شیمیایی مؤثری هستند که با مهار بیوسنتز جیبرلین، رشد گیاه را کنترل می‌کنند. پرورش‌دهندگان می‌توانند با انتخاب نوع مناسب کندکننده رشد، تعیین غلظت بهینه و کاربرد در مرحله رشد مناسب، از مزایای این تنظیم‌کننده‌ها به صورت بهینه بهره‌مند شوند. پاسخ گیاهان به این ترکیبات بسته به بافت هدف، مرحله رشد، غلظت، میزان جذب، ذخیره آب و مواد مغذی و شرایط محیطی متفاوت است. استفاده بیش از حد یا در زمان نامناسب از کندکننده‌ها می‌تواند منجر به اثرات منفی مانند توقف رشد، تأخیر در مراحل رشد و گلدهی شود. برخی از علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها نیز دارای اثرات تنظیم‌کنندگی رشد هستند و باید در زمان و غلظت مناسب استفاده شوند تا اثرات نامطلوب بر گیاه ایجاد نشود. به عنوان مثال، در گلخانه‌های تولید نشاء، استفاده از ترکیبات تریازولی برای کنترل ارتفاع نشاءها زمانی که زمین کشاورزی آماده نیست، رایج است. همچنین می‌توان در تولید درختان میوه در گلخانه‌ها هم کاربرد این ترکیبات مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. با این حال، استفاده مکرر یا با دز بالا می‌تواند سبب توقف رشد نشاءها پس از انتقال به زمین شود. علاوه بر این، اثرات مخرب زیست‌محیطی و خطرات احتمالی این ترکیبات برای انسان و میکروارگانیسم‌های خاک، اهمیت کاربرد صحیح و بهینه آن‌ها را دوچندان می‌کند. بنابراین، بهره‌گیری ایمن و مؤثر از کندکننده‌های رشد نیازمند رعایت دقیق غلظت، زمان و روش کاربرد است تا اهداف تولیدی بدون ایجاد اثرات منفی حاصل شود.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

References منابع

Abdollahi, M., Eshghi, S., Tafazzoli, E., and Moosavi, N. (2012). Effects of paclobutrazol, boric acid and zinc sulfate on vegetative and reproductive growth of strawberry cv. Selva. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *14*(2), 357-363.

Abdi, G., Salehi, H., ans Eshghi, S. (2010). Effect of natural zeolite and paclobutrazol on reducing salt stress in Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Horticulture, Environment, and Biothecnology,51*(3),159-166.

Ahmadi,M.(2022). Application of Paclobutrazol (Bonzi) in tomato seedling production management. *Journal of Greenhouse Vegetables, 5,* 1, 11-15(In Persian).

Agboola, D. A., Ogunyale, O. G., Fawibe, O. O., and Ajiboye, A. A. (2014). A review of plant growth substances: Their forms, structures, synthesis and functions. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, *5*(4), 152-168.

Arsand, D. R., da Cunha, S. S., Fuentes-Guevara, M. D., Araujo, T. R., Primel, E. G., Barbosa, S. C., and Correa, E. K. (2021). Photodegradation of tebuconazole in aqueous solution and phytotoxic effects. *Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ)*, *20*(9).

Aragão, F. B., Duarte, I. D., Fantinato, D. E., Galter, I. N., Silveira, G. L., Dos Reis, G. B., and Matsumoto, S. T. (2021). Toxicogenetic of tebuconazole based fungicide through Lactuca sativa bioassays. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *213*, 111985.

Bahrami, K., Pirasteh Anousheh, H., and Imam, Y. (2014). Yield response and yield components of barley cultivars to foliar spray of Cycocel. *Journal of Crop Production and Processing* (In Persian)

Basooriya, B. S. S., and Kumarasinghe, H. K. M. S. (2025). Effect of Foliar Application of Paclobutrazol on Growth and Yield of Tomato Cultivated Inside the Protected House in Low Country of Sri Lanka. *Journal of Agriculture and Horticulture Research*, *8*(2), 01-08.

Bernardes, P. M., Andrade-Vieira, L. F., Aragão, F. B., Ferreira, A., and da Silva Ferreira, M. F. (2015). Toxicity of difenoconazole and tebuconazole in *Allium cepa*. *Water, Air, and Soil Pollution*, 226, 1-11.

Bora, K., Ganesh, R., and Mathur, S. (2007). Paclobutrazol delayed dark-induced senescence of mung bean leaves. *Biologia*, 62(2), 185-188.

Chaney WR. (2005). Growth retardants: A promising tool for managing urban trees. *Purdue Extension document FNR-252-W;*

Currey, C. J., and Lopez, R. G. (2018). Applying plant growth retardants for height control, Commercial Greenhouse and Nursery Production.

Currey, C. J., and Lopez, R. G. (2009). Applying plant growth retardants for height control. Commercial greenhouse and nursery production. *Purdue Extension*, 10p.

Davis, T. D. (1991). Regulation of tree growth and development with triazole compounds. *Arboriculture and Urban Forestry (AUF), 17(6),* 167-170.

Desta, B., and Amare, G. (2021). Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 8, 1-15.*

Deepthi, V. P. (2016). Role of plant growth regulators in grape production: A review. *International Journal of Applied and Natural Sciences*, *6*, 21-32.

Dong, B. (2024). A comprehensive review on toxicological mechanisms and transformation products of tebuconazole: Insights on pesticide management. *Science of The Total Environment*, *908*, 168264.

Fishel, F. M. (2006). Plant growth regulators. *Document PI-139, Pesticide Information Office, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida*.

Farman, S., Mushtaq, A., and Azeem, M. W. (2019). Plant growth regulators (PGRs) and their applications: A review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences,15*, 94-103.

Gopi R, and Jaleel C. (2009). Photosynthetic alterations in *Amorphophallus campanulatus*; with triazoles drenching. *Global Journal of Molecular Science*,*4*:15–8.

Haji Hashemi, S., Kiarostami, K., Saboora, A., and Enteshari, S. (2007). Exogenously applied paclobutrazol modulates growth in salt-stressed wheat plants. *Plant Growth Regulators*.;*53*:117–28.

Haji Hashemi, Sh., and Ehsanpour, A.A. (2013). Studying the effect of drought stress and paclobutrazol treatment on growth rate, carbohydrates and photosynthetic pigments of *Stevia rebaudiana* Bertoni in glass culture medium. *National Conference on Biological Stresses* (In Persian)

Jamalian, S., Tehranifar, A., Tafazoli, E., Eshghi, S., and Davarynejad, G. H. (2008). Paclobutrazol can reduce the negative effects of salinity on reproductive growth, yield and fruit quality of strawberry plant. In *VI International Strawberry Symposium, 842* (pp. 825-828).

Jiménez-Peñuela, J., Santamaría-Cervantes, C., Fernández-Vizcaíno, E., Mateo, R., and Ortiz-Santaliestra, M. E. (2025). Integrating adverse effects of triazole fungicides on reproduction and physiology of farmland birds. *Journal of Avian Biology*, *2025*(1), e03313.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

Jaleel, C.A., Gopi, R., Manivannan, P, and Panneerselvam R. (2007). Responses of antioxidant defense system of *Catharanthus roseus* (L.) to paclobutrazol treatment under salinity. *Acta Physiology Plantarum.;29:205–9*

Jakl, M., Zeljković, S. Ć., Kovač, I., Bělonožníková, K., and Dytrtová, J. J. (2021). Side effects of triazoles on treated crops. *Chemosphere*, *277*, 130242.

Ijaz, M., Mahmood, K., and Honermeier, B. (2015). Interactive role of fungicides and plant growth regulator (Trinexapac) on seed yield and oil quality of winter rapeseed. *Agronomy*, *5*(3), 435-446.

Karimi, M., Ahmadi, A., Hashemi, J., Abbasi, A., Tavarini, S., Pompeiano, A., and Angelini, L. G. (2019). Plant growth retardants (PGRs) affect growth and secondary metabolite biosynthesis in Stevia rebaudiana Bertoni under drought stress. *South African Journal of Botany, 121*, 394-401.

Kumar, A., Singh, C. P., and Bist, I. D. (2020). Effects of Paclobutrazol on fruit yield and physico-chemical characteristics of mango Cvs. Dashehari, Langra, Chausa and Fazri. *International Journal of Environmental & Agriculture Research, 5*(7), 1850.

Marshall, M. L. (2022). Efficacy of Plant Growth Regulators for Potted Plant Production. OAKTrustMemari, H. R., Tafazzoli, E., Kamgarhaghighi, A.A., Hassanpour, A and Yermi, N (2011). The effect of drought stress and growth retardant Cycocel on the growth of two olive cultivars seedlings. *Journal of Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources, Water and Soil Sciences* (In Persian)

Miroshnichenko, D., Klementyeva, A., and Dolgov, S. (2021). The effect of daminozide, dark/light schedule and copper sulphate in tissue culture of Triticum timopheevii. *Plants*, *10*(12), 2620.

Moradi, F. (2017). Plant growth regulators in the past, present and future. *Research Findings in Crop and Horticultural Plants*, *5(2),* 71-95(In Persian)

Tahat, M., M. Alananbeh, K., A. Othman, Y., and I. Leskovar, D. (2020). Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, *12*(12), 4859.

Orozco-Meléndez, L. R., Hernández-Rodríguez, O. A., Cruz-Álvarez, O., Robles-Hernández, L., Ávila-Quezada, G. D., Chavez, E. S., and Ojeda-Barrios, D. L. (2022). Paclobutrazol and its use in fruit production: A review. *Phyton*, *91*(1), 1.

Pahloozadeh, A., Alemzadeh Ansari, N., Bahremand, N., and M. H. Mortazavi (2017) The Effect of Growth Retardants and Planting Date on Some Characteristics of the Transplant, Plant and Fruit of Tomato. *Journal of Crop Production and Processing*, *8*, No.1(In Persian)

Rademacher, W. (2000). Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Biology*, *51*(1), 501-531.

Rajasekar, M., Rabert, G. A., and Manivannan, P. (2015). Triazole induced changes on biochemical and antioxidant metabolism of Zea mays L.(Maize) under drought stress. *Journal of Plant Stress Physiology*, *1*, 35-42.

Rademacher, W. (1990). New types of plant growth retardants:Additional perspectives for practical application in agriculture and horticulture. In *Plant Growth Substances 1988* (pp. 611-618). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Rao, M. A., Scelza, R., Acevedo, F., Diez, M. C., and Gianfreda, L. (2014). Enzymes as useful tools for environmental purposes. *Chemosphere*, *107*, 145-162.

Roman, D. L., Voiculescu, D. I., Filip, M., Ostafe, V., and Isvoran, A. (2021). Effects of triazole fungicides on soil microbiota and on the activities of enzymes found in soil: A review. *Agriculture*, *11*(9), 893.

Rogach, V. V., Poprotska, I. V., and Kuryata, V. G. (2016). Effect of gibberellin and retardants on morphogenesis, photosynthetic apparatus and productivity of the potato. *Biosystems Diversity*, *24(2),* 416-420.

Rostami, A. A., Eshghi, S. and Sedaghat, S. (2014) The effect of growth and shoot regulators on vegetative growth and quality of the *Catharanthus roseus*. *The First National Congress of Flowers and Ornamental Plants of Iran* (In Persian).

Rokh Afrooz, Kh., Imam, Y, and Piraste Anoushe, H. (2016). The effect of chlormequat chloride on the yield and yield components of three wheat cultivars under drought stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing* (In Persian)

Sajjad, Y., Jaskani, M. J., Asif, M., and Qasim, M. (2017). Application of plant growth regulators in ornamental plants: a review. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *54*(2).

Sedighi, A. A., Davarinejad, Gh., Azizi, M, and Arvin, M. J. (2008). The effect of paclobutrazol application on the vegetative and reproductive growth of apricot cultivar "Lasjerdi". *Iranian Journal of Horticultural Sciences and Technologies, 9(3),* 231-240. (In Persian)

Shi, X., Chen, S., and Jia, Z. (2020). The dwarfing effects of different plant growth retardants on Magnolia wufengensis LY Ma et LR Wang. *Forests*, *12*(1), 19.

Sharma, S., and Pandey, G. (2025). Understanding the impact of triazoles on female fertility and embryo development: Mechanisms and implications. *Toxicology Reports*, 101948.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

Shishatskaya, E., Menzyanova, N., Zhila, N., Prudnikova, S., Volova, T., and Thomas, S. (2018). Toxic effects of the fungicide tebuconazole on the root system of fusarium-infected wheat plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *132*, 400-407.

Taiz, L., and Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. Sinauer associates.

Thakur, T., Garg, A., and Kaur, P. (2025). Growth retardants: Efficient tool for regulating plant architecture and flowering in ornamental crops. *South African Journal of Botany*, *184*, 911-922.

Whipker, B. E., and Evans, M. R. (2012). Regulation of plant growth. Greenhouse Operation and Management. 7th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 373-390.

Wang, H., Xiao, L., Tong, J., and Liu, F. (2010). Foliar application of chlorocholine chloride improves leaf mineral nutrition, antioxidant enzyme activity, and tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Scientia Horticulturae*, *125*(3), 521-523.

Yang, L., Yang, D., Yan, X., Cui, L., Wang, Z., and Yuan, H. (2016). The role of gibberellins in improving the resistance of tebuconazole-coated maize seeds to chilling stress by microencapsulation. *Scientific Report*, *6,* 35447.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 27 (1):1-16 (2026)
Research article

Application of Growth Retardants in Plants: Challenges and Opportunities

Fatemeh Shahsavandi[1]*, Saeid Eshghi[1], Yousef Ahmadi[2], Hamzeh Mafakheri[3]
1. Department of Horticultural Science, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2. Assistant Professor, Ornamental Plants Research Center (OPRC), Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (ARRRO), Mahallat, I.R. Iran.
3. Department of Plant Protection, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
*Corresponding author, Email: (shahsavandif@yahoo.com)

Plant growth substances are compounds, either natural or synthetic that modifies or controls the growth and maturation of plants through physiological function. If the compound is naturally produced within the plant, it is called a plant hormone or phytohormone. Plant growth regulators (PGRs) or plant hormones are the chemical types that profoundly influence the growth and differentiation of various parts of plant. In general, it is accepted that there are five major classes of plant hormones. They are Auxins (IAA), Cytokinins, Gibberellins, Ethylene and Abscisic Acid. However, there are still many plant growth substances that cannot be grouped under these classes, though they also perform similar functions, inhibiting or promoting plant growth. These substances include Brassinosteroids, Salicylic Acid, Jasmonic Acid, Fusicoccin, Batasins, Strigolactones, triazoles, Growth stimulants (e.g. Hymexazol and Pyripropanol), Defoliants (e.g.Calcium Cyanamide, Dimethipin). Plant growth retardants reduce the shoot length of plants without being phytotoxic or causing malformations. This is primarily achieved by reduced cell elongation but also by a lowered rate of cell division. Some growth retardants are of economic importance in agriculture and horticulture, since they can be employed to affect the morphology of cultivated plants in a desired way. However, their effects vary depending upon the species, growth stage, dosage and environmental conditions. The excessive use can lead to negative impact such as stunted growth or delayed flowering; therefore, care must be taken with their application. Some synthetic regulators and retardants are also used as herbicides and pesticides. Therefore, attention should be paid to the production and synthesis of these substances so that they affect plants in a way that would favor yield. In this article, some growth retardants, important points to consider when using them, their applications, and some consequences of improper use of this category of growth regulators will be introduced.

Keywords: Plant growth retardants ,Gibberellins, Triazoles, Environmental conditions.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]