پاسخ عملکردی و کیفی پسته رقم احمدآقایی به برهمکنش اسید آسکوربیک و پوترسین در شرایط مزرعه‌ای

نجمه سالاری هنزا[۱]، زهرا پاک کیش[۱] و سهیلا محمدرضاخانی[۲*]

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۲

چکیده

استفاده از ترکیبات شیمیایی به منظور بهبود رشد رویشی و زایشی در محصولات باغی طی سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. هدف این مطالعه بررسی اثرات محلول‌پاشی اسید آسکوربیک (۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و پوتریسین (۰/۵ و یک میلی‌مولار) به‌صورت جداگانه و ترکیبی بر صفات کمی و کیفی پسته رقم احمدآقایی در دو مرحله فنولوژیک میوه (طول مغز ۶–۸ میلی‌متر و طول مغز ۱۰–۱۲ میلی‌متر) بود. صفات مورد بررسی شامل درصد خندانی، ناخندانی، درصد پوکی، درصد میوه‌های بدشکل، انس میوه، وزن خشک میوه، عملکرد، سطح برگ و شاخص کلروفیل بود. نتایج نشان داد که تیمارهای ترکیبی پوتریسین و اسید آسکوربیک اثر سینرژیک قوی بر بهبود تمام صفات داشتند. بیشترین درصد خندانی میوه‌ها در تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار + اسید آسکوربیک مشاهده شد که حدود ۲۴ درصد افزایش نسبت به شاهد را نشان داد. به طور هم‌زمان، بیشترین کاهش ناخندانی، پوکی و درصد میوه‌های بدشکل نیز در این تیمار ثبت شد. تیمارهای تک‌فاکتوری نیز اثر مثبت داشتند، اما تأثیر آن‌ها کمتر و غالباً وابسته به غلظت بود. در صفات فیزیولوژیکی، بیشترین سطح برگ، شاخص کلروفیل، وزن خشک میوه و عملکرد نیز به تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵میلی‌مولار + اسید آسکوربیک تعلق داشته است. همچنین، محلول‌پاشی در مرحله اول فنولوژیک (۶۰ روز پس از تمام گل) مؤثرتر از مرحله دوم بود و اثر مثبت تیمارها با گذشت زمان کاهش یافت. به طور کلی، این مطالعه نشان داد که ترکیب پوتریسین و اسید آسکوربیک، به ویژه با غلظت پایین‌تر پوتریسین، می‌تواند به‌طور مؤثر کیفیت و عملکرد پسته را بهبود دهد.

واژه‌های کلیدی: پسته، عملکرد، اسید آسکوربیک، پوتریسین.

[۱] بخش مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنرکرمان، کرمان، ایران

[۲] محقق، بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، جیرفت، ایران

[*] نویسنده مسئول: smohammadrezakhani@yahoo.com

مقدمه

اسید آسکوربیک، هم به‌عنوان آنزیم و هم به‌عنوان کوفاکتور، نقش حیاتی در متابولیسم گیاهان ایفا می‌کند و به دلیل توانایی منحصر به فرد خود در اهدا و پذیرش اتم‌های هیدروژن، در مسیرهای بیوشیمیایی متعدد تأثیرگذار است (شاکر حسینی و آزادبخت، ۱۳۸۳). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک بر روی گیاهان تحت شرایط تنش‌زا، موجب بهبود معنی‌دار پارامترهای رشد از جمله طول ساقه، تعداد شاخه‌ها، برگ‌ها و گل‌ها، وزن خشک شاخساره و میوه می‌شود (Abdelmonaem *et al*., 2024). در گیاه گندم، تیمار با اسید آسکوربیک در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش ۸۶/۹ درصدی تقسیم میتوزی گردید که به‌طور قابل توجهی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را افزایش داد (Barakat, 2003). همچنین، در گیاه سینگونیوم، محلول‌پاشی با غلظت مشابه باعث افزایش ارتفاع، تعداد برگ‌ها، پهنای برگ، سطح برگ و وزن تر و خشک هر گیاه شد، که نشان‌دهنده اثرات واقعی اسید آسکوربیک فراتر از صرف جذب آب است (Nahed *et al*., 2007).

وجود اسید آسکوربیک در بافت گیاهان با تقویت مقاومت گیاهان، بهبود کارایی فتوسنتز و ارتقای کیفیت تغذیه‌ای بافت‌ها همراه است، که اهمیت آن را در بهبود عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی برجسته می‌سازد (Hernandez & Contributor, 2010).

اسید آسکوربیک نقش حیاتی در حفاظت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو ایفا می‌کند و با رادیکال‌های آزاد اکسیژن مانند پراکسید هیدروژن، سوپراکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل مقابله می‌کند و در نتیجه تغییرات مهمی در رشد و عملکرد گیاهان ایجاد می‌نماید (Lamb & Dixon, 1997; Wang *et al*., 2024). کاربرد برون‌زاد اسید آسکوربیک، به‌ویژه به‌صورت افزودن به خاک در گیاه نخود، موجب افزایش وزن تر و خشک ریشه، شاخه و برگ‌ها گردید که تحت شرایط شوری ۴۰ میلی‌مولار کاهش یافته بودند. علاوه بر این، این تیمار باعث بهبود کلروفیل a و شاخص پایداری کلروفیل در برگ‌ها شد و با بازسازی باندهای پروتئینی تخریب‌شده بر اثر تنش شوری، مقاومت گیاه به شوری را افزایش داد (Beltagi, 2008).

پلی‌آمین‌ها گروهی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی با وزن مولکولی پایین و ساختارهای آلی متنوع هستند که عمدتاً در قالب سه ترکیب اصلی، یعنی پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین، در گیاهان یافت می‌شوند. این ترکیبات از طریق برهم‌کنش با اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و غشاهای سلولی، نقش اساسی در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک ایفا می‌کنند و به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد در مراحل مختلف نمو جوانه‌ها،

گل‌ها و میوه‌ها در گونه‌های مختلف گیاهی از جمله مرکبات، انگور و آلو گزارش شده‌اند (Alcázar *et al*., 2006). افزون بر نقش در رشد طبیعی، کاربرد برون‌زاد پلی‌آمین‌ها به‌ویژه از طریق محلول‌پاشی در باغبانی اهمیت زیادی یافته است. شواهد پژوهشی متعدد نشان می‌دهد که استفاده از پلی‌آمین‌ها در درختان میوه‌ای نظیر انگور، انبه و لیچی موجب کاهش ریزش میوه، بهبود کیفیت و افزایش عملکرد محصول گردیده است (Abbasi *et al*., 2017; Ali *et al*., 2010; Bhattacharjee *et al*., 2022; Babu *et al*., 2016; Malik & Singh, 2006; Harhash & Abdel-Nasser, 2010; Kamiab *et al*., 2020; Singh & James, 2000).

با وجود شواهد گسترده در تأیید نقش پلی‌آمین‌ها در بهبود رشد رویشی و زایشی، مدیریت ریزش میوه و ارتقای کیفیت محصولات باغی، هنوز درک جامعی از سازوکارهای دقیق آن‌ها در تعامل با فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی میوه‌ها وجود ندارد. همچنین اطلاعات موجود درباره تفاوت واکنش گونه‌های مختلف درختان میوه به کاربرد برون‌زاد پلی‌آمین‌ها محدود است و نیاز به پژوهش‌های عمیق‌تر در این زمینه احساس می‌شود (Singh, 2006; Abbasi *et al*., 2017; Malik & Bhattacharjee *et al*., 2022).

بر این اساس، بررسی نقش پلی‌آمین‌ها در بهبود عملکرد و کیفیت میوه، ضمن روشن ساختن جنبه‌های ناشناخته، می‌تواند به توسعه راهبردهای نوین و پایدار در مدیریت باغبانی منجر گردد.

درختان پسته نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات باغی مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌شدت تحت تأثیر ریزش میوه، افزایش میوه‌های پوک و کاهش درصد خندانی قرار دارند که این امر می‌تواند عملکرد نهایی و کیفیت بازارپسندی محصول را محدود کند. مطالعات پیشین بر روی ارقام اکبری، اوحدی و کله‌قوچی نشان داده‌اند که محلول‌پاشی اسپرمین و اسپرمیدین به‌تنهایی یا در ترکیب با اسیدهای آمینه، اثرات قابل توجهی در بهبود کیفیت میوه و افزایش عملکرد درختان داشته است. به‌طور خاص، نتایج این پژوهش‌ها نشان داد که ترکیب پلی‌آمین‌ها توانسته است ضمن کاهش ریزش میوه و درصد میوه‌های پوک و بدشکل، سهم میوه‌های خندان و عملکرد نهایی را به‌طور معناداری افزایش دهد (Kamiab *et al*., 2015; Kamiab *et al*., 2020).

بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر همزمان محلول‌پاشی پوتریسین و اسید آسکوربیک بر عملکرد و ویژگی‌های کمی و کیفی میوه‌های پسته رقم احمدآقایی طراحی گردید. نوآوری اصلی این پژوهش آن است که ترکیب همزمان پوتریسین و اسید آسکوربیک برای نخستین بار در سطح دنیا مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ موضوعی که می‌تواند راهبردی نوین در مدیریت

فیزیولوژیکی باغ‌های پسته برای کاهش میوه‌های پوک و بدشکل و افزایش درصد خندانی و کیفیت محصول ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های ۱۴۰۰–۱۴۰۱ در یک باغ تجاری واقع در حومه شهرستان زرند، در فاصله ۷۰ کیلومتری مرکز استان کرمان، روی درختان ۲۰ ساله پسته رقم احمدآقایی اجرا شد. درختان مورد مطالعه در سال پربار قرار داشتند و خاک باغ شنی-لومی بود. آبیاری هر ۱۰ روز یکبار انجام شد و درختان از نظر قدرت رشد و اندازه یکنواخت انتخاب شدند تا خطای آزمایشی به حداقل برسد.

معرفی تیمارها

تیمارها شامل:

۱- اسید آسکوربیک (Ascorbic acid, Sigma-Aldrich) با غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر،

۲- پوتریسین (Putrescine, Merck) با غلظت‌های ۰/۵ و یک میلی‌مولار،

۳- ترکیب توأم آن‌ها: اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر + پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار و اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر + پوتریسین یک میلی‌مولار،

۴- درختان شاهد که هیچ‌یک از تیمارهای فوق بر روی آن‌ها اعمال نشدند.

زمان و روش محلول‌پاشی

آزمایش در دو مرحله زمانی انجام شد:

۱- مرحله اول: محلول‌پاشی در مرحله بزرگ شدن مغز میوه، زمانی که طول مغز حدود شش تا ۸ میلی‌متر بود، در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ماه (معادل حدود ۶۰ روز پس از تمام گل).

۲- مرحله دوم: محلول‌پاشی ۱۵ روز پس از مرحله اول، در زمان آغاز پر شدن مغز میوه، زمانی که طول مغز حدود ۱۰-۱۲ میلی‌متر بود، در تاریخ یک خرداد ماه (معادل حدود ۷۵ روز پس از تمام گل).

ویژگی‌های موردمطالعه

ویژگی‌های کمی و کیفی شامل سطح برگ، شاخص کلروفیل، درصد خندانی، درصد پوکی، درصد میوه‌های بدشکل، وزن میوه، تعداد میوه در خوشه، وزن خوشه و عملکرد کل درخت اندازه‌گیری شدند.

سطح برگ: از هر تکرار در هر تیمار، ۱۰ برگ به‌صورت تصادفی از ارتفاع وسط درخت جمع‌آوری شد و سطح آن‌ها با دستگاه دیجیتالی سطح برگ‌سنج اندازه‌گیری و میانگین محاسبه شد.

شاخص کلروفیل: از همان برگ‌ها با استفاده از دستگاه SPAD میزان شاخص کلروفیل تعیین شد.

درصد خندانی، پوکی و میوه‌های بدشکل: از هر تکرار، چهار خوشه انتخاب و از هر خوشه ۱۰۰ عدد میوه پسته تازه به‌صورت تصادفی جمع‌آوری شد. پس از جداسازی پوست سبز، تعداد میوه‌های خندان، پوک و بدشکل شمارش و درصد آن‌ها محاسبه شد (Aydyn *et al*., 2003).

وزن میوه: ۱۰۰ عدد میوه از شاخه‌های شمالی و ۱۰۰ عدد از شاخه‌های جنوبی جمع‌آوری شد و وزن تر با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱گرم اندازه‌گیری و میانگین گزارش شد (Aydyn *et al*., 2003).

وزن خوشه و تعداد میوه در خوشه: به ترتیب از سه خوشه شمالی و سه خوشه جنوبی نمونه‌گیری و میانگین محاسبه شد (Aydyn et al., 2003).

عملکرد: در زمان برداشت، میوه‌ها جمع‌آوری و وزن تر هر درخت بر حسب گرم گزارش شد (Aydyn *et al*., 2003).

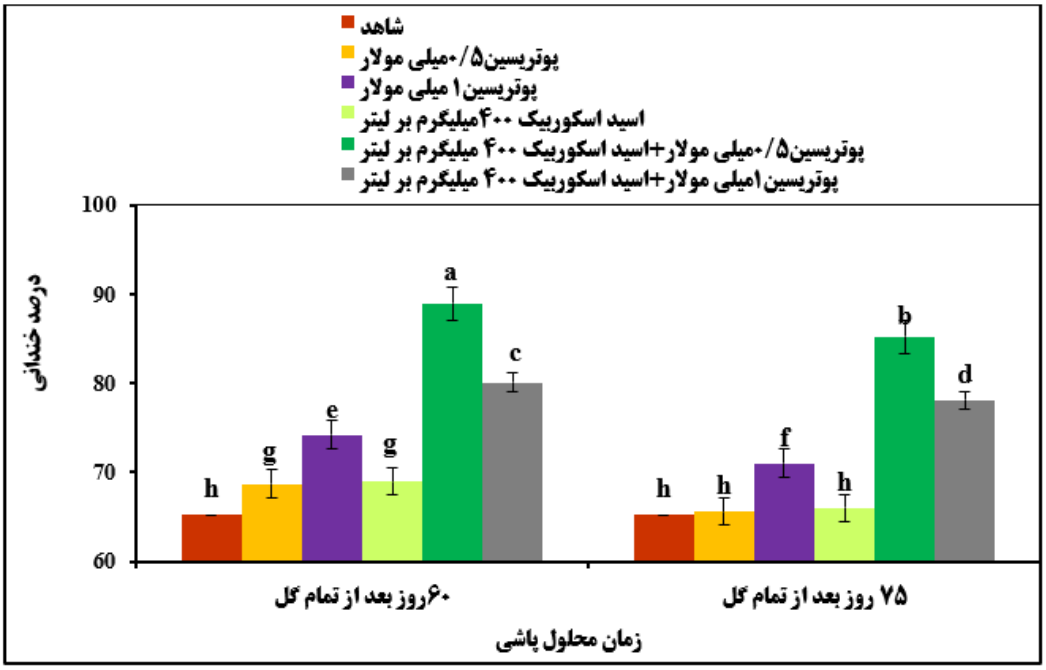
تجزیه و تحلیل آماری

پژوهش به صورت فاکتوریل بر اساس طرح بلوک کامل تصادفی با سه تیمار و چهار تکرار در دو زمان انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. مقایسه اثرات متقابل با نرم‌افزار MSTATC و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گردید.

نتایج

نتایج مطالعه حاضر، نشان داد که تیمارهای محلول‌پاشی پوتریسین و اسید آسکوربیک تأثیر قابل توجهی بر افزایش درصد خندانی میوه‌های پسته رقم احمدآقایی نسبت به شاهد داشتند. درصد خندانی در درختان شاهد در هر دو زمان اندازه‌گیری، ۶۵/۲۳ درصد بود که به‌عنوان مرجع عملکرد طبیعی در شرایط باغ تلقی شد. تیمارهای تک‌فاکتوری، شامل پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار، پوتریسین یک میلی‌مولار و اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، باعث افزایش خندانی نسبت به شاهد شدند. به طوریکه، پوتریسین یک۱ میلی‌مولار در مرحله ۶۰ روز پس از تمام گل، خندانی را به ۷۴/۲ درصد افزایش داد که حدود نه درصد بالاتر از شاهد بود. اسید آسکوربیک به تنهایی نیز خندانی را از ۶۵/۲۳ درصد در شاهد به ۶۹ درصد افزایش داد. با این حال، بیشترین اثر افزایش خندانی در تیمارهای ترکیبی مشاهده شد. ترکیب پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، خندانی را به ۸۹/۰۲ درصد در مرحله ۶۰ روز پس از تمام گل و ۸۵/۲۳ درصد در مرحله ۷۵ روز پس از تمام گل ارتقا داد که نشان‌دهنده بهبود چشمگیر

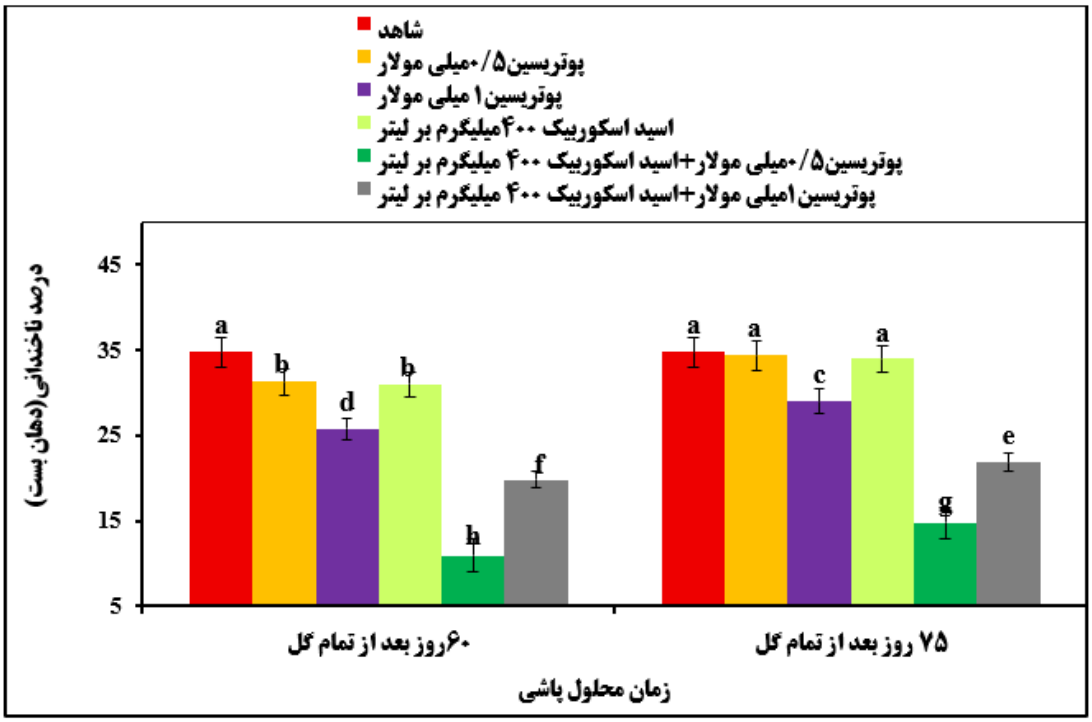
حدود ۲۴ درصدی نسبت به شاهد و اثر سینرژیک قوی این دو ترکیب بود. ترکیب پوتریسین یک میلی‌مولار با اسید آسکوربیک نیز خندانی بالایی ایجاد کرد (۸۰/۱۴ درصد و ۷۸/۱۱ درصد در دو مرحله) اما کمتر از تیمار پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار + اسید آسکوربیک بود. این یافته‌ها نشان دادکه کاربرد همزمان اسید آسکوربیک و پوتریسین، به‌ویژه با غلظت کمتر پوتریسین (۰/۵میلی‌مولار)، اثر تقویتی و سینرژیک قابل توجهی بر افزایش درصد خندانی میوه‌های پسته داشت و تیمارهای ترکیبی در مرحله ۶۰ روز پس از تمام گل نسبت به مرحله ۷۵ روز پس از تمام گل مؤثرتر بودند. این نتایج حاکی از اهمیت زمان و ترکیب تیمارها در بهبود ویژگی‌های کیفی میوه است (شکل ۱).



شکل ۱- تأثیرتوام اسیدآسکوربیک وپوتریسین روی درصد خندانی میوه پسته رقم احمد آقایی در دو مرحله ۶۰ و ۷۵ روز بعد از مرحله تمام گل. ستون های دارای حروف متفاوت در سطح پنج درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی‌داری دارند.

براساس داده‌های ثبت شده در دو زمان ۶۰ و ۷۵ روز پس از تمام گل، روی میزان پسته‌های دهان بسته مشاهده شد که تیمارهای مختلف اثر متفاوتی بر میزان ناخندانی میوه‌ها داشته‌اند. در تیمار شاهد، درصد ناخندانی ثابت و نسبتاً بالا بوده و ۳۴/۷۷ درصد گزارش شده است. این مقدار نشان داد که در شرایط بدون تیمار، حدود یک‌سوم میوه‌ها در حالت دهان‌بستگی قرار دارند و پتانسیل طبیعی برای این صفت در جمعیت مورد مطالعه بالاست. تیمار

پوتریسین به غلظت ۰/۵ میلی‌مولار باعث کاهش جزئی ناخندانی در روز ۶۰ (۳۱/۲۹ درصد) شده و در روز ۷۵ تقریباً به سطح شاهد نزدیک شده است (۳۴/۴۰ درصد). این امر نشان داد که اثر پوتریسین به‌تنهایی در کاهش ناخندانی محدود و موقت است. افزایش غلظت پوتریسین به ۱ میلی‌مولار، کاهش بیشتری در این صفت ایجاد کرده و درصد آن را به ۲۵/۸ درصد در روز ۶۰ و ۲۸/۹۸ درصد در روز ۷۵ رسانده است، که کاهش حدود ۲۶٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰ را نشان داد. استفاده از اسید اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به تنهایی نیز تأثیر متوسطی داشته و ناخندانی را به ۳۱ درصد در روز ۶۰ و ۳۳/۹۹ درصد در روز ۷۵ کاهش داده است؛ این کاهش نسبت به شاهد کم و در حدود ۵ درصد است، که بیانگر اثر محافظتی محدود اسید اسکوربیک در این صفت است. نکته قابل توجه، اثر ترکیبی پوتریسین و اسید اسکوربیک است. تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین کاهش ناخندانی را ایجاد کرده و درصد آن را به ۱۰/۹۸ درصد در روز ۶۰ و ۱۴/۷۷ درصد در روز ۷۵ رسانده است؛ این کاهش به ترتیب حدود ۶۸٪ و ۵۸٪ نسبت به شاهد است و نشان‌دهنده اثر سینرژیک این ترکیب در کاهش قابل توجه صفت ناخندانی بوده است. همچنین، تیمار ترکیبی پوتریسین ۱ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک نیز کاهش چشمگیری ایجاد کرده (۱۹/۸۶ درصد در روز ۶۰ و ۲۱/۸۹ درصد در روز ۷۵)، که همچنان حدود ۴۳ درصد کاهش نسبت به شاهد در روز ۶۰ را نشان داد. بنابراین، اثر پوتریسین به‌تنهایی وابسته به غلظت آن بود و غلظت بالاتر اثر بیشتری در کاهش ناخندانی داشت. اسید اسکوربیک به تنهایی اثر محدود داشت. ترکیب پوتریسین و اسید اسکوربیک به صورت سینرژیک بیشترین کاهش ناخندانی را ایجاد کرد و به نظر می‌رسد این ترکیب می‌تواند به عنوان استراتژی مؤثر در کاهش دهان‌بستگی میوه‌ها مورد استفاده قرار گیرد (شکل۲).

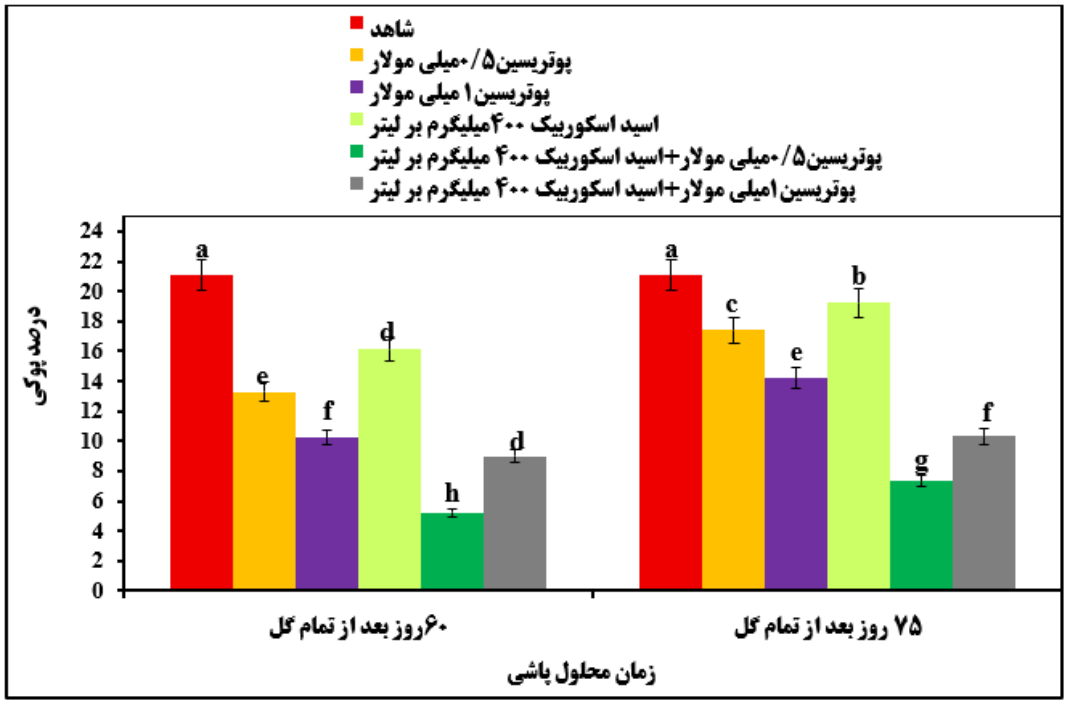


شکل ۲- تأثیرتوام اسیدآسکوربیک وپوتریسین روی درصد ناخندانی میوه پسته رقم احمد آقایی در دو مرحله ۶۰ و ۷۵ روز بعد از مرحله تمام گل. ستون های دارای حروف متفاوت در سطح پنج درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی‌داری دارند.

نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر روی میزان پوکی در دو زمان ۶۰ و ۷۵ روز پس از تمام گل نشان داد که تیمارهای مختلف اثر متفاوتی بر درصد پوکی میوه‌ها داشته‌اند. در تیمار شاهد، درصد پوکی در دو زمان تقریباً ثابت و برابر با ۲۱/۰۸٪ و ۲۱/۰۹٪ گزارش شده است که بیانگر وقوع طبیعی پوکی در حدود یک‌پنجم میوه‌ها در شرایط بدون تیمار است. تیمار پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار موجب کاهش محسوس پوکی میوه شده و درصد آن را به ۱۳/۲۸ درصد در روز ۶۰ و ۱۷/۴۱ درصد در روز ۷۵ رسانده است؛ این کاهش به ترتیب حدود ۳۷٪ و ۱۷٪ نسبت به شاهد را نشان داد. افزایش غلظت پوتریسین به ۱ میلی‌مولار اثر قوی‌تری ایجاد کرده و درصد پوکی را به ۱۰/۲۵٪ در روز ۶۰ و ۱۴/۲۱، در روز ۷۵ کاهش داده است که کاهش تقریباً ۵۱٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰ را منعکس کرد. استفاده از اسید اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به تنهایی اثر متوسطی داشته و پوکی را به ۱۶/۱٪ در روز ۶۰ و ۱۹/۲۵٪ در روز ۷۵ کاهش داده است، کاهش حدود ۲۴٪ در روز ۶۰ نسبت به شاهد را نشان داد.

اثر ترکیبی پوتریسین و اسید اسکوربیک برجسته‌تر بود. تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید

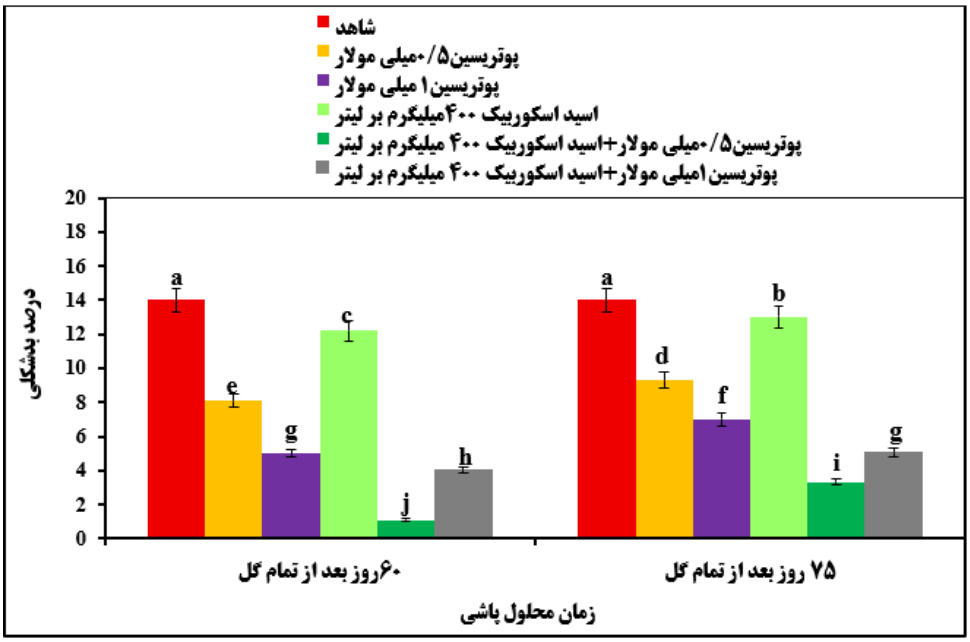
اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین کاهش پوکی را ایجاد کرده و درصد آن را به ۵/۲۳٪ در روز ۶۰ و ۷/۳۵٪ در روز ۷۵ رسانده بود؛ این کاهش به ترتیب حدود ۷۵٪ و ۶۵٪ نسبت به شاهد ابود و نشان‌دهنده اثر سینرژیک قوی این ترکیب در کاهش پوکی میوه‌ها بود. همچنین، تیمار ترکیبی پوتریسین ۱ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک نیز کاهش چشمگیری ایجاد کرده (۸/۹۸٪ در روز ۶۰ و ۱۰/۳۱٪ در روز ۷۵)، که همچنان حدود ۵۷٪ کاهش نسبت به شاهد در روز ۶۰ را نشان داد. پوتریسین به تنهایی، به ویژه در غلظت بالاتر، اثر قابل توجهی در کاهش پوکی میوه داشت. اسید اسکوربیک به تنهایی اثر متوسط داشت اما ترکیب آن با پوتریسین، اثر سینرژیک و قوی در کاهش پوکی ایجاد کرد. تیمارهای ترکیبی بیشترین کارایی را در کنترل پوکی میوه نشان داده و می‌توانند به عنوان استراتژی عملی در مدیریت کیفیت میوه مورد توجه قرار گیرند (شکل۳).



شکل ۳- تأثیر توام اسیدآسکوربیک وپوتریسین روی درصد پوکی میوه پسته رقم احمد آقایی در دو مرحله ۶۰ و ۷۵ روز بعد از مرحله تمام گل. ستون های دارای حروف متفاوت در سطح پنج درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی‌داری دارند.

بر اساس نتایج ثبت شده در دو زمان ۶۰ و ۷۵ روز پس از تمام گل، روی میزان میوه‌های بدشکل، مشاهده شد، تیمارهای مختلف تأثیر قابل توجهی بر کاهش درصد میوه‌های بدشکل داشته‌اند. در شاهد، درصد میوه‌های بدشکل ثابت و برابر با ۱۴٪ گزارش شده است که نشان داد در شرایط بدون تیمار حدود یک‌هفتم میوه‌ها به شکل

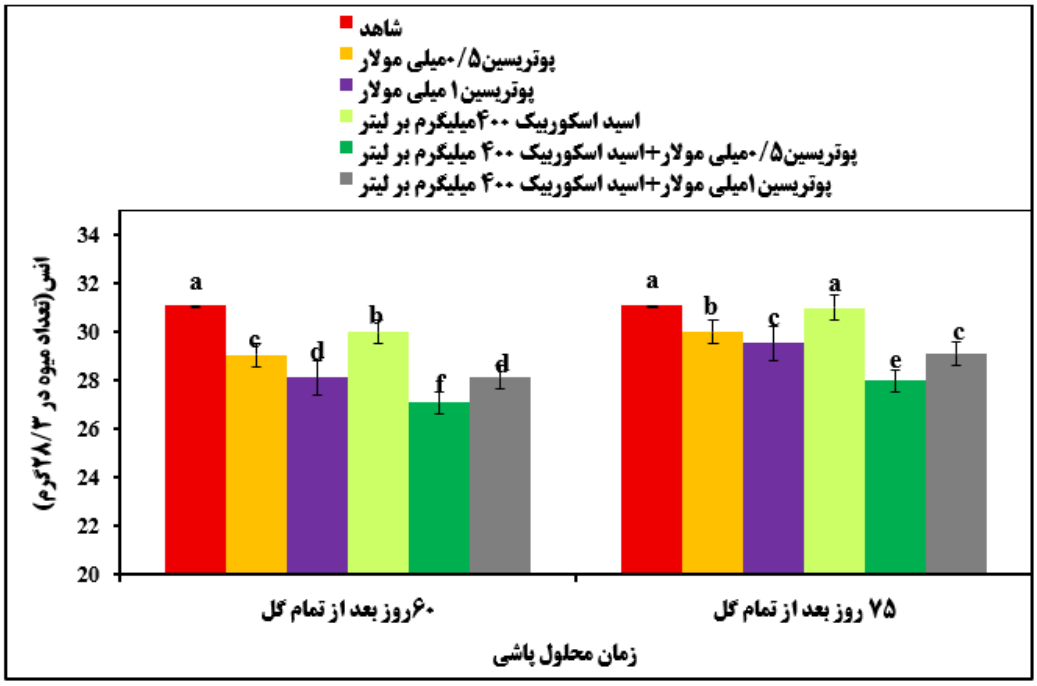
غیرطبیعی رشد کرده‌اند. تیمار پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار موجب کاهش چشمگیر درصد میوه‌های بدشکل شده و آن را به ۸/۱۱٪ در روز ۶۰ و ۹/۳۱٪ در روز ۷۵ رسانده است؛ این کاهش نشان‌دهنده حدود ۴۲٪ کاهش نسبت به شاهد در روز ۶۰ بود. افزایش غلظت پوتریسین به ۱ میلی‌مولار اثر بیشتری داشته و درصد میوه‌های بدشکل را به ۵/۰۲٪ در روز ۶۰ و ۷٪ در روز ۷۵ کاهش داده است)حدود ۶۴٪ کاهش نسبت به شاهد در روز ۶۰). استفاده از تیمار اسید اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به تنهایی اثر محدودی داشته و درصد میوه‌های بدشکل را به ۱۲/۲۱٪ در روز ۶۰ و ۱۳۲/۰۲٪ در روز ۷۵ کاهش داده است (حدود ۱۳٪ کاهش نسبت به شاهد در روز ۶۰)، که نشان‌دهنده اثر محافظتی متوسط اسید اسکوربیک است. اثر ترکیبی پوتریسین و اسید اسکوربیک بسیار چشمگیر بود. تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بیشترین کاهش میوه‌های بدشکل را ایجاد کرده و درصد آن را به ۱/۱٪ در روز ۶۰ و ۳/۳۲٪ در روز ۷۵ رسانده ابود؛ این کاهش به ترتیب حدود ۹۲٪ و ۷۶٪ نسبت به شاهد بود، که نشان‌دهنده اثر سینرژیک قوی این ترکیب در بهبود شکل‌دهی میوه‌ها بوده است. همچنین، تیمار ترکیبی پوتریسین ۱ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک نیز کاهش قابل توجهی ایجاد کرده (۴/۰۲٪ در روز ۶۰ و ۵/۰۸٪ در روز ۷۵)، که حدود ۷۱ ٪کاهش نسبت به شاهد در روز ۶۰ را نشان داد. پوتریسین به تنهایی، به ویژه در غلظت بالاتر، اثر قابل توجهی در کاهش درصد میوه‌های بدشکل داشت. اسید اسکوربیک به تنهایی اثر متوسط داشت و کاهش قابل توجهی ایجاد نکرد. ترکیب پوتریسین و اسید اسکوربیک، به ویژه در غلظت پایین پوتریسین (۰/۵ میلی‌مولار)، اثر سینرژیک قابل توجهی داشته و به طور مؤثری شکل طبیعی میوه‌ها را حفظ کرد (شکل۴).



شکل ۴- تأثیرتوام اسیدآسکوربیک وپوتریسین روی درصد بدشکلی میوه پسته رقم احمد آقایی در دو مرحله ۶۰ و ۷۵ روز بعد از مرحله تمام گل. ستون های دارای حروف متفاوت در سطح پنج درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی‌داری دارند.

طبق نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر و بر اساس داده‌های ثبت شده در دو زمان ۶۰ و ۷۵ روز پس از تمام گل روی میزان انس میوه پسته رقم احمدآقایی، مشاهده شد که تیمارهای مختلف تأثیر محدودی بر انس میوه داشته‌اند. در شاهد، مقدار انس تقریباً ثابت و برابر با ۳۱/۰۸٪ و ۳۱/۷۸٪ در روزهای ۶۰ و ۷۵ گزارش شده است، که بیانگر سطح پایه انس در شرایط طبیعی بدون تیمار بوده است. تیمار پوتریسین ۰/۵میلی‌مولار انس میوه را به ۲۹/۰۵٪ در روز ۶۰ و ۳۰٪ در روز ۷۵ کاهش داده است، که کاهش حدود ۶٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰ را نشان داد. افزایش غلظت پوتریسین به ۱ میلی‌مولار نیز انس را کمی بیشتر کاهش داده و به ۲۸/۱۴٪ در روز ۶۰ و ۲۹/۵۵٪ در روز ۷۵ رسانده است که حدود ۹٪ کاهش نسبت به شاهد در روز ۶۰ داشته است. استفاده از اسید اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به تنهایی اثر محدودی داشته و انس میوه را تقریباً ثابت نگه داشته است (۳۰٪ در روز ۶۰ و ۳۱٪ در روز ۷۵)، که نشان‌دهنده تأثیر جزئی این تیمار در تغییر انس بوده است. اثر ترکیبی پوتریسین و اسید اسکوربیک نیز کاهش ملایمی در انس ایجاد کرده است. تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک، انس را به ۲۷/۱۱٪ در روز ۶۰ و ۲۸/۰۱٪ در روز ۷۵ کاهش داده است که حدود ۱۳٪ کاهش نسبت به

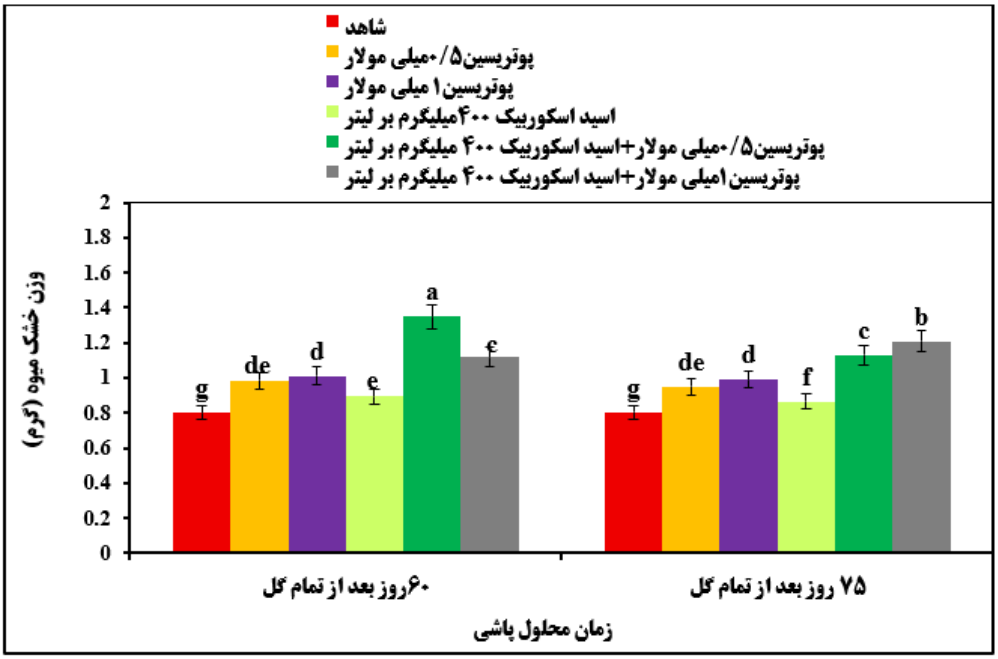
شاهد در روز ۶۰ بوده است. در حالی که ترکیب پوتریسین یک میلی‌مولار با اسید اسکوربیک، انس را به ۲۸/۱۴٪ و ۲۹/۱٪ رسانده است که حدود ۹٪ کاهش نسبت به شاهد در روز ۶۰ بوده است. بیشترین کاهش انس مشاهده شده در تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک بوده که تنها حدود ۱۳٪ نسبت به شاهد کاهش داشته است (شکل۵).



شکل ۵- تأثیر توام اسیدآسکوربیک وپوتریسین روی انس میوه پسته رقم احمد آقایی در دو مرحله ۶۰ و ۷۵ روز بعد از مرحله تمام گل. ستون های دارای حروف متفاوت در سطح پنج درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی‌داری دارند.

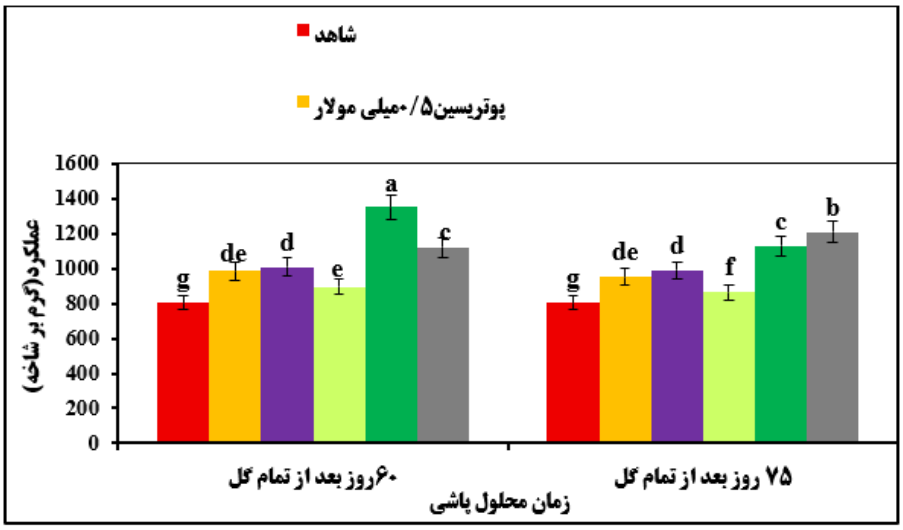
داده‌های بدست آمده از تحقیق حاضر روی وزن خشک میوه پسته رقم احمد آقایی نشان داد، در دو زمان ۶۰ و ۷۵ روز پس از تمام گل تیمارهای مختلف اثر متفاوتی بر وزن میوه خشک داشته‌اند. در شاهد، وزن میوه خشک تقریباً ثابت و برابر با ۰/۸۰۲ و ۰/۸۰۵ گرم گزارش شده است که سطح پایه رشد و انباشت مواد خشک میوه‌ها را نشان داد. تیمار پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار موجب افزایش وزن میوه خشک شده و مقادیر ۰/۹۸۵ گرم در روز ۶۰ و ۰/۹۵۰ گرم در روز ۷۵ گزارش شده است (افزایش حدود ۲۳٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). تیمار پوتریسین ۱ میلی‌مولار نیز اثر مشابهی داشته و وزن میوه خشک را به ۱/۰۱ گرم در روز ۶۰ و ۰/۹۹ گرم در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۲۶٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). استفاده از اسید اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به

تنهایی اثر محدودی داشته و وزن میوه خشک را به ۰/۸۹۵ گرم در روز ۶۰ و ۰/۸۶۵گرم در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۱۲٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰)، که نشان‌دهنده تأثیر متوسط این تیمار بر افزایش انباشت مواد خشک بوده است. اثر ترکیبی پوتریسین و اسید اسکوربیک بسیار برجسته بود. تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین افزایش وزن میوه خشک را ایجاد کرده و وزن آن را به ۱/۳۵ گرم در روز ۶۰ و ۱/۱۳ گرم در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۶۸٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). همچنین، تیمار ترکیبی پوتریسین ۱ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک نیز وزن میوه خشک را به ۱/۱۲ گرم در روز ۶۰ و ۱/۲۱ گرم در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۴۰٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). پوتریسین به تنهایی اثر قابل توجهی در افزایش وزن میوه خشک داشت و با افزایش غلظت، این اثر تقویت شد. اسید اسکوربیک اثر متوسطی داشت اما اثر ترکیبی آن با پوتریسین، افزایش چشمگیری در وزن میوه خشک ایجاد کرد. بیشترین اثر مثبت مشاهده شده در تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار و اسید اسکوربیک بود، که نشان‌دهنده اثر سینرژیک این دو ماده در ارتقای کیفیت فیزیولوژیکی و انباشت مواد خشک میوه‌ها بوده است (شکل۶).



شکل ۶- تأثیر توام اسیدآسکوربیک وپوتریسین روی درصد وزن خشک میوه پسته رقم احمد آقایی در دو مرحله ۶۰ و ۷۵ روز بعد از مرحله تمام گل. ستون های دارای حروف متفاوت در سطح پنج درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی‌داری دارند.

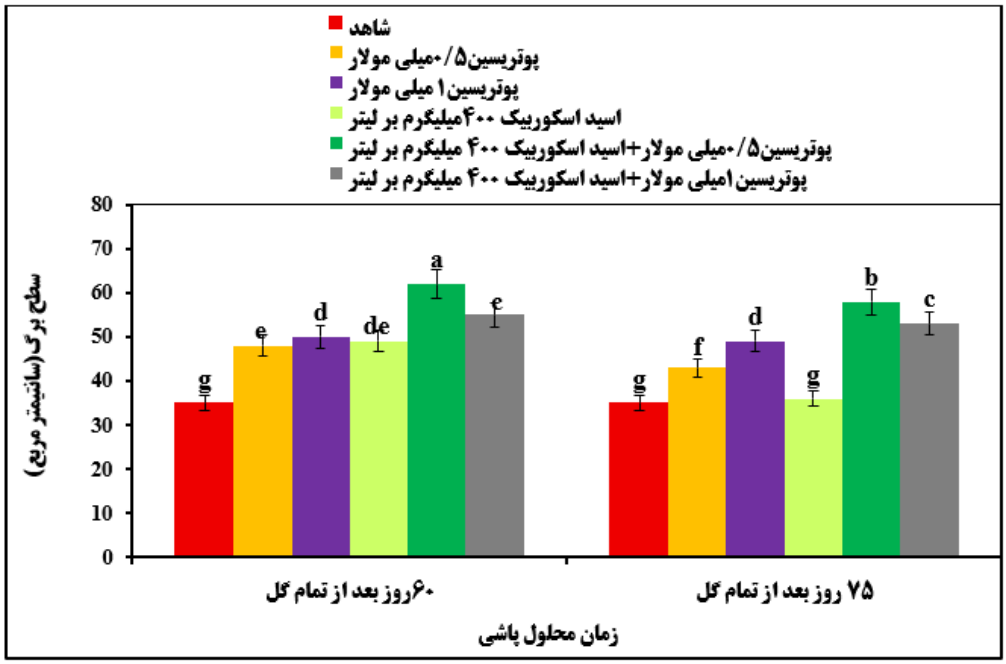
بر اساس داده‌های ثبت شده در دو زمان ۶۰ و ۷۵ روز پس از تمام گل، تیمارهای مختلف اثر متفاوتی بر عملکرد پسته داشته‌اند. در شاهد، عملکرد پایه تقریباً ثابت و برابر با ۸۰۲ گرم در روز ۶۰ و ۸۰۵ گرم در روز ۷۵ گزارش شده است که بیانگر سطح طبیعی تولید میوه در شرایط بدون تیمار بود. تیمار پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار عملکرد پسته را به ۹۸۵ گرم در روز ۶۰ و ۹۵۰ گرم در روز ۷۵ افزایش داده است (افزایش حدود ۲۳٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). تیمار پوتریسین ۱ میلی‌مولار نیز اثر مشابهی داشته و عملکرد را به ۱۰۱۰ گرم در روز ۶۰ و ۹۹۰ گرم در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۲۶٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). استفاده از اسید اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به تنهایی اثر متوسطی داشته و عملکرد را به ۸۹۵ گرم در روز ۶۰ و ۸۶۵ گرم در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۱۲٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰)، که نشان‌دهنده تأثیر نسبی این تیمار بر افزایش تولید میوه بود. اثر ترکیبی پوتریسین و اسید اسکوربیک قابل توجه بود. تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک بیشترین عملکرد را ایجاد کرده و تولید پسته را به ۱۳۵۰ گرم در روز ۶۰ و ۱۱۳۰ گرم در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۶۸٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). همچنین، تیمار ترکیبی پوتریسین ۱ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک نیز افزایش قابل توجهی داشته و عملکرد را به ۱۱۲۰ گرم در روز ۶۰ و ۱۲۱۰ گرم در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۴۰٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). پوتریسین به تنهایی، به ویژه در غلظت بالاتر، اثر مثبت قابل توجهی بر افزایش عملکرد پسته داشت. اسید اسکوربیک به تنهایی اثر متوسط داشت، اما ترکیب آن با پوتریسین اثر سینرژیک ایجاد کرده و بیشترین افزایش عملکرد را فراهم کرد. بیشترین عملکرد پسته در تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار و اسید اسکوربیک مشاهده شده است، که نشان‌دهنده نقش هم‌افزای این دو ماده در ارتقای تولید و کیفیت میوه بوده است (شکل۷).



شکل ۷- تأثیر توام اسیدآسکوربیک وپوتریسین روی عملکردمیوه پسته رقم احمد آقایی در دو مرحله ۶۰ و ۷۵ روز بعد از مرحله تمام گل. ستون های دارای حروف متفاوت در سطح پنج درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی‌داری دارند.

داده‌های بدست آمده ازپژوهش حاضر در دو زمان ۶۰ و ۷۵ روز پس از تمام گل نشان دادند که تیمارهای مختلف اثر قابل توجهی بر سطح برگ داشته‌اند. در شاهد، سطح برگ ثابت و برابر با ۳۵ واحد گزارش شده است که بیانگر وضعیت پایه توسعه برگ‌ها در شرایط بدون تیمار بود. تیمار پوتریسین ۰/۵میلی‌مولار باعث افزایش سطح برگ شده و مقادیر ۴۸ در روز ۶۰ و ۴۳ در روز ۷۵ گزارش شده است (افزایش حدود ۳۷٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). افزایش غلظت پوتریسین به ۱ میلی‌مولار نیز اثر مثبت داشته و سطح برگ را به ۵۰ در روز ۶۰ و ۴۹ در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۴۳٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). استفاده از اسید اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اثر جزئی و نامتوازن داشته است؛ سطح برگ در روز ۶۰ به ۴۹ واحد رسیده (افزایش ۴۰٪ نسبت به شاهد)، اما در روز ۷۵ تنها ۳۶ واحد گزارش شده است، که تقریباً برابر شاهد بود، که این نشان‌دهنده اثر محدود و موقت این تیمار بوده است. اثر ترکیبی پوتریسین و اسید اسکوربیک برجسته بود. تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک بیشترین سطح برگ را ایجاد کرده و به ۶۲ در روز ۶۰ و ۵۸ در روز ۷۵ رسیده است (افزایش حدود ۷۷٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰) .همچنین، تیمار ترکیبی پوتریسین ۱ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک نیز افزایش قابل توجهی داشته و سطح برگ را به ۵۵ در روز ۶۰ و ۵۳ در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۵۷٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). پوتریسین به تنهایی اثر مثبت و وابسته به غلظت بر توسعه سطح برگ داشت. اسید اسکوربیک به

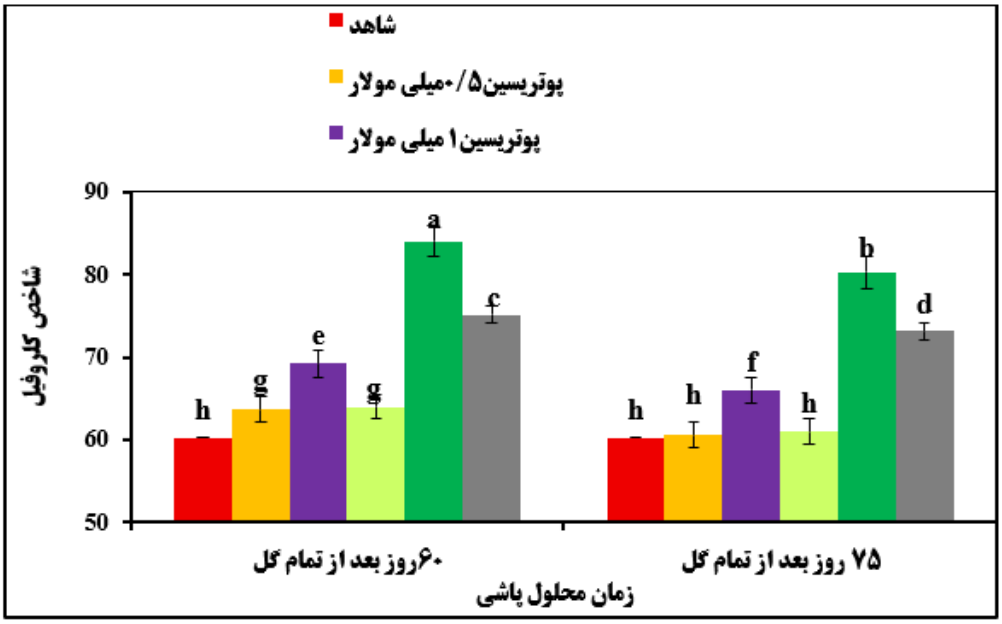
تنهایی اثر محدود و موقت داشت. بیشترین اثر افزایش سطح برگ در تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار و اسید اسکوربیک مشاهده شده است، که نشان‌دهنده اثر سینرژیک این ترکیب در بهبود رشد و توسعه برگ‌ها بوده است (شکل۸).



شکل ۸- تأثیر توام اسیدآسکوربیک وپوتریسین روی سطح برگ پسته رقم احمد آقایی در دو مرحله ۶۰ و ۷۵ روز بعد از مرحله تمام گل. ستون های دارای حروف متفاوت در سطح پنج درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی‌داری دارند.

داده‌های ثبت شده در دو زمان ۶۰ و ۷۵ روز پس از تمام گل نشان داد که تیمارهای مختلف اثر قابل توجهی بر شاخص کلروفیل برگ‌ها داشته‌اند. در شاهد، شاخص کلروفیل ثابت و برابر با ۶۰/۲۳ واحد گزارش شده است که بیانگر وضعیت پایه فتوسنتزی برگ‌ها در شرایط طبیعی بدون تیمار بود. تیمار پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار باعث افزایش جزئی شاخص کلروفیل شده و مقادیر ۶۳/۷۱ در روز ۶۰ و ۶۰/۶ در روز ۷۵ گزارش شده است (افزایش حدود ۶٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). افزایش غلظت پوتریسین به ۱ میلی‌مولار اثر بیشتری داشته و شاخص کلروفیل را به ۶۹/۲ در روز ۶۰ و ۶۶/۰۲ در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۱۵٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). استفاده از اسید اسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به تنهایی نیز شاخص کلروفیل را به ۶۴ در روز ۶۰ و ۶۱/۰۱ در روز ۷۵ افزایش داده است (حدود ۶٪ افزایش نسبت به شاهد در روز ۶۰) که نشان‌دهنده اثر محافظتی و بهبود

وضعیت فتوسنتزی جزئی اسید اسکوربیک بود. اثر ترکیبی پوتریسین و اسید اسکوربیک برجسته است. تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک بیشترین شاخص کلروفیل را ایجاد کرده و به ۸۴/۰۲ در روز ۶۰ و ۸۰/۲۳ در روز ۷۵ رسیده است (افزایش حدود ۳۹٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰) . همچنین، تیمار ترکیبی پوتریسین ۱ میلی‌مولار با اسید اسکوربیک نیز افزایش قابل توجهی داشته و شاخص کلروفیل را به ۷۵/۱۴ در روز ۶۰ و ۷۳/۱۱ در روز ۷۵ رسانده است (افزایش حدود ۲۵٪ نسبت به شاهد در روز ۶۰). پوتریسین به تنهایی اثر مثبت بر شاخص کلروفیل داشت و با افزایش غلظت، این اثر تقویت شد. اسید اسکوربیک به تنهایی اثر جزئی داشت اما ترکیب آن با پوتریسین اثر سینرژیک و قابل توجهی ایجاد کرد. بیشترین افزایش شاخص کلروفیل در تیمار ترکیبی پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار و اسید اسکوربیک مشاهده شده است که نشان‌دهنده بهبود وضعیت فتوسنتزی و سلامت برگ‌ها بوده است (شکل۹).



شکل ۹- تأثیر توام اسیدآسکوربیک وپوتریسین روی شاخص کلروفیل پسته رقم احمد آقایی در دو مرحله ۶۰ و ۷۵ روز بعد از مرحله تمام گل. ستون های دارای حروف متفاوت در سطح پنج درصد آزمون آماری دانکن تفاوت معنی‌داری دارند.

بحث

در این پژوهش، اثر تیمار ترکیبی پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر ویژگی‌های کمی و کیفی میوه‌های پسته رقم احمدآقایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین درصد خندانی میوه‌ها در تمامی مراحل رشد به تیمار

ترکیبی مذکور تعلق داشت و اثر آن حتی در ۷۵ روز پس از تمام گل نیز حفظ شد. در مقابل، بیشترین درصد ناخندانی مربوط به تیمار شاهد بود که بیانگر نقش تعیین‌کننده پوترسین در کاهش درصد ناخندانی و افزایش خندانی میوه‌هاست. این اثر می‌تواند ناشی از تقویت تقسیم سلولی و بهبود جذب عناصر غذایی توسط اسید آسکوربیک و همچنین افزایش وزن و حجم میوه از طریق پوترسین باشد (Talaie *et al*., 2016; Aliei *et al*., 2010).

پلی‌آمین‌ها، به ویژه پوترسین، با تحریک تقسیم سلولی و فرآیندهای رشد و نمو، در بهبود پارامترهای رویشی و افزایش وزن خشک میوه‌ها نقش حیاتی دارند. تمامی تیمارها موجب افزایش وزن خشک میوه در مقایسه با شاهد شدند، به‌طوری که بیشترین وزن خشک میوه در تیمار ترکیبی پوترسین و اسید آسکوربیک در ۶۰ روز پس از تمام گل ثبت شد، در حالیکه کمترین وزن خشک مربوط به تیمار شاهد بود. این یافته‌ها با گزارش‌های قبلی در درختان گردو که افزایش وزن و پارامترهای رشد به واسطه اسپرمین را نشان داده‌اند، مطابقت دارد (Abu-Kpawoh *et al*., 2012).

در خصوص صفت انس میوه، بیشترین انس در تیمار شاهد مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در ۷۵ روز پس از تمام گل نداشت. این نشان‌دهنده اندازه کوچک میوه‌ها در این گروه‌ها است. در مقابل، تیمار ترکیبی پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید آسکوربیک در ۶۰ روز پس از تمام گل کمترین انس را نشان داد که بیانگر افزایش اندازه دانه‌ها بود. این نتایج حاکی از اثرات مثبت تعامل پوترسین و اسید آسکوربیک در بهبود این صفت است. به نظر می‌رسد که پوترسین با اثرگذاری بر فرآیند رشد و نمو، افزایش وزن و حجم میوه و اسید آسکوربیک از طریق تسهیل تقسیم سلولی و بهبود جذب عناصر غذایی، سهم مهمی در افزایش انس میوه داشت (Aliei *et al*., 2010; Ali *et al*., 2010; Bhattacharjee *et al*., 2022; Babu *et al*., 2016; Malik & Singh, 2006; Harhash & Abdel-Nasser, 2010; Kamiab *et al*., 2020; Singh & James, 2000).

این یافته‌ها با گزارش افزایش تعداد گره‌ها، شاخه‌ها و ریشه‌ها در گیاهان سیب‌زمینی پس از پیش‌تیمار با اسید آسکوربیک و پوترسین همخوانی دارد (El-Banna *et al*., 2016).

نتایج مرتبط با درصد پوکی میوه نشان داد که بیشترین مقدار پوکی مربوط به تیمار شاهد بود. تیمار ترکیبی پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید آسکوربیک بیشترین اثر را در کاهش پوکی میوه در هر دو مرحله زمانی نشان داد. این یافته‌ها با نقش شناخته‌شده پلی‌آمین‌ها در توسعه و تمایز کیسه جنینی و کاهش درصد پوکی میوه هماهنگ است (Arias *et al*., 2015).

همچنین، گزارش شده است که استفاده از پلی‌آمین‌ها همراه با عناصر کم‌مصرفی مانند روی و بر باعث کاهش پوکی در ارقام پسته اوحدی می‌شود که نتایج این مطالعه را تأیید می‌کند (Unal *et al*., 2017).

درصد بدشکلی میوه‌ها نیز در تیمار شاهد بیشترین مقدار را نشان داد، در حالی که کمترین بدشکلی در تیمار ترکیبی پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید آسکوربیک مشاهده شد. این اثر می‌تواند ناشی از توانایی اسید آسکوربیک در بهبود رشد رویشی و پلی‌آمین‌ها در القای مقاومت گیاه در برابر صدمات مکانیکی، آفات و بیماری‌ها باشد (Dolatabadian *et al*., 2020; El-Tohamy *et al*., 2018).

شاخص کلروفیل و سطح برگ در بیشترین میزان خود در تیمار ترکیبی پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید آسکوربیک مشاهده شد، در حالی که کمترین مقادیر در تیمار شاهد بود. اسید آسکوربیک به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کند و پلی‌آمین‌ها با تأخیر در از بین رفتن کلروفیل و افزایش فعالیت آنزیم Tgase، جذب نور و سرعت فتوسنتز را بهبود می‌بخشند (Reda *et al*., 2017; Wang *et al*., 2018; Murthy & Adam, 2023). اسید آسکوربیک نقش حیاتی در رشد و توسعه گیاه ایفا می‌کند و در بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه دخیل است. این ترکیب به‌عنوان یک فاکتور کلیدی برای فعالیت برخی از آنزیم‌ها در مسیر سنتز هورمون‌های رشد، از جمله جیبرلین، عمل می‌کند که می‌تواند دلیل اصلی بهبود پارامترهای رشدی مشاهده شده در این پژوهش باشد (El-Banna *et al*., 2016).

در نهایت، بیشترین عملکرد پسته در تیمار ترکیبی پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید آسکوربیک در ۶۰ روز پس از تمام گل مشاهده شد، که همزمان با بیشترین اندازه میوه، وزن تر و خشک میوه بود و تقریباً دو برابر عملکرد شاهد را نشان داد. این افزایش عملکرد عمدتاً ناشی از کاهش درصد پوکی، افزایش درصد خندانی و بهبود پارامترهای رشدی میوه بوده است (Liu *et al*., 2016; Ziosi *et al*., 2013; Enas *et al*., 2020).

اسید آسکوربیک در رشد و توسعه گیاه نقشی ضروری ایفا می‌کند و در بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه نقش دارد و یک فاکتور مهم برای تعدادی از آنزیم‌های دخیل در مسیر سنتز هورمون‌هایی مانند جیبرلین است که این موضوع دلیل احتمالی برای بهبود پارامترهای رشدی توسط این ماده در این آزمایش است (El-Banna *et al*., 2016). .پلی‌آمین‌ها نیز در فرایند رشد و نموی دخالت دارند و باعث افزایش رشد از طریق افزایش تقسیمات سلولی می‌شوند. تمامی تیمارهای به کار رفته در این آزمایش قادر به افزایش میزان وزن خشک میوه در

مقایسه با شاهد در هر دو مرحله مورد استفاده در درختان پسته رقم احمد آقایی بوده‌اند. بیشترین وزن خشک میوه در تیمار ترکیب پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل به دست آمد. کمترین وزن خشک میوه مربوط به تیمار شاهد هم در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل و هم در مرحله ۷۵ روز بعد از تمام گل بود. گزارش شده است که کاربرد اسپرمین که نوعی پلی‌آمین محسوب می‌شود در غلظت یک میلی‌مولار در درختان گردو سبب افزایش پارامترهای رشدی و وزن محصول گردیده است که با نتایج به دست آمده از این تحقیق در رابطه با اثرگذاری نقش پلی‌آمین‌ها مطابقت دارد (Abu-Kpawoh *et al*., 2012).

در این پژوهش بیشترین انس میوه در تیمارهای شاهد هم در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل و هم در مرحله ۷۵ روز بعد از تمام گل، که اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله ۷۵ روز بعد از تمام گل نداشت یعنی پسته‌های ریز و کوچکی در این گروه‌ها قرار داشتند. این در حالی است که تیمار پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار توأم با اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل کمترین میزان انس را داشته و اندازه دانه‌ها بزرگ‌تر بوده است. نتایج حاصل حاکی از اثرات مثبت ترکیب دو ماده فوق در بهبود میزان این صفت است. می‌توان اظهار داشت که کاربرد پوترسین در ترکیب با اسید آسکوربیک توانسته است بهترین نتایج را به ارمغان بیاورد، این در حالی است که کاربرد اسید آسکوربیک در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر به تنهایی تفاوت قابل ملاحظه‌ای با شاهد نداشته است و نقش پلی‌آمین‌ها در افزایش پارامترهای رویشی به صورت بارز مشاهده می‌شود. گزارش شده است که در گیاهان سیب زمینی پیش تیمار با اسید آسکوربیک وپوترسین منجر به افزایش تعداد گره‌ها، شاخه‌ها و ریشه‌ها در مقایسه با نمونه‌های شاهد گردیده است (El-Banna *et al*., 2016).

در این پژوهش بیشترین درصد خندانی در تیمار پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار توأم با اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل بوده است که تفاوت قابل توجهی با دیگر تیمارهای به کار رفته داشته است و در مرحله بعد نیز همین تیمار در مرحله ۷۵ روز بعد از تمام گل مؤثر واقع شد.بیشترین درصد ناخندانی مربوط به تیمارهای شاهد هم در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل و هم در مرحله ۷۵ روز بعد از تمام گل بود که به خوبی تفاوت بین درختانی که در سطوح مختلف پوترسین محلولپاشی شده‌اند نسبت به درختانی که در آن‌ها محلولپاشی صورت نگرفته بود را نشان می‌دهد که درختان شاهد از درصد ناخندانی بیشتر و درصد خندانی کمتری برخوردار بودند. به نظر می‌رسد که اسید

آسکوربیک از طریق ایفای نقش در تقسیم سلولی و نیز کمک به جذب مواد و عناصر غذایی در گیاه اثرگذار بوده است (Aliei *et al*., 2010). تیمار پوترسین نیز از طریق اثرگذاری در فرایند رشد و نمو، با افزایش وزن و حجم میوه موجب افزایش درصد خندانی شده است. گزارش شده است که کاربرد پلی‌آمین‌ها باعث کاهش ناخندانی و افزایش خندانی میوه‌های پسته رقم کله قوچی می‌گردد که با نتایج به دست آمده از این پژوهش همخوانی دارد (Talaie *et al*., 2016).

با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین درصد پوکی در میوه‌های پسته رقم احمد آقایی مربوط به تیمارهای شاهد هم در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل و هم در مرحله ۷۵ روز بعد از تمام گل بود. تیمار ترکیبی پوترسین در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار با اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل و سپس در مرحله ۷۵ روز بعد از تمام گل بیشترین تأثیر را در کاهش تشکیل میوه‌های پوک داشته است. به نظر می‌رسد که از نظر زمانی مصرف زودتر تیمار فوق یعنی در مرحله اول اثر بهتری در کاهش پوکی میوه پسته داشته است. پلی‌آمین‌ها باعث توسعه و تمایز مناسب کیسه جنینی و رشد و نمو جنین می‌شوند. گزارش شده است که کاربرد پلی‌آمین‌ها به ویژه پوترسین در پسته رقم کله قوچی باعث کاهش درصد پوکی می‌گردند. بنابراین کاربرد پلی‌آمین‌ها ممکن است از طریق حفظ اندام‌های مختلف کیسه جنینی، درصد پوکی را کاهش دهند (Arias *et al*., 2015). استفاده از پلی‌آمین اسپرمین در کنار عناصر کم مصرفی همچون روی و بر، موجب کاهش درصد پوکی در درختان پسته رقم اوحدی شده است که مشابه با نتایج به دست آمده در این مطالعه می‌باشد (Unal *et al*., 2017).

نتایج این پژوهش بیانگر آن است بیشترین درصد بد شکل شدن میوه‌های پسته مربوط به تیمارهای شاهد هم در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل و هم در مرحله ۷۵ روز بعد از تمام گل است. این در حالی است که کمترین میزان و درصد بد شکلی در میوه‌های پسته در تیمار پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار توأم با اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل و سپس همین تیمار در بازه زمانی ۷۵ روز بعد از تمام گل بود. اثر مثبت اسید آسکوربیک در رشد رویشی و پارامترهای ظاهری در محصولات مختلف مطرح بوده است (Dolatabadian *et al*., 2020). هم‌چنین گزارش شده است که پلی‌آمین‌ها سبب القای مقاومت گیاهان در برابر آفات و بیماری‌ها می‌شود. بنابراین اگر بدشکلی میوه‌ها در اثر صدمات مکانیکی و خسارت آفات و بیماری‌ها باشد، به نظر می‌رسد که پوترسین سبب تعادل قسمت‌های مختلف رشد و نمو میوه و القای مقاومت میوه در برابر این صدمات می‌گردد و در صورتی که بدشکلی میوه در اثر سطح باردهی باشد

احتمالا پوترسین با تنظیم میزان باردهی شاخه از طریق کنترل ریزش جوانه‌های گل میزان بدشکلی را کنترل میکند (طلایی و همکاران، ۱۳۹۸). اثر غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید آسکوربیک به همراه اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در کاهش بد شکلی ارقام پسته اوحدی و بادامی گزارش شده است (El-Tohamy *et al*., 2018). افزایش سطح برگ از طریق افزایش ظرفیت فتوسنتزی موجب رشد بهتر می‌گردد. در این پژوهش کاربرد اسید آسکوربیک به دلیل خواص آنتی اکسیدانی خود از تخریب کلروفیل جلوگیری کرده و به طور مستقیم سبب افزایش مقادیر کلروفیل می‌شود. آسکوربیت در فرایند فتوسنتز وظایف مهمی دارد (Reda *et al*., 2017). هم‌چنین گزارش شده است که پلی‌آمین‌ها با به تأخیر انداختن تخریب کلروفیل‌ها از طریق افزایش فعالیت آنزیمی Tgase و باند شدن به پروتئین‌ها سبب حفظ کلروفیل و افزایش جذب نور و بهبود سرعت فتوسنتز می‌شوند. پلی‌آمین‌ها هم‌چنین از طریق خاصیت بالای کاتیونی خود و تعامل با جایگاه‌های منفی غشا، باعث حفظ کلروفیل برگ می‌شوند (Wang *et al*., 2018). در این مطالعه بیشترین میزان سطح برگ و نیز شاخص کلروفیل در تیمار ترکیبی غلظت پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل بود. در درختان شاهد کمترین میزان سطح برگ و شاخص کلروفیل دیده شد که متعاقباً در همین نمونه‌ها کمترین مقادیر وزن و عملکرد مشاهده گردید. پلی‌آمین‌ها به خصوص پوترسین و اسپرمین و اسپرمیدین از بین رفتن کلروفیل را در ارقام سیب را به تأخیر انداختند منجر به افزایش کارایی جذب نور و بهبود فتوسنتز خالص شدند (Murthy & Adam, 2023). با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین مقادیر عملکرد در پسته رقم احمد آقایی در تیمار پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار توأم با اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله ۶۰ روز بعد از تمام گل به مقدار ۱۳۵۰ گرم بر شاخه بود که بیشترین اندازه میوه، وزن تر میوه، وزن خشک میوه مربوط به همین تیمار می‌باشد که توانسته حدوداً دو برابر در مقایسه با تیمارهای شاهد افزایش عملکرد داشته باشد. در مقایسه بین مراحل محلولپاشی، بیشترین عملکرد در شاخه در نتیجه محلولپاشی تیمار یاد شده در مرحله اول یعنی ۶۰ روز پس از تمام گل بود که تفاوت قابل توجهی با مرحله دوم یعنی ۷۵ روز بعد از تمام گل داشت. اسید آسکوربیک در بسیاری از فرایندهای درون گیاه شامل؛ تقسیم و بزرگ شدن سلول، توسعه و رشد میوه و رسیدن محصول نقش دارد (Liu *et al*., 2016). با توجه به نقش پلی‌آمین‌ها در تنظیم فرایندهای مختلف رشد و نمو میوه‌ها، تأمین پلی‌آمین خارجی می‌تواند سبب بهبود تشکیل میوه و اندازه و نیز افزایش عملکرد شود (Ziosi *et al*., 2013). از

آنجایی که یکی از دلایل افزایش عملکرد، وزن میوه‌های خندان در شاخه است، به نظر می‌رسد محلولپاشی تیمارها با کاهش درصد پوکی و افزایش درصد خندانی باعث افزایش مقادیر عملکرد شده‌اند. در پژوهشی استفاده از محلولپاشی توسط پلی‌آمین‌ها بر روی میوه زردآلو سبب افزایش عملکرد، وزن میوه و حجم میوه‌ها شد (Enas *et al.*, 2020).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، کاربرد ترکیبی پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار با اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در مرحله ۶۰ روز پس از تمام گل توانست به‌طور مؤثر وزن خشک میوه، درصد خندانی، سطح برگ، شاخص کلروفیل برگ و عملکرد پسته رقم احمد آقایی را افزایش داد و در عین حال باعث کاهش تعداد میوه‌های خشک، درصد ناخندانی، درصد پوکی و درصد میوه‌های بدشکل گردید. اثر تیماری ترکیبی یادشده به‌طور قابل توجهی بیشتر از اثر هر یک از تیمارهای منفرد بود، که بیانگر وجود اثر سینرژیک پوترسین و اسید آسکوربیک در بهبود پارامترهای کمی و کیفی میوه است. همچنین، از نظر زمان محلول‌پاشی، مرحله اول (۶۰ روز پس از تمام گل) بیشترین تأثیر را در تمامی صفات مورد ارزیابی داشته و مرحله دوم (۷۵ روز پس از تمام گل) نیز نتایج مطلوبی ارائه کرد. با توجه به این یافته‌ها، استفاده از ترکیب تیماری پوترسین ۰/۵میلی‌مولار و اسید آسکوربیک ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌تواند به عنوان یک استراتژی مؤثر برای افزایش همزمان کمیت و کیفیت محصول پسته رقم احمد آقایی به باغداران توصیه شود.

منابع

۱. شاکر حسینی، راهبه و آزادبخت، مصطفی. (۱۳۸۳). ویتامین‌ها. دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی. نشر گرایش. ۱۹۷ صفحه.

۲. طلایی، علیرضا، خضری، مسعود. و جوانشاه، امان اله. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر محلولپاشی پلی آمین‌های آزاد بر برخی مشکلات فیزیولوژیکی پسته رقم کله قوچی. مجله علوم باغبانی. ۴(۴۱)، ۳۹۱-۳۸۳.

1. Abdelmonaem, A. M., Abdou, Z. A., Sror, H. A., & Aboul Fotouh, M. M. (2024). L-Ascorbic Acid Improves Fruit Setting and Activates Antioxidant Enzymes in Tomato Plants (*Solanum lycopersicum* L.) Grown Under Heat Stress Conditions. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, *32*(1), 7-21.
2. Abbasi, N. A., Ali, I., Hafiz, I. A., & Khan, A. S. (2017). Application of polyamines in horticulture: A review. *International Journal of Biosciences*, *10*(5), 319–342.
3. Abu-Kpawoh, J. C., Xi, Y. F., Zhang, Y. Z., & Jin, Y. F. (2012). Polyamine accumulation following hot-water dips

influences chilling injury and decay in ‘Friar’ plum fruit. *Journal of Food Science*, *67*(7), 2649–2653.

4. Alcázar, R., Marco, F., Cuevas, J. C., Patron, M., Ferrando, A., Carrasco, P., Tiburcio, A. F., & Altabella, T. (2006). Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnology Letters*, *28*, 1867–1876.
5. Ali, E. A. M., Sarrwy, S. M. A., & Hassan, H. S. A. (2010). Improving ‘Canino’ apricot trees productivity by foliar spraying with polyamines. *Journal of Applied Sciences Research*, *6*(9), 1359–1365.
6. Aliei, M. M., Ashraffuzaman, M., Ismail, M. R., Shahidullah, S. M., & Prodhan, A. K. (2010). Influence of foliar applied on growth and yield contributing characters of white gourd (*Benincasa hispida*). *International Journal of Agriculture and Biology*, *12*(3), 373–376.
7. Arias, M., Carbonell, J., & Agusti, M. (2015). Endogenous free polyamines and their role in fruit set of low and high parthenocarpic ability citrus cultivars. *Journal of Plant Physiology*, *162*, 845–853.
8. Aydyn, Y., Cetinkökü, O., Kanber, R., Özekici, B., Özmen, S., Steduto, P., & Ünlü, M. (2003). Growth, yield and periodicity of pistachio under different water and nutritional levels: Investigation in the Southeastern Anatolia Project region (GAP). In A. Hamdy (Ed.), *Regional Action Programme (RAP): Water resources management and water saving in irrigated agriculture (WASIA Project)* (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches, No. 44, pp. 183–201). Bari: CIHEAM.
9. Barakat, H. (2003). Interactive effects of salinity and certain vitamins on gene expression and cell division. *International Journal of Agriculture and Biology*, *5*(3), 219–225.
10. Babu, M. R. V., Ahlawat, T. R., & Sawamy, G. N. (2016). Effect of polyamines on fruit retention and yield of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Kesar. *The Bioscan*, *11*(1), 211–213.
11. Beltagi, M. S. (2008). Exogenous ascorbic acid (vitamin C) induced anabolic changes for salt tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants. *African Journal of Plant Science*, *2*(10), 118–123.
12. Bhattacharjee, P., Nimbolkar, P. K., Chander, S., & Das, S. (2022). Advances in application of unexploited plant bio-regulators for fruit production: A review. *Agricultural Reviews*, *43*(1), 46–53.
13. Dolatabadian, A., Mohammad, S. A., Sanvy, M., & Sharif, M. (2018). Effect of salicylic acid and salt on wheat seed germination. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil and Plant Science*, *2*(1), 1–9.
14. El-Banna, E. N., Ashour, S. A., & Abd-El-Salam, H. Z. (2006). Effect of foliar application with organic compounds on growth, yield and tuber quality of potato

(*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agricultural Science*, *31*(2), 1165–1173.

15. El-Tohamy, W. A., El-Abgay, H. M., & El-Greadly, N. H. M. (2018). Studies on the effect of putrescine, yeast and vitamin C on growth, yield and physiological response of eggplant (*Solanum melongena* L.) under sandy soil conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *2*(2), 296–300.
16. Enas, A. M. A., Sarrwy, S. M. A., & Hassan, H. S. A. (2020). Improving Canino apricot trees productivity by foliar spraying with polyamines. *Journal of Applied Sciences Research*, *6*(9), 1359–1365.
17. Harhash, M. M., & Abdel-Nasser, G. (2010). Improving fruit set, yield and fruit quality of Khalas tissue culture derived date palm through bunch spraying potassium and/or putrescine. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *4*(10), 4164–4172.
18. Hernandez, K., & Contributor, E. (2020). The effects of vitamins on plant growth. *Home Garden*.
19. Kamiab, F., Heidari Salehabad, M., & Zamanibahramabadi, E. (2015). Evaluating the effects of foliar treatments of polyamines and some organic acids on quantitative and qualitative traits in some pistachio cultivars. *Journal of Nuts*, *6*(2), 131–142.
20. Kamiab, F., Tavassolian, I., & Hosseinifarahi, M. (2020). The role of polyamine in plant science. *Biologia Futura*, *71*(2), 183–194.
21. Lamb, C., & Dixon, R. A. (1997). The oxidative burst in plant disease response. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, *48*, 251–275.
22. Liu, P., Gupta, N., Jing, Y., & Zhang, H. (2017). Age-related changes in polyamines in memory-associated brain structures in rats. *Journal of Neuroscience*, *155*(3), 789–796.
23. Malik, A., & Singh, Z. (2006). Improved fruit retention, yield and fruit quality in mango with exogenous application of polyamines. *Scientia Horticulturae*, *110*, 167–174.
24. Nahed, G. A., El-Aziz, A., Fatma, E. M., & Farahat, M. M. (2007). Response of vegetative growth and some chemical constituents of Syngonium podophyllum to foliar application of thiamine, ascorbic acid and kinetin at Nubaria. *World Journal of Agricultural Sciences*, *3*(3), 301–305.
25. Reda, F., Abdel-Rahim, E. A., El-Baroty, G. S. A., & Ayad, H. S. (2017). Response of essential oil, phenolic components and polyphenol oxidative activity of thyme (*Thymus vulgaris*) to some bioregulators and vitamins. *International Journal of Agriculture and Biology*, *7*(5), 735–739.
26. Singh, Z., & James, J. (2000). Regulation of fruit set and retention in mango with exogenous application of polyamines and their biosynthesis inhibitors. *Acta Horticulturae*, *509*, 675–680.

27. Talaie, A., Seyedi, M., Panahi, B., & Khezri, M. (2016). Effects of shoot girdling and urea combined with 6-benzyl adenine on abscission of inflorescence buds in “Ohadi” pistachio cultivar (Pistacia vera L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, *8*, 474–476.
28. Unal, D., Tuney, I., & Sukatar, A. (2017). The role of external polyamines on photosynthetic responses, lipid peroxidation, protein and chlorophyll a content under the stress in *Physcia semipinnata*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *90*, 64–68.
29. Wang, C. Y. (2018). Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. *Horticultural Reviews*, *15*, 83–95.
30. Wang, C., García-Caparros, P., Li, Z., & Chen, F. (2024). *A comprehensive review on plant ascorbic acid*. *Tropical Plants*, *3*, e042. https://doi.org/10.48130/tp-0024-0042
31. Ziosi, V., Scaramagli, S., Bregoli, A. M., Biondi, S., & Torrigiani, P. (2013). Peach (*Prunus persica* L.) fruit growth and ripening: Transcript levels and activity of polyamine biosynthetic enzymes in the mesocarp. *Journal of Plant Physiology*, *160*(9), 1109–1115.

Functional and Qualitative Responses of Ahmad-Aghaei Pistachio to the Interaction between Ascorbic Acid and Putrescine under Field Conditions

Najmeh Salari Hanza[1], Zahra Pakkish[2], Soheila Mohammad Rezakani[3*]

Abstract

In recent years, the use of chemical compounds to enhance vegetative and reproductive growth in horticultural crops has attracted considerable attention. This study investigated the effects of foliar application of ascorbic acid (400 mg L^{-1}) and putrescine (0.5 and 1 mM), applied individually and in combination, on the quantitative and qualitative traits of Ahmad Aghaei pistachio cultivar at two phenological stages (nut length of 6–8 mm and 10–12 mm). Evaluated traits included nut splitting percentage, blank nuts, malformed fruits, kernel percentage, fruit dry weight, yield, leaf area, and chlorophyll index. Results demonstrated a strong synergistic effect of combined putrescine and ascorbic acid treatments in improving all traits. The highest nut splitting percentage was observed in the combined treatment of 0.5 mM putrescine + ascorbic acid, showing about a 24% increase compared with the control. Simultaneously, the greatest reductions in blank nuts and malformed fruits were observed in this treatment. Individual treatments also improved traits, although their effects were generally dose-dependent and less pronounced. Regarding physiological attributes, the highest leaf area, chlorophyll index, fruit dry weight, and yield were recorded in the combined treatment of 0.5 mM putrescine + ascorbic acid. Furthermore, foliar application during the first phenological stage (60 60 days after full bloom) was more effective than at the second stage, indicating a time-dependent reduction in treatment efficacy. Overall, the study highlights that the combined application of putrescine and ascorbic acid, particularly at the lower putrescine concentration, can effectively improve pistachio quality and yield.

Key words: Ascorbic acid, Pistachio, Putrescine, Yield

[1] Department of Horticultural Sciences, Agricultural College, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
[2] Department of Horticultural Sciences, Agricultural College, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
[3] Researcher, Department of Crop and Horticultural Science Research, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran.
∗ Corresponding author: smohammadrezakhani@yahoo.com.