نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال پانزدهم، شماره ۵۷، بهار ۱۳۹۹ / صفحات: ۱۱۵-۱۰۰

# اثر بازدارندگی تنظیم‌کننده‌های رشد مختلف روی بیماری کپک آبی در ارقام سیب (*Malus* × *domestica* Borkh.)

**مسعود احمدی افزادی[1*]، سعید میرزایی[1]، منصوره کشاورزی[2]**

[1]گروه بیوتکنولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

[2]پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

**تاریخ دریافت: ۹۸/٤/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۱**

**چکیده**

میوه سیب (*Malus* × *domestica* Borkh.) هم به صورت مصرف تازه و هم در تولید محصولات فرآوری شده کاربرد فراوانی دارد. عموماً محصول برداشت شده پس از یک تا چند ماه انبارداری وارد بازار می‌شود که این باعث اهمیت محافظت محصول در مقابل بیماری‌های پس از برداشت (به خصوص در کشاورزی ارگانیک) شده است. یکی از این بیماری‌ها کپک آبی (*Penicillium expansum*) است که به دلیل گسترش بالا و تولید ماده سرطانزای پاتولین از اهمیت شایان توجه‌ای برخوردار است. در این تحقیق تاثیر اسپری پاشی تنظیم کننده‌های رشد اسید آبسزیک، اسید سالیسیلیک، متیل جاسمونات، بتا آمینوبوتیریک اسید و اسید کربوکسیلیک روی این بیماری در ۱۰ رقم سیب مورد بررسی قرار گرفت. آلودگی مصنوعی روی میوه‌ها با استفاده از سوسپانسیون قارچ ایجاد و سپس نمونه‌ها با تنظیم کننده های رشد با غلظت های متفاوت اسپری شدند. صفات فنولوژیکی مانند سفتی میوه و درجه نرم‌شدگی میوه‌ها در حین انبارداری و سطح آلودگی اندازه‌گیری شدند. داده‌های پژوهش بـه صـورت آزمـایش فاکتوریل با دو عامل رقم و تنظیم کننده رشد در قالب طرح کاملا تصادفی با بسته نرم افزاری R مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین ارقام برای فاکتورهای مورد بررسی بود. علاوه بر متیل جاسمونات، اسید سالیسیلیک و بتاآمینوبوتیریک اسید بیشترین اثر بازدارندگی را روی این بیماری نشان دادند. تاثیر دو تنظیم کننده رشد اسید آبسیزیک و کربوکسیلیک اسید نیز بسته به رقم متفاوت بود و در بعضی از تیمارها هیچ گونه تاثیر معنی‌داری نشان ندادند. نتایج این تحقیق می‌تواند در مطالعات به نژادی برای شناخت بهتر مکانسیم مقاومت در این گیاه مورد استفاده قرار گیرد و همچنین به درک بهتری از ارتباط این مواد با پاسخ‌های فیزیولوژیک و در نهایت ایجاد مقاومت به بیماری در سیب کمک نماید.

***واژه‌های کلیدی:*** تنظیم کننده رشد، سیب، فیزیولوژی، کپک آبی، مقاومت.

**مقدمه**

سـیب (*Malus* × *domestica* Borkh.) یکـی از مهمترین محصولات باغبانی در جهان و ایران همواره در بین ده کشور برتـر تولیـد کننـده ایـن گیـاه اسـت (FAO, 2016). میوه سیب ممکن است به صورت آنی پس از برداشت و یا پس از طی یـک دوره انبـارداری مصرف شود و یا به صورت محصولات فرآوری شده به بازار عرضه گـردد (Hyson, 2011). در طـول دوره انبارداری، سیب‌ها متحمل زیان‌های مختلفی از جملـه

*نویسنده مسئول: m.ahmadiafzadi@kgut.ac.ir

آسیب‌های مکانیکی، فیزیولوژیک و بیولوژیک می‌شوند (Ferguson et al., 1999; Martins et al., 2013). محافظت محصول در مقابل بیماری‌های پس از برداشت به خصوص در کشاورزی ارگانیک و با تغییر شرایط آب و هوایی به سمت شرایط دمایی مناسب برای گسترش بیماری های قارچی، یکی از چالش‌های عمده در کشاورزی می‌باشد (Tahir et al., 2015; Jones and Aldwinckle, 1990; Jurick et al., 2011; Weber, 2009).

یکی از مهمترین بیماری‌های پس از برداشت سیب بیماری کپک آبی است که توسط قارچ نکروتروف *Penicillium expansum* ایجاد می‌شود. علائم این بیماری به صورت بروز پوسیدگی‌های آبکی و دایره‌ای شکل به رنگ قهوه‌ای روشن تا تیره است (Jijakli and Lepoivre, 2004) که باعث خسارت اقتصادی به تولید شده و همچنین ماده‌ای سرطانزا به نام پاتولین تولید می‌کند (Barreira et al., 2010; Beretta et al., 2000). کنترل شرایط محیطی انبارها (Conway et al., 2007) و استفاده از قارچ‌کش‌ها از معمول‌ترین روش‌های کنترل این بیماری است (Jijakli and Lepoivre, 2004). اما اثرات مخرب زیست محیطی قارچ‌کش‌ها، باقی ماندن سموم روی میوه‌ها و همچنین مقاوم شدن بیمارگرها به قارچ‌کش‌ها باعث توجه کم به این روش‌ها شده است (Janisiewicz and Marchi, 1992). علاوه بر این، استفاده از سموم شمیایی قارچ‌کش در بسیاری از کشورها ممنوع شده و تحقیقات به سمت روش‌های جایگزین پیش رفته است. از جمله روش‌های دیگر، اصلاح ژنتیکی گیاهان باغی از طریق گرده افشانی کنترل شده و انجام تلاقی‌های ساده بین ارقام یا گونه‌ها است. هر چند که این روش‌ها بهترین راه برای بالابردن فرآوانی آلل‌های ژنی برای صفت دلخواه است، اما این روش‌ها پرهزینه و تنها با یک استراتژی بلند مدت قابل انجام می‌باشند (Ahmadi-Afzadi et al., 2015; Brown and Maloney, 2005; Janick et al., 1996).

از این جهت روش‌های دیگر مانند استفاده از کنترل بیولوژیک و یا تیمار میوه‌ها با موادی با منشا طبیعی گیاهی به عنوان روشی دیگر برای کنترل بیماری مطرح می‌باشد. استفاده از این روش‌ها به دلیل اینکه این ترکیبات اثرات مخرب زیست محیطی ندارند و کیفیت و طول دوره انبارداری میوه‌ها را نیز افزایش می‌دهند، یکی از مهمترین ابزارهای کنترل بیماری‌ها می‌باشد. به عنوان مثال مواد طبیعی آلکیلی ARS (Alkyl resorcinols) استخراج شده از سبوس چاودار در کنترل بیماری کپک آبی مورد استفاده قرار گرفته است (Tahir et al., 2015). در بعضی مواقع یک روش به تنهایی برای کنترل بیماری پاسخگو نبوده و استفاده از چند روش با هم را می‌طلبد (Janisiewicz and Marchi, 1992).

تنظیم کننده‌های رشد گیاهی (PGRs[1]) دارای تاثیرات فیزیولوژیک متنوعی در گیاهان می‌باشند. به‌عنوان مثال می‌توان از تاثیر آنها در القای گلدهی، جذب عناصر و انتقال یونی در گیاه، بیوسنتز مولکول اتیلن، رشد و نمو گیاه، جوانه زنی بذر، فرآیند گلیکولیز، فتوسنتز و همچنین القای مقاومت به سرما و بیماری نام برد (Ranjbarab, 2010; Taherpoor, 2016; Zhang et al., 2015). تاثیرات فیزیولوژیک این تنظیم کننده‌های رشد گیاهی بر روی فعالیت های پس از برداشت میوه ها نیز گزارش شده است. این گونه مواد می توانند رسیدن و پیری میوه را به تاخیر بیاندازند و به این ترتیب از کاهش کیفیت میوه جلوگیری کنند (Hemmatjo Mahmoudalilo, 2016). در واقع تغییرات حاصل از فعل و انفعالات فیزیولوژیک را نمی‌توان به طور کامل در گیاه متوقف

1- Plant growth regulators

نمود اما می توان با استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی شدت این تغییرات را کم کرد به گونه‌ای که ماندگاری محصول بهبود یافته و به دنبال آن مقاومت محصول در مقابل تنش‌ها بالاتر نگه داشته شود (Hemmatjo Mahmoudalilo, 2016; Taherpoor, 2016).

از آنجایی که تنظیم کننده‌های رشد گیاهی اغلب دارای منشا طبیعی درون گیاه (فیتوهورمون‌ها) می‌باشند، دارای تاثیرات درون زا در گیاه هستند که این امر در پاسخ گیاه به انواع تنش‌های زیستی و محیطی و همچنین تغییرات پس از برداشت در میوه‌ها تاثیر گذار است (Mirzamohamadi, 2016). نقش‌های حفاظتی اسید سالیسیلیک، متیل جاسمونات و بتاآمینوبوتیریک اسید در مطالعات گذشته بیانگر تاثیرات گسترده فیزیولوژیک و دفاعی این ترکیبات دارد (Mahmoudalilo, 2016; Mirzamohamadi, 2016; Taherpoor, 2016). این ترکیبات نقش مهمی در سیستم‌های انتقال پیام بین سلولی و سیستمیک دارند که باعث تظاهر ژن‌های خاص و ایجاد تحمل یا مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی در گیاه می‌شوند (Denancé et al., 2013; Kim and Hwang, 2014; Yang et al., 2013). همچنین میزان فعالیت آنزیم‌های مختلف درون گیاه از طریق نقش این ترکیبات درون گیاه تحت تاثیر قرار می‌گیرد و به این ترتیب با کاهش فعالیت آنزیم‌هایی مانند آنزیم‌های تجزیه کننده دیواره سلولی، تغییرات و تلفات پس از برداشت در میوه‌ها کاهش می‌یابد. به عنوان مثال اسید سالیسیلیک و یا بتاآمینوبوتیریک اسید با تاثیر در مسیر بیوسنتز اتیلن می‌توانند نرم شدگی میوه پس از برداشت را تا حد زیادی کاهش دهند (Babalar et al. 2007; Mo, et al. 2008).

یکی از دیگر نقش‌های تنظیم کننده‌های رشد گیاهی، پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌باشد. نقش متیل جاسمونات و اتیلن در فرآیند بیماری‌زایی قارچ‌های نکروتروف و تظاهر بالای ژن‌های مسئول مقاومت در گیاهان ثابت شده است (Zhang et al., 2013). قارچ‌کش پروبنازول[1] از طریق سیگنالینگ و تجمع اسید سالیسیلیک باعث ایجاد مقاومت در گیاه می‌شود (Yoshioka et al., 2001). بررسی ژن‌های شناسایی شده در میوه سیب آلوده به بیماری کپک آبی نیز حاکی از تاثیر متیل‌جاسمونات در محدود کردن توسعه قارچ در این بیماری می‌باشد (Ahmadi-Afzadi et al., 2018). به هر جهت هیچ گونه مطالعه‌ای نشاندهنده تاثیر این تنظیم کننده‌های رشد مختلف روی این بیماری موجود نمی‌باشد. بنابراین در این مطالعه هدف ارزیابی نحوه تاثیر اسید آبسزیک، اسیدسالیسیلیک، متیل جاسمونات، بتاآمینوبوتیریک اسید و اسیدکربوکسیلیک روی این بیماری بود.

## مواد و روش‌ها

**مواد گیاهی:** در این مطالعه ارقام مختلف سیب از مرکز تحقیقات باغبانی کشور در کرج تهیه شدند. ده رقم (استارگان رنر، گلدن اسپور، رد اسپور کوپر، رد اسپور، ولشی، رد دلیشز، یلو اسپور، گلدن دلیشز، فوجی، رد روم بیوتی) انتخاب شده و میوه‌ها توسط روش تست نشاسته (Smith et al., 1979) از نظر میزان رسیدگی و بلوغ مورد آزمایش قرار گرفته و نمونه‌های دارای ضریب ۵-۴ (در مرحله پیش رسیدگی) انتخاب شدند. میوه‌های با اندازه یکسان و یک‌شکل و همچنین عاری از هر گونه بیماری و یا آفت انتخاب شدند. سپس میوه ها در همان روز برای مرحله تعیین سفتی[2] و تلقیح مورد آزمایش قرار گرفتند.

1- Probenazole
2- Firmness

**اندازه‌گیری میزان سفتی اولیه و ثانویه میوه‌ها:** میوه‌های برداشت شده مورد ارزیابی برای میزان سفتی پس از برداشت (سفتی اولیه) قرار گرفتند. سفتی میوه با دستگاه سفتی‌سنج مدل FT-327 با قطر لوله ۱/۱۱ میلیمتر و عمق ۷/۹ میلی‌متر (Alfonsine, Italy) اندازه گیری و بر اساس کیلوگرم بر مترمکعب بیان شد. از هر رقم ده میوه در دو سمت قطری میوه (بعد از حذف پوست) اندازه‌گیری شد. داده‌های آزمایش بر اساس میانگین سفتی ده سیب نشان داده شدند و مورد تجزیه تحلیل آماری قرار گرفتند. علاوه بر این سفتی ثانویه میوه‌های هر رقم (سفتی میوه پس از دوره انبارداری) نیز مورد اندازه گیری قرار گرفت و اختلاف این دو عدد (سفتی پس از برداشت و سفتی ثانویه) به عنوان ضریب نرم شدگی بیان شد (Tahir et al., 2015).

**آماده‌سازی سوسپانسون قارچ و تلقیح نمونه‌ها:** سوسپانسون قارچ مورد استفاده در آزمایش، از کلکسیون کشت قارچ آزمایشگاه بیوتکنولوژی دانشگاه کشاورزی سوئد تهیه شد و جهت ارزیابی اولیه بیماری‌زایی قارچ، از سوسپانسیون تهیه شده جهت آلوده کردن میوه‌های سیب رقم "گلدن دلیشز" استفاده شد. برای تلقیح، ابتدا میوه‌های هر رقم با آب مقطر مورد شستشوی سطحی قرار گرفتند و سپس با الکل اتانول ۷۰ درصد ضدعفونی سطحی شده و مجددا با آب مقطر استریل شستشو داده شدند. هر کدام از سیب‌ها در دو سمت مقابل هم در قسمت استوایی با ۲۰ میکرولیتر از سوسپانسیون قارچ ($1\times10^5$ کنیدی در میلی‌لیتر) تلقیح شدند. میوه‌ها به منظور نفوذ سوسپانسیون به بافت میوه، ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری و در روز بعد جهت تیمار با تنظیم کننده‌های رشد استفاده شدند (Tahir et al., 2015).

**تیمار با تنظیم کننده‌های رشد گیاهی:** پس از ایجاد آلودگی مصنوعی، میوه‌ها در روز بعد با سه میلی‌لیتر از هر یک از پنج تنظیم کننده رشد اسید آبسزیک، اسید سالیسیلیک، متیل‌جاسمونات، بتا آمینوبوتیریک‌اسید و اسید کربوکسیلیک با غلظت پنج میلی مولار اسپری شدند. برای حل کردن تنظیم کننده‌های رشد از اتانول به میزان ۰/۱ درصد استفاده شد و با آب مقطر استریل به غلظت مذکور با حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شدند. یک گروه از میوه‌ها (گروه کنترل) نیز تنها با محلول آب و حلال تنظیم کننده رشد (۰/۱ درصد) اسپری شدند. میوه‌ها در دمای اتاق به مدت سه ساعت رها شدند تا به تنظیم کننده رشد اجازه نفوذ داده شود. سپس میوه‌ها درون جعبه‌های پلاستیکی (با سطح باز) قرار داده شدند و تا زمان رشد مناسب قارچ به مدت یک هفته در انبار نگه‌داری شدند. در نهایت پس از طی دوره انبارداری و حصول رشد مناسب سطح آلودگی در دو سمت میوه، سطح آلودگی قارچی ایجاد شده روی میوه‌ها اندازه‌گیری شد (Tahir et al., 2015).

**جمع‌آوری داده‌های بیماریزایی و آنالیزهای آماری:** داده‌های آزمایش با استفاده از اندازه‌گیری سطح آلودگی رشد کرده در دو سمت میوه سیب به‌دست آمد. برای هر رقم میانگین آلودگی در دو سمت سیب برای ۳۰ نمونه سیب اندازه‌گیری شد. داده‌های آزمایش به صورت طرح فاکتوریل (عامل رقم و عامل تنظیم کننده رشد) و در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. با توجه به معنی‌دار بودن نتایج حاصل، مقایسه میانگین‌ها نیز جهت یافتن بهترین تیمار انجام شد. به این ترتیب که میانگین‌های هر تیمار تنظیم کننده رشد با کنترل با روش مقایسه میانگین به روش دانکن مورد ارزیابی قرار گرفتند. کلیه نتایج در سطح آماری پنج درصد مورد آزمون معنی‌دار بودن قرار گرفتند. در تجزیه داده‌ها از بسته نرم افزاری Agricolae در نرم افزار R (نسخه ۳/۳/۲) و برای رسم نمودارها از میکروسافت اکسل ۲۰۱۶ استفاده شد.

## نتایج

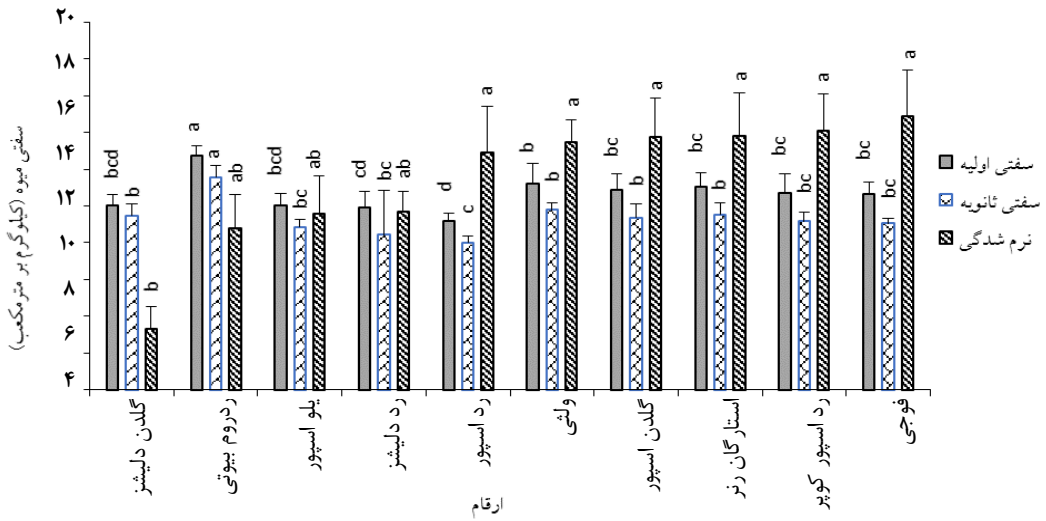
**ارزیابی میزان سفتی و نرم شدگی انباری میوه‌ها:** بر اساس نتایج تجزیه واریانس ارقام از نظر سفتی اولیه، سفتی ثانویه و درصد نرم شدگی حین انبار داری تفاوت معنی‌داری را در سطح کمتر از یک درصد نشان دادند (جدول ۱). ارقام "رد اسپور" و "رد دلیشز" به‌ترتیب با ۹/۲ و ۹/۹ کیلوگرم بر متر مکعب کمترین و رقم "رد روم بیوتی" با ۱۲/۷ کیلوگرم بر متر مکعب بیشترین سفتی میوه را داشت. بقیه ارقام نیز در حد فاصل این ارقام قرار گرفتند. از نظر سفتی میوه بعد از انبارداری دو رقم "رد اسپور" و "رد روم بیوتی" به‌ترتیب با ۸ و ۱۱/۶ کیلوگرم بر متر مکعب کمترین و بیشترین میزان سفتی میوه را داشتند (شکل ۱).

**جدول ۱:** نتایج تجزیه واریانس داده های میزان سفتی و درصد نرم شدگی در ارقام مختلف سیب.

| منبع تغییر | سفتی اولیه | | سفتی ثانویه | | درصد نرم شدگی | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | درجه ازادی | میانگین مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات |
| رقم | ۹ | ۸/۱۶*** | ۹ | ۶/۰۳*** | ۹ | ۸۶/۲*** |
| خطا | ۷۲ | ۰/۵۸ | ۵۶ | ۰/۵۹ | ۵۴ | ۱۴/۱ |

*** نشاندهنده اختلاف معنی‌دار در سطح کمتر ۰/۰۰۱

از نظر نرم شدگی در طول انبارداری (اختلاف سفتی اولیه و سفتی ثانویه به درصد) نیز ارقام طیف وسیعی از ۱۴/۹ تا ۳/۳ درصد نرم شدگی را نشان دادند. رقم "گلدن دلیشز" با ۳/۳ درصد کمترین میزان نرم شدگی و رقم "فوجی" (با ۱۴/۹ درصد) بیشترین میزان نرم شدگی را نسبت به سایر ارقام در طی انبارداری به خود اختصاص دادند (شکل ۱).



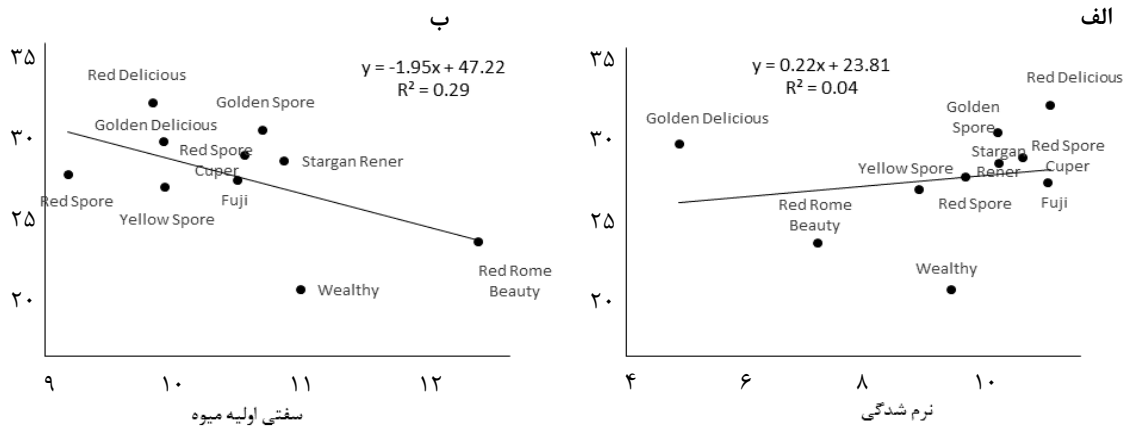

**شکل ۱:** میزان سفتی اولیه، ثانویه و درصد نرم شدگی در ده رقم سیب. نمودار میله‌ای حاصل میانگین ده نمونه ± انحراف معیار برای هر صفت در ارقام مورد آزمایش می باشد. بر اساس نتایج اختلاف معنی داری بین ارقام برای هر یک از صفات وجود داشت. بیشترین سفتی اولیه و ثانویه در رقم "ردروم‌بیوتی" و بیشترین درصد نرم شدگی در رقم "فوجی" مشاهده شد. حروف متفاوت روی نمودار نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

**ارزیابی سطح آلودگی ایجاد شده روی ارقام:** ارقام مختلف برای صفت میزان آلودگی، ارقام سطح متفاوتی از آلودگی نسبت به بیماری را نشان دادند (شکل۲). کمترین سطح آلودگی، در رقم "ولثی" (۱۹/۲۸ میلی‌متر) و پس از آن دو رقم "رد روم بیوتی" (۲۲/۳۱ میلی‌متر) و "یلواسپور" (۲۵/۷۹ میلی‌متر) مشاهده شد. این ارقام به عنوان مقاوم‌ترین ارقام به بیماری بودند. رقم "رد دلیشز" بیشترین سطح آلودگی (۳۱/۳۴ میلی‌متر) را به خود اختصاص داد و بعد از آن ارقام "گلدن اسپور" و "گلدن دلیشز" به ترتیب با سطح آلودگی ۲۹/۴۶ و ۲۸/۷۹ میلی‌متر (به عنوان حساس ترین ارقام) بیشترین سطح آلودگی را داشتند. ارقامی مانند "رد اسپور کوپر"، "استارگان رنر" و "رد اسپور" نیز جز ارقام با حساسیت متوسط می‌باشند (شکل ۲).

**شکل ۲:** سطح آلودگی بیماری کپک آبی در ارقام مختلف در تیمار کنترل (بدون تنظیم کننده رشد). نمودار میله‌ای میانگین ده نمونه ± انحراف معیار آنها می‌باشد. بر اساس نتایج اختلاف معنی‌داری بین ارقام با توجه به سطح آلودگی ایجاد شده روی میوه‌ها وجود داشت. بیشترین (حساس‌ترین رقم) و کمترین (مقاوم‌ترین رقم) سطح آلودگی به ترتیب به "رد دلیشز" و "ولثی" اختصاص داشت. حروف متفاوت روی نمودار نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی دار بین ارقام در سطح پنج درصد است.

**ارتباط میزان سفتی و نرم شدگی میوه با سطح مقاومت به بیماری:** نتایج نشان داد که بین سفتی اولیه و سطح آلودگی یک ارتباط منفی وجود دارد (شکل۳). بدین ترتیب ارقامی مانند "رد روم بیوتی" یا "ولثی" با میزان سفتی بالاتر، سطح آلودگی پایین‌تری داشتند و رقم "رد دلیشز" (به عنوان یک رقم حساس به بیماری) که بیشترین سطح آلودگی را به خود اختصاص داده بود دارای سفتی اولیه پایین‌تری بود. مشابه این رابطه منفی بین سفتی ثانویه میوه و سطح آلودگی نیز مشاهده شد. به این ترتیب که ارقام با درجه سفتی ثانویه بالاتر نیز سطح آلودگی کمتری را به خود اختصاص دادند. بر عکس این رابطه، بین درصد نرم شدگی میوه و آلودگی ارتباط مثبتی وجود داشت. بدین معنی که ارقام با درصد نرم‌شدگی بالاتر تا حدودی سطح آلودگی کوچکتری را نشان دادند (شکل ۳). با وجود اینکه ارتباطات مذکور مشاهده شد اما این ارتباطات برای سفتی اولیه و ثانویه در حد متوسط بود

(به‌ترتیب ۰/۵۳- و ۰/۵۴-) و برای درصد نرم شدگی نیز ارتباط ضعیفی مشاده شد (۰/۲) که از نظر آماری در سطح معنی داری نبودند.




**شکل ۳:** ارتباط بین درصد نرم شدگی حین انبارداری

(الف) و سفتی میوه (ب) با سطح آلودگی بیماری کپک آبی. الف) ارقامی که از میزان نرم شدگی حین انبارداری کمتری برخوردار بودند نسبتا مقاومت بهتری نسبت به بیماری کپک آبی نشان دادند. ب) به همین ترتیب ارقامی که دارای سفتی اولیه بالاتر بودند، به نسبت سطح آلودگی کمتری را در بیماری کپک آبی نشان دادند.

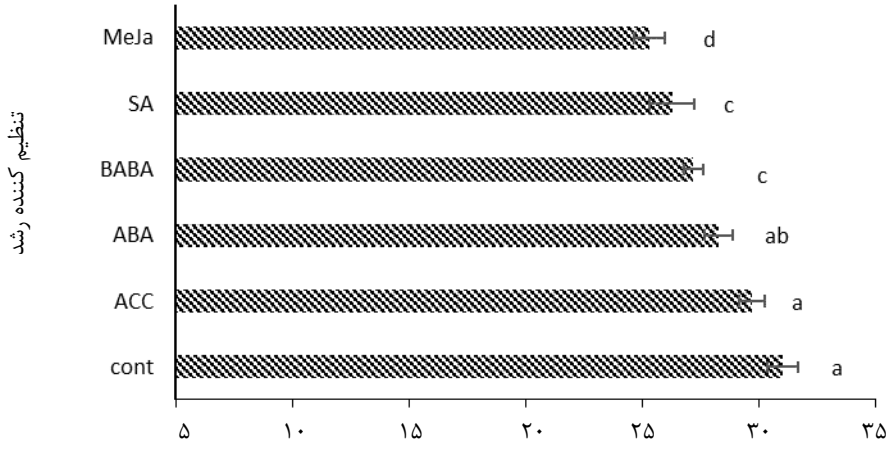
**ارزیابی تاثیرات تنظیم کننده رشد بر مقاومت به بیماری کپک آبی:** بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) برای تمام ارقام و تنظیم کننده‌های رشد، تفاوت بسیار معنی‌داری برای عامل رقم، هورمون و اثر متقابل رقم در هورمون ($P < ۰/۰۰۱$) به‌دست آمد.

**جدول ۲:** نتایج تجزیه واریانس داده‌های میزان آلودگی ایجاد شده روی میوه های ارقام مختلف سیب پس از آلودگی مصنوعی.

| منبع تغییر | درجه ازادی | میانگین مربعات |
|---|---|---|
| رقم | ۹ | ۱۷۴/۴*** |
| تنظیم کننده رشد | ۵ | ۱۹۲/۹*** |
| رقم × تنظیم کننده رشد | ۴۵ | ۹/۰۴*** |
| خطا | ۱۲۰ | ۱/۱ |

*** نشاندهنده اختلاف معنی دار در سطح کمتر ۰/۰۰۱

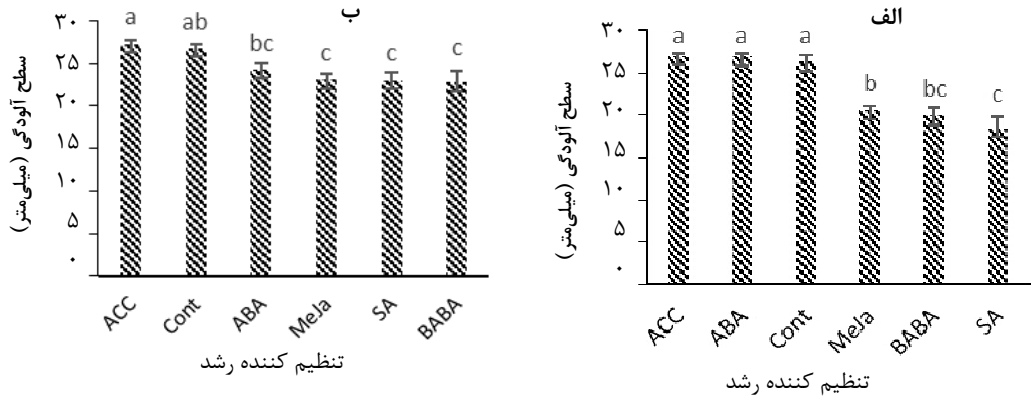
زمانی که تاثیر پنج تنظیم کننده رشد روی کلیه ارقام (بدون در نظر گرفتن رقم خاص) مورد مطالعه قرار گرفت، نتایج حاکی از آن بود که سه تنظیم کننده رشد متیل جاسمونات، اسید سالیسیلیک و بتا آمینو بوتیریک اسید به‌ترتیب بیشترین اثر بازدارندگی را از خود نشان دادند. اسید کربوکسیلیک اثر معنی‌داری روی سطح آلودگی نداشت و اسید آبسزیک نیز تنها اندکی اثر بازدارندگی روی بیماری نشان داد (شکل ۴).



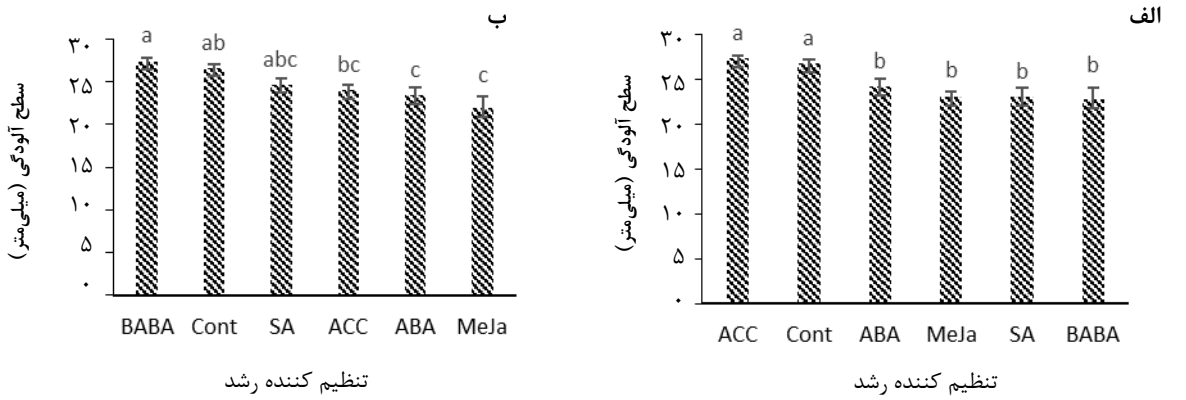

**شکل ٤:** تاثیر پنج تنظیم کننده رشد روی تمامی ارقام. بیشترین سطح آلودگی در تیمار کنترل، کربوکسیلیک اسید و اسید آبسیزیک و کمترین سطح آلودگی نیز در تیمار با متیل جاسمونات مشاهده شد. Cont: کنترل، ACC: کربوکسیلیک اسید، ABA: اسید آبسیزیک، MeJa: متیل جاسمونات، BABA: بتاآیمنوبوتیریک اسید و SA: سالیسیلیک اسید. حروف متفاوت روی نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی دار بین تیمارهای آزمایش در سطح پنج درصد می باشند.

در رقم "فوجی" متیل جاسمونات، بتاآمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید سطح آلودگی را به نسبت کنترل کاهش دادند و تاثیر اسید سالیسیلیک به طور معنی‌داری از سطح کنترل و دو تنظیم کننده رشد متیل جاسمونات و بتاآمینوبوتیریک اسید بیشتر بود. تاثیر تیمار با اسید کربوکسیلیک و اسید آبسیزیک بر عکس سه تنظیم کننده رشد دیگر و باعث افزایش اندک (غیر معنی‌دار با کنترل) در سطح آلودگی ایجاد شده در میوه شد (شکل۵-الف). رقم "گلدن دلیشز" نیز روندی مشابه رقم "فوجی"داشت به گونه‌ای که سه تنظیم کننده رشد متیل جاسمونات، اسید سالیسیلیک و بتاآمینوبوتیریک اسید اثر بازدارندگی روی بیماری و با اختلاف معنی‌داری از تیمار کنترل داشتند. کربوکسیلیک اسید و اسید آبسیزیک تفاوت معنی‌داری به نسبت کنترل نداشتند. هر چند که تاثیر این دو تنظیم کننده رشد نسبت به یکدیگر معنی‌دار بود (شکل۵-ب).

در رقم "گلدن اسپور" سه تنظیم کننده رشد متیل جاسمونات، اسید سالیسیلیک و بتاآمینوبوتیریک اثر بازدارندگی داشتند. تاثیر اسید کربوکسیلیک به صورت تشدیدکنندگی بود ولی با کنترل اختلاف معنی‌داری نداشت. اسید آبسیزیک روی سطح آلودگی تاثیر بازدارندگی داشت ولی از نظر آماری با کنترل تفاوت نداشت (شکل۶-الف). در رقم "رد اسپور" تاثیر دو تنظیم کننده رشد متیل جاسمونات، اسید آبسیزیک و بتاآمینوبوتیریک اسید به صورت بازدارندگی بود در حالیکه اسید کربوکسیلیک و اسید سالیسیلیک تفاوتی با کنترل نداشتند. (شکل۶-ب).

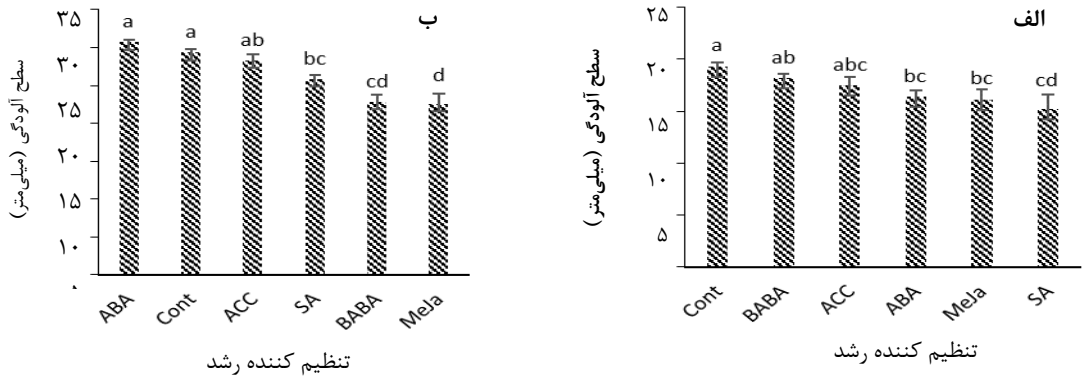



**شکل ۵:** مقایسه تاثیر پنج تنظیم کننده رشد با تیمار کنترل در دو رقم الف) "فوجی" و ب) "گلدن دلیشز". در هر دو رقم بیشترین تاثیر مربوط به تیمارهای اسید سالیسیلیک، بتاآمینوبوتیریک اسید و متیل جاسمونات بود. Cont: کنترل، ACC: کربوکسیلیک اسید، ABA: اسید آبسیزیک، MeJa: متیل جاسمونات، BABA: بتاآیمنوبوتیریک اسید و SA: سالیسیلیک اسید. حروف متفاوت روی نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی دار بین تیمارهای آزمایش در سطح پنج درصد می‌باشند.



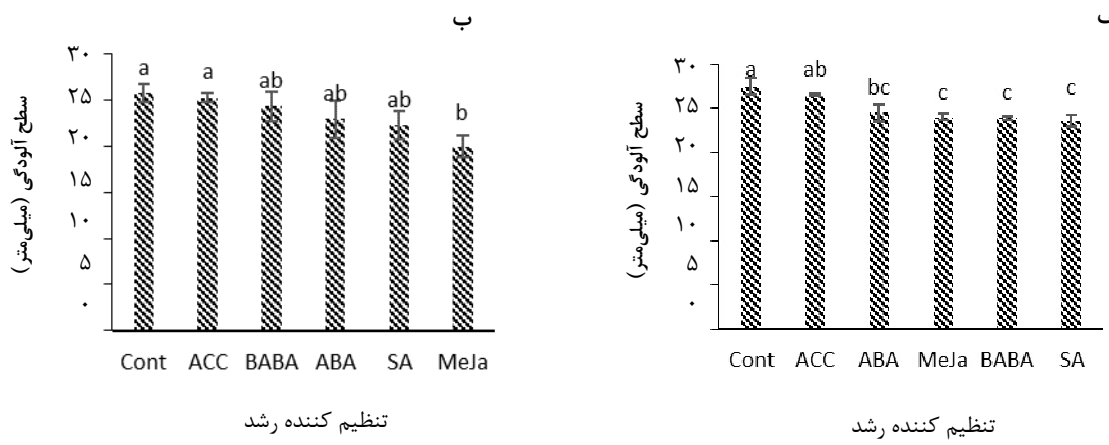

**شکل ٦:** مقایسه تاثیر پنج تنظیم کننده رشد با تیمار کنترل در رقم الف- "گلدن اسپور" و ب- "رد اسپور". Cont: کنترل، ACC: کربوکسیلیک اسید، ABA: اسید آبسیزیک، MeJa: متیل جاسمونات، BABA: بتاآمینوبوتیریک اسید و SA: سالیسیلیک اسید. حروف متفاوت روی نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی دار بین تیمارهای آزمایش در سطح پنج درصد می باشند.

در رقم "رد روم بیوتی" سه تنظیم کننده رشد اسید سالیسیلیک، متیل جاسمونات، اسید آبسیزیک به طور معنی داری سطح آلودگی را روی میوه به نسبت کنترل کاهش دادند. در حالیکه تاثیر اسید کربوکسیلیک و بتا آمینو بوتیریک اسید نسبت به کنترل معنی‌دار مشاهده نشد (شکل۷-الف). در رقم "رد دلیشز" سه تنظیم کننده رشد متیل جاسمونات، اسید سالیسیلیک و بتاآمینوبوتیریک اسید اثر بازدارندگی روی بیماری داشتند. در حالیکه اسید کربوکسیلیک و اسید آبسیزیک اثر معنی داری روی سطح آلودگی در مقایسه با تیمار کنترل نداشتند (شکل۷-ب).




**شکل ۷:** مقایسه تاثیر پنج تنظیم کننده رشد با تیمار کنترل در رقم الف- "رد روم بیوتی" و ب- "رد دلیشز". Cont: کنترل، ACC: کربوکسیلیک اسید، ABA: اسید آبسیزیک، MeJa: متیل جاسمونات، BABA: بتاآیمنوبوتیریک اسید و SA: سالیسیلیک اسید. حروف متفاوت روی نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی دار بین تیمارهای آزمایش در سطح پنج درصد می‌باشند.

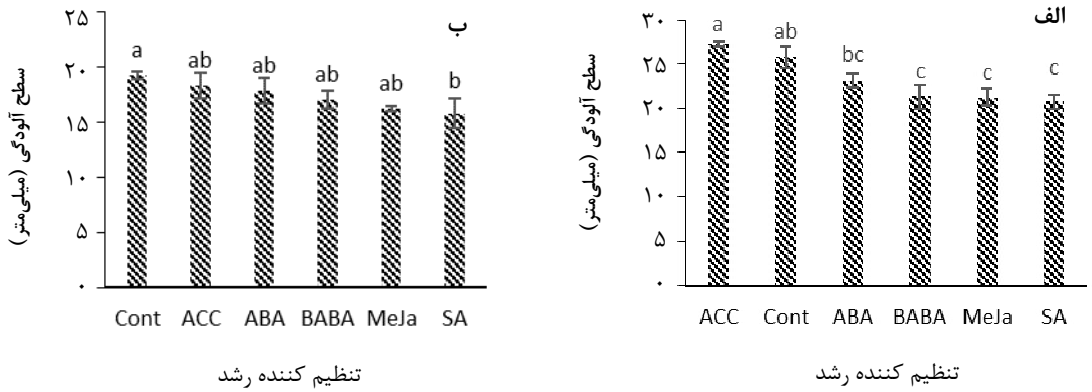
سه تنظیم کننده رشد متیل جاسمونات، اسید سالیسیلیک و بتاآمینوبوتیریک اسید بیماری را در رقم "استارگان رنر" به صورت معنی‌داری به نسبت تیمار کنترل کاهش دادند. اثرات اسید کربوکسیلیک و اسید آبسیزیک نیز به صورت بازدارندگی بود ولی نسبت به کنترل تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۸-الف). در رقم "رد اسپور کوپر" متیل جاسمونات توانست سطح آلودگی بیماری را روی میوه به طور معنی‌داری نسبت به کنترل کاهش دهد. چهار تنظیم کننده رشد دیگر همگی اثر بازدارندگی روی بیماری نشان دادند اما اثر کاهشی هیچ کدام نسبت به تیمار کنترل معنی‌دار نبود (شکل۸-ب).




**شکل ۸:** مقایسه تاثیر پنج تنظیم کننده رشد با تیمار کنترل در رقم الف- "استارگان رنر" و ب- "رد اسپور کوپر". Cont: کنترل، ACC: کربوکسیلیک اسید، ABA: اسید آبسیزیک، MeJa: متیل جاسمونات، BABA: بتاآمینوبوتیریک اسید و SA: سالیسیلیک اسید. حروف متفاوت روی نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی دار بین تیمارهای آزمایش در سطح پنج درصد می باشند.

در رقم "یلو اسپور" متیل جاسمونات، اسید سالیسیلیک و بتاآمینوبوتیریک اسید به صورت معنی‌داری بیماری را محدود کردند. در تیمار اسید آبسیزیک سطح آلودگی روی میوه هر چند که به

نسبت کنترل کاهش نشان داد اما از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با آن نداشت (شکل ۹-الف). در رقم "ولئی" تنها اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌داری سطح بیماری را کاهش داد. در بقیه تنظیم کننده‌های رشد هر چند که تاثیر به صورت کاهش سطح آلودگی به نسبت کنترل بود، اما این اثرات از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با کنترل نداشتند (شکل ۹-ب).




**شکل ۹:** مقایسه تاثیر پنج تنظیم کننده رشد با تیمار کنترل در رقم الف- "یلو اسپور" و ب- "ولئی". Cont: کنترل، ACC: کربوکسیلیک اسید، ABA: اسید آبسیزیک، MeJa: متیل جاسمونات، BABA: بتاآیمنوبوتیریک اسید و SA: سالیسیلیک اسید. حروف متفاوت روی نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی دار بین تیمارهای آزمایش در سطح پنج درصد می باشند.

**بحث**

در زمینه مقاومت ارقام مختلف سیب درختی به بیماری‌های قارچی پس از برداشت تحقیقات متعددی در دنیا انجام پذیرفته است. مقاومت به بیماری کپک آبی نیز از این امر مستثنی نیست اما اکثر مطالعات مربوط به این بیماری عموماً به بررسی میزان حساسیت ارقام در نتیجه تلقیح مصنوعی با پاتوژن‌های مختلف پرداخته‌اند (Ahmadi-Afzadi et al., 2013; Jurick et al., 2011; Tahir et al., 2015). به صورت کلی نتایج تحقیقات روی ارقام مختلف حاکی از تفاوت بسیار معنی‌دار در سطح مقاومت ژنتیکی به این بیماری قارچی دارد که این امر می‌تواند به خوبی بیانگر پتانسیل بالای کنترل ژنتیکی این بیماری توسط گیاه میزبان باشد. در تحقیق حاضر نیز ارقام مورد استفاده تفاوت معنی‌داری را از نظر میزان حساسیت به این بیماری از خود نشان دادند.

تحقیقات گذشته نشان داده است که عوامل زیادی در سطح مقاومت میوه سیب به بیماری‌های قارچی دخیل می‌باشند. از جمله می‌توان به خصوصیات میوه شناختی و فیزیولوژیک مانند سفتی اولیه میوه یا سفتی پس از برداشت، سفتی ثانویه یا سفتی پس از انبارداری و نرم‌شدگی میوه در طول انبارداری میوه (تفاوت بین سفتی اولیه و ثانویه) اشاره کرد. بر این اساس ارقام با میزان سفتی اولیه بالاتر و نرم‌شدگی پایین طی دوران انبارداری سطح بالاتری از مقاومت به بیماری کپک آبی را نشان می‌دهند (Ahmadi-Afzadi et al., 2013; Conway et al., 2002; Costa et al., 2010; Sansavini et al., 2004). در این مطالعه نیز با بررسی میزان سفتی میوه ارتباط بین درجه سفتی میوه با سطح مقاومت به بیماری کپک آبی مشاهده شد. به این ترتیب که ارقامی که از درجه سفتی اولیه بالاتر و میزان نرم شدگی کمتری حین انبارداری

برخوردار بودند، به نسبت سطح بالاتری از مقاومت را به بیماری کپک آبی نشان دادند.

تحقیقات گذشته بر روی مکانیسم ژنتیکی کنترل بیماری در این گیاه نشان داده است که مقاومت به این بیماری می‌تواند در اثر فعال شدن ژن‌های مختلف در میسر فنیل پروپانوئید در پاسخ به تنظیم کننده‌های رشد مانند اتیلن، اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات در گیاه ایجاد شود (Ahmadi-Afzadi et al., 2018). از بین تنظیم کننده‌های رشد مورد مطالعه، متیل جاسمونات، بتاآمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید در ارقام "گلدن دلیشز"، "گلدن اسپور"، "ردروم بیوتی"، "رد دلیشز"، "استارگان رنر" و "یلواسپور" همواره تاثیر بازدارندگی و از نظر آماری معنی‌داری روی سطح بیماری ایجاد شده داشتند. تاثیر بازدارندگی این سه تنظیم کننده رشد در ارقام "گلدن اسپور"، "استارگان رنر" و "یلو اسپور" نیز کاملاً مانند "گلدن دلیشز" بود. این سه تنظیم کننده رشد در رقم‌های یاد شده به یک میزان اثر بازدارندگی ایجاد کردند و تفاوت معنی‌داری بین این سه تنظیم کننده رشد مشاهده نشد. تاثیر مثبت اسید سالیسیلیک در گیاه آرابیدوپسیس نیز از طریق افزایش تجمع این تنظیم کننده رشد و القای سیستم دفاعی با ایجاد مقاومت سیستمیک[1] (ASR) نیز گزارش شده است. علاوه بر این تاثیر مثبت اسید سالیسیلیک در بهبود بعضی از صفات فیزیولوژیک و همچنین کاهش آلودگی های قارچی در مدت زمان پس از برداشت در گیاهانی مانند توت فرنگی (Babalar et al. 2007) هلو (Wang et al. 2006) و گیلاس (Yao and Tian, 2008) گزارش شده است.

تاثیر مثبت متیل جاسمونات‌ها بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه مانند تحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده گزارش شده است. به عنوان مثال تیمار با این تنظیم کننده رشد خسارات فیزیولوژیک حاصل از خشکی، شوری و یا سرما را کاهش داده است (Rahaei et al, 2013). همچنین افزایش مقاومت در برابر بیماری به *Monilia fructicola* و عفونت پس از برداشت در گیلاس شیرین و میوه هلو پس از محلول پاشی با این تنظیم کننده رشد نیز گزارش شده است (Yao and Tian, 2005). استفاده بیرونی از هورمون متیل جاسمونات می‌تواند سازوکارهای مربوط به مقاومت به بیماری در میوه‌ها را فعال کند که مقاومت به بیماری قارچ را افزایش می‌دهد (Ahmadi-Afzadi, 2015).

نتایج این تحقیق نشان داد که تاثیر دو تنظیم کننده رشد اسید آبسیزیک و اسید کربوکسیلیک در ارقام مختلف متفاوت است. در ارقامی مانند "فوجی"، "گلدن دلیشز"، "رد دلیشز"، "رداسپور کوپر"، "ولتی" و استارگان رنز" اثر این دو تنظیم کننده رشد به صورت غیر معنی‌دار با یکدیگر و با تیمار کنترل بود. تاثیر این دو تنظیم کننده رشد در رقم "گلدن اسپور" بدین گونه بود که اسید کربوکسیلیک اثر تشدید کنندگی بیشتر و معنی‌داری نسبت به اسید آبسیزیک از خود نشان داد ولی این اثر با کنترل اختلاف معنی‌داری نداشت. همانطور که اشاره شد، تنظیم کننده‌های رشد گیاهی در بهبود صفات فیزیولوژیک متفاوتی در گیاهان نقش دارند. این تاثیر به صورت ارتباطات خطی و ساده‌ای نیست بلکه همانند یک گفتگوی متقابل می‌باشد که بسته به نوع تنظیم کننده رشد و نقش های فیزیولوژیک آن، این ارتباط کاملا به صورت پویا و غیر استاتیک عمل می‌کند. این بدین معنی است که در شرایط تنش، علاوه بر اثرات تکی هر یک از تنظیم کننده‌های رشد، اثرات متقابل همکاری یا تضاد بین بعضی از تنظیم کننده‌های رشد نیز در نوع پاسخ گیاه به تنش دخیل است (Vidhyasekaran, 2015). به عنوان مثال ارتباط

1. Acquired Systemic Resistance

بین دو تنظیم کننده رشد اسید سالیسیلیک و جاسمونات‌ها در پاسخ به تنش های زنده و غیر زنده در گیاهان به وفور گزارش شده است (Solano and Gimenez-Ibanez, 2013; Van der Does et al., 2013; Zhang et al., 2012). گفتگوی متقابل بین تنظیم کننده‌های رشد جاسمونات‌ها و اتیلن (Robert-Seilaniantz et al., 2011; Zhu et al., 2011) ، بین اسید سالیسیلیک و اتیلن (Leon-Reyes et al., 2010) و بین اسید سالیسیلیک و اسید آبسیزیک (Xu et al., 2013) نیز گزارش شده است. این گفتگوی متقابل بین تنظیم کننده‌های رشد یک مکانسیم بسیار قدرتمند با نقش تنظیم کنندگی را برای گیاه ایجاد می‌نماید که به گیاه این توانایی را می‌دهد که تصمیم بگیرد چه پاسخی را اتخاذ نماید. بر اساس سیگنال ایجاد شده و نوع گفتگوی بین تنظیم کننده‌های رشد، مسیرهای پاسخ خاصی در جهت بهبود فعالیت‌های فیزیولوژیک و یا ایجاد مقاومت فعال می‌شوند (Vidhyasekaran, 2015).

نقش تنظیم کننده‌های رشد مانند اتیلن و اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات در مطالعات متعددی روی بهبود صفاتی مانند خصوصیات فیزیکوشیمیایی و همچنین خصوصیات پس از برداشت میوه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. در یک مطالعه از تیمار اسید سالیسیلیک جهت بهبود برخی خواص کیفی ارقام انگور بیدانه سفید و قرمز پس از برداشت استفاده کردند. تاثیر این تنظیم کننده رشد روی خواص کیفی مانند کاهش ریزش میوه، افت سفتی و شکل ظاهری میوه، قهوه‌ای شدن میوه‌ها و همچنین گسترش برخی آلوگی‌های قارچی مثبت گزارش شد (Ranjbaran, 2010). همچنین تاثیر تیمار با متیل جاسمونات روی تحمل به سرمای گل‌های سیب رقم گلدن دلیشر معنی دار بود و این اثر از طریق افزایش غلظت تنظیم کننده‌های اسمزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان باعث بهبود وضعیت غشاء سلولی بوده است (Taherpoor, 2016).

در مورد تنظیم کننده رشد اسید آبسیزیک، در بیشتر ارقام این ماده تاثیر تشدید کنندگی روی بیماری داشت. احتمالا این تاثیر بیشتر به دلیل دخیل بودن این تنظیم کننده رشد در فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با تولید اتیلن در میوه می‌باشد. با توجه به اینکه اتیلن در فرآیند فیزیولوژیک رسیدگی میوه دخالت دارد، در نتیجه تاثیر این هورمون به صورت تسریع رسیدگی میوه و در نتیجه حساسیت بیشتر به این بیماری است. در تحقیقات گذشته ارتباط منفی تولید اتیلن بالا با کاهش سفتی میوه گزارش شده است (Costa et al., 2010). بنابراین با کاربرد اسید کربوکسیلیک، میوه‌ها زودتر رسیده و درجه سفتی میوه نیز کاهش می‌یابد. در نتیجه میوه‌های نرم‌تر درجه بالاتری از حساسیت به بیماری‌های قارچی را نشان دادند. ارتباط کاهش سفتی میوه با افزایش حساسیت به بیماری‌های قارچی در مطالعات گذشته نیز به اثبات رسیده است (Ahmadi-Afzadi et al., 2013; Conway et al., 2002).

## نتیجه‌گیری نهایی

در تحقیق حاضر کاربرد تنظیم کننده های رشد گیاهی تاثیرات فیزیولوژیک متفاوتی را در ارقام مختلف سیب ایجاد کرد. این فرآیندهای فیزیولوژیک می توانند باعث ایجاد تفاوت معنی داری در ارقام از نظر میزان حساسیت به بیماری کپک آبی شوند. همچنین ارتباط بین درجه سفتی میوه با سطح مقاومت به بیماری کپک آبی نیز بررسی شد و نتایج حاکی از این بود که ارقام با درجه سفتی بالا و میزان نرم شدگی کمتر در طول انبار داری دارای پتانسیل بالاتری جهت تحمل/مقاومت به بیماری کپک آبی هستند. به هر حال این همبستگی به نوع رقم بستگی دارد بدین

معنی که بسته به رقم می‌تواند از درجه ضعف یا شدت بیشتری برخوردار باشد.

علاوه بر این، نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد خارجی سه تنظیم کننده رشد متیل جاسمونات، اسید سالیسیلیک و بتا آمینو بوتیریک اسید روی میوه درخت سیب می‌تواند درصد آلودگی بیماری کپک آبی را به طور معنی‌داری نسبت به میوه‌هایی که هیچ تیماری دریافت نکرده‌اند کاهش دهد. البته تاثیر این سه تنظیم کننده رشد روی ارقام مختلف کمی متفاوت است و در بعضی از ارقام تنظیم کننده رشد اسید سالیسیلیک و در برخی دیگر از ارقام تنظیم کننده رشد متیل جاسمونات بیشترین تاثیر را از خود نشان دادند. این امر می‌تواند به دلیل دخیل بودن این مواد در مسیرهای متابولیکی و فیزیولوژیک متفاوت در گیاه باشد که متعاقب آن واکنش حساسیت و مقاومت در ارقام، تحت تاثیر مواد مختلف متفاوت نمایان می‌شود.

## سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شماره ۱۴۰۲ / ۹۶ / ص / ۷ با استفاده از اعتبارات پژوهشی- پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران انجام شده است.

## References

**Ahmadi-Afzadi, M. (2015).** Genetic variation in resistance to fungal storage diseases in apple. Inoculation-cased screening, transcriptomics and biochemistry. (PhD Thesis), Swedish University of Agricultural Sciencs. (Vol. 18).

**Ahmadi-Afzadi, M., Nybom, H., Ekholm, A., Tahir, I. and Rumpunen, K. (2015).** Biochemical contents of apple peel and flesh affect level of partial resistance to blue mold. Postharvest Biology and Technology. 110: 173-182.

**Ahmadi-Afzadi, M., Orsel, M., Pelletier, S., Bruneau, M., Proux-Wéra, E., Nybom, H. (2018).** Genome-wide expression analysis suggests a role for jasmonates in the resistance to blue mold in apple. Plant Growth Regulation. 85: 375-387.

**Ahmadi-Afzadi, M., Tahir, I. and Nybom, H. (2013).** Impact of harvesting time and fruit firmness on the tolerance to fungal storage diseases in an apple germplasm collection. Postharvest Biology and Technology. 82: 51-58.

**Babalar, M., Asghari, M., Talaei, A. and Khosroshahi, A. (2007).** Effect of pre-& postharvest Salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay & overall quality of Selva strawberry fruit. Food Chemistry. 105: 449-453.

**Barreira, M.J., Alvito, P.C. and Almeida, C.M.M. (2010).** Occurrence of patulin in apple-based-foods in Portugal. Food Chemistry. 121: 653-658.

**Beretta, B., Gaiaschi, A., Galli, C.L. and Restani, P. (2000).** Patulin in apple-based foods: occurrence and safety evaluation. Food Additives and Contaminants. 17: 399-406.

**Brown, S.K. and Maloney, K. (2005).** *Malus* × *domestica* Apple. In R. E. ILitz (Ed.), Biotechnology of fruit and nut crops (pp. 475-511). Cambrige: CABI Publishing, CAB international, UK.

**Conway, W.S., Janisiewicz, W.J., Leverentz, B., Saftner, R.A. and Camp, M. (2007).** Control of blue mold of apple by combining controlled atmosphere, an antagonist mixture, and sodium bicarbonate. Postharvest Biology and Technology. 45: 326-332.

**Conway, W.S., Sams, C.E., and Hickey, K.D. (2002).** Pre- and postharvest calcium treatment of apple fruit and its effect on quality. Proceedings of the International Symposium on Plants as Food and Medicine: The Utilization and Development of Horticultural Plants for Human Health. 594: 413-419.

**Costa, F., Peace, C.P., Stella, S., Serra, S., Musacchi, S., Bazzani, M., et al. (2010).** QTL dynamics for fruit firmness and softening around an ethylene-dependent polygalacturonase gene in apple (*Malus* × *domestica* Borkh.). Journal of Experimental Botany. 61: 3029-3039.

**Denancé, N., Sánchez-Vallet, A., Goffner, D. and Molina, A. (2013).** Disease resistance or growth: the role of plant hormones in

balancing immune responses and fitness *costs*. Frontiers in plant science, 4: 155-161.

**Dubery, I.A., Sanabria, N.M. and Huang, J.C. (2012).** Nonself perception in plant innate immunity. In Self and nonself (pp. 79-107): Springer, New York, NY.

**Ferguson, I., Volz, R. and Woolf, A. (1999).** Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. Postharvest Biology and Technology. 15: 255-262.

**Hajnajari, H., Tarrahi, S. and Ghahremani, Z. (2010).** Correlation of vegetative traits with fire blight resistance in Iranian and imported apple cultivars. XII International Workshop on Fire Blight. 896: 347-352.

**Hemmatjo Mahmoudalilo, B. (2016).** Effect of postharvest treatment with gamma-aminobutyric acid and salicylic acids on quality and storage life of Shablon plum (*Prunus salicina* L.). Department of Horticulture, University of Urmia. Pp: 113. In Persian.

**Hyson, D.A. (2011).** A comprehensive review of apples and apple components and their relationship to human health. Advances in Nutrition. 2: 408-420.

**Janick, J., Cummins, J.N., Brown, S.K. and Hemmat, M. (1996).** Apples. In J. Janick & J. N. Moore (Eds.), Fruit breeding, tree and tropical fruits. (pp. 1-78): John Wiley & Sons, Inc. UK.

**Janisiewicz, W. and Marchi, A. (1992).** Control of storage rots on various pear cultivars with saprophytic strain of *Pseudomonas syringae*. Plant Disease. 76: 555-560.

**Jijakli, M.H. and Lepoivre, P. (2004).** State of the art and challenges of post-harvest disease management in apples. In K.G. Mukerji (Ed.), Fruit and vegetable diseases. 1: 59-94.

**Jones, A.L. and Aldwinckle, H.S. (1990).** Compendium of apple and pear diseases: APS Press. pp 1-100.

**Jurick, W.M., Janisiewicz, W.J., Saftner, R.A., Vico, I., Gaskins, V.L., Park, E., et al. (2011).** Identification of wild apple germplasm (*Malus* spp.) accessions with resistance to the postharvest decay pathogens *Penicillium expansum* and *Colletotrichum acutatum*. Plant Breeding. 130: 481-486.

**Kim, D.S. and Hwang, B.K. (2014).** An important role of the pepper phenylalanine ammonia-lyase gene (*PAL1*) in salicylic acid-dependent signalling of the defence response to microbial pathogens. Journal of Experimental Botany. 65: 2295-2306.

**Leon-Reyes, A., Du, Y., Koornneef, A., Proietti, S., Körbes, A. P. and Memelink, J. (2010).** Ethylene signaling renders the jasmonate response of Arabidopsis insensitive to future suppression by salicylic acid. Molecular Plant-Microbe Interactions. 23: 187-197.

**Martins, C.R., Hoffmann, A., Rombaldi, C.V., Farias, R.D. and Teodoro, A.V. (2013).** Apple biological and physiological disorders in the orchard and in postharvest according to production system. Revista Brasileira De Fruticultura. 35: 1-8.

**Mo, Y., Gong, D., Liang, G., Han, R., Xie, J. and Li, W. (2008).** Enhanced preservation effect of sugar apple fruits by salicylic acid treatment during postharvest storage. Journal of the Science of Food and Agriculture. 88: 2693-2699.

**Naeem Abadi, T., Keshavarzi, M., Alaee, H., Hajnagari, H. and Hoseinava, S. (2014).** Blue Mold (*Penicillium expansum*) decay resistance in apple cultivars, and its association with fruit physicochemical traits. Journal of Agricultural Science and Technology. 16: 635-644.

**Rahaie, M., Gang-Ping, X. and Schenk, P.M. (2013)**. The role of transcription factors in wheat under different abiotic stresses. Abiotic Stress - Plant Responses and Applications in Agriculture. 367-387.

**Ranjbaran, E. (2010)**. Effect of salicylic acid on postharvest life and some quality charactristics in table grapes, cvs. Bidaneh Sefid and Bidaneh Ghermez. MSc Thesis, Department of Horticultural Science, Bu-Ali Sina University. Pp: 89. In Persian.

**Robert-Seilaniantz, A., Grant, M. and Jones, J.D. (2011).** Hormone crosstalk in plant disease and defense: more than just jasmonate-salicylate antagonism. Annual Review of Phytopathology. 49: 317-343.

**Sansavini, S., Donati, F., Costa, F. and Tartarini, S. (2004).** Advances in apple breeding for enhanced fruit quality and resistance to biotic stresses: new varieties for the European market. Journal of fruit and ornamental plant research. 12: 13-52.

**Schovankova, J. and Opatova, H. (2011).** Changes in phenols composition and activity of phenylalanine-ammonia lyase in apples after fungal infections. Horticultural Science. 38: 1-10.

**Smith, R.B., Loucheede, E.C., Franklin, E.W. and McMillan, I. (1979).** The starch-iodine test for determining stage of maturation in apples. Canadian Journal of Plant Science. 59: 725-735.

**Solano, R. and Gimenez-Ibanez, S. (2013).** Nuclear jasmonate and salicylate signaling and crosstalk in defense against pathogens. Frontiers in plant science. 4: 72.

**Taherpoor, K. (2016)**. Effect of methyl jasmonate on cold tolerance of apple (*Malus domestica*) flowers cv. Golden Delicious. MSc Thesis, Department of Horticultural Sciences, Bu-Ali Sina University. Pp: 89. In Persian.

**Tahir, I., Nybom, H., Ahmadi-Afzadi, M., Roen, K., Sehic, J. and Roen, D. (2015).** Susceptibility to blue mold caused by *Penicillium expansum* in apple cultivars adapted to a cool climate. European Journal of Horticultural Sciences. 80: 117-127.

**Van der Does, D., Leon-Reyes, A., Koornneef, A., Van Verk, M. C., Rodenburg, N., Pauwels, L., et al. (2013).** Salicylic acid suppresses jasmonic acid signaling downstream of SCFCOI1-JAZ by targeting GCC promoter motifs via transcription factor ORA59. The Plant Cell. 25: 744-761.

**Vidhyasekaran, P. (2015).** Plant hormone signaling systems in plant innate immunity: Springer, Dordrecht, Netherlands.

**Wang, L., Chen, S., Kong, W., Li, S. and Archbold, D.D. (2006)**. Salicylic acid pre treatment alleviates chilling injury and affects the anti oxidant system and heat shock proteins of peaches during cold storage. Postharvest Biology and Technology. 41: 244-251.

**Weber, R.W.S. (2009).** An evaluation of possible effects of climate change on pathogenic fungi in apple production using fruit rots as examples. Erwerbs-Obstbau. 51: 115-120.

**Xu, J., Audenaert, K., Hofte, M. and De Vleesschauwer, D. (2013).** Abscisic acid promotes susceptibility to the rice leaf blight pathogen Xanthomonas oryzae pv oryzae by suppressing salicylic acid-mediated defenses. Plos One. 8, e67413.

**Yang, D.-L., Yang, Y. and He, Z. (2013).** Roles of plant hormones and their interplay in rice immunity. Molecular plant. 6: 675-685.

**Yao, H.J. and Tian, S.P. (2005).** Effects of pre- and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. Postharvest Biology and Technology. 35: 253-262.

**Yoshioka, K., Nakashita, H., Klessig, D.F. and Yamaguchi, I. (2001).** Probenazole induces systemic acquired resistance in Arabidopsis with a novel type of action. The Plant Journal. 25: 149-157.

**Zhang, X., Wang, C., Zhang, Y., Sun, Y. and Mou, Z. (2012).** The Arabidopsis mediator complex subunit16 positively regulates salicylate-mediated systemic acquired resistance and jasmonate/ethylene-induced defense pathways. The Plant Cell. 24: 4294-4309.

**Zhang, Y., Lubberstedt, T. and Xu, M.L. (2013).** The genetic and molecular basis of plant resistance to pathogens. Journal of Genetics and Genomics. 40: 23-35.

**Zhu, Z., An, F., Feng, Y., Li, P., Xue, L., Mu, A., et al. (2011).** Derepression of ethylene-stabilized transcription factors (EIN3/EIL1) mediates jasmonate and ethylene signaling synergy in Arabidopsis. Proceedings of the National Academy of Sciences. 108: 12539-12544.