

پیش بینی پتانسیل رشد با مطالعه صفات رویشی در برخی پایه‌های سیب دورگه

داریوش آتشکار^{۱*}، روح اله حق جویان^۱، مریم دودانگه بالاخانی^۲ و اصغر سلیمانی^۲

۱ و ۲. استادیار پژوهش و کارشناس، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، ۳۱۵۸۵، صندوق پستی ۴۱۱۹، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۵)

چکیده

انتخاب نتاج امید بخش در مراحل اولیه پروژه اصلاح پایه‌های رویشی درختان میوه یکی از روش‌های دستیابی زود هنگام به پایه‌های مورد نظر می‌باشد. در این پژوهش صفات رویشی مرتبط با قدرت رشد در تعداد ۱۱ ژنوتیپ امید بخش پایه سیب به همراه پایه رویشی سیب MM111 به عنوان شاهد بررسی شد. نتایج نشان داد بین ژنوتیپ پایه‌های مورد مطالعه به لحاظ صفات رویشی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. بر اساس قدرت رشد این ژنوتیپ‌ها به سه دسته کلی تقسیم شدند: ۱- ژنوتیپ‌های کم‌رشد (پاکوتاه) AR4, AR8, AR11 که دارای کمترین بیوماس، کمترین سرعت رشد و بیشترین تراکم روزنه در واحد سطح برگ بودند، ۲- ژنوتیپ‌های پر رشد AR1, AR3, AR6, AR7 و AR9 که دارای بیشترین بیوماس، بیشترین سرعت رشد و کمترین تراکم روزنه در واحد سطح برگ بودند و ۳- ژنوتیپ‌های متوسط رشد AR2, AR5, AR10 و MM111 که دارای مقدار متوسط بیوماس، سرعت رشد و تراکم روزنه در واحد سطح برگ بودند. ژنوتیپ‌های کم رشد بیشترین و ژنوتیپ‌های پر رشد کمترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره را داشتند. گسترش رشد طولی ریشه در ژنوتیپ‌های سیب با قدرت رشد پایه‌ها ارتباط مستقیمی نداشت، اما با گسترش افقی در آن‌ها رابطه عکس داشت. ژنوتیپ‌های AR1, AR4, AR5, AR10 که گسترش طولی ریشه بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند، گسترش افقی ریشه کمتری داشتند و ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR3, AR8 که گسترش طولی کمتری داشتند، گسترش افقی بیشتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: به‌نژادی پایه، رشد، روزنه، ریشه، ساقه.

Predicting the growth potential in some apple (*Mallus domestica* Borkh.) hybrid rootstocks by study of vegetative characteristicsDariush Atashkar^{1*}, Rohollah Haghjooyan¹, Maryam Dodangeh Balakhani² and Asghar Soleimani²

1, 2. Assistant Professor and Instructor, Department of Horticulture, Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension (AREEO), P.O. Box. 4119, Karaj, 31585, Iran

(Received: Jul. 07, 2019- Accepted: Aug. 27, 2019)

ABSTRACT

The selection of promising progenies in the early stages is one of the methods for rootstock breeding of fruit trees. In this study, vegetative traits in 11 apple genotypes with MM111 as control were investigated. The results showed that there was a significant difference between the genotypes of the studied bases in terms of vegetative traits and were classified into three general categories based on their growth potentials: 1. AR4, AR8, AR11, as dwarf genotypes with the lowest biomass, the lowest growth rate and the highest stomatal density per leaf area unit. 2. AR1, AR3, AR6, AR7, AR9 as vigorous genotypes had the highest biomass, the highest growth rate and the lowest stomatal density per leaf area. 3. AR2, AR5, AR10, MM111 had an average amount of biomass, growth rate and stomatal density per leaf area. Dwarf genotypes had the highest and vigorous genotypes had the lowest ratio of dry weight of root to shoots. Longitudinal growth of root growth in genotype of apple rootstocks had no direct relation with rootstock vigor, but there was a reverse correlation with horizontal extension. AR1, AR4, AR5, AR10 genotypes had longer roots than other genotypes of rootstocks, with lowest horizontal extension of roots and AR2, AR3, and AR8 genotypes with highest horizontal extension had lowest longitudinal root growth.

Keywords: Breeding, growth, rootstock, root, stem, stomat.

* Corresponding author E-mail: datashkar2002@yahoo.com

مقدمه

جهت استفاده بهینه از منابع ارزشمند آب و خاک، بالا بردن تولید، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری، امروزه احداث باغ‌های متراکم و نیمه متراکم با استفاده از پایه‌های رویشی پاکوتاه کاملاً ضروری است. از یک قرن پیش تاکنون روند توسعه صنعت سیب کاری در دنیا از احداث باغ‌های استاندارد و پایه‌های بذری به طرف استفاده از پایه‌های پاکوتاه و باغات متراکم تغییر یافته است (Khanizadeh *et al.*, 2000) با توجه به شرایط اقلیم خشک و خاک‌های به‌طور عمده آهکی مناطق پرورش سیب در ایران، استفاده از پایه‌های رویشی خارجی که در شرایط ویژه‌ای اصلاح و انتخاب شده‌اند، ممکن است مشکلاتی را برای صنعت سیب کاری کشور بوجود بیاورد، لذا استفاده از ژنوتیپ‌های پاکوتاه بومی و یا نتاج حاصل از آنها می‌تواند سازگاری بهتری با این مناطق داشته باشد (Atashkar *et al.*, 2015). تنها راه کار در خصوص خاک‌های خشک و آهکی استفاده از پایه‌های متحمل است (Webster, 2002). هدف اصلی به‌نژادی پایه‌های رویشی سیب، بهبود ویژگی‌های خزانه‌ای، باغی و افزایش تحمل تنش‌های زنده و غیر زنده می‌باشد (Jakubowski *et al.*, 2003). هر کشور با توجه به شرایط اقلیمی خود دارای پایه‌های رویشی خاصی می‌باشد، در بسیاری از کشورهای میوه خیز برنامه‌های دورگ‌گیری بین ژنوتیپ‌های بومی خود و پایه‌های بین‌المللی اجرا شده است و پایه‌های متناسب با اقلیم خود به‌دست آورده‌اند (Khanizadeh *et al.*, 2005). برنامه اصلاح پایه‌های رویشی سیب در اکثر کشورهای پرورش‌دهنده سیب اجرا شده است. نخستین برنامه اصلاحی پایه سیب در ایستگاه تحقیقاتی ایست مالینگ در کنت انگلستان در سال ۱۹۱۲ با جمع آوری پایه‌هایی تحت عنوان پارادیس و دوسین از اطراف دنیا جهت تعیین هویت و شناسایی آنها شروع شد. ولینگتون کار را آغاز کرد و توسط هاتون دنبال شد، هاتون ۷۱ کلکسیون را از ۳۵ منبع به‌دست آورد. هاتون برای اینکه پایه‌های مشخص شده دوباره با هم اشتباه نشوند پیشنهاد کرد، هر پایه با اعداد رومی از ۱ تا ۲۴ نامگذاری شوند. در سال ۱۹۱۷ نخستین برنامه

اصلاحی پایه سیب شروع شد. برای ایجاد پایه مقاوم به شته مومی انستیتوی جان اینس و ایستگاه تحقیقات ایست مالینگ برنامه‌های مشترکی را در این زمینه شروع کردند، سری‌های مرتون ایمون مثل MI793, MI.778 در دهه ۱۹۳۰ معرفی شدند و به دنبال آن سری‌های مالینگ مرتون (MM) مثل MM115, MM101 در سال ۱۹۵۲ به بازار عرضه شدند (Radnia, 1997). در برنامه اصلاح پایه سیب در لهستان سیب رقم آنتونوکا با M9 تلاقی داده شد و بعد از گزینش اولیه ۲۸ کلون انتخاب گردید از میان آنها چهارپایه پس از دو فصل آزمایش زمستانه با مشخصات پاکوتاه‌کنندگی، مقاومت به سرما و مقاومت فراوان به پوسیدگی طوقه انتخاب و تحت عنوان سری P معرفی گردید (Zagaja *et al.*, 1989). برنامه دورگ‌گیری بین ژنوتیپ‌های بومی شامل آرایش اصفهان و مربایی مشهد به‌عنوان والد مادری و پایه‌های تجارتنی سیب شامل B9, M9, M27 به‌عنوان والد پدری طراحی و اجرا گردید که ماحصل این پژوهش دستیابی به ۲۷ ژنوتیپ پایه امیدبخش از میان ۴۰۰۰ دانهال هیبرید بود (Atashkar *et al.*, 2015). با توجه به هزینه و زمان‌بر بودن پروژه به‌نژادی پایه‌های رویشی سیب غربال شدید و کاهش تعداد نتاج در مراحل مختلف، یک اصل مهم در دستورالعمل به‌نژادی پایه به شمار می‌رود. پس از ارزیابی قابلیت تکثیر رویشی، بررسی قدرت پاکوتاه‌کنندگی و ارزیابی قدرت رشد نتاج از مهم ترین شاخص های انتخاب پایه‌های رویشی امید بخش به شمار می رود (Johnson, 2000). بهترین روش برای ارزیابی قدرت رشد پایه‌ها، پیوند رقم های سیب روی آنها و ارزیابی در باغ است، اما این روش زمان‌بر و پرهزینه است. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی قدرت رشد پایه‌ها بدون انجام پیوند پیشنهاد شده است شامل: قدرت رشد، ساختار آوندی، پارانیشیم ریشه، سطح برگ و خصوصیات بیوشیمیایی بافت پوست می‌باشد (James *et al.*, 1983). ارتفاع گیاه یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رشد گیاه است. تفاوت‌های ژنتیکی از نظر ارتفاع، طول میان‌گره، طول و سطح گسترش سیستم ریشه در اکثر گیاهان گزارش شده است (Kafi *et al.*, 2010). داشتن

وجود نداشت (Sharma *et al.*, 1982). بررسی پتانسیل رشد در ۱۲ ژنوتیپ پایه سیب اوتاوا با استفاده از ۱۰ شاخص رشد نشان داد که بهترین شاخص برای پیش‌بینی قدرت رشد پایه‌ها، وزن خشک برگ ژنوتیپ پایه‌ها است، ژنوتیپ پایه‌هایی دارای سطح برگ بیشتر جزو پایه‌های پر رشد و ژنوتیپ پایه‌های با سطح برگ کمتر، جزو پایه‌های پاکوتاه طبقه‌بندی می‌شوند (Miller *et al.*, 1977).

مواد و روش‌ها

به‌منظور دستیابی به پایه‌های رویشی سیب سازگار با شرایط خاک کشور، تلاقی‌های هدفمندی بین ژنوتیپ‌های سیب پاکوتاه بومی ایران (آزایش اصفهان و مربایی مشهد) به‌عنوان والد مادری و پایه‌های رویشی (M9، M27 و B9) به‌عنوان والد پدری، از سال ۱۳۸۴ لغایت سال ۱۳۸۷ انجام گرفت. ارزیابی‌های مقدماتی نتاج حاصل از تلاقی‌ها و گرده‌افشانی آزاد جهت گزینش پایه رویشی سیب با قابلیت تکثیر رویشی آسان و همچنین مقاومت ظاهری به شته مومی انجام گرفت. از مجموع ۳۰۳۲ دانه‌ال، تعداد ۲۱۸ ژنوتیپ با قابلیت تکثیر رویشی آسان در شرایط خوابانیدن کپه‌ای و مقاومت ظاهری نسبت به شته مومی انتخاب شدند (غربال اولیه). جهت اطمینان بیشتر از سهل ریشه‌زا بودن نتاج در شرایط گلخانه با قلمه‌های خشبی و سیستم پاگرما (غربال ثانویه)، تعداد ۲۷ ژنوتیپ سهل ریشه‌زا با تعداد و طول ریشه و حجم کالوس‌زایی بیشتر، انتخاب شدند (Atashkar *et al.*, 2015). به‌منظور گروه‌بندی نتاج امید بخش سهل ریشه‌زای سیب به لحاظ قدرت رشد و انتخاب پایه یا پایه‌های پاکوتاه، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر روی گیاهان گلدانی یک‌ساله در گلخانه و آزمایشگاه پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی انجام گرفت. در این آزمایش از ۱۱ ژنوتیپ امیدبخش سهل ریشه‌زا حاصل از غربال‌گری مراحل اول و دوم شامل AR1 تا AR11 و پایه رویشی MM111 به‌عنوان شاهد استفاده شد (جدول ۱). برای این منظور در دی‌ماه، تعداد ۱۰ عدد قلمه به طول ۲۵ و قطر ۱/۵

ریشه‌های عمیق و ضخیم به گیاه اجازه می‌دهد که آب را از اعماق پایین جذب نمایند و مقاوم به خشکی شوند (Farooq *et al.*, 2009).

اولین مطالعه برای پیش‌بینی قدرت رشد نتاج حاصل از برنامه اصلاحی پایه سیب در سال ۱۹۴۰ با مطالعه ۸ ژنوتیپ پایه جدید به همراه پایه رویشی M9 به عنوان شاهد پاکوتاه و پایه رویشی M7 به عنوان شاهد نیمه پابلند با استفاده از صفات مربوط به ریشه شامل: نسبت پوست به چوب ریشه، فراوانی آوند چوبی، فیبر، بافت پارانشیم آوندی و اشعه آوندی انجام گرفت در این مطالعه پایه‌های پاکوتاه مشابه پایه رویشی M9 دارای اشعه آوندی و پارانشیم بیشتر و آوند چوب کمتری نسبت به پایه‌های پابلندتر بودند (Beakbane *et al.*, 1944). دلیل پاکوتاه‌کنندگی پایه‌های رویشی هلو به واسطه کوچک بودن آوندهای چوبی گزارش شده است (Bruckner *et al.*, 2014). گزینش نتاج پاکوتاه در جمعیت حاصل از دورگ گیری بین پایه پاکوتاه M9 و پایه پررشد روبوستا ۵ با استفاده از نشانگرهای مولکولی انجام شده است (Rushome *et al.*, 2008). اتکینسون و همکاران با بررسی هدایت هیدرولیکی محل پیوند در پایه‌های پاکوتاه کننده و پابلند نتیجه‌گیری کردند در پایه‌های پاکوتاه کننده هدایت هیدرولیکی کمتر از پایه‌های پر رشد بود (Atkinson *et al.*, 2003). بررسی قدرت رشد با استفاده از مقایسه صفات رویشی و نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره در نتاج اهمیت فراوانی دارد، در پایه‌های پاکوتاه کننده نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره از پایه‌های پابلند بیشتر است (Atkinson *et al.*, 2000). یکی از شاخص‌های پیش‌بینی قدرت رشد در جمعیت نتاج پایه‌های رویشی سیب تراکم روزنه‌ای برگ است. تراکم روزنه در پایه‌های مختلف متفاوت بوده و بستگی به ژنتیک رقم دارد، پایه‌های پر رشد دارای تعداد روزنه بیشتری در واحد سطح نسبت به پایه‌های پاکوتاه هستند (Pathak *et al.*, 1976; Beakbane *et al.*, 1975). مطالعه تراکم روزنه و صفات رویشی در ۱۵ گونه سیب کرب نشان داد، قدرت رشد و تراکم روزنه در گونه‌های مختلف متفاوت بود، اما بین تراکم روزنه و قدرت رشد پایه‌ها ارتباط مستقیم

کاتالوگ ذکر شده است. مطابق رابطه $۰/۱۶ = ۰/۰۲۵ \times ۶۴$ مساحت میدان دید $۰/۱۶$ میلی‌مترمربع می‌باشد. با قراردادن تعداد روزنه‌ها در سطح مذکور تعداد روزنه در یک میلی‌مترمربع محاسبه و در جدول‌ها وارد گردید. در پایان آزمایش و در مهرماه گیاهان با دقت از گلدان خارج شده و پس از شستشوی کامل ریشه با استفاده از خط‌کش، سطح گسترش طولی و افقی ریشه‌های هر یک از ژنوتیپ پایه‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک برگ و شاخساره‌های این ژنوتیپ‌ها با ترازوی دیجیتالی توزین شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌ها، طبق دستورالعمل (Liu *et al.*, 2011) نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس توزین شدند. در پایان آزمایش داده‌های ثبت‌شده با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.1) تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، ژنوتیپ پایه‌ها، بر اساس صفات رویشی شامل وزن تر و خشک برگ‌ها، سطح برگ، وزن مخصوص برگ، تعداد برگ نهایی، میزان افزایش تعداد برگ، تعداد روزنه، وزن تر و خشک اندام هوایی، درصد افزایش ارتفاع، وزن تر و خشک ریشه‌ها، عمق و سطح گسترش ریشه، تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ نشان دادند (جدول ۲).

سانتی‌متر از هر ژنوتیپ پایه تهیه و پس از تیمار با هورمون IBA با غلظت ۳۰۰۰ قسمت در میلیون در بستر پرلیت مجهز به پاگرما با دمای بستر ۲۱ درجه سانتی‌گراد ریشه‌دار شدند. قلمه‌های ریشه‌دار شده ۴۵ روز بعد به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر حاوی بستر کاشت (خاک‌برگ، خاک، ماسه‌بادی و پیت‌ماس به نسبت ۱:۱:۱) انتقال یافت. پس از سه ماه رشد در شرایط نرمال، میزان رشد در ابتدا و انتهای دوره آزمایش، طول و قطر گیاه توسط خط‌کش و کولیس اندازه‌گیری شد و پس از قراردادن داده‌ها در فرمول ذیل درصد رشد گیاهان محاسبه شد.

$$\text{رشد ابتدایی - رشد انتهایی} \times ۱۰۰ = \frac{\text{میزان رشد}}{\text{رشد انتهایی}}$$

با شمارش و تفاضل تعداد برگ در انتهای زمان آزمایش و شروع آزمایش نسبت برگ‌دهی در مدت زمان آزمایش و تعداد نهایی برگ‌ها محاسبه شد. سپس طول، عرض و سطح پهنک برگ از طریق عکس برداری از برگ‌ها و به‌کمک نرم‌افزار آنالیز تصویر (Image J، نسخه ۱.۳۲) اندازه‌گیری گردید. با تقسیم وزن خشک برگ به سطح برگ وزن مخصوص برگ محاسبه شد. برای اندازه‌گیری تراکم روزنه از هر گیاه تعداد سه برگ انتخاب (پنجمین برگ از نوک شاخه) و با استفاده از لاک ناخن شفاف از قسمت میانی سطح رویی وزیرین برگ اسلایدهایی برداشت گردید سپس با استفاده از میکروسکوپ نوری روی لام مدرج تعداد روزنه‌ها در میدان دید با لنز شماره ۴۰ شمارش گردید. در هر میدان دید ۶۴ مربع کوچک از لام مدرج (مساحت هر مربع کوچک $۰/۰۰۲۵$ میلی‌مترمربع) در

جدول ۱. ژنوتیپ پایه‌های سیب مورد مطالعه و والدین آن‌ها

Table 1. Genotype of studied apple rootstocks and their parents

Rootstock genotype	Maternal parent	Paternal parent	Seed number	Plantlet number	Selected progeny number (First stage)	Selected progeny number (Second stage)	Root number	Root length (cm)	Rooted section area (cm)
AR1	Azayesh (OP)	OP	4500	470	39	7	11.8	18.69	10
AR2	Azayesh (OP)	OP	1460	264	10	1	11.4	14.36	7.68
AR3	M9(OP)	OP	3300	800	25	1	10.83	21.5	7.66
AR4	M9(OP)	OP	4100	340	12	2	7.22	17	8.11
AR5	Azayesh	M ₉	350	52	9	2	9.9	16	9.2
AR6	Azayesh	M ₉	400	65	18	1	6.5	14.66	9.3
AR7	Azayesh	B ₉	320	46	10	2	7.3	13	10.3
AR8	Azayesh	B ₉	430	61	17	6	10.21	9.2	10.2
AR9	Azayesh	M ₂₇	1200	74	3	2	8.3	3.6	8
AR10	Azayesh	M ₂₇	140	27	3	1	8	10.63	9.54
AR11	Morabaei	M ₉	1375	104	4	2	20.2	15	9.4
MM111	Northrn spy	Merton ₇₉₃	-	--	-	-	19	14	8

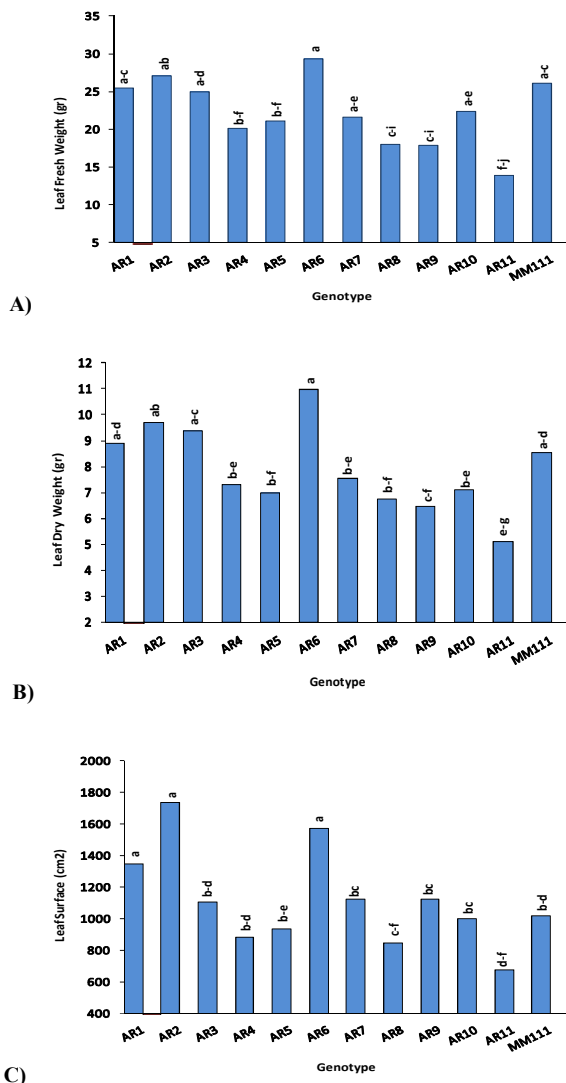
ژنوتیپ پایه‌های AR4، AR8 و AR11 در گروه سوم قرار گرفته است (شکل ۱-A، B، C).

میزان افزایش تعداد برگ (برگ‌دهی)

ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ میزان افزایش تعداد برگ در طول زمان اجرای آزمایش با هم تفاوت معنی‌داری داشتند، به طوری که بیشترین برگ‌دهی مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR2، AR6، MM111 با ۱۵، ۲۳، ۱۱/۶۶ در ژنوتیپ پایه‌های AR1، AR7، AR8، AR11 با ۲/۳۳، ۱/۳۳، ۵/۳۳، ۳/۶۶ برگ ثبت شد (شکل ۱-A-۲).

وزن تر و خشک و سطح برگ‌ها

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ وزن تر و خشک برگ‌ها تفاوت معنی‌داری با هم داشتند، ژنوتیپ پایه‌های AR1، AR2، AR3، AR6، AR7 و MM111 دارای بیشترین وزن تر و خشک کل برگ‌ها و ژنوتیپ پایه‌های AR5، AR9 و AR10 در گروه دوم و ژنوتیپ پایه‌های AR4، AR8 و AR11 در گروه سوم دارای کمترین وزن تر و خشک کل برگ‌ها بودند، بیشترین سطح برگ کل مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR2، AR1، AR9 و AR7، AR6 در گروه اول ژنوتیپ پایه‌های AR3، AR5، AR10 و MM111 در گروه دوم و



شکل ۱. مقایسه میانگین وزن تر برگ (A)، وزن خشک برگ (B) و سطح برگ (C) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب
 Figure 1. Mean comparison of leaf surface (A), final leaf number (B) and leaf production rate and leaf surface in different apple rootstock genotypes

صفات رویشی در ۱۵ گونه سیب کرب نشان داد، قدرت رشد و تراکم روزنه در گونه‌های مختلف متفاوت بود، اما بین تراکم روزنه و قدرت رشد پایه‌ها ارتباط مستقیم وجود نداشت (Sharma *et al.*, 1982).

وزن تر و خشک اندام هوایی (شاخساره)

ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ وزن تر ساقه و شاخه تفاوت معنی‌داری با هم نشان دادند، بیشترین وزن تر ساقه و شاخه مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR2, AR6, AR7, AR9 با ۳۰/۱۰، ۴۵/۱۳، ۳۸/۷۵، ۲۸/۶۳، ۴۴/۰۳ گرم و کمترین وزن تر ساقه و شاخه را ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR8, AR10, AR11 با ۱۹/۷۳، ۱۴/۵۶، ۱۹/۲۶، ۱۸/۰۵ گرم در بین ژنوتیپ پایه‌های سیب داشتند (شکل A-۵). ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ وزن خشک ساقه و شاخه تفاوت معنی‌داری با هم نشان می‌دهند. بیشترین وزن خشک ساقه و شاخه مربوط به ژنوتیپ پایه‌های سیب AR1, AR2, AR6, AR7, AR9 با ۱۴/۹۶، ۱۹/۷۸، ۲۲/۰۵، ۴۲/۸۳، ۲۲/۱۴ گرم و کمترین وزن خشک ساقه و شاخه مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR8, AR10, AR11 با ۸/۵۸، ۹/۶۳، ۹/۶۶، ۷/۵۲ گرم بوده است (شکل B-۵). رشد گیاه ناشی از اثرات متقابل فرایندهای درونی گیاه از قبیل فتوسنتز، تنفس، انتقال، روابط آبی، میزان تورژانس و تعادل عناصر غذایی می‌باشد (Taiz *et al.*, 2006). سطح سبز به عنوان مهمترین معیار قدرت رشد در پایه‌های سیب رصد می‌شود. بهترین شاخص برای پیش‌بینی قدرت رشد پایه‌ها، وزن خشک برگ ژنوتیپ پایه‌ها است، ژنوتیپ پایه‌هایی دارای سطح برگ بیشتر جزء پایه‌های پررشد و ژنوتیپ پایه‌های با سطح برگ کمتر، جزء پایه‌های پاکوتاه طبقه‌بندی می‌شوند (Miller *et al.*, 1977). در این پژوهش نیز ژنوتیپ پایه‌ها به لحاظ سطح برگ، نسبت برگ‌دهی، تعداد برگ نهایی، وزن تر و خشک برگ‌ها و ضخامت برگ (وزن مخصوص)، سرعت رشد و بیوماس تولیدی و نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره تفاوت معنی‌داری نشان دادند. گرچه ضخامت برگ به عنوان معیار قدرت رشد ارزیابی نمی‌شود، اما صفت مهمی در تحمل به خشکی پایه‌ها می‌باشد. افزایش سرعت رشد و تولید بیوماس بیشتر حاصل سطح سبز بزرگ‌تر، فتوسنتز

تعداد برگ نهایی

ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR2, AR6, AR7 به ترتیب با ۶۷/۳۳، ۷۵/۶۶، ۷۰/۳۳ و ۷۳/۶۶ برگ دارای بیشترین تعداد برگ و ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR4, AR5, AR8, AR10, AR11, MM111 با ۳۲/۱۶، ۴۶، ۳۸/۶۰، ۳۳/۳۳، ۳۶/۶۶، ۳۳/۶۶، ۳۲/۶۳ برگ به ترتیب دارای کمترین تعداد برگ بود (شکل B-۲).

وزن مخصوص برگ (میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع)

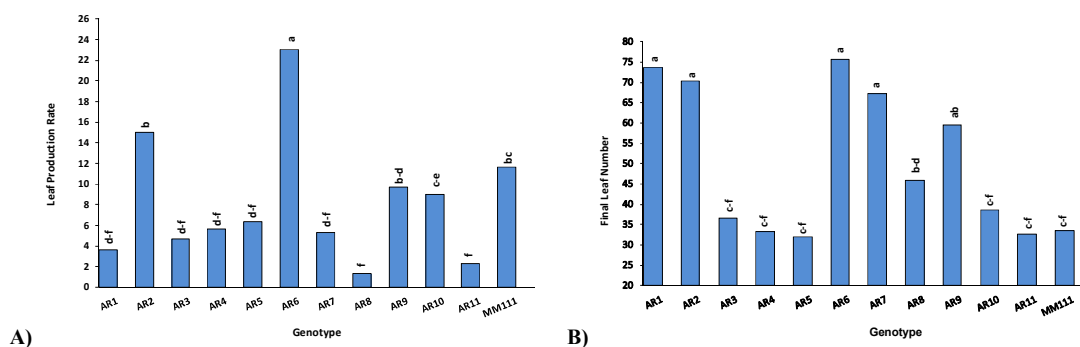
ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR4, AR10, AR11 و MM111 دارای بیشترین وزن مخصوص برگ در گروه اول، ژنوتیپ پایه‌های AR5 و AR8 در گروه دوم و ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR2, AR6, AR7 و AR9 با کمترین وزن مخصوص برگ در گروه سوم قرار گرفتند (شکل A-۳).

تراکم روزنه (در سطح ۱ میلی‌متر مربع)

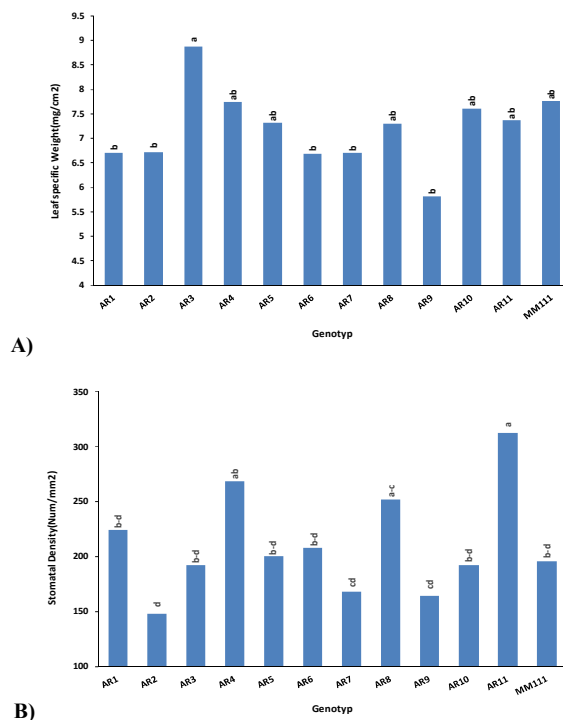
ژنوتیپ پایه‌های AR8, AR4, AR11 به ترتیب با ۳۱۲، ۲۶۸، ۲۵۲ روزنه در میلی‌متر مربع دارای بیشترین تراکم روزنه سطح زیرین برگ در گروه اول، ژنوتیپ پایه‌های AR10, AR3, AR5, AR6, AR1 به ترتیب با ۲۲۴، ۲۰۸، ۲۰۰، ۱۹۶، ۱۹۲ روزنه در میلی‌متر مربع در گروه دوم و ژنوتیپ پایه‌های AR7, AR6, AR9 به ترتیب با ۱۶۸، ۱۶۴، ۱۴۸ روزنه در میلی‌متر مربع در گروه سوم قرار گرفتند (شکل‌های B-۳ و ۴). یکی از شاخص‌های پیش‌بینی قدرت رشد در جمعیت نتاج پایه‌های رویشی سیب تراکم روزنه‌ای برگ است. تراکم روزنه سطح زیرین برگ در پایه‌های مختلف متفاوت بوده و بستگی به ژنتیک رقم دارد (Pathak *et al.*, 1976; Beakbane *et al.*, 1975). ژنوتیپ پایه‌های مورد بررسی به لحاظ تراکم روزنه در سطح زیرین برگ تفاوت معنی‌داری نشان دادند، ژنوتیپ‌هایی که به لحاظ سطح برگ، سرعت رشد و بیوماس در گروه ژنوتیپ‌های پررشد قرار گرفتند یعنی AR1, AR3, AR6, AR7, AR9 دارای کمترین تراکم روزنه و ژنوتیپ‌های کم‌رشد AR4, AR8, AR11 دارای بیشترین تراکم روزنه‌ای بودند. مقایسه نتایج این پژوهش با سایر پژوهش‌ها که نشان می‌دهد تراکم روزنه‌ای با قدرت رشد پایه رابطه مستقیم ندارد هماهنگی دارد. مطالعه تراکم روزنه و

نتایج به دست آمده از سایر پژوهش ها نیز نشان داد در ژنوتیپ پایه های پر رشد با سطح برگ بزرگتر، فتوسنتز، تبادلات گازی و تعرق نسبت به سایر ژنوتیپ پایه ها بیشتر است (Atashkar *et al.*, 2018). پایه های کم رشد در سیب نسبت به پایه های پر رشد از سطح برگ کمتری برخوردارند و در شرایط آبیاری یکسان پتانسیل آب برگ در پایه های پر رشد منفی تر از پایه های کم رشد است، زیرا با داشتن سطح برگ بیشتر دارای تعرق بیشتری نسبت به پایه های کم رشد می باشند (Alabasi *et al.*, 2016; Atkinson *et al.*, 2000).

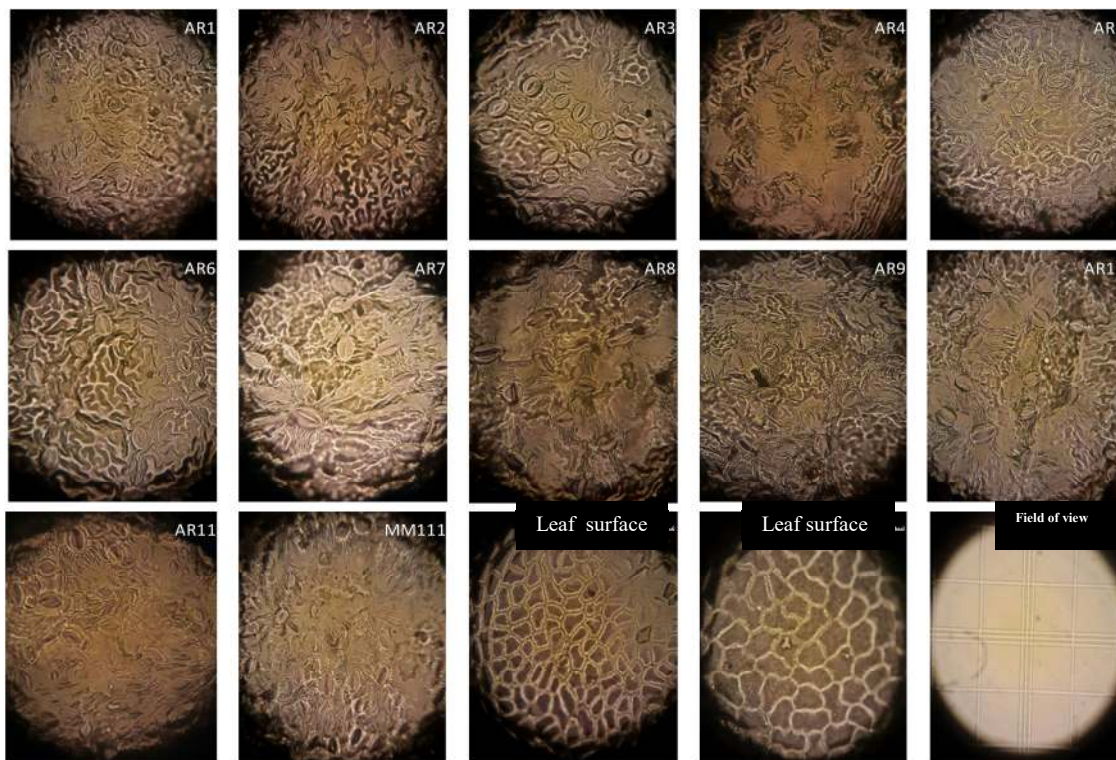
بیشتر و در نهایت قدرت رشد بیشتری می باشد. بر اساس سطح برگ، بیوماس و سرعت رشد ژنوتیپ پایه های مورد بررسی به سه دسته تقسیم شدند: ۱- ژنوتیپ های AR1, AR3, AR6, AR7, AR9 بیشترین سطح برگ بودند به تبع آن دارای بیشترین افزایش ارتفاع و وزن تر و خشک ساقه و شاخساره بودند، ۲- ژنوتیپ های AR4, AR8, AR11 دارای کمترین سطح برگ، افزایش ارتفاع و وزن تر و خشک ساقه و شاخساره بودند، ۳- ژنوتیپ های AR2, AR5, AR10, MM111 دارای مقدار متوسط سطح برگ، وزن تر و خشک ساقه و شاخساره و سرعت رشد بودند.



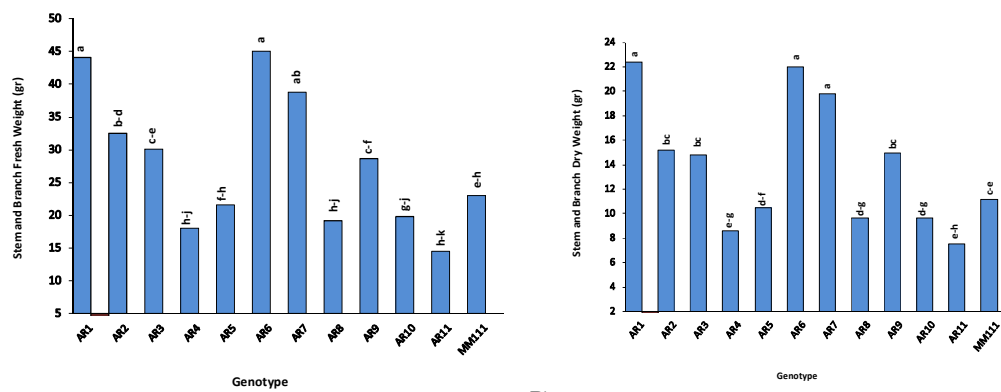
شکل ۲. مقایسه میانگین نسبت برگ دهی (A) و تعداد برگ نهایی (B) ژنوتیپ پایه های مختلف سیب
Figure 2. Mean comparison of leaf production rate (A) final leaf number (B) in different apple rootstock genotypes



شکل ۳. مقایسه میانگین وزن مخصوص (A) و تراکم روزنه در سطح زیرین برگ (B) ژنوتیپ پایه های مختلف سیب
Figure 3. Mean comparison of leaf specific weight (A) stomatal density (B) in different apple rootstock genotypes



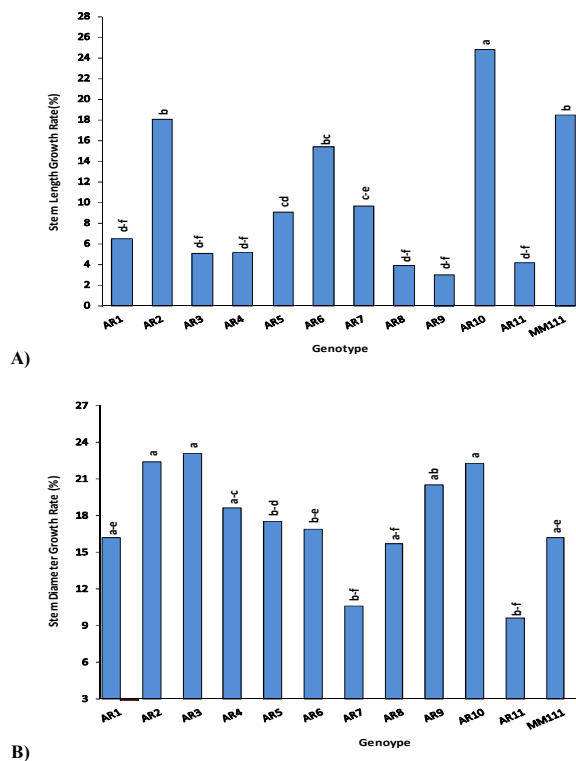
شکل ۴. تراکم روزنه در سطح زیرین برگ ژنوتیپ پایه‌های سیب، اپیدرم رویی برگ فاقد روزنه و میدان دید میکروسکوپ (۰/۰۱۶mm²)
 Figure 4. Stomatal density on the underside of leaf of apple rootstocks genotype, upper leaves epidermis without stomata and field of view of microscope (0.016 mm²)



شکل ۵. مقایسه میانگین وزن تر ساقه و شاخه (A) و وزن خشک ساقه و شاخه (B) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب
 Figure 5. Mean comparison of stem and branch fresh weight (A), stem and branch dry weight (B) in different apple rootstock genotypes

نسبت افزایش ارتفاع و قطر تنه AR3, AR8, AR9, با ۲، ۳/۴، ۳/۹۵، ۵/۱۸، ۵/۰۶ درصد بود. ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ نسبت افزایش قطر تنه در طول زمان اجرای آزمایش با همدیگر تفاوت معنی‌داری نشان ندادند، اما بیشترین افزایش قطر ساقه مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR2, AR10 و AR9 و کمترین افزایش قطر در ژنوتیپ پایه‌های AR7, AR1 و AR11 ثبت گردید (شکل A-۶).

نسبت افزایش ارتفاع و قطر تنه ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ نسبت ۴ افزایش ارتفاع در طول زمان اجرای آزمایش با هم تفاوت معنی‌داری نشان دادند، به طوری که بیشترین نسبت افزایش ارتفاع در ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR6, AR10, MM111 با ۱۸/۵۰، ۲۴/۸۴، ۱۵/۴۰، ۱۸/۶ درصد و کمترین نسبت افزایش ارتفاع مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR11



شکل ۶. مقایسه میانگین نسبت افزایش ارتفاع (A) و نسبت افزایش قطر تنه (B) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب
Figure 6. Mean comparison of stem length growth rate (A), stem diameter growth rate (B) in different apple rootstock genotypes

پایه‌های AR1, AR4, AR5, AR10 با ۶۶/۶۲، ۶۷/۷۶، ۵۰/۷۰، ۷۰ سانتی‌متر و کمترین گسترش عمودی ریشه‌ها در ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR3, AR8 با ۴۸، ۵۱/۰۶ و ۴۵/۱۰ سانتی‌متر بود (شکل A-۸).

گسترش افقی ریشه

گسترش رشد طولی ریشه در ژنوتیپ پایه‌های سیب با گسترش افقی در آن‌ها رابطه عکس داشت، در ژنوتیپ پایه‌هایی که دارای حداکثر رشد طولی بودند، گسترش افقی در آن‌ها اندک بود، ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR4, AR5, AR10 که گسترش طولی بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها داشتند، گسترش افقی ریشه کمتری داشتند و ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR3, AR8 که گسترش طولی کمتری داشتند گسترش افقی بیشتری داشتند (شکل B-۸). مقایسه وزن تر و خشک و گسترش طولی و افقی ریشه در ژنوتیپ پایه‌های مختلف نشان داد که بین قدرت رشد پایه و صفات مربوط به رشد ریشه ارتباط مستقیمی و

وزن تر و خشک ریشه‌ها

ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ وزن تر ریشه با هم تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۲). بیشترین وزن تر ریشه در ژنوتیپ پایه‌ها AR1, AR2, AR7, AR9 با ۲۳/۳۸، ۹۶/۳۴، ۱۰/۳۵، ۱۵/۴۶ گرم و کمترین وزن تر ریشه در ژنوتیپ پایه‌های AR3, MM111 با ۲۵/۲۴، ۵۸/۸۰، ۴۳/۲۳، ۲۵/۲۴ گرم ثبت گردید (شکل A-۷). ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ وزن خشک ریشه نیز تفاوت معنی‌داری با هم داشته‌اند. بیشترین وزن خشک ریشه در ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR7, AR9 با ۵۰/۸، ۷۵/۷، ۹۸/۱۰ گرم و کمترین وزن خشک ریشه در ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR4 با ۱۱/۵، ۴۸/۴، ۲۰/۵ گرم بود (شکل B-۷).

گسترش عمودی ریشه

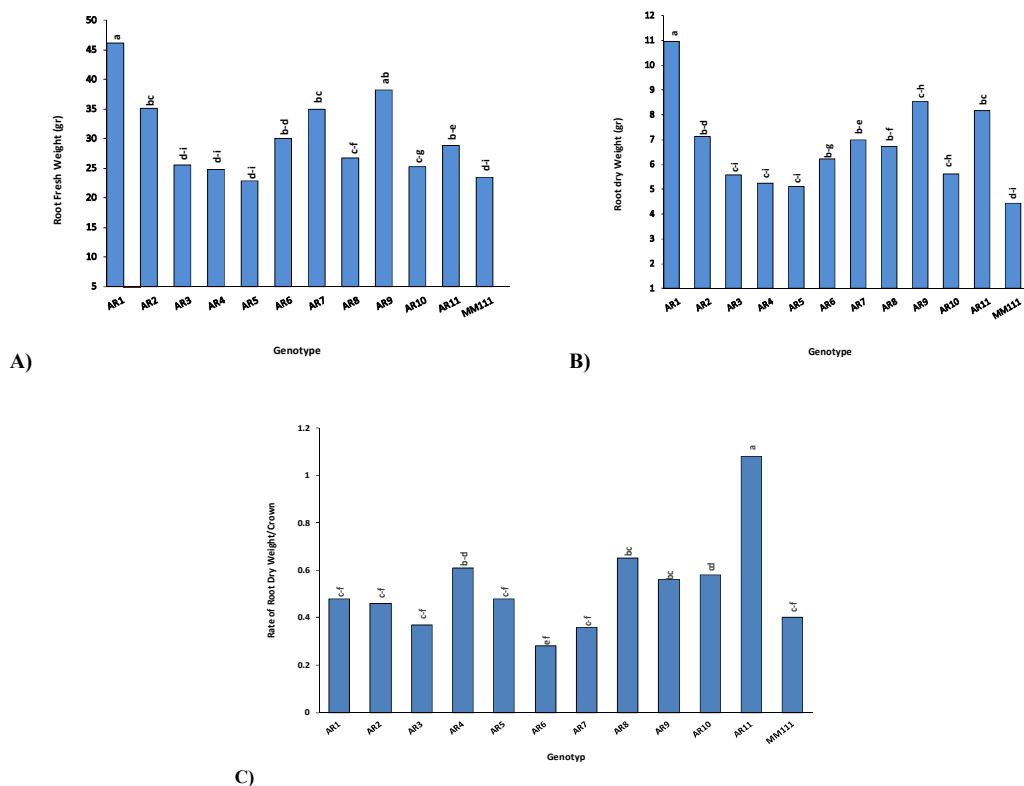
ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ گسترش عمودی ریشه‌ها با هم تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۲). بیشترین گسترش عمودی ریشه‌ها مربوط به ژنوتیپ

(جدول ۲). بیشترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR8, AR10, AR11 با ۰/۹۷، ۰/۷۱، ۰/۵۷ و کمترین آن در ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR6, AR7 با ۰/۳۲، ۰/۲۵، ۰/۳۰ بود (شکل ۷-د). بررسی قدرت رشد با استفاده از مقایسه نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره در نتایج اهمیت فراوانی دارد، در این پژوهش ژنوتیپ پایه‌های کم‌رشد AR4, AR8, AR11 بیشترین و ژنوتیپ پایه‌های پررشد AR1, AR3, AR6, AR7, AR9 کمترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره نشان دادند. نتیجه قابل توجه این که ژنوتیپ پایه‌های کم‌رشد دارای بیشترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره و ژنوتیپ پایه‌های پررشد دارای کمترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره بودند. نتایج سایر بررسی‌ها نیز نشان داده است که در پایه‌های پاکوتاه‌کننده نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره از پایه‌های پابلند بیشتر است (Atkinson et al., 2000).

جود ندارد. با وجود این که پایه‌های AR3, MM111 جزو پایه‌های با بیوماس بیشتر و پررشد تقسیم بندی شدند، اما نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها، کمترین وزن تر و خشک ریشه را نشان دادند. همین‌طور ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR4, AR5, AR10 که به لحاظ قدرت رشد در درجات متفاوتی قرار دارند، دارای بیشترین گسترش طولی ریشه بودند. گسترش طولی ریشه با گسترش افقی در پایه‌ها رابطه عکس داشت، ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR4, AR5, AR10 که گسترش طولی ریشه بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها داشتند، گسترش افقی ریشه کمتری داشتند و ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR3, AR8 که گسترش طولی کمتری داشتند گسترش افقی بیشتری داشتند.

نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره

ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره با هم تفاوت معنی‌داری داشتند



شکل ۷. مقایسه میانگین وزن تر ریشه (A)، وزن خشک ریشه (B) و نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره (C) در ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب

Figure 7. Mean comparison of root fresh weight (A) root dry weight (B), and Rate of root dry weight to crown in different apple rootstock genotypes

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های رویشی ۱۲ ژنوتیپ پایه سیب

Table 2. Results of variance analysis of vegetative characteristic of apple rootstocks genotypes

Source of variation	df	Mean of squares								
		Stem and branch dry weight	Stem and branch fresh weight	Leaf specific weight	Stomatal density	Leaf production rate	Final leaf number	Leaf surface	Leaf dry weight	Leaf fresh weight
Rootstock	11	106.85**	426.89**	3.96**	1.07**	8.28**	1287.57**	331382.30**	12.51**	86.89**
Rep	2	1.36 ^{ns}	6.90 ^{ns}	0.85 ^{ns}	0.23 ^{ns}	14.35 ^{ns}	66.93 ^{ns}	17612.28 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.51 ^{ns}
Error	46	41.5	19.03	0.69	0.001	3.19	92.51	50706.5	2.55	18.41
C.V. (%)		20.46	18.97	11.09	9.1	19.05	21.68	24.14	23.50	22.83

*, **, ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly difference at 5 and 1% of probability levels, and non-significant, respectively.

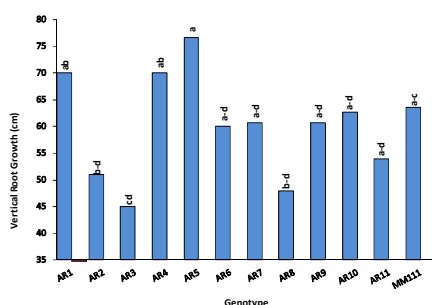
ادامه جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های رویشی ۱۲ ژنوتیپ پایه سیب

Continued table 2. Results of variance analysis of vegetative characteristic of apple rootstocks genotypes

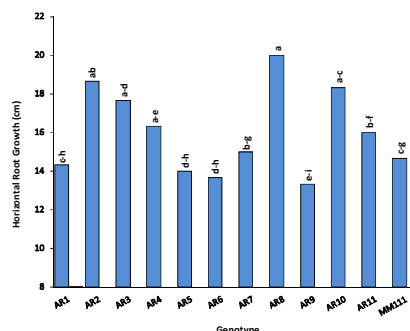
Source of variation	df	Mean of squares						
		Vertical root growth	Horizontal root growth	Root fresh weight	Root dry weight	Rate of Root/Crown	Stem length growth rate	Stem diameter growth rate
Rootstock	11	349.58**	7.69 ^{ns}	142.70**	6.74**	0.225**	8.68**	32.24 ^{ns}
Rep	2	209.26 ^{ns}	14.88 ^{ns}	86.04 ^{ns}	7.42 ^{ns}	0.016 ^{ns}	20.67 ^{ns}	0.063 ^{ns}
Error	46	142.71	4.42	34.36	2.36	0.021	0.66	0.85
C.V.(%)		21.74	14.99	24.99	29.95	29.06	21.97	27.48

*, **, ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly difference at 5 and 1% of probability levels, and non-significant, respectively.



A)



B)

شکل ۸. مقایسه میانگین گسترش طولی ریشه (A) و گسترش افقی ریشه‌ها (B) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب

Figure 8. Mean comparison of root vertical growth (A) root horizontal growth (B) in different apple rootstock genotypes

نتیجه‌گیری کلی
صفات رویشی مربوط به بیوماس خارج از خاک ژنوتیپ‌ها معیار قابل توجهی برای مقایسه قدرت رشد در پایه‌ها محسوب می‌شود، زیرا سرعت رشد گیاهان با میزان بیوماس تولیدی هماهنگی مناسبی نشان داد. ژنوتیپ پایه‌های مورد مطالعه به لحاظ بیوماس تولیدی و قدرت رشد به سه دسته کلی تقسیم شدند: ۱- ژنوتیپ پایه‌های کم‌رشد (پاکوتاه) AR4, AR8 که دارای کمترین بیوماس و کمترین سرعت رشد، ۲- ژنوتیپ پایه‌های پر رشد AR1, AR3, AR6, AR7, AR9 دارای بیشترین بیوماس، بیشترین سرعت رشد، ۳- ژنوتیپ پایه‌های متوسط رشد AR2, AR5

AR10, MM111 دارای مقدار متوسط بیوماس و سرعت رشد بودند. بیوماس داخل خاک در پایه‌ها با قدرت رشد آنها رابطه مستقیمی نداشت، اما نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره با قدرت رشد در ژنوتیپ‌ها نسبت عکس دارد، ژنوتیپ پایه‌های کم‌رشد بیشترین و ژنوتیپ پایه‌های پر رشد کمترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره را داشتند. گسترش رشد طولی ریشه در ژنوتیپ پایه‌های سیب با قدرت رشد پایه‌ها ارتباط مستقیمی نداشت، اما با گسترش افقی ریشه در آنها رابطه عکس داشت، ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR4, AR5, AR10 که گسترش طولی ریشه بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها

رویشی سیب، دارای قدرت رشد متفاوتی بوده و ارزیابی قدرت رشد در آنها با استفاده از صفات رویشی و تراکم روزه در واحد سطح زیرین برگ امکان پذیر می‌باشد، اما برای اطمینان کامل و تکمیل شناسنامه تحقیقاتی در آنها مطالعه تکمیلی با استفاده از پیوند یک رقم مشخص سیب روی این ژنوتیپ‌ها به همراه پایه‌های رویشی تجارتي شاهد و ارزیابی درختان حاصله در باغ مفید خواهد بود.

داشتند، گسترش افقی ریشه کمتری داشتند و ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR3, AR8 که گسترش طولی کمتری داشتند گسترش افقی بیشتری داشتند. تراکم روزه در برگ با قدرت رشد رابطه عکس نشان داد، ژنوتیپ پایه‌های پر رشد دارای تراکم کم و ژنوتیپ پایه‌های کم‌رشد دارای بیشترین تراکم روزه در واحد سطح بودند. بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد که نتایج امید بخش حاصل از برنامه اصلاح پایه‌های

REFERENCES

1. AL-Abasi, K.M. & Archbol, D. (2016). Apple tree responses to deficit irrigation combined with periodic applications of particle film or abscisic acid. *Horticulture*, 2(16), 2-12.
2. Atashkar, D., Pirkhezri, M. & Taghizadeh, A. (2015). Production and primary evaluation of apple (*Malus domestica* Borkh.) hybrid rootstocks. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 47(2), 329-335. (in Farsi)
3. Atashkar, D., Ershadi, A., Abdollahi, H. & Taheri, M. (2019). Screening for drought tolerance in some hybrid apple rootstocks based on photosynthesis characteristics. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 49(4), 1013-1024. (in Farsi)
4. Atkinson, C.J., Policarpo, M., Webster, A.D. & Kingswell, G. (2000). Drought tolerance of clonal *Malus* determined from measurements of stomatal conductance and leaf water potential. *Tree Physiology*, 20, 557-563.
5. Atkinson, C.J., Else, M. A., Taylor, L. & Dover, C.J. (2003). Root and stem hydraulic conductivity as determinants of growth potential in garted trees of apple (*Malus Pumila* Mill). *Journal of Experimental Botany*, 54(385), 1221-1229.
6. Beakbane, A.B. & Thompson, E.C. (1944). Anatomical studies of stems and roots of hardy fruit trees II. The internal structure of the roots of some vigorous and some dwarfing apple rootstocks, and correlation of structure with vigour. *Journal of Pomology and Horticultural Science*, 141-149.
7. Beakbane, A.B. & Majumder, P. K. (1975). A relationship between stomatal density and growth potential in apple rootstocks. *Journal of Horticultural Science*, 50(4), 285-289.
8. Bruckner, C. H. & Dejong, T. M. (2014). Proposed pre-selection method for identification of dwarfing peach rootstocks based on rapid shoot xylem vessel analysis. *Scintia Horticulturae*, 165, 404-409.
9. Eleveling, D.C., Schechter, I. & Hutchinson, A. (1993). The history of the Vineland (v.) apple rootstocks. *Fruit Varieties Journal*, 47, 52-59.
10. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212.
11. Fisher, M. (1996). Semi dwarf apple rootstock from dersen-pilinitz. Eucapia symposium on fruit breeding and genetics. *Acta Horticulturae*, 484, 183-187.
12. Granger, R.L., Rousselle, G.L., Meheriuk, M. & Quamme, H.A. (1991). Promising winter hardy apple rootstocks from a breeding program at Morden, Manitoba. *Fruit Varieties Journal (USA)*, 45, 185-187.
13. Jakubowski, T. (1996). Preliminary evaluation of new apple rootstocks clones. In *Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics* 484. (pp. 97-100).
14. Jakubowski, T. & Zagaja, S.W. (2003). 45 years of apple rootstock breeding in poland. *Fruit Varieties Journal*, 47, 137-142.
15. James, N.C. & Aldwinckle, H. (1983). Breeding Rootstocks, *Plant Breeding Reviews*, 1, 295-394.
16. Janick, J., Cummins, J.H., Brown, S.K. & Hemmat, M. (1996). *Temperate Fruit Crop Breeding, Apples*. pp: 1-77
17. Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. & Nabati, J. (2010). *Physiology of environmental stresses in plants*. Mashhad Daneshgahei Jihad Publications. 502. (in Farsi).
18. Khanizadeh, S., Groleau, Y., Granger, R., Cousineau, J. & Rousselle, G.L. (2000). New hardy rootstock from the Quebec apple breeding program. *Acta Horticulturae*, 2, 719-721.
19. Khanizadeh, S., Groleau, Y., Lévasseur, A., Granger, R., Rousselle, G.L. & Davidson, C. (2005). Development and evaluation of St Jean-Morden apple rootstock series. *HortScience*, 40, 521-522.

20. Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y. & Yang, R. (2011). Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Botany*, 71(2), 174-183.
21. Miller, S. R. (1977). Selection criteria in the seedling stage for predicting apple rootstock vigor. *Canadian Journal of Plant Science*, 57(3), 667-674.
22. Pathak, R. K., Pandey, D. & Pandey, V.S. (1976). Stomatal distribution as an index for predicting the growth potential of apple stocks. *Journal of Horticultural Science*, 51(3), 429-431.
23. Radnia, H. (1997). *Rootstocks for fruit crops*. Nashr Amouzsh Keshavrzi, pp. 637. (in Farsi)
24. Roy C. R, Robert F. C. (1987). *Rootstocks for fruit crops*. Wiley, New York. Apple Rootstocks. 604p.
25. Sharma, D.P., Sharma, Y.D. & Rana, H.S. (1982). Stomatal and tree growth characteristics of some crab apples. *Scientia Horticulturae*, (17), 327-331.
26. Soejima, J., Bessho, H., Komori, S. & Tsuchiya, S. (1996). New apple rootstocks, ARM 1, ARM 7 and ARM 8. In *Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics* 484. (pp. 217-220).
27. Pilcher, R. R., Celton, J. M., Gardiner, S. E. & Tustin, D. S. (2008). Genetic markers linked to the dwarfing trait of apple rootstock 'Malling 9'. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(1), 100-106.
28. Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology*. (4th Ed.). Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts.
29. Webster, T., Tobutt, K., & Evans, K. (2000). Breeding and evaluation of new rootstocks for apple, pear and sweet cherry. *Compact Fruit Tree*, 33(4), 100-104.
30. Univer, T. (2000). *The breeding of af apple rootstocks in Estonia*. Transactions of the Estonia Agricultural University. 208p.
31. Webster, T. (2002). Dwarfing rootstocks: Past, present and future. 45th Annual IDFTA Conference, *The Compact Fruit Tree*, 35:67-72.
32. William, C. Johnson. (2000). Methods and results of screening for disease and insect apple rootstocks. *The Compact Fruit Tree*, 33, 108-111
33. Zagaja, S. W., Jakubowski, T., Pieklo, A. & Przybyla, A. (1989). Preliminary evaluation of new clones of apple rootstocks. *Fruit Science Reports*, 16(4), 205-213.