پژوهش در علوم باغبانی
جلد۱ شماره ۱ بهار و تابستان ۱۴۰۱ (ص۲۶-۱۱)
Journal of Reserch in Horticultural Science
Vol. 1, No.1 spring and summer 2022 (11-26)
تارنمای مجله: https://rhsj.areeo.ac.ir

تاثیر تنش خشکی بر رشد رویشی برخی از پایه‌های هیبرید انتخابی سیب

داریوش آتشکار[۱]

۱- استادیار پژوهش پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری- موسسه تحقیقات علوم باغبانی- سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

چکیده

به‌منظور ارزیابی تحمل به خشکی برخی پایه‌های رویشی هیبرید سیب، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۱ ژنوتیپ پایه رویشی حاصل از برنامه اصلاح پایه‌های سیب شامل AR1 تا AR11 به‌همراه پایه MM111 به‌عنوان شاهد متحمل در دو تیمار آبیاری ۴۰ و ۸۰ درصد آب قابل استفاده در خاک اجرا شد. برای محاسبه میزان رشد، طول و قطر گیاه، طول، عرض و سطح پهنک برگ، تعداد برگ، طول و عرض ریشه، وزن‌تر و خشک ریشه، ساقه و برگ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد سطوح متغیرهای مورد بررسی رشد رویشی تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت و در ژنوتیپ پایه‌های مختلف سطح کاهش متفاوت بود. ژنوتیپ پایه‌های کم رشد AR8، AR4و AR11 در مقایسه با ژنوتیپ پایه‌های پر رشد AR7،AR6،AR3 ، AR1و AR9 و رشد متوسط AR10،AR5،AR2 و MM111 کاهش رشد بیش‌تری نشان دادند و با شدت بیش‌تری تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفتند. الگوی رشد ریشه تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت. ژنوتیپ پایه‌های AR8، AR3،AR2 که در شرایط آبیاری شاهد دارای حداکثر رشد افقی ریشه بودند تحت تنش خشکی دچارکاهش شدید شدند. از طرفی تجمع ماده خشک به‌عنوان شاخص تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ پایه‌های متوسط رشد شامل AR10،AR5 و MM111 بیش‌تر بود.

واژگان کلیدی: برگ، تنش خشکی، ریشه، ژنوتیپ پایه، سیب.

The effect of drought stress on vegetative growth of some rootstocks of selected apple hybrid

Dariush Atashkar

Assistant profesor of Horticulture Department Temperate Fruits Research Center,Horticultural sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extention(AREEO),

Abstract

In order to evaluate the drought tolerance of some rootstocks of apple hybrid, a factorial experiment in a randomized complete block design with 11 vegetative rootstock genotypes obtained from apple rootstocks breeding program, including AR1 to AR11 with MM111 rootstock as a tolerant control in 40 and 80% field capacity was carried out. To calculate the growth rate, the characteristics of plant length and diameter, leaf length, width and leaf area, number of leaves, root length and width, fresh and dry weights of root, stem, and leaf were measured. The results showed that the levels of variables of vegetative growth decreased under drought stress and reduction rates were different in genotypes with different rootstocks. Dwarf genotypes (AR4, AR8, and AR11) showed more growth compared to vigouroes genotypes (AR1, AR3, AR6, AR7, and AR9), and medium growth (AR2, AR5, AR10, and MM111). They were affected by drought stress. Root growth pattern was affected by drought stress. Genotypes AR2, AR3, and AR8, which had maximum horizontal root growth under control irrigation conditions, were severely reduced under drought stress. On the other hand, total dry matter as an index of drought tolerance was higher in the genotype of medium growth rootstocks, including AR5, AR10, MM111.

Keywords: Apple, Drough stress, Leaf, Root, Rootstock genotype.

نگارنده مسئول: datashkar2002@yahoo.com

۱- مقدمه

در مناطق پرورش سیب کشور، تنش خشکی بیش‌ترین شیوع را در میان انواع تنش‌های محیطی به خود اختصاص داده است. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که گیاهان در طول دوران رشد ونمو با آن مواجهه می‌شوند (Sircelj *et al.,* 2007). تنش خشکی به‌واسطه کاهش فرایند فتوسنتز، کاهش سطح برگ و سبزینه آن و در نهایت کاهش تولید ماده خشک، عملکرد گیاه را به‌شدت کاهش می‌دهد (Wahid and Rasol, 2005) .در گیاهان تحت تنش خشکی، سلول‌ها کوچک‌تر شده، برگ‌ها کم‌تر توسعه پیداکرده و عملکرد ماده خشک به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Salisbury and Ross, 1992). با بررسی تشریحی مزوفیل ارقام سیب مشخص شد دسته‌جات آوندی مزوفیل ارقام متحمل به خشکی سیب مانند رقم مربایی نسبت به رقم حساس گلدن دلیشز بسیار منظم، متراکم، بدون فضاهای بین‌سلولی و با اندازه کوچک‌تر بود (Hajnajari *et al,.* 2019). رشد سلولی یکی از حساس‌ترین مراحل فیزیولوژیکی گیاه است که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، زیرا تنش خشکی باعث کاهش فشار تورژسانس سلول می‌شود. تحت تأثیر تنش شدید خشکی فرآیند تقسیم سلولی نیز به‌دلیل محدودیت جریان آب به درون سلول کند و محدود می‌شود. بنابراین به دنبال افت فعالیت‌های زیستی مانند تقسیم میتوزی، طویل‌شدن سلول و رشد آن، درنتیجه کاهش ارتفاع گیاه، سطح برگ، سبزینه، کاهش فرایند فتوسنتز و در نهایت کاهش تولید ماده خشک، عملکرد گیاه به‌شدت کاهش می‌یابد (Wahid and Rasol, 2005). در سطح مرفولوژیک شاخه، برگ و ریشه بیش‌تر از سایر اندام‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و به‌عنوان اجزای کلیدی برای سازگاری گیاه به تنش عمل می‌کنند (Sircelj *et al.,* 2007). نتایج حاصل از بررسی صفات مرفولوژیک رقم حساس به خشکی گلدن دلیشز و رقم متحمل رد دلیشز در کلکسیون ارقام تجاری سیب نشان داد بین کاهش سطح کل فتوسنتزکننده و تحمل به خشکی همبستگی مثبتی وجود دارد. رقم متحمل "رد دلیشز" با فعال شدن ساز و کار دفاعی زیستی دارای ارتفاع، سطح سایه‌گستر، محیط تنه، سطح پهنک (شاخص سطح برگ)، سطح کلروفیل کل، عرض برگ کم‌تر و طول میان‌گره کوتاه‌تری در مقایسه با "گلدن دلیشز" حساس بود. به‌علاوه، طول برگ، طول و قطر دمبرگ، ضخامت شاخه یک‌ساله، کرک روی سطح پایینی پهنک برگ و کرک روی نیمه انتهایی شاخه یک‌ساله در رقم متحمل بیش‌تر از رقم حساس بود. این در حالی است که در شرایط معمول قدرت رشد "رد دلیشز" بیش‌تر از "گلدن دلیشز" است (Hajnajari *et al,.* 2019) به‌طورکلی، تنش خشکی در دوره رویشی باعث کوچک شدن برگ‌ها می‌شود. همچنین شاخص سطح برگ، دوره رسیدن محصول و میزان جذب نور توسط گیاه کاهش می‌یابد، برای تحمل به خشکی، گزینش گیاهان دارای سیستم ریشه‌ای عمیق و کارآمد در تحمل به خشکی اهمیت دارد. داشتن ریشه‌های عمیق و ضخیم به گیاه اجازه می‌دهد که بتواند از اعماق پایین آب جذب نمایند و مقاوم به خشکی شوند (Farooq *et al.,* 2009). از معیارهای اصلی در اصلاح پایه‌های رویشی سیب، بهبود ویژگی‌های خزانه‌ای، باغی و تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده است (Zagaja *et al.,*1989; Wil-liam 2000). بهترین راه کار برای مقابله با خاک‌های خشک و آهکی استفاده از پایه‌های متحمل است (Tony *et al.,* 2000). شناخت ساز وکارهای مقاومت برای گزینش پایه‌های سیب متحمل به تنش خشکی اهمیت فراوانی دارد پایه‌های متحمل می‌توانند

تحمل به تنش خشکی را به رقم پیوندک انتقال دهند (Jurga and Kviklys, 2006). بررسی تأثیر تنش خشکی بر سیب رقم امپریال گالا روی سه‌پایه رویشی M9EMLA، Mark و MM111 نشان داد که بیش‌ترین کاهش زیست‌توده مربوط به پایه Mark با ۳۴ درصد کاهش و کم‌ترین کاهش بیوماس در پایه M9EMLA با ۱۶ درصد کاهش ثبت شد. بر این اساس پایه M9 به‌عنوان پایه متحمل به تنش خشکی گزارش شد (Fernandez *et al.,* 1997). در بررسی تأثیر تنش خشکی بر زیست‌توده کل ۱۰ نوع پایه رویشی سیب مشخص شد که واکنش پایه‌های مختلف نسبت به تنش خشکی متفاوت بود و پایه‌هایی که تحت تنش زیست‌توده کل بیش‌تری تولید کردند نسبت به تنش خشکی متحمل‌ترند. در بین پایه‌های مورد آزمایش پایه‌های B118، P22 و P60 و پایه بذری آنتونوکا نسبت به تنش خشکی مقاوم و پایه‌های M9، M26، P2و B396 حساس گزارش شدند (Jurga and Kviklys, 2006). بررسی واکنش پایه‌های رویشی سیب نسبت به تنش خشکی نشان داد که تحت تنش خشکی پایه‌های پر رشد پتانسیل آب برگ منفی‌تری نسبت به پایه‌های کم‌رشد داشتند و پایه‌هایی که با کاهش پتانسیل آب برگ روزنه‌ها را سریعاً می بندند تجمع ماده خشک بیش‌تری در ریشه داشتند (Bo-lat *et al.,* 2014). بررسی تحمل به خشکی برخی پایه‌های رویشی سیب نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش زیست‌توده کل در پایه‌های سیب در شرایط کم‌آبی شد ولی واکنش پایه‌ها نسبت به تنش خشکی متفاوت بود و پایه‌های بذری، گمی آلماسی و M9 مقاومت به خشکی بالاتری داشتند (Alizadeh *et al.,* 2011). این پژوهش در راستای برنامه اصلاح پایه‌های رویشی سیب در ایران برای بررسی میزان مقاومت به خشکی تعدادی از نتاج امیدبخش حاصل از این برنامه انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

به‌منظور غربال‌گری تعدادی از پایه‌های هیبرید سیب حاصل از برنامه به‌نژادی پایه‌های رویشی سیب در ایران (آتشکار و همکاران، ۱۳۹۵) و انتخاب پایه یا پایه‌های مقاوم یا متحمل به تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر گیاهان گلدانی یک‌ساله در گلخانه و آزمایشگاه پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی انجام گرفت. در این آزمایش از ۱۱ ژنوتیپ پایه هیبرید سیب شامل: AR1 تا AR11 و پایه رویشی MM111 به‌عنوان شاهد متحمل استفاده شد (جدول۱). برای این منظور در دی‌ماه، قلمه‌هایی به‌طول ۲۵ سانتی‌متر از این پایه‌ها تهیه و پس از تیمار با هورمون IBA با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در بستر پرلیت مجهز به پاگرما با دمای بستر ۲۱ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان ۴۵ روز ریشه‌دار شدند. قلمه‌های ریشه‌دار شده ۴۵ روز بعد به گلدان‌هایی با طول ۲۵ سانتی‌متر و قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر حاوی بستر کاشت (خاک‌برگ، خاک، ماسه‌بادی و پیت ماس به نسبت ۱:۱:۱:۱) انتقال داده شدند. پس از سه ماه رشد در شرایط نرمال، اعمال تنش خشکی روی گیاهان به طول ۶۰ سانتی‌متر و قطر ۱ سانتی‌متر با دو تیمار ۴۰ درصد (تنش خشکی) و ۸۰ درصد آب در دسترس خاک (شاهد) شروع شد (به‌این صورت که ابتدا در آزمایشگاه تحقیقات خاک و آب درصد رطوبت خاک در شرایط ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی تعیین شد و وزن گلدان‌ها در شرایط ظرفیت مزرعه با توجه به وزن و بافت خاک آنها مشخص شد. با محاسبه مقدار وزنی آب گلدان‌ها در شرایط ۴۰ و ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه، تیمارهای رطوبتی و وزن کل گلدان‌ها در هر یک از این تیمارها با ملاحظه وزن گلدان و نهال داخل آن تعیین شد. گلدان‌ها به‌صورت منظم توزین شده و منطبق با کاهش وزن آنها، مقدار آب لازم اضافه شد تا محتوی آب در خاک گلدان‌ها

جدول ۱- ژنوتیپ پایه‌های سیب موردمطالعه و والدین آن‌ها.

شجره نامه	والدین	ژنوتیپ پایه
حاصل از گرده افشانی آزاد رقم آزایش اصفهان	AZOP	AR1
حاصل از گرده افشانی آزاد رقم آزایش اصفهان	AZOP	AR2
حاصل از گرده افشانی آزاد پایه M9	M9OP	AR3
حاصل از گرده افشانی آزاد پایه M9	M9OP	AR4
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و M9 به‌عنوان پایه پدری	AZ×M9	AR5
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و M9 به‌عنوان پایه پدری	AZ×M9	AR6
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و B9 به‌عنوان پایه پدری	AZ×B9	AR7
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و B9 به‌عنوان پایه پدری	AZ×B9	AR8
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و M27 پایه پدری	AZ×M27	AR9
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و M27 پایه پدری	AZ×M27	AR10
هیبرید بین رقم مربایی به‌عنوان پایه مادری و M9 به‌عنوان پایه پدری	Morabaei×M9	AR11
هیبرید بین رقم Northrn spy به‌عنوان پایه مادری و Merton793 به‌عنوان پایه پدری (۱۹۲۰)	Northrn spy×Merton793	MM111

در تیمارهای مختلف ثابت باقی بماند.

تنش خشکی از اواسط تیر ماه شروع شده و به مدت دو ماه به‌طول انجامید. برای محاسبه میزان رشد در ابتدا و انتهای دوره تنش، طول و قطر گیاه توسط خط کش وکولیس اندازه‌گیری شد و درصد رشد گیاهان بر اساس فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{میزان رشد} = \frac{\text{رشد ابتدایی} - \text{رشد انتهایی}}{\text{رشد انتهایی}} \quad (۱)$$

طول، عرض و سطح پهنک برگ از طریق عکس‌برداری از برگ‌ها و به کمک نرم افزار آنالیز تصویر (Image J، نسخه ۱,۳۲ j) اندازه‌گیری شد. همچنین تعداد برگ‌های هر دانهال شمارش شد و سطح برگ کل گیاه محاسبه شد. در پایان آزمایش و در مهر ماه گیاهان با دقت از گلدان خارج شدند و برای محاسبه گسترش ریشه، طول و عرض سیستم ریشه‌ای، وزن‌تر و خشک ریشه، ساقه و برگ نیز اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌ها، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس توزین شدند. در پایان آزمایش، داده‌های ثبت شده با استفاده از نرم‌افزار(۹,۱) SAS تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- صفات رویشی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، صفات رویشی شامل سطح برگ، تعداد برگ نهایی، میزان افزایش تعداد برگ، درصد افزایش ارتفاع، درصد افزایش قطر تنه، وزن تر و خشک ریشه‌ها، عمق وگسترش ریشه به‌علاوه برخی متغیرهای زیست توده مانند وزن تر و خشک کل اندام هوایی، وزن تر و خشک برگ‌ها در بین نتاج هیبرید پایه تنی وناتنی، تنش خشکی و اثر متقابل ژنوتیپ‌های پایه رویشی و تنش خشکی اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد نشان دادند (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی روی برخی شاخص‌های رویشی ۱۲ ژنوتیپ پایه سیب.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن تر برگ ها	وزن خشک برگ ها	سطح برگ	تعداد برگ نهایی	میزان افزایش تعداد برگ	وزن تر ساقه و شاخه	وزن خشک ساقه و شاخه
پایه	۱۱	۸۶/۸۹**	۱۲/۵۱**	۳۳۱۳۸۲/۳۰**	۱۲۸۷/۵۷**	۲۸۸/**	۴۲۶/۸۹**	۱۰۶/۸۵**
سطح تنش	۱	۹۰۳/۹۰**	۸۷/۹۵**	۲۳۸۸۵۳/۵۳**	۲۲۶۶/۸۸**	۴۵۲۱/**	۱۷۶۷/۱۵**	۴۴۱/۰۴**
سطح تنش×پایه	۱۱	۷۰۱۳/^{ns}	۶۶۱/^{ns}	۹۵۷۴۷۹۸/^{ns}	۱۹۰/۲۸*	۳۵۷/**	۷۱/۱۹**	۲۰/۷۵**
تکرار	۲	۵۱۰/^{ns}	۱۱۰/^{ns}	۲۱۷۶۱۲/^{ns}	۹۳۶۶/^{ns}	۷۸۳/^{ns}	۹۰۶/^{ns}	۳۶۱/^{ns}
خطای کل	۴۶	۱۸/۴۱	۲/۵۵	۵۰۷۰۶/۵	۹۲/۵۱	۳/۱۹	۱۹/۰۳	۴۱/۵
Cv (درصد)		۲۲/۸۳	۲۳/۵۰	۲۴/۱۴	۲۱/۶۸	۱۹/۰۵	۱۸/۹۷	۲۰/۴۶

ادامه جدول ۲

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		درصد رشد قطری تنه	درصد افزایش ارتفاع	نسبت وزن خشک ریشه به شاخه	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	گسترش افقی ریشه	گسترش عمودی ریشه	تعداد ریشه فرعی	تعداد ریشه اصلی
پایه	۱۱	۲۴۳۲/^{ns}	۶۸۸/**	۰/۲۲**	۶/۷۴**	۱۴۲/۷۰**	۶۹۷/^{ns}	۳۴۹/۵۸**	۹۱/۵۳**	۹۳۳/*
سطح تنش	۱	۱۷۲۹/۹۹**	۰۲۳۱/**	۰/۰۶*	۱۸۶/۵۶**	۳۲۴۴/۱۵**	۲۸۰/۰۵**	۱۹۸۴/۵۰**	۵۰۲۴/^{ns}	۳۷۸/**
سطح تنش×پایه	۱۱	۷۶۳۰/^{ns}	۱۰۹/**	۰۳۰/^{ns}	۵/۲۹*	۱۵۵/^{ns}	۱۵/۸۱**	۰۴۵۸/^{ns}	۶۹/۵۳**	۸۷۲/^{ns}
تکرار	۲	۰۶۰/^{ns}	۶۷۴/^{ns}	۰۱۰/^{ns}	۴۲۳/^{ns}	۰۴۸۶/^{ns}	۸۸۴/^{ns}	۲۶۲۰۹/^{ns}	۷۹۳۵/^{ns}	۳۶۱/^{ns}
خطای کل	۴۶	۰/۸۵	۰/۶۶	۰/۰۲	۲/۳۶	۳۴/۳۶	۴/۴۲	۱۴۲/۷۱	۲۶/۹۹	۲/۵۴
Cv (درصد)		۲۷/۴۸	۲۱/۹۷	۲۹/۰۶	۲۹/۹۵	۲۴/۹۹	۱۴/۹۹	۲۱/۷۴	۲۹/۵۴	۲۴/۷۲

ns غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح یک درصد.

۳-۲- وزن تر و خشک و سطح برگ‌ها

تاثیر تنش خشکی، نوع پایه بر وزن تر و خشک برگ و سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل این دو متغیر غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری شاهد ژنوتیپ پایه‌هایAR1،AR3 AR7 ، AR6،و MM111 دارای بیش‌ترین سطح، وزن‌تر و وزن خشک برگ‌ها در گروه اول، ژنوتیپ پایه‌های AR9 ،AR5و AR10 در گروه دوم و ژنوتیپ پایه‌های AR8 ،AR4 و AR11 با کم‌ترین سطح برگ (شکل ۱الف)، وزن تر و خشک برگ‌ها در گروه سوم قرار گرفتند (شکل ۱ب و ج). تنش خشکی باعث کاهش سطح، وزن تر و خشک برگ‌ها در ژنوتیپ پایه‌های سیب شد، اما پاسخ ژنوتیپ پایه‌ها نسبت به هم متفاوت بود. مقایسه میانگین سطح برگ در تیمار تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان

داد که ژنوتیپ پایه‌های AR6، AR8 وAR10 وAR2 با ۵۱/۸-، ۴۵/۷-، ۳۴/۷- و ۴۲/۳- درصد بیش‌ترین و ژنوتیپ پایه‌های AR7، AR3به‌میزان ۱۹/۱- و ۱۹/۷- درصد، کم‌ترین کاهش را نشان دادند. از نظر وزن‌تر کل برگ‌ها ژنوتیپ پایه‌های AR7، AR3و AR9 با ۱۶/۷-، ۱۹/۶- و ۲۴/۴- درصد، کم‌ترین کاهش و ژنوتیپ پایه‌های AR8، AR4 و AR10 با ۴۵/۵-، ۳۹/۶- و ۴۲/۱- درصد، بیش‌ترین کاهش وزن‌تر را در شرایط تنش خشکی نشان دادند. همچنین ژنوتیپ پایه‌های AR7، AR3 و AR9با ۱۳/۲-، ۱۵/۲- و ۱۸/۴- درصد، کم‌ترین و ژنوتیپ پایه‌های AR4، AR8 و AR11 با ۴۱/۶-، ۴۱/۴- و ۳۷/۷- درصد بیش‌ترین کاهش در وزن خشک برگ را در شرایط تنش داشتند (جدول ۳). بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود، که تبادلات روزنه‌ای و فتوسنتز در این پایه‌ها در شرایط تنش خشکی تا حدی تحت تاثیر قدرت رشد آن‌ها بود. پایه‌های کم رشد در سیب نسبت به پایه‌های پر رشد از سطح برگ کم‌تری برخوردارند و در شرایط آبیاری یکسان پتانسیل آب برگ در پایه‌های پر رشد منفی‌تر از پایه‌های کم رشد است زیرا با داشتن سطح برگ بیش‌تر دارای تعرق بیش‌تری نسبت به پایه‌های کم رشد هستند. در شرایط آبیاری یکسان میزان آب بیش‌تری را از طریق تعرق از دست دادند و درنتیجه پتانسیل آب برگ کاهش یافت یافت و به تبع آن فعالیت‌های فیزیولوژیکی کاهش یافت. اما، ژنوتیپ پایه‌های پررشد دارای سطح برگ بیش‌تر و به تبع آن سطح فتوسنتزکننده بیش‌تری بودند و تحت شرایط تنش خشکی نیز زیست‌توده بیش‌تری نسبت به پایه‌های کم‌رشد تولید کردند (آتشکار و همکاران، ۱۳۹۶). باید بین کاهش میزان تعرق و سطح بحرانی برگ برای فتوسنتز تعادل پایداری وجود داشته باشد، وقتی این تعادل به‌دست نمی‌آید، مزیت کاهش

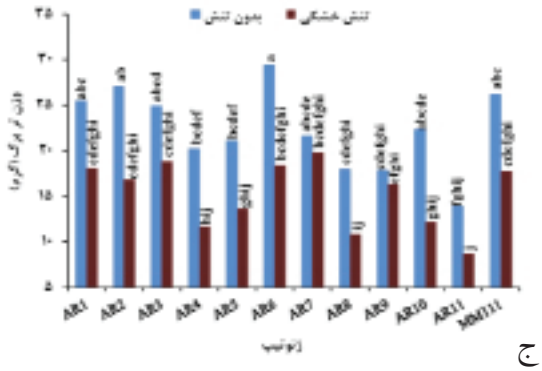
جدول ۳- مقایسه درصد تغییرات شاخص‌های رویشی در۱۲ژنوتیپ پایه سیب تحت تاثیر تنش خشکی.

ژنوتیپ پایه	درصد رشد قطری تنه	درصد افزایش ارتفاع	وزن خشک شاخه و ساقه	وزن تر شاخه و ساقه	نسبت افزایش تعداد برگ	تعداد برگ نهایی	سطح برگ گیاه	وزن خشک کل برگ‌ها	وزن تر کل برگ‌ها
AR1	٦٢/٥	- ٧٤	- ٦٣/٧	- ٦٠/٢	- ١٨	- ٤٥/٢	- ٣٩/٣	- ٢٧/٨	-٢٩
AR2	- ٥٣/٥	- ٩٥	- ٤٥/٤	- ٤٤/٥	- ٨٢/٣	- ٣٥/٥	- ٥١/٨	- ٣٦/٦	-٣٧/٦
AR3	- ٦٠/٥	- ٢٣/٩	- ٣٦/٤	- ٣٥/٢	٣٠/٧	- ٢٠	- ١٩/٧	- ١٨/٤	-٢٤/٤
AR4	- ٥٨/٧	- ٧٤/٤	- ١٥/٩	- ٢١/٧	- ٥/٨	- ١٨	- ٤٢/٥	- ٣٧/٧	-٤٢/١
AR5	- ٥٨/٩	- ٧٤/٧	- ١٤/٩	- ١٧/٥	- ٤٧/٤	- ٣/١	- ٢٣/٧	- ٢٦/٦	-٣٥/٤
AR6	- ٥٦/٧	- ٧٧/٩	- ٣٩/٨	- ٣٩/١	- ٨٢/٦	- ٣٥/٧	- ٣٤/٧	- ٣٣/٥	-٣٧/٥
AR7	- ٤٠/١	- ٦٠/٦	- ١٧/٦	- ٩/٣	- ١٠٠	- ٢٠/٢	- ١٩/١	- ١٥/٦	-١٩/٦
AR8	- ٦٤/٦	- ٣/٥	- ٢٩/١	- ٢٧/٧	- ٥٠/٤	- ٢٣/٢	- ٤٢/٣	- ٤١/٦	-٣٩/٦
AR9	- ٧٧/٢	٥/٤	- ٣٠/٣	- ٢٧/٨	- ٨٢/٨	- ٣٠/٢	- ٢٤/٥	- ١٣/٦	-١٦/٧
AR10	- ٦٤/٨	- ٨٤/٤	- ٣٨/٧	- ٤١/٦	- ٧٧/٨	- ٤/٣	- ٤٥/٧	- ٣٤/٣	-٤٥/٥
AR11	- ١٣/٨	٥/٢	- ٤٧/٨	- ٤٦/٣	١٤/٢	- ٢٥/٥	- ٢٥/٣	- ٤١/٦	-٣٧/٦
MM111	- ٤٣/٧	- ٨٦/٤	- ٤٧/٥	- ٤٨/٤	- ٥٤/٣	- ٢٠/٨	- ٣٢/١	- ٢٨/٤	-٣٢/٢

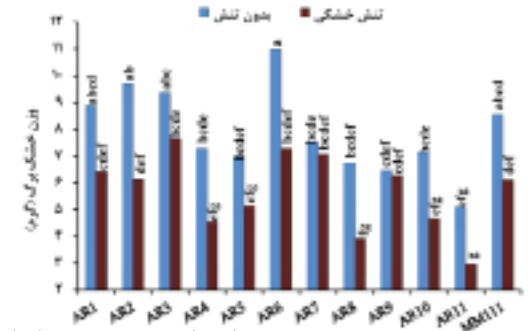
تعرق به‌وسیله عدم دسترسی کافی به مواد جذب شونده (آسیمیلات‌ها) از بین می‌رود و زیست‌توده کل کاهش می‌یابد، بنابراین ژنوتیپ پایه‌های کم رشد تحت تنش خشکی از رشد و زیست‌توده کم‌تری نسبت به پایه‌های پر رشد برخوردارند (Bolat et al., ۲۰۱۴).

الف

ب



ج



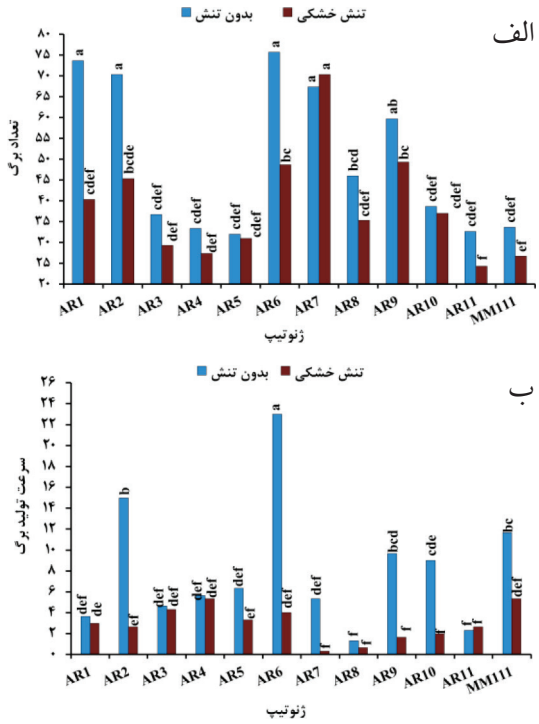
شکل ۱- مقایسه سطح برگ (الف)، وزن تر برگ (ب) و وزن خشک برگ (ج) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب در شرایط آبیاری شاهد و تنش خشکی.

۳-۳- تعداد برگ نهایی و میزان افزایش تعداد برگ

اثر نوع پایه و تنش خشکی بر تعداد برگ نهایی گیاه در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط آبیاری شاهد، ژنوتیپ پایه‌های AR6، AR2، AR1 و AR7 به‌ترتیب با ۷۳/۶۶، ۷۰/۳۳، ۷۵/۶۶ و ۶۷/۳۳ برگ، دارای بیش‌ترین تعداد برگ و ژنوتیپ پایه‌های AR8، AR3 ، AR5 ، AR4، MM111 ، AR11، AR10 با ۳۶/۶۶، ۳۲، ۳۳/۳۳، ۳۳/۶۶، ۳۲/۶۶، ۳۸/۶۶ و ۴۶ برگ به‌ترتیب دارای کم‌ترین تعداد برگ بود (شکل ۲الف). تنش خشکی باعث ریزش برگ‌ها و کاهش معنی‌دار تعداد برگ در ژنوتیپ پایه‌های سیب شد. مقایسه میانگین تعداد کل برگ در ژنوتیپ پایه‌های سیب تحت تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های AR5، AR9و AR10 با ۳/۱-، ۴/۳- و ۱۷/۳- درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد کم‌ترین پاسخ منفی و ژنوتیپ پایه‌های AR1، AR2 و AR6 با ۳۵/۷-، ۳۵/۵- و ۴۵/۲- درصد، بیش‌ترین کاهش در تعداد برگ را در اثر تنش خشکی نشان دادند (جدول۳).

نوع پایه، تنش خشکی و اثر متقابل آن‌ها بر میزان افزایش تعداد برگ در سطح یک درصد اثرات معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). ژنوتیپ پایه‌های سیب در شرایط آبیاری شاهد از نظر میزان افزایش تعداد برگ در طول زمان اجرای آزمایش با هم تفاوت معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که بیش‌ترین افزایش تعداد برگ مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR6، AR2 و MM111 با ۱۱/۶۶، ۲۳ و ۱۵ برگ و کم‌ترین نسبت افزایش آن در ژنوتیپ پایه‌های AR8، AR7، AR1 و AR11 با ۲/۳۳، ۱/۳۳، ۵/۳۳ و ۳/۶۶ برگ ثبت شد (شکل ۲ب). تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار میزان برگ‌دهی در نتاج تنی و ناتنی پایه‌های سیب

شد. مقایسه میانگین برگدهی در تیمار تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد که نتاج AR3، AR11 با میزان برگ‌دهی ۱۴/۲- و ۳۰/۷- درصد کم‌ترین کاهش و نتاج AR7 ، AR2،AR6 و AR9 با ۸۲/۸-، ۱۰۰-، ۸۲/۶- و ۸۲/۳- درصد بیش‌ترین کاهش در تولید برگ را در دوره اعمال تنش خشکی داشتند (جدول۳). رشد برگ یکی از متغیرهایی است که به‌شدت به عوامل محیطی وابسته است و تحت شرایط تنش خشکی به‌شدت کاهش می‌یابد. یکی از سازوکارهای دفاعی گیاه در برابر تنش خشکی، کاهش تعداد برگ همراه با کاهش رشد سطح برگ است (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). برگ به‌عنوان واحد فتوسنتزی در گیاه نقش ویژه‌ای دارد، ژنوتیپ پایه‌های سیب با تعداد برگ بیش‌تر در شرایط تنش خشکی، توان فتوسنتزی بالایی دارند، اما از طرفی این ژنوتیپ پایه‌ها تعرق بیش‌تر و پتانسیل آب برگ منفی‌تری دارند (Alizadeh *et al.*, 2011). تغییر سطح برگ فرآیند مهمی است که محصولات مختلف تحت تنش خشکی از طریق آن کنترل خود را برای استفاده از آب حفظ می‌کنند و از طریق تعدیل سطح برگ، کاهش آب را از طریق سایه‌انداز با توجه به مقدار آن در خاک تنظیم می‌نمایند (Blum, 2005). زمانی که در شرایط تنش خشکی سطح برگ‌ها کاهش می‌یابد، توانایی گیاه برای جذب نور و درنهایت تولید مواد فتوسنتزی کاهش می‌یابد که خود دلیلی بر کاهش وزن اندام‌های هوایی گیاه است (Ma *et al.*, 2015). تنش خشکی باعث کاهش رشد برگ‌ها و افزایش توزیع مواد به سمت ریشه‌ها می‌شود، بنابراین باعث افزایش نسبت ریشه به شاخه و برگ خواهد شد. این مسئله باعث کاهش قسمت هدردهنده آب و افزایش بخش جاذب آب می‌شود (Jurga and Kviklys, 2006).

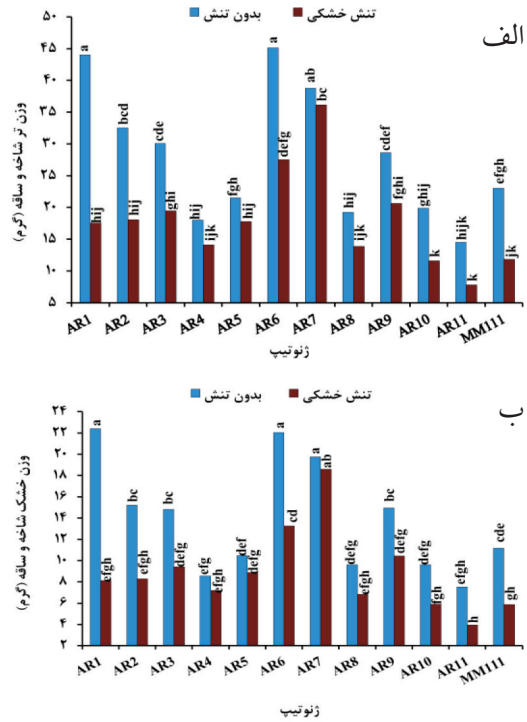


شکل ۲- مقایسه تعداد برگ نهایی (الف) و افزایش تعداد برگ (ب) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب در شرایط آبیاری شاهد و تنش خشکی.

۳-٤- وزن تر و خشک اندام هوایی

در شرایط آبیاری شاهد ژنوتیپ پایه‌های سیب از نظر وزن تر ساقه و شاخه تفاوت معنی‌داری باهم نشان دادند، بیش‌ترین وزن‌تر ساقه و شاخه مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR7 ، AR3،AR6، AR1 و AR9 با ۲۸/۰۶، ۳۸/۷۶، ۴۵/۱۳، ۳۰/۱۰ و ۴۴/۰۳ گرم و کم‌ترین وزن‌تر ساقه و شاخه را ژنوتیپ پایه‌های AR11، AR10، AR8، AR4 وMM111 با ۲۳، ۱۴/۵۳، ۱۹/۸۶، ۱۹/۲۳ و ۱۸/۰۵گرم در بین ژنوتیپ پایه‌های سیب داشتند. تنش خشکی باعث کاهش وزن‌تر ساقه و شاخه شد (شکل ۳الف). مقایسه میانگین وزن‌تر ساقه و شاخه ژنوتیپ پایه‌های سیب تحت شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های AR5، AR4وAR7 با ۹/۳-، ۱۷/۵- و ۲۱/۷- درصد کم‌ترین کاهش و ژنوتیپ پایه‌های AR6، AR2، AR1 وAR11 و MM111 با ۴۷/۵-، ۴۷/۸-، ۲۹/۸-، ۴۴/۵- و ۶۰/۲- درصد بیش‌ترین کاهش وزن‌تر ساقه و

شاخه را داشتند (جدول۳). ژنوتیپ پایه‌های سیب از نظر وزن خشک ساقه و شاخه تفاوت معنی‌داری با هم نشان دادند. بیش‌ترین وزن خشک ساقه و شاخه مربوط به ژنوتیپ پایه‌های سیب AR6، AR3،AR1 AR7 ، و AR9 با ۱۴/۹۶، ۱۹/۷۶، ۲۲/۰۳، ۱۴/۸۳ و ۲۲/۴۰ گرم و کم‌ترین وزن خشک ساقه و شاخه مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR10 ، AR8 ،AR4 و AR11 با ۷/۵۳، ۹/۶۳، ۹/۶۳ و ۸/۵۶ گرم بود (شکل ۳ب). تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک ساقه و شاخه در ژنوتیپ پایه‌های سیب شد. مقایسه میانگین وزن خشک ساقه و شاخه ژنوتیپ پایه‌های سیب تحت شرایط تنش خشکی نسبت به آبیاری شاهد نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های AR4 و AR7 با ۱۷/۶- و ۱۴/۹- و ۱۵/۹- گرم کم‌ترین کاهش و ژنوتیپ پایه‌های AR11، AR2، AR1 و MM111 با ۴۵/۵-، ۴۷/۸-، ۴۵/۴-و ۶۳/۷- گرم بیش‌ترین کاهش وزن خشک ساقه و شاخه را در بین ژنوتیپ پایه‌های سیب داشتند (جدول۳).



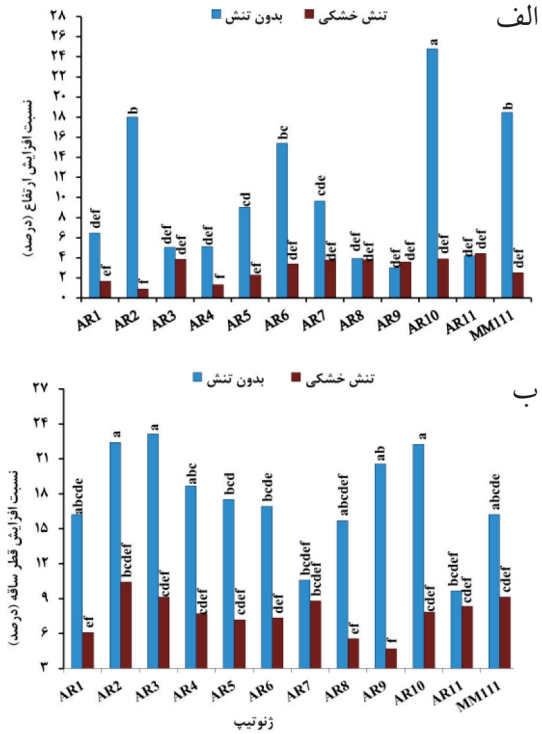
شکل ۳- مقایسه وزن تر ساقه و شاخه (الف)، وزن خشک ساقه و شاخه (ب) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب در شرایط آبیاری شاهد و تنش خشکی.

در تحقیقی، تنش خشکی بیوماس پایه‌های سیب را تحت تأثیر قرار داد و باعث کاهش وزن‌تر و خشک اندام‌های گیاه شد، بر اساس حداقل کاهش بیوماس، پایه‌های B118، P60 و P22 و پایه بذری را مقاوم به تنش خشکی گزارش کردند (Jurga et al., 2006). تأثیر تنش خشکی بر سیب رقم امپریال گالا بر روی سه‌پایه رویشی مارک و M9EMLA و MM111 نشان داد که بیش‌ترین کاهش بیوماس مربوط به پایه مارک با ۳۴ درصد و کم‌ترین کاهش بیوماس در پایه M9 با ۱۶ درصد کاهش ثبت شد، بر این اساس پایه M9 به‌عنوان پایه متحمل به تنش خشکی گزارش شد (Fernandez *et al.*, 1997). تنش خشکی در پنج گونه بادام باعث کاهش بیوماس کل گیاه شد (Zokaee-Khosroshahi *et al.*, 2014). گیاهان آواکادو تحت تنش خشکی برگ‌های کوچک تر و وزن مخصوص برگ کم‌تری داشتند. گذشته از این، در اثر تنش آبی، زیست‌توده ریشه‌ها کاهش یافت و آسیب قابل مشاهده‌ای در سیستم ریشه ایجاد شد (Chartzoulakis *et al*., 2000). واکنش پایه‌های مختلف نسبت به تنش خشکی متفاوت بود، و پایه‌هایی که تحت تنش خشکی بیوماس کل بیش‌تری تولید کردند نسبت به تنش خشکی متحمل‌تر بودند (Jurga *et al.*, 2006). تحت تنش خشکی پایه‌هایی که با کاهش پتانسیل آب برگ، انسداد روزنه داشتند، تجمع ماده خشک بیش‌تری در ریشه داشتند (Blum, 2005). تنش خشکی باعث کاهش صفات فیزیولوژیکی و بیوماس کل در پایه‌های مختلف شد، اما واکنش پایه ها نسبت به تنش خشکی متفاوت بود (Anjum *et al*., 2003).

۳-۵- نسبت افزایش ارتفاع و قطر تنه

در شرایط آبیاری شاهد ژنوتیپ پایه‌های سیب از نظر نسبت افزایش ارتفاع در دوره اجرای آزمایش با

یکدیگر تفاوت معنی‌داری نشان دادند، به‌طوری‌که بیش‌ترین نسبت افزایش ارتفاع در ژنوتیپ پایه‌های AR10 ، AR6، AR2 و MM111 با ۱۸/۴۸، ۲۴/۸۱، ۱۵/۴۰ و ۱۸/۰۳ درصد و کم‌ترین نسبت افزایش ارتفاع مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR8، AR4 و AR9 با ۳، ۳/۹۵ و ۵/۱۲ درصد بود. تنش خشکی باعث کاهش شدید نسبت افزایش ارتفاع در ژنوتیپ پایه‌های سیب شد (شکل ۴الف). مقایسه میانگین نسبت افزایش ارتفاع در ژنوتیپ پایه‌های سیب تحت شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد که کم‌ترین اختلال در افزایش ارتفاع مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR8،AR9 و AR11 با ۵/۲-، ۵/۴- و ۳/۵- درصد و بیش‌ترین اختلاف در نسبت افزایش ارتفاع در ژنوتیپ پایه‌های AR10، MM111، AR2 و AR6 با ۷۷/۹-، ۸۴/۴-، ۸۶/۴- و ۹۵- درصد بود (جدول۳). از نظر سرعت رشد (افزایش ارتفاع گیاه و نسبت برگ‌دهی) نیز ژنوتیپ پایه‌های پاکوتاه که در شرایط آبیاری شاهد هم کم رشد بودند خیلی تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفتند و سرعت رشد آن‌ها در شرایط آبیاری شاهد و تنش خشکی نزدیک به هم بود. اختلاف قطر تنه گیاهان شرایط تنش خشکی و شاهد در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول۲). تنش خشکی باعث کاهش میانگین قطر تنه در ژنوتیپ پایه‌های سیب شد و نسبت آن از ۱۷/۴۹ درصد در تیمار آبیاری شاهد به ۷/۶۹ درصد در تیمار تنش خشکی کاهش یافت (شکل ۴ب). مقایسه میانگین نسبت افزایش قطر تنه در تیمار تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد در ژنوتیپ پایه‌های سیب نشان داد که کم‌ترین کاهش در قطر تنه در ژنوتیپ پایه‌های AR11، AR7 و MM111 با ۴۳/۷-، ۱۳/۸- و ۴۰/۱- درصد و بیش‌ترین کاهش در ژنوتیپ پایه‌های AR10، AR9،AR8 و AR1 با ۶۲/۵-، ۶۴/۸-، ۷۷/۲- و ۶۴/۶- درصد بود (جدول۳). ارتفاع بوته را می‌توان از صفات و معیارهای رایج برای تعیین میزان تحمل خشکی قرار داد (Gama *et al.*, 2007). خشکی رشد گیاهان را بسیار آهسته کرده و بنابراین گیاه پاکوتاه نگه‌داشته می‌شود. کاهش ارتفاع بوته از کاهش طول میان‌گره‌ها ناشی می‌شود و کاهش رشد ناشی از تنش خشکی مهم‌ترین عامل در کاهش طول میان‌گره‌ها است (Miralles *et al.*, 1998). در آزمایشی روی تمشک با سه سطح تنش ایجادشده توسط پلی اتیلن گلایکول(PEG) (صفر،۲۰ و ۲۵ درصد) در سطوح ۲۰ و ۲۵ درصد کاهش طول اندام هوایی نسبت به سطح شاهد گزارش شد (Georgieva *et al.*, 2004).

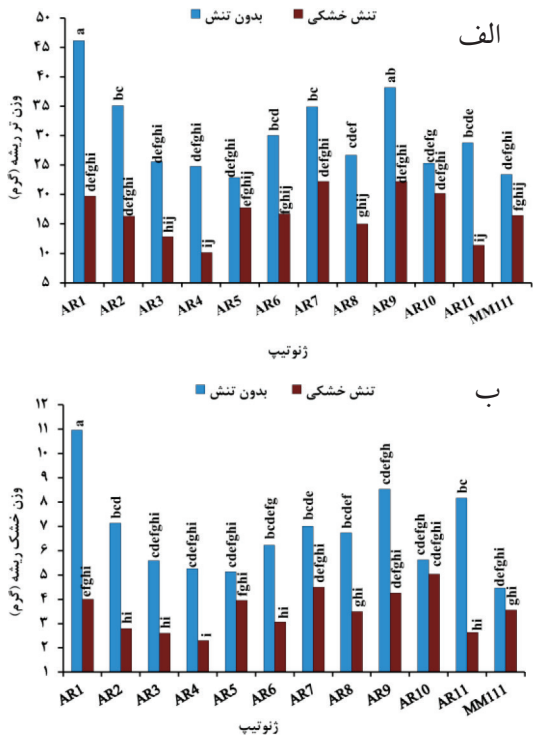


شکل ٤- مقایسه نسبت افزایش ارتفاع (الف)، نسبت افزایش قطر تنه (ب) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب در شرایط آبیاری شاهد و تنش خشکی.

۳-٦- وزن تر و خشک ریشه‌ها

در شرایط آبیاری شاهد ژنوتیپ پایه‌های سیب از نظر وزن‌تر ریشه با هم تفاوت معنی‌داری داشتند و بیش‌ترین وزن‌تر ریشه در ژنوتیپ پایه‌ها AR7، AR2

AR1، AR9 با ۴۶/۱۲، ۳۸/۲۳، ۳۴/۹۳ و ۳۵/۱۰ گرم و کم‌ترین وزن‌تر ریشه در ژنوتیپ پایه‌های AR3، MM111 و AR4 با ۲۳/۴۳، ۲۵/۳۳ و ۲۲/۹۰گرم ثبت شد (شکل ۵الف). مقایسه میانگین وزن‌تر ریشه در ژنوتیپ پایه‌های سیب تحت تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های AR10، AR5 و MM111 با ۲۹/۹-، ۲۰/۳- و ۲۲/۴- کم‌ترین کاهش در وزن‌تر ریشه و ژنوتیپ پایه‌های AR11، AR4، AR2، AR1 و AR9 با ۶۰/۶-، ۵۹/۲- ، ۵۳/۵-، ۵۷/۲- و ۵۵/۵- بیش‌ترین درصد کاهش وزن‌تر ریشه را در بین ژنوتیپ پایه‌های سیب داشتند (جدول۳). ژنوتیپ پایه‌های سیب از نظر وزن خشک ریشه نیز تفاوت معنی‌داری باهم داشتند. در شرایط آبیاری شاهد بیش‌ترین وزن خشک ریشه در ژنوتیپ پایه‌های AR7 ،AR1 و AR9 با ۸/۵۳، ۷ و ۱۰/۹۶ گرم و کم‌ترین وزن خشک ریشه در ژنوتیپ پایه‌های AR4، AR3 و MM111 با ۴/۴۶، ۵/۲۶ و ۵/۶۰ گرم بود (شکل ۵ب). تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک ریشه در ژنوتیپ پایه‌های سیب شد. مقایسه میانگین وزن خشک ریشه در ژنوتیپ پایه‌های سیب تحت شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های AR10، AR5، MM111 با ۲۰/۲-، ۱۰/۷- و ۲۲/۸- درصد کم‌ترین کاهش در وزن خشک ریشه و ژنوتیپ پایه‌های AR1، AR4 ، AR2 و AR11 با ۶۷/۸-، ۵۶/۳-، ۶۰/۷- و ۶۳/۵- درصد، بیش‌ترین کاهش در وزن خشک ریشه را در شرایط تنش خشکی داشتند (جدول۴). نتایج این پژوهش نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ وزن‌تر و خشک ریشه تفاوت‌های آشکاری باهم داشتند و تحت شرایط تنش خشکی وزن‌تر و خشک ریشه در تمامی ژنوتیپ پایه‌های سیب نسبت به شرایط آبیاری شاهد کاهش یافت. اما در بعضی از ژنوتیپ پایه‌ها شامل AR10، AR5 و MM111 کاهش کم‌تری در وزن تر وخشک ریشه در این شرایط مشاهده شد. مقدار و توزیع ریشه، بر توانایی ریشه در جذب آب تأثیر می‌گذارد، افزایش وزن خشک ریشه‌ها با میزان مقاومت به خشکی گیاه رابطه مستقیم دارد گیاهان با سیستم ریشه قوی نسبت به تنش خشکی مقاوم‌ترند. تحت تنش خشکی پایه‌های سیب که با کاهش پتانسیل آب برگ، سریعاً روزنه‌ها را می بندند تجمع ماده خشک بیش‌تری در ریشه داشتند. کاهش وزن‌تر و خشک ساقه و شاخه در بعضی از ژنوتیپ پایه‌های سیب تحت شرایط تنش خشکی منجر به افزایش وزن‌تر و خشک ریشه‌ها شد که دلیل تحمل بیشتر آن‌ها نسبت به تنش خشکی است (Blum, 2005). تنش خشکی باعث کاهش رشد برگ‌ها و افزایش توزیع مواد به‌سمت ریشه‌ها می‌شود، بنابراین باعث افزایش نسبت ریشه به ساقه در برگ خواهد شد، این مسئله باعث کاهش قسمت هدردهنده آب و افزایش بخش جاذب آب می‌شود (Sakalauskaite *et al.*, 2006).



شکل ۵- مقایسه وزن تر ریشه‌ها (الف)، وزن خشک ریشه‌ها (ب) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب در شرایط آبیاری

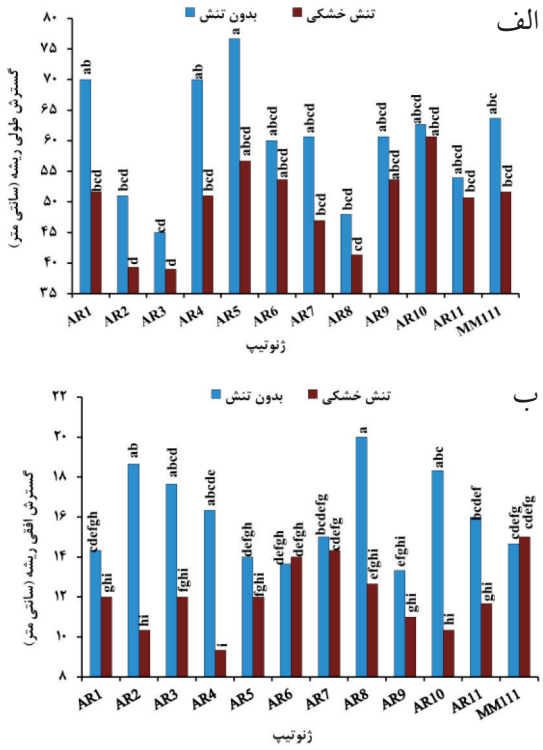
جدول ٤- مقایسه درصد تغییرات شاخص‌های رویشی در ۱۲ ژنوتیپ پایه سیب تحت تاثیر تنش خشکی.

گسترش عمودی ریشه	گسترش افقی ریشه	تعداد ریشه اصلی	تعداد ریشه فرعی	نسبت وزن خشک ریشه به شاخه
۲۶/۲ –	۱۶/۳ –	۵۰ –	۲۶/۷ –	۲/۱
۲۲/۹ –	۴۴/۶ –	۶۰/۶ –	۳۱/۷	۲۶–/۱
۱۳/۳ –	۳۲ –	۳۷/۵ –	۴۰/۱	۲۷–
۲۷/۱ –	۴۲/۹ –	۶۸/۹ –	۱۶ –	۴۲–/۶
۲۶/۱ –	۱۴/۳ –	۰	۴۲/۵ –	۸–/۳
۱۰/۶ –	۲/۵	۴۷ –	۴۳/۲ –	۱۷–/۹
۲۲/۵ –	۲۹/۷ –	۲۵–	۴/۹ –	۳۳–/۳
۱۳/۹ –	۳۶/۷ –	۳۳/۴ –	۳۳/۳	۲۴–/۶
۱۷/۵ –	۱۷/۵ –	۵۵/۵ –	۱۸/۵	۲۸–/۶

شاهد و تنش خشکی.

۳-۷- گسترش عمودی ریشه

تحت شرایط آبیاری شاهد، بیش‌ترین گسترش عمودی ریشه‌ها مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR5 ، AR1،AR4 و AR10 با ۶۲/۶۷، ۷۶/۶۷، ۷۰ و ۷۰ سانتی‌متر و کم‌ترین گسترش عمودی ریشه‌ها در ژنوتیپ پایه‌های AR3 ،AR2 و AR8 با ۴۸، ۴۵ و ۵۱ سانتی‌متر بود. تنش خشکی باعث کاهش گسترش عمودی ریشه در ژنوتیپ پایه‌های سیب نسبت به تیمار آبیاری شاهد شد. مقایسه میانگین گسترش عمودی ریشه در ژنوتیپ پایه‌های سیب تحت تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های AR10 ،AR9 ،AR6 و AR11 با ۶/۲–، ۳/۲–، ۱۷/۵– و ۱۰/۶– درصد کم‌ترین و ژنوتیپ پایه‌های AR4 ،AR2 ،AR1 وAR5 با ۲۶/۱–، ۲۷/۱–، ۲۲/۹– و ۲۶/۲– درصد بیش‌ترین کاهش در گسترش عمودی ریشه را داشتند (جدول ۴). بررسی گسترش طولی ریشه ژنوتیپ پایه‌های سیب نشان داد که الگوی آن در هر دو شرایط تنش و عدم تنش کاملاً مشابه بود، با این تفاوت که مقادیر رشد طولی ریشه در شرایط تنش خشکی کم‌تر از شرایط آبیاری شاهد بود (شکل ۶الف).



شکل ٦- مقایسه گسترش طولی ریشه (الف)، گسترش افقی ریشه‌ها (ب) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب در شرایط آبیاری شاهد و تنش خشکی.

۳-۸- 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 AR5 ،AR4 ،AR1و AR10 که گسترش طولی بیش‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها داشتند، گسترش افقی ریشه کم‌تری داشتند و ژنوتیپ پایه‌های AR3 ،AR2 و AR8 که گسترش طولی کم‌تری داشتند گسترش افقی بیش‌تری داشتند (شکل ۶ب). تنش خشکی باعث کاهش گسترش افقی ریشه در ژنوتیپ پایه‌های سیب شد، به‌طوری‌که میانگین آن در تیمار آبیاری شاهد از ۱۶ سانتی‌متر به ۱۲/۰۵ سانتی‌متر در تیمار تنش خشکی کاهش یافت (شکل ۵ ب). مقایسه میانگین گسترش افقی ریشه در ژنوتیپ پایه‌های سیب تحت تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های AR6، MM111 به‌ترتیب با ۲/۳ و ۲/۵ درصد گسترش افقی ریشه کم‌ترین کاهش گسترش و ژنوتیپ پایه‌های AR8 ،AR4، AR2 و AR10 با ۴۳/۶-، ۳۶/۷-، ۴۲/۹- و ۴۴/۶- درصد بیش‌ترین کاهش در گسترش افقی ریشه‌ها تحت تنش خشکی نشان دادند (جدول۴). تفاوت‌های ژنوتیپی ازنظر طول و گسترش سیستم ریشه در اکثر گیاهان گزارش‌شده است (Alizadeh *et al*., ۲۰۱۱). کیفیت ریشه‌ها یعنی ساختمان و توزیع آن نسبت به تعداد آن از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. برای تحمل به خشکی، گزینش گیاهان دارای سیستم ریشه‌ای عمیق در تحمل به خشکی اهمیت دارد (Farooq *et al.*, 2009). الگوی گسترش افقی ریشه در شرایط آبیاری شاهد و تنش خشکی کاملاً متفاوت بود. ژنوتیپ پایه‌هایی که در شرایط آبیاری شاهد دارای حداکثر مقادیر رشد افقی بودند در شرایط تنش خشکی با شدت بیش‌تری دچار افت رشد افقی شدند. این موضوع بیانگر تاثیر منفی تنش خشکی برگسترش افقی ریشه‌ها است. تنش خشکی باعث از بین رفتن ریشه‌های کم‌عمق و افزایش ریشه‌های عمیق می‌شود (Taiz and Zeiger 2006). پایه رویشی MM111 به‌عنوان پایه مقاوم به خشکی در بین سایر پایه‌های رویشی سیب شناخته‌شده است (Fernandez *et al.*, 1997; Anjum *et al.*, 2003). گسترش و افزایش وزن خشک ریشه در این پایه نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها شناخته‌شده‌تر است. در این آزمایش ژنوتیپ پایه‌های AR5 و AR10 به‌دلیل داشتن بیش‌ترین بخش بیوماس داخل خاک در شرایط تنش خشکی شباهت بیش‌تری به پایه شاهد متحمل به تنش خشکی MM111 داشتند. ژنوتیپ پایه‌های پر رشد AR7، AR6، AR3 و AR9 دارای بیش‌ترین سطح برگ و حداکثر سطح تعرق‌کننده، حداقل تبادلات گازی، تعرق و فتوسنتز نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها بودند، اما ژنوتیپ پایه‌های کم رشد AR8، AR4 و AR11 دارای حداقل سطح برگ، حداکثر تبادلات روزنه‌ای، تعرق و فتوسنتز نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها بودند.

٤- نتیجه‌گیری کلی

ژنوتیپ پایه‌های سیب بررسی‌شده بر اساس قدرت رشد به سه دسته کلی تقسیم شدند: ۱- ژنوتیپ پایه‌های کم‌رشد (پاکوتاه) AR8، AR4 و AR11 که دارای کم‌ترین بیوماس خارج از خاک بودند، ۲- ژنوتیپ پایه‌های پر رشد AR6، AR3، AR1، AR7، و AR9 که دارای بیش‌ترین بیوماس خارج از خاک بودند و ۳- ژنوتیپ پایه‌های متوسط رشد AR10، AR5، AR2 و MM111 که دارای مقدار متوسط بیوماس خارج از خاک بودند. شاخص‌های رشد رویشی تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت و میزان کاهش آن در ژنوتیپ پایه‌های بررسی‌شده متفاوت بود. ژنوتیپ پایه‌های AR8، AR4 و AR11 که در شرایط آبیاری نرمال دارای رشد کمی هستند،

در شرایط تنش خشکی نیز کاهش رشد نسبتاً زیادی نشان دادند. در بین پایه‌های پررشد، اگرچه AR6 به‌طور نسبی کاهش کم‌تری در رشد ریشه در دوره تنش نشان داد ولی دو پایه AR7 و AR9 از نظر حفظ رشد اندام هوایی و ریشه تحت تأثیر تنش خشکی شرایط بهتری داشتند. دو پایه متوسط رشد AR5 و AR10 کم‌ترین کاهش در وزن تر و خشک ریشه را در شرایط تنش نشان دادند، از طرفی پایه AR5 در شرایط تنش خشکی، برگ‌های خود را حفظ کرده و به طور نسبی کم‌تر از سایر پایه‌های متوسط رشد دچار کاهش در وزن تر و خشک اندام هوایی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، به‌نظر می‌رسد پایه‌های متوسط رشد AR5 و AR10 که بالاترین ذخیره‌سازی ماده خشک را طی تنش در ریشه‌های خود داشتند و همچنین پایه‌های پررشد به‌ویژه AR7 و AR9 که در شرایط تنش دارای رشد نسبی مناسبی بودند، می‌توانند به عنوان داوطلب برای مقاومت به تنش خشکی در پژوهش‌های بعدی مد نظرقرار گیرند. در پایان خاطر نشان می‌سازد نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مقدمه‌ای بر شناخت ظرفیت ژنتیک نتاج پایه رویشی تنی و ناتنی تولید شده در برنامه به نژادی سیب در شرایط وقوع تنش خشکی است، اما نتایج تکمیلی سطح تحمل در بررسی اثرات متقابل پایه- پیوند با انجام عملیات پیوند ارقام مختلف سیب روی ژنوتیپ های انتخابی و ارزیابی ترکیب‌های پیوندی مشخص خواهد شد.

تضاد و تعارض منافع- نویسنده هر گونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیر تجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم با اثر منتشر شده است رد می نمایند.

منابع

آتشکار، د.، ا. ارشادی، م. طاهری و ح. عبدالهی. (۱۳۹۷). غربال گری برخی پایه‌های دورگه انتخابی سیب برای تحمل به تنش خشکی بر اساس صفات مرتبط با فتوسنتز. مجله علوم باغبانی ایران، ۴۹ (۴)، ۱۰۲۴-۱۰۱۳.

آتشکار، د.، م .پیر خضری و ا. تقی زاده. (۱۳۹۵). تولید و ارزیابی مقدماتی پایه‌های دو رگ رویشی سیب (Mallus domestica Borkh). مجله علوم باغبانی ایران، ۴۷ (۲)، ۳۳۵-۳۲۹.

قادری، ن. و ع. سی وسه مرده . (۱۳۹۲). بررسی اثر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی در سه رقم توت فرنگی. مجله علوم باغبانی ایران. ۴۴(۲)، ۱۲۹-۱۳۶.

کافی، م.، ا. برزوئی، م. صالحی، ع.کمندی، ع. معصومی و ج. نباتی. (۱۳۸۸). فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. چاپ اول . انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۰۲ صفحه.

Alizadeh, A., Alizade, V., Nassery, L., & Eivazi, A. (2011). Effect of drought stress on apple dwarf rootstocks. *Technical Journal of Engineering and Applied Science,* 1(3), 86-94.

Anjum, F.,Yaseen, M., Asul, E., Wahid, A., & Anjum, S. (2003). Water stress in barley (Hordeum vulgare L) effect on chemical composition and chlorophyll. *Pakistan Journal Agriculture Science,* 40, 45-49.

Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential: are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Crop & Pasture Science*, 56 (11), 1159-1168.

Bolat, E., Dikilitas, M., Ercisli, S., Ikinici, A., & Tonkaz, T. (2014). The effect of water stress on some morphological, physiological,and biochemical characteristics and bud success on apple and

quince rootstocks. Hindawi Publishing Corporation. *The Scientific World Journal,* 1,1-8.

Chartzoulakis,K., Bosabalidis,A.M., Patakas,A. & Vemmos, S. (2000). Effect of water stress on water relation gas exchange and leaf stracture of olive tree. *Acta Horticulture,* 537, 241-247

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.

Fernandez, R., Perry ,T., & Flore, R.L. (1997). rought response of young apple trees on three rootstocks: growth and development. *Journal of the American Society for Horticultural Science,* 122(1), 14-19.

Gama, S.,Inanaga, K., & Tanaka, R. (2007). Physiological response of common bean (Phaseolus Vulgaris L.) seedling to salinity stress. *African Journal of Biotechnology.* Vol.6, No.2.

Georgieva, T., Djilianov, D., Konstantantinova, T., & Parvanova, D. (2004). Screening of Bulgarian raspberry cultivars and elites for osmotic tolerance in vitro. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. Vol .18 issue, 2.

Hajnajari, H., Akbari, H., & Abdossi, V. (2019). Genesis of ultra-specialized histology with stable traits in mesophyll of drought tolerant apple cultivars. *Scientia Horticulturae.* 249, 168-176.

Jurga, S., & Kviklys, D. (2006). Biomass production, dry weight partitioning and leaf area of apple rootstocks under drought stress.*Sodininkyste Ir Darzinininkyste*.25(3), 283-291.

Ma, p., Bai,T.H., & Ma, F.W. (2015). Effects of progressive drought on photosynthesis and partitioning of absorbed in apple trees. *Journal of Integrative Agriculture,* 14(4), 681-690.

Miralles, DJ., Slafer, G.A., & Lynch, V. (1998). Rooting patterns in near – isogenic lines of spring wheat for dwarfness. *Plant and Soil,* 197, 79-86.

Salisbury, F.B., & Ross, C.W. (1992). Plant physiology (4th edition). *Wadsworth Publishing Company, California*, USA.

Sakalauskaite, J., Kviklys, D., Lanauskas, J., & Duchovskis, P. (2006). Biomas production, dry weight partitioning and leaf area of apple rootstocks under drought stress. Scientific Works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture. *Sodinnikyste IR Darzininkyste*, 25(3), 283-291.

Sircelj, H., Tausz, M., Grill, D., & Batic, F. (2007). Detecting different levels of drought stress in apple trees (Malus domestica Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. *Scientia Horticulturae*, 113, 362-369.

Taiz L., & Zeiger E. (2006). Plant Physiology, 4th Ed., Sinauer Associates Inc. *Publishers, Massachusetts.*

Tony, w. Kento. B., & Evens, K. (2000). Breeding and evaluation of new rootstocks for apple, pear and sweet cherry. In: 43rd annual IDFTA conference, Newzeland.*The Compact Fruit, vol 33,* number 2.

Wahid, A., & Rasul, E. (2005). Photosynthesis in leaf, stem, flower and fruit, in: Pessarakli, M(Ed.), *Handbook of Photosynthesis, 2nd ed.,* CRC *Press,, Florida,* pp. 479-497.

William, C.J. (2000). Methods and results of screening for disease and insect apple rootstocks . In: 43rd annual IDFTA conference, Newzeland. *The Compact Fruit,* vol 33, number 2.

Zagaja, S.W., Jakubowski, T., Piklo, A., & Prybyla, A. (1989). Preliminary evaluation of new clone›s apple rootstocks. *Fruit Science,* 16, 205-213.

Zokaee-Khosroshahi, M., Esna-Ashari, M., & Ershadi, A. (2014). Morphological changes in response to drought stress in cultivated and wild almond species. *International Journal of Horticultural Science and Technology.* 1(1),79-92.