اثر تنش کم‌آبی بر عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برخی توده‌های خربزه بومی ایران

نگار حیدریان[۱]، طاهر برزگر[*۱]، زهرا قهرمانی[۱] و جعفر نیکبخت[۲]

[۱]گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران،

[۲]گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۲/۲۰)

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش کم‌آبی بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی برخی از توده‌های خربزه ایرانی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹٤ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل هفت توده خربزه (قلم‌قاش، روشی، زرکه، قبادلو، ریش‌بابا، گرکه، کالیار) و سه سطح آبیاری (٤۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) بود. در این آزمایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، هدایت روزنه‌ای، محتوای پرولین، محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء سلولی، پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش شاخص پایداری غشاء سلولی، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای و عملکرد در همه توده‌ها گردید. بیش‌ترین محتوای پرولین در توده گرکه، بالاترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به ترتیب در توده‌های زرکه و قبادلو در شرایط کم‌آبیاری ٤۰ درصد مشاهده شد. مقدار پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت. اثر متقابل تنش کم‌آبی بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، محتوای پرولین، پراکسید هیدروژن و عملکرد معنی‌دار بود. با توجه به نتایج، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد کاهش عملکرد به ترتیب در توده زرکه (٦۵/۱۷ درصد) و ریش‌بابا (٤۱/۱٦ درصد) در آبیاری ٤۰ درصد نسبت به آبیاری معمولی مشاهده شد که به ترتیب حساس‌ترین و متحمل‌ترین توده از لحاظ این صفت به تنش کم‌آبی بودند.

واژه‌های کلیدی: کم آبیاری، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، محتوای پرولین، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

خربزه (*Cucumis melo* L.)، یکی از محصولات باغبانی مهم در ایران است که با تولید ۱٤۷٦۸۰۱ تن بعد از کشورهای چین و ترکیه، مقام سوم تولید را به خود اختصاص داده است (FAO, 2014). خربزه عموما در مناطق خشک و نیمه خشک ایران کشت می‌شود که این مناطق با محدودیت آب مواجه هستند. گیاهان خربزه در شرایط آبیاری کافی محصول بالایی تولید می‌کنند ولی کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک یک فاکتور مهم محدود کننده رشد و تولید محصول می‌باشد. رژیم کم‌آبیاری روشی است که در شرایطی که آبیاری کافی امکان‌پذیر نیست مقدار آب کمتر از تقاضای گیاه فراهم می سازد (Fereres and Soriano, 2007). کم‌آبیاری اگر چه

[*]نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: tbarzegar@znu.ac.ir

عملکرد محصول را کاهش می‌دهد ولی ممکن است به‌طور معنی‌داری در مصرف آب صرفه‌جویی شود و همچنین اثرات مثبت بر کیفیت محصول داشته باشد (Sharma *et al*., 2014). واکنش گیاهان به تنش آبی به عواملی از قبیل مراحل نمو، شدت و طول مدت تنش و ژنوتیپ بستگی دارد (Ahmadizadeh *et al*., 2011). کم‌آبیاری (50% ETc) در خربزه باعث کاهش ۳۳ درصد عملکرد میوه در رقم Super Nectar، ۲٤ درصد در رقم Mission و ۳۰ درصد در رقم Da Vinci گردید (Sharma *et al*., 2014).

یکی از تغییرات بیوشیمیایی که در گیاهان تحت تنش‌های مختلف ایجاد می‌شود، تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) مانند سوپر اکسید (O_2^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل (OH) است که یکی از اولین پاسخ‌های سلولی گیاه به تنش‌های محیطی است. مولکول‌های ROS می‌توانند موجب آسیب به انواع فرآیندهای بیولوژیکی در سلول شوند (Das and Roychoudhury, 2014). برای کاهش گونه‌های اکسیژن فعال، گیاهان سیستم‌های دفاع ضد اکسایشی که شامل اجزای آنزیمی و غیرآنزیمی است را توسعه داده‌اند (Bernstein *et al*., 2010). سیستم دفاع آنزیمی ضد اکسایشی در برابر گونه‌های اکسیژن فعال، شامل آنزیم‌های ضد اکسایشی از جمله سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POX)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و کاتالاز (CAT) است. آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز به سرعت پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل می‌کنند (Ahmadizadeh *et al*., 2011). پراکسید هیدروژن یک نقش دوگانه در گیاهان به صورت یک محصول سمی حاصل از متابولیسم سلول‌های طبیعی و یا به عنوان یک مولکول تنظیم‌کننده و پیام‌رسان در درک پیام‌های تنش ایفا می کند (Cesur and Tabur, 2011).

یکی از سازگاری‌های گیاهان به تنش کمبود آب، تجمع مواد محلول سازگار درون سلول‌ها است که موجب تنظیم اسمزی، حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های پایین آب می‌شود (Vinocur and Altman, 2005). پرولین یکی از مهمترین املاح سازگار است که در گونه‌های گیاهی مختلف در طیف گسترده‌ای از شرایط تنش از جمله کمبود آب، شوری، درجه حرارت شدید و شدت نور بالا در سیتوپلاسم تجمع پیدا می‌کند و نقش مهمی در تنظیم اسمزی سیتوپلاسم دارد (Heidari and Jamshidi, 2011). تحت شرایط تنش، تجمع پرولین آزاد با تحمل به تنش در بسیاری از گونه‌های گیاهی مرتبط است که به‌طور کلی غلظت آن در گیاهان متحمل نسبت به گیاهان حساس به تنش بالاتر است (Kavas *et al*., 2013). بنابراین تجمع پرولین نقش مهمی در تنظیم اسمزی، سم‌زدایی گونه‌های اکسیژن فعال و پایداری غشاء گیاه تحت شرایط تنش ایفا می‌کند (Demiralay *et al*., 2013). در تحقیق برزگر و همکاران (۱۳۹۰) تنش کم‌آبی روی خربزه موجب افزایش میزان پرولین و کاهش هدایت روزنه‌ای گردید. گزارش شده است که تنش خشکی روی دو رقم خربزه سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش هیدروژن پراکسید، مالون دی‌آلدئید و کاتالاز گردید (Kavas *et al*., 2013). در شرایط تنش خشکی کاهش پایداری غشاء سلولی در سه رقم توت‌فرنگی گزارش شده است (Ghaderi and Siosemardeh, 2011).

یکی از راهکارهای مطمئن و دائمی برای جلوگیری از مصرف نامناسب آب و صرفه‌جویی در منابع موجود آب در کشاورزی، استفاده از ارقام و گونه‌های گیاهی متحمل به کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه خشک است (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به اینکه توده‌های متنوعی از خربزه در ایران وجود دارد، بررسی واکنش توده‌های مختلف خربزه به کمبود آب و گزینش توده متحمل به کم‌آبی از اهمیت بالایی، به‌ویژه برای مناطقی که دارای کمبود آب هستند، برخوردار است. لذا مطالعه حاضر با هدف ارزیابی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشمیایی هفت توده خربزه بومی ایران به تنش خشکی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. آزمایش به‌صورت

کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار (پنج بوته در هر واحد آزمایشی)، اجرا گردید. تیمارهای آبیاری در کرت‌های اصلی (۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و تیمارهای مربوط به توده در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. جدول ۱ و ۲ به ترتیب مشخصات خاک محل آزمایش و آمار هواشناسی را در طی فصل رشد نشان می‌دهند. پس از آماده شدن زمین در تاریخ دوم خرداد، بذور هفت توده خربزه ایرانی (قلم‌قاش، روشی، زرکه، ریش‌بابا، قبادلو، گرکه، کالیار) کشت گردید (شکل ۱). بذر توده قلم‌قاش از شبستر، توده قبادلو از عجب شیر و سایر توده‌ها از کردستان تهیه گردید. پس از سبز شدن بذور، کوددهی در دو مرحله به فاصله دو هفته، عملیات تنک و خاکدهی پای بوته، هرس (حذف ساقه اصلی از بالای دوساقه فرعی) انجام شد و پس از استقرار اولیه گیاهان (مرحله پنج برگی)، تیمارهای آبیاری اعمال گردید. نیاز آبی گیاه برای تیمار شاهد با استفاده از میانگین بلند مدت داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی زنجان و رابطه ۱ برآورد گردید.

$$ETc = ET_0 \times Kc \qquad \text{رابطه ۱}$$

ETc: نیاز آبی خربزه (میلی‌متر در روز)، ET_0: تبخیر–تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر در روز) و Kc: ضریب گیاهی خربزه. لازم به توضیح است مقادیر ET_0 بر اساس روش استاندارد فائو–پنمن–مانتیث برآورد شد (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). پس از محاسبه مقادیر ETc، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه خربزه بر اساس فواصل کشت، نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای–نواری) و دور آبیاری برآورد شده و سپس در هر نوبت آبیاری به گیاه داده می‌شد. بر اساس محاسبات به عمل آمده، مقدار آب آبیاری داده شده به گیاهان تیمار شاهد ۳۰۴۹/۵ مترمکعب در هکتار برآورد شد. نیاز آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش آبی) بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی، برآورد و توزیع شد.

فعالیت آنزیم‌ها به روش اسپکتروفتومتری (اسپکتروفتومتر JENWAY مدل UV-6505) در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز به روش Cakmak و Horst (1991) بر اساس میزان تجزیه شدن H_2O_2 در طول موج ۲۴۰ نانومتر تعیین شد و فعالیت آنزیم پراکسیداز براساس میزان اکسید شدن گایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر تعیین شد (Ghanati *et al*., 2002).

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین ۰/۵ گرم برگ تازه بر اساس روش بیتس در اسید سولفوسالیسیلیک استخراج شد و غلظت پرولین نمونه‌ها به کمک اسید ناین هیدرین در تولوئن با استفاده از اسپکتروفتومتر به کمک غلظت‌های مشخص پرولین خالص به‌عنوان شاهد در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد (Bates *et al*., 1973). هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر برحسب ($mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$) در ساعت ۱۰ تا ۱۲ صبح اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص پایداری غشاء سلول، ۰/۱ گرم برگ با آب مقطر شسته شده و در لوله‌های حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شدند و EC آن‌ها پس از سرد شدن با دستگاه هدایت‌سنج قرائت شد (C_1). سپس لوله‌ها را به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نگه‌داری شدند و EC آن‌ها پس از سرد شدن قرائت شد (C_2). شاخص پایداری غشای سلولی با استفاده از رابطه ۲ به‌صورت درصد محاسبه شد (Sairam *et al*., 2002).

$$MSI= [1-(C1/C2)]\times100 \qquad \text{رابطه ۲}$$

محتوای نسبی آب برگ (RWC) طبق رابطه ۳ محاسبه شد. که در فرمول (FW) برابر است با وزن تر نمونه‌های برگی، (SW) وزن تر نمونه‌هایی که به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خیسانده شده‌اند و (DW) وزن خشک نمونه‌های برگی است (Galmes *et al*., 2007).

$$RWC = (FW - DW)/ (SW-DW) \times100 \qquad \text{رابطه ۳}$$

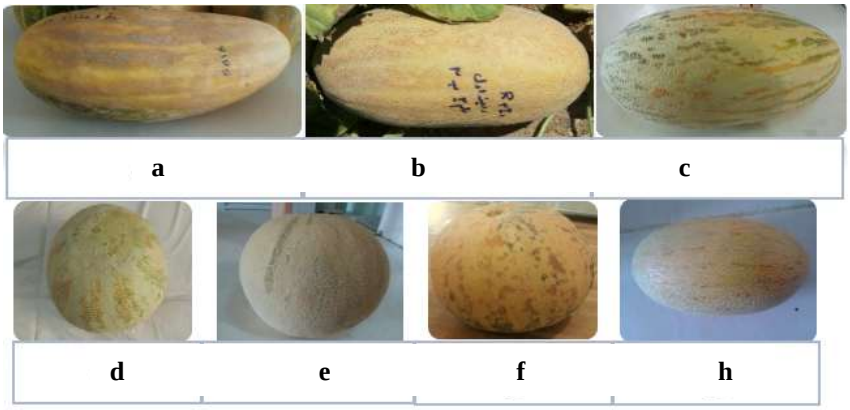
به‌منظور ارزیابی عملکرد، تمام میوه‌ها پس از برداشت وزن شده و عملکرد محاسبه گردید. اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید به روش Rajinder و همکاران (۱۹۸۱) انجام شد. میزان پراکسید هیدروژن به روش اسپکتروفتومتری پس از واکنش با یدید پتاسیم (KI) در طول‌موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و میزان

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد استفاده در آزمایش

شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	سنگریزه (٪)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	pH	EC (ds/m)	کربنات کلسیم (٪)	بافت خاک	ماده آلی (٪)
٥٦	٢٧	١٧	١٧/٨٥	١/٤٥	٧/٤٥	٣/١٣	١٤/٠٩	لومی رسی شنی	١/١١

جدول ۲- داده‌های هواشناسی در طو-ل فصل رشد (۱۳۹٤)

پارامتر هواشناسی	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
رطوبت نسبی (٪)	٤٤	٤٢	٣٩	٥٢
بارندگی (mm)	٠/٣٣	١/١٣	٠/٠٠	٢/٩٣
درجه حرارت حداقل (°C)	١٢/٩٥	١٨/٥٣	١٦/١٤	١٢/٥٨
درجه حرارت حداکثر (°C)	٣١/٩٣	٣٤/٤٦	٣٥/٥١	٣٠/٢٨



شکل ۱- میوه توده‌های خربزه a) کالیار، b) روشی، c) قبادلو، d) گرکه، e) قلم‌قاش، f)گرکه، h) زرکه.

هیدروژن پراکسید برحسب میکرو مول بر گرم بافت تازه‌ی برگ بیان گردید (Alexieva *et al.*, 2001). داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS V9 آنالیز و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ: تنش کم‌آبی تاثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ داشت (جدول ۳) و موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ در توده‌های خربزه مورد مطالعه گردید. به گونه‌ای که با کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ٤٠ درصد نیاز آبی گیاه، محتوای نسبی آب برگ از ۸۰/٦۲ به ٦٦/٧٤ درصد کاهش یافت (جدول ٤). توده‌های مختلف خربزه از نظر محتوای نسبی آب برگ متفاوت بودند، به‌طوری که توده‌های گرکه و کالیار به ترتیب با ۷۸/۱۵ و ۷۷/۰۷ درصد، بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). علت کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی می‌تواند به این دلیل باشد که در طول زمان تنش میزان تعرق بیش از جذب آب گیاه بوده و در نتیجه با به هم خوردن تعادل آبی گیاه محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Lawlor and Cornic, 2002) که توانایی گیاه را در تحمل به تنش نشان می‌دهد (Turhan and Baser, 2004). تفاوت در میزان محتوای نسبی آب برگ ممکن است به تفاوت توانایی ارقام مختلف در جذب بیش‌تر آب از خاک و یا توانایی کنترل آب از طریق روزنه‌ها نسبت داده شود. همچنین این تفاوت ممکن است ناشی از تفاوت توانایی ارقام در تنظیم اسمزی، به‌منظور توانایی حفظ فشار تورژسانس بافت‌ها و فعالیت‌های

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار آبیاری و توده بر شاخص‌های فیزیولوژیکی خربزه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		محتوای نسبی آب برگ	پایداری غشای سلولی	پرولین	مالون دی‌آلدئید	فعالیت کاتالاز
تکرار	۲	۸۰/۸۸ *	۱۳/۰۲ ns	۰/۱ ns	۰/۲٤ns	٤/٥٤ **
آبیاری	۲	۱۰۱۰/۸٥ **	۳۰۳٥/۸۸**	٦/۷ **	۱۹/۲۸**	٤٤/٤ **
خطای کرت اصلی	٤	۰/۹۸	۳/۸۱	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/٤۲
توده	٦	۹٥/۰٤ **	۲۳۸/۹۳ **	۰/۸٤ **	٦/٥٥**	۳/٦۹ **
توده × آبیاری	۱۲	۱٦/۱۷ ns	۲۰/٦۱ ns	۰/۱۲ *	۰/۲۱ ns	۰/۹۸ **
خطای کرت فرعی	۳٦	۱۹/۳۳	۲۲/۱۱	۰/۰٥	۰/۱۲	۰/۳۹
ضریب تغییرات		٥/۹٦	۷/۸	۱۲/٦	۹/٤٥	۱٥/۰٤

****: معنی دار در سطح احتمال یک درصد *: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد ns: غیر معنی دار**

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده در سطوح مختلف آبیاری (درصد نیاز آبی گیاه)

آبیاری (درصد نیاز آبی گیاه)	محتوای نسبی آب برگ	پایداری غشای سلولی	فعالیت کاتالاز	فعالیت پراکسیداز	پرولین	هدایت روزنه ای	پراکسید هیدروژن	مالون دی‌آلدئید	عملکرد
	(٪)	(٪)	(µmol $H_2O_2.g^{-1}$ $FW.min^{-1}$)	(units.g^1 $FW.min^{-1}$)	(mg/g FW)	(mmol/ $m^{-2}s^{-1}$)	µmol.g^{-1}) (FW	(nmol g^{-1} FW)	(kg/ha)
۱۰۰	۸۰/٦۲^a	۷۲/٦۱^a	۲/۸۳^c	۰/۲۲^c	۱/۱۹^c	۳۰٤/٦۹^a	۸/٥٦^c	۲/۸٤^c	٤۰٦۸۱/۹^a
۷۰	۷۳/۸۱^b	٥۹/٥٥^b	۳/۹۷^b	۰/۳۳^b	۱/۸٥^b	۲۳۷/۱٤^b	۱۰/۸۹^b	۳/۷۹^b	۲٤۷۳۲/٦^b
٤۰	٦٦/۷٤^c	٤۸/٦۰^c	٥/۷۲^a	۰/٤۲^a	۲/۳۲^a	۱٦٥/۷۱^c	۱۲/٦٥^a	٤/۷٦^a	۱۷٦۱۱/۱^c

حروف مشابه در هر ستون از هر بخش نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

فیزیولوژیکی باشد (Soleymani *et al*., 2013). نتایج مشابه برای کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت تنش کم‌آبی در دو رقم خربزه و ژنوتیپ‌های مختلف بامیه گزارش شده است (Kavas *et al*., 2013; Kusvuran, 2012).

شاخص پایداری غشای سلولی: نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که با افزایش شدت تنش، شاخص پایداری غشای سلول به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (جدول ۳). به گونه‌ای که با کاهش مقدار آب آبیاری از ۱۰۰ به ٤۰ درصد نیاز آبی گیاه پایداری غشای سلولی از ۷۲/٦۱ به ٤۸/٦۰ درصد کاهش یافت (جدول ٤). توده‌ها از لحاظ پایداری غشای سلولی با همدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند. به‌طوری که توده گرکه با ٦۹/٥۸ درصد بیش‌ترین و توده زرکه با ٦۲ /٥۳ درصد کم‌ترین پایداری غشای سلولی را داشتند (جدول ۵). غشاهای سلولی از اولین بخش‌های سلولی است که توسط تنش‌های محیطی آسیب می‌بینند (Ahmadizadeh *et al*., 2011). پایداری غشای سلولی به‌طور گسترده‌ای برای بیان تحمل به تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد و پایداری غشای بالاتر می‌تواند با تحمل به تنش‌های غیرزنده ارتباط داشته باشد (Gulen *et al*., 2006). دلایل زیادی برای کاهش پایداری غشاء در شرایط خشکی بیان شده است. زمانی که محتوای آب در اندام‌های گیاه تحت تنش خشکی کاهش می‌یابد، مقدار آسیب وارده به غشاء هم افزایش می‌یابد که موجب افزایش تراوایی و نشت یونی از سلول و مرگ آن می‌شود (Apel and Hirt, 2004). کاهش پایداری غشای سلولی بیانگر اختلال در عملکرد غشاء با افزایش در

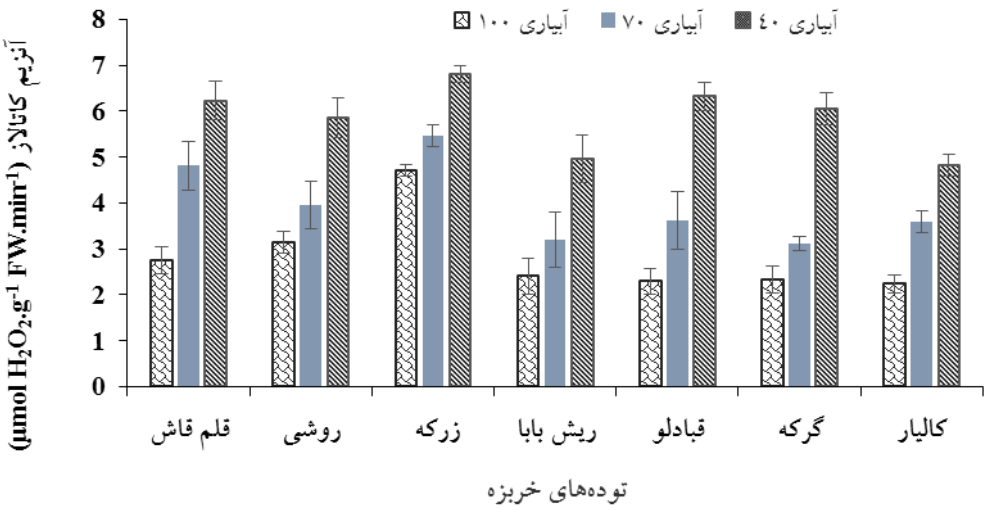
جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در برخی توده‌های خربزه ایرانی

توده	محتوای نسبی آب برگ	پایداری غشای سلولی	فعالیت کاتالاز	فعالیت پراکسیداز	پرولین	هدایت روزنه ای	پراکسید هیدروژن	مالون دی‌آلدئید	عملکرد
	(٪)	(٪)	($\mu mol\ H_2O_2.g^{-1}\ FW.min^{-1}$)	($units.g^{-1}\ FW.min^{-1}$)	(mg/g FW)	($mmol/m^{-2}s^{-1}$)	($\mu mol.g^{-1}\ FW$)	($nmol\ g^{-1}$ FW)	(kg/ha)
قلم قاش	۷٤/۸٤^{ab}	۵۹/۹^{bc}	٤/٦۰^{b}	۰/۲۸^{c}	۱/۵۱^{ef}	۲۵۵/۰٦^{a}	۱۰/۲۷^{b}	۳/٤۳^{c}	۳۳۱۵۲^{a}
روشی	۷۱/۱۷^{bc}	۵۸/۰۹^{cd}	٤/۳۲^{bc}	۰/۳۳^{bc}	۱/۷۰^{de}	۲۰۰/۱۷^{c}	۱۲/٤^{a}	۳/۲۳^{c}	۳۰۷۲۰^{b}
زرکه	٦۹/۲٤^{c}	۵۳/٦۲^{d}	۵/۳۲^{a}	۰/۳٦^{b}	۱/۳٤^{f}	۲٦۵/۳۳^{a}	۸/۹۳^{c}	۳/۹۸^{b}	۲۹۸۸٤^{bc}
ریش بابا	۷۱/۵۷^{bc}	۵٦/۸۳^{cd}	۳/۵۲^{d}	۰/۳٤^{b}	۱/۷۸^{cd}	۱۹۷/۳۹^{c}	۹/۳^{c}	۵/۵۱^{a}	۲۳٤٦۱^{d}
قبادلو	۷٤/۰۱^{ab}	٦۰/۰۵^{bc}	٤/۰۷^{bcd}	۰/٤٦^{a}	۱/۹٤^{bc}	۲٦۲/۵٦^{a}	۱۱/٦۱^{a}	٤/۰۱^{b}	۳۱۲۱۸^{ab}
گرکه	۷۸/۱۵^{a}	٦۹/۵۸^{a}	۳/۸۳^{cd}	۰/۲۹^{c}	۲/۲٤^{a}	۲۲۳/۲۲^{bc}	۱۰/۲٤^{b}	۲/۸۸^{d}	۱۷۵٤۸^{e}
کالیار	۷۷/۰۷^{a}	٦۳/۷^{b}	۳/۵۵^{d}	۰/۲۲^{d}	۲/۰۱^{b}	۲٤۷/۲۲^{ab}	۱۲/۱۸^{a}	۳/۵۳^{c}	۲۷۷٤٤^{c}

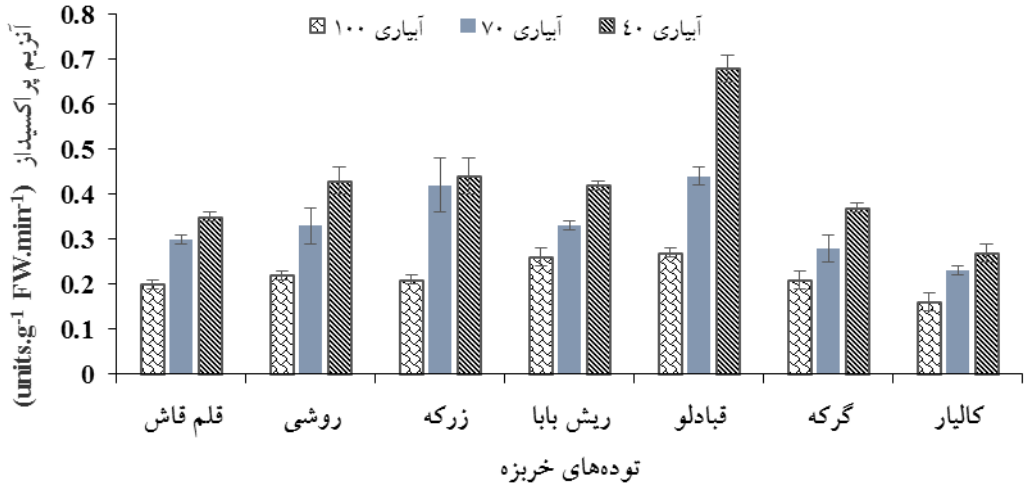
حروف مشابه در هر ستون از هر بخش نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

نفوذپذیری و نشت الکترولیت‌ها از سلول می‌باشد (Bernstein *et al.*, 2010). تنش کم‌آبی با القای تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، سبب پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاهای سلولی شده و نفوذپذیری غشاء و نشت یونی را افزایش می‌دهد. آزمایشی که Karimi و همکاران (۲۰۱۲) برای شناسایی ارقام متحمل بادام در شرایط تنش خشکی انجام دادند، گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش پایداری غشای سلولی شد و ارقام متحمل به تنش خشکی دارای پایداری غشای سلولی بیشتری در شرایط تنش خشکی بودند. نتایج حاصل با نتایج مطالعات پیشین که گزارش شده است با پیشرفت تنش، نشت یونی افزایش می‌یابد همخوانی دارد (Guo, 2006).

فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز: کاهش آبیاری فعالیت هر دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز را افزایش داد. به گونه‌ای که کاهش آبیاری از ۱۰۰ درصد به ٤۰ درصد نیاز آبی گیاه باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز از $\mu mol\ H_2O_2.g^{-1}$ ۲/۸۳$FW.min^{-1}$ به ۵/۷۲ و آنزیم پراکسیداز از $units.g^{-1}$ ۰/۲۲$FW.min^{-1}$ به ۰/٤۲ گردید (جدول ٤). طبق نتایج (جدول ۵) بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز ($units.g^{-1}\ FW.min^{-1}$ ۰/٤٦) در توده قبادلو و کم‌ترین فعالیت ($units.g^{-1}\ FW.min^{-1}$ ۰/۲۲) در توده کالیار به دست آمد. از نظر فعالیت آنزیم کاتالاز توده زرکه بیش‌ترین ($\mu mol\ H_2O_2.g^{-1}\ FW.min^{-1}$ ۵/۳۲) و توده‌های ریش‌بابا و کالیار به ترتیب با $\mu mol\ H_2O_2.g^{-1}$ ۳/۵۲$FW.min^{-1}$ و ۳/۵۵ کم‌ترین فعالیت را داشتند. اثر متقابل آبیاری در توده نیز بر آنزیم کاتالاز و پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۳و٤). بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز ($units.g^{-1}$ ۰/٦۸$FW.min^{-1}$) در توده قبادلو در سطح آبیاری ٤۰ درصد نیاز آبی گیاه و کم‌ترین فعالیت آن ($units.g^{-1}\ FW.min^{-1}$ ۰/۱٦) در توده کالیار در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد (شکل ۲). توده زرکه تحت تنش کم‌آبیاری ٤۰ درصد بیش‌ترین ($\mu mol\ H_2O_2.g^{-1}\ FW.min^{-1}$ ٦/۸۱) فعالیت آنزیم کاتالاز و توده کالیار در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد کم‌ترین ($\mu mol\ H_2O_2.g^{-1}\ FW.min^{-1}$ ۲/۲۳) فعالیت آنزیم را داشتند (شکل ۳). تحقیقات مختلف نشان داده است که در گیاهان همبستگی بالایی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو ناشی از تنش‌های محیطی و افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی وجود دارد (Sairam *et al.*, 2002). میزان فعالیت این آنزیم‌ها بسته به حساسیت ارقام مختلف و همچنین پتانسیل ژنتیکی گونه‌های مختلف، متفاوت است (Masoumi *et al.*, 2010). آنزیم پراکسیداز در دامنه گسترده‌ای از واکنش‌ها دارای نقش بوده و به عنوان



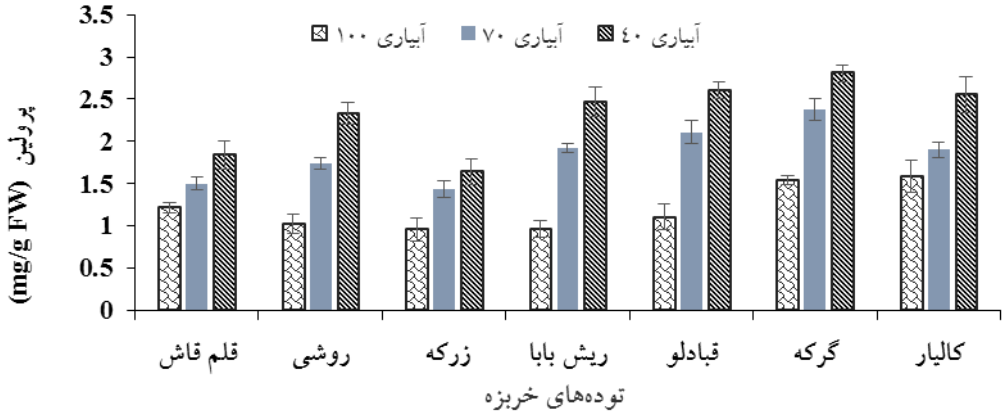
شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر فعالیت آنزیم کاتالاز توده‌های خربزه ایرانی



شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز توده‌های خربزه ایرانی

پذیرنده الکترون عمل می‌کند و از این طریق سبب مهار گونه های فعال اکسیژن می‌شود (زند و همکاران، ۱۳۸۸). افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز تحت تنش کم‌آبی منجر به مهار انواع اکسیژن فعال از جمله پراکسید هیدروژن می‌شود، که در طی تنش تجمع می‌یابد (Zhang *et al.*, 2009). مطالعات انجام شده توسط Kavas و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی فعالیت آنزیم کاتالاز در دو رقم خربزه افزایش یافته است. لذا این آنزیم با حفظ محتوای H_2O_2 در یک سطح خاص، تولید رادیکال‌های آزاد را که ممکن است منجر به پراکسیداسیون غشایی لیپیدها شود مهار می‌کند. افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز در گیاه نخود تحت تنش خشکی گزارش شده است (Mafakheri *et al.*, 2011).

محتوای پرولین: اگر چه تنش کم‌آبی موجب افزایش محتوای پرولین شد، ولی توده‌ها واکنش متفاوتی از این نظر نشان دادند. کم‌ترین مقدار پرولین (۱/۱۹میلی‌گرم در گرم وزن تر) در آبیاری ۱۰۰ درصد و بیش‌ترین مقدار پرولین (۲/۳۲میلی‌گرم در گرم وزن تر) در آبیاری٤٠ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (جدول ٤). تفاوت معنی‌داری در بین توده‌ها از لحاظ پرولین وجود داشت (جدول ۳)، به‌طوری که بیش‌ترین (۲/۲٤میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کم‌ترین (۱/۳٤ میلی‌گرم در گرم وزن تر) محتوای پرولین به ترتیب مربوط به توده گرکه و توده زرکه بود (جدول ۵). افزایش پرولین در



شکل .Error! No text of specified style in document- تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر محتوای پرولین توده‌های خربزه ایرانی

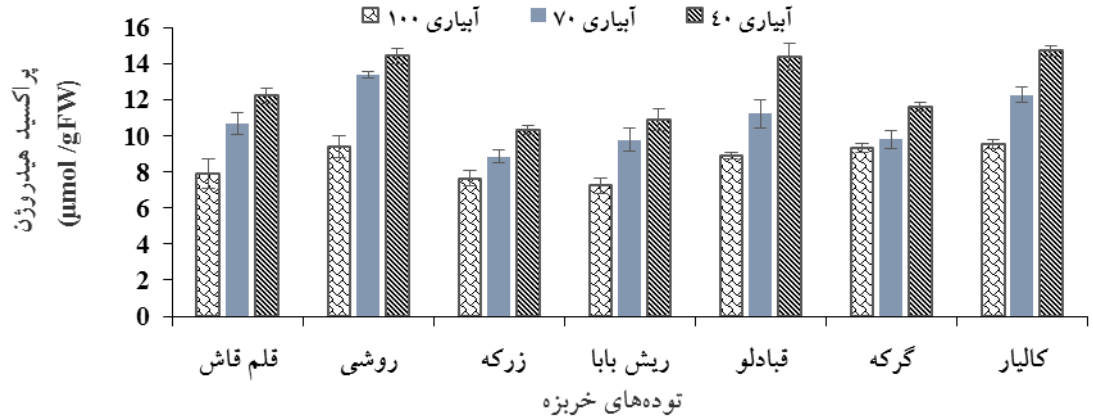
توده‌های گرکه و کالیار با محتوای نسبی آب برگ بیشتر نسبت به توده‌های دیگر همراه بود. در بررسی اثر متقابل توده و آبیاری بر محتوای پرولین گیاه مشخص گردید که توده گرکه در سطح آبیاری ٤۰ درصد نیاز آبی گیاه با ۲/۸۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر، بیش‌ترین و توده زرکه در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با ۰/۹۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر، کم‌ترین مقدار را دارا بودند (شکل ٤). افزایش پرولین در توده‌های گرکه و کالیار با داشتن محتوای نسبی آب برگ بیشتر نسبت به توده‌های دیگر همراه بود. در پاسخ به تنش کم‌آبی فرایندهای متابولیکی خاصی در گیاهان صورت می‌گیرد که غلظت مواد محلول خالص را در سلول افزایش می‌دهند و در نتیجه باعث حرکت آب به سلول‌های برگ و در نتیجه افزایش فشار تورژسانس می‌شوند. تعداد زیادی از ترکیبات سنتز می‌شوند که نقش کلیدی را در حفظ تعادل اسمزی، حفاظت غشاء و ماکرومولکول‌ها دارند که یکی از مهمترین آن‌ها پرولین است (Mahajan and Tuteja, 2005). میزان پرولین در اندام‌های گیاه شاخصی برای میزان تنش وارده در گیاه است و با افزایش شدت تنش بر میزان پرولین نیز افزوده می‌شود Daneshmandi (and Azizi, 2008). گزارش شده است که تجمع پرولین تحت شرایط تنش با تحمل به تنش در بسیاری از گونه‌های گیاهی مرتبط است و غلظت آن در گیاهان متحمل نسبت به گیاهان حساس بالاتر است (Ashraf and Foolad, 2007). افزایش پرولین با کاهش پتانسیل اسمزی در سلول‌ها به حفظ تورژسانس سلولی و سپس حفظ فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی طبیعی در برابر خشکی کمک می‌کند (Guo *et al.*, 2012). در مطالعه حاضر مشخص شد که با افزایش تنش کم‌آبی محتوای پرولین گیاه افزایش یافت. نتایج حاصل با نتایج مطالعات پیشین که گزارش شده است تنش کم‌آبی محتوای پرولین را در سه ژنوتیپ دستنبوی و طالبی ایرانی افزایش داد، همخوانی دارد (زینلی و همکاران، ۱۳۹۱).

هدایت روزنه‌ای: تنش کم‌آبی باعث کاهش هدایت روزنه ای از ۳۰٤/٦۹ میلی مول بر متر مربع در ثانیه در آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۱٦۵/۷۱ میلی مول بر متر مربع در ثانیه در شرایط آبیاری ٤۰ درصد نیاز آبی گردید (جدول ٤). نتایج نشان داد که هدایت روزنه‌ای در بین توده‌ها نیز تفاوت معنی داری داشت (جدول ٤). توده‌های زرکه و قبادلو به ترتیب با ۲٦۵/۳۳ و ۲٦۲/۵٦ بیش‌ترین و توده ریش‌بابا با ۱۹۷/۳۹ کم‌ترین هدایت روزنه‌ای را داشتند (جدول ۵). کاهش شدید هدایت روزنه‌ای احتمالا به دلیل سیگنال‌های ارسالی از ریشه در شرایط تنش خشکی است که عامل بسته شدن روزنه و کاهش فتوسنتز می‌باشد، این سیگنال شیمیایی همان آبسزیک اسید است (Taize and Zaiger, 2007). بسته شدن روزنه‌ها منجر به کاهش تعرق در برگ‌ها می‌شود که از جمله راهکارهای مطابقت گیاهان با خشکی است و موجب حفظ تورژسانس سلولی می‌شود (Shokri *et al.*, 2014). در مطالعه روی توده‌های خربزه مشخص گردید که هدایت روزنه‌ای تحت تنش شوری و خشکی کاهش یافته است (Kusvuran, 2012). نتایج این پژوهش با نتایج Sibomana و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد.

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار آبیاری و توده بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد خربزه

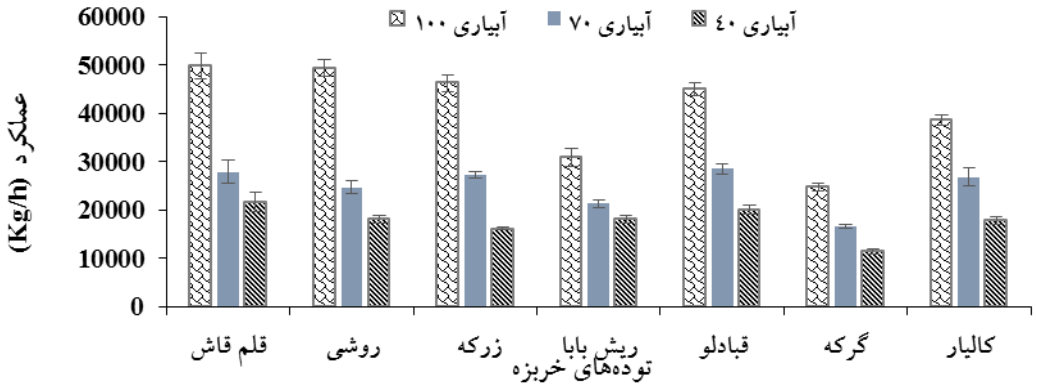
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فعالیت پراکسیداز	هدایت روزنه ای	پراکسید هیدروژن	عملکرد
تکرار	۲	۰/۰۰۲ ns	٤٩٩/٤٥ ns	۰/۰۱ ns	١٣٤٥٥٨٦٧ns
آبیاری	۲	۰/۲۲ **	١٠١٤٢٦/٨٦ **	٨٨/٣١**	٢٩٣٠٧٤٦١١٧**
خطای کرت اصلی	٤	۰/۰۰۱	٣٥٥/١٥	۰/۲۱	١٦٧٣٨٤٣
توده	٦	۰/۰٥ **	٧٤٨٨/٩٧ **	١٧/١١**	٢٦٥٥٣٨٤٨٨ **
توده × آبیاری	١٢	۰/۰۰۹ **	١٠٨٦/٤٧ ns	١/٦٥**	٥٣٢٩١٣٥٤ **
خطای کرت فرعی	٣٦	۰/۰۰۲	٧٣٣/٧٢	۰/٨٢	٥٨٣٢٣٢٧
ضریب تغییرات		١٥/٦٤	١١/٤٨	٨/٤٩	٨/٧٢

****: معنی دار در سطح احتمال یک درصد *: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد ns: غیر معنی دار**



شکل ۵- تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر پراکسید هیدروژن توده‌های خربزه ایرانی

پراکسید هیدروژن: کاهش آبیاری بر پراکسید هیدروژن اثر معنی‌دار داشت به گونه‌ای که کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ٤٠ درصد نیاز آبی گیاه باعث افزایش پراکسید هیدروژن از ۸/٥٦ به ۱۲/٦٥ (میکرو مول در گرم وزن تر) شد (جدول ٤). نتایج نشان داد بین توده‌ها از لحاظ پراکسید هیدروژن تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ٦)، به‌طوری که بیش‌ترین پراکسید هیدروژن را توده‌های روشی، کالیار و قبادلو (به ترتیب با ۱۲/٤، ۱۲/۱۸ و ۱۱/٦۱ میکرو مول در گرم وزن تر) و کم‌ترین پراکسید هیدروژن را توده‌های زرکه و ریش‌بابا (به ترتیب با ۸/۹۳ و ۹/۳ میکرو مول در گرم وزن تر) داشتند (جدول ۵). کاهش پراکسید هیدروژن در توده‌ها ممکن است ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باشد. در بررسی اثر متقابل توده و آبیاری بر پراکسید هیدروژن گیاه مشخص گردید که توده کالیار در سطح آبیاری ٤٠ درصد نیاز آبی گیاه با (١٤/٧) میکرو مول در گرم وزن تر)، بیش‌ترین و توده ریش‌بابا در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با (۷/۲۳ میکرو مول در گرم وزن تر) کم‌ترین مقدار را دارا بودند (شکل ۵). تجمع پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در پاسخ به طیف گسترده‌ای از تنش‌های زنده و غیرزنده در گیاهان صورت می گیرد (Cesur and Tabur, 2011). پراکسید هیدروژن می‌تواند در گیاهان نقش دوگانه داشته باشد، به‌طوری که این ترکیب در غلظت‌های پایین به عنوان یک پیام حد واسط جهت تولید سالسیلیک اسید و اتیلن عمل می‌کند که سبب تطابق بیشتر با شرایط تنش‌زا می‌شود (Hu *et al*., 2009) اما در غلظت‌های بالا



شکل ٦- تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد میوه توده‌های خربزه ایرانی

تخریب بافت و در نهایت مرگ گیاه را به دنبال دارد (Villa-Castorena *et al.*, 2003). افزایش مقدار پراکسید هیدروژن تحت شرایط تنش کم‌آبی احتمالاً نتیجه اختلال در این تعادل است، که منجر به صدمات اکسیداتیو در گیاه شده است. پراکسید هیدروژن یکی از رادیکال‌های آزادی است که باعث پراکسیداسیون لیپیدی و در نتیجه افزایش در نشت‌پذیری غشاء سلول می‌شود که باعث تحریک پیری می‌شود (Cho and Seo, 2005).

مالون دی‌آلدئید: تنش کم‌آبی موجب افزایش مالون دی‌آلدئید در توده‌های خربزه مورد مطالعه شد. به گونه‌ای که با کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ٤٠ درصد نیاز آبی گیاه مالون دی‌آلدئید از ۲/۸٤ به ٤/۷٦ نانو مول در گرم وزن تر افزایش یافت (جدول ٤). توده‌های مختلف خربزه از نظر میزان مالون دی‌آلدئید متفاوت بودند به‌طوری که توده ریش‌بابا با ۵/۵۱ نانو مول در گرم وزن تر، بیش‌ترین و توده گرکه با ۲/۸۸ نانو مول در گرم وزن تر، کم‌ترین میزان مالون دی‌آلدئید را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی که نتیجه اثرات رادیکال‌های آزاد هستند، نشان‌دهنده آسیب تنش در سطح سلولی می‌باشد. بنابراین سطح مالون دی‌آلدئید حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، اغلب به‌عنوان یک شاخص برای آسیب اکسیداتیو به کار می‌رود. مالون‌دی‌آلدئید (محصول تخریب اسیدهای چرب غشاء) در شرایط تنش کم‌آبی افزایش یافته که نشانه پراکسیداسیون لیپیدها بوده و می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز باشد (Jin *et al.*, 2006). افزایش در فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز تحت شرایط تنش اسمزی واکنش‌های پراکسیداسیون لیپیدها را کاتالیز نمی‌کند (BabarAli *et al.*, 2005). مالون‌دی‌آلدئید (محصول تخریب اسیدهای چرب غشاء) در شرایط تنش خشکی افزایش یافته که نشانه پراکسیداسیون لیپیدها بوده و می‌تواند ناشی از کاهش سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز باشد (Jin *et al.*, 2006). نتایج همسانی توسط محمدی و همکاران (۱۳۹٤) گزارش شد که با یافته‌های به دست آمده از این پژوهش موافق است.

عملکرد: تنش کم‌آبی تأثیر منفی بر عملکرد داشت، به گونه‌ای که باعث کاهش عملکرد از ٤۰٦۸۱/۹ کیلوگرم در هکتار در آبیاری ۱۰۰ درصد به ۱۷٦۱۱/۱ کیلوگرم در هکتار در آبیاری ٤۰ درصد گردید (جدول ۵). توده قلم‌قاش با ۳۳۱۵۲ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین و توده گرکه با ۱۷۵٤۸ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین مقدار عملکرد را داشتند (جدول ۵). اثر متقابل آبیاری در توده نیز بر عملکرد معنی‌دار بود (جدول ٦). بیش‌ترین میزان عملکرد در توده‌های قلم‌قاش و روشی به ترتیب با ٤۹۸۸۱/۳۳ و ٤۹٤۳۰/٦۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و کم‌ترین مقدار عملکرد ۱۱۳۵۲ کیلوگرم در هکتار در توده گرکه تحت تنش کم‌آبیاری ٤۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده گردید (شکل ٦). کاهش عملکرد به دلیل رقابت بین برگ و میوه برای جذب آسیمیلات است. کمبود آب منجر به کاهش شدید عملکرد محصول می‌شود که احتمالا به دلیل اختلال در خاصیت تبادل گازی برگ است که نه تنها اندازه برگ و بافت میوه را کاهش می‌دهد بلکه منجر به

اختلال انتقال آسیمیلات و همچنین توزیع ماده خشک می‌شود (Farooq *et al*., 2009). تنش کم آبی با کاهش تعداد میوه به دلیل ریزش گلها و میوه‌های تازه تشکیل شده باعث کاهش عملکرد خربزه می‌شود (Sharma *et al*., 2014). گزارش‌هایی درباره اثر تنش خشکی بر کاهش عملکرد در خربزه و کلم‌پیچ ارائه شده است (Tuna *et al*., 2010; Maggio *et al*., 2005).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش عملکرد میوه گردید و در شرایط کم‌آبیاری ۷۰ و ٤٠ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب عملکرد ۳۹/۲ و ٥٦/۷ درصد کاهش یافت. تجمع پرولین، مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت شرایط کم‌آبی در همه توده‌ها افزایش یافت. با توجه به نتایج، توده قلم‌قاش در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد، بیش‌ترین عملکرد را داشته ولی در شرایط تنش کم‌آبی ٤٠ درصد بیش‌ترین کاهش عملکرد را داشت و توده ریش‌بابا کم‌ترین کاهش عملکرد را در شرایط کم‌آبیاری ٤٠ درصد نسبت به آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه نشان داد. بنا بر نتایج به نظر می‌رسد که توده قلم‌قاش با کم‌ترین میزان تجمع پرولین و فعالیت پائین آنزیم پراکسیداز نسبت به تنش کم‌آبی توده حساسی بوده و کشت و کار آن در مناطق آذربایجان بیانگر آن است. همچنین بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء سلولی و محتوای پرولین در توده‌های گرکه و کالیار نسبت به دیگر توده‌ها حاصل شد.

منابع

برزگر، ط.، دلشاد، م.، مجدآبادی، ع.، کاشی، ع. و قشقایی، ژ. (۱۳۹۰) اثر تنش کم‌آبی بر رشد، عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی خربزه ایرانی. مجله علوم باغبانی ایران. ٤۲: ۳٥۷-۳٦۳.

زند، ب.، سروش‌زاده، ع.، قناتی، ف. و مرادی، ف. (۱۳۸۸) اثر محلول‌پاشی روی و اکسین بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در ذرت دانه‌ای. مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران. ۲: ۳٥-٤۸.

زینلی، ن.، دلشاد، م.، کاشی، ع. و حق‌بین، ک. ا. (۱۳۹۱) اثر تنش آبی بر عملکرد و برخی خصوصیات کیفی سه ژنوتیپ دستنبو و طالبی ایران. مجله علوم باغبانی ایران. ٤۳: ٤۰۳-٤۱۰.

سلیمانی، ز.، رامشینی، ح.، مرتضویان، م.، فوقی، ب. و دکامین، م. (۱۳۹۲) تجزیه همبستگی صفات فیزیولوژیک و گروه‌بندی ژنوتیپ-های گندم نان تحت تنش خشکی. دومین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی. صفحه‌های ۲۸۷۰-۲۸٦٥.

شکری، ب.، قادری، ن. و جوادی، ت. (۱۳۹٤) اثر کاربرد خاکپوش پلاستیکی بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی توت‌فرنگی در شرایط تنش خشکی. علوم باغبانی ایران. ٤٦: ٥۳٥-٥٤۷.

قادری، ن. و سی و سه مرده، ع. (۱۳۹۲) بررسی اثر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی در سه رقم توت‌فرنگی، مجله علوم باغبانی ایران. ٤٤: ۱۲۹- ۱۳٦.

کافی، م.، برزوئی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع. و نباتی، ج. (۱۳۸۸) فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات دانشگاهی مشهد. صفحه ٥۰۲.

محمدی، ع.، ابراهیم‌زاده، ح.، هادیان، ج. و میر معصومی، م. (۱۳۹٤) واکاوی اثر تنش خشکی بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه به‌لیمو *Lippia citriodora* H.B.K.. مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). ۲۸: ٦۱۷-٦۲۸.

وزیری، ژ.، سلامت، ع.، انصاری، م.، مسچی، م.، حیدری، ن. و دهقانی‌سانیچ، ح. (۱۳۸۷) تبخیر-تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان) (ترجمه). انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول، تهران.

Ahmadizadeh, M., Valizadeh, M., Zaefizadeh, M. and Shahbazi, H. (2011) Antioxidative protection and electrolyte leakage in durum wheat under drought stress condition. Journal of Applied Sciences Research 7: 236-246.

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E. (2001) The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress marker in Pea and Wheat. Plant Cell and Environment 24: 1337-1344.

Apel, K. and Hirt, H. (2004) Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Plant Biology 55: 373-399.

Ashraf, M. and Foolad, M. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.

BabarAli, M., Hahn, E. G. and Paek, K. Y. (2005) Effects of temperature on oxidative stress defense systems, lipid peroxidation and lipoxygenase activity in Phalaenopsis. Plant Physiology and Biochemistry 43: 213-223.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Bernstein, N., Shoresh, M., Xu, Y. and Huang, B. (2010) Involvement of the plant antioxidative response in the differential growth sensitivity to salinity of leaves vs roots during cell development. Free Radical Biology and Medicine 49: 1161-1171.

Cakmak, I. and Horst, W. (1991) Effect aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glysine max* L.). Plant Physiology 83: 463–468.

Cesur, A. and Tabur, S. (2011) Chromotoxic effects of exogenous hydrogen peroxide (H_2O_2) in barley seeds exposed to salt stress. Acta Physiologiae Plantarum 33: 705-709.

Cho, U. H. and Seo, N. H. (2005) Oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation. Plant Science 168: 113-120.

Daneshmandi, M. S. H. and Azizi, M. (2008) The study on the effect of water stress and Super Absorbent polymer (SAP) on some quantity and quality characteristics of Sweet basil (*Ocimum basilicum* L. var. keshkeny levelu). In: 6th Iranian Horticultural Science Congress, At Rasht, Iran.

Das, K. and Roychoudhury, A. (2014) Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. Frontiers in Environmental Science. 2: 53.

Demiralay, M., Sağlam A, and Kadıoğlu, A. (2013) Salicylic acid delays leaf rolling by inducing antioxidant enzymes and modulating osmoprotectant content in Ctenanthe setosa under osmotic stress. Turkish Journal of Biology 37(1): 49-59.

FAO, (2014). FAOSTAT. Available at http://faostat3.fao.org/home/index.html (accessed on 08.14.13).

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. (2009) Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Sustainable Agriculture 29: 188-212.

Fereres, E. and Soriano, M. A. (2007) Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany 58: 147–159.

Galmes, J., Flexas, J., Save, R. and Medrano, H. (2007) Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits. Responses to water stress and recovery. Plant Soil 290: 139- 155.

Ghanati, F., Morita. A. and Yokota, H. (2002) Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tobacco cells. Soil Science and Plant Nutrition 48: 357–364.

Gulen, H., Turhan, E. and Eris, A. (2006) Changes in peroxidase activities and soluble proteins in strawberry varieties under salt-stress. Acta Physiologiae Plantarum 28: 109-116.

Guo, Z., Ou, W., Lu, S. and Zhong, Q. (2006) Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. Plant Physiology Biochemistry 44: 828-836.

Guo, R., Hao, W. and Gong, D. (2012) Effects of water stress on germination and growth of linseed seedlings (*Linum usitatissimum* L), photosynthetic efficiency and accumulation of metabolites. Journal of Agricultural Science 4: 253.

Heidari, M. and Jamshidi, P. (2011) Effects of salinity and potassium application on antioxidant enzyme activities and physiological parameters in pearl millet. Journal of Agricultural Sciences in China 10: 228-237.

Hu, Y., Ge, Y., Zhang, C., Ju, T. and Cheng, W. (2009) Cadmium toxicity and translocation in rice seedlings are reduced by hydrogen peroxide pretreatment. Plant Growth Regulation 59: 51-61.

Jin, J., Ningwei, Sh., Jinhe, B. and Junping, G. (2006). Regulation of ascorbate peroxidase at the transcript level is involved in tolerance to postharvest water deficit stress in the cut Rose (*Rose hybrida* L.) CV. Samantha. Journal Postharvest Biology and Technology 40: 236-243.

Karimi, S., Yadollahi, A., Nazari-Moghadam, R., Imani, A. & Arzani, K. (2012) In vitro Screening of Almond (*Prunus dulcis* (Mill.)) Genotypes for Drought Tolerance. Journal Biological Environment Science 6: 263-270.

Kavas, M., Baloğlu, M. C., Akça, O., Köse, F. S. and Gokcay, D. (2013) Effect of drought stress on oxidative damage and antioxidant enzyme activity in melon seedlings. Turkish Journal of Biology 37: 491-498.

Kusvuran, S. (2012) Influence of drought stress on growth, ion accumulation and antioxidative enzymes in okra genotypes. International Journal of Agriculture and Biology14: 401-406.

Kusvuran, S. (2012). Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). African Journal of Agricultural Research 7: 775-781.

Lawlor, D. W. and Cornic, G. (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plant. Journal Plant Cell and Environment 25: 275-294.

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P. C. and Sohrabi, Y. (2011) Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. Australian Journal of Crop Science 5: 1255-1260.

Maggio, A., De Pascale, S., Ruggiero, C. and Barbieri, G. (2005). Physiological response of field-grown cabbage to salinity and drought stress. European journal of agronomy 23: 57-67.

Mahajan, S. and Tuteja, N. (2005) Cold, salinity and drought stresses, an overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 444: 139-158.

Masoumi, H., Masoumi, M., Darvish, F., Daneshian, J., Nourmohammadi, G. H. and Habibi, D. (2010) Change in several Antioxidant Enzymes Activity and Seed Yield by Water Deficit Stress in Soybean (*Glycine max* L.) Cultivars. Botany Horticultural 38: 50- 59.

Rajinder, S. D., Dhindsa, P. P. and Thorpe, T. A. (1981) Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Journal of Experimental Botany 32: 93-101.

Sairam, R. K., Rao, K. V. and Srivastava, G. C. (2002) Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Journal of Plant Science 163: 1037-1046.

Sharma, S. P., Leskovar, D. I., Crosby, K. M., Volder, A. and Ibrahim, A. M. H. (2014) Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. Agricultural Water Management 136: 75-85.

Sibomana, I. C., Aguyoh, J. N. and Opiyo, A. M. (2013) Water stress affects growth and yield of container grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) plants. Global Journal of Bio-science and Biotechnology 2: 461-466.

Taize, L. and Zaiger, E. (2007) ABA and drought adaptation. Chapter 25. P: 671-682.

Tuna, A. L., Kaya, C. and Ashraf, M. (2010) Potassium sulfate improves water deficit tolerance in melon plants grown under glasshouse conditions. Journal of Plant Nutrition 33: 1276-1286.

Turhan, H. and Baser, I. (2004) In vitro and *in vivo* water stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). HELIA 27: 227-235.

Villa-Castorena, M., Ulery, A. L., Valencia, E. A. C. and Remmenga, M. D. (2003) Division S-4-soil fertility and plant nutrition. Soil Science Society of America Journal 67: 1781-1789.

Vinocur, B. and Altman, A. (2005) Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. Current Opinion in Biotechnology 16: 123-132.

Zhang, F. Q., Zhang, H. X., Wang, G. P., Xu, L. L. and Shen, Z. G. (2009) Cadmium induced accumulation of hydrogen peroxide in the leaf apoplast of *Phaseolus aureus* and *Vicia sativa* and the roles of different antioxidant enzymes. Journal of Hazardous Materials 41: 124- 138.