نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶
http://jwsc.gau.ac.ir

تعیین تابع تولید برتر آب– شوری– عملکرد ماده خشک در دوره رشد رویشی خرما

مجید علی‌حوری*
استادیار پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: برنامه‌ریزی دقیق به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی با توجه به شرایط اقلیمی کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام‌شده، خشکی و شوری دو عامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. از آن‌جا که تغییر هر یک موجب تعدیل و یا تشدید اثر دیگری بر گیاه می‌شود، بررسی تأثیر توأم آن‌ها بر گیاهانی مانند نخل خرما ضرورت دارد. در این پژوهش، اثرات توأم تنش آبی و شوری آب آبیاری در مرحله رشد رویشی خرمای رقم برحی که یکی از مهم‌ترین ارقام تجاری کشور است، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به روش فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با دو عامل میزان آب آبیاری و شوری آب آبیاری در سه تکرار روی نهال‌های خرمای رقم برحی انجام شد. میزان آب آبیاری در سه سطح ۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه و شوری آب آبیاری در سه سطح ۲/۵، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بودند. میزان آب آبیاری با اندازه‌گیری رطوبت خاک محاسبه شد. توابع تولید آب- شوری- عملکرد ماده خشک به‌صورت معادلات خطی ساده، لگاریتمی، درجه دوم و متعالی تعیین شدند. پنج شاخص آماری ضریب تعیین تعدیل‌شده (R^2_{adj})، کارایی مدل‌سازی (EF)، حداکثر خطا (ME)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (nRMSE) و ضریب جرم باقی‌مانده (CRM) برای ارزیابی و مقایسه این معادلات استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تیمارهای میزان آب آبیاری، شوری آب آبیاری و اثرات متقابل میزان آبیاری و شوری آب اثر معنی‌دار بر تمام صفات رویشی به‌جز مقدار نسبی آب اندام هوایی داشتند. با کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه، میانگین ماده تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب فقط ۵/۰ و ۵/٦ درصد کاهش یافت که معنی‌دار نبود. میانگین ماده تر و خشک اندام هوایی هنگام آبیاری به‌میزان ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه، به‌ترتیب با ۲٦/۳ و ۲٤/٤ درصد کاهش معنی‌دار داشتند. در حالی‌که با افزایش شوری آب از ۲/۵ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر، میانگین ماده تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب با ٤٤/۰ و ٤۲/۰ درصد کاهش معنی‌دار یافتند که این مقادیر در آب ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب به ٥٤/۱ و ٥۲/۰ درصد رسید. بیش‌ترین مقادیر صفات رویشی گیاه در آبیاری با آب ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بود که اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها به‌جز آبیاری با آب ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌میزان ۸۵ درصد نیاز آبی داشت.

* مسئول مکاتبه: alihouri_m@hotmail.com

نتیجه‌گیری: آبیاری نهال‌های خرمای رقم برحی هنگام مصرف آب با شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، می‌تواند بر اساس ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه انجام شود. مقایسه توابع تولید آب- شوری- عملکرد ماده خشک نشان داد که در دوره رشد رویشی خرمای رقم برحی، معادله درجه دوم دارای دقت بیش‌تری در برآورد عملکرد ماده خشک بود. تمام معادلات به‌جز معادله درجه دوم، میزان ماده خشک اندام هوایی را کم‌تر از میزان واقعی برآورد نمودند.

واژه‌های کلیدی: آب شور، آبیاری، اندام هوایی، کم آبیاری، مدل‌سازی

مقدمه

خرما یکی از مهم‌ترین محصولات باغی کشور است که نقش مهمی در امنیت غذایی، ایجاد اشتغال و پایداری محیط زیست ایفا می‌نماید. ایران با داشتن ٤۰۰ رقم خرما، دارای غنی‌ترین ژرم‌پلاسم در جهان است که حدود ۵۰ رقم از این مجموعه دارای ارزش تجارتی و صادراتی می‌باشند. خرما با سهم تولید ٦/۳ درصد از کل میزان تولید محصولات باغی کشور، رتبه چهارم میزان تولید را در بین محصولات باغی دارد. بر اساس آمار منتشر شده توسط وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت خرما برابر ۲۲۸۰۱۱ هکتار (حدود ۱۹۸/۵ هزار هکتار بارور و ۲۹/۵ هزار هکتار غیربارور) و میزان تولید خرما برابر ۱/۰٤ میلیون تن است (۱). طبق آخرین گزارش سازمان جهانی خواربار و کشاورزی، کشور ایران از نظر سطح زیر کشت (بارور) و تولید خرما به‌ترتیب رتبه سوم و دوم را در جهان به خود اختصاص داده است (۱۱).

کشور ایران به‌دلیل اندک بودن ریزش‌های جوی و نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی بارندگی‌ها، از جمله کشورهایی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار دارد. بنابراین برنامه‌ریزی دقیق به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود آب همراه با کاهش کیفی منابع آب و خاک همراه بوده که استفاده از این گونه آب‌ها هنگام کم آبیاری مشکلاتی را ایجاد می‌نماید. عمده‌ترین اثر تنش شوری بر گیاهان کاهش و یا توقف رشد می‌باشد. در ساده‌ترین تحلیل پیرامون پاسخ گیاهان به تنش شوری، کاهش رشد شاخساره رخ می‌دهد (۱۵ و ۱۹). البته تحمل به شوری در یک گونه گیاهی به عوامل متعددی مانند نوع خاک، شرایط اقلیمی منطقه و توانایی گیاه برای غلبه بر اثرات سوء شوری در ناحیه ریشه بستگی دارد (۲۸).

متأسفانه اطلاعات بسیار محدودی در مورد اثرات توأم کم‌آبیاری و شوری آب بر ارقام مختلف خرما وجود دارد. زیرا که در اکثر مطالعات انجام شده، تأثیر میزان آبیاری و یا شوری آب آبیاری به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است. ارقام مختلف نخل خرما نیز واکنش یکسانی به تنش‌های مذکور نداشته و درجه حساسیت مراحل مختلف رشد آن‌ها متفاوت است (۵). به‌منظور تعیین بهترین دور و عمق آبیاری در مرحله رشد رویشی پاجوش (نهال به وجود آمده از جوانه‌های ریشه نخل) خرمای رقم مضافتی در استان کرمان، اثرات آبیاری نواری با عمق آبیاری معادل ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر و دور هفت روز و آبیاری قطره‌ای با عمق آبیاری معادل ٦۰ و ۸۰ درصد تبخیر از تشت کلاس A و دور سه روز بررسی شد. در این مطالعه، بهترین رشد رویشی پاجوش خرما با آبیاری قطره‌ای به‌میزان ۸۰ درصد تبخیر از تشت کلاس A و دور سه روز به‌دست آمد (۱۳). بررسی تأثیر دور آبیاری بر گیرایی و رشد رویشی پاجوش‌های خرمای رقم استعمران در استان خوزستان نشان داد که دور

آبیاری بر تعداد برگ، تعداد برگچه، طول برگچه و عرض برگچه اثر معنی‌دار داشت. آبیاری در ماه اول، دوم و بقیه ایام سال به‌ترتیب پس از ٤٥، ٦٠ و ٧٥ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A مناسب‌ترین دور آبیاری بود (٦). در مطالعه دیگری در همین استان، اثرات دور و میزان آبیاری در سه سطح آبیاری پس از ٥٠، ٧٥ و ١٠٠ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A و چهار سطح آبیاری به‌میزان ٦٠، ٨٠، ١٠٠ و ١٢٠ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A روی پاجوش‌های خرمای رقم برحی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، آبیاری پاجوش‌های خرمای رقم برحی برای سال‌های اول و دوم رشد گیاه، پس از ٧٥ میلی‌متر تبخیر تجمعی و به‌میزان ٨٠ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A توصیه شد (٤).

در حالی‌که سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی (FAO)، آب آبیاری با شوری ٢/٧ دسی‌زیمنس بر متر یا خاک با شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر را حد شروع اثرات منفی بر نخل خرما اعلام نموده (٣٠)، اما بر اساس مطالعات انجام‌شده در کشور هند، میزان تحمل خرما به شوری خاک تا ١٠/٩ دسی‌زیمنس بر متر، بدون کاهش عملکرد گزارش شده است (٩). البته مرور پژوهش‌های مختلف بیانگر وجود تفاوت بین ارقام مختلف خرما در تحمل شوری آب و خاک می‌باشد. بررسی اثرات شوری آب آبیاری با هدایت الکتریکی ٢/٥، ٦ و ٩ دسی‌زیمنس بر متر بر میزان گیرایی و رشد نهال‌های خرمای رقم برحی و دیری در استان خوزستان نشان داد که شوری آب اثر معنی‌داری بر گیرایی و صفات رویشی نهال‌های دو رقم خرما نداشت. البته این آزمایش به‌مدت چهار ماه اجرا شد (٤٠). همچنین اثرات وجود آب زیرزمینی با شوری بین ١/٤ و ٣ دسی‌زیمنس بر متر، معادل ٨ و ١٢ دسی‌زیمنس بر متر با دو عمق سطح ایستابی ٦٠ و ٩٠ سانتی‌متر نشان داد که شوری آب زیرزمینی تأثیر معنی‌داری بر میزان تغییر نمک ناحیه ریشه، تبخیر- تعرق، محیط تنه، تعداد برگ و برگچه نهال خرمای رقم برحی نداشت. آبیاری تمام نهال‌های خرما در این پژوهش، با آب رودخانه (هدایت الکتریکی ١/٤ تا ٣ دسی‌زیمنس بر متر) انجام گرفت (٣٨). بررسی رشد نهال‌های کشت بافتی خرمای رقم مجول در آبیاری با آب دارای شوری ٠/٥، ٤، ٨ و ١٢ دسی‌زیمنس بر متر و غلظت‌های مختلف بُر (B) به‌مدت یک سال نشان داد که تبخیر- تعرق گیاه و رشد آن با شروع تیمارهای شوری آب به‌ویژه در شوری ١٢ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت (٣٩). پاسخ دوازده رقم نخل خرما از کشور امارات متحده عربی نسبت به شوری آب آبیاری معادل ٣٣٠، ٣٠٠٠، ٦٠٠٠ و ٩٠٠٠ میلی‌گرم بر لیتر (نمک کلرور سدیم) مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری صفات رویشی گیاه نشان داد که اختلاف معنی‌دار در رشد نهال‌های خرما بین شوری ٣٣٠ و ٣٠٠٠ میلی‌گرم بر لیتر وجود نداشت، ولی تعداد برگ و وزن ریشه و اندام هوایی با رسیدن شوری آب آبیاری به ٦٠٠٠ میلی‌گرم بر لیتر کاهش معنی‌دار داشت. تفاوت بین پاسخ ارقام مختلف نسبت به شوری آب آبیاری معنی‌دار بود (٧).

کوراپ و همکاران (٢٠٠٩) میزان تحمل به شوری آب در پاجوش‌های چهار رقم نخل خرما را به‌مدت یک سال بررسی نمودند. پاجوش‌های خرما ابتدا با آب دارای هدایت الکتریکی ٧/٨ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شدند و سپس شوری آب در فواصل منظم سه‌ماهه به ١١/٧، ١٥/٦، ١٩/٥، ٢٣/٤ و ٢٧/٣ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. این پژوهشگران دریافتند که پاسخ ارقام مختلف نسبت به شوری آب آبیاری معنی‌دار بود، به‌طوری‌که رشد رویشی دو رقم

مسالی[1] و رازز[2] با افزایش شوری آب آبیاری از ۷/۸ تا ۲۷/۳ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت ولی در ارقام بوگال وایت[3] و کشکر[4]، شوری موجب افزایش رشد رویشی شد (۲۳). بررسی وضعیت رشد نهال‌های دو ساله خرمای رقم مجول که با آب دارای ۱۱٦، ۱۷٤۰، ٤۳۵۰ و ٦۰۹۰ میلی‌گرم نمک کلرور سدیم به‌مدت شش ماه آبیاری شدند، بیانگر کاهش معنی‌دار وزن خشک کل گیاه در آب آبیاری حاوی ٦۰۹۰ میلی‌گرم نمک بود (۳٦).

رابطه بین آب، خاک، گیاه و اقلیم عموماً پیچیده بوده و شامل فرایندهای بیولوژیک، فیزیولوژیک و شیمیایی است. بنابراین برای بیان رابطه کمّی بین عملکرد (رویشی و زایشی) گیاه و عوامل تولید از تابع تولید استفاده می‌شود. تابع تولید یک مفهوم کلی و کاربردی است و بیانگر یک رابطه ریاضی بین ماده خشک تولیدی و نهاده‌های مصرفی در فرایند تولید می‌باشد (۳٤). تابع تولید آب یکی از معمول‌ترین توابع تولید و بیان‌کننده رابطه عملکرد گیاه با میزان آب آبیاری است. در اکثر مطالعات اثر میزان آب و یا شوری آب بر عملکرد گیاه به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است. اما در شرایط طبیعی، معمولاً دو عامل خشکی و شوری که موجب اختلال در جذب آب توسط گیاه می‌شوند، با هم وجود دارند. بنابراین لازم است تأثیر توام میزان آب و شوری بر عملکرد گیاه بررسی شود و تابع تولید آن مشخص شود (۱۹ و ۳٦).

بنابراین بر اساس پژوهش‌های ذکرشده، خشکی و شوری دو عامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله کشور ایران است. از آن‌جا که تغییر هر یک موجب تعدیل و یا تشدید اثر دیگری بر گیاه می‌شود، بررسی تأثیر توأم آن‌ها بر گیاهانی مانند نخل خرما ضرورت دارد. بنابراین در این پژوهش، اثرات توام تنش آبی و شوری آب آبیاری در مرحله رشد رویشی خرمای رقم برحی که یکی از مهم‌ترین ارقام تجاری کشور است، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به روش فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با دو عامل میزان آب آبیاری و شوری آب آبیاری در پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری واقع در شهرستان اهواز به طول جغرافیایی '۴۸ °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی '۲۰ °۳۱ شمالی و با ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا اجرا شد. میزان آب آبیاری در سه سطح آبیاری به‌میزان ۱۰۰ (I_1)، ۸۵ (I_2) و ۷۰ (I_3) درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان عامل اول و شوری آب آبیاری در سه سطح ۲/۵ (S_1)، ۸ (S_2) و ۱۲ (S_3) دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان عامل دوم با سه تکرار در نظر گرفته شدند. لازم به ذکر است که شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، مربوط به میانگین شوری آب رودخانه کارون در دوره اجرای پژوهش بود. ۲۷ لایسیمتر استوانه‌ای زهکش‌دار به قطر ۷۰ و ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر ساخته شد که درون آن با خاک تا رسیدن به تراکم طبیعی خاک نخلستان پر شد. نمونه‌های مرکبی از خاک برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱). عملیات کاشت نهال‌های خرمای رقم برحی در اسفندماه سال ۱۳۹۲ با رعایت اصول کاشت شروع شد. با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام‌شده (۱٦، ۱۷، ۳۷ و ۳۸)، از برگ خشک خردشده خرما با تراکم ۱/۵ کیلوگرم بر مترمربع به‌عنوان خاک‌پوش (مالچ) برای پوشش سطح خاک تمام لایسیمترها استفاده شد. به‌منظور جلوگیری از اثر تابش خورشید و انتقال

1- Mesalli
2- Razez
3- Bugal white
4- Khashkar

حرارت، بدنه لایسیمترها با عایق پشم شیشه و پلاستیک پوشانده شدند. اطراف نهال‌ها نیز برای حفاظت آن‌ها از گرما و سرمای شدید با برگ‌های خرما پوشش داده شد (شکل ۱).

دوره استقرار و گیرایی نهال‌های خرما در لایسیمترها به‌مدت سه ماه بود، که پس از آن اقدام به آبیاری نهال‌ها طبق تیمارهای مورد آزمایش (کم‌آبیاری و شوری) شد. بدین‌منظور دو منبع ۱۰۰۰ لیتری برای ذخیره آب رودخانه کارون و آب با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر و یک منبع ۵۰۰۰ لیتری برای ذخیره آب با شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تهیه شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. Soil physical and chemical properties.

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil Texture	چگالی ظاهری ρ_b (g/cm^3)	رطوبت جرمی ظرفیت زراعی FC (%)	رطوبت جرمی نقطه پژمردگی PWP (%)	pH	SAR	EC (dS/m)
0-25	لوم شنی Sandy loam	1.3	17.1	7.7	7.3	5.6	3.9
25-50	لوم شنی Sandy loam	1.3	16.8	7.6	7.4	5.6	3.9
50-75	لوم شنی Sandy loam	1.3	16.5	7.4	7.4	5.5	3.8

شکل ۱- نمایی از لایسیمترهای نهال خرما.

Figure 1. Plan of juvenile date palm lysimeters.

نمونه‌هایی از آب رودخانه کارون در فواصل زمانی مختلف گرفته شد که میانگین شوری آن در مدت آزمایش معادل ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. آب‌های با شوری ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، از اختلاط زه‌آب‌های شور موجود در منطقه با آب رودخانه کارون تهیه شدند. نمونه‌ای از آب‌های آبیاری برای تعیین خصوصیات شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۲). تفاوت بین مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها در آب آبیاری به‌دلیل عدم امکان اندازه‌گیری سولفات است.

دور آبیاری با اندازه‌گیری رطوبت خاک در تیمار آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و شوری آب رودخانه کارون (تیمار شاهد) تعیین شد تا عملیات آبیاری قبل از کاهش رطوبت خاک به‌میزان کمبود مجاز مدیریتی (MAD) که معادل ۰/۵ بود، شروع شود. البته به‌منظور جلوگیری از تخریب ساختمان خاک لایسیمتر در اثر نمونه‌برداری‌های متعدد، معادلات مختلفی بین مقادیر رطوبت خاک و تبخیر از تشت کلاس A (آمار ایستگاه هواشناسی مستقر در مجاور محل اجرای پژوهش) برای انتخاب بهترین معادله رگرسیون برازش داده شد تا زمان شروع آبیاری نهال‌ها بر اساس میزان تبخیر تجمعی از تشت کلاس A تعیین شد.

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب‌های آبیاری.

Table 2. Chemical properties of irrigation waters.

گروه کیفی Qualitative	EC	SAR	pH	آنیون‌های محلول Anions (meq/lit)			کاتیون‌های محلول Cations (meq/lit)		
group	(dS/m)			Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
C4-S2	2.5	5.2	7.9	19.8	3.7	-	13.3	7.7	5.5
C4-S4	8.0	12.9	8.0	64.0	5.3	-	54.8	25.8	9.8
C4-S4	12.0	17.5	8.0	86.0	12.1	-	85.1	29.1	18.2

عمق خالص آبیاری برای تیمارهای تامین‌کننده ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، بر مبنای رسیدن رطوبت وزنی خاک (W_i) به ظرفیت زراعی (W_{fc}) و تامین کمبود رطوبت خاک از معادله زیر محاسبه شود:

$$d_n = (W_{fc} - W_i)\, \gamma_b .\, Z \qquad (۱)$$

که در آن، d_n عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)، ρ_b چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب) و Z عمق توسعه ریشه (میلی‌متر) است. میزان آب آبیاری با توجه به نیاز آبشویی هر یک از آب‌های آبیاری تعیین شد. لازم به ذکر است که در آب آبیاری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر که نیاز آبشویی کم‌تر از ۰/۱ یا ۱۰ درصد به‌دست آمد، از مقدار آن صرف‌نظر شد (۲۵). پس از تعیین میزان آب مورد نیاز در تیمارهای آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، میزان آب مورد نیاز تیمارهای کم‌آبیاری (۸۵ و ۷۰ درصد) بر اساس درصدی از مقدار مذکور محاسبه شد و توسط آبپاش دستی در اختیار گیاه قرار گرفت.

در پایان مدت پژوهش (خردادماه ۱۳۹۴)، تعداد کل برگ و برگچه هر یک از نهال‌های خرما شمارش شدند و تفاوت آن نسبت به زمان قبل از اعمال تیمارها، به‌عنوان میزان رشد گیاه در نظر گرفته شد. همچنین ماده یا وزن (زیست‌توده[1]) تر و خشک اندام هوایی

1- Biomass

(شاخساره) و مقدار نسبی آب[1] در اندام هوایی گیاه (نسبت تفاوت بین میزان ماده تر و خشک اندام هوایی به ماده تر اندام هوایی) اندازه‌گیری و محاسبه شد.

به‌منظور تعیین ماده خشک، اندام هوایی تمام نهال‌ها در دستگاه آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۷۲ ساعت قرار گرفت. پس از جمع‌آوری داده‌ها، توابع تولید آب- شوری- عملکرد ماده خشک به‌صورت معادلات خطی ساده، لگاریتمی[2]، درجه دوم و متعالی[3] تعیین شدند:

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 EC_w \qquad \text{خطی ساده} \qquad (۲)$$

$$Y = a_0 I^{a1} EC_w^{a2} \qquad \text{لگاریتمی} \qquad (۳)$$

(٤) درجه دوم

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 EC_w + a_4 EC_w^2 + a_5 I.EC_w$$

(۵) متعالی

$$Y = a_0 I^{a1} EC_w^{a2} \exp(a_3 I + a_4 EC_w)$$

که در آن‌ها، Y ماده خشک اندام هوایی (گرم)، I مقدار آب آبیاری (میلی‌متر)، EC_w هدایت الکتریکی آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر) و a_i ضرایب ثابت می‌باشند. پس از تعیین ضرایب معادلات، از پنج شاخص آماری ضریب تعیین تعدیل‌شده[4] (R^2_{adj})، کارایی مدل‌سازی[5] (EF)، حداکثر خطا[6] (ME)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده[7] (nRMSE) و ضریب جرم باقی‌مانده[8] (CRM) برای ارزیابی و مقایسه این مدل‌ها استفاده شد:

$$EF = \frac{\sum (O_i - \bar{O})^2 - \sum (P_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \qquad (۷)$$

$$ME = Max \left| P_i - O_i \right| \qquad (۸)$$

$$nRMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} \cdot \left(\frac{100}{\bar{O}} \right) \qquad (۹)$$

$$CRM = \frac{\sum O_i - \sum P_i}{\sum O_i} \qquad (۱۰)$$

که در آن‌ها، P_i مقادیر برآوردشده، O_i مقادیر اندازه‌گیری‌شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و n تعداد مشاهدات است.

ضریب تعیین (R^2) مجذور ضریب همبستگی بین دو متغیر مستقل و وابسته است، با فرض این که همه متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته تأثیر دارند. در صورتی که در ضریب تعیین اصلاح‌شده (R^2_{adj})، فقط تأثیر متغیرهای مستقل واقعی بر متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هنگامی که هدف مقایسه دو یا چند مدل است، ضریب تعیین تعدیل‌شده مورد استفاده قرار می‌گیرد که اصلاح و تعدیل ضریب تعیین نمونه برای کل جامعه آماری است. شاخص EF نشان‌دهنده نسبت انحراف مقادیر شبیه‌سازی‌شده از اندازه‌گیری‌شده به انحراف مقادیر اندازه‌گیری‌شده از میانگین آن‌ها می‌باشد. مقدار این ضریب هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، مدل کاراتر است. ضریب ME نمایانگر چگونگی اجرای مدل است و مقدار زیاد آن بیانگر کارکرد ضعیف مدل می‌باشد. nRMSE بیانگر تفاوت بین مقادیر برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده نسبت به میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده است. هرچه این ضریب به صفر نزدیک‌تر باشد، عملکرد شبیه‌سازی مدل بهتر است. شاخص CRM نیز نشان‌دهنده تمایل مدل برای پیش‌برآوردی[9] و یا کم‌برآوردی[10] نسبت به

1- Relative water content
2- Cobb-Douglas
3- Transcendental
4- Adjusted coefficient of determination
5- Modeling Efficiency
6- Maximum Error
7- Normalized Root Mean Square Error
8- Coefficient of Residual Mass
9- Overestimate
10- Underestimate

مقادیر اندازه‌گیری‌شده است. اگر مقدار این ضریب منفی شود، تمایل مدل به برآوردهایی بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده است. در حالت کلی، چنان‌چه تمام مقادیر پیش‌بینی‌شده برابر مقادیر اندازه‌گیری‌شده باشند، آن‌گاه شاخص‌های R^2_{adj} و EF برابر یک و شاخص‌های ME، nRMSE و CRM برابر صفر خواهند بود (۱٤، ۳۱ و ۳٦). نرم‌افزارهای مورد استفاده در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل صفات اندازه‌گیری‌شده و تعیین پارامترهای مدل‌ها، SPSS Statistics 19 و Excel بودند و تیمارهای مختلف با آزمون چنددامنه‌ای دانکن مقایسه گردیدند.

نتایج و بحث

بررسی وضعیت رشد نهال‌های خرما بیانگر سبز ماندن تمام نهال‌های مورد آزمایش بود. سبز ماندن نهال‌های خرما حتی در شرایطی که آبیاری با آب شور دارای هدایت الکتریکی ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و به‌میزان ۳۰ درصد کم‌تر از درصد نیاز آبی گیاه انجام شد، می‌تواند دلالت بر متحمل بودن نهال‌های خرمای رقم برحی نسبت به کم‌آبیاری و شوری آب و خاک داشته باشد. این یافته با نتایج سایر پژوهش‌های انجام‌شده مطابقت دارد. گیرایی و سبز ماندن نهال‌های کشت بافتی خرمای رقم برحی در آبیاری با آب شور دارای هدایت الکتریکی ۹ دسی‌زیمنس بر متر (٤۰) و در خاک با شوری ۱٤/۲ دسی‌زیمنس بر متر (۳۸) نیز گزارش شده است. گزارش ارائه‌شده از کشور پاکستان در مورد وضعیت رشد نهال‌های خرما پس از کاشت در خاک با شوری ۷ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (شوری خاک به‌ترتیب برای عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ٦۰ سانتی‌متر) بیانگر گیرایی و رشد ۹٦ درصد نهال‌ها بود (۲۹).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی نهال‌های خرما، تأثیر تیمارهای میزان آب و شوری آب آبیاری بر تمام صفات رویشی به‌جز مقدار نسبی آب اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تجزیه واریانس صفات رویشی برای اثرات متقابل میزان آب و شوری آب آبیاری بر تعداد برگ و ماده تر و خشک اندام هوایی معنی‌دار شد، ولی در مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن، تعداد برگچه نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول‌های ۳ و ٤).

جدول ۳- میانگین مربعات صفات رویشی گیاه.

Table 3. Square mean of plant vegetative characteristics.

منبع تغییر Source of variable	درجه آزادی df	تعداد برگ Leaf number	تعداد برگچه Leaflet number	ماده تر اندام هوایی Shoot wet matter	ماده خشک اندام هوایی Shoot dry matter	مقدار نسبی آب RWC
میزان آب Irrigation depth	2	3.5**	10187.8**	72169.4**	12049.2**	2.64^{ns}
شوری آب Water salinity	2	18.6**	48452.9**	561115.2**	92779.8**	3.35^{ns}
میزان آب × شوری Irrigation depth * Water salinity	4	0.5**	1234.1^{ns}	39089.2**	7300.5**	0.77^{ns}
خطا Error	18	0.1	483.3	1327.1	473.3	7.11
کل Total	26					

^{ns} غیرمعنی‌دار، * معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد و ** معنی‌دار در سطح آماری یک درصد.

^{ns} non significant, * significant at P=5% level and ** significant at P=1% level.

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات رویشی گیاه.

Table 4. Mean comparison of plant vegetative characteristics.

تیمار Treatment	تعداد برگ** Leaf number**	تعداد برگچه** Leaflet number**	ماده تر اندام هوایی** Shoot wet matter** (g)	ماده خشک اندام هوایی** Shoot dry matter** (g)	مقدار نسبی آب* RWC* (%)
I_1S_1	4.7 a	375.0 a	1039.4 a	427.5 a	58.9 a
I_1S_2	2.0 c	234.0 bc	515.6 cd	217.3 bc	57.8 a
I_1S_3	2.0 c	228.0 bc	420.2 de	180.6 c	57.1 a
I_2S_1	4.0 a	356.0 a	955.7 a	394.3 a	58.7 a
I_2S_2	2.0 c	226.0 bcd	508.5 c	216.2 bc	57.5 a
I_2S_3	0.7 d	194.7 cd	398.5 e	170.5 c	57.2 a
I_3S_1	3.0 b	271.7 b	623.9 b	259.8 b	58.4 a
I_3S_2	1.4 cd	197.7 cd	442.5 cde	193.9 a	56.2 a
I_3S_3	0.7 d	170.7 d	383.1 e	168.2 c	56.1 a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

* Means followed by same letter in column are not significant different at 5% level.

** میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

** Means followed by same letter in column are not significant different at 1% level.

بیش‌ترین صفات رویشی گیاه در آبیاری با آب ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بود که اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها به‌جز آبیاری با آب ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌میزان ۸۵ درصد نیاز آبی داشت. کم‌ترین رشد رویشی گیاه نیز در آبیاری با آب شور ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و به‌میزان ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه رخ داد.

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که برای شوری‌های مختلف آب، با کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه، میانگین ماده تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب فقط ۵/۰ و ۵/٦ درصد کاهش یافت که معنی‌دار نبود. اما مقدار صفات مذکور هنگام کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش معنی‌دار داشتند، به‌طوری‌که ماده تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب ۲٦/۳ و ۲٤/٤ درصد کم‌تر شدند. همچنین با توجه به جدول ٤، برای مقادیر مختلف آب آبیاری، با افزایش شوری آب از ۲/۵ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر، ماده تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب ٤٤/۰ و ٤۲/۰ درصد کاهش معنی‌دار یافتند. مقدار ماده تر و خشک اندام هوایی گیاه هنگام رسیدن شوری آب آبیاری از ۲/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نیز به‌ترتیب ٥٤/۱ و ٥۲/۰ درصد کم‌تر شد.

بنابراین وضعیت صفات رویشی نهال‌های خرما، بیانگر تأثیر بیش‌تر شوری آب آبیاری نسبت به‌میزان آب آبیاری بر رشد گیاه است. شوری آب آبیاری با افزایش مقدار املاح محلول در خاک باعث کاهش پتانسیل اسمزی و در نتیجه کاهش انرژی پتانسیل کل خاک و قابلیت جذب آب توسط گیاه شده است. البته این نتیجه بر اساس سطوح تعریف شده در این پژوهش برای عوامل میزان آب و شوری آب آبیاری است که می‌تواند نتایج متفاوتی را در سطوح دیگر به‌دنبال داشته باشد.

ارزیابی سه میزان آب آبیاری معادل ٤۰، ٦۰ و ۸۰ درصد تبخیر از تشت کلاس A (هدایت الکتریکی آب معادل ۲ دسی‌زیمنس بر متر)، در مرحله رشد رویشی پاجوش‌های خرمای رقم مضافتی بیانگر اثر معنی‌دار میزان آب آبیاری بر تعداد برگ بود. بهترین رشد رویشی پاجوش‌های خرمای رقم مضافتی در آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد تبخیر از تشت کلاس A گزارش شده است (۱۲). برخی پژوهشگران با مقایسه وضعیت رشد ده رقم نهال شش‌ماهه خرما پس از آبیاری با آب دارای شوری ۱۲/۹ دسی‌زیمنس بر متر به‌مدت سه ماه، دریافتند که ارتفاع و وزن تر در اکثر نهال‌ها نسبت به آب آبیاری ۱/٤ دسی‌زیمنس بر متر کاهش داشت. ولی در یکی از ارقام مورد آزمایش، شوری آب منجر به افزایش معنی‌دار صفات مذکور گردید (۳). بر اساس مطالعه انجام‌شده در کشور مصر، آبیاری با آب دارای هدایت الکتریکی ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر و بیش‌تر، موجب کاهش معنی‌دار در رشد برگ نهال‌های دو رقم خرما شد، هر چند که پاسخ دو رقم نسبت به شوری آب یکسان نبود (۱۸).

همچنین بررسی میزان تحمل سه رقم نهال خرما به شوری آب در کشور عمان نشان داد که آبیاری با آب حاوی شوری ٦ تا ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار در رشد رویشی تمام نهال‌های خرما نسبت به آب آبیاری ۳ دسی‌زیمنس بر متر گردید، به‌طوری‌که در شوری ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر ۵۰ درصد کاهش در صفات رویشی مشاهده گردید (۸). چگونگی پاسخ گیاه به تنش شوری مرتبط به عواملی مانند قابلیت دسترسی، جذب و انتقال عناصر غذایی در داخل گیاه است (۲۳) که توانایی تنظیم اسمزی نسبت به یون‌های سدیم و کلر از دلایل تحمل شوری در برخی ارقام نخل خرما ذکر شده است (۲). البته گیاهان معمولاً در مرحله جوانه‌زنی و اولیه رشد نسبت به سایر مراحل رشد به شوری حساسترند (۱۹).

در جدول‌های ۵ و ٦ نتایج تخمین توابع تولید آب- شوری- عملکرد ماده خشک اندام هوایی خرما در دوره رشد رویشی به‌صورت خطی، لگاریتمی، درجه دوم و متعالی ارایه گردیده است. به‌منظور تعیین سطح معنی‌دار بودن معادله رگرسیون تابع و متغیر تابع، به‌ترتیب از ضریب F جدول تجزیه واریانس و ضریب t استفاده شد که ضریب F برای تمام معادلات در سطح یک درصد معنی‌دار بود. ضریب تعیین تعدیل‌شده (R^2_{adj}) برای توابع تولید بین ۰/۸۱۲ (معادله خطی) و ۰/۹۳۸ (معادله درجه دوم) در نوسان بود. کارایی مدل‌سازی (EF) از ۰/۸۲۷ برای معادله خطی تا ۰/۹۵۰ برای معادله درجه دوم متغیر بود، در حالی‌که کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار حداکثر خطا (ME) به‌ترتیب به معادله درجه دوم و خطی اختصاص یافت. حداقل تفاوت نسبی بین مقادیر برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده (nRMSE) با ۸/٤۱ درصد به معادله درجه دوم و حداکثر آن با ۱۵/٦۰ درصد به معادله خطی تعلق یافت. بیش‌ترین ضریب جرم باقی‌مانده (CRM) نیز در معادله لگاریتمی و کم‌ترین مقدار این ضریب در معادله خطی وجود داشت. مقدار ضریب جرم باقی‌مانده (CRM مثبت) بیانگر آن است تمام معادلات به‌جز معادله درجه دوم، میزان ماده خشک اندام هوایی را کم‌تر از میزان واقعی برآورد می‌کنند.

جدول ۵- ضرایب معادلات تابع تولید آب- شوری- عملکرد ماده خشک.

Table 5. Coefficients of production functions of water-salinity-dry matter yield.

متعالی Transcendental	درجه دوم Quadratic	لگاریتمی Cobb-Douglas	خطی ساده Linear	ضریب تابع تولید Coefficient of production function
e19.924** (2.935)	-1330.476* (-2.644)	3.360^{ns} (0.901)	101.783^{ns} (1.360^{+})	a_0
-2.382* (-2.152)	1.841** (2.957)	0.677** (3.783)	0.186** (4.145)	a_1
-0.305^{ns} (-1.531)	0.000^{ns} (-2.321)	-0.324** (-6.155)	-12.162** (-4.169)	a_2
0.002** (2.817)	91.907** (2.916)	-	-	a_3
0.000^{ns} (-0.006)	-0.529^{ns} (-0.793)	-	-	a_4
-	-0.76** (-4.033)	-	-	a_5
52.373**	79.284**	78.761**	57.235**	F

^{ns} غیرمعنی‌دار، * معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد و ** معنی‌دار در سطح آماری یک درصد.

^{ns} non significant, * significant at P=5% level and ** significant at P=1% level.

+ ضریب t

+ t cofficient

جدول ٦- شاخص‌های آماری محاسبه‌شده برای معادلات مختلف تابع تولید آب- شوری- عملکرد ماده خشک.

Table 6. Statistical indices calculated for production functions of water-salinity-dry matter yield.

امتیاز (رتبه) Point (grade)	CRM	nRMSE	ME	EF	R^2_{adj}	تابع تولید Production function
8 (4)	$2.98e^{-9}$ (4)	15.60 (1)	88.349 (1)	0.827 (1)	0.812 (1*)	خطی ساده Linear
9 (3)	$1.08e^{-2}$ (1)	12.94 (2)	75.718 (2)	0.881 (2)	0.857 (2)	لگاریتمی Cobb-Douglas
19 (1)	$-5.95e^{-9}$ (3)	8.41 (4)	41.175 (4)	0.950 (4)	0.938 (4)	درجه دوم Quadratic
14 (2)	$5.89e^{-3}$ (2)	10.88 (3)	73.437 (3)	0.916 (3)	0.888 (3)	متعالی Transcendental

* امتیاز شاخص آماری.

* Point of statistical index.

به‌منظور ارزیابی توابع تولید آب- شوری- عملکرد ماده خشک، هر یک از معادلات بر اساس شاخص‌های آماری تعریف‌شده رتبه‌بندی شدند (جدول ٦). بدین‌ترتیب به معادله‌ای که بیش‌ترین مقدار هر یک از شاخص‌های ضریب تعیین تعدیل‌شده (R^2_{adj}) و کارایی مدل‌سازی (EF) و یا کم‌ترین مقدار هر یک از شاخص‌های بیشینه خطای نسبی (ME)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (nRMSE) و ضریب جرم باقی‌مانده (CRM) را داشت، امتیاز چهار تعلق گرفت و معادله‌ای که کم‌ترین مقدار R^2_{adj} و EF و یا بیش‌ترین مقدار ME، nRMSE و CRM را دارا بود، امتیاز یک دریافت نمود. مقایسه امتیاز معادلات مختلف نشان داد که معادله درجه دوم، دارای بیش‌ترین دقت برازش بود.

این یافته، هم‌راستا با نتایج سایر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه تابع تولید آب- شوری- عملکرد است. بررسی روند کلی توابع تولید آب- شوری- عملکرد، دلالت بر گرایش تابع تولید از خطی به‌سمت غیرخطی دارد (۲۲). محمدی و همکاران (۱۳۸۹) با آنالیز حساسیت توابع دریافتند که نرخ تغییرات عملکرد گوجه‌فرنگی نسبت به تغییرات دو عامل کمیت و کیفیت آب آبیاری (تابع تولید آب- شوری- عملکرد) از فرم درجه دوم تبعیت می‌کند. بنابراین تابع تولید درجه دوم برای گوجه‌فرنگی به‌عنوان تابع بهینه تولید در منطقه کرج معرفی شد (۲٦). در استان گلستان، تابع درجه دوم در مقایسه با سه تابع خطی ساده، لگاریتمی و متعالی به‌عنوان بهترین تابع پیش‌بینی‌کننده عملکرد محصول کوشیا در شرایط توأم شوری و کم‌آبی معرفی شد (۳۱)، در حالی‌که برای محصول گندم در شرایط مذکور، تابع متعالی انتخاب شد (۲۱). برخی پژوهشگران نیز در شرایط توأم شوری و خشکی، تابع درجه دوم را به‌عنوان بهترین تابع تولید دو رقم پنبه در شرایط اقلیمی بیرجند تعیین نمودند (۲۷). بر اساس نظر دیگری، در پیش‌بینی عملکرد ذرت علوفه‌ای در اثر تغییرات مقدار آب آبیاری و شوری آب، تابع درجه دوم قابلیت بهتری نسبت به سایر توابع دارد (۳۵). همچنین در بررسی مدل‌های مختلف بین عملکرد گیاه با تنش‌های شوری و خشکی، تابع غیرخطی درجه دوم نسبت به معادلات خطی، لگاریتمی و متعالی به‌عنوان بهترین تابع تولید آب- شوری برای گندم و ذرت معرفی شد (۱۰ و ۳۰). سپاسخواه و همکاران (۲۰۰٦) در پژوهشی که در منطقه سروستان استان فارس بر روی سه گیاه گندم، چغندرقند و ذرت انجام دادند موفق به ارایه مدلی شدند که بتواند عملکرد گیاه را در شرایط شوری‌های مختلف آب آبیاری، درصدهای مختلف آبشویی و مقادیر مختلف آب کاربردی برآورد نماید (۳۳).

در سایر روابط بیان‌کننده عملکرد گیاه نیز تابع درجه دوم به‌عنوان تابع برتر گزارش شده است. سپاسخواه و اکبری (۲۰۰۵) توابع درجه دوم را که رابطه بین عملکرد و آب کاربردی را نشان می‌دهند، برای پنبه و گندم معرفی نمودند (۳۲). لی و همکاران (۲۰۰۵) توابع درجه دوم را بین عملکرد دانه و تبخیر- تعرق و بین عملکرد دانه و بازده مصرف آب معرفی نمودند (۲٤). کالرا و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی بر روی گندم، تابع درجه دومی ارائه نمودند که رابطه بین عملکرد و راندمان مصرف آب را بیان می‌کند (۲۰).

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که ماده تر و خشک اندام هوایی نهال‌های خرمای رقم برحی، با کاهش میزان آب آبیاری و افزایش شوری آب آبیاری کاهش یافت. هر چند که تأثیر شوری آب بر ماده خشک تولیدی، در مقادیر بیش‌تر آب آبیاری کم‌تر بود. در آبیاری با آب ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، نهال‌های خرما هنگام آبیاری به‌میزان ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه از رشد رویشی خوبی برخوردار بودند، به‌طوری‌که در تمام صفات رویشی با تیمار آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه اختلاف معنی‌دار نداشتند. مقایسه توابع تولید آب- شوری- عملکرد ماده خشک به‌صورت خطی، لگاریتمی، درجه دوم و متعالی نشان داد که در دوره رشد رویشی خرمای رقم برحی، معادله درجه دوم دارای بیش‌ترین دقت برازش بود. بررسی و تعیین نوع تابع تولید آب- شوری- عملکرد ماده خشک، برای سال‌های دیگر مرحله رشد رویشی و زایشی خرمای رقم برحی پیشنهاد می‌شود.

منابع

1.Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H.R., Hoseainpour, R., Hatami, F., Rezaei, M.M., Arab, H., Kazemizadeh, R., Abdeshah, H., and Sefidi, H. 2016. Agricultural statistics. 3. Ministry of Agriculture Jihad Press, 147p. (In Persian)

2.Al-Khayri, J.M., and Al-Bahrany, A.M. 2004. Growth, water content and proline accumulation in drought-stressed callus of date palm. Biologia Plantarum. 48: 1. 105-108.

3.Al-Rokibah, A.A., Abdalla, M.Y., and Fakharani, Y.M. 1998. Effect of water salinity on *Thielaviopsis paradoxa* of growth of date palm seedling. J. King Saud Univ. 10: 1. 55-63.

4.Alihouri, M. 2014. Effect of irrigation interval and depth on vegetative growth of *Berhee* date suckers. Date Palm and Tropical Fruits Research Institute Press, 25p. (In Persian)

5.Alihouri, M., and Tishehzan, P. 2011. Irrigation subprogram: Date palm strategic program. Kerdegar Press, 43p. (In Persian)

6.Alihouri, M., and Torahi, A. 2011. Effect of irrigation interval and depth on stablishment and vegetative growth of date palm offshoots. The 3nd Conference on Irrigation and Drainage Networks Management. Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. 1-3 March 2011. (In Persian)

7.Alhammadi, M.S., and Edward, G.P. 2009. Effect of salinity on growth of twelve cultivars of the United Arab Emirates date palm. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 40: 15-16. 2372-2388.

8.Alrasbi, S.A.R., Hussain, N., and Schmeisky, H. 2010. Evaluation of the growth of date palm seedling irrigated with saline water in the Sultanate of Oman. Proceeding of the Fourth International Date Palm Conference. Abu Dhabi. United Arab Emirates. 15-17 March 2010.

9.Barreveld, W.H. 1993. Date palm products. FAO Agricultural Services Bulletin No. 101, Rome, Italy, 234p.

10.Datta, K.K., Sharma, V.P., and Sharma, D.P. 1998. Estimation of a production functions for wheat under saline conditions. Agricultural Water Management. 36: 85-94.

11.FAO. 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E.

12.Ghafarinezhad, A. 2001. Determination of irrigation interval and depth of Mozafati date in drip method. Kerman Agricultural and Natural Resources Research Center Press, 23p. (In Persian)

13.Ghafarinezhad, A., Sarhadi, J., and Sabah, A. 2005. Comparison of drip and border irrigation methods in date palm plantations. In Proceeding of Frist International Conference on the Date Palm, Bandar Abbas, Iran. (In Persian)

14.Habibpour, K., and Safari, R. 2010. Comprehensive guide of SPSS in survey research. Motefakeran Press, 866p. (In Persian)

15.Hasegawa, P.M., Bressen, R.A., Zhu, J.K., and Bohnert, H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology. 51: 463-499.

16.He, C., Fukuhara, T., Sun, J., and Feng, W. 2009. Enhancement of soil moisture preservation by date palm mulch. Mem. Grad. Eng. Univ. Fukui. 57: 53-56.

17.Hussain, G., Makki, Y., Helweg, O., and Alvarado, W. 1986. The effects of palm leaf mulch to conserve soil moisture. Proceedings of the Second Symposium on the Date Palm. Saudi Arabia. March 3-6.

18.Hussein, F., Khalifa, A.S., and Abdalla, K.M. 1993. Effect of different salt concentration on growth and salt uptake of dry date palm. Proceeding of Third Symposium on the Date palm, King Faisal University. Saudi Arabia. Pp: 299-304.

19.Kafi, M., Salehi, M., and Eshghizadeh, H.R. 2010. Biosaline agriculture: Plant, water and soil management approaches. Ferdowsi University of Mashhad Press, 384p. (In Persian)

20.Kalra, N., Chakraborty, D., Ramesh Kumar, P., Jolly, M., and Sharma, P.K. 2007. An approach to bridging yield gaps, combining response to water and other resource inputs for wheat in northern India, using research trials and farmers' fields data. Agricultural Water Management. 93: 1. 54-64.

21.Kiani, A.R., and Abbasi, F. 2009. Assessment of the water-salinity crop production function of wheat using experimental data of the Golestan province, Iran. Irrigation and Drainage. 58: 445-455.
22.Kiani, A.R., Mirlatifi, M., Homaee, M., and Gheraghi. A.M. 2006. Determination of the best water–salinity function for wheat production on north of Gorgan. J. Agric. Engin. Res. 6: 25. 1-14. (In Persian)
23.Kurap, S.S., Hedar, Y.S., Al-Dhaheri, M.A., El-Heawiety, A.Y., Aly, M.A.M., and Alhadrami, G. 2009. Morpho-physiological evaluation and RAPD markers -assisted characterization of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties for salinity tolerance. Food, Agriculture and Environment. 7: 3-4. 503-507.
24.Li, J., Inanaga, S., Li, Z., and Eneji, E. 2005. Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain. Agricultural Water Management. 76: 8-23.
25.Merkley, G.P., and Allen, R.G. 2004. Sprinkle and trickle irrigation lectures. Biological and Irrigation Engineering Department. Utah State University Logan, Utah, 285p.
26.Mohammadi, M., Liaghat, A., and Molavi, H. 2010. Optimization of water use and determination of tomato sensitivity coefficients under combined salinity and drought stress in Karaj. J. Water Soil. 24: 3. 582-593. (In Persian)
27.Najafi Mood, M.H., Alizadeh, A., Davari, K., Kafi, M., and Shahidi, A. 2012. Determination of water–salinity production function for two cotton cultivars. J. Water Soil. 26: 2. 672-679. (In Persian)
28.Qadir, M., Tubeileh, A., Akhtar, J., Larbi, A., Minhas, P.S., and Khan, M.A. 2008. Productivity enhancement of salt-affected environments through crop diversification. Land Degradation and Development. 19: 429-453.
29.Qureshi, R.H., Nawaz, S., and Mahmood, T. 1993. Performance of selected tree species under saline-sodic field conditions in Pakistan. Towards the rational use of high salinity tolerance plants. 2: 259-269.
30.Rhoades, J.D., Kandiah, A., and Mashali, A.M. 1992. The use of saline waters for crop production. FAO Irrigation and Drainage Paper 48. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 133p.
31.Salehi, M., Kafi, M., and Kiani, A.R. 2011. Effect of salinity and water deficit stresses on biomass production of Kochia (*Kochia scoparia*) and trend of soil salinity. Seed Plant Prod. J. 27: 4. 417-433. (In Persian)
32.Sepaskhah, A.R., and Akbari, D. 2005. Deficit Irrigation Planning under Variable Seasonal Rainfall. Biosystems Engineering. 92: 1. 97-106.
33.Sepaskhah, A.R., Bazrafshan-Jahromi, A.R., and Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. 2006. Development and Evaluation of a Model for Yield Production of Wheat, Maize and Sugarbeet under Water and Salt Stresses. Biosystems Engineering. 93: 2. 139-152.
34.Sepaskhah, A.R., Tavakoli, A., and Mousavi, F. 2007. Principles and application of deficit irrigation. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Press, 190p. (In Persian)
35.Shirmohammadi Aliakbarkhani, Z., Ansari, H., Alizadeh, A., and Kafi, M. 2014. Assessment of water-salinity production functions of forage maize in Khorasan Razavi province. Iran. J. Irrig. Drain. 4: 7. 535-543. (In Persian)
36.Sperling, O., Lazarovitch, N., Schwartz, A., and Shapira, O. 2014. Effects of high salinity irrigation on growth, gas-exchange and photoprotection in date palms (*Phoenix dactylifera* L., cv. *Medjool*). Environmental and Experimental Botany. 99: 100-109.
37.Terasaki, H., Fukuhara, T., Ito, M., and He, Ch. 2009. Effects of gravel and date-palm mulch on heat moisture and salt movement in a desert soil. Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering. 1: 320-325.
38.Tishehzan, P., Naseri, A., Hassanoghli, A., and Meskarbashi, M. 2011. Effects of shallow saline water table management on the root zone salt balance and date palm growth in South-West Iran. Res. on Crops. 12: 3. 839-847.

39. Tripler, E., Ben-Gal, A., and Shani, U. 2007. Consequence of salinity and excess boron on growth evapotranspiration and ion uptake in date palm (*Phoenix dactylifera* L., cv. *Medjool*). Plant Soil. 297: 147-155.
40. Vallizadeh, M., Tishehzan, P., and Boroomandnasab, S. 2012. Investigation of saline water irrigation on date palm seedlings growth (Cv. *Berhi* and *Dairi*). In Proceeding of First National Congress on Date Palm and Food Security, Ahvaz, Iran. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(3), 2017
http://jwsc.gau.ac.ir

Determination of water-salinity-dry matter yield production function in vegetative growth phase of date palm

***M. Alihouri**
Assistant Prof., Date Palm and Tropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran
Received: 01/24/2017; Accepted: 08/16/2017

Abstract

Background and Objectives: Accurate planning is very important for optimized use of water resources in agricultural sector due to climate condition of Iran. According to the research results, drought and salinity are two factors limiting agricultural production in arid and semi-arid. Since changing drought or salinity adjust or increase other effect on plant, it is necessary evaluating combined effects of drought and salinity on plants such as date palm. In this reseach, the effect of water stress and salinity were studied in vegetative growth stage of *Barhee* date.

Materials and Methods: This research was carried out in factorial method based on randomized complete design with three replications on *Barhee* juvenile date palms. The treatments were three irrigation depths of 100%, 85% and 70% of plant water requirement and three irrigation water salinities of 2.5, 8 and 12 dS/m. The irrigation depth was calculated by measuring soil moisture. The production functions of water-salinity-dry matter yield were determined in linear, Cobb-Douglas, quadratic and transcendental equations. Five statistical indices of adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}), modeling efficiency (EF), maximum error (ME), normalized root mean square error (nRMSE) and coefficient of residual mass (CRM) were used in evaluation of models.

Results: The results showed that irrigation depth, water salinity and interaction of irrigation depth and water salinity had significant effect on all vegetative characters of plant except shoot relative water content. Decreasing irrigation depth from 100% to 85% of plant water requirement showed non-significant decrease in mean of shoot wet and dry matter that were only 5.0 and 5.6 percent, respectively. Amounts of these characters decreased significantly 26.3 and 24.4 percent, respectively, in irrigation depth equal 70% of plant water requirement. While, increasing water salinity from 2.5 to 8 dS/m was caused significant decrease in mean of shoot wet and dry matter that were 44.0 and 42.0 percent, respectively. Amounts of these characters decreased 54.1 and 52.0 percent, respectively, in irrigation with water 12 dS/m. The most amounts of plant vegetative characteristics obtained from water salinity of 2.5 dS/m and irrigation depth equal 100% of plant water requirement. This treatment had significantly different with other treatments expect water salinity of 2.5 dS/m and irrigation depth equal 85% of plant water requirement.

Conclusion: The *Barhee* juvenile date palms can be irrigated with 85% of water requirement when water salinity is 2.5 dS/m. The comparison of production functions of water-salinity-dry matter yield showed that quadratic equation had more accuracy than other equations in estimation of dry matter yield in vegetative growth phase of *Barhee* date palm. All equations estimated shoot dry matter less than actual amount expect quadratic equation.

Keywords: Deficit irrigation, Irrigation, Modeling, Saline water, Shoot

* Corresponding Author; Email: alihouri_m@hotmail.com