نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۳، مرداد - شهریور ۱۳۸۹، ص. ۵۹۲-۵۸۳

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 3, July-Aug 2010, p. 583-592

بهینه سازی مصرف آب و تعیین ضرایب حساسیت گوجه فرنگی در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی در منطقه کرج

مسعود محمدی[۱*]- عبدالمجید لیاقت[۲]- حسین مولوی[۳]

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۵

چکیده

در راستای سازگاری با کم‌آبی راهکارهای مختلفی قابل پیشنهاد و اجرا است که از آن جمله می‌توان اتخاذ سیاست‌های مناسب، جهت بهینه سازی مصرف آب، از طریق تعیین توابع بهینه تولید را ذکر نمود. کم‌آبی و کاهش کیفیت منابع آب و خاک در کشور، از عوامل اصلی کاهش تولید می‌باشد از این رو، این تحقیق به منظور تعیین ضرایب حساسیت گیاه و تابع بهینه تولید آب- شوری- عملکرد برای گوجه فرنگی، در کرج اجرا گردید. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار شامل دو فاکتور شوری و آب آبیاری اعمال شد. چهار سطح شوری آب آبیاری شامل (آب شرب) S_1=۰/۷، S_2=۴، S_3=۸ و S_4=۱۲ دسی زیمنس بر متر و سه سطح آب آبیاری شامل آبیاری کامل (۱۰۰٪ نیاز آبی) = W_1، W_2 = ٪۷۵W_1 و W_3 = ٪۵۰W_1 بود که در یک خاک با بافت شنی لومی اعمال شدند. داده‌های عملکرد بر فرم‌های مختلف توابع تولید (خطی ساده، خطی لگاریتمی، درجه دوم و نمایی) برازش داده شد و پس از آنالیز حساسیت، تابع بهینه تولید گوجه فرنگی تعیین گردید. سپس مقادیر کارآیی مصرف آب و ضرایب حساسیت گیاه تعیین شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که تابع تولید درجه دوم برای گوجه فرنگی به عنوان تابع بهینه تولید، قابل توصیه می‌باشد. بررسی مقادیر حداکثر خطا (ME) نشان می‌دهند که بیشترین خطا مربوط به توابع خطی لگاریتمی و خطی ساده می‌باشد. تیمار شاهد (W_1S_1) و تیمار W_2S_1 (٪۷۵ نیاز آبی) به ترتیب با ۷/۵۷ و ۷/۵ کیلوگرم بر مترمکعب پر بازده‌ترین سطوح آبیاری هستند، اما با افزایش تنش خشکی و شوری بهره‌وری آب کاهش می‌یابد. مقدار متوسط ضریب K_y در شرایط تنش توأمان شوری و خشکی برابر با ۱/۹۶۹ به دست آمد. مقادیر ضریب حساسیت گیاه (K_s) با افزایش تنش شوری و خشکی کاهش می یابد که کمترین مقدار آن (۰/۵۷) مربوط به تیمار W_3S_4 می باشد. منحنی‌های هم محصول نشان می‌دهند که با افزایش میزان آبیاری، می‌توان از آب آبیاری با شوری بالاتری در آبیاری گوجه‌فرنگی استفاده نمود، به نحوی که عملکرد نیز تغییر نکند.

واژه‌های کلیدی: بهینه سازی مصرف آب، تابع تولید، تنش شوری و خشکی، ضرایب حساسیت گوجه فرنگی.

مقدمه

نیاز روز افزون به فرآورده‌های کشاورزی از یک سو و کمبود منابع آب در بیشتر نقاط کشور به‌ویژه در مناطق خشک از سوی دیگر، سبب شده بهینه سازی مصرف آب در سر لوحه کار برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران قرار گیرد. از طرفی روند برداشت بی رویه آبهای زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و پیشروی آب شور در سفره آب شیرین، باعث شده تا آب شور از گستردگی بیشتری برخوردار گردد و هر روز حجم نسبی آن افزایش یابد. بدلیل اینکه کم‌آبی و کاهش کیفی منابع آب و خاک از عوامل اصلی کاهش تولید می باشند، کاربرد روش کم‌آبیاری و استفاده از آبهای شور، از راهبردهای مهم بهینه سازی مصرف آب، جهت سازگاری با کم‌آبی قلمداد شده و از اولویت خاصی برخوردار است. ضمن اینکه در این رابطه نباید تنها به حداکثر عملکرد اندیشید بلکه بایستی به عملکردهای اقتصادی بهای بیشتری داده شود (۳).

گوجه فرنگی از سبزی‌های فصل گرم بوده که از لحاظ سطح زیرکشت و تولید در بین سبزیجات در ایران، دارای اهمیت ویژه‌ای است. اهمیت گوجه فرنگی و مطرح شدن آن به صورت امروزی به علت وجود انواع ویتامین‌ها و املاح معدنی است که به مقادیر زیاد در آن یافت می‌شود (۵). به تازگی با توجه به صدور فرآورده‌های آن به دیگر کشورها، رونق بازار جهانی تولیدات حاصل از این فرآوری و امکانات وسیع تولید و فرآوری آن در ایران، اهمیت اقتصادی زیادی یافته و با توجه به ارزآوری مناسب، مورد توجه بسیاری از متولیان کشاورزی قرار گرفته است (۱).

۱و۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج
(*- نویسنده مسئول: Email: masoudm_64@yahoo.com)
۲- استاد گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج

Archive of SID
www.SID.ir

تنش‌های شوری و خشکی ممکن است مراحل مختلف رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهند. ویژگی‌های جوانه‌زنی گونه‌های مختلف و حتی ارقام مختلف یک گونه ممکن است تحت تأثیر این تنش‌ها با یکدیگر متفاوت باشند (۱۸). حساس‌ترین مرحله رشد از نظر تنش‌های شوری و خشکی در اکثر گونه‌های گیاهی، مراحل اولیه رشد می‌باشد و بیشتر پژوهش‌های مربوط به این زمینه در همین مرحله از رشد انجام گرفته است (۲۴). آستانه‌های متفاوت تحمل شوری خاک و آب و نرخ متفاوت کاهش عملکرد برای آستانه تحمل نشان می‌دهد که گیاهان مکانیزم‌های متفاوتی برای تحمل شوری دارند. نوع خاک و شرایط محیطی نظیر کمبود فشار بخار، تشعشع و دما نیز ممکن است تحمل به شوری را تغییر دهد. آثار مخرب شوری بر رشد گیاهان ممکن است به دلیل سمیت یونی (عمدتاً NA^{+}، Cl^{-} و SO_4^{2-}) و تنش اسمزی باشد (۷). طبق تحقیقات بوگل و همکاران[1] (۶) تنش یکنواخت در طول فصل رویش گوجه فرنگی عملکرد را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. در گزارشات شریراستارا و همکاران[2] (۲۳)، مراحل حساس گیاه گوجه فرنگی به تنش خشکی، زمان گلدهی و رشد میوه‌ها است. بر مبنای تحقیقی در سال ۱۹۹۰ روی گوجه‌فرنگی با دوره‌های آبیاری یک، دو و چهار روزه با عمق آب ۳ و ۶ میلیمتر در روز، نتایج نشان داد که در عمق آب ۶ میلیمتر در روز عملکرد بیشتر ولی اندازه میوه‌ها کوچکتر بودند (۱). نورجو و همکاران(۴) در تحقیقی به منظور بررسی امکان صرفه جویی در مصرف آب و تأثیر کم‌آبیاری در زراعت گوجه فرنگی به این نتیجه رسیدند که اثر تیمارهای آبیاری به میزان ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و۵۰ درصد نیاز آبی، بر عملکرد محصول در سطح یک درصد معنی‌دار است. به‌طوری‌که افزایش ۲۵ درصد آب آبیاری مازاد بر نیاز آبی گیاه فقط موجب افزایش سه درصد تولید و کاهش آب آبیاری به میزان ۲۵ و ۵۰ درصد به ترتیب موجب کاهش عملکرد به مقدار۲۹/۳ و ۴۰/۶ درصد شده است. آنان همچنین گزارش نمودند که میزان آب آبیاری در سطح ۵ درصد بر مقدار مواد جامد محلول مؤثر بوده و با افزایش میزان آب آبیاری، از درصد مواد جامد محلول کاسته شده است. ولی تأثیر آن بر مقدار اسیدیته و pH محصول معنی‌دار نبوده است. روبینو و تارانتینو[3] (۱۵) با اعمال هشت تیمار آبیاری (۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰درصد تبخیر و تعرق) نشان دادند که ماده خشک گوجه فرنگی با افزایش میزان آبیاری کاهش می‌یابد. همچنین مجموع مواد جامد محلول میوه بطور متوسط در تیمارهای کم‌آبیاری بیشتر بوده ولی اسیدیته نسبت به آبیاری تغییری نداشته است. میشل و همکاران[4] (۱۴) در محصول گوجه فرنگی نشان دادند که کم آبیاری عملکرد و آب ذخیره شده در گوجه فرنگی را کاهش می دهد اما میزان مواد جامد محلول، درصد قند، میزان اسید سیتریک و پتاسیم را افزایش می‌دهد.

لی و همکاران[5] (۱۳) جهت بهینه سازی مصرف آب برای گندم، توابع درجه دوم را بین عملکرد دانه و تبخیر و تعرق و همچنین بین عملکرد دانه و بازده مصرف آب معرفی نمودند. سپاسخواه و اکبری (۱۹) توابع درجه دوم را که رابطه بین عملکرد و آب کاربردی را نشان می‌دهند، برای پنبه و گندم معرفی نمودند. کالرا و همکاران[6] (۱۱) در تحقیقی بر روی گندم، تابع درجه دومی ارائه نمودند که رابطه بین عملکرد و راندمان مصرف آب را بیان می‌کند. سپاسخواه و همکاران (۲۰) در پژوهشی که در منطقه سروستان استان فارس بر روی سه گیاه گندم، چغندر قند و ذرت انجام دادند موفق به ارائه مدلی گردیدند که بتواند عملکرد گیاه را در شرایط شوری‌های مختلف آب آبیاری، درصدهای مختلف آبشویی و مقادیر مختلف آب کاربردی، برآورد نماید. نتایج نشان داد برای رسیدن به عملکرد بیشتر با استفاده از آب شور، باید مقدار آب بیشتری مصرف کرد. کم‌آبی و شوری آب آبیاری در کشور همواره مشکلاتی را برای کشاورزان و حتی کارشناسان ایجاد نموده است لذا اهداف این تحقیق: بهینه سازی مصرف از طریق تخمین تابع تولید آب–شوری–عملکرد، تعیین ضرایب حساسیت گوجه فرنگی و تعیین کارایی مصرف آب در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی در منطقه کرج تحت شرایط مزرعه‌ای می‌باشند.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۸در اراضی تحقیقاتی جنب ایستگاه هواشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی واقع در کرج اجرا شد. محل اجرای آزمایش در ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه طول جغرافیایی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۱۲/۵ متر است. متوسط بارندگی سالانه در منطقه ۲۶۰ میلی متر می‌باشد. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار شامل دو فاکتور شوری و آب آبیاری اعمال گردید. چهار سطح شوری آب آبیاری شامل (آب شرب) S_1=۰/۷، S_2=۴، S_3=۸ و S_4=۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و سه سطح آب آبیاری شامل آبیاری کامل (۱۰۰٪ نیاز آبی) = W_1، W_2 = ٪۷۵W_1 و W_3 = ٪۵۰W_1 بود که در یک خاک شنی لومی با وزن مخصوص ظاهری ۱/۴۱ گرم بر سانتی متر مکعب اعمال شد. تعداد ۳۶ گلدان پلاستیکی با قطر دهانه ۲۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر تهیه گردید. به منظور جلوگیری از ایجاد جریان ترجیحی بین دیواره گلدان‌ها و خاک، دیواره‌ها با استفاده از چسب و ماسه پوشیده شدند. پنج سانتیمتر بالای گلدان برای اعمال آبیاری خالی در نظر گرفته و بقیه حجم آن از خاک پر شد. قبل از پر

1- Bogle et al.
2- Shrirastara et al.
3- Rubino and Tarantino
4- Mishell et al.
5- Li et al.
6- Kalra et al.

Archive of SID

www.SID.ir

کردن گلدان‌ها ابتدا توده خاک کاملاً مخلوط شد تا یکنواخت شود. به‌عبارتی شرایط برای تمام گلدان‌ها یکسان شد. در جهت تعیین وزن گلدان‌ها در ظرفیت زراعی مزرعه و همین‌طور رفع شوری خاک، گلدان‌ها با آب شرب شهری(EC=0.7) اشباع و اجازه داده شد تا زهکشی ۴۸ ساعت انجام شود. بعد از این مدت گلدان‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت یک صدم گرم وزن شده و این وزن به عنوان وزن گلدان‌ها در FC در نظر گرفته شد. سپس گلدان‌ها در هوای آزاد، داخل خاک قرار داده شدند. نشاهای گوجه فرنگی (رقم Super Strain B) به مدت یک ماه در گلدان‌ها و در شرایط یکسان، آبیاری می‌شدند. در تاریخ ۵ شهریور ماه ۱۳۸۸، تیمارها اعمال شدند. دور آبیاری برای تمامی تیمارها ۴ روز و در اواخر دوره رشد ۶ روز در نظر گرفته شد. برای تعیین مقدار آب مورد نیاز در هر آبیاری ابتدا گلدان‌ها وزن شد و سپس از طریق اختلاف وزن اندازه‌گیری شده با وزن گلدان در ظرفیت زراعی مزرعه و در نظر گرفتن ضریب تیمارهای آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد)، میزان آب (نیاز آبی) لازم برای هر گلدان به دست آمد. این کار در واقع نوعی کم‌آبیاری است که به جای تأمین کامل آب مورد نیاز گیاهان، درصدی از آن در هر بار آبیاری تأمین می‌شود (۲۰). همچنین به منظور ایجاد شرایط طبیعی مزرعه، هنگام آبیاری گلدان‌ها اطراف آنها نیز آبیاری می‌شد. از آنجا که آب مورد نیاز در این طرح شامل چهار شوری ۰/۷ (آب شرب)، ۴، ۸ و ۱۲ دسی-زیمنس بر متر بود، لذا این کیفیت‌ها از طریق اختلاط آب شرب شهری با مقدار مشخصی سنگ نمک طبیعی که مقدار آن در هر آبیاری با دستگاه EC متر محاسبه می‌شد، تهیه گردید. خصوصیات شیمیایی خاک گلدان‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱ و مشاوره با کارشناس تغذیه خاک و گیاه فقط کود اوره در دو مرحله میوه‌دهی و ۱۲ روز بعد از این مرحله، هر بار معادل ۶۰ کیلوگرم در هکتار استفاده گردید. در تاریخ ۲۱ مهرماه ۱۳۸۸ به دلیل سرد شدن هوا اقدام به برداشت محصول شد و وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌صدم گرم اندازه‌گیری شدند. نقشه شماتیک طرح آزمایشی در شکل ۱ آورده شده است. در اطراف گلدان‌ها به منظور ایجاد شرایط یکسان برای تیمارهای مختلف، گیاه گوجه فرنگی به روش جویچه‌ای کشت می‌شد.

برآورد توابع تولید در شرایط توأمان شوری و خشکی

با استفاده از داده‌های آماری حاصله از اجرای طرح و بکارگیری روش تخمین تابع تولید آب- شوری می‌توان عملکرد محصول را تحت تأثیر مقادیر مختلف آب کاربردی و شوری آب آبیاری به‌طوری‌که سایر عوامل تولید ثابت نگه داشته شوند، به‌صورت معادله (۲) نشان داد.

$$Y = f(I, EC_W, X) \qquad (۱)$$

که در آن Y مقدار عملکرد (kg/ha)، I= مقدار آب آبیاری (cm) و = EC_wهدایت الکتریکی آب آبیاری (dS/m) و X بردار ثابت سایر عوامل تأثیر گذار در تولید است.

تابع مذکور با فرم‌های مختلف: خطی ساده[1]، خطی لگاریتمی (کاب داگلاس[2])، درجه دوم[3] و نمایی[4] که در زیر آورده شده است، برآورد گردید.

فرم خطی:

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 EC_w \qquad (۲)$$

فرم لگاریتمی:

$$Y = a_0 I^{a_1} EC_w^{a_2} \qquad (۳)$$

فرم درجه دوم:

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 EC_w + a_4 EC_w^2 + a_5 I.EC_w \qquad (۴)$$

فرم نمایی:

$$Y = a_0 I^{a_1} EC_w^{a_2} e^{(a_3 I + a_4 EC_w)} \qquad (۵)$$

پس از اینکه داده‌های آماری عملکرد حاصل از اجرای طرح، توسط نرم افزار SPSS برازش داده شد و فرم‌های مختلف توابع تولید تعیین گردید جهت تعیین تابع بهینه تولید اقدام به آنالیز حساسیت[5] آماری شد و با تعیین آماره‌های[6] مربوطه نقش هر یک از نهاده‌ها بر توابع تولید بصورت کمی تعیین گردید. برای ارزیابی اعتبار[7] توابع بدست آمده، از تحلیل خطاهای باقیمانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده استفاده گردید. آماره‌های لازم برای این منظور، حداکثر خطا[8] (ME)، میانگین ریشه دوم خطا[9] (RMSE)، ضریب تعیین[10] (R^2)، کارایی مدل‌سازی[11] (EF) و ضریب باقیمانده[12] (CRM) هستند (۱۰ و ۱۲). شکل ریاضی این آماره‌ها بصورت زیر می‌باشند:

$$ME = \max\left|P_i - O_i\right|_{i=1}^{n} \qquad (۶)$$

1- Linear
2- Cobb Douglas
3- Quadratic
4- Transcendental
5- Sensitivity analysis
6- Statistics
7- Reliability
8- Maximum error
1- Root mean square error
2- Coefficient of determination
3- Modeling efficiency
4- Coefficient of residual mass

Archive of SID

www.SID.ir

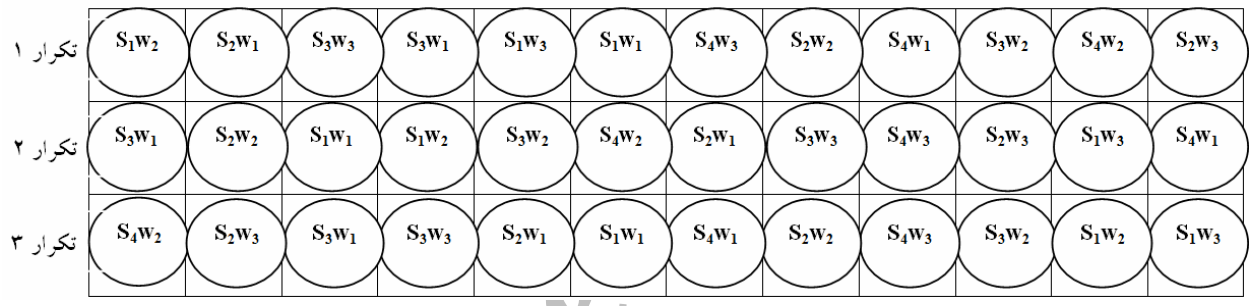
$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}\right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (۷)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{O})^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2} \quad (۸)$$

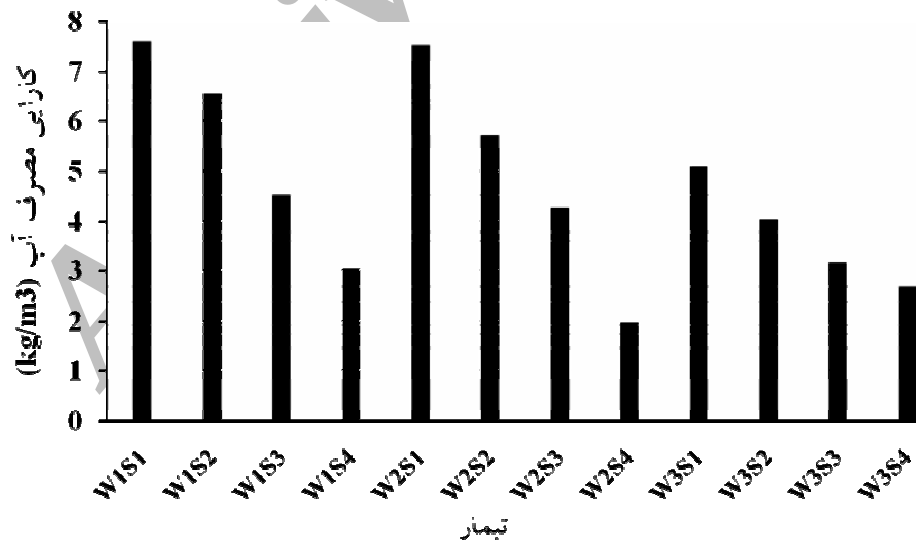
$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \quad (۹)$$

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک گلدان‌ها

PH	EC (dS/m)	SAR	O.C (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر (mg/Kg)	پتاسیم (mg/Kg)	کلسیم (ppm)	منیزیم (ppm)	سدیم (ppm)	آهن (mg/Kg)	روی (mg/Kg)	منگنز (mg/Kg)
۸/۲	۱/۱۸	۱/۲۳	۰/۸۷	۰/۱۰۵	۳۱/۴	۵۷۴	۱۶۰	۱۷	۶۱	۵/۸۱	۲/۶۴	۸/۵



شکل ۱- نقشه شماتیک طرح آزمایشی



شکل ۲- مقادیر کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف اعمال شده

www.SID.ir

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} O_i - \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} O_i} \quad (۱۰)$$

که در آنها Pi مقادیر پیش‌بینی شده، Oi مقادیر اندازه گیری (مشاهده) شده، n تعداد نمونه‌های بکار رفته و $\bar{O}$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است.

تعیین بهره‌وری آب

برای محاسبه بهره‌وری آب از معادله پیشنهادی فائو (۲) استفاده شد:

$$WP = \frac{Y}{ET} \times 100 \quad (۱۱)$$

که WP بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب آب، Y عملکرد بر حسب تن بر هکتار و ET تبخیر وتعرق گیاه بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

تعیین ضرایب حساسیت گیاه (K_s) و واکنش عملکرد به آبیاری (K_y)

برای محاسبه ضرایب تنش خشکی، شوری و توأمان خشکی و شوری از معادله زیر استفاده شد (فائو ۵۶):

$$ET_c = K_s . ET_{cp} \quad (۱۲)$$

که در آن ET_c تبخیر و تعرق گیاه در شرایط تنش (mm)، ET_{cp} تبخیر و تعرق گیاه در شرایط بدون تنش (mm) و K_s ضریب تنش خشکی و شوری می‌باشد.

به منظور محاسبه ضریب واکنش عملکرد به آبیاری از رابطه ارئه شده توسط فائو استفاده شد (۹):

$$1 - \frac{Y}{Y_{max}} = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_{max}}\right) \quad (۱۳)$$

که در آن Y مقدار عملکرد واقعی، Y_{max} حداکثر مقدار عملکرد، K_y ضریب واکنش عملکرد نسبت به آب و شوری، ET مقدار واقعی تبخیر و تعرق و ET_{max} حداکثر تبخیر و تعرق می‌باشند.

همچنین طبق توصیه فائو، برای محاسبه افت نسبی عملکرد و راندمان تولید از روابط زیر استفاده گردید:

$$\text{افت نسبی عملکرد (درصد)} = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_{max}}\right) \times 100 \quad (۱۴)$$

$$\text{راندمان تولید (درصد)} = 1 - K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_{max}}\right) \times 100 \quad (۱۵)$$

نتایج و بحث

بهره‌وری آب

پس از محاسبه مقادیر WP (شکل ۲)، نتایج نشان داد که تیمار شاهد (W_1S_1) و تیمار W_2S_1 (۷۵٪ نیاز آبی) بترتیب با ۷/۵۷ و ۷/۵ کیلوگرم بر مترمکعب پر بازده‌ترین سطوح آبیاری می‌باشند. اما با افزایش تنش خشکی و شوری بهره‌وری آب کاهش می‌یابد.

بهینه سازی

جهت بهینه سازی مصرف آب ابتدا تابع تولید آب–شوری–عملکرد با استفاده از فرم‌های مختلف (خطی ساده، خطی لگاریتمی، درجه دوم و نمایی) بر اساس تغییرات شوری (dS/m)، عمق آب آبیاری (cm) و با فرض ثابت بودن سایر متغیرها بدست آمده که نتایج برآورد توابع تولید و همچنین تحلیل هر یک از توابع انتخابی در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر آماره t در این جدول بیانگر تأثیر معنی‌دار و تعیین کنندهٔ دو عامل عمق و شوری آب آبیاری بر تغییرات عملکرد محصول بوده و آماره F بیانگر معنی‌داری کلی توابع است. در این خصوص داتا و همکاران[1] (۸) اعلام کردند که برآورد توابع تولید بر اساس روش‌های آماری، بدلیل تعیین رابطه مستقیم آب – عملکرد، بر روش‌های تئوری و تجربی که بر پایه فرضیات متعددی استوار است ترجیح داده می‌شود. اما روسو و باکر[2] (۱۶) محدودیت عمده این روش‌ها را وابستگی شدید آنها به مکان و سال خاص می‌دانند.

۱)آنالیز حساسیت و تعیین توابع بهینه تولید

نتایج نشان داد که عملکرد تحت تأثیر کمیت و کیفیت آب آبیاری و اثر متقابل آنها قرار گرفت. بر این اساس توابعی که بتوانند نوع رابطه بین عملکرد، مقدار آب و شوری آب آبیاری را نشان دهند، استخراج شدند. در این قسمت با استفاده از توابع تولید تعیین شده، مقادیر عملکرد محصول تخمین زده شد.. جهت ارزیابی توابع تولید، مقادیر تخمینی و واقعی عملکرد محصول از طریق پنج شاخص آماری (روابط ۶ تا۱۰) مقایسه شدند (جدول ۳). بر اساس شاخص‌های آماری محاسبه شده هر یک از توابع درجه‌بندی شدند. اساس درجه‌بندی به این صورت بود که تابعی که RMSE آن حداقل باشد، درجه یک و یا تابعی که R^2 و EF آن نزدیکتر به یک باشد، درجه یک نسبت داده شده است (۱۰ و ۱۲).

1- Datta et al.
2- Russo and Bakker

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- ضرایب فرم‌های مختلف توابع تولید آب - شوری - عملکرد

متغیر	خطی ساده	خطی لگاریتمی	درجه دوم	نمایی
ثابت	-۱۰۱/۷۴۲ ** (-۴/۱۵۵)	-۱۲۹۳/۳۹۸ ** (-۹/۲۹۹)	-۵۰۲/۲۳۶ * (-۲/۴۱۱)	۲۸۴۹/۳۶۱ ** (۲/۹۷۲)
I (cm)	۰/۸۳۸ ** (۱۲/۲۱۶)	-	۲/۹۴۲ * (۱/۲۵۱)	۲/۸۹۷ ** (۴/۳۰۲)
EC (dS/m)	-۵/۳۴۸ ** (-۶/۰۱۹)	-	۲۷/۱۰۱ ** (۳/۰۲۷)	-۶/۴۹۳ ** (-۳/۴۲۵)
Ln (I)	-	۲۵۲/۹۶۶ ** (۱۰/۶۰۵)	-	-۶۲۷/۴۳۷ ** (-۳/۰۷۸)
Ln (EC)	-	-۲۰/۵۴۸ ** (-۵/۱۸۳)	-	۴/۷۵۸ ns (۰/۶۳۷)
I^2	-	-	-۰/ ۰۰۲۶۸ ns (-۱/۴۴۹)	-
EC^2	-	-	-۰/۴۱۶ * (-۲/۰۸۸)	-
I.EC	-	-	-۰/۰۹۳ ** (-۳/۵۹۴)	-
آماره F	۲۱۶/۵۰۶	۱۵۸/۳۱۶	۱۴۷/۸۵۴	۱۳۵/۹۵۹

n.s و *و** بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و مقادیر داخل پرانتز آماره t می‌باشند.

جدول ۳- پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار توابع تولید

نوع تابع	ME (%)	RMSE	R^2	EF	CRM
خطی ساده	۳۴/۱۹ (۳) *	۱۷/۲۴ (۳)	۰/۹۲ (۳)	۰/۹۳ (۳)	-۰/۰۰۰۶ (۱)
خطی لگاریتمی	۴۴/۵۳ (۴)	۱۹/۹ (۴)	۰/۹۰ (۴)	۰/۹۱ (۴)	-۰/۰۰۰۶ (۱)
درجه دوم	۲۶/۲۶ (۱)	۱۲/۸۳ (۱)	۰/۹۶ (۱)	۰/۹۶ (۱)	۰/۰۰۳۸ (۳)
نمایی	۳۰/۸۷ (۲)	۱۵/۱ (۲)	۰/۹۴ (۲)	۰/۹۵ (۲)	۰/۰۰۱۱ (۲)

* اعداد داخل پرانتز درجه‌بندی مدل در شاخص آماری مربوطه است.

همان‌طور که در جدول (۳) ملاحظه می‌گردد برای کلیه پارامترهای آماری که مبنای مقایسه توابع قرار گرفته‌اند، بهترین نتایج بترتیب برای تابع درجه دوم و نمایی بدست آمد. ارزیابی راندمان تابع (EF) نشان می‌دهد که دو درجه دوم و تابع نمایی عملکرد خوبی دارند. مقادیر ME نشان می‌دهند که بیشترین خطا مربوط به توابع خطی لگاریتمی و خطی ساده است. مقادیر CRM توابع، دلالت بر آن دارند که تابع خطی لگاریتمی و خطی ساده در اکثر موارد عملکرد را بیشتر از مقادیر واقعی و سایر توابع کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد می‌نمایند. بنابراین تابع درجه دوم به عنوان تابع بهینه تولید در شرایط توأمان شوری و خشکی برای گوجه فرنگی در منطقه کرج معرفی می‌گردد. در همین رابطه، لی و همکاران (۱۳)، سپاسخواه و اکبری (۱۹) و کالرا و همکاران (۱۱) تابع درجه دوم را برای گندم گزارش کردند. شوک و همکاران[1] (۲۲) نیز در آزمایشی که بر روی تولید کمی و کیفی بذر یونجه انجام دادند، تابع درجه دوم را به عنوان تابع بهینه تولید و سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی را به عنوان سطح آبیاری بهینه (در آبیاری قطره ای) اعلام نمودند . شانگ و مائو[2] (۲۱) نیز تابع درجه دوم را برای گندم زمستانه پیشنهاد کرده‌اند.

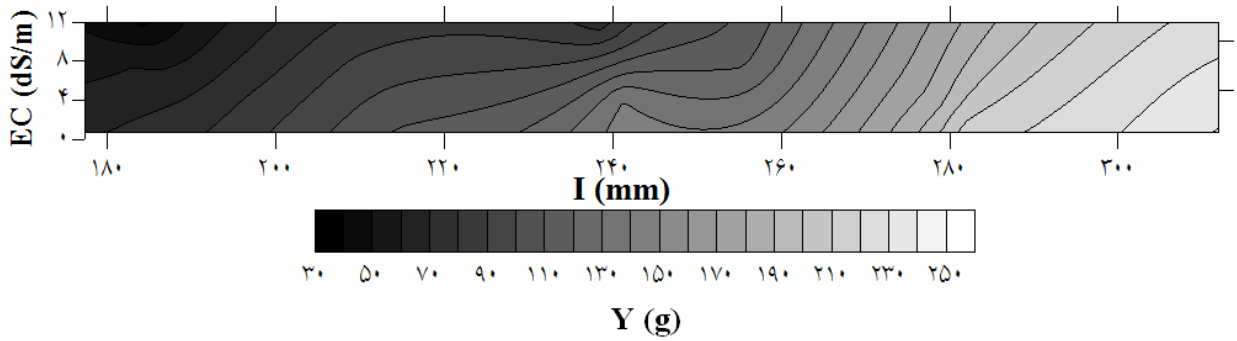
۲)منحنی‌های هم محصول

یکی دیگر از کاربردهای مطالعات توأمان شوری و خشکی در راستای بهینه سازی مصرف آب جهت سازگاری با کم‌آبی، تهیه منحنی‌های هم محصول می‌باشد. این منحنی‌ها نشان دهنده مکان هندسی ترکیبات مختلف عمق و شوری آب آبیاری است که عملکرد یکسانی را در فرآیند تولید گوجه فرنگی ایجاد می‌کنند. شکل (۳) منحنی‌های هم محصول گوجه فرنگی را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در یک عمق آب مشخص (I) ، هر چه شوری افزایش یابد، عملکرد (Y) کاهش و برای یک EC_w معین، هر چه مقدار آبیاری بیشتر شود، عملکرد نیز افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات سپاسخواه و همکاران (۲۰) در مورد گندم نیز مؤید این مطلب می‌باشد، ولی هرگاه دو عامل فوق را با هم بررسی کنیم ملاحظه می‌شود که برای دستیابی به عملکرد مشخص، مقادیر متفاوتی از I و EC_w را می‌توان جایگزین نمود. به عنوان مثال با میزان آبیاری ۲۲۰ میلیمتر و شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد معادل با ۹۰ گرم است که با افزایش میزان آبیاری به مقدار ۲۴۰ میلیمتر می‌توان به همان عملکرد ولی با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر دست یافت. بنابراین مشاهده می‌شود که عملکرد، تابع دو متغیر عمق و شوری آب آبیاری است و نگاه تک بعدی اثر هر یک بر عملکرد، با واقعیت سازگار نیست که داتا و دایال (۸) نیز بر این موضوع تأکید نموده‌اند.

1- Shock et al.
2- Shang and Mao

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۳- منحنی‌های هم محصول در شرایط تنش توأمان شوری و خشکی

ضرایب حساسیت گیاه (K_s) و واکنش عملکرد به آبیاری (K_y)

مقادیر K_s و K_y برای شرایط مختلف تنش شوری و خشکی در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به مقادیر K_y و افت نسبی محصول (ستون چهارم) می‌توان دریافت که تنش شوری بر روی کاهش عملکرد تأثیر بیشتری نسبت به تنش خشکی داشته است. به عبارتی می‌توان گفت گوجه فرنگی نسبت به تنش شوری حساس‌تر می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در یک سطح آبیاری مشخص با افزایش تنش شوری مقدار K_y نیز افزایش یافته است و به‌طور کلی با افزایش تنش شوری و خشکی عملکرد محصول کاهش یافته است. در جدول ۴ مقادیر K_y در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی، بیشتر از مقادیر K_y در شرایط تنش خشکی و کمتر از مقادیر K_y در شرایط تنش شوری می‌باشد در نتیجه تأثیر تنش شوری بر روی کاهش عملکرد محصول بیشتر از تنش خشکی می‌باشد. این نتیجه را در جدول ۲ نیز می‌توان مشاهده نمود همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود برای مثال در فرم خطی ضریب بدست آمده برای شوری (EC) بیشتر ضریب بدست آمده برای آب آبیاری(I) می‌باشد. در حالت توأمان تنش شوری و خشکی اثر این دو تنش جمع‌پذیر نمی‌باشد. با توجه به مقادیر K_s با افزایش تنش شوری و خشکی تبخیر و تعرق گیاه کاهش یافته است که کمترین مقدار آن (۰/۵۷) مربوط به تیمار W_3S_4 می باشد.. می‌توان گفت در شرایط تنش خشکی کاهش تبخیر و تعرق به دلیل کمبود آب و در شرایط تنش شوری به دلیل کاهش جذب آب در اثر پایین رفتن پتانسیل اسمتیک محیط ریشه می‌باشد. به‌طورکلی اگر پتانسیل خاک یا محلولی که گیاه در آن می‌روید کاهش یابد، اختلاف پتانسیل که نیروی محرکه جذب است نیز کاهش یافته و در نتیجه میزان آب تقلیل پیدا می‌کند.

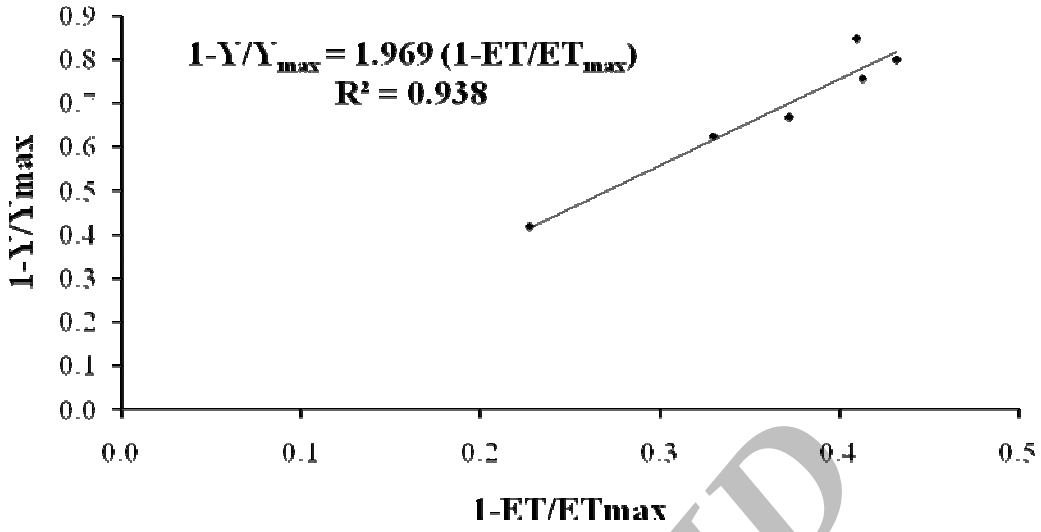
در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی از برازش منحنی بر مقادیر (Y/Y_{max}) – ۱ در مقابل مقادیر (ET/ET_{max}) – ۱، مقدار K_y متوسط (۱/۹۶۹) بدست آمد (شکل ۴). فائو مقدار K_y متوسط را در شرایط تنش خشکی برای گوجه فرنگی ۱/۰۵ گزارش کرده است که بیشتر بودن مقدار K_y متوسط (۱/۹۶۹) بدست آمده در این مطالعه نسبت به مقدار گزارش شده توسط فائو، بدلیل تأثیر قابل ملاحظه شوری بر کاهش عملکرد گوجه فرنگی می‌باشد.

جدول ٤- مقادیر ضرایب حساسیت گیاه، تغییرات افت نسبی عملکرد و راندمان تولید در تیمارهای مختلف

تیمار	K_s	۱- (ET/ET_{max}) (٪)	۱- (Y/Y_{max}) (٪)	Ky	راندمان تولید (٪)
W_1S_2	۰/۸۹	۱۰/۷	۲۳	۲/۱۵	۷۷
W_1S_3	۰/۸۲	۱۸/۲	۵۱/۱	۲/۸۱	۴۸/۹
W_1S_4	۰/۷۶	۲۳/۶	۶۹/۴	۲/۹۴	۳۰/۶
W_2S_1	۰/۹	۹/۶	۱۰/۵	۱/۰۹	۸۹/۵
W_2S_2	۰/۷۷	۲۲/۷	۴۱/۷	۱/۸۴	۵۸/۳
W_2S_3	۰/۶۷	۳۳	۶۲/۳	۱/۸۹	۳۷/۷
W_2S_4	۰/۵۹	۴۱	۸۴/۶	۲/۰۶	۱۵/۴
W_3S_1	۰/۶۹	۳۱/۲	۵۳/۸	۱/۷۲	۴۶/۲
W_3S_2	۰/۶۳	۳۷/۲	۶۶/۷	۱/۷۹	۳۳/۳
W_3S_3	۰/۵۹	۴۱/۳	۷۵/۵	۱/۸۳	۲۴/۵
W_3S_4	۰/۵۷	۴۳/۲	۷۹/۸	۱/۸۵	۲۰/۲

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٤- همبستگی بین افت نسبی عملکرد گوجه‌فرنگی و افت نسبی تبخیر و تعرق

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تیمار شاهد (W_1S_1) و تیمار W_2S_1 (۷۵٪ نیاز آبی) بترتیب با ۷/۵۷ و ۷/۵ کیلوگرم بر مترمکعب پر بازده‌ترین سطوح آبیاری بودند. اما با افزایش تنش خشکی و شوری راندمان مصرف آب کاهش یافت. مقادیر K_y در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی، بیشتر از مقادیر K_y در شرایط تنش خشکی و کمتر از مقادیر K_y در شرایط تنش شوری بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر تنش شوری بر روی کاهش عملکرد محصول بیشتر از تنش خشکی می‌باشد. در حالت توأمان تنش شوری و خشکی اثر این دو تنش جمع‌پذیر نبود. همچنین مقادیر K_s نشان داد با افزایش تنش شوری و خشکی تبخیر و تعرق گیاه کاهش یافت. می‌توان گفت در شرایط تنش خشکی کاهش تبخیر و تعرق به دلیل کمبود آب و در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش جذب آب در اثر پایین رفتن پتانسیل اسمتیک محیط ریشه بود.

نتایج آنالیز حساسیت توابع نشان داد که نرخ تغییرات عملکرد گوجه فرنگی نسبت به تغییرات دو عامل کمیت و کیفیت آب آبیاری (تابع تولید آب–شوری–عملکرد) از فرم درجه دوم تبعیت می‌کنند. لذا تابع تولید درجه دوم برای گوجه فرنگی به عنوان تابع بهینه تولید در منطقه کرج معرفی می‌گردد. بنابراین توصیه می‌شود اولاً در راستای سازگاری با کم‌آبی جهت تولید گوجه فرنگی، از تابع تولید درجه دوم بدست آمده در منطقه استفاده گردد. ثانیاً تحقیقات تکمیلی مشابه برای سایر محصولات استراتژیک منطقه (از قبیل: گندم، جو، یونجه، ذرت) انجام شود تا بتوان راهبرد بهینه سازی مصرف آب را در یک تناوب کامل زراعی بکار گرفت.

نتایج بررسی منحنی‌های هم محصول نشان داد که با افزایش میزان آبیاری، می‌توان از آب آبیاری با شوری بالاتری استفاده نمود، به نحوی که عملکرد تغییر نکند اما جایگزینی کمیت با کیفیت آب آبیاری دارای محدوده خاصی می‌باشد. در منحنی‌های هم محصول این محدوده نقطه‌ای است که خط مماس بر منحنی موازی محور I گردد، از این نقطه به بعد هر چه میزان آبیاری افزایش یابد (با شوری ثابت) نه تنها باعث افزایش عملکرد نمی‌شود بلکه سبب هدر رفتن سرمایه نیز خواهد شد.

منابع

۱- بهنامیان م. و مسیحا س .۱۳۸۱ . گوجه‌فرنگی. انتشارات ستوده.

۲- خیرابی ج.، ع. توکلی م. و انتصاری ع. ۱۳۷۵. دستورالعمل‌های کم‌آبیاری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول، ص: ۲۱۸.

۳- کیانی ع. و کوچک زاده م. ۱۳۸۰. راهکار های اجرایی و مدیریتی کاربرد آب شور در کشاورزی، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب ، دانشگاه زابل.

۴- نورجو ا.، زمردی ش. و امامی ع . ۱۳۸۰ . بررسی اثرات سطوح مختلف آبیاری در زراعت گوجه فرنگی .مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد سوم.

Archive of SID

www.SID.ir

5- Abushita A. A., Daood H. G., and Biacsp A. 2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. Am. Ch. Society. 48: 2075- 2081.
6- Bogle C.R., Hatrz T.K., and Nunez C. 1989. Comparision of subsurface trickle and furrow irrigation on plastic-mulched and bare soil for tomato production. Journal of the American society for Horticultural science. 114: 1, 40-43.
7- Chinnusamy V., Jagendorf A., and Zhu J. K. 2005. Understanding and improving salt tolerance in lants. Crop Sci. 45, 437-448.
8- Datta K.K., Sharma V. P., and Sharma D. P. 1998. Estimation of a production function for wheat under saline conditions. Agric. Water Management. 36,85-94.
9- Doorenbos J., and Kassam A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage paper no. 33.
10- Homaee M., Dirksen, C., and Feddes, R.A. 2002. Simulation of root water uptake, I: Non-uniform ransient salinity using different macroscopic reduction functions, Agric. Water Management. 57,89-109.
11- 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, Agric. Water Manage. 2471, No of Pages 11
12- League K., and Green R.E. 1999. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport dels: Overview and application. J. Contaminant Hydrology, 7:51-73.
13- Li J., S. Inanaga Z. Li and Eneji E. 2005, Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain, Agricultural Water Management, 76, 8–23.
14- Mishell J. P., Shennan C., and Grarran, SR., May, D. M. 1991. Tomato fruit yields and quality under deficit and salinity. J. of the Ame. Soc. For. 116:215.
15- Rubino P., and Tarantino E. 1988. Influence of irrigation techniques on behaviour of some processing tomato cultivars. Acta- Horiculturas. 228:109-118.
16- Russo D., and Bakker, D. 1986. Crop water production functions for sweet corn and cotton irrigated with saline waters, Soil Science Society American J. 51,1554-1562.
17- Saggu S. S., and Kaushal M. P. 1992. Comparison of drip and furrow irrigation systems for pomato crop. Journal of Research, Punjab- Agricultural- University. 29: 1, 91- 98.
18- Salim M. 1989. Salinity effects on growth and ionic relations of two triticale varieties differing in salt tolerance. Agron. J. 162(1): 35-42.
19- Sepaskhah A.R., and Akbari, D. 2005. Deficit Irrigation Planning under Variable Seasonal Rainfall, ublished by Elsevier Ltd., Biosystems Engineering, 92 (1), 97–106.
20- 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, Published by Elsevier Ltd. Biosystems Engineering, 93 (2), 139–152.
21- Shang, S., and Mao, X. 2006. Application of a simulation based optimization model for winter wheat irrigation scheduling in North China, Agricultural Water Management. 85, 3 14 – 3 22.
22- Shock C.C., Feibert E.B.G., Saunders L.D., and Klauzer J. 2007. Deficit Irrigation for Optimum Alfalfa Seed Yield and Quality, Agron J. 99,992-998.
23- Shrirastara P. K., Parikh, M. M., Sawani, N. G., and Raman, S. 1994. Effect of drip irrigation and mulching on tomato yield. Agricultural Water Management. 25: 2, 179- 184.
24- Zekri M., and Parsons L. R. 1990. Comparative effects of NaCI and polyethylene glycol on root distribution, growth and stomatal conductance of sour orangc seedlings. Plant Soil 129, 137-143.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 3, July-Aug 2010, p. 583-592

نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۳، مرداد - شهریور ۱۳۸۹، ص. ۵۹۲-۵۸۳

Optimization of Water Use and Determination of Tomato Sensitivity Coefficients under Combined Salinity and Drought Stress in Karaj

M. Mohammadi[1]* – A. Liaghat [2]- H. Molavi [3]

Abstract

Different strategies are existed for adjusting with water shortage, of which the strategy of suitable policies adoption by determining optimum production function can be mentioned. Water shortage and quality degradation of soil and water resources is one of main factors of production reduction. Therefore, this study was carried out for determination of tomato sensitivity coefficients and its water-salinity-yield optimum function in Karaj. The experiment was performed as a complete randomized design with three replicates including two factors; Salinity and irrigation water. Salinity and irrigation water factors consisted of four levels (S_1=0.7, S_2=4, S_3=8 and S_4=12 dS/m) and three levels (W_1=100, W_2=75 and W_3=50 percent of water requirement), respectively. The Soil texture was sandy loam. Yield data were fitted on different forms production functions (simple linear, logarithmic linear, Quadratic and Transcendental) and the optimum one was determined after sensitivity analysis. Then, the values of water use efficiency and plant sensitivity coefficients were determined. Results of sensitivity analysis showed that the quadratic production function is optimal production and it can be recommended. Investigation of the maximum values of error (ME) showed that the logarithmic linear and simple linear functions have had the highest error. In the irrigation treatments, W_1S_1 (control) and W_2S_1 (75% of water requirement) with 7.57 and 7.5 Kg /m^3 respectively had the highest water use efficiency. However, water use efficiency decreases if the drought and salinity increases. The average value of K_y, in the condition of combined salinity and drought stress was 1.696. Moreover, Plant sensitivity values (K_s) decreases if salinity and drought increases and the lowest value of K_s were belong to W_3S_4 (0.57). The iso-yield curve showed that by increasing of irrigation amounts, water with higher salinity can be applied without yield change.

Keywords: Drought and salinity stress, Optimization of water use, Production function, Tomato sensitivity coefficientss

Archive of SID

1,3- Msc Student, Agricultural and Natural Resourses, karaj
(*- Corresponding author Email: masoudm_64@yahoo.com)
2- Professor, Agricultural and Natural Resourses, karaj

www.SID.ir