تعیین تابع تولید آب– شوری– عملکرد با در نظر گرفتن زمان برداشت علوفه و ارزیابی شاخص-های تولید در ذرت خوشه‌ای

حلیمه پیری[۱*]، حسین انصاری[۲]، مهدی پارسا[۳]

چکیده

این تحقیق به منظور تعیین تابع برتر آب- شوری- عملکرد و زمان برداشت ذرت خوشه‌ای در مزرعه‌ای تحقیقاتی در دشت سیستان اجرا شد. آزمایش در سطوح شوری(۲، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) و سطوح آبیاری(۵۰، ۷۵، ۱۰۰و ۱۲۰ ٪ نیاز آبی گیاه) در سه زمان برداشت انجام گرفت و چهار تابع تولید خطی، لگاریتمی، درجه‌ی دوم و متعالی ارزیابی شدند. برای هر برداشت تابع تولید به طور جداگانه بررسی شد، سپس با در نظر گرفتن زمان برداشت، تابع تولید ارزیابی گردید. بعد از تعیین تابع برتر جهت بررسی اثر پای جداگانه و توأم شوری و آب آبیاری از شاخص تولید نهایی نسبت به عمق و شوری آبیاری، نسبت نهایی نرخ جایگزین فنی و ارزش تولید نهایی استفاده گردید. نتایج نشان دادند که تابع درجه‌ی دوم عملکرد ذرت خوشه‌ای را بهتر ارائه می‌کند. شاخص تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری نشان داد که به ازای افزایش یک سانتی‌متر آب آبیاری، برداشت اول کمترین تغییر عملکرد(۱/۲۲ تن بر سانتی‌متر)، و برداشت سوم بیشترین مقدار (۲/۹ تن بر سانتی‌متر) را داشته است. شاخص تولید نهایی نسبت به شوری نشان داد که کاهش عملکرد در شوری‌های پایین در برداشت دوم کمتر از برداشت اول و سوم بوده، و برداشت سوم بیشترین کاهش عملکرد علوفه تازه را داشته است. نرخ جایگزینی نهایی کمیت و کیفیت آب آبیاری نسبت به عملکرد علوفه تازه نشان داد که برای این که عملکرد، با افزایش یک واحد شوری آب تغییر نکند، باید ۵/۸۶ سانتی‌متر در برداشت اول، ۱/۹۷ سانتی‌متر در برداشت دوم، و ۱/۷۲ سانتی‌متر در برداشت سوم عمق آب افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: ذرت خوشه‌ای، دشت سیستان، تابع تولید، شوری، آب آبیاری.

[۱] استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
Email: H_piri2880@uoz.ac.ir
[۲] استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

مقدمه

کمبود آب و تنش خشکی پدیده‌هایی هستند که در شرایط زراعی اجتناب ناپذیرند، ز یرا رطوبت خاک در طی فصل رشد در زمان و مکان تغییرات فراوانی دارد. اینکه چگونه گیاه به مجموع تنش‌های شوری و خشکی پاسخ می دهد، هنوز به خوبی روشن نشده است. بدیهی است که گیاه از هر دو تنش بیشتر آسیب می‌بیند تا یکی از آن‌ها به‌تنهایی. اما این که آیا اثر آن‌ها جمع‌پذیر است یا نه، موضوعی است که توسط همایی(۱۹۹۹) به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. بیان کمی این موضوع با توجه به اینکه هرکدام از این تنش‌ها در شرایط متغیر مکان و زمان چه نقشی را ایفا می-کنند، بسیار دشوار است. به‌طور کلی، عمق بهینه‌ی آب آبیاری در شرایط مختلف(کمبود زمین، تنش خشکی، تنش شوری و یا ترکیبی از این حالات) متفاوت بوده و زمانی حاصل خواهد شد که بر اثر آبیاری با این عمق، بتوان به درامد خالص حداکثر دست یافت. به‌منظور تعیین عمق بهینه به ابزار مختلفی از جمله تابع تولید محصول نسبت به آب آبیاری و یا مشتقات آن، هزینه‌های ثابت و متغیر، قیمت محصول و اطلاعات مربوط به محدودیت‌های آب و زمین نیاز است. تعیین تابع تولید راه را برای برنامه‌ریزی و سیاست-گذاری تولیدات کشاورزی هموار می‌کند. به‌طور کلی در منابع دو روش برای براورد توابع تولید آب – عملکرد ذکر شده است. روش اول بر اساس شبیه‌های نظری و تجربی رابطه‌ی آب – عملکرد یا شوری – عملکرد را به‌صورت کمی بیان می‌کند. در روش دوم، توابع تولید بر اثر مقادیر مختلف کمی و کیفی آب بر عملکرد گیاهان، ناشی از مشاهدات مزرعه‌ای و با استفاده از تحلیل آماری براورد می‌گردند. برآورد توابع تولید بر اساس روش آماری به‌دلیل رابطه مستقیم آب-عملکرد بر روش‌های نظری و تجربی که بر پایه‌ی فرضیات استوار هستند، ترجیح داده می‌شوند(شیر محمدی و همکاران، ۱۳۹۲). این توابع می‌توانند در ارزیابی امکان استفاده از آب‌های شور مورد استفاده قرار گیرند(وکس و پرویت، ۱۹۸۳). با براورد تابع تولید می‌توان به‌طور کمی تأثیر نسبی هر یک از متغیرهای یاد شده را برای تغییرات تولید و درامد محصول، محاسبه و تعیین نمود(کیانی و همکاران، ۱۳۸۵). لیو و همکاران(۲۰۰۲) ضمن بررسی تبخیر و تعرق، آب مصرفی و عملکرد ذرت، به تحلیل توابع تولید و کارایی مصرف آب و تعیین ضریب تنش پرداختند.کیانی و عباسی(۲۰۰۹) در شرایط توأم تنش شوری و کم آبی در استان گلستان تابع متعالی را به‌عنوان تابع برتر تولید گندم انتخاب نمودند.

ذرت خوشه‌ای گیاهی است که نقش اساسی را در تأمین علوفه‌ی دام داشته، و به علت سازگاری با شرایط نامساعد محیطی و بالا بودن کارایی مصرف آب می‌تواند در برخی از مناطق کشور که با شوری و خشکی مواجه می‌باشد، تولید خوبی داشته باشد. این گیاه چشم‌انداز را مناسبی برای تحت پوشش بردن اراضی شور با استفاده از ارقام نسبتا مقاوم نشان می‌دهد(یارنیا، ۱۳۸۶). ذرت خوشه‌ای معمولا در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پس از برداشت گندم و جو کشت می‌شود. با توجه به زمان کاشت و شرایط اقلیمی، آبیاری این گیاه زراعی اجتناب‌ناپذیر است. کاشت ذرت خوشه‌ای معمولا در گرم‌ترین ماه(تیر ماه) سال انجام می‌شود که آب شرایط بحرانی را دارد. در منطقه‌ی سیستان کمبود آب، یک مسئله جدی و دارای اهمیت است. تنها منبع آب منطقه، هیرمند است که از کوه‌های بابایغمای افغانستان سرچشمه می‌گیرد و بحران آب منطقه، ناشی از کمبود آب در این است، به‌گونه‌ای که عدم تأمین آب هیرمند منجر به نابودی کشاورزی منطقه گردیده است. در این منطقه اراضی زیادی وجود دارند که قابل زرع هستند، اما به خاطر کمبود منابع آب به‌صورت بایر رها شده‌اند. بنابراین باید دنبال راهکاری بود که با حفظ شرایط پایدار در منابع آب و خاک منطقه از لحاظ اقتصادی موجب توسعه‌ی کشاورزی شود. تدوین برنامه‌ی آبیاری و اعمال مدیریت صحیح آبیاری در این منطقه می‌تواند از زیان‌های ناشی از کمبود منابع آب در منطقه بکاهد. این پژوهش به‌منظور تعیین بهترین تابع تولید در شرایط توأم شوری و سطوح مختلف آب آبیاری در زمان-های مختلف برداشت علوفه در منطقه‌ی دشت سیستان انجام شده است تا بتوان ضمن صرفه‌جوئی در مصرف آب با استفاده از منابع آب شور منطقه، کمترین کاهش محصول را داشته باشیم.

مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به اهداف موردنظر، تحقیق حاضر در قالب طرح فاکتوریل کرت‌های خرد شده در زمان اجرا گردید. تیمارها شامل سه عامل شوری آب آبیاری(s_1،s_2 و s_3 به ترتیب معادل ۲، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) و چهار سطح عمق آب آبیاری (I_1 ، I_2 ، I_3 و I_4 به‌ترتیب معادل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه ذرت خوشه‌ای) و ۳ چین برداشت علوفه در سه تکرار اجرا شد. ابعاد کرت‌ها ۴ ×۳ (متر در متر) و فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۱ متر در نظر گرفته شد. کشت به‌صورت ردیفی با فاصله ردیف‌های ۷۵ سانتی‌متر و فاصله‌ی بوته‌های ۷/۵ سانتی‌متر از یکدیگر انجام گرفت. آب‌های مورد استفاده از سه چاه نزدیک به مزرعه‌ی تحقیقاتی با شوری‌های ذکر شده تأمین و با استفاده از سه تانکر به مزرعه منتقل و مورد استفاده قرار گرفت. برای هر شوری جداگانه یک لوله‌ی آبرسان متصل به تانکر به قطر ۴۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد که آب را به مزرعه منتقل کرده، سپس به‌وسیله‌ی لوله پلی-اتیلن به قطر ۲۵ میلی‌متر در مزرعه توزیع شد. برای هر ردیف کشت یک لوله‌ی آبده زیرسطحی با قطر ۱۶ میلی‌متر و مجهز به قطره‌چکان داخل لوله با آبدهی۳/۴۱ لیتر در ساعت با فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر در عمق ۳۰ سانتی‌متری نصب گردید. دور آبیاری گیاه با توجه به بافت خاک و ظرفیت نگهداشت آب در خاک و بررسی‌های محلی سه روز در نظر گرفته شد، پس از تعیین نیاز آبی گیاه حجم آب مورد نیاز به‌وسیله‌ی آب‌شمارهای نصب شده بر روی لوله‌های آبرسان اندازه‌گیری و حجم آب سایر تیمارها بر اساس این حجم تعیین و اعمال گردید. برای ایجاد شرایط مناسب جوانه‌زنی و استقرار گیاه کلیه تیمارها تا بیست روز اول کشت با آب با شوری ۲ دسی زیمنس بر متر و به صورت کامل آبیاری شدند، سپس تیمارها اعمال گردید. کاشت روز اول خرداد ماه۹۴ و برداشت در سه مرحله‌ی ۶ مرداد، ۲۷ شهریور و ۱۵ آبان ماه (زمانی که پنج درصد گلدهی حاصل گردید) انجام شد.

شکل توابع شوری- آب آبیاری- عملکرد به شکل‌های خطی ساده، لگاریتمی، درجه‌ی دوم و تابع متعالی بودند که برای هر چین به صورت جداگانه به دست آمد.

سپس برای تعیین تابع شوری –آب آبیاری- زمان برداشت - عملکرد فراسنج زمان برداشت نیز به شکل زیر وارد معادلات گردید.

خطی ساده:

$$Y = \alpha + \beta_1 I + \beta_2 EC + \beta_3 T \quad (۱)$$

شبیه لگاریتمی:

$$Y = \alpha\, I^{\beta_1} EC^{\beta_2} T^{\beta_3} \quad (۲)$$

شبیه درجه‌ی دوم:

$$Y = \alpha + \beta_1 I + \beta_2 EC + \beta_3 T + \beta_4 I^2 + \beta_5 EC^2 + \beta_6 T^2 + \beta_7 . I . EC . T \quad (۳)$$

شبیه متعالی:

$$Y = \alpha I^{\beta_1} EC^{\beta_2} T^{\beta_3} \exp(\beta_4 I + \beta_5 EC_w + \beta_6 T) \quad (۴)$$

I: مقدار آب آبیاری(سانتی‌متر)

EC : شوری آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر) α :مقدار ثابت

β: فراسنج‌های وایازی که بایستی محاسبه شوند.

T:زمان برداشت(روز از سال ژولیوسی)

Y : مقدار عملکرد ذرت خوشه‌ای

پس از تعیین ضرایب مورد نیاز، به‌منظور مقایسه و ارزیابی این شبیه‌ها از پنج شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، بازده‌ی شبیه(EF)، خطای بیشینه(ME)، ضریب مقدار باقیمانده(CRM) و ضریب تبیین(R^2) استفاده شد که از معادلات زیر به دست می‌آیند.

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}\right)^{1/2} \times \left(\frac{100}{\bar{o}}\right) \quad (۵)$$

$$EF = \left(\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{o})^2 - \sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2\right) / \sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{o})^2 \quad (۶)$$

$$ME = MAX_{i=1}^{n}|O_i - P_i| \quad (۷)$$

$$CRM = \left(\sum_{i=1}^{n}(O_i) - \sum_{i=1}^{n}(P_i)\right)/\left(\sum_{i=1}^{n}(O_i)\right) \quad (۸)$$

در این معادلات O وP به ترتیب مقدار عملکرد مشاهده-شده و پیش‌بینی شده و n تعداد مشاهدات هستند.

ریشه‌ی میانگین مربعات خطا(RMSE) نشان‌دهنده‌ی این است که چه مقدار از شبیه‌سازی‌ها بیشتر یا کمتر از مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده است. خطای حداکثر(ME) نشان‌دهنده‌ی چگونگی اجرای شبیه بوده و مقدار زیاد آن بیانگر کار برد ضعیف شبیه می‌باشد. ضریب تعیین R^2 بیانگر نسبت پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده است. آماره‌یEF مقادیر پیش‌بینی شده را با میانگین اندازه-گیری‌شده مقایسه می‌کند و ضریب مقدار باقیمانده (CRM)

نیز تمایل شبیه را در برآورد بیشتر یا کمتر از مقادیر اندازه-گیری شده را نشان می‌دهد. مقدار منفی این آماره بیانگر برآورد بیشینه‌ی شبیه است. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی-شده و اندازه‌گیری شده برابر گردند، آنگاه شاخص‌های RMSE، R^2، EF، ME و CRM به‌ترتیب برابر با صفر، یک، یک، صفر و صفر خواهد بود(همایی و همکاران، ۲۰۰۲).

پس از تعیین تابع تولید برتر، جهت بررسی اثرات جداگانه و توأم شوری و سطوح آبیاری بر عملکرد ذرت خوشه‌ای از شاخص‌های تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری(MP_I)، تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری(MPECw)، نسبت نهایی نرخ جایگزین فنی برای شوری و عمق آب آبیاری(MRTSI,ECw)، ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری(VMPI) و ارزش تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری(VMPECw) استفاده گردید. این شاخص‌ها با استفاده از روابط زیر تعیین شدند.

$$MP_I = dY/dI \quad (۹)$$

$$MP_{ECW} = dY/dEC_W \quad (۱۰)$$

$$MRTS\ EC_{W,I} = \frac{MPEC_W}{MP_I} \quad (۱۱)$$

$$VMP_I = P_Y \times MP_I \quad (۱۲)$$

$$VMPECW = P_Y \times MP_{EC} \quad (۱۳)$$

P_Y:قیمت واحد وزن محصول(۱۵۰۰ ریال به ازای هر کیلوگرم علوفه‌ی تازه)

Y:تابع تولید بهینه است.

نتایج و بحث

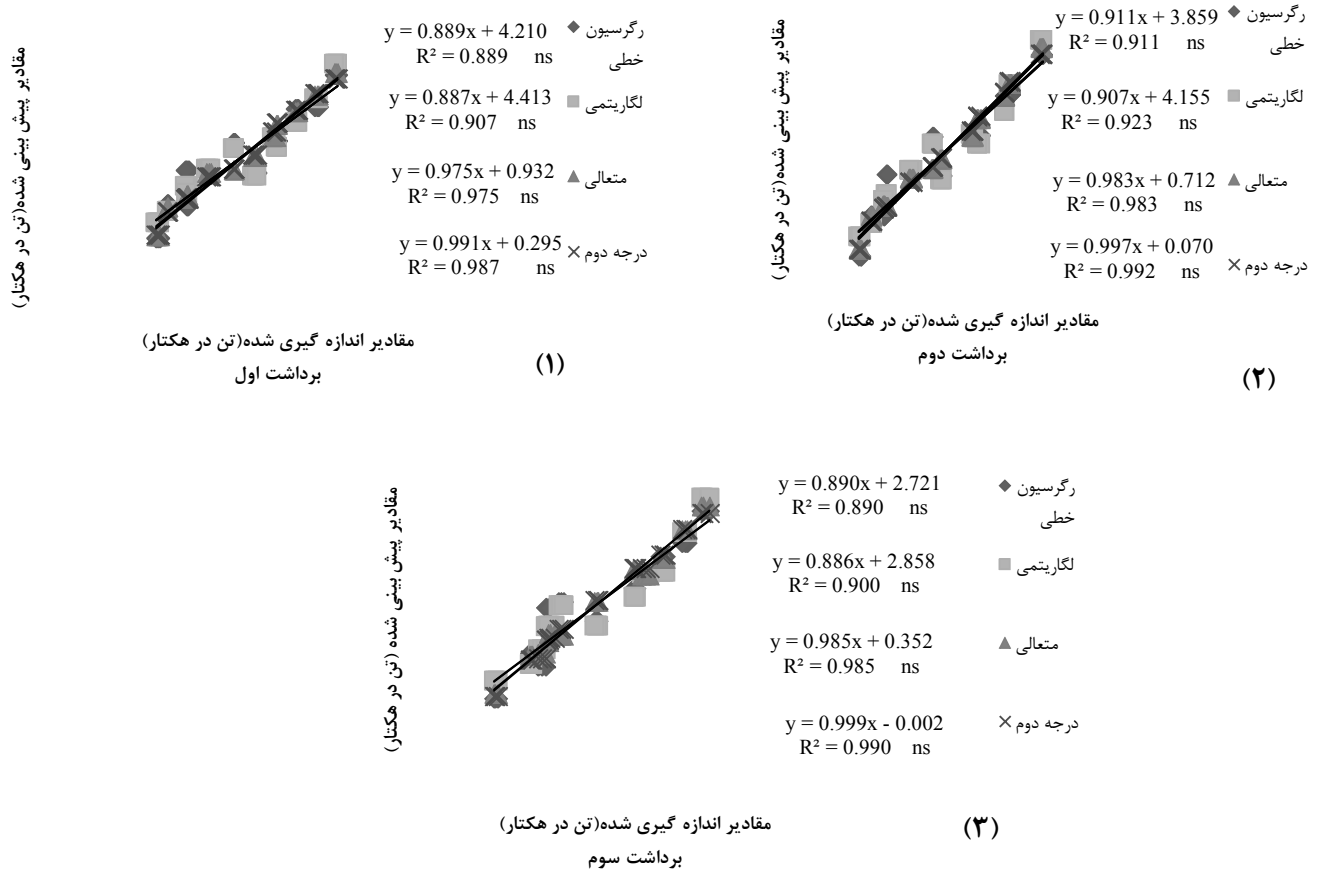
نتایج براورد ضرایب توابع تولید برای هر یک از چین-های ذرت خوشه‌ای در جداول ۱ آمده‌اند. نمودار وایازی مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در شکل ۱، و فراسنج‌های آماری مورد نیاز ارزیابی اعتبار توابع به دست آمده در مورد عملکرد علوفه‌ی تازه در جدول ۲ ارائه شده‌اند. برای تعیین معنی‌داری از آماره‌ی f استفاده شد. آماره‌ی f نشان‌دهنده‌ی معنی‌دار بودن کلی تابع است. چنانچه آزمون f معنی‌دار باشد نشان‌دهنده این است که برازش کلی شبیه وایازی و میزان باقیمانده‌های شبیه در حد قابل قبولی است(کیانی و عباسی، ۲۰۰۹). بررسی ضرایب تعیین معادلات خط وایازی رسم شده، و همچنین آماره‌ی t استیودنت مندرج در نمودار نشان می‌دهند که کلیه‌ی توابع مورد مطالعه توانسته‌اند براورد قابل قبولی را از عملکرد علوفه‌ی تازه ذرت خوشه‌ای داشته باشند. بنابراین، در مرحله‌ی بعدی به رتبه-بندی توابع پرداخته شد. همان‌طور که از جدول ۲ مشاهده می‌گردد، بر اساس رتبه‌بندی نهایی تابع درجه‌ی دوم به عنوان تابع برتر نسبت به سایر توابع شناخته می‌شود. توابع متعالی، لگاریتمی و خطی به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند. با توجه به این‌که هر چه مقادیر ME بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی عملکرد ضعیف‌تر شبیه در براورد مقدار عملکرد محصول است. بنابراین، از جدول می‌توان دریافت که تابع درجه‌ی دوم با داشتن کمترین ME بهترین براورد را از عملکرد محصول داشته است. حداقل مقدار عددی شاخص RMSE نیز مربوط به تابع درجه‌ی دوم بوده، و نشان‌دهنده‌ی این است که این تابع با کمترین اختلاف، عملکرد را نسبت به مقدار واقعی آن براورد کرده است. همچنین، مقادیر بالای ضریب تعیین R^2 (۰/۹۹) و کارائی شبیه EF (۰/۹۸) نیز بیانگر قاطعیت و کارائی بالای تابع درجه‌ی دوم در برآورد مقادیر مورد نظر است. بنابراین، با توجه به نتایج مذکور، و در نظر گرفتن رتبه‌ی نهایی می‌توان گفت که تابع درجه‌ی دوم می-تواند به‌عنوان تابع برتر در شرایط توأم شوری و سطوح آب آبیاری در منطقه سیستان معرفی گردد. محققان زیادی تابع درجه‌ی دوم را به‌عنوان تابع برتر جهت تعیین رابطه بین فراسنج‌های شوری، آب آبیاری و عملکرد عنوان نموده اند(نجفی و همکارن، ۱۳۹۱؛ شیر محمدی و همکاران، ۱۳۹۲). رضایی و همکاران(۱۳۸۶) در بررسی تنش آبی بر محصول ذرت علوفه‌ای تابع درجه‌ی دوم را به‌عنوان تابع عملکرد عمق آبیاری معرفی نمودند. یزدانی و همکاران(۱۳۹۳) در ارزیابی عملکرد کلزا نسبت به شوری و آب آبیاری در منطقه مشهد تابع درجه‌ی دوم را با داشتن بالاترین ضریب تعیین و کمترین میزان خطا به عنوان تابع برتر درنظر گرفتند.

جدول ۱: ضرایب توابع تولید آب- شوری- عملکرد

ضرایب تابع تولید		تابع تولید			
		تابع خطی	تابع لگاریتمی	تابع درجه دوم	تابع متعالی
برداشت اول	α	۳۴/۳۹	۳/۸	-۵۲/۶	۸/۴
	β_1	۰/۲۲	۰/۶۰۳	۲/۳	۰/۸۷
	β_2	-۲/۶	-۰/۴۵۱	-۵/۶	۰/۰۹
	β_3	-	-	-۰/۰۱	-۰/۰۰۱
	β_4	-	-	۰/۲	-۰/۰۷
	β_5	-	-	۰/۰۱	-
	آماره f	۹/۷۳**	۹۸/۱۲**	۶۲/۳۱**	۱۳۵/۸۲**
برداشت دوم	α	۳۸/۱۵	۵/۴	-۵۰/۳	۵/۴
	β_1	۰/۲۲	۰/۶۵	۲/۵	۰/۹
	β_2	-۳/۲	-۰/۴۶	-۴/۵	۰/۰۷
	β_3	-	-	-۰/۰۱۲	-۰/۰۰۲
	β_4	-	-	۰/۱	-۰/۰۸
	β_5	-	-	۰/۰۱	-
	آماره f	۲۲/۶۳**	۱۲۵/۳۸**	۸۲/۶۵**	۹۷/۲۴**
برداشت سوم	α	۳۶	۱۰/۶	-۳۸/۵	۵/۸
	β_1	۰/۳	۰/۴۸	۳/۷	۰/۹۹
	β_2	-۳/۲	-۰/۴۸	-۵/۱	۰/۰۹
	β_3	-	-	-۰/۰۲	-۰/۰۲
	β_4	-	-	۰/۱	-۰/۰۸
	β_5	-	-	-۰/۰۰۲	-
	آماره f	۴۳/۱۵**	۹۶/۱۲**	۶۴/۲۳**	۱۱۶/۳۴**

جدول۲: فراسنج‌های آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار توابع تولید آب- شوری- عملکرد

زمان برداشت	نوع تابع	RMSE	EF	ME	CRM	R^2	میانگین رتبه	رتبه‌ی نهایی
برداشت اول	خطی	(۴)۱۲/۹۲	(۴)۰/۸۸	(۴)۱۰/۱۶	(۱)۱/۸۲ E-۱۵	(۴)۰/۸۹	۳/۴	۴
	لگاریتمی	(۳)۱۱/۸۷	(۳)۰/۹	(۳)۹/۹۴	(۴)-۰/۰۰۳	(۳)۰/۹	۳/۲	۳
	متعالی	(۲)۶/۰۸	(۲)۰/۹۷	(۲)۳/۹۸	(۲)۱/۹۹ E-۱۰	(۲)۰/۹۷	۲	۲
	درجه‌ی دوم	(۱)۴/۴۱	(۱)۰/۹۸	(۱)۳/۴۹	(۳)۰/۰۰۰۶	(۱)۰/۹۸	۱/۴	۱
برداشت دوم	خطی	(۴)۱۲/۰۷	(۴)۰/۹۱	(۴)۱۱/۰۷	(۱)۱/۴۵ E-۱۵	(۴)۰/۹۱	۳/۴	۴
	لگاریتمی	(۳)۱۱/۲۳	(۳)۰/۹۲	(۳)۸/۵	(۴)-۰/۰۰۲۶	(۳)۰/۹۲	۳/۲	۳
	متعالی	(۲)۵/۱۸	(۲)۰/۹۸	(۲)۴/۱۹	(۲)-۲/۴ E-۱۰	(۲)۰/۹۸	۲	۲
	درجه‌ی دوم	(۱)۳/۶۱	(۱)۰/۹۹	(۱)۳/۷۵	(۳)۰/۰۰۰۹	(۱)۰/۹۹	۱/۴	۱
برداشت سوم	خطی	(۴)۱۱/۷۴	(۴)۰/۸۹	(۴)۶/۳۹	(۲)۱/۵۳ E-۱۵	(۴)۰/۸۹	۳/۶	۴
	لگاریتمی	(۳)۱۱/۲۱	(۳)۰/۹	(۳)۴/۹۹	(۳)-۰/۰۰۱۷	(۳)۰/۹	۳	۳
	متعالی	(۲)۴/۲۲	(۲)۰/۹۸	(۲)۲/۴۴	(۱)۱/۴ E-۱۵	(۲)۰/۹۸	۱/۸	۲
	درجه‌ی دوم	(۱)۳/۲۶	(۱)۰/۹۹	(۱)۱/۷۹	(۴)۰/۰۰۱	(۱)۰/۹۹	۱/۶	۱



شکل۱: نمودرا وایازی مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد علوفه‌ی تازه در هر برداشت

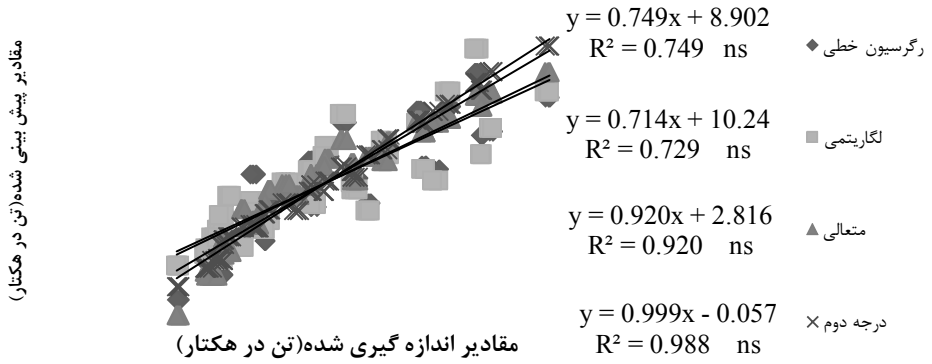
پس از این که تابع تولید برای هر چین به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت، با وارد کردن زمان برداشت تابع تولید نسبت به شوری، آب آبیاری و زمان برداشت نیز تعیین گردید. ضرایب توابع به دست آمده در جدول ۴ و فراسنج‌های بررسی‌شده جهت تعیین تابع برتر در جدول ۴ آورده شده‌اند. همچنین نمودار وایازی مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۳: ضرایب توابع تولید آب- شوری- زمان برداشت- عملکرد

ضرایب تابع تولید	تابع تولید			
	تابع خطی	تابع لگاریتمی	تابع درجه‌ی دوم	تابع متعالی
α	۱۵/۶	۶/۲۴	-۱۸/۵	۷/۴
β_1	۰/۴	۰/۶۱	۳/۹	۰/۸
β_2	-۴/۶	-۰/۷۸	-۸/۰۵	-۱/۱
β_3	۰/۰۵	-/۰۶	۱/۱	۰/۰۴
β_4	-	-	-۰/۰۳	-۰/۰۰۲
β_5	-	-	۰/۲۵	۰/۰۴
β_6	-	-	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۳
β_7	-	-	-۰/۰۰۱	-
آماره‌ی f	۵۴/۲۳	۶۷/۵۲**	۹۸/۱۱**	۷۸/۱۸**

جدول۴: فراسنج‌های آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار توابع تولید آب- شوری- زمان برداشت- عملکرد

نوع تابع	RMSE	EF	ME	CRM	R^2	میانگین رتبه	رتبه‌ی نهایی
خطی	(۳)۲۲/۹۸	(۳)۰/۷۵	(۳)۱۵/۷۴	(۱)۱/۱۹ E-۱۵	(۳)۰/۷۵	۲/۶	۳
لگاریتمی	(۴)۲۳/۸۹	(۴)۰/۷۳	(۴)۱۹/۲۷	(۳)-۰/۰۰۰۳	(۴)۰/۷۳	۳/۸	۴
متعالی	(۲)۱۲/۹۲	(۲)۰/۹۲	(۲)۱۰/۲۴	(۲)۱/۷۸ E-۱۵	(۲)۰/۹۲	۲	۲
درجه‌ی دوم	(۱)۴/۹۱	(۱)۰/۹۸	(۱)۴/۰۱	(۴)۰/۰۰۲۲	(۱)۰/۹۸	۱/۶	۱

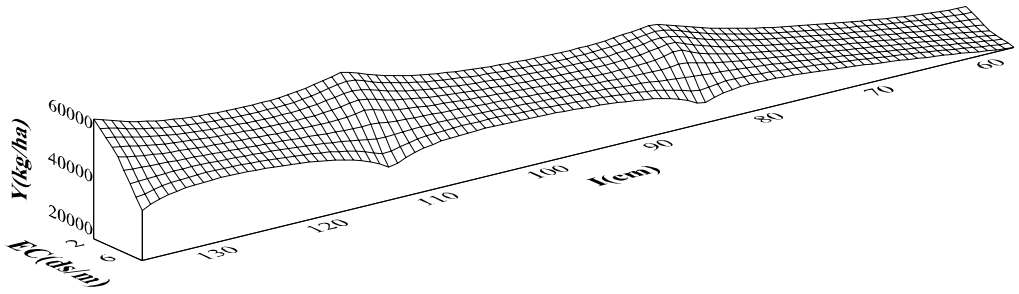


شکل۲: نمودرا وایازی مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد علوفه‌ی تازه در هر سه برداشت

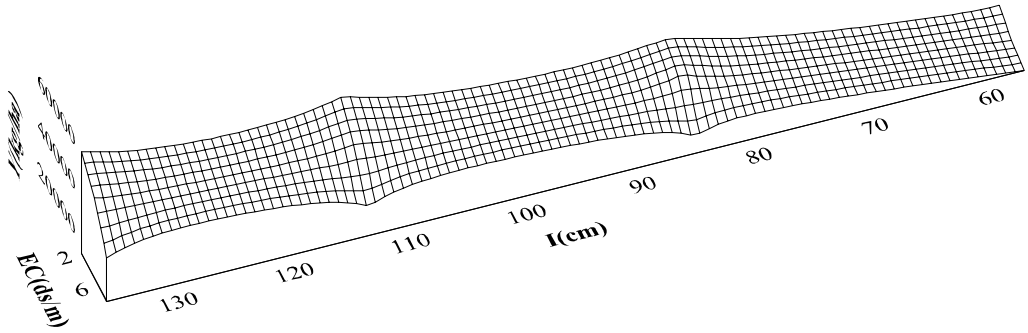
همان‌طور که از جدول ۴ مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن زمان برداشت علوفه در توابع تولید، این بار نیز تابع درجه‌ی دوم با داشتن بالاترین ضریب تعیین(۰/۹۸۸) و بالاترین کارایی(۰/۹۸) و کمترین میزان خطا بهترین براورد را از عملکرد علوفه تازه داشته است. در نظر گرفتن زمان برداشت علوفه در تابع تولید خطی و لگاریتمی از دقت این توابع در براورد عملکرد کاسته است، به‌طوری که ضریب تبیین را به مقدار ۰/۷۴و ۰/۷۲ کاهش داده است.

شکل ۳ تغییرات عملکرد ذرت خوشه‌ای را نسبت به شوری و سطوح مختلف آب آبیاری با استفاده از داده‌های واقعی مزرعه و داده‌های به‌دست آمده از شبیه تابع درجه‌ی دوم در برداشت اول نشان می‌دهد. به‌دلیل اطاله‌ی مطلب از آوردن منحنی-های مربوط به برداشت دوم و سوم خودداری شده است. همان‌طور که در شکل نمایان است، با افزایش شوری آب آبیاری و کاهش عمق آب آبیاری مقدار عملکرد کاهش می-یابد. همچنین، شکل‌ها نشان می‌دهند که عملکرد در شرایط کم آبی با شیب تندتری واکنش نشان می‌دهد و با افزایش مقدار آب آبیاری، روند افزایش عملکرد کند گشته و مقدار آن ناچیز می‌شود. بنابراین، اگر در مناطقی که آبیاری کامل باشد، بخشی از آب صرفه‌جویی شود، عملکرد تغییر قابل توجهی نمی‌کند، و اگر این مقدار آب صرفه‌جویی شده به گیاهی برسد که در شرایط خشکی قرار دارد، افزایش عملکرد بیشتر خواهد بود.

جهت بررسی اثرات شوری و عمق آب آبیاری و تعیین جایگزین برای هر یک از عوامل برای حصول عملکرد یکسان، منحنی‌های هم عملکرد در برداشت اول رسم شد(شکل۴). در مقادیر یکسان آب آبیاری، با افزایش شوری آب، عملکرد محصول کاهش می‌یابد و در مقادیر یکسان شوری آب آبیاری، با افزایش رطوبت مقدار عملکرد افزایش می‌یابد ولی هرگاه تأثیر دو عامل را با هم بررسی شود، مشاهده می‌گردد برای دستیابی به عملکرد مشخص مقادیر متفاوتی از شوری و آب آبیاری را می‌توان جایگزین کرد. به عبارت دیگر با افزایش رطوبت خاک می‌توان از آب آبیاری با شوری بالاتر استفاده کرد، بدون آن‌که کاهشی در عملکرد دیده شود. افزایش مقدار آب آبیاری در منحنی هم محصول نقطه‌ای است که خط مماس بر آن موازی محور گردد. از این نقطه به بعد افزایش رطوبت باعث افزایش عملکرد نمی‌گردد. کیانی و همکاران(۱۳۸۴) در تحقیق خود راجع به گندم، عملکرد گندم را تحت تأثیر عوامل کمیت و کیفیت آب آبیاری دانسته

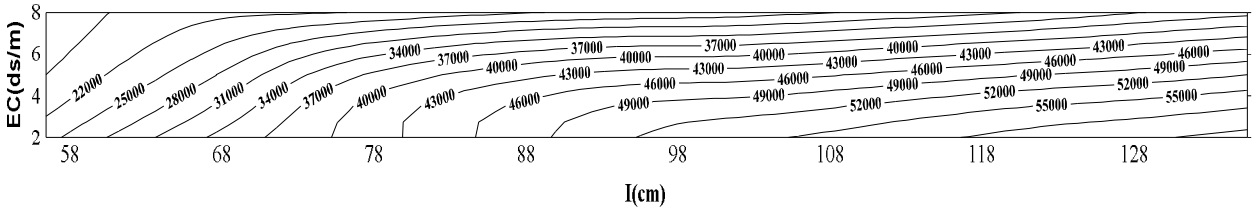


شکل الف



شکل ب

شکل۳: تغییرات عملکرد ذرت خوشه‌ای نسبت به شوری و مقدار آب آبیاری با استفاده از داده‌های واقعی(الف) و داده‌های تابع درجه‌ی دوم(ب)



منحنی هم عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) ذرت خوشه‌ای در سطوح مختلف شوری و عمق آب آبیاری(برداشت اول)

و بیان کردند جهت حصول محصول یکسان در شرایط شوری آب آبیاری باید مقدار رطوبت را افزایش داد.
شاخص‌های تولید نهایی(MP) و نسبت نهایی نرخ فنی(MRTS) نسبت به دو عامل کمیت و کیفیت آب آبیاری، همچنین ارزش تولید نهایی (VMP) در مورد هر یک از متغیرها در جدول ۵ آورده شده‌اند.

جدول۵: شاخص های ارزیابی عملکرد ذرت خوشه‌ای

برداشت	متغیر	دامنه‌ی تغییرات	شاخص	عملکرد علوفه‌ی تازه
اول	I(cm)	حداقل=۵۶/۴۱	MP_I(ton/cm)	۱/۲۲
		حداکثر=۱۳۵/۴۱		-۰/۴
	ECw(ds/m)	حداقل=۲	MP_{ECw} (ton/ds/m)	-۳/۸۴
		حداکثر=۸		-۱/۴۴
دوم	I(cm)	حداقل=۳۳/۱۶	MP_I(ton/cm)	۱/۷۵
		حداکثر=۷۹/۱۶		۰/۶۵
	ECw(ds/m)	حداقل=۲	MP_{ECw} (ton/ds/m)	-۲/۹۷
		حداکثر=۸		-۱/۷۷
سوم	I(cm)	حداقل=۱۳/۵	MP_I(ton/cm)	۲/۹
		حداکثر=۳۱/۶۶		۱/۸۱
	ECw(ds/m)	حداقل=۲	MP_{ECw} (ton/ds/m)	-۴/۶۵
		حداکثر=۸		-۳/۴۵

نتایج جدول ۵ نشان دادند که، شاخص تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری با فرض ثابت بودن عمق آب آبیاری در برداشت اول به ازای شوری ۲ دسی زیمنس بر متر ۳/۸۴- ، برداشت دوم ۲/۹۷- و برداشت سوم ۴/۶۵- به ازای شوری ۸ دسی زیمنس بر متر در برداشت اول ۱/۴۴-، برداشت دوم ۱/۷۷- و برداشت سوم ۳/۴۵- تن به ازای افزایش یک واحد شوری است. نتایج بیانگر آنند که شوری باعث کاهش محصول تولید شده گردید و شیب این کاهش محصول در شوری‌های کمتر، بیشتر از شیب کاهش محصول در شوری‌های بالاتر است، زیرا به دلیل خصوصیت سازگاری ذرت خوشه‌ای در شرایط شوری آب آبیاری، کاهش عملکرد در شوری‌های بالاتر کمتر شده است. همچنین، می‌توان گفت که شوری به عنوان یک جرم اضافی در آب خاک محسوب می‌شود، که گیاه می‌تواند در دراز مدت خود را با آن سازگار نماید و آسیب‌پذیری آن کمتر شود. شهیدی(۱۳۸۷) و نجفی(۱۳۹۱) در تحقیقات خود چنین نتایجی را گزارش نمودند. همچنین، مشاهده می‌گردد کاهش عملکرد در شوری‌های پائین در برداشت دوم کمتر از برداشت اول و سوم بوده است و برداشت سوم بیشترین کاهش عملکرد علوفه تازه را داشته است. علت این موضوع را می‌توان به خصوصیات بدن‌شناسی گیاه ذرت خوشه‌ای در برداشت‌های مختلف نسبت داد. در برداشت دوم گیاه پنجه‌زنی بیشتری داشت و قطر و ارتفاع گیاه نیز در برداشت دوم بیشتر از دو برداشت دیگر بود که باعث افزایش عملکرد در برداشت دوم گردید.

شاخص تولید نهایی عملکرد علوفه‌ی تازه ذرت خوشه‌ای نسبت به عمق آب آبیاری(MP_I) با فرض ثابت بودن شوری آب معادل(۵ دسی زیمنس بر متر) برای حداقل عمق آب آبیاری(۵۶/۴۱ سانتی‌متر) معادل ۱/۲۲ تن به ازای هر یک سانتی‌متر عمق آب در برداشت اول است، یعنی به ازای هر یک سانتی‌متر افزایش عمق آب آبیاری، ۱/۲۲ تن افزایش تولید خواهیم داشت. مقدار این شاخص برای حداکثر عمق آب آبیاری(۱۳۵/۴۱ سانتی‌متر) معادل ۰/۴- تن به ازای هر یک سانتی‌متر عمق آب در برداشت اول است. عدد منفی نشان‌دهنده‌ی کاهش عملکرد به ازای افزایش عمق آب آبیاری در شرایط آبیاری ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه بوده، و حاکی از آن است که شیب افزایش عملکرد در کم آبیاری بیشتر از پرآبیاری است، و همچنین آبیاری مازاد بر نیاز باعث کاهش محصول می‌گردد. نجفی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیق خود راجع به تابع تولید پنبه در مقادیر بیشتر از نیاز آبی گیاه به نتایج مشابه دست یافتند. نادلر(۲۰۰۶) و ویجیلی و نلسون(۲۰۰۵) نیز در تحقیقات خود نتایج مشابهی را ارائه کردند، و اعلام نمودند که در شرایط شوری و یا عدم زهکشی مناسب، آبیاری مازاد بر نیاز، باعث کاهش محصول می‌گردد. مقدار شاخص تولید نهایی برای حداقل عمق آب آبیاری در برداشت دوم و سوم به ترتیب ۱/۷۵ و ۲/۹ تن به ازای هر سانتی‌متر عمق آب، و برای حداکثر عمق آب آبیاری در برداشت دوم و سوم به ترتیب ۰/۶۵ و ۱/۸۱ تن به ازای هر سانتی‌متر عمق آب بود. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، تأثیر

عمق آب آبیاری در برداشت سوم بیشتر از دو برداشت دیگر است یعنی مقدار علوفه‌ی تولید شده به ازای هر سانتی‌متر افزایش عمق آب آبیاری، در برداشت سوم بیشتر از دو برداشت دیگر است.

جدول۶: مقادیر شاخص‌های ارزیابی با استفاده از میانگین‌های آزمایشی عمق و شوری آب آبیاری

برداشت	نوع شاخص	عملکرد علوفه تازه
اول	MP_I(ton/cm)	۰/۴۵
	MP_{ECw} (ton/ds/m)	-۲/۶۴
	MRTS $EC_{w,I}$ (cm/dS/m)	۵/۸۶
	VMP_I (RLS)	۶۷۵۰۰۰
	$VMPEC_w$ (RLS)	۳۹۶۰۰۰۰
دوم	MP_I(ton/cm)	۱/۲
	MP_{ECw} (ton/ds/m)	-۲/۳۷
	MRTS $EC_{w,I}$ (cm/dS/m)	۱/۹۷
	VMP_I (RLS)	۱۸۰۰۰۰۰
	$VMPEC_w$ (RLS)	۳۵۵۵۰۰۰
سوم	MP_I(ton/cm)	۲/۳۵
	MP_{ECw} (ton/ds/m)	-۴/۰۵
	MRTS $EC_{w,I}$ (cm/dS/m)	۱/۷۲
	VMP_I (RLS)	۳۵۲۵۰۰۰
	$VMPEC_w$ (RLS)	۶۰۷۵۰۰۰

میانگین عمق آب آبیاری در برداشت اول ۹۵/۹۱ سانتی‌متر، برداشت دوم ۵۶/۱۶، برداشت سوم ۲۲/۶ و میانگین شوری آب آبیاری ۵ دسی زیمنس بر متر می‌باشد.

در جدول ۶ شاخص تولید نهایی ذرت خوشه‌ای نسبت به متوسط عمق آب آبیاری(MP_I) در برداشت اول نشان می‌دهد که با افزایش یک سانتی‌متر عمق آب با فرض ثابت ماندن شوری آب آبیاری(۵ دسی زیمنس بر متر) عملکرد متوسط علوفه تازه به اندازه ۰/۴۵ تن در هکتار افزایش می‌یابد. همچنین، با توجه به شاخص تولید نهائی ذرت خوشه‌ای نسبت به شوری آب آبیاری(MP_{ECw}) با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری و با فرض ثابت ماندن عمق آب آبیاری(۹۵/۹۱ سانتی‌متر) به طور متوسط عملکرد علوفه تازه ۲/۶۴ تن در هکتار کاهش می‌یابد. نرخ جایگزینی نهایی کمیت و کیفیت آب آبیاری(MRTS) نسبت به عملکرد علوفه‌ی تازه ذرت خوشه‌ای نشان داد برای این که عملکرد با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری تغییر نکند، باید ۵/۸۶ سانتی‌متر عمق آب آبیاری افزایش یابد. با توجه به قیمت ذرت خوشه‌ای برای هر کیلو ذرت خوشه‌ای تازه به میزان ۱۵۰۰ ریال، می‌توان ارزش تولید دو عامل عمق و شوری آب آبیاری را به‌دست آورد. مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری برای علوفه تازه ۶۷۵۰۰۰ ریال می‌باشد که بیان‌کننده درامد حاصل از افزایش تولید در نتیجه افزایش هر سانتی‌متر عمق آب آبیاری به عمق متوسط آب آبیاری است. همچنین، مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری برای علوفه‌ی تازه ۳۹۶۰۰۰۰- ریال به‌دست آمدکه نشان می‌دهد به ازای افزایش یک واحد شوری آب آبیاری به متوسط شوری آب مبلغ ۳۹۶۰۰۰۰ ریال از درآمد کاهش می‌یابد که ناشی از کاهش محصول بر اثر افزایش شوری است. مقدار شاخص تولید نهایی ذرت خوشه‌ای نسبت به عمق آب آبیاری(MP_I) در برداشت دوم نشان داد که با افزایش یک سانتی‌متر عمق آب آبیاری با فرض ثابت ماندن شوری آب آبیاری(۵ دسی زیمنس بر متر) عملکرد متوسط علوفه تازه به اندازه‌ی ۱/۲ تن در هکتار افزایش می‌یابد. همچنین، با

توجه به شاخص تولید نهایی ذرت خوشه‌ای نسبت به شوری آب آبیاری(MP_{ECw}) با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری و با فرض ثابت ماندن عمق آب آبیاری(۵۶/۱۶ سانتی‌متر) به‌طور متوسط عملکرد علوفه تازه ۲/۳۷ تن در هکتار کاهش می‌یابد. نرخ جایگزینی نهایی کمیت و کیفیت آب آبیاری(MRTS) نسبت به عملکرد علوفه‌ی تازه ذرت خوشه‌ای نشان داد برای این که عملکرد با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری تغییر نکند، باید ۱/۹۷ سانتی‌متر عمق آب آبیاری افزایش یابد. مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری برای علوفه تازه ۱۸۰۰۰۰۰ ریال است. همچنین، مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری برای علوفه‌ی تازه ۳۵۵۵۰۰۰- ریال به‌دست آمد که ناشی از کاهش محصول در اثر افزایش شوری می‌باشد.

شاخص تولید نهایی ذرت خوشه‌ای نسبت به عمق آب آبیاری(MP_I) در برداشت سوم نشان داد که با افزایش یک سانتی‌متر عمق آب با فرض ثابت ماندن شوری آب آبیاری(۵ دسی زیمنس بر متر) عملکرد متوسط علوفه‌ی تازه به اندازه ۲/۳۵ تن در هکتار افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به شاخص تولید نهایی ذرت خوشه‌ای نسبت به شوری آب آبیاری(MP_{ECw}) با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری و با فرض ثابت ماندن عمق آب آبیاری(۲۲/۶ سانتی‌متر) به طور متوسط عملکرد علوفه‌ی تازه ۴/۰۵ تن در هکتار کاهش می‌یابد. نرخ جایگزینی نهایی کمیت و کیفیت آب آبیاری(MRTS) نسبت به عملکرد علوفه تازه نشان داد برای این‌که عملکرد با افزایش یک واحد شوری آب آبیاری تغییر نکند، باید ۱/۷۲ سانتی‌متر عمق آب آبیاری افزایش یابد. مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری برای علوفه تازه ۳۵۲۵۰۰۰ ریال می‌باشد که بیان‌کننده‌ی درامد حاصل از افزایش تولید درنتیجه‌ی افزایش هر سانتی‌متر عمق آب آبیاری به عمق متوسط آب آبیاری است. همچنین، مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری برای علوفه‌ی تازه ۶۰۷۵۰۰۰- ریال به‌دست آمد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد مقدار ارزش تولید نهایی علوفه نسبت به عمق آب آبیاری(۳۵۲۵۰۰۰ریال) و نسبت به شوری آب آبیاری(۶۰۷۵۰۰۰- ریال) در برداشت سوم بیشتر از دو برداشت دیگر است که نشان‌دهنده‌ی تأثیر بیشتر افزایش عمق آب و شوری بر عملکرد ذرت خوشه‌ای در برداشت سوم می‌باشد. در برداشت سوم به رغم اینکه شوری تأثیری بیشتری بر کاهش محصول داشته است اما با افزایش بیشتر عمق آب کمتری نسبت به دو برداشت دیگر(۱/۷۲ سانتی‌متر) می‌توان این کاهش محصول را جبران نمود. علت این موضوع را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که در برداشت سوم دوره‌ی رشد گیاه در ماه‌های مهر و آبان انجام می‌گیرد. در این ماه‌ها آب و هوا در منطقه خنک‌تر و بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان، که باعث افزایش سطح تبخیر و کاهش محصول می‌گردد، در منطقه نمی‌وزد و از گرمی هوا که خود بر شدت تنش‌های وارده بر گیاه می‌افزاید، کاسته می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان گفت که بر اثر تغییرات آب آبیاری، شوری و زمان برداشت تابع درجه‌ی دوم نسبت به سایر توابع براورد بهتری از عملکرد ذرت خوشه‌ای دارد. همچنین نتایج حاکی از تحمل بالای ذرت خوشه‌ای نسبت به کم‌آبی است و شوری آب آبیاری تأثیر بیشتری بر عملکرد این گیاه داشت. با توجه به اینکه شوری و خشکی در طبیعت با هم هستند، و تغییر هر یک باعث تعدیل یا تشدید اثر دیگری می‌شود، با استفاده از منحنی‌های هم عملکرد می‌توان شوری و عمق آب آبیاری را در دامنه‌ی وسیعی از تغییرات آن‌ها جهت به‌دست آوردن محصول یکسان جایگزین کرد.

منابع

۱) رضایی، ع.، فرحبخش، ح.، صمدی، ح.، حسینی، ف. و میرزا هاشمی، م. ۱۳۸۶. تعیین تابع تولید ذرت علوفه ای نسبت به آب در کرمان. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، بهمن ماه.

۲) شهیدی، ع. ۱۳۸۷. اثر بر همکنش کم آبیاری و شوری بر عملکرد و اجزاء عملکرد ارقام گندم با تعیین تابع تولید آب و شوری در منطقه بیرجند. پایان نامه دکتری.

۳) شیرمحمدی علی اکبر خانی، ز.، انصاری، ح.، علیزاده، ا. وکافی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی توابع تولید آب – شوری -عملکرد در ذرت علوفه ای در استان خراسان رضوی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۷): ۵۴۳-۵۳۵.

۴) کیانی، ع.، میرلطیفی، م.، همایی، م. و چراغی، ع. م. ۱۳۸۴. تعیین بهترین تابع تولید آب-شوری گندم در منطقه شمال گرگان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۲۵(۶):۱۴-۲.

۵) کیانی، ع.، همایی، م. و میرلطیفی، م. ۱۳۸۵. اریابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توأم شوری و کم آبی. مجله علوم آب و خاک. ۲۰(۱):۸۳-۷۳.

۶) نجفی، م. ح.، علیزاده، ا.، داوری، ک.،کافی، م. و شهیدی، ع. ۱۳۹۱. تعیین تابع شوری-آب-عملکرد در دو رقم پنبه. مجله آب و خاک، ۲۶(۳): ۶۷۹-۶۷۲.

۷) یارنیا، م. ۱۳۸۶. ارزیابی تعدادی از شاخص‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای در شرایط شوری. مجله علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، ۱(۱):. ص۱-۱۵.

۸) یزدانی، و.، داوری، ک.، قهرمان، ب. و کافی، م. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد کلزا به صورت تابعی از ارتفاع آب آبیاری و شوری در منطقه مشهد. فصلنامه علمی پژوهشی آب و آبیاری، ۱۸(۵):۵۲-۳۳.

9) Homaee, M. 1999. Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. Ph.D. Thesis ,Wageningen Agricultural University, 173 P.

10) Homaee, M., Dirksen, C. and Feddes, R.A. 2002. Simulation of root water uptake. I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. Agric . Water Manage. 57: 89 -109.

11) 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. Irrig and Drain, 58:445–455.

12) Liu, W. Z., Hansaker, D. J., Li, Y. S., Xie, X. Q. and Wall, G. W.2002. Interrelations of yield, evapotranspiration, and water use efficiency from marginal analysis of water production functions. Agric. Water Manage, 56:143-151.

13) Nadler, A., Raveh, E., Yermiyahu, U. and Green, S. 2006. Stress included water content variations in mango stem by time domain reflectometry. Soil Sci. Soc.Am. J. 70:510-520.

14) Neilsen, D.C. and Vigil, M.F. 2005. Legume green fallow effect on soil water content at wheat planting and wheat yield. Agron. J. 97:684-689.

15) 15)Vaux, H.J. and Pruit, W.O. 1983. Crop water production functions.61-97.In: Hillel, D.(Ed.), Advances in Irrigation,VoL.2, Academic Press. New York.