

## ارزیابی توابع تولید آب - شوری - عملکرد در ذرت علوفه‌ای در استان خراسان رضوی

زهره شیرمحمدی علی اکبر خانی<sup>۱\*</sup> - حسین انصاری<sup>۲</sup> - امین علیزاده<sup>۳</sup> - محمد کافی<sup>۴</sup>

### چکیده

بزرگترین چالش بخش کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک در مقابله با کمبود کمیت و کاهش کیفیت آب کشاورزی تولید غذای بیشتر با آب کمتر یا بهینه سازی تولیدات کشاورزی می‌باشد. از جمله روش های بهینه سازی تولیدات کشاورزی استفاده از توابع تولید آب - شوری بوده که راه را برای برنامه ریزی و سیاست گذاری تولیدات کشاورزی در این مناطق هموار می‌سازد. به منظور بررسی و تعیین تابع تولید آب - شوری در گیاه ذرت علوفه‌ای آزمایشی سال زراعی ۱۳۹۰ در شهرستان سرخس استان خراسان رضوی انجام گردید. این آزمایش در سه سطح شوری آب آبیاری (۱/۸، ۳ و ۴/۹ دسی زیمنس بر متر)، چهار سطح کم آبیاری تنظیم شده (آبیاری با ۱۰۰٪ نیاز آبی (شاهد)، ۷۵٪ نیاز آبی ذرت، ۵۰٪ نیاز آبی، ۲۵ درصد نیاز آبی) و چهار سطح اعمال کم آبیاری در مراحل مختلف رشد (اعمال کم آبیاری در تمامی مراحل رشد، اعمال کم آبیاری در مرحله دوم، سوم و چهارم رشد) اجرا گردید. چهار نوع تابع خطی ساده، لگاریتمی، درجه دوم و متعالی ارزیابی شدند. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که در شرایط توام شوری و تنش خشکی، تابع درجه دوم عملکرد ذرت علوفه‌ای را بهتر از توابع دیگر پیش بینی می‌کند. نسبت نهایی نرخ جایگزینی نشان داد که برای رسیدن به عملکرد یکسان می‌توان عوامل فوق را در دامنه وسیعی از مقادیر جایگزین نمود. تولید نهایی آب مصرفی ( $MP_1$ ) و شوری آب ( $MP_{ECw}$ ) به ترتیب مقادیر ۰/۷۷ و ۲/۷۵- تن در هکتار به دست آمد.

**واژه های کلیدی:** تابع تولید، تولید نهایی، کم آبیاری تنظیم شده، کیفیت آب، گلدهی

### مقدمه

کشاورزی هموار می‌کند. به طور کلی برای برآورد توابع تولید دو روش مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش اول بر اساس مدل های نظری و تجربی رابطه آب - عملکرد، شوری - عملکرد یا آب - شوری - عملکرد را به صورت کمی بیان می‌کند. در روش دوم، توابع تولید در اثر مقادیر مختلف کمی و کیفی آب بر عملکرد گیاهان، ناشی از مشاهدات مزرعه‌ای، و با استفاده از تحلیل آماری برآورد می‌گردند. برآورد توابع تولید بر اساس روش آماری به دلیل تعیین رابطه مستقیم آب - عملکرد بر روش های نظری و تجربی ترجیح داده می‌شوند که بر پایه فرضیات متعددی استوارند (Datta et al., 1998). آگنی هوتری و همکاران (۱۹۹۲) تاثیر مقدار و شوری آب آبیاری را بر عملکرد و درآمد محصول گندم مطالعه کردند. رابطه خطی عملکرد و تنش ناشی از شوری و مقدار آب را میری و شالهور (۱۹۷۳)، بر فلفل، سپاسخواه و بورسما (۱۹۷۹) بر گندم و پارا و رومرو (۱۹۸۰) بر لوبیا به دست آورده اند. داتا و همکاران (۱۹۹۸) رابطه های خطی، توانی و درجه دوم را بین عملکرد گندم و عوامل متغیر مانند مقدار آب، شوری آب آبیاری و شوری اولیه خاک بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تابع درجه دوم بهترین نوع تابع برای بیان کمی رابطه آب - شوری - عملکرد است. روسو و بیکر (۱۹۸۶) تابع تولید برای ذرت و پنبه در شرایط مقادیر مختلف رطوبت و شوری خاک رابطه غیر خطی درجه ۲ مبنای تحلیل قرار دادند. لیو و همکاران (۲۰۰۲) ضمن بررسی

در میان عوامل محدود کننده طبیعی، کمبود آب مهم ترین عاملی است که به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان به طرق مختلف باعث محدودیت زراعت محصولات غذایی می‌شود. محدودیت منابع آبی، توزیع نامناسب بارش سالیانه در طول فصول و عدم مدیریت صحیح منابع موجود باعث افت شدید عملکرد در مناطق فوق می‌گردد (Eack, 1996). مشکل کمبود آب چه به لحاظ کمیت و کیفیت آب در اکثر مناطق خشک و نیمه خشک ایران بویژه استان خراسان رضوی واضح و مبرهن است علاوه بر موارد زیر اکثر اوقات برنامه ریزی آبیاری در سطح مزارع تابع شرایط توزیع محلی آب می‌باشد و این عامل خسارت نمک به گیاه را افزایش می‌دهد. از این رو تلاش برای بهینه سازی محصول تولیدی در ازای مصرف هر چه کمتر آب، برنامه ریزی مناسب جهت افزایش تولیدات کشاورزی در شرایط خاص (محدودیت شوری) منطقی می‌باشد. از جمله روش های بهینه سازی تولیدات کشاورزی استفاده از توابع تولید می‌باشد. تعیین تابع تولید راه را برای برنامه ریزی و سیاست گذاری تولیدات

۱ و ۳ و ۴ - به ترتیب دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشیار و استاد گروه مهندسی آب و استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
(\* نویسنده مسئول: Email: mshirmohamady@yahoo.com)

چهار مرحله مختلف رشد ( اعمال کم آبیاری پیوسته در کل دوره رشد، اعمال کم آبیاری در مرحله رشد رویشی، گلدهی و دانه بستن) بصورت فاکتوریل به عنوان کترهای فرعی فرعی ( بوده است. دلیل اینکه انجام مراحل تنش آبی در مراحل مختلف رشد اعمال گردید این بود که در هر مرحله از رشد گیاه واکنش متفاوتی به تنش آبی خواهد داشت و در نتیجه انجام این تنش باعث تاثیر متفاوتی در کاهش عملکرد خواهد داشت. شکل توابع تحت بررسی، به فرم های خطی ساده، لگاریتمی (کاب داگلاس)، تابع درجه دوم و متعالی بودند و بصورت روابط ۱ تا ۴ ارائه شده اند (کیانی و عباسی، ۲۰۰۹؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۰).

خطی ساده:

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 EC_w \quad (1)$$

لگاریتمی (کاب داگلاس):

$$Y = a_0 I^{a_1} EC_w^{a_2} \quad (2)$$

درجه دوم:

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 EC_w + a_4 EC_w^2 + a_5 I EC_w \quad (3)$$

متعالی:

$$Y = a_0 I^{a_1} EC_w^{a_2} \exp(a_3 I + a_4 EC_w) \quad (4)$$

که در این توابع Y عملکرد علوفه تازه حسب تن در هکتار، I مقدار آب آبیاری حسب سانتی متر و ECw هدایت الکتریکی آب آبیاری حسب دسی زیمنس بر متر و  $a_i$  ضرایب معادله می باشند. داده های مورد استفاده در تعیین ضرایب تمامی داده های بدست آمده از طرح می باشد. پس از تعیین ضرایب مورد نیاز، به منظور ارزیابی این مدل ها از ۵ شاخص آماری، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (CD)، کارایی مدل (EF)، حداکثر خطا (ME) و ضریب باقی مانده (CRM) استفاده گردید (لیاگو و گرین، ۱۹۹۹؛ کیانی و همکاران، ۱۳۸۴؛ کیانی و عباسی، ۲۰۰۹؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۰).

$$RMSE = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right)^{1/2} \times (100 / \sigma) \quad (6)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2}{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \quad (7)$$

$$EF = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \sigma)^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \sigma)^2} \right) \quad (8)$$

$$ME = \text{MAX}_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (9)$$

$$CRM = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i) - \sum_{i=1}^n (P_i)}{\sum_{i=1}^n (O_i)} \right) \quad (10)$$

در این معادلات O و P به ترتیب مقدار عملکرد مشاهده شده و پیش بینی شده و n: تعداد مشاهدات می باشد. ریشه میانگین مربعات

تبخیر-تعرق، آب مصرفی و عملکرد بر روی ذرت، به تحلیل توابع تولید و کارایی مصرف آب و تعیین ضریب تنش پرداختند. کیانی و عباسی (۲۰۰۹) به منظور تعیین بهترین نوع تابع تولید گندم در شرایط توام شوری و کم آبی در استان گلستان از بین چهار نوع تابع تولید (خطی ساده، لگاریتمی، درجه دوم و متعالی) ارزیابی شده در شرایط توام شوری و خشکی، تابع متعالی را بر گزیدند. صالحی و همکاران (۱۳۹۰) در شرایط توام شوری و خشکی در استان گلستان بر روی محصول کوشیا، تابع درجه دوم را بهترین تابع پیش بینی کننده عملکرد تعیین نموده و این تابع را اساس تحلیل های مورد نظر قرار دادند. نجفی مود و همکاران (۱۳۹۱) تابع درجه دوم را در شرایط توام شوری و خشکی به عنوان بهترین تابع پیش بینی عملکرد دو رقم پنبه در شرایط اقلیمی بیرجند معرفی نمودند. ذرت علوفه ای معمولاً در مناطق خشک و نیمه خشک ایران پس از برداشت گندم و جو کشت می شود. با توجه به زمان کاشت و شرایط اقلیمی، آبیاری این گیاه زراعی اجتناب ناپذیر است. کاشت ذرت علوفه ای عموماً در گرم ترین ماه سال (تیرماه) انجام می شود که آب بحرانی ترین شرایط را دارد. بنابراین، تدوین برنامه آبیاری و اعمال مدیریت صحیح آبیاری می تواند از زیان های ناشی از کمبود منابع آب بکاهد (Gheysari et al., 2009). این پژوهش به منظور تعیین بهترین تابع تولید در شرایط توام شوری و کم آبیاری در مراحل مختلف رشد ذرت علوفه ای در استان خراسان رضوی اجرا گردید.

بیاریابی

## مواد و روشی ها

برای تعیین تابع تولید برتر آب-شوری عملکرد از داده های آماری بدست آمده از اجرای طرح پژوهشی ارزیابی تاثیر تنش شوری و کم آبیاری تنظیم شده بر عملکرد ذرت علوفه ای در شرایط اقلیمی شهرستان سرخس در اراضی ایستگاه تحقیقاتی دامپروری جهاد کشاورزی شهرستان سرخس (با عرض جغرافیایی  $36^{\circ}32'$  شمالی و طول جغرافیایی  $61^{\circ}9'$  شرقی و ارتفاع ۲۸۱ از سطح دریا) و در سال زراعی ۱۳۹۰ اجرا شد. در این شهرستان حداکثر درجه حرارت  $47/4^{\circ}$  و حداقل آن  $4/22 -$  درجه سانتی گراد گزارش گردیده است. متوسط بارندگی سالیانه ۱۷۵ میلی متر می باشد. شهرستان سرخس بر اساس روش دو مارتن دارای اقلیم خشک می باشد (احمدیان و همکاران، ۱۳۸۲). این طرح بصورت کرت های دو بارخورد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۲ تکرار انجام گردید. که در آن سه فاکتور شوری آب آبیاری در سه سطح ( $1/8$ ، ۳ و  $4/9$  دسی زیمنس بر متر) به عنوان کترهای اصلی و فاکتور کم آبیاری تنظیم شده (چهار سطح مختلف آبیاری (آبیاری با  $100\%$  نیاز آبی (شاهد)،  $75\%$  نیاز آبی ذرت،  $50\%$  نیاز آبی،  $25\%$  درصد نیاز آبی) به عنوان کرت های فرعی در

$$MP_I = \frac{dy}{dI} \quad (11)$$

$$MP_{EC_w} = \frac{dy}{dEC_w} \quad (12)$$

$$MRTS_{I,EC_w} = \frac{MP_{EC_w}}{MP_I} \quad (13)$$

$$VMP_I = p_y \cdot MP_I \quad (14)$$

$$VMP_{EC_w} = p_y \cdot MP_{EC_w} \quad (15)$$

که در این روابط  $P_y$  قیمت واحد وزن محصول می‌باشد.

### بحث و نتایج

نتایج تخمین ضرایب توابع تولید آب - شوری - عملکرد علوفه ذرت به صورت خطی ساده، لگاریتمی، درجه دوم و متعالی و ارزیابی این توابع بر اساس شاخص‌های آماری در مراحل مختلف رشد در جداول ۱ تا ۴ آورده شده است. برای تعیین معنی داری از آماره  $f$  و  $t$  استفاده شده است. آماره  $f$  نشان دهنده معنی داری کلی تابع و آماره  $t$  بیان کننده معنی دار بودن نوع متغیر در تابع می‌باشد. چنانچه آزمون  $F$  معنی دار باشد نشان دهنده این است که برازش کلی مدل رگرسیونی و میزان باقیمانده‌های مدل در حد قابل قبولی است (کیانی و عباسی، ۲۰۰۹؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۰).

خطا نشان دهنده این است که چه مقدار از شبیه سازی‌ها بیشتر یا کمتر از مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده می‌باشد. خطای حداکثر (ME) نشان دهنده چگونگی اجرای مدل بوده و مقدار زیاد آن بیانگر کارد ضعیف مدل می‌باشد. ضریب تعیین  $CD$  بیانگر نسبت پراکندگی مقادیر پیش بینی شده و اندازه‌گیری شده می‌باشد. آماره  $EF$ ، مقادیر پیش بینی شده را با میانگین اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند و ضریب مقدار باقیمانده (CRM): نیز تمایل مدل در برآورد بیشتر یا کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. مقدار منفی این آماره بیانگر برآورد بیشینه مدل می‌باشد. چنانچه تمام مقادیر پیش بینی شده و اندازه‌گیری شده برابر گردند آنگاه شاخص‌های  $EF$ ،  $CD$ ،  $RMSE$  و  $ME$  به ترتیب برابر صفر، یک، یک، صفر و صفر خواهد بود. پس از تعیین بهترین تابع تولید و با استفاده از تابع تولید برتر به منظور بررسی تغییرات عملکرد به ازای تغییر در یک واحد آب مصرفی از شاخص تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری ( $MP_I$ )، تغییرات عملکرد به ازای یک واحد تغییر در میزان شوری آب آبیاری از شاخص تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری ( $MP_{EC_w}$ ) و همچنین به منظور تعیین میزان آب مورد نیاز جهت ثابت نگه داشتن عملکرد در صورت افزایش یک واحد شوری آب آبیاری از نسبت نهایی نرخ جایگزینی فنی برای شوری و عمق آب آبیاری ( $MRTS_{I,EC_w}$ ) استفاده شد. به منظور بررسی میزان خسارت وارده به ازای کاهش مصرف آب و افزایش میزان شوری از تابع ارزش نهایی تولید (VMP) استفاده گردید. توابع فوق الذکر در روابط ۱۱ تا ۱۵ ارائه شده‌اند.

جدول ۱- ضرایب تابع تولید آب - شوری عملکرد علوفه و شاخص‌های آماری ارزیابی توابع تولید در تیمارهای اعمال تنش آبی در تمام مراحل رشد

| ضرایب توابع تولید | تابع تولید |               |                     |
|-------------------|------------|---------------|---------------------|
|                   | تابع خطی   | تابع لگاریتمی | تابع درجه دوم       |
| a0                | ۳۱/۴۱**    | ۳/۰۷**        | -۲۲/۰۳**            |
| a1                | -۰/۲۵**    | -۰/۶۵**       | ۲/۰۸ <sup>ns</sup>  |
| a2                | -۲/۶۶**    | -۰/۲۰**       | -۰/۰۱**             |
| a3                | -          | -             | -۴/۱۴ <sup>ns</sup> |
| a4                | -          | -             | ۰/۲۱ <sup>ns</sup>  |
| a5                | -          | -             | -۰/۰۹ <sup>ns</sup> |
| آماره F-          | ۴۰۴/۷*     | ۴۰۹/۶۶**      | ۲۳۲/۱۸**            |
| RMSE              | ۳۰/۲۸(۴)   | ۲۵/۵۷(۳)      | ۱۴/۰۴(۲)            |
| EF                | -۰/۵۳(۴)   | ۰/۶۷(۳)       | -۰/۸۹(۲)            |
| ME                | ۲۳/۶۴(۴)   | ۲۲/۱۱(۳)      | ۱۲/۵۶(۳)            |
| CRM               | ۰/۰۵۶(۳)   | ۰/۱۴(۴)       | -۰/۰۱۸(۲)           |
| CD                | -۰/۳۱(۴)   | ۰/۵۸(۳)       | -۰/۷۵(۲)            |
| میانگین رتبه‌ها   | ۳/۸        | ۳/۲           | ۱                   |
| رتبه نهایی        | ۴          | ۳             | ۱                   |

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ضرایب تابع تولید آب - شوری عملکرد علوفه و شاخص های آماری ارزیابی توابع تولید در تیمارهای اعمال تنش آبی در مرحله رشد رویشی

| ضرایب توابع تولید | تابع تولید |           |                     |
|-------------------|------------|-----------|---------------------|
|                   | خطی        | لگاریتمی  | درجه دوم            |
| a <sub>0</sub>    | ۲۷/۴۹**    | ۴/۲۰**    | -۳۶/۵۵**            |
| a <sub>1</sub>    | -۰/۲۵**    | ۰/۵۷**    | ۱/۹۴**              |
| a <sub>2</sub>    | -۲/۸۷**    | -۰/۲۴**   | -۰/۰۱**             |
| a <sub>3</sub>    | -          | -         | -۰/۰۴**             |
| a <sub>4</sub>    | -          | -         | -۰/۰۷ <sup>ns</sup> |
| a <sub>5</sub>    | -          | -         | -۰/۰۱۹**            |
| آماره F-          | ۱۴۶/۶**    | ۱۱۹/۲۸**  | ۵۱/۱۱**             |
| RMSE              | ۲/۵۵(۱)    | ۲/۷۷(۴)   | ۲/۵۷(۲)             |
| EF                | ۰/۹۴(۱)    | ۰/۹۳(۴)   | ۰/۹۴(۲)             |
| ME                | ۲/۱۷(۳)    | ۲/۱۷(۴)   | ۱/۶۲(۱)             |
| CRM               | -۰/۰۰۸(۳)  | -۰/۰۰۹(۴) | -۰/۰۰۵(۱)           |
| CD                | ۰/۷۸(۴)    | ۰/۸۳(۳)   | ۰/۹۴(۱)             |
| میانگین رتبه ها   | ۲/۴        | ۳/۴       | ۱/۴                 |
| رتبه نهایی        | ۲          | ۳         | ۱                   |

ns، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می دهد.

جدول ۳- ضرایب تابع تولید آب - شوری عملکرد علوفه و شاخص های آماری ارزیابی توابع تولید در تیمارهای اعمال تنش آبی در مرحله گلدهی

| ضرایب توابع تولید | تابع تولید |               |                     |
|-------------------|------------|---------------|---------------------|
|                   | تابع خطی   | تابع لگاریتمی | تابع درجه دوم       |
| a <sub>0</sub>    | ۱۳/۸۸**    | -۰/۸۲**       | -۳۳۴/۳۳**           |
| a <sub>1</sub>    | -۰/۲۵**    | ۰/۸۶**        | ۸/۹۹**              |
| a <sub>2</sub>    | -۲/۱۱**    | -۰/۱۹**       | -۰/۰۵۴**            |
| a <sub>3</sub>    | -          | -             | -۱/۳۴ <sup>ns</sup> |
| a <sub>4</sub>    | -          | -             | -۰/۰۷ <sup>ns</sup> |
| a <sub>5</sub>    | -          | -             | -۰/۰۲*              |
| آماره F-          | ۳۷/۵۲**    | ۳۸/۶۰**       | ۱۲/۶۶**             |
| RMSE              | ۱۲/۶۶(۴)   | ۱۲/۵۲(۳)      | ۸/۰۸(۱)             |
| EF                | ۰/۵۴(۴)    | ۰/۵۵(۳)       | ۰/۸۱(۱)             |
| ME                | ۶/۲۱(۴)    | ۵/۴۹(۳)       | ۳/۶۲(۱)             |
| CRM               | -۰/۰۰۴(۲)  | -۰/۰۳۲(۴)     | -۰/۰۰۶(۲)           |
| CD                | ۰/۴۶(۴)    | ۰/۵۰(۳)       | ۰/۸۸(۱)             |
| میانگین رتبه ها   | ۳/۴        | ۳/۲           | ۱/۲                 |
| رتبه نهایی        | ۴          | ۳             | ۱                   |

ns، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می دهد.

از توابع مورد ارزیابی قرار گرفت و درجه بندی شد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل (جدول ۱ تا ۴) و در نظر گرفتن رتبه نهایی می توان گفت، تابع درجه دوم می تواند به عنوان تابع برتر تولید علوفه در شرایط توام شوری و کم آبیاری پیوسته و کم آبیاری تنظیم شده در مراحل مختلف رشد در منطقه سرخس معرفی گردد.

اعمال تنش آبی در مراحل مختلف گیاه علاوه بر مقدار آب و شوری آب آبیاری به فیزیولوژی گیاه ارتباط داشته بطوریکه در اعمال تنش آبی در هر مرحله از رشد گیاه پاسخ متفاوتی به میزان تنش ناشی از میزان آب و شوری آب آبیاری نشان می دهد. به همین دلیل با اعمال تنش آبی در هر مرحله از مرحله رشد گیاه نتایج بصورت جداگانه مورد بحث قرار گرفتند. بر اساس شاخص های آماری هر یک

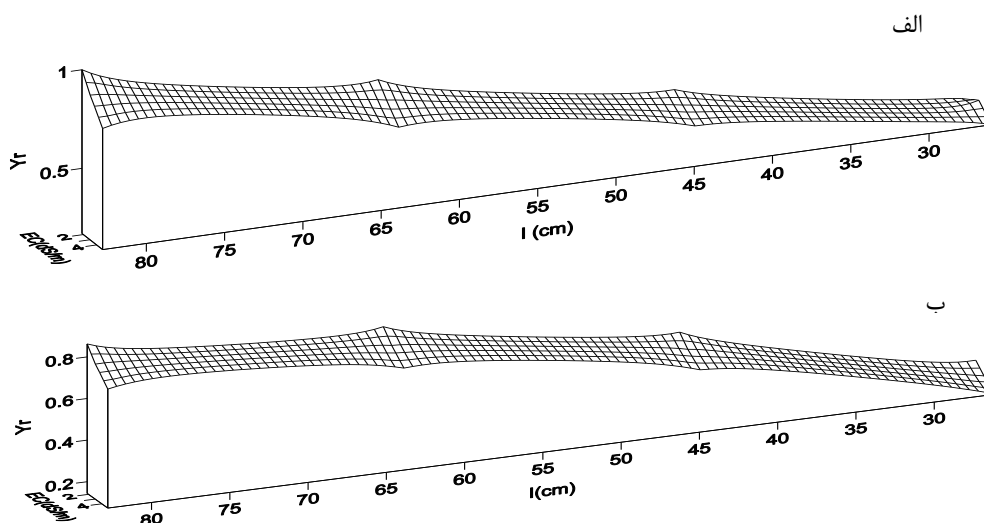
جدول ۴- ضرایب تابع تولید آب - شوری عملکرد علوفه و شاخص های آماری ارزیابی توابع تولید در تیمارهای اعمال تنش آبی در مرحله دانه

| بستن                 |                      |                       |                                      | ضرایب توابع تولید |
|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|
| تابع تولید           |                      |                       |                                      |                   |
| تابع خطی             | تابع لگاریتمی        | تابع درجه دوم         | تابع متعالی                          |                   |
| ۳۸/۰۸ <sup>ns</sup>  | ۱۱/۹۵ <sup>**</sup>  | -۵۶۵/۵۸ <sup>**</sup> | ۱/۵۳×۱۰ <sup>-۴۳</sup> <sup>**</sup> | a0                |
| ۰/۱۵ <sup>**</sup>   | ۰/۳۴ <sup>**</sup>   | ۱۵/۳۴ <sup>ns</sup>   | ۳۰/۲۷ <sup>**</sup>                  | a1                |
| -۲/۹۹ <sup>**</sup>  | -۰/۲۳ <sup>**</sup>  | -۰/۰۹ <sup>ns</sup>   | ۰/۱۳ <sup>ns</sup>                   | a2                |
| -                    | -                    | -۳/۵۳ <sup>**</sup>   | -۰/۳۷ <sup>**</sup>                  | a3                |
| -                    | -                    | -۰/۱۸ <sup>ns</sup>   | -۰/۱۲ <sup>**</sup>                  | a4                |
| -                    | -                    | -۰/۰۲ <sup>ns</sup>   | -                                    | a5                |
| ۲۰۶/۱۵ <sup>**</sup> | ۱۶۶/۳۰ <sup>**</sup> | ۱۳۰/۶۷ <sup>**</sup>  | ۱۸۳/۶۴ <sup>**</sup>                 | آماره F-          |
| ۳/۹۰(۳)              | ۳/۹۵(۴)              | ۲/۰۱(۲)               | ۱/۹۲(۱)                              | RMSE              |
| ۰/۸۷۳(۳)             | ۰/۸۶۹(۴)             | ۰/۹۶۶(۲)              | ۰/۹۶۹(۱)                             | EF                |
| ۲/۷۴(۴)              | ۲/۶۸(۳)              | ۱/۴۵(۱)               | ۱/۷۶(۲)                              | ME                |
| -۰/۰۰۵(۱)            | -۰/۰۱۲(۴)            | -۰/۰۰۲(۲)             | ۰/۰۰۴(۳)                             | CRM               |
| ۰/۷۹(۳)              | ۰/۷۷(۴)              | ۰/۹۶(۱)               | ۰/۹۵(۲)                              | CD                |
| ۲/۸                  | ۳/۸                  | ۱/۶                   | ۱/۸                                  | میانگین رتبه ها   |
| ۳                    | ۴                    | ۱                     | ۲                                    | رتبه نهایی        |

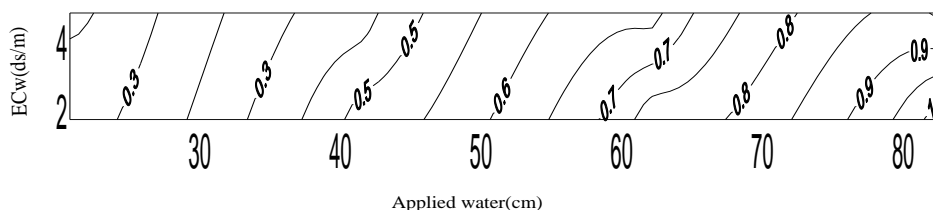
ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می دهد.

به دلیل کاربردی تر بودن اعمال تنش در تمام مراحل رشد تحلیل های بعدی با استفاده از تیمارهای اعمال تنش شوری و کم آبیاری پیوسته در طول رشد و با استفاده از تابع درجه دوم انجام گرفت. شکل ۱ منحنی تغییرات نسبی عملکرد ذرت علوفه ای را نسبت به دو عامل مقدار آب و شوری آب آبیاری با استفاده از داده های مزرعه ای و تابع درجه دوم نشان می دهد.

محققان متعددی تابع درجه دوم را به عنوان بهترین تابع جهت تعیین رابطه بین پارمترهای آب، شوری و عملکرد در گیاهانی مانند کوشیا، گندم، ذرت و پنبه بدست آوردند (روسو بیکر، ۱۹۸۶؛ آگنی هوتری و همکاران، ۱۹۹۲؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۰؛ نجفی مود و همکاران، ۱۳۹۱). کیانی و عباسی (۲۰۰۹) تابع متعالی را به عنوان بهترین تابع تولید آب، شوری و عملکرد گیاه گندم بدست آوردند.



شکل ۱- تغییرات عملکرد نسبی ذرت علوفه ای نسبت به مقدار آب آبیاری و شوری با استفاده از داده های واقعی (الف) و داده های مدل (ب)

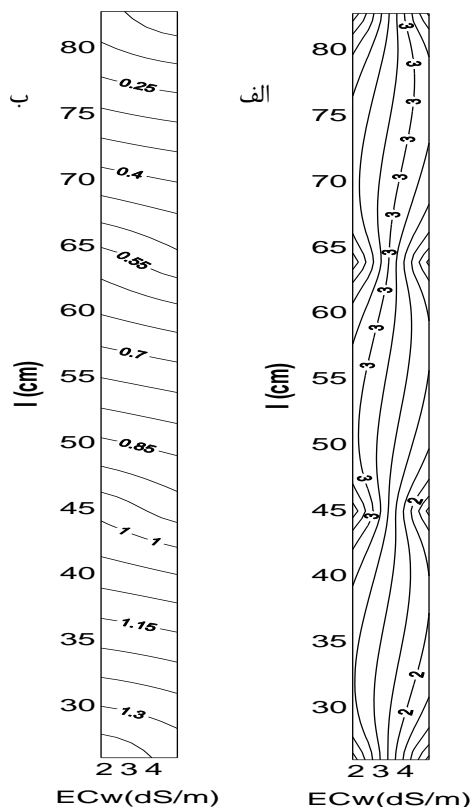


شکل ۲- منحنی هم - محصول به صورت تابعی از آب آبیاری و شوری آب

می توان مقدار آب آبیاری را افزایش داد. افزایش مقدار آب آبیاری در منحنی هم محصول نقطه ای است که خط مماس بر آن موازی محور آب آبیاری گردد. از این نقطه به بعد افزایش مقدار آب منجر به افزایش عملکرد محصول نمی شود. منحنی هم  $dY/dEC_w$  تغییرات عملکرد محصول را با ثابت در نظر گرفتن مقدار آب آبیاری نشان می دهد، به طوری که در یک شوری ثابت با افزایش میزان مصرف آب تغییرات عملکرد به شوری آب آبیاری کاهش یافته و میزان عملکرد محصول افزایش خواهد یافت (شکل ۳ الف). منحنی هم  $dY/dI$  تاثیر تغییرات مقدار آب آبیاری بر عملکرد را با ثابت در نظر گرفتن شوری آب آبیاری را نشان می دهد (شکل ۳ ب) و بیان کننده این مطلب می باشد که در یک مقدار ثابت شوری با افزایش مقدار آب آبیاری  $dY/dI$  کاهش خواهد داشت.

به طور کلی عملکرد با افزایش شوری و کاهش مقدار آب آبیاری کاهش می یابد. برای بررسی اثرات دو عامل شوری و مقدار آب آبیاری و تعیین جایگزینی هر یک از عوامل برای حصول به عملکرد یکسان می توان از منحنی هم محصول استفاده کرد. منحنی های عملکرد یکسان محصول نشان دهنده مکان هندسی ترکیبات مختلف شوری آب و مقدار آب آبیاری است که عملکرد یکسانی را در ذرت علوفه ای تولید می کنند (شکل ۲). در مقادیر یکسان آب قابل دسترس، با افزایش شوری آب عملکرد محصول کاهش می یابد و همچنین در مقادیر یکسان شوری آب آبیاری، با افزایش آب قابل دسترس عملکرد محصول نیز افزایش می یابد.

با استفاده از مقادیر متفاوتی از مقدار آب قابل دسترس و شوری آب آبیاری می توان به عملکرد مطلوب دست یافت. به عبارت دیگر برای جلوگیری از کاهش عملکرد در شوری های بالای آب آبیاری



شکل ۳- منحنی هم  $dY/dEC_w$  بصورت تابعی از شوری و مقدار آب آبیاری (الف) و منحنی هم  $dY/dI$  بصورت تابعی از شوری و مقدار آب آبیاری (ب)

شوری کوشیا در اراضی استان گلستان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵، شماره ۶: ۱۴۰۳-۱۳۹۵.

قیصری، م.، میرلطیفی، س. م.، همایی، م. و اسدی، م. ا. ۱۳۸۵. تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای و ضریب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۷. شماره ۲۶ صص ۱۴۲-۱۲۵.

کیانی، ع. ر.، میرلطیفی، م. و چراغی، ع. م. ۱۳۸۴. تعیین بهترین تابع تولید آب-شوری گندم در منطقه گرگان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. شماره ۳۵: ۱۳-۱.

نجفی مود، م. ح.، عزیزاده، ا.، داوری، ک.، کافی، م. و شهیدی، ع. ۱۳۹۱. تعیین تابع برتر آب - شوری - عملکرد در دو رقم پنبه. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۶، شماره ۳: ۶۷۹-۶۷۲.

Agnihotri, A. K., Kumbhare, P. S., Rao, K. V. G. K. and Sharma, D. P. 1992. Econometric consideration for reuse of drainage effluent in wheat production. *Agric. Water Manage*, (22)249-270.

Datta, K. K., Sharma, V. P. and Sharma, D. P. 1998. Estimation of a production function for wheat under saline conditions. *Agric. water Manage*, (36) 85-94.

Eack, H. V. 1996. Effect of water deficit on yield and yield components and water use efficiency of irrigated corn. *Agronomy Journal*, (78)1083-1089.

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.

League, K. and Green, R. E. 1999. Statistical and graphical methods for evaluating solutetransport models: verview and application. *J. Contaminant Hydrology*, (7)51-73.

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.

Meiri, A. and Shalhevet, J. 1973. Pepper plant response to irrigation water quality y and timing and leaching. *Ecological studies*. Springer-Verlag. Berlin, Vol (IV) 421-429.

Parra, M. A. and Romero, G. C. 1980. On the dependence of salt tolerance of beans on soil water matric potential. *Plant and Soil*, (56)3-16.

Rhoades, J. D., Kandidah, A. and Mashali, A. M. 1992. The use of saline waters for crop production, *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 48* FAO: Rome, Italy.

Russo, D. and Bakker, D. 1986. Crop water production functions for sweet corn and cotton irrigated with saline waters. *Soil Sci. Soc. Am. J*,

نسبت نهایی نرخ جایگزینی  $I$  و  $EC_w$  ( $MRTS_{I,EC_w}$ ) در تیمار تنش آبی پیوسته در طول دوره رشد با استفاده از معادلات مربوطه  $3/56$  به دست آمد. این عدد بیان می‌کند که چنانچه شوری آب آبیاری به اندازه یک دسی زیمنس بر متر از متوسط شوری اعمال شده به تیمارها یعنی از  $3/23$  به  $4/23$  افزایش یابد، برای کاهش اثرات نامطلوب شوری و ثابت نگه داشتن آن در سطح قبلی باید مقدار  $35/6$  میلیتر برای اعمال تنش در تمام مراحل رشد آب بیشتری در حد متوسط مصرف آب، استفاده شود.

شاخص تولید نهایی  $(MP_I)_I$  و  $(MP_{EC_w})_{EC_w}$  برای تنش خشکی در تمام مراحل رشد و تنش شوری به ترتیب  $0/77$  و  $2/75$ - تن در هکتار بدست‌آمد. با توجه به قیمت ذرت علوفه‌ای در سال زراعی ۹۱-۹۰ برای هر کیلوگرم علوفه تازه به میزان ۱۴۰۰ ریال، می‌توان ارزش تولید دو عامل عمق و شوری آب آبیاری را به دست‌آورد. مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به عمق آب آبیاری برای علوفه تازه  $1078000$  ریال می‌باشد که بیان‌کننده درآمد حاصل از افزایش تولید در نتیجه افزایش هر یک سانتی متر عمق آب آبیاری به عمق متوسط آب آبیاری می‌باشد. همچنین مقدار ارزش تولید نهایی نسبت به شوری آب آبیاری برای علوفه تازه  $3850000$ -ریال به دست آمد که بیان می‌کند به ازای افزایش هر یک واحد شوری به شوری متوسط آب آبیاری مبلغ  $3850000$  ریال از درآمد به علت افت محصول در اثر تنش شوری کاسته خواهد شود.

## نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصله می‌توان گفت که در پیش بینی تغییرات عملکرد ذرت علوفه‌ای، در نتیجه تغییرات مقدار آب و شوری توابع درجه دوم نسبت به توابع خطی قابلیت بهتری دارند. شوری و کم آبی دو عامل اصلی محدود کننده تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شوند. با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش امکان جایگزینی دو عامل فوق در دامنه وسیعی از مقادیر آنها وجود دارد. بنابراین بایستی به منظور جبران بخشی از کمبودهای منابع آبی و برای رسیدن به عملکرد اقتصادی در هر منطقه ترکیبات مناسب آب شور و غیر شور تعیین گردد.

## مراجع

احمدیان، ج.، شببانی، د.، عراقی، ح.، شیرمحمدی، ر. و مجرد م. ۱۳۸۲. طبقه بندی اقلیمی کشاورزی در جهت مدیریت منابع آب در توسعه پایدار. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ایران.

صالحی، م.، کافی، م. و کیانی، ع. ر. ۱۳۹۰. تعیین بهترین تابع آب-

soil water. Agron. J, (71)746-752.

(51)1554-1562.  
Sepaskhah, A. R. and Boersma, L. 1979. Shoot and root growth exposed to several levels of matric potential and NaCL induced osmotic potential of

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱



## Assessment of Water-Salinity Production Functions of Forage Maize in Khorasan Razavi Province

Z. Shirmohammadi Aliakbarkhani<sup>1\*</sup>- H. Ansari<sup>2</sup>- A. Alizadeh<sup>3</sup>- and M. Kafi<sup>4</sup>

### Abstract

The great challenge of the agricultural sector in countries located in arid and semiarid regions in the face of inadequate quantity and quality of water, Produce more food with less water or agricultural production is optimized. Such methods can be used to optimize agricultural production, water-salinity production functions named that Planning and policy for agricultural production in this area is useful. To determine the crop water production function water-salinity, this experiment was carried out at 2011 in Khorasan Razavi province. Maize was grown with three levels of saline water (1.8, 3 and 4.6 dS/m), four levels of applied water (100, 75, 50 and 25 percent of water requirement) and four levels of stage of deficit irrigation applied (continuously during the growing season, vegetative, flowering and grain filling). Data were analyzed using linear, quadratic, Cobb-Douglas and transcendental functions. Results showed that quadratic function estimated yield better under salinity and water stress. Marginal rate of technical substitution showed that water salinity and water supply can be substituted with the other in a wide range in order to achieve equal amount of yield. Marginal production of water quantity and quality were 0.77 and -2.75 ton.ha<sup>-1</sup>, respectively.

**Keywords:** Production function, Marginal product, Regulated deficit irrigation, Water quality, flowering

Received: 8-30-2013

Accepted: 2-19-2014

---

1,2,3,4 - Ph.D. Student, Associate Professor, Professor of Water Engineering Department and Professor of Agronomy department Ferdowsi University of Mashhad

(\* - Corresponding Author Email: mshirmohamady@yahoo.com)