

مدلسازی اثرات متقابل شوری و کود ازتی اوره بر اساس قوانین

"لیبیک - اسپرنگل" و "میچرلیخ - بال"

لیلا حسنی رضایی^۱، مهدی همائی^۲، ابراهیم پذیرا^۳

چکیده

شوری و کمبود عناصر غذایی، دو عامل مهم کاهش دهنده تولید فرآورده‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشند. برای بررسی کمی واکنش گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) به مقادیر متفاوت کود اوره در سطوح مختلف شوری و نیز اثرهای متقابل آن‌ها بر یکدیگر، آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور شوری آب آبیاری شامل ۷ سطح (۰/۶، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و کود ازتی شامل ۵ سطح (تیمار بدون مصرف کود، تیمار کود پایه و بدون مصرف کود ازتی، ۱۱۴، ۱۳۷ و ۱۶۰ کیلوگرم ازت عنصری در هکتار) در سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. پس از برداشت گیاهان، مقدار عملکرد اندازه‌گیری و عملکرد نسبی محاسبه شد. مدل‌های خطی (LS) و غیرخطی (MB) ارایه شده بر اساس قوانین لیبیک-اسپرنگل و میچرلیخ - بال که تنها برای یک عامل محدود کننده پیشنهاد شده‌اند، به گونه‌ای اشتقاق یافتند که بتوان از آن‌ها برای تنش توأمان شوری و کمبود عناصر غذایی استفاده کرد. سپس، مدل‌ها برای برآورد عملکرد نسبی ماده خشک، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی واسنجی شد و کارایی آن‌ها به صورت کمی آزموده شد. مدل خطی، زمانی که شیب‌های تابع پاسخ گیاه به شوری و نیز کاربرد نیتروژن، به ترتیب در سطح بهینه نیتروژن (۱۶۰ کیلوگرم ازت عنصری در هکتار) و در پایین‌ترین سطح شوری (۲ دسی‌زیمنس بر متر) محاسبه شد، توانست داده‌های آزمایشگاهی را بهتر و دقیق‌تر از وقتی که شیب‌های مذکور، در کل سطوح نیتروژن و در تمامی سطوح شوری بود، برازش دهد. با توجه به P-Value حاصل از هر دو مدل، هر دو در سطحی فراتر از ۰/۱ معنی‌دار هستند. بنابراین می‌توانند به طوری موفقیت‌آمیز در مدل‌های کامپیوتری که بر اساس سیستم آب - خاک - گیاه باشد برای برآورد عملکرد نسبی مورد استفاده واقع شوند. با این حال، بررسی دقیق آماره‌های کمی، مزیت نسبی مدل غیرخطی نسبت به مدل خطی را از نظر دقت و کارایی نشان می‌دهد به طوری که مقادیر $(ME=0/16)$ و $(RMSE=0/08)$ در مدل غیرخطی MB کم‌تر و مقادیر $R^2=0/93$ ، $CD=0/75$ و $EF=0/89$ در این مدل، بیش‌تر از آماره‌های مذکور در مدل خطی LS می‌باشد که نشان‌دهنده کارایی و دقت بیش‌تر مدل غیرخطی MB نسبت به مدل خطی LS در این آزمایش است.

کلمه‌های کلیدی: شوری - کود ازتی - اوره - مدل LS - مدل MB.

۱- دانشجوی دکتری رشته خاک‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (E-Mail:Homae2002)

۲- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

تاریخ دریافت: زمستان ۱۳۸۶ تاریخ پذیرش: پاییز ۱۳۸۷

شوری از تنش‌های عمده‌ی محیطی است که توان تولید گیاه و رشد آن را در مناطق خشک و نیمه خشک محدود می‌کند (Speer & All, 1994). جذب عناصر غذایی توسط گیاهان می‌تواند با اثرهای اسمزی محلول شوری، آسیب ببیند به این ترتیب که تعرق کاهش یافته و جریان توده‌ای یون‌ها به سمت ریشه کم می‌شود (Grattan & Grieve, 1994). عدم افزایش یا عدم تغییر در غلظت عناصر غذایی برگ‌های ذرت تحت شرایط شوری، ممکن است مربوط به این واقعیت باشد که اثر اسمزی عامل کاهش رشد گیاه باشد (Hu & All, 2008). غلظت بالای سدیم، کلر و دیگر عناصر غذایی در محیط رشد گیاه از راه بر هم زدن تعادل عناصر غذایی ضروری بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارند (Hu & Schmidhalter, 1997b ; Grattan & Grieve, 1999).

نتایج پژوهش Dirhem & Pilbeam (۲۰۰۲) نشان داد که رشد گیاه با غلظت‌های پایین کلرید سدیم، تحریک و با غلظت‌های بالای آن کاهش یافت هم‌چنین نسبت اندام هوایی به ریشه نیز با افزایش شوری کم شد. در شوری‌های کم، کمبود عناصر غذایی می‌تواند عامل اصلی محدود کننده‌ی رشد گیاه باشد و در شوری‌های متوسط و زیاد، اثر محدودکنندگی شوری، رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hu & Grattan & Grieve, 1999 ; Bernstein & All, 1974 ; Kafkafi & All, 1982 All, 1997a). در بین عناصر غذایی ضروری، معمولاً نیتروژن محدود کننده‌ترین عنصر غذایی رشد گیاه در خاک‌های شور و غیر شور می‌باشد (Shannon & All, 1994). به طور کلی در شرایط تحت تنش شوری، از جذب نیتروژن گیاه جلوگیری می‌شود (Abdelgadir & All, 2005).

استفاده از کود مناسب لازمه افزایش تولید در خاک‌های تحت تأثیر نمک می‌باشد تا غذای یک جامعه در حال رشد را فراهم کند (Irshad & All, 2002b). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که مصرف کودهای شیمیایی در خاک‌های شور ممکن است تأثیر فزاینده یا کاهنده بر عملکرد داشته و یا اصلاً بی‌تأثیر باشند. به بیانی دیگر، واکنش گیاه به کودهای مصرفی، به مقدار تنش شوری ایجاد شده در محیط ریشه بستگی دارد (Maas & Grattan, 1999). برخی پژوهشگران بر این باورند که مصرف کودهای شیمیایی در شوری‌های متوسط تا زیاد باعث و خیم‌تر شدن اثرهای ناشی از شوری خاک می‌شود (Lunin & Grattan, 1965).

نتایج تحقیق‌های Abdelgadir & All (۲۰۰۵) نشان داد که کاربرد کود نیتروژن به طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی گیاهان گوجه فرنگی را که تحت شوری سولفات سدیم بودند افزایش داد در صورتی که استفاده

از این کود هیچ تأثیری روی رشد گوجه فرنگی‌های تحت تنش کلرید سدیم نداشت. از آنجایی که شوری، جذب و فرآورده‌های فتوسنتزی نیتروژن را در گونه‌های مختلف گیاهی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Cramer & All, 1995)، منبع نیتروژن نقش مناسبی را در تحمل گیاهان به نمک بازی می‌کند.

با توجه به اهمیت رابطه‌ی عملکرد گیاه با عوامل رشد، برای رسیدن به عملکرد مطلوب می‌توان با کاربرد مناسب این عوامل و با استفاده از مدیریت صحیح، اثرهای منفی عوامل تنش‌زا را کاهش داد. به طور کلی، استفاده از نمون‌های مختلف برای توضیح رفتار گیاه در شرایطی که عوامل تنش‌زا گیاه را تحت تنش قرار می‌دهند، می‌تواند مفید باشد. نمون LS^1 در نیمه‌ی اول قرن نوزدهم توسط لیبیک و اسپرنگل بیان شد. در این نمون در هر زمان یک عامل رشد که محدود کننده‌ترین عامل به شمار می‌رود تعیین کننده‌ی مقدار عملکرد می‌باشد و پاسخ عملکرد به این عامل رشد به صورت خطی است (Black, 1993) که در واقع تعریف قانون حداقل می‌باشد. بیان تعیین عملکرد به وسیله محدود کننده‌ترین عامل توسط اسپرنگل و خطی بودن پاسخ عملکرد به این عامل توسط لیبیک بیان شد (Vanderploeg & All, 1999) گاهی اوقات این نوع پاسخ گیاه را پاسخ ثابت نیز می‌گویند (Black, 1993).

نمون دیگری در سال ۱۹۰۹ توسط میچرلیخ پیشنهاد شد، اساس این نمون از یک اصل فیزیولوژیک تبعیت می‌کند و بیانگر آن است که پاسخ نزولی گیاه به کاربرد عنصر به سبب اشباع ناقل واسطه‌ی جذب عنصر در ریشه است که این امر، پاسخ نزولی گیاه به کاربرد آن عنصر را به دنبال دارد. نمون میچرلیخ توسط بال در سال ۱۹۱۸ کامل تر شد. در این نمون، عوامل رشد به طور همزمان رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند و به صورت تجمعی عمل می‌کنند. ولی این عوامل رشد برهم‌کنشی نیز بر هم ندارند، ترکیب مفهوم میچرلیخ و بال نمون میچرلیخ-بال نامیده می‌شود (Black, 1993).

سورگوم جزء گیاهان نسبتاً متحمل به شوری تقسیم‌بندی شده است. حد آستانه در این گیاه، $۶/۸$ دسی‌زیمنس بر متر و شیب کاهش ۱۶ درصد گزارش شده است (Mass & Grattan, 1999). هدف از این مطالعه، کمی‌سازی اثرهای متقابل شوری و کودهای ازتی بر رشد و عملکرد گیاه سورگوم هم‌چنین مقایسه‌ی دو مدل خطی و

1- Liebig-Sprengel

غیرخطی از نظر دقت و کارایی در پیش‌بینی عملکرد محصول و در نهایت ارایه یک مدل مناسب با دقت و کارایی بالاتر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای کمی‌سازی اثرهای متقابل شوری و کودهای ازتی بر رشد و عملکرد گیاه سورگوم، آزمایشی به صورت فاکتوریل با دو فاکتور شوری آب آبیاری و کود ازتی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نمونه خاک از لایه سطحی خاک‌های منطقه‌ی اشتهدارد کرج برای این کار برداشت شد. خاک‌ها پس از هوا خشک شدن، از الک ۸ میلی‌متر برای آزمایش گلدانی و از الک ۲ میلی‌متر برای تجزیه‌های شیمیایی عبور داده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده خاک (احیایی و بهبهانی، ۱۳۷۲) در جدول ۱ ارایه شده است.

هفت سطح شوری آب با تیمارهای $0/6$ (یا تیمار شاهد)، 2 (C₁)، 4 (C₂)، 6 (C₃)، 8 (C₄)، 10 (C₅)، 12 (C₆) دسی‌زیمنس بر متر اعمال شد. آستانه‌ی تحمل شوری در این پژوهش بسته به شرایط محیطی 2 dS/m گزارش شد. تیمارهای آب شور از رقیق کردن یک آب شور طبیعی (80 dS/m) دارای کلرید سدیم فراوان که از منطقه‌ی اشتهدارد کرج برداشت شده بود با آب معمولی تهیه شد. فاکتور کود شامل پنج سطح تیمار بدون مصرف کود (F₀)، تیمار کود پایه و بدون مصرف کود ازتی (N₀ یا تیمار شاهد کود)، تیمارهای اوره در سطوح اول تا سوم به ترتیب 114 (U₁)، 137 (U₂)، 160 (U₃) کیلوگرم ازت عنصری در هکتار که به ترتیب 87% ، 100% ، 117% مقدار توصیه‌ی شده در خاک‌های غیر شور (فومن، ۱۳۸۰) می‌باشند، در دو قسط اعمال شد. در این آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی بزرگ با قطر دهانه 30 سانتی‌متر و ارتفاع 31 سانتی‌متر استفاده شد. زیر هر گلدان، تعداد پنج سوراخ به قطر 2 سانتی‌متر تعبیه شد تا امکان اعمال آبشویی برای حفظ شوری خاک در حدی معین فراهم شود. کود پایه سوپر فسفات تریپل به میزان 250 کیلوگرم در هکتار برای هر گلدان محاسبه و به نمونه‌های خاک اضافه شد. کوددهی ازتی به صورت تقسیط و در دو بخش مساوی به ترتیب قبل از کاشت و در مرحله‌ای که ارتفاع گیاهان در تیمار آب شاهد به حدود $35-40$ سانتی‌متر رسید (فومن، ۱۳۸۰) اعمال شد. در هر گلدان 10 عدد بذر ضدعفونی شده سورگوم دانه‌ای رقم پیام در عمق 3 سانتی‌متری کاشته شد. در طول اجرای آزمایش، مقدار آب آبیاری برای هر گلدان، 50 درصد بیش از نیاز آبی گیاه در نظر گرفته شد تا با اعمال این مقدار نیاز آبشویی، شوری عصاره اشباع خاک تا جای ممکن به شوری تیمار آب آبیاری نزدیک شود. کنترل وضعیت شوری با نمونه‌برداری از

خاک گلدان‌هایی که برای پشتیبانی از طرح در نظر گرفته شده بود، انجام شد. تیمارها در پایان هفته‌ی یازدهم (آغاز گلدهی) از محل طوقه، قطع شد. نمونه‌ها پس از شستشو، در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک و توزین شدند. سپس برای کمی کردن اثر متقابل شوری و نیتروژن، عملکرد نسبی ماده خشک (Y_r) از نسبت عملکرد مطلق به عملکرد ماکزیمم در شرایط بدون تنش (Y/Y_{max}) محاسبه و با استفاده از مدل‌های برگرفته از قوانین لیبیک-اسپرنگل (LS) و میچرلیخ-بال (MB) برازش داده شد.

مدل LS، برای دو فاکتور شوری و نیتروژن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y_r = \frac{Y}{Y_{max}} = \min \left\{ \begin{array}{ll} 1 & ; EC < EC_{cr} \\ a - b \cdot (EC - EC_{cr}) & ; EC \geq EC_{cr} \end{array} \right\} \cdot \min \left\{ \begin{array}{ll} n \cdot (N_0 + N_F) & \\ 1 & ; N \geq N_{cr} \end{array} \right\} \quad (1)$$

Y_r عملکرد نسبی، b شیب تابع پاسخ گیاه به شوری در سطح بهینه نیتروژن، EC_{cr} حد آستانه‌ی شوری برای کاهش عملکرد، N_{cr} حد بحرانی N در خاک برای پاسخ گیاه، N_F مقدار نیتروژن کودی اضافه شده به خاک، N_0 مقدار نیتروژن ذاتی خاک، N کل نیتروژن موجود در خاک، n شیب تابع عملکرد نسبی در پاسخ به کاربرد N در سطحی از شوری که شوری ناچیز است. در مدل LSa به جای b ، S که شیب تابع پاسخ گیاه به شوری در کل سطوح نیتروژن است و به جای n ، N که شیب تابع عملکرد نسبی در پاسخ به کاربرد نیتروژن در تمامی سطوح شوری می‌باشد، استفاده شد.

مدل MB، برای دو فاکتور شوری و نیتروژن به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Y_r = (1 - e^{-c_N N}) (1 - e^{c_{EC}(EC - EC_{max})}) \quad (2)$$

$$N = N_F + N_0$$

در این معادله C_N و C_{EC} به ترتیب ضریب میچرلیخ برای نیتروژن و شوری، EC_{max} نشان دهنده‌ی سطحی از EC که سبب مرگ گیاه می‌شوند و در نتیجه عملکرد صفر است. Y_r عملکرد نسبی (تحت تأثیر همزمان تنش

شوری و نیتروژن)، Y_{\max} عملکرد حداکثر (در حالت بدون تنش) و Y عملکرد مشاهده شده (تحت تأثیر تنش همزمان شوری و نیتروژن) می باشد.

ضریب کارایی (R^2)^۱ با نرم افزار SPSS محاسبه شد.

در پایان، اعتبار مدل های ارایه شده با آماره های خطای ماکزیمم (ME) 2 جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) 3، ضریب تبیین (CD) 4، کارایی مدل (EF) 5 و ضریب مقادیر باقیمانده (CRM) 6 ارزیابی شد (Homaei & All, 2002).

بیان ریاضی این آماره ها به صورت زیر است:

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} * \frac{100}{\bar{O}} \quad (۴)$$

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (۳)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (۶)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (۵)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۷)$$

که در آن P_i و O_i به ترتیب مقدار برآورد شده و اندازه گیری شده عملکرد نسبی، n تعداد نمونه ها و \bar{O} میانگین مقادیر اندازه گیری شده است. حد پایینی ME، RMSE و CD صفر و بیشترین مقدار EF و R^2 یک است. EF و

-
- 1- Coefficient of Efficiency
 - 2- Maximum Error
 - 3- Root Mean Square Error
 - 4- Coefficient of Determination
 - 5- Modeling Efficiency
 - 6- Coefficient of Residual Mass

CRM می‌تواند منفی باشند. مقدار ME نشان دهنده‌ی ناکارآمدی مدل است، در حالی که مقدار RMSE نشان می‌دهد که مدل به چه میزان بیش‌تر یا کم‌تر از واقعیت، برآورد می‌کند. CD، نسبت پراکنش مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. EF، مقادیر برآورد شده را با میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF، بیانگر این است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، برآوردی بهتر از مقادیر برآورد شده به‌دست می‌دهد. CRM، شاخصی برای سنجش تمایل مدل به برآورد بیش‌تر یا کم‌تر از واقعیت است. CRM منفی، بیانگر برآوردی بیش‌تر از واقعیت است. اگر همه داده‌های برآورد شده و اندازه‌گیری شده یکسان باشند، آماره‌ها به این گونه‌اند:

$$R2=1 ; EF=1 ; CRM=0 ; ME=0 ; RMSE=0 ; CD=1$$

نتایج

شاخص‌های آماری برای ارزیابی مدل LS در دو حالت a و b در جدول ۳ درج شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود ضریب کارایی (R2) مدل LS در دو حالت a و b به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۸۸ می‌باشد. مقدار ME که کارایی نامناسب مدل را نشان می‌دهد، در مدل LSb کم‌تر از LSa بود. مقدار کم RMSE در مدل LSb نسبت به LSa نشان می‌دهد که مقادیر برآورد شده توسط این مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده تفاوتی اندک دارند. بالا بودن مقدار EF در مدل خطی LSb نسبت به LSa، نشان از کارایی بالای مدل خطی LSb در برآورد عملکرد نسبی ماده خشک در مقایسه با LSa دارد. مقدار CRM در هر دو فرم مدل LS، مثبت می‌باشد و این موضوع نشان‌دهنده‌ی این است که مدل خطی LS در هر دو حالت، عملکرد نسبی ماده خشک را در سطوح مختلف شوری خاک، کم‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند. این موضوع به خوبی در شکل ۱ دیده می‌شود. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، مقادیر عملکرد نسبی ماده خشک برآورد شده توسط مدل خطی LSb به خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده برابری داشته و نسبت به مدل خطی در حالت a در برازش داده‌های آزمایشگاهی از تطابق بیش‌تری برخوردار است.

بررسی جدول ۴ نشان می‌دهد در مدل خطی، اختلاف مقادیر R2 بین مدل خطی LS و مدل غیرخطی MB، کم می‌باشد به نظر می‌رسد که هر دو مدل، مدل خوبی در برازش داده‌های آزمایشگاهی باشند ولی این‌که کدام مدل مناسب است و از کارایی و دقت بیش‌تری برخوردار است نیاز به بررسی بیش‌تری دارد. R2 مدل خطی LS و

غیرخطی MB به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۹۳ می‌باشد. CRM برای هر دو مدل خطی و غیرخطی از مقادیر تقریباً یکسانی برخوردار می‌باشد. مقدار ME و RMSE در مدل غیرخطی MB، کمتر و مقادیر CD و EF بیش‌تر از این مقادیر در مدل خطی LS است که نشان‌دهنده‌ی کارایی بیش‌تر و هم‌چنین دقت بیش‌تر مدل غیرخطی MB نسبت به مدل خطی LS در این آزمایش می‌باشد. مثبت بودن CRM در هر دو مدل، نشان می‌دهد که مقادیر عملکرد نسبی ماده خشک برآورد شده در سطوح مختلف هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک توسط هر دو مدل LS و MB، کم‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشند که به‌خوبی در شکل ۲ (الف) نشان داده شده است.

شکل ۲ نشان می‌دهد که مقادیر برآورد شده توسط هر دو مدل خطی و غیرخطی، به خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده برابری دارد، لیکن مدل غیرخطی MB در برازش داده‌های آزمایشی مناسب‌تر از مدل LS می‌باشد.

منحنی‌های LS در شکل ۳ (الف)، دو سری منحنی ارائه می‌دهند. با استفاده از اصلی که می‌گوید وقتی گیاهی تحت شرایط تنش قرار گیرد (در این‌جا محدودیت نیتروژن همراه با شوری به وجود آمده)، تنشی که شدیدتر باشد عملکرد را تعیین می‌کند. خطوط شیب‌دار، پاسخ عملکرد به شوری را شرح می‌دهند و خطوط افقی، عملکرد را زمانی که سطح نیتروژن، تنش غالب است توضیح می‌دهند. عامل غالب توسط ترکیب ویژه‌ی نیتروژن و شوری و با حساسیت گیاه به هر دو عامل تنش تعیین می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که مقدار واقعی آستانه‌ی شوری به سطح نیتروژن بستگی دارد. به‌عبارت دیگر، آستانه‌ی شوری مقدار ثابتی نیست و زمانی که نیتروژن رشد گیاه را محدود نمی‌کند آستانه‌ی شوری شاید به اندازه ۲ دسی‌زیمنس بر متر، کم ظاهر شود در صورتی که وقتی نیتروژن رشد گیاه را محدود می‌کند آستانه‌ی شوری ممکن است به مقادیر بالایی از قبیل ۴ دسی‌زیمنس بر متر در سطح ۱۱۴ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن کودی و حتی بالاتر برسد، چنانچه سطح نیتروژن کاهش یابد.

مدل خطی LS در سطوح ۱۱۴، ۱۳۷ و ۱۶۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، داده‌های آزمایشگاهی را با ضریب کارایی (R²) به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۹۷ و ۰/۹۹ برازش می‌دهد که در هر سه سطح نیتروژن کودی، توانست داده‌های آزمایشگاهی را خوب برازش دهد.

منحنی‌های MB در شکل ۳ (ب)، ارائه می‌شوند. مدل MB در معادله ۲، تعریف شد و فرضی که به کار می‌گیرد ثابت بودن پارامتر C برای هر عامل رشد می‌باشد. آنالیزهای ارائه شده در شکل ۳ (ب) (برای ۳ سطح نیتروژن) و شکل ۴ (برای تمام داده‌های آزمایشگاهی)، بیان می‌چرخد را درباره‌ی ثبات پارامتر C تأیید می‌کند و زمانی که مقدار

C، منحصر به فرد هر عامل رشد برای اثر ترکیبی شوری و نیتروژن استفاده شود، مدل MB، داده‌های آزمایشگاهی را خوب برازش می‌دهد. هم‌چنین با توجه به شکل ۳(ب)، مدل غیر خطی MB در سطوح ۰، ۱۱۴، ۱۳۷ و ۱۶۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، با ضرایب کارایی (R²)، به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۹، ۰/۹۷ و ۰/۹۳ توانست داده‌های آزمایشگاهی را برازش دهد.

با توجه به شکل ۴، هر دو مدل خطی و غیرخطی توانسته‌اند مقادیر عملکرد نسبی ماده خشک را به خوبی برآورد کنند. ضریب کارایی (R²) برازش داده‌ها در مدل خطی، ۰/۸۸ و در مدل غیرخطی، ۰/۹۳ می‌باشد. بررسی آماره‌های دیگر ارایه شده در جدول ۴، نشان از مزیت نسبی مدل MB نسبت به مدل LS در برآورد عملکرد نسبی ماده‌ی خشک دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

سیستم آب- خاک و گیاه بسیار پیچیده است و روابط متقابل زیادی در میان اجزای آن وجود دارد. در این تحقیق پاسخ ترکیبی گیاه به دامنه‌ای از شوری و نیتروژن با دو مدل ساده‌ی LS و MB، به خوبی تشریح شد. کم‌تر بودن مقادیر ME، RMSE و CRM هم‌چنین بیش‌تر بودن مقدار R² و EF مدل خطی LS در حالت b نسبت به حالت a، نشان از مزیت نسبی مدل LS_b نسبت به LS_a در برآورد عملکرد نسبی ماده‌ی خشک دارد. بدین ترتیب، مدل LS در حالت b دقیق‌تر و مناسب‌تر از حالت a، در برآورد عملکرد نسبی ماده خشک بوده و از کارایی بیش‌تری برخوردار می‌باشد.

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد با وجود این‌که عدم توافق مفهومی بین دو مدل LS و MB وجود دارد، لیکن هر دو مدل عملکردهای تخمینی تقریباً مشابهی ارائه می‌دهند. هم‌چنین با توجه به P-Value ارایه شده در جدول ۵ برای هر دو مدل خطی و غیر خطی، هر دو در سطحی فراتر از ۰/۰۱ معنی‌دار هستند این موضوع نشان می‌دهد که هر دو مدل می‌توانند به‌طوری موفقیت‌آمیز، برای برآورد عملکرد مورد استفاده قرار گیرند. لیکن، توجه به آماره‌های ارایه شده در جدول ۴، مقادیر ME و RMSE در مدل غیرخطی MB، کم‌تر و مقادیر R²، EF و CD در این مدل، بیش‌تر از آماره‌های مذکور در مدل خطی LS می‌باشد که نشان دهنده‌ی کارایی و دقت بیش‌تر مدل غیرخطی MB نسبت به مدل خطی LS در این آزمایش می‌باشد زیرا مبنای مدل MB،

تغییرهای پیوسته رفتار گیاه نسبت به عوامل رشد است، حال آن که مدل LS پاسخ گیاه به عوامل رشد را به صورت گسسته در نظر می گیرد.

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

P ppm	K ppm	T.N.V %	EC dS/m	PH	S.P %	O.C %	بافت	Clay %	Silt %	Sand %
۱۰/۴	۴۶۸	۱۳/۷۶	۵/۲	۷/۴	۲۷	۰/۷۹	لوم شنی	۱۴	۳۳	۵۳

جدول ۲- پارامترهای ورودی مدل های LS و MB

شماره معادله	Ncr Kg/ha	ECcr dS/m	ECm dS/m	N ₀ Kg/ha	S (b)	N (n)	C _N	C _{EC}
LSa	۱۶۰	۲	-	۸۰	۰/۰۹	۰/۰۰۳	-	-
LSb	۱۶۰	۲	-	۸۰	۰/۰۹	۰/۰۰۴	-	-
MB	-	-	۱۰/۸۹	۸۰	-	-	۰/۰۱۵	۰/۲۲

جدول ۳- نتایج ارزیابی کمی اعتبار مدل LS در دو حالت مختلف برای برآورد عملکرد نسبی ماده خشک

	R ²	ME	RMSE	CD	EF	CRM
LSa	۰/۷۱	۰/۴۲	۰/۲۰	۱/۱۲	۰/۳۹	۰/۲۸
LSb	۰/۸۸	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۰۴

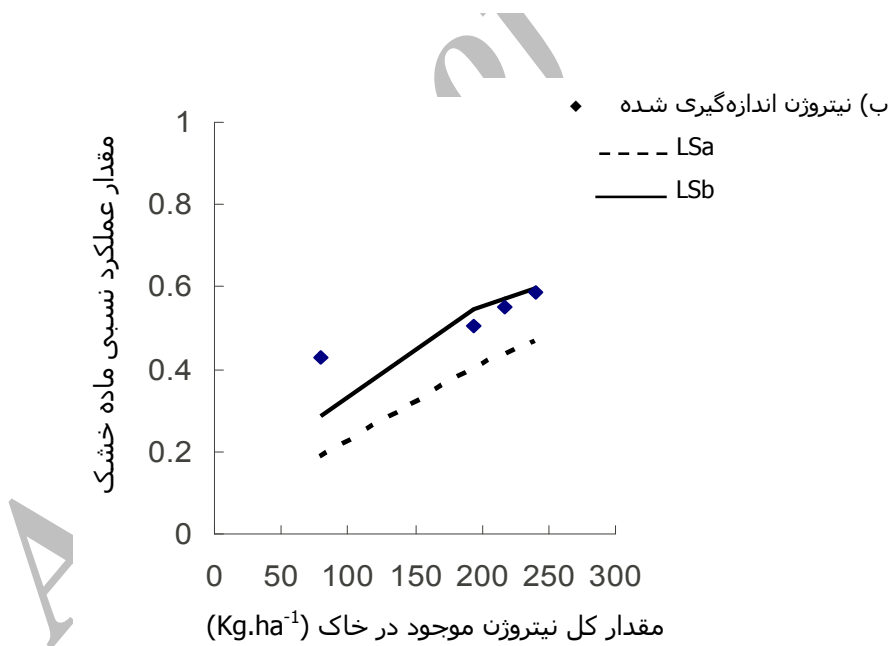
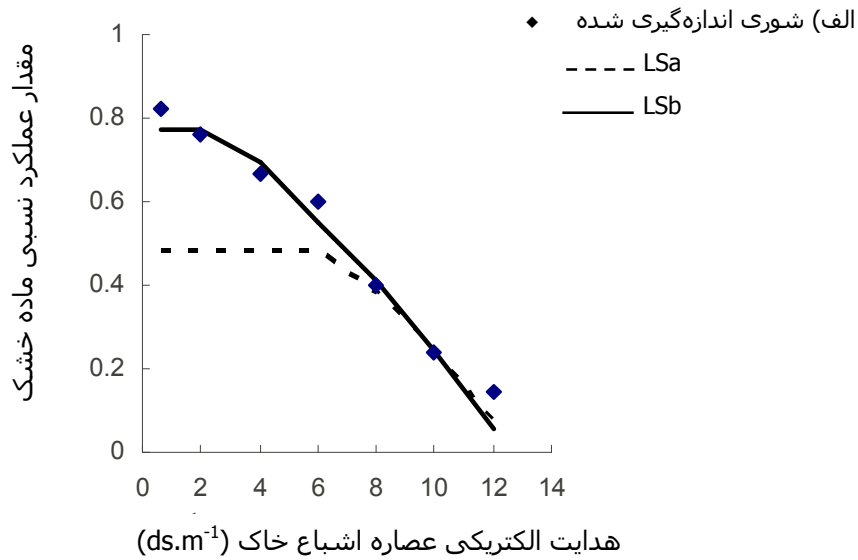
جدول ۴- نتایج ارزیابی کمی اعتبار مدل خطی LSb و غیر خطی MB، برای برآورد عملکرد نسبی ماده خشک

	R ²	ME	RMSE	CD	EF	CRM
LSb	۰/۸۸	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۰۴
MB	۰/۹۳	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۷۵	۰/۸۹	۰/۰۵

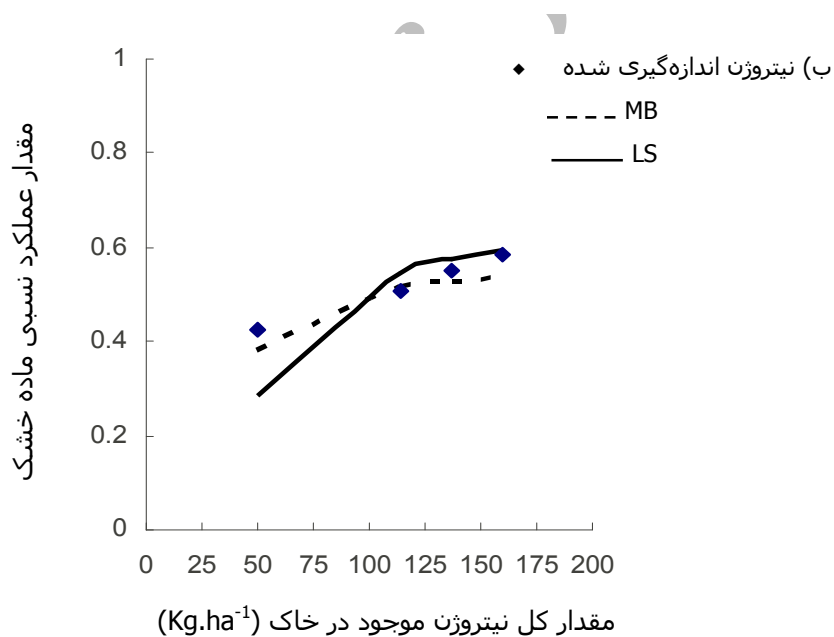
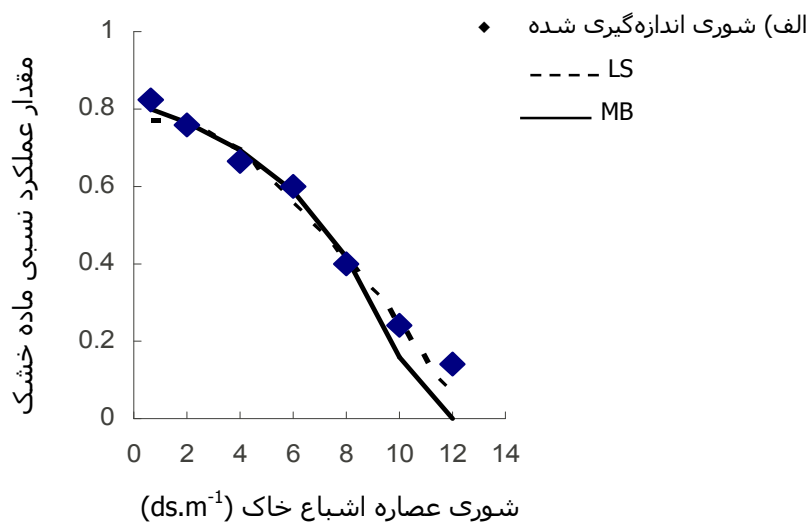
جدول ۵- نتایج ارزیابی کمی اعتبار مدل های خطی (LSa , LSb) و غیر خطی MB،

برای برآورد عملکرد نسبی ماده خشک بر اساس نرم افزار SPSS

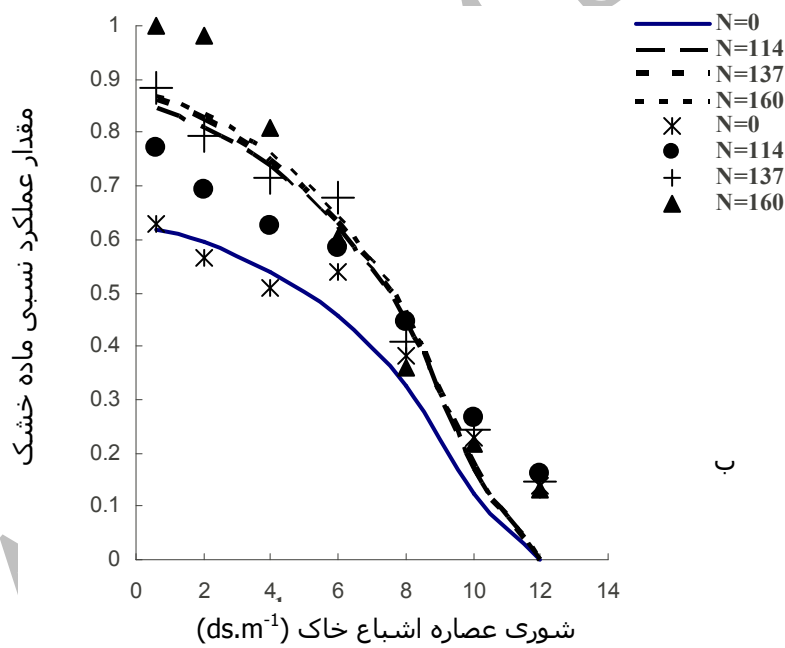
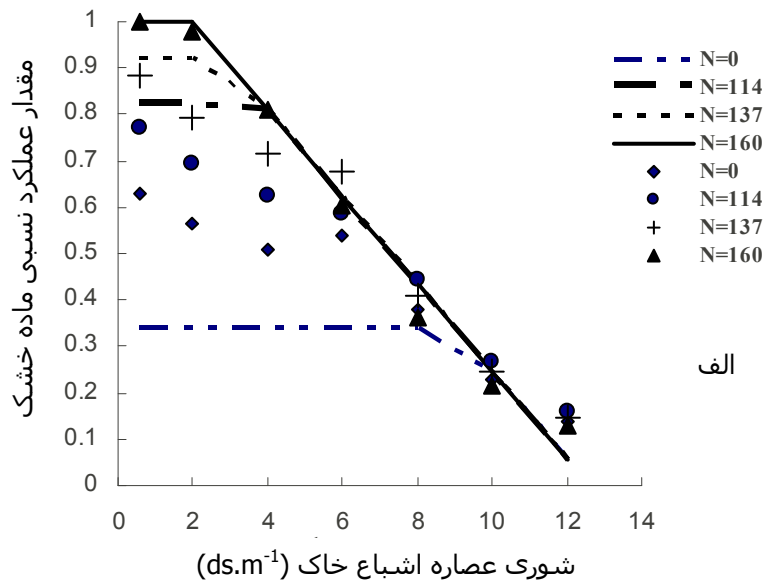
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df ₁	df ₂	Sig. F Change
LSa	۰/۸۴	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۱۴۶	۰/۷۱	۶۲/۴۳۱	۱	۲۶	۰/۰۰۰
LSb	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۰۹۱	۰/۸۸	۱۹۸/۷۸۶	۱	۲۶	۰/۰۰۰
MB	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۰۷۱	۰/۹۳	۳۵۰/۱۰۲	۱	۲۶	۰/۰۰۰



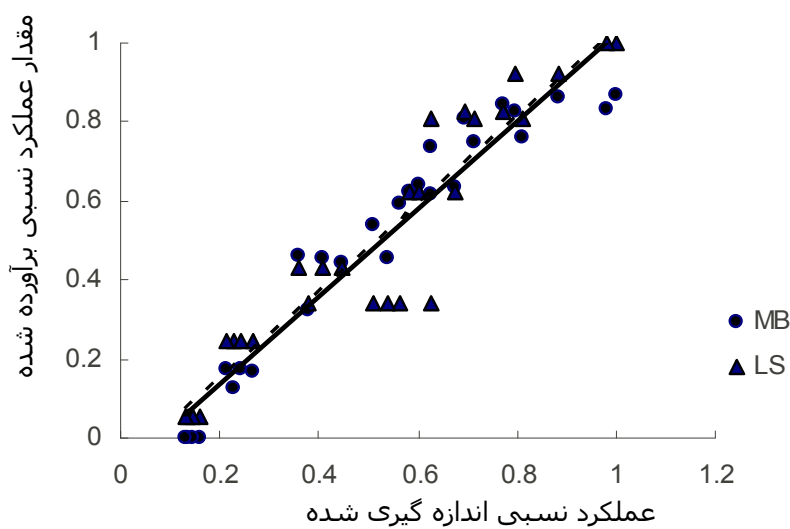
شکل ۱- مقدار عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل LS در دو حالت a و b (الف) در سطوح مختلف شوری عصاره اشباع خاک (ب) در سطوح مختلف نیتروژن خاک



شکل ۲- مقدار عملکرد نسبی اندازه گیری شده و برآورد شده توسط مدل خطی LS و مدل غیرخطی MB (الف) در سطوح مختلف شوری عصاره اشباع خاک (ب) در سطوح مختلف نیتروژن خاک



شکل ۳- پاسخ عملکرد نسبی گیاه به شوری در سطوح ۰، ۱۱۴، ۱۳۷ و ۱۶۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن کاربردی برای الف) مدل LS ب) مدل MB، که داده‌های آزمایشگاهی به صورت علائم و مدل‌ها به صورت خطوط نشان داده می‌شوند



شکل ۴- مقایسه عملکردهای نسبی اندازه گیری شده و برآورد شده (هر نقطه میانگین سه داده آزمایشگاهی است). خطوط، رگرسیون خطی را نشان می دهند) طبق مدل خطی LS و غیرخطی MB

منابع

فومن اجیرلو، ع.، ۱۳۸۰، بررسی و ارزیابی ناحیه‌ای ارقام و وارپته‌های سورگوم علوفه‌ای، انتشارات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.

Abdelgadir, E. M., Oka, M., and Fujiyama, H. 2005. Characteristics of nitrate uptake by plants under salinity. *J. Plant Nutr.* 28: 33- 46.

Bernstein, L., Francois, L. E., and Clark, R. A. 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yield of grains and vegetables. *Agron. J.* 66:412-421.

Black, C. A. 1993. *Soil Fertility Evaluation and Control*, First edition, 764p, Florida, Lewis publisher.

Cramer, M. D., Schierholt, A., Wang, Y. Z., and Lips, S. H. 1995. The influence of salinity on the utilization of root anaplerotic carbon and nitrogen metabolism in tomato seedlings. *J. Exp. Bot.* 46: 1569-1577.

Dirham, K., and Pilbeam, D. J. 2002. Effects of salinity on accumulation of mineral nutrients in wheat grown with nitrate-Nitrogen or mixed ammonium:nitrate-nitrogen. *J. Plant Nutr.* 25(10): 2091-2113.

Esechie, H. A., Al-Bahri, B., Al-Gheity, S., and Al-khanjari, S. 2002. Root and shoot growth in salinity-stressed alfalfa in response to nitrogen source. *J. Plant Nutr.* 25(11): 2559-2569.

Grattan, S. R., and Grieve, C. M. 1999. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*, Pessaraki, M.(ed.), 203-229, Newyork, Marel Dekker.

Grattan, S. R., and Grieve, C. M. 1994. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*, Pessaraki, M.(ed.), 203-226, Newyork, Marel Dekker.

- Homae, M., Dirksen, C., and Feddes, R. A.** 2002. Simulation of root water uptake. I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. *Agric. Wat. Manage.* 57:89-109.
- Hu, Y., Burucs, Z., and Schemidhalter, U.** 2008. Effect of foliar fertilization application on the growth and mineral nutrient content of maize seedlings under drought and salinity. *Soil. Sci. Plant Nutr. J.* 54(1): 133-141.
- Hu, Y., Oertli, J. J., and Schmidhalter, U.** 1997a. Interactive effects of salinity and macronutrient level on wheat. I. Growth. *J. Plant Nutr.* 20: 1155-1167.
- Hu, Y., and Schmidhalter, U.** 1997b. Interactive effects of salinity and macronutrient level on wheat. II. Composition. *J. Plant Nutr.* 20: 1169-1182.
- Irshad, M., honna, T., Eneji, A. E., and Yamamoto, S.** 2002a. Wheat response to nitrogen source under saline conditions. *J. Plant Nutr.* 25: 2603-2612.
- Irshad, M., Yamamoto, S., Eneji, A. E., Honna, T., and Endo, T.** 2002b. Urea and manure effect on growth and mineral contents of maize (*Zea mays* L.) under saline conditions. *J. Plant Nutr.* 25(1): 189-200.
- Kafkafi, U.** 1984. Plant nutrition under saline conditions. In: *Soil Salinity Under Irrigation*, Shainberg, I., and Shalhevet, J. (eds.), 318-336, Berlin Heidelberg Newyork Tokyo, Springer-Verlog.
- Lunin, J., and Gallatin, M. H.** 1965. Salinity-fertility interaction in relation to growth and composition of beans. I: Effect of N, P and K. *Agron. J.* 57: 339-342.
- Mass, E. V., and Grattan, S. R.** 1999. Crop yields as affected by salinity. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*, Pessarakli, M. (ed.), 55-108, Newyork, Marcel Dekker.

Speer, M., Brune, A., and Kaiser, W. M. 1994. Replacement of Nitrate by Ammonium as the Nitrogen Sources Increases the Salt Sensitivity of Pea Plants. I. Ion Concentration in Roots and Leaves. *Plant Cell Environ.* 17: 1215-1221.

Vanderploeg, W. B., and Kirkham, M. B. 1999. On the origin of the theory on mineral nutrition of plants and the law of the minimum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1055-1062.

Wallace, A. 1990. Crop improvement through multidisciplinary approach to different types of stresses – law of the maximum, *J. Plant Nutr.* 13:313-324.

Archive of SID