نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال سوم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۳

ISSN 2251-7480

مدل‌سازی پاسخ گیاه به تنش‌های شوری و کمبود ازت خاک**

آرزو اختری[۱]، مهدی همایی[۲]* و یعقوب حسینی[۳]

۱) دانشجوی دکتری؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ گروه خاکشناسی؛ تهران؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات : arezooakhtari@yahoo.com

۲) استاد؛ گروه خاک‌شناسی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ دانشکده کشاورزی؛ ۳۳۶-۱۴۱۱۵، تهران، ایران

۳) استادیار پژوهشی؛ مؤسسه تحقیقات خاک و آب؛ بندرعباس؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱

چکیده

بررسی اثرات متقابل شوری و عناصرغذایی اهمیتی فراوان در مدیریت بهینه منابع آب و خاک در مناطق خشک و نیمه خشک دارد. هدف از این پژوهش، مدل‌سازی واکنش گیاه کلزا (*Brassica napus L.*) به شوری به هنگام وجود کمبود نیتروژن بود. بدین منظور، مدل‌های مبنایی باروری خاک شامل لیبیگ- اسپرنگل (LS) و میچرلیخ- بال (MB) که تنها برای پاسخ گیاه به یک عامل محدودکننده غذایی پیشنهاد شده‌اند، به گونه‌ای اشتقاق یافتند که بتوان از آنها برای تنش‌های توأمان شوری و کمبود ازت استفاده کرد. به منظور دستیابی به داده‌های مورد نیاز و آزمون مدل‌های پیشنهادی، آزمایشی پنج سطح شوری آب آبیاری شامل آب غیرشور، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر و چهار سطح کود ازتی شامل ۰، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم ازت در کیلوگرم خاک در سه تکرار انجام شد. نتایج حاصل از خروجی مدل‌ها با استفاده از آماره‌های خطای بیشینه (ME)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (CD)، کارآیی مدل (EF) و ضریب خطای تجمعی (CRM) با یکدیگر مقایسه شدند. تجزیه و تحلیل این آماره‌ها نشان داد که مدل پیشنهادی LS برای برآورد عملکرد نسبی دانه در سطوح نیتروژن خاک نسبت به سایر مدل‌ها مناسب‌تر است. حال آنکه مدل پیشنهادی MB در سطوح شوری آب آبیاری و ترکیب سطوح شوری و نیتروژن توانست نسبت به دیگر مدل‌ها برآوردی بهتر ارائه دهد. بدین‌ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های پیشنهادی با دقتی مناسب قادر به پیش‌بینی اثرات متقابل شوری و کمبود نیتروژن می‌باشند.

کلید واژه‌ها: شوری؛ مدل‌سازی؛ نیتروژن

مقدمه

بهره‌وری بهینه از خاک‌های شور، اهمیت زیادی در حفاظت از منابع آب و خاک دارد. تنش شوری پس از کم‌آبی مهم‌ترین عامل کاهش تولید فرآورده‌های کشاورزی در سراسر جهان است. پهنه اراضی شور در جهان دقیقاً مشخص نیست، لیکن تا ۹۶۰ میلیون هکتار تخمین زده شده است. شوری خاک بر فرآیندهای رشد و نمو گیاهان اثری کاهنده دارد. با وجود پژوهش‌های گسترده‌ای که از چند دهه گذشته تاکنون در بسیاری از کشورها انجام شده، هنوز درک کاملی از مبانی بیوشیمیایی و

** برگرفته از رساله دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

Archive of SID

www.SID.ir

فیزیولوژیک مقاومت به شوری توسط گیاهان وجود ندارد (Munns *et al*., 2006). واکنش معمول گیاهان به افزایش غلظت املاح محلول در ناحیه رشد ریشه شامل اثر اسمزی، سمّیت ویژه یونی و عدم تعادل تغذیه‌ای می‌باشد (همایی، ۱۳۸۱؛ جلالی و همکاران، ۱۳۸۹). گیاهان زراعی، باغی و دارویی از نظر تحمّل نسبت به املاح محلول موجود در ناحیه رشد ریشه تا حد زیادی با هم متفاوتند. این تحمّل به عواملی همچون میزان تجمع یون‌ها در بافت، ممانعت از ورود برخی از یون‌ها به درون گیاه و قابلیت تولید ترکیبات سازگارکننده برای فرآیند تطبیق اسمزی بستگی دارد (Esmaeili *et al*., 2008). یکی از اثرات اصلی تنش شوری بر گیاهان بر هم خوردن تعادل تغذیه‌ای و اختلال در جذب عناصر غذایی است (Homaee and Schmidhalter, 2009). پژوهش‌ها نشان داده که شوری از جذب بسیاری از عناصر پر مصرف و کم مصرف در گیاهان می‌کاهد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸٤؛ حسینی و همکاران، ۱۳۸۷). در این بین نیتروژن یکی از عناصر پرمصرف بسیار ضروری است که کمبود آن باعث اختلال فراوان در رشد و نمو گیاهان می‌شود (Marschner, 1995). لیکن در خاک‌های شور، بنا به دلایلی چند کمبود ازت تشدید می‌شود (همایی، ۱۳۸۱). این عوامل شامل کمبود مواد آلی، عدم رشد ناکافی ریشه، رقابت یون‌های Cl^- و NO_3^- با یکدیگر برای جذب توسط ریشه، آبشویی یون NO_3^- از ناحیه رشد ریشه و نبود شرایط مناسب برای تشکیل غده‌های تثبیت کننده نیتروژن در بقولات در خاک‌های شور می‌باشند (همایی، ۱۳۸۱).

معمولاً در خاک‌های شور افزون برتنش شوری، کمبود نیتروژن نیز وجود دارد. بنابراین دانستن پاسخ گیاه به هریک از عوامل محدود کننده رشد و نیز اثر متقابل این عوامل ضروری است (جلالی و همکاران،). بدیهی است چنانچه چگونگی پاسخ گیاه به تنش‌های هم‌زمان شوری و کمبود نیتروژن مشخص نباشد، ممکن است کاربرد نامناسب نیتروژن باعث کاهش عملکرد و یا آلوده شدن آب‌های زیرزمینی به نیترات شود (حسینی و همکاران، ۱۳۸۷).

Massa و همکاران (۲۰۰۹) اثر محیط شور ریشه را بر جذب نیترات و پتاسیم گیاه رُز مورد ارزیابی دادند. یافته‌های آنان نشان داد که جذب نیترات توسط گیاه به گونه‌ای منفی تحت تأثیر غلظت NaCl قرار می‌گیرد. با این حال، جذب K^+ تحت تأثیر غلظت شوری قرار نگرفت. Jun-Feng و همکاران (۲۰۱۰) اثرات شوری و NO_3^- را بر رشد، مورفولوژی ریشه و جذب نیتروژن یک گیاه نمک‌دوست (*suaeda physophora*) مورد بررسی قرار دادند. اضافه کردن ۱۰ میلی‌مول بر لیتر NO_3^- به گونه‌ای معنی‌دار رشد ساقه و ریشه را بهبود داد و تأثیر NO_3^- به جز در غلظت زیاد NaCl در وزن خشک ریشه چشمگیر نبود. برخی از پژوهشگران رقابت بین یون‌های Cl^- و NO_3^- برای جذب توسط گیاه را بررسی کرده‌اند (Xu *et al*., 2000). رقابت بین این دو یون به پتانسیل منفی سلول‌های ریشه و بار منفی این دو یون (Cl^- و NO_3^-) و جذب آنها از طریق سیستم‌های ناقل یکسان نسبت داده شده است (Pope and Leigh., 1990). بنابراین به هنگام وجود شوری، در شرایط شور، جذب نیتروژن کاهش و سپس رشد گیاه نیز کاهش می‌یابد. بدین ترتیب با افزایش ازت نیتراتی، جذب یون کلر کاهش و از اثرات زیان بار شوری کاسته می‌شود.

در پژوهشی Siddiqui و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند تحت شرایط تنش شوری، کاربرد نیتروژن باعث بهبود معنی‌داری در دو نوع ژنوتیپ در رابطه با صفات رشد مانند وزن خشک، پارامترهای فیزیکوبیوشیمیایی و ویژگی‌های عملکرد می‌شود. ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری، ماکزیمم عملکرد در رشد و خصوصیات فیزیکوبیوشیمیایی را در ٦۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن نسبت به ژنوتیپ حساس به شوری نشان دادند.

Archive of SID

www.SID.ir

Ramos و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر استفاده ترکیبی آب شور و کود نیتروژنی را بر روی گیاه سورگوم طی آزمایشی مورد بررسی قرار داده و بازده نزولی زیست توده خشک و عملکرد قند بر اثر تغییرات افزاینده نیتروژن را گزارش کردند. همچنین، استفاده از آب آبیاری شور باعث کاهش عملکرد گیاه گردید. از دیگر یافته‌های این پژوهش آن بود که افزایش جزء آبشویی باعث کاهش تنش شوری، افزایش تعرّق، جذب نیتروژن و عملکرد زیست توده می‌گردد.

بدلیل گستردگی خاک‌ها و آب‌های شور در جهان پژوهش‌های پرشماری درباره جنبه‌های مختلف شوری با دیدگاههای متفاوت بوسیله پژوهشگران انجام شده است. برخی از این پژوهش‌ها، به اصلاح این خاک‌ها و شوری زدایی از آنها به منظور ایجاد بستر مناسبی برای رشد گیاه پرداخته‌اند (پذیرا و همایی، ۱۳۸۵؛ اسدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Asadi *et al.,* 2013). در برخی دیگر از این پژوهش‌ها، واکنش گیاهان به شوری یا طی کل دوره رشد و یا در مراحل مختلف رشد مورد بررسی قرار گرفته است (جلالی و همکاران ۱۳۸٦ الف، ب؛ ۱۳۸۷؛ ۱۳۸۸؛ سعادت و همکاران، ۱۳۸٤). برخی از پژوهشگران نیز موضوع شوری و سطوح مختلف آب کاربردی را مورد مطالعه قرار داده‌اند (کیانی و همکاران ۱۳۸۲؛ ۱۳۸۳؛ ۱۳۸٤ الف، ب، ج). عده‌ای دیگر از پژوهشگران نیز واکنش گیاهان به شوری را به صورت یک جزء از اجزای معادله عمومی جریان آب در خاک غیراشباع از دیدگاه مدل‌سازی مورد مطالعه قرار داده‌اند (Homaee and Schmidhalter, 2008., Homaee *et al.,* 2002a, b, c, d).

مطالعات مربوط به واکنش گیاهان به سطوح مختلف عناصر غذایی به ویژه نیتروژن در شرایط متغیر رطوبتی نیز بطوری گسترده مورد توجه پژوهشگران بوده است (همایی، ۱۳۸۱). در سال‌های اخیر به دلیل زیاده روی در مصرف کودهای ازتی و اثرات زیان بار زیست‌محیطی ناشی از آن، موضوع آبشویی نیترات و پیوستن آن به آب‌های زیرزمینی و یا آب‌های سطحی بوسیله پژوهشگران زیادی مورد کنکاش قرار گرفته است (قیصری و همکاران، ۱۳۸۵). در برخی پژوهش‌ها نیز شیوه بهینه کوددهی مورد بررسی قرار گرفته است (واعظی و همکاران، ۱۳۸۱؛ کریمی و همکاران ۱۳۸٤، ۱۳۸۵، ۱۳۸٦ الف و ب). به رغم انجام چنین پژوهش‌های پرشماری، متاسفانه بدلیل پیچیدگی‌های موجود در سیستم‌های آب- خاک- گیاه- نیوار و اثرات دینامیک هر یک از اجزای سیستم بر دیگر اجزای آن، مطالعات کمّی در این زمینه اندک است. در مطالعه‌ای که بر روی اثرات متقابل شوری و سطوح مختلف کود ازتی بر گیاه سورگوم صورت گرفت، اسماعیلی و همکاران (۱۳۸٤) دریافتند که افزودن کود ازتی به خاک‌های دارای شوری کم تا متوسط باعث بهبود عملکرد گیاه می‌شود، لیکن در این پژوهش هیچ‌گونه رابطه کمّی برای تخمین مقدار عملکرد در شرایط دیگر ارائه نشده است (Esmaeili *et al.,* 2008). حسینی و همکاران (۱۳۸۷) در یک مطالعه کمّی، اثرات متقابل شوری و کمبود عناصرغذایی را بر مبنای مدل خطی شوری و توابع خطی-غیرخطی مربوط به سطوح مختلف عناصرغذایی به صورت یک مدل تعیینی ارائه کردند (Hosseini *et al.,* 2009). این پژوهشگران نشان دادند که امکان ایجاد مدلی تلفیقی برای بررسی اثرات متقابل شوری و کمبود هر یک از عناصر غذایی پرمصرف به صورت کمّی وجود دارد. هرچند که در این پژوهش، اعتبارسنجی مدل پیشنهادی آنان با موفقیت انجام شده و نتایج حاصل از خروجی مدل تخمین‌های قابل قبولی ارائه کرده است، لیکن در این مدل پاسخ گیاه به شوری به صورت تابعی خطی در نظر گرفته شده است. حال آنکه پژوهش‌های متعدد نشان داده که برای بیشتر گیاهان، پاسخ گیاه به سطوح مختلف شوری غیرخطی است (سعادت و همکاران، ۱۳۸٤؛ اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸٤؛ Homaee *et al.,* 2002b؛ Homaee and Schmidhalter, 2008). بدین ترتیب، مدل‌سازی اثرات متقابل شوری و سطوح

Archive of SID

www.SID.ir

مختلف عناصر غذایی بر مبنای غیرخطی بودن پاسخ گیاه به شوری می‌تواند با دقتی بیشتر فرآیند یاد شده را تخمین بزند، بنابراین هدف از انجام این پژوهش، ارائه و اعتبارسنجی مدلی تعیینی برای تخمین پاسخ گیاه به اثرات متقابل شوری-عناصرغذایی بر مبنای پاسخ غیرخطی گیاه به شوری بود. به منظور مدل‌سازی، عنصرغذایی مورد نظر، نیتروژن گرفته شد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌های پیشنهادی، آزمایشی شامل پنج سطح آب شور (آب غیرشور، ۳، ٦، ۹ و ۱۲ دسی زیمنس برمتر) و چهار سطح نیتروژن (۰، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منبع نیترات آمونیوم) به اجرا درآمد. آزمایش در سه تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. خاک مورد نیاز (Coarse-loamy, mixed thermic, calcic Haplosalids)، با بافتی لوم شنی از افق سطحی (۳۰cm-۰) مزارع قمرود واقع در استان قم تهیه شد. دلیل انتخاب این بافت آن بود که به هنگام اعمال جزء آبشویی (LF) نسبتاً زیاد (LF=۰/۵) شوری نیمرخ خاک تا حد امکان یکنواخت شود. آب شور به منظور اعمال تیمارهای شوری از دریاچه حوض سلطان استان قم تهیه گردید. بیشتر پژوهش‌ها برای انجام آزمایش‌های مورد نظر از آب شور مصنوعی که عموماً NaCl و یا ترکیبی از $NaCl+CaCl_2$ است استفاده می‌شود بنابراین اثر منفی سمّیت برخی از عناصر و نیز اثر کاهنده آنها بر فراهمی دیگر عناصر غذایی در نظر گرفته نمی‌شود. بدیهی است که این موضوع با شرایط واقعی منابع آب و خاک شور تطابق ندارد. به همین دلیل در این پژوهش، از آب شور طبیعی دریاچه حوض سلطان قم استفاده گردید.

برای انجام این آزمایش، گلدان‌های ۱۰ لیتری تهیه و کف آنها با مته سوراخ شد. پس از آماده‌سازی گلدان‌های آزمایشی، ۸ کیلوگرم خاک خشک وزن و در کیسه‌های پلاستیکی بزرگ ریخته شد. سپس، مقادیر مناسب عناصر غذایی ضروری بر اساس توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب برای کلزا، به صورت محلول و با توجه به ظرفیت زراعی (FC) خاک مورد آزمایش به خاک درون کیسه‌ها اضافه شد (خادمی و همکاران، ۱۳۷۹). در این مرحله فقط $\frac{۱}{۱۰}$ مقادیر محاسبه شده تیمارهای نیتروژن به خاک اضافه شد. ۹ نوبت دیگر آن هر ۱۰ روز یکبار از طریق آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شد. دلیل تعداد زیاد تقسیط نیتروژن‌دهی، تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه با توجه به اعمال جزء آبشویی بود. همچنین مقادیر پتاسیم نیز در سه نوبت مساوی در طول دوره آزمایش به گلدان‌ها اضافه شد. پس از افزودن عناصرغذایی به خاک درون کیسه‌ها و رسیدن رطوبت خاک به حد FC، خاک درون کیسه‌ها به هم زده و سعی شد تا عمل مخلوط شدن خاک با عناصرغذایی اضافه شده به طور کامل انجام پذیرد. سپس خاک‌ها با چگالی ظاهری یکسان (۱/۳ تن در مترمکعب) در گلدان‌ها قرار داده شد. ده عدد بذر کلزا (*Brassica napus L.*) رقم Hyola 401 در هر گلدان کاشته شد. همه گلدان‌ها در دو هفته اول استقرار گیاهچه‌ها و تا رسیدن به مرحله ۲ و ۳ برگی با آب غیرشور ($EC=۰/۳dSm^{-1}$) آبیاری شدند (با توجه به حساس بودن گیاهچه‌ها به شوری، در صورتی که تیمارهای شوری از همان ابتدای کاشت بذر اعمال می‌گردید، تلف می‌شدند). پس از این مرحله تعداد گیاهان هر گلدان به ۲ عدد کاهش یافت. برای کاهش تبخیر، سطح خاک هر گلدان با ٤۰۰ گرم سنگریزه پوشانیده شد. به منظور اعمال تیمارهای شوری، ابتدا آب شور منتقل شده به گلخانه، متناسب با هر تیمار آب شور رقیق گردید. سپس، آبیاری گلدان‌ها با استفاده از آب شور مربوطه و تا رسیدن به FC با رعایت جزء آبشویی مناسب انجام گردید. طی آزمایش، حجم و EC زه‌آب به طور پیوسته اندازه‌گیری می‌شد تا از صحت اعمال LF=۰/۵ اطمینان حاصل شود. در طول دوره انجام

Archive of SID

www.SID.ir

آزمایش مراقبت‌های لازم (کنترل دمای گلخانه، سم‌پاشی بر علیه آفات مانند شته و آبیاری به موقع) به عمل آمد. پس از رسیدن غلاف‌ها، آنها را از بوته جدا کرده و در پاکت مقوایی قرار داده شدند. مرحله برداشت غلاف‌ها، با توجه به رسیدن تدریجی غلاف‌ها و برای جلوگیری از باز شدن آنها و ریزش دانه، به تدریج انجام گرفت و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه دانه‌های کلزا از غلاف آنها جدا و وزن شدند. عناصر نیتروژن و کلر دانه‌های کلزا به ترتیب با روش کجلدال و دستگاه کلرسنج اندازه‌گیری شدند (امامی، ۱۳۷۵).

مدل‌سازی با بهره‌گیری از نرم افزار Curve Expert نسخه ۱/۳۸ انجام شد. به منظورارزیابی کمّی اثر شوری و نیتروژن بر عملکرد گیاه، عملکرد نسبی با استفاده از مدل‌های پیشنهادی محاسبه شد. عملکرد نسبی برآورد شده توسط مدل‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده در مقابل سطوح مختلف شوری و عنصرغذایی و یا ترکیبی از شوری و هریک از عناصر غذایی رسم و مدل‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. مقایسه کمّی مدل‌ها نیز با استفاده از آماره‌های خطای بیشینه (ME، Maximum Error)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE، Root Mean Square Error)، ضریب تبیین (CD، Coefficient of Determination)، کارایی مدل (EF، Modeling Efficiency) و ضریب جرم باقی‌مانده (CRM، Coefficient of Residual Mass) برای هر کدام از مدل‌ها انجام شد (نوری و همکاران، ۱۳۹۲ الف و ب؛ اسکندری و همکاران، ۱۳۹۱؛ Homaee *et al*., 2002b). بیان ریاضی این آماره‌ها به صورت زیر است:

$$ME = \max\left|P_i - O_i\right|_{i=1}^{n} \quad (۱)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)}{n}\right]^{\frac{1}{2}} \frac{100}{\bar{O}} \quad (۲)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \quad (۳)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \quad (٤)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n}O_i - \sum_{i=1}^{n}P_i}{\sum_{i=1}^{n}O_i} \quad (۵)$$

که در آنها P_i و O_i به ترتیب مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه و $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است. حد پایینی ME ، RMSE و CD صفر و بیشترین مقدار EF یک است. EF و CRM می‌توانند منفی باشند. مقدار ME نشان دهنده ناکارآمدی مدل است، در حالی که مقدار RMSE نشان دهنده میزان کم‌برآوردی یا بیش‌برآوردی مدل است. آماره CD نسبت پراکنش مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده را نشان

Archive of SID

www.SID.ir

می‌دهد. EF مقادیر برآورد شده را با میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد بهتری نسبت به مقادیر برآورد شده می‌دهد. CRM، شاخصی برای سنجش تمایل مدل به بیش‌برآوردی و یا کم‌برآوردی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است. CRM منفی بیانگر بیش‌برآوردی مدل است. اگر همه داده‌های برآورد شده و اندازه‌گیری شده یکسان باشند، EF و CD برابر یک و CRM، ME و RMSE برابر صفر می‌باشند (Zarei *et al.*, 2011).

مبنای نظری مدل پیشنهادی

مدل‌های چندانی برای بیان کمّی پاسخ گیاه به کمبود عناصرغذایی توسط پژوهشگران ارائه نشده است. این مدل‌ها عمدتاً به مدل‌های لیبیگ-اسپرنگل (LS) و میچرلیخ-بال (MB) محدود می‌شوند. اساس مدل LS بر این پایه استوار است که در هر زمان، یک عامل رشد که محدودکننده‌ترین آنهاست، مقدار عملکرد را تعیین می‌کند و پاسخ گیاه به این عامل رشد خطی است:

$$y_r = \min \begin{cases} \begin{cases} 1 & ; \ x < x_{cr} \\ a - b \ . x & ; \ x \geq x_{cr} \end{cases} \\ \begin{cases} m - n \ . z & ; \ z \geq z_{cr} \\ 1 & ; \ z < z_{cr} \end{cases} \end{cases} \qquad (۶)$$

که در آن x و z عامل‌های تنش، a و b به ترتیب عرض از مبدأ و شیب تابع پاسخ عملکرد به عامل x، m و n به ترتیب عرض از مبدأ و شیب تابع پاسخ عملکرد به عامل z، x_{cr} حد آستانهٔ گیاه به عامل تنش‌زای x و z_{cr} حد آستانهٔ گیاه به عامل z می‌باشد. عبارت min در حقیقت مفهوم قانون حداقل را بیان می‌کند و y_r عملکرد نسبی گیاه است. اکنون چنانچه این مدل برای تنش‌های هم‌زمان یک عنصرغذایی مانند نیتروژن و شوری تغییر یابد، خواهیم داشت:

$$y_r = \min \begin{cases} \begin{cases} 1 & ; \ EC < EC_{cr} \\ 1/1 + (EC / EC_{50})^p & ; \ EC \geq EC_{cr} \end{cases} \\ \begin{cases} n \cdot (N_0 + N_S) & ; \ N < N_{cr} \\ 1 & ; \ N \geq N_{cr} \end{cases} \end{cases} \qquad (۷)$$

که در آن، EC_{50} مقدار شوری است که در آن عملکرد به اندازه ۵۰٪ کاهش می‌یابد، و p نیز ضریبی تجربی است که وابسته به گیاه، خاک و اقلیم است (Homaee and Feddes, 2002).

در مدل MB پاسخ گیاه به افزودن عناصر غذایی از قانون بازده نزولی پیروی می‌کند. این مدل بر این فرض استوار است که پاسخ گیاه به یک عنصر غذایی، با افزایش متوالی و مساوی آن عنصر به خاک، کاهش می‌یابد. بیان ریاضی این مدل به صورت زیر است (Black, 1992):

$$y = y_{\max} \ (1 - e^{-c_1 x_1}) \ (1 - e^{-c_2 x_2}) \ ... \ (1 - e^{-c_n x_n}) \qquad (۸)$$

که در آن x_1، x_2، ...، x_n مقادیر عوامل گوناگون رشد، c_1، c_2، ...، c_n فاکتور کارآیی عامل رشد مربوطه، y عملکرد و y_{max} عملکرد بیشینه می‌باشد. حال چنانچه چند عامل رشد را با هم در نظر بگیریم، این عوامل رشد به طور هم‌زمان رشد گیاه را تحت تأثیر قرار داده و به صورت تجمعی عمل می‌کنند. بدین ترتیب، مدل MB را

Archive of SID

www.SID.ir

بافرض خطی بودن پاسخ گیاه به شوری، برای تنش‌های توأم شوری و کمبود نیتروژن می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$y_r = \frac{y}{y_{max}} = (1-e^{-c_N N}) \cdot (1/1+(EC/EC_{50})^P) \qquad (۹)$$
$$N = N_0 + N_S$$

که در آن N_0 مقدار اولیه ازت موجود در خاک و N_S مقدار نیتروژن کاربردی است.

از ترکیب دو معادله LS و MB، هنگامی که مبنای ترکیب، قانون حداقل باشد، معادله زیربدست می‌آید:

$$y_r = \min\begin{cases} \min\begin{cases} \begin{cases} 1 & ; \ x < x_{cr} \\ a-b\cdot x & ; \ x \geq x_{cr} \end{cases} \\ \begin{cases} m-n\cdot z & ; \ z \geq z_{cr} \\ 1 & ; \ z < z_{cr} \end{cases} \end{cases} \\ (1-e^{c_1 x_1}) \cdot (1-e^{c_2 x_2}) \end{cases} \qquad (۱۰)$$

بدین ترتیب مدل LS-MB را با فرض خطی یا غیرخطی بودن پاسخ گیاه، برای تنش‌های توأمان شوری و کمبود نیتروژن می‌توان به صورت زیر نوشت: بیشتر پژوهش‌های انجام شده توسط دیگر پژوهشگران، پاسخ گیاه به شوری و کمبود نیتروژن را به صورت کیفی بررسی کرده‌اند. از دیگر سو، خود مدل‌های LS و MB تنها برای شرایطی که عوامل مؤثر بر رشد گیاه، فقط عناصر غذایی بوده‌اند مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بدین ترتیب، هدف از انجام این پژوهش کمّی سازی پاسخ گیاه به تنش‌های توأمان شوری و کمبود نیتروژن بصورت یک مدل تعیینی[1] بود.

$$y_r = \min\begin{cases} \min\begin{cases} \begin{cases} 1 & ; \ EC < EC_{cr} \\ 1/1+(EC/EC_{50})^P & ; \ EC \geq EC_{cr} \end{cases} \\ \begin{cases} n\cdot(N_0+N_S) & ; \ N < N_{cr} \\ 1 & ; \ N \geq N_{cr} \end{cases} \end{cases} \\ (1-e^{-c_N N}) \cdot (1/1+(EC/EC_{50})^P) \end{cases} \qquad (۱۱)$$

نتایج و بحث

مقایسه تغییرات عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده دانه گیاه کلزا به عنوان تابعی از سطوح شوری و نیتروژن کل خاک و نتایج حاصل از برازش مدل‌های پیشنهادی (رابطه‌های ۲، ٤ و٦) در شکل‌های ۱و ۲ ارائه شده است. همچنین، مقادیر پارامترهای مختلف این مدل‌ها با روش بهینه‌سازی حداقل مجموع مربعات خطا برآورد شده که نتایج مربوطه در جدول ۱ ارائه شده است.

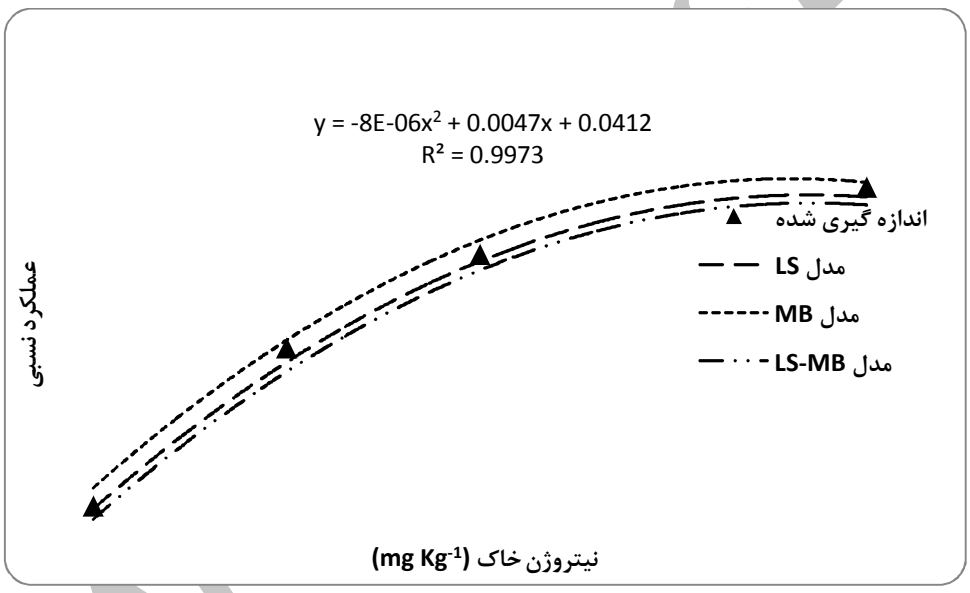
[1] Deterministic model

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. پارامترهای محاسبه شده مدلهای پیشنهادی LS ، MB و LS- MB با روش بهینه سازی حداقل مجموع مربعات خطا

پارامتر	مقدار	واحد
	مدلهای LS-VG, LS-VG-MB-VG	
EC_{50}	۱۰	dS/m
P	۱/۷	–
n	۰/۰۰۳٤	تغییرعملکرد نسبی به ازای هر mg/Kg نیتروژن
	مدلهای MB-VG, LS-VG-MB-VG	
EC_{50}	۱۰	dS/m
P	۲/۵	–
C_N	۰/۰۱۱۷۵	Kg /mg



شکل ۱. رابطه عملکرد نسبی دانه کلزا (اندازه‌گیری شده و برآورد شده بوسیله مدل‌های پیشنهادی ۲، ٤ و ٦) با غلظت نیتروژن کل در خاک

جدول۲. نتایج ارزیابی کمّی اعتبار معادلات ۲، ٤ و ٦ در برآورد عملکرد نسبی دانه کلزا در سطوح مختلف نیتروژن خاک

مدل‌ها	RMSE	CD	EF	ME	CRM	R^2
LS	۱۷/۲۸	۰/۸٤	۰/۸۵	۰/۱۱	۰/۱٦	۰/۹۹
MB	٤۵/۱٤	۰/٤۹	–۰/۲۱	۰/۵۰	–۰/۰۱۳	۰/۹۸
LS-MB	٤۸/۰۷	۰/٤۱	–۰/۳۷	۰/۵۰	۰/۱۸	۰/۹۸

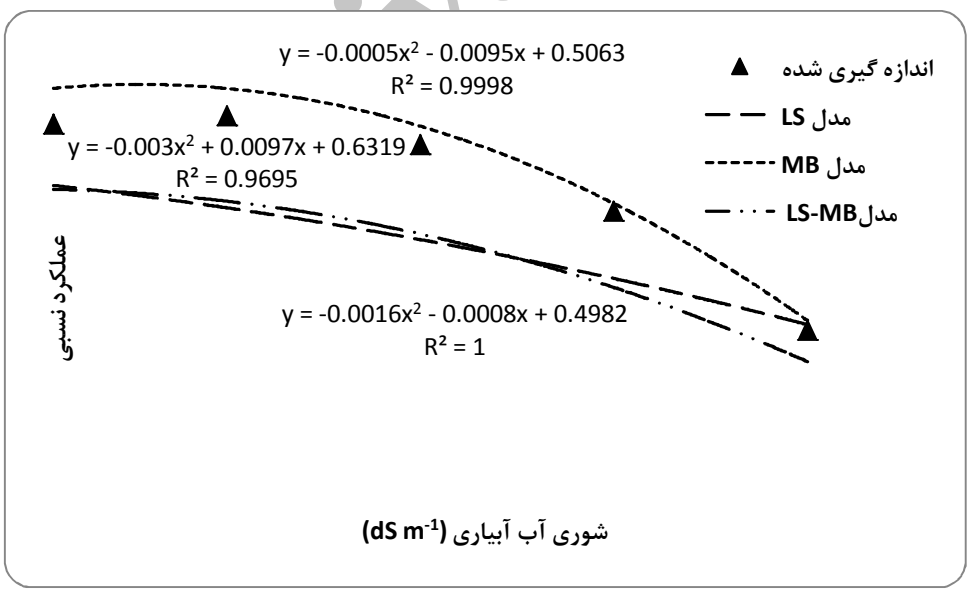
طبق شکل ۱ برآورد مدل‌های پیشنهادی LS، MB و LS-MB در سطوح مختلف نیتروژن خاک بر داده‌های اندازه‌گیری شده عملکرد نسبی دانه کلزا سازگاری بالا و نسبتا یکسانی نشان می‌دهند، لیکن به علت شباهت بین این مدل‌های پیشنهادی تمایز کارایی آنها از یکدیگر به صورت ترسیمی تقریبا غیرممکن است. بنابراین، برای

www.SID.ir

ارزیابی اعتبار این مدل‌های پیشنهادی و گزینش مناسب‌ترین آنها، از آماره‌های EF، RMSE، ME، CD، CRM و R2 استفاده شد. نتایج مربوط به ارزیابی کمّی اعتبار مدل‌های پیشنهاد شده در برآورد عملکرد نسبی دانه در سطوح مختلف نیتروژن خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

براساس نتایج حاصل از جدول ۲ در سطوح مختلف نیتروژن خاک، تغییرات عملکرد نسبی دانه کلزا با مدل پیشنهادی LS بهتر از دیگر مدل‌های پیشنهادی قابل تبیین است. زیرا افزون بر ضریب کارایی بیشتر، مقادیر ME و RMSE این مدل کمتر می‌باشد، ضمن اینکه مقدار R^2 آن نیز بالاتر می‌باشد (هرچند اختلاف ناچیزی دارند). از آنجا که مقدار CRM مدل‌های پیشنهادی LS و LS-MB مثبت و مدل پیشنهادی MB منفی بوده، برآورد عملکرد نسبی دانه بوسیله مدل‌های پیشنهادی LS و LS-MB دارای کم‌برآورد و بوسیله مدل پیشنهادی MB دارای بیش‌برآورد است. همچنین، CD مدل LS به یک نزدیک‌تر است. بنابراین بر پایه نتایج بدست آمده، برای کمّی کردن روند تغییرات عملکرد نسبی دانه در سطوح مختلف نیتروژن خاک، معادله ۲ بر دیگر مدل‌ها برتری دارد.

درجدول ۳ نتایج مربوط به ارزیابی کمّی اعتبار مدل‌های پیشنهادی در برآورد عملکرد نسبی دانه در سطوح مختلف شوری خاک ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از برآورد عملکرد در سطوح مختلف شوری خاک، اختلاف مقادیر R^2 بین مدل‌های پیشنهادی LS، MB و LS-MB نشان می‌دهد که مدل LS-MB، مدل خوبی در برازش داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد، لیکن هنگامی که دیگر آماره‌های سه مدل پیشنهادی با هم مقایسه شوند، برتری مدل پیشنهادی MB در پیش‌بینی عملکرد نسبی دانه کلزا در سطوح مختلف شوری مشخص می‌شود.



شکل۲. رابطه عملکرد نسبی دانه کلزا (اندازه‌گیری شده و برآورد شده بوسیله مدل‌های پیشنهادی ۲، ٤ و ٦) با سطوح مختلف شوری آب آبیاری

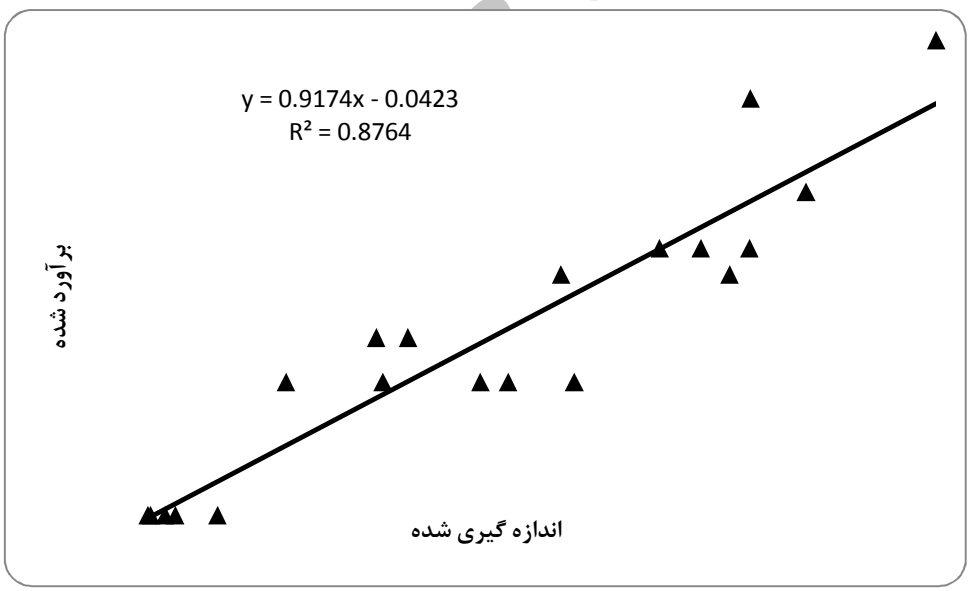
www.SID.ir

جدول۳. نتایج ارزیابی کمّی اعتبار معادلات ۲، ٤ و ٦ در برآورد عملکرد نسبی دانه کلزا در سطوح مختلف شوری خاک

مدل‌ها	RMSE	CD	EF	ME	CRM	R^2
LS	۱۹/۳۰	۱	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۱٦	۰/۹۰
MB	۱۳/۳٦	۰/٤٥	۰/٦۰	۰/۱۰	−۰/۰۱۳	۰/۹۱
LS-MB	۱۹/٥۰	۰/۷۲	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۹۹

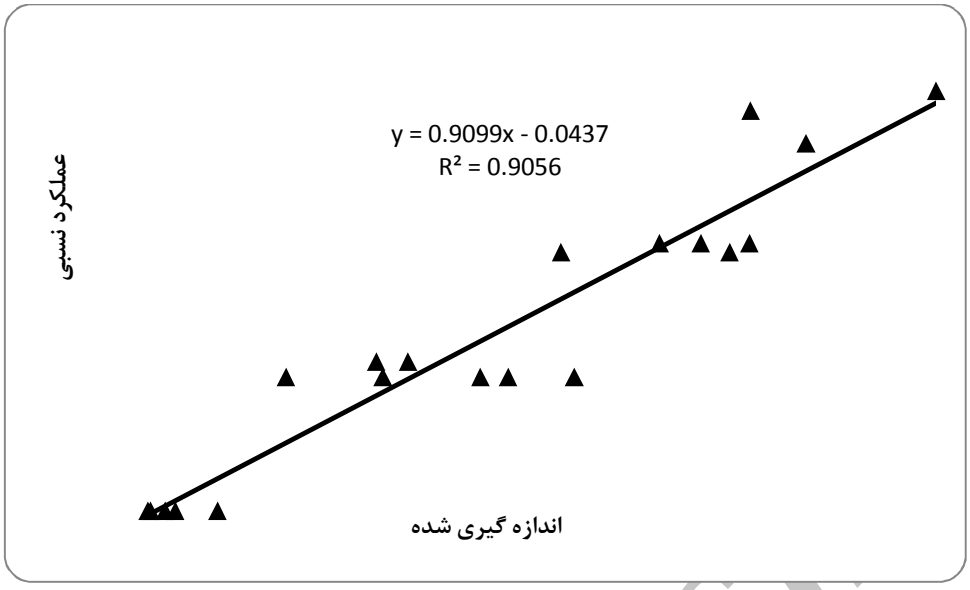
مقادیر ME و RMSE در مدل پیشنهادی MB کمتر و مقادیر EF آن بیشتر از این مقادیر در مدل‌های LS و LS-MB است، که نشان دهنده کارایی و دقت بیشتر مدل پیشنهادی MB نسبت به مدل‌های دیگر در این آزمایش می‌باشد. CD مدل LS به یک نزدیک‌تر است. مثبت بودن CRM در مدل‌های LS و LS-MB و منفی بودن آن در مدل MB، نشان می‌دهد که مقادیر عملکرد نسبی دانه برآورد شده در سطوح مختلف شوری خاک توسط مدل‌های پیشنهادی LS و LS-MB کمتر و توسط مدل پیشنهادی MB بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد که به خوبی در شکل ۲ نشان داده شده است.

در شکل‌های ۳، ٤ و ٥ به ترتیب، مقادیر برآورد شده عملکرد نسبی دانه کلزا در ترکیب سطوح شوری و نیتروژن که با استفاده از رابطه‌های (۲)، (٤) و (٦) بدست آمده است در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده آنها ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد رابطه MB در شکل ٤ برآوردهایی قابل قبول‌تر از عملکرد نسبی دانه در کل سطوح ترکیب شوری و نیتروژن در خاک دارد (R^2=۰/۹).

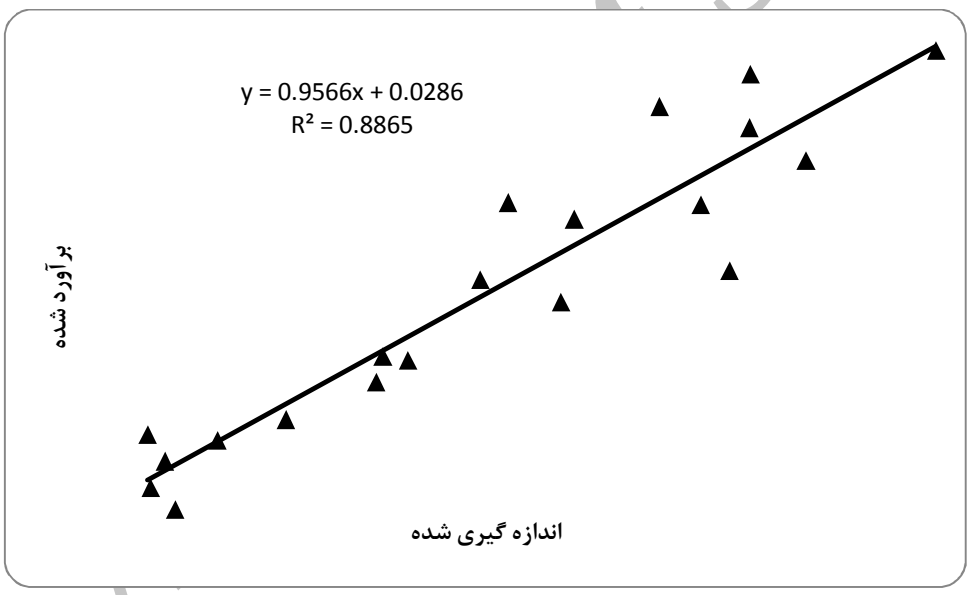


شکل۳. مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد نسبی دانه کلزا در برابر مقادیر برآورد شده آنها به وسیله مدل پیشنهادی LS

www.SID.ir



شکل٤. مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد نسبی دانه کلزا در برابر مقادیر برآورد شده آنها به وسیله مدل پیشنهادی MB

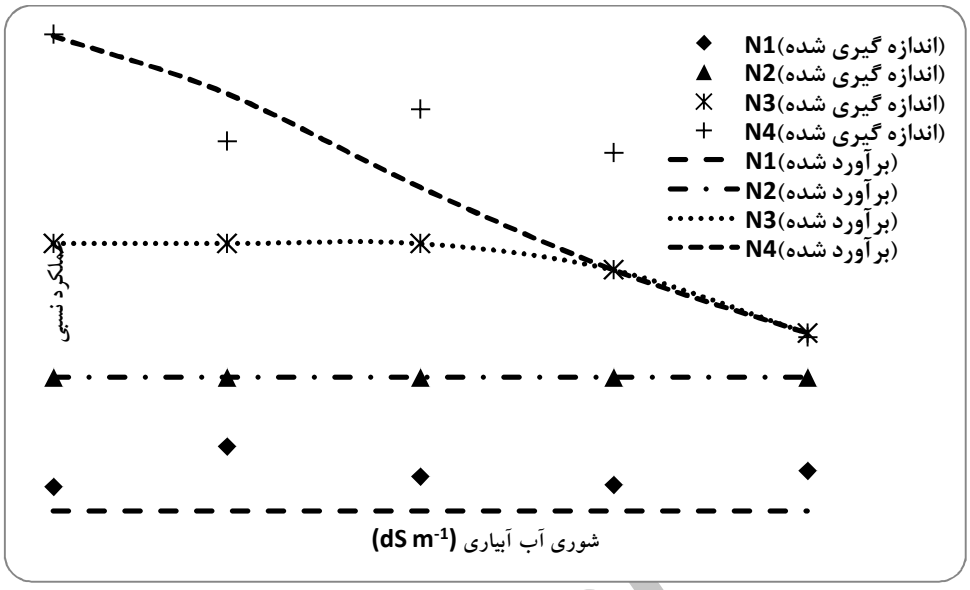


شکل٥. مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد نسبی دانه کلزا در برابر مقادیر برآورد شده آنها به وسیله مدل پیشنهادی LS-MB

شکل ٦ پاسخ عملکرد نسبی دانه به شوری در سطوح مختلف نیتروژن کاربردی برای مدل پیشنهادی LS و داده‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ٦ وقتی گیاهی به طور همزمان تحت شرایط تنش‌های مختلف قرار گیرد (شوری یا نیتروژن)، تنشی که شدیدتر باشد عملکرد را تعیین می‌کند. خطوط شیب‌دار، پاسخ عملکرد به شوری را نشان می‌دهند و خطوط افقی، عملکرد را زمانی که سطح نیتروژن، تنش غالب است توضیح می‌دهند. با استفاده از مقادیر مختلف ترکیب سطوح نیتروژن و شوری و با حساسیت کلزا به هر دو عامل تنش‌زا عامل غالب تعیین می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که سطوح نیتروژن تعیین کننده مقدار واقعی آستانه شوری می‌باشد. با فرض ثابت نبودن آستانه شوری در سطوح نیتروژن، زمانی که نیتروژن رشد گیاه را محدود نمی‌کند (۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک) آستانه شوری به اندازه ۰/۳ دسی‌زیمنس بر متر ظاهر می‌شود در

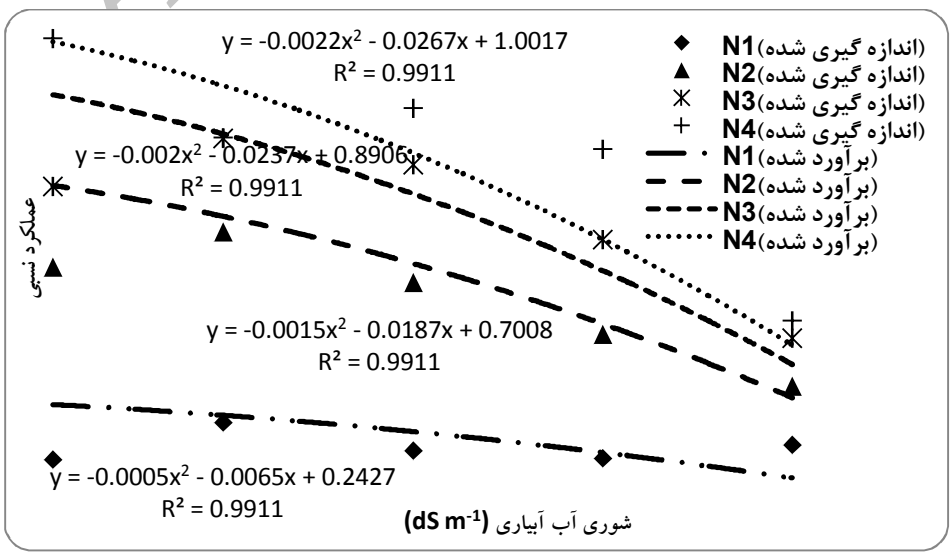
www.SID.ir

صورتی که نیتروژن عامل محدود کننده رشد گیاه باشد آستانه شوری به مقادیر بالایی از قبیل ۷ دسی زیمنس بر متر در سطح ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن کودی و حتی بالاتر در سطوح پایین‌تر نیتروژن می‌رسد.



شکل٦. رابطه عملکرد نسبی دانه کلزا (اندازه‌گیری شده و برآورد شده بوسیله مدل پیشنهادی (۲)) با شوری آب آبیاری در سطوح مختلف نیتروژن کاربردی

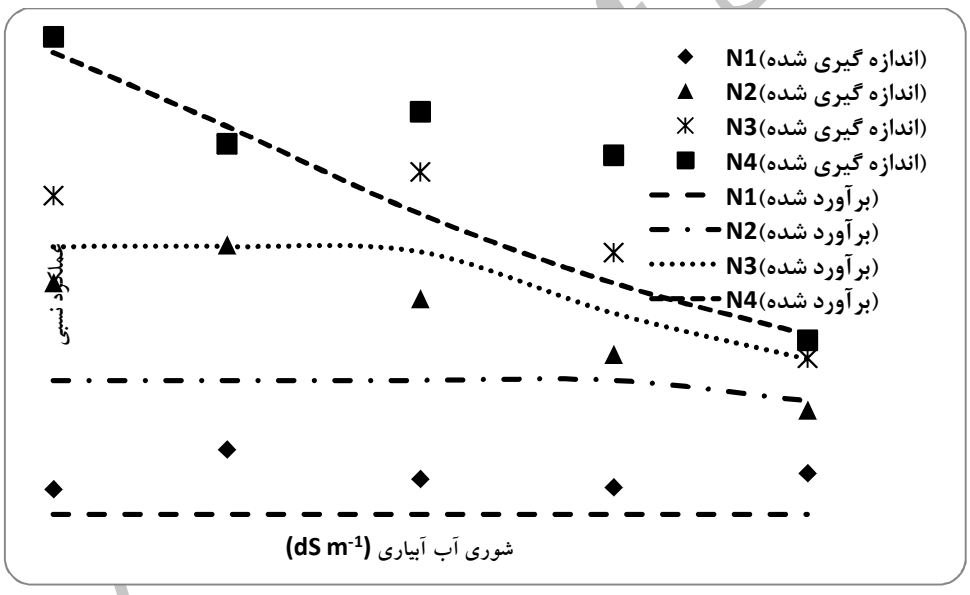
شکل ۷ پاسخ عملکرد نسبی دانه به شوری در سطوح مختلف نیتروژن کاربردی برای مدل پیشنهادی MB و داده‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. ثابت بودن پارامتر C برای هر عامل رشد و گیاه خاص فرضی است که مدل MB به کار می‌گیرد، هر چند ثابت بودن این جزء همواره با تردید مواجه بوده است (Black, 1992). آنالیزهای ارائه شده در شکل ۷ برای ٤ سطح نیتروژن، بیان میچرلیخ را درباره ثبات پارامتر C تایید می‌کند، لیکن درستی این فرض با نزدیک بودن عملکردهای اندازه‌گیری شده و برآورد شده مشخص می‌شود.



Archive of SID
www.SID.ir

شکل۷. رابطه عملکرد نسبی دانه کلزا (اندازه‌گیری شده و برآورد شده بوسیله مدل پیشنهادی (٤)) با شوری آب آبیاری در سطوح مختلف نیتروژن کاربردی

شکل ۸ عملکرد نسبی دانه را در سطوح مختلف شوری و نیتروژن کاربردی با استفاده از مدل پیشنهادی LS-MB و داده‌های اندازه گیری شده نشان می‌دهد. این شکل مفهوم ترکیب مدل‌های پیشنهادی LS و MB را براساس قانون حداقل نشان می‌دهد که در آن وقتی گیاه تحت شرایط تنش‌های مختلف قرار گیرد (شوری یا نیتروژن)، تنشی که شدیدتر باشد عملکرد را تعیین می‌کند. در این شکل نیز مشابه نتایج حاصل از مدل پیشنهادی LS، خطوط شیب‌دار پاسخ عملکرد گیاه به شوری را نشان می‌دهند و خطوط افقی، عملکرد را زمانی که سطح نیتروژن تنش غالب است توضیح می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که سطوح نیتروژن تعیین کننده مقدار واقعی آستانه شوری می‌باشد. با فرض ثابت نبودن آستانه شوری، زمانی که نیتروژن رشد گیاه را محدود نمی‌کند آستانه شوری به اندازه ۰/۳ دسی‌زیمنس بر متر ظاهر می‌شود در صورتی که نیتروژن عامل محدود کننده رشد گیاه باشد آستانه شوری به مقادیر بالایی از قبیل ۵ دسی زیمنس بر متر در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن کودی و حتی بالاتر در سطوح پایین‌تر نیتروژن می‌رسد.



شکل۸. رابطه عملکرد نسبی دانه کلزا (اندازه‌گیری شده و برآورد شده بوسیله مدل پیشنهادی (٦)) با شوری آب آبیاری در سطوح مختلف نیتروژن کاربردی

نتایج تجزیه و تحلیل آماری در جدول ٦ بیانگر آن است که مناسب‌ترین مدل برای تبیین تغییرات عملکرد نسبی دانه در سطوح مختلف شوری خاک برای هر یک از سطوح نیتروژن کاربردی مدل پیشنهادی MB است. زیرا افزون بر ME پایین‌تر در همه سطوح نیتروژن خاک در شوری‌های مختلف، مقادیر RMSE نیز برای همه سطوح نیتروژن خاک به جز سطح اول (N_1) در شوری‌های مختلف آب آبیاری کمتر بود. از آنجا که مقدار CRM مدل‌های پیشنهادی LS و LS-MB در همه سطوح نیتروژن خاک مثبت و CRM مدل پیشنهادی MB در همه سطوح نیتروژن به جز سطح چهارم (N_4) منفی بوده برآورد عملکرد نسبی دانه بوسیله مدل‌های پیشنهادی LS

www.SID.ir

و LS-MB دارای کم‌برآورد و بوسیله مدل پیشنهادی MB در همه سطوح نیتروژن خاک به جز سطح چهارم (N_4) دارای بیش‌برآورد است. کارایی مدل MB بهتر از مدل‌های پیشنهادی دیگر می‌باشد، زیرا در مقایسه با مدل‌های پیشنهادی LS و LS-MB به یک نزدیک‌تر است. مقدار ضریب تبیین در همه سطوح نیتروژن خاک در سطوح مختلف شوری به جز پایین‌ترین سطح نیتروژن خاک برای مدل MB و سطوح ۷۵ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک برای مدل LS که در شوری‌های مختلف خاک قابل محاسبه نبود، بیشتر بود.

جدول٦. نتایج ارزیابی کمّی اعتبار معادلات ۲، ٤ و ٦ در برآورد عملکرد نسبی دانه کلزا در سطوح مختلف شوری آب آبیاری برای هر یک از سطوح نیتروژن

مدل‌ها	سطوح نیتروژن	ME	RMSE	CD	EF	CRM	R^2
LS	N_1	۰/۱۲	۱۷/۱	۰/۱٤	-٦/۸۷	۰/٤۷	۰/۷۰
	N_2	۰/۲٦	۳٥/۸۲	۰/۸۷	-۱/۱۳	۰/۲٦	
	N_3	۰/۱۹	۱۸/۸٥	۱/۷۸	۰/۳۲	۰/۱۳	۰/۹۳
	N4	۰/۲۲	۱٦/۷٥	۰/۷۸	۰/٥٥	۰/۰۷۳	
MB	N_1	۰/۱۱	٤۰	۰/۲۲	-۳/۷۷	-۰/۱٤	۰/۸۰
	N_2	۰/۱٥	۱٦/۸۱	۰/٤٥	۰/٥۲	-۰/۱۰	۰/۹۱
	N_3	۰/۱۷	۱٥/۰۱	۰/٥۲	۰/٥۷	-۰/۰۰٥	۰/۹٦
	N_4	۰/۲۱	۱٦/۱٤	۰/٦۹	۰/٥۸	-۰/۰٦	۰/۷٤
LS-MB	N_1	۰/۱۲	٥۱/۳۳	۰/۱٤	-٦/۸۷	۰/٤۷	
	N_2	۰/۲٦	۳٥/٤۰	۰/٦٦	-۱/۰۸	۰/۲۹	۰/٦۳
	N_3	۰/۱۹	۱۹/۷۳	۰/۹۱	۰/۲٥	۰/۱۸	۰/۹٥
	N_4	۰/۲۱	۱٦/٤۱	۰/۷۰	۰/٥۷	۰/۰۷۱	۰/۷٤

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از مدل‌های مبنایی باروری خاک، لیبیگ-اسپرنگل و میچرلیخ-بال، مدل‌های کلان برای مدل‌سازی واکنش گیاه کلزا (.Brassica napus L) به کمبود نیتروژن در شرایط شور ارائه شد. نتایج نشان داد که هر سه مدل پیشنهادی برآوردی مناسب از عملکرد دانه ارائه می‌کنند. لیکن، برای کمّی کردن روند تغییرات عملکرد نسبی دانه، مدل پیشنهادی LS در سطوح نیتروژن خاک و همچنین مدل پیشنهادی MB در سطوح شوری آب آبیاری و ترکیب سطوح شوری و نیتروژن سازگاری بالایی بر داده‌های اندازه‌گیری شده دارد. افزون بر این، بر اساس نتایج حاصله با استفاده از مدل LS-MB که از ترکیب روابط ۲ و ٤ بدست آمد و همچنین مدل LS آستانه کاهش عملکرد در شرایط شور ثابت نبوده و بستگی به مقدار نیتروژن خاک دارد.

فهرست منابع

اسدی کپورچال، ص.، همایی، م. و پذیرا، ا. ۱۳۹۱. مدلسازی آب آبشویی مورد نیاز برای بهسازی خاکهای شور. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، (۳) ۲: ۸۳-٦٥.

اسماعیلی، ا.، همایی، م. و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸٤. اثرات متقابل شوری و کودهای ازتی بر رشد و ترکیب شیمیایی سورگوم. مجله علوم خاک و آب. شماره (۱) ۱۹. ص ۱۳۱-۱٤٤. تهران، ایران.

بابائیان، ا.، همایی، م. و نوروزی، ع. ا. اشتقاق و اعتبارسنجی توابع انتقالی طیفی نقطه‌ای در گسترهٔ SWIR- NIR – VIS به منظور تخمین نگهداشت آب در خاک. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، (۲) ۳: ٤۱-۲۷.

Archive of SID

www.SID.ir

پذیرا، ا. و همایی، م. ۱۳۸۵. گزینه‌های نو و برنامه‌های جایگزین برای توسعه پایدار کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک. مجله علوم کشاورزی. شماره (۱). تهران. ایران.

جلالی، و .ر؛ همایی، م. و خلاق میرنیا، س.۱۳۸۷. مدلسازی واکنش کلزا به شوری طی دوره رشد زایشی. مجله علوم و فنون کشاورزی. جلد ۱۲ شماره ٤٤. ص ۱۱۱-۱۲۲. اصفهان، ایران.

جلالی، و .ر؛ همایی، م. و خلاق میرنیا، س. ۱۳۸٦. مدلسازی واکنش کلزا به شوری طی دوره رشد رویشی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۸ شماره ٤. ص ۹۵-۱۱۲. کرج، ایران.

جلالی، و .ر؛ همایی، م. و خلاق میرنیا، س. ۱۳۸٦. تأثیر سطوح مختلف شوری محیط رشد بر جوانه زنی و رشد گیاهچه کلزا. مجله علوم خاک و آب. جلد ۲۱ شماره ۲. ص۲۰۹-۲۱۷. تهران. ایران.

جلالی، و. ر. و همایی، م. ۱۳۸۹. مدل‌سازی اثر زمان اعمال تنش شوری محیط ریشه بر عملکرد گیاه کلزا. مجلهٔ به زراعی کشاورزی، ۱۲ (۱): ص ۲۹-٤۰. تهران، ایران.

حسینی، ی؛ همایی، م. کریمیان، ن. ع. و سعادت، س. ۱۳۸۷. مدل‌سازی واکنش کلزا به تنش‌های توأمان شوری و کمبود نیتروزن. مجله علوم و فنون کشاورزی. جلد ۱۲ شماره ٤٦. ص ۷۲۱-۷۳۵. اصفهان، ایران.

حسینی، یعقوب؛ همایی، م. کریمیان، ن.ع. و سعادت، س .۱۳۸۷. اثرات فشفر و شوری بر رشد، غلظت عناصر غذایی و کارایی مصرف آب در کلزا (Brassica napus L.). پژوهش کشاورزی؛ آب، خاک و گیاه در کشاورزی. جلد هشتم، شماره ٤، ص ۱-۱۸،همدان، ایران.

خادمی، ز.، رضایی، ح. ملکوتی، م .ج. و مهاجر میلانی، پ. ۱۳۷۹. تغذیه بهینه کلزا. نشر آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.

سعادت، س. همایی، م. و لیاقت، ع. م. ۱۳۸٤. اثر شوری محلول خاک بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سورگوم علوفه‌ای. مجله علوم خاک و آب. شماره (۲)۱۹. ص ۲٤۳-۲٥٤. تهران، ایران.

علی احیایی، م. ۱۳۷٦. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک (جلد دوم). نشریه ۱۰۲٤، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران، ایران.

علی احیایی، م. و بهبهانی‌زاده، ع. ۱. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک (جلد اول). نشریه شماره ۸۹۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.

قیصری، م؛ میرلطیفی، م. همایی، م. و اسدی، ا. ۱۳۸۵. آبشویی نیترات در سیستم آبیاری بارانی تحت مدیریت کود- آبیاری ذرت علوفه‌ای. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۷ شماره ۲۹. ص ۱۰۱-۱۱۸. کرج. ایران.

کریمی، ا.، معز اردلان، م. لیاقت، ع. م. و همایی، م. ۱۳۸٦. اثر کود-آبیاری بر اجزای عملکرد کارآیی مصرف آب. مجله علوم و صنایع کشاورزی. جلد ۱۱ شماره ۲۱. ص ۱۱-۲۲. مشهد، ایران.

کریمی، ا.، معز اردلان، م. همایی، م. و لیاقت، ع. م. ۱۳۸٦. کارآیی مصرف کود در آفتابگردان با سیستم کود آبیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی. جلد ۱۱ شماره ٤۰. ص ٦٥-۷۷. . اصفهان، ایران.

کریمی، ا.، همایی، م. لیاقت، ع.م. و معز اردلان، م. ۱۳۸٤. یکنواختی توزیع آب و کود در سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری. مجله پژوهش کشاورزی. جلد ٥ شماره ۲. ص ٥۳-٦۷. همدان. ایران.

کیانی، ع.، میرلطیفی، م. همایی، م. و چراغی، ع. م. ۱۳۸٤. کارآیی مصرف آب گندم تحت شرایط شوری و کم آبی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ٦، شماره ۲٤. ص ٤۷-٦٤. کرج، ایران.

کیانی، ع. ر.، میرلطیفی، م. همایی، م. و چراغی، م. ع. ۱۳۸٤. تعیین بهترین تابع تولید آب- شوری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. شماره ۲٥. ص. کرج، ایران.

کیانی، ع. ر.، میرلطیفی،م. همایی، م. و چراغی، ع. م. ۱۳۸۳. تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و شوری بر عملکرد گندم در منطقه گرگان. مجله علوم کشاورزی. شماره (۱)۱۱. ص ۷۹-۸۹. گرگان، ایران.

کیانی، ع. ر.، میرلطیفی، م. و همایی، م. ۱۳۸۲. بررسی تولید گندم در شرایط شوری و کم آبی. مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه. ص ۱٦۳-۱۷۸. تهران، ایران.

Archive of SID

www.SID.ir

کیانی، ع. ر.، همایی، م. و میرلطیفی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توأم شوری و کم آبی. مجله علوم خاک و آب، جلد ۲۰. شماره ۱ص ۷۳-۸۳ . تهران. ایران.

نوری، م.، همایی، م. و بای‌بوردی، م. ۱۳۹۱. بررسی پارامتریک ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در حضور آلایندهٔ نفت سفید. حفاظت منابع آب و خاک، (۱) ۲: ۴۸-۳۷.

نوری، م.، همایی، م. و بای‌بوردی، م.۱۳۹۱. ارزیابی پارامتریک توانایی نگهداشت خاک در حضور نفت خام در حالت سه‌فاز. حفاظت منابع آب و خاک (۲) ۲: ۲۴-۱۵.

واعظی، ع.ر.، همایی، م. و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۱. اثر کود-آبیاری بر کارآیی مصرف کود و آب در ذرت علوفه‌ای. مجلهٔ علوم خاک و آب. شماره ۱۶. ص ۱۵۲-۱۶۰. تهران، ایران.

همایی، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۵۸، ۹۷ صفحه.

Appel, K. & Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. Annu Rev Plant Biol. 55: 373-399.

Asadi Kapourchal, S., M. Homaee and E. Pazira. 2013. A parametric desalinization model for large scale saline soil reclamation. J. Basic Appl. Sci. Res., 3(3):774-783.

Asadi, S., M. Homaee and E.Pazira. 2011. A practical desalinization model for large scale application. Int J Agri Sci and Res., 2(1):35-48.

Beltrao, J., Ben Aahes, J. & D. Magnusson. 1993. Sweet corn response to combined effects of saline water and nitrogen fertilization. Acta. Hort.335:53-58.

Black, C. A. 1992. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Esmaili, E., S. Asadi Kapourchal, M. J. Malakouti and M. Homaee. 2008. Interactive Effect of Salinity and Two Nitrogen Fertilizers on Growth and Composition of Sorghum. Plant Soil and Environment. 56(12): 537-546.

Gheysari, M., S.M. Mirlatifi, M. Homaee M.E. Asadi and G. Hoogenboom. 2009. Nitrate Leaching in a Silage Maize Field under Different Irrigation and Nitrogen Fertilizer Rates. Agricultural Water Management, 96:946-954.

Gheysari, M., S.M. Mirlatifi, M. Bannayan, M. Homaee and G. Hoogenboom. 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. Agricultural Water Management, 96:809-821.

Grattan, S.R. & Grieve, C. M.. 1999. Salinity – mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientica Horticulture. 78: 127-157.

Homaee, M., Dirksen, C. & Feddes, R. A. 2002. Simulation of root water uptake. . Non-uniform transient salinity stress. Agric.Water Manag. 57: 89-109.

Homaee, M. & Feddes, R. A. 2002. Modeling the sink termunder variable soil water osmotic and pressure heads. 14th international conference on computational methods in water resources. Delft. The Netherlands.

Homaee, M., R.A. Feddes and C. Dirksen. 2002. Simulation of root water uptake. II. Nonuniform transient water stress using different reduction functions. Agricultural Water Management. 57(2): 111-126.

Homaee, M., R.A. Feddes and C. Dirksen. 2002. Simulation of root water uptake. III. Nonuniform transient combined salinity and water stress. Agricultural Water Management. 57(2): 127-144.

Homaee, M., R.A. Feddes and C. Dirksen. 2002. A macroscopic water extraction model for nonuniform transient salinity and water stress. Soil Sci. Soc. Am. J. 66 (6): 1764- 1772.

Homaee, M and U. Schmidhalter. 2008. Water integration by plants root under non-uniform soil salinity. Irrigation Science, 27:83-95.

Hosaini, Y. M. Homaee, N.A. Karimian and S. Saadat. 2009. Modeling vegetative stage response of canola to combined salinity and Boron stress. International Journal of Plant Production, 3(1):91-104.

Jun-Feng, Y., Gu, F. Hai-Yan, M. A. & Chang-Yan ,T. 2010. Effect of nitrate on root development and nitrogen uptake of Suaeda physophora under NaCl salinity. Pedosphere. 20(4): 536-544.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Academic Press. Ltd. London. 862 pages.

Massa, D., Mattan, N.S. & Lieth, H. J. 2009. Effects of saline root environment (NaCl) on nitrate and potassium uptake kinetics for rose plants: a Michael-Menten modelling approach. Plant Soil. 318: 101-115.

Munns, R., James, R. A. & Lauchli, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. J Exp Botany. 57(5): 1025-1043.

Pope, A.L. & Leigh, R. A.. 1990. Characterization of chloride transport at the tonoplast of higher plants using a chloride-sensitive huorescet probe. Effects o other anions, membrane potential, and transport inhibitors. Planta. 181: 406-413.

Ramos, T. B., Castanheirra, N. L. Goncalves,M. C. Fernandes,M.L. Januario, M. I. Lourenco,M. E. Pires, F. P. & Martinus, J. C.. 2012. Effect of combined use of brackish water and nitrogen fertilizer on biomass and sugar yield of sweet sorghum. Pedosphere. 22(6): 785-794.

Siddiqui, M. H., Mohammad, F. Nasir Khan, M. Al-whaibi, M. H. & Bahkali, A. H. A. 2010. Nitrogen in relation to photosynthetic capacity

Archive of SID

www.SID.ir

Xu, G., Magen, H. Trachitzky, J. & Kafkafi, U. 2000. Advances in chloride nutrition of plants. Adv. Agron. 68: 97-150.

Zarei, Gh., M. Homaee, A.M. Liaghat and A.H. Hoorfar. 2010. A model for soil surface evaporation based on Campbell's retention curve. Journal of Hydrology, 380:356-361.

and accumulation of osmoprotectant and nutrients in Brassica genotypes grown under salt stress. Agricultural Sciences in China. 9(5): 671-680.

Shenker, M., Ben-Gal, A. & U. Shani. 2003. Sweet corn response to combind nitrogen and salinity environmental stresses. Plant Soil. 256: 139-147.

Archive of SID

www.SID.ir

ISSN 2251-7480

Modeling plant response to salinity and soil nitrogen deficiency

Arezoo Akhtari [1*], Mehdi Homaee[2] and Yaghoob Hoseini [3]

1*) Ph.D. Student, Department of Soil Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Corresponding author email: arezooakhtari @yahoo.com
2) Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, 14116-336, Tehran, Iran
3) Assistant Professor, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research Center, Bandar Abbas, Iran

Received: 18-11-2013 Accepted: 22-09-2014

Abstract

Assessment of interactive effects of salinity and nitrogen deficiency is of great importance for optimal management of soil and water resources in arid and semi-arid regions. The objective of this study was to model canola (*Brassica napus L.*) response to salinity under nitrogen deficiency conditions. For this reason, the soil fertility models including Liebig- Sprengel (LS) and Mitscherlich- Baule (MB) that are originally proposed for nutrient deficiency were derived such to account for simultaneous salinity and nitrogen deficiency. To obtain the required data and to assess the proposed models, an extensive experiment was conducted by different levels of salinity and nitrogen. The experimental treatments were consisted of five levels of none saline water, 3, 6, 9 and 12 dSm-1 and four nitrogen levels of 0, 75, 150 and 300 mgKg-1. Some statistics including maximum errors, root mean square error, modelling efficiency, coefficient of determination and coefficient of residual mass were used to evaluate the three proposed models. Results of these statistical analyses indicated that the proposed LS-based model can provide better estimates for relative grain yield in different nitrogen levels. The proposed MB-based model, in the salinity levels of irrigation water and interaction of salinity and nitrogen levels provided better results. It can be concluded that the proposed models can predict the interactive effect of salinity and nitrogen deficiency reasonably well.

Keywords: modeling; nitrogen; salinity

Archive of SID

www.SID.ir