مدل سازی واکنش کلزا به تنش‌های توامان شوری و کمبود نیتروژن

یعقوب حسینی[۱*]، مهدی همایی[۱]، نجفعلی کریمیان[۲] و سعید سعادت[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۷/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۱۱/۲۹)

چکیده

مدل‌سازی پاسخ گیاه به تنش‌های دوگانه شوری و کمبود نیتروژن در نواحی خشک و نیمه خشک برای تخمین عملکرد بهینه اهمیتی فراوان دارد. بدین منظور، دو مدل لیبیگ- اسپرینگل (LS) و میچرلیخ- بال(MB) که تنها برای مدل سازی پاسخ گیاه به عناصر غذایی پیشنهاد شده‌اند به گونه‌ای تعدیل یافتند که امکان بررسی اثر هم‌زمان نیتروژن و شوری فراهم آید. سپس، به منظور ارزیابی مدل‌های پیشنهادی در مورد پاسخ گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) به تنش‌های توأم شوری و نیتروژن، آزمایشی با سطوح مختلف شوری و نیتروژن طراحی گردید. تیمارهای شوری شامل ۵ سطح آب شور (آب غیر شور، ۳، ۶، ۹، و ۱۲ دسی زیمنس بر متر) و تیمارهای نیتروژن شامل ۴ سطح (۰، ۷۵، ۱۵۰، و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلو گرم خاک به صورت نیترات آمونیوم) بود. نتایج نشان داد که هر دو مدل تعدیل یافته برآوردی مناسب از عملکرد دانه کلزا ارایه می‌نمایند. لیکن، برآورد مدل تعدیل یافتهٔ MB (R^2 =۰/۹۴) از مدل تعدیل یافتهٔ LS (R^2 =۰/۸۷) بهتر است. مقایسه آماره‌های خطای بیشینه، ریشه میانگین مربعات خطا، کارایی مدل، ضریب تبیین و ضریب جرم باقی‌مانده دو مدل تعدیل یافته نشان داد که عملکرد نسبی دانه برآورد شده برای سطوح نیتروژن خاک، هم‌چنین شوری‌های آب آبیاری و اثرات متقابل شوری و نیتروژن، به وسیلهٔ مدل تعدیل یافتهٔ MB در مقایسه با مدل تعدیل یافته LS، نتایج رضایت‌بخش‌تری داشت. بنابراین، استفاده از مدل تعدیل یافتهٔ MB برای برآورد عملکرد نسبی دانه کلزا به هنگام وجود تنش‌های شوری و نیتروژن توصیه می‌شود. با استفاده از مدل تعدیل یافته LS نشان داده شد که حد آستانه کاهش عملکرد در شرایط شور برای سطوح مختلف کاربرد نیتروژن متفاوت است. به گونه‌ای که، تقریباً با کاربرد هر ۷۵ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک، حد آستانه کاهش عملکرد در شرایط شور حدود ۴ دسی زیمنس بر متر کاهش می‌یابد. مصرف نیتروژن در شرایط شور سبب کاهش غلظت یون کلر در دانه کلزا گردید. هم‌چنین میزان جذب نیتروژن با افزایش تعرق گیاه افزایش یافت که می‌توان آن را به حرکت توده‌ای نیترات در خاک تا رسیدن به ریشه گیاه مرتبط دانست.

واژه‌های کلیدی: تعرق، شوری، کلر، مدل لیبیگ- اسپرینگل (LS) ، مدل میچرلیخ- بال(MB) ، نیتروژن

مقدمه

تنش شوری، عامل محیطی مهمی است که آثار زیانباری بر تولید فرآوردههای کشاورزی دارد. از نظر تاریخی، شوری خاک سبب نابودی چندین تمدن قدیمی شده است. به رغم پیشرفت فناوری در جهان امروز، شور شدن میلیون‌ها هکتار از خاک‌های زیر کشت، بشدت تولید کشاورزی را تهدید می‌کند.

۱. به ترتیب دانشجوی سابق دکتری و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. استاد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۳. استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، تهران

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: dorsa802001@yahoo.com

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]

بنابراین شور شدن خاک، تهدیدی است که به طور پیوسته خاک‌های قابل کشت را کاهش می‌دهد (۶). شوری، دست کم ۲۰ درصد اراضی قابل کشت جهان و بیش از ۴۰ درصد زمین‌های تحت آبیاری را به درجات مختلف متأثر ساخته است (۱۴). در ایران، سطح کل خاک‌های شور حدود ۲۴ میلیون هکتار است که نزدیک به ۳۰ درصد مساحت دشت‌ها و متجاوز از ۵۰ درصد اراضی تحت کشت آبی کشور را تشکیل می‌دهد (۱۲).

شوری از سه راه، رشد و عملکرد گیاه را محدود می‌کند. اثر نخست و غالب مربوط به زیادی غلظت نمک‌های محلول در خاک است که کاهش پتانسیل اسمزی را بدنبال دارد. با کاهش پتانسیل اسمزی، انرژی آزاد آب کاهش یافته و گیاه برای به‌دست آوردن مقدار مشخصی آب باید انرژی حیاتی بیشتری مصرف نماید. بنابراین بخشی از انرژی که گیاه برای رشد و نمو به آن نیاز دارد، صرف به‌دست آوردن آب شده و به این ترتیب رشد آن کاهش می‌یابد. اثر دوم مربوط به وجود یون‌های ویژه در محلول خاک شور است. یون‌هایی همچون Cl^- و Na^+ به تنهایی می‌توانند به طور مستقیم موجب بروز سمیت در گیاه شده و یا در فرایند جذب گیاه اختلال ایجاد نمایند. اثر سوم شوری که در حقیقت زاییده اثر نوع دوم می‌باشد، بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای است. بدین معنی که وجود یون‌هایی چون Na^+ و Cl^- در محلول خاک شور، باعث اختلال در جذب و انتقال سایر عناصر غذایی از جمله نیتروژن (به صورت یون‌های نیترات و آمونیوم) از خاک به گیاه می‌شوند (۵).

نیتروژن در بیشتر خاک‌ها، اعم از شور یا غیر شور، عاملی محدود کننده برای رشد گیاه به شمار می‌آید. لیکن در خاک‌های شور، به دلایلی متعدد کمبود این عنصر ممکن است تشدید شود. از جمله این عوامل می‌توان به کمبود شدید مواد آلی، عدم رشد کافی ریشه، رقابت یون Cl^- با یون NO_3^- برای جذب توسط ریشه، آبشویی یون NO_3^- و هم‌چنین نبود شرایط مناسب برای تشکیل غده‌های تثبیت کننده نیتروژن در بقولات در خاک‌های شور اشاره کرد (۵). معمولاً در خاک‌های شور افزون بر تنش شوری، کمبود نیتروژن نیز وجود دارد. بنابراین دانستن پاسخ گیاه به هر یک از عوامل محدود کننده رشد و نیز اثر متقابل این عوامل ضروری است. 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 گردد.

برخی از پژوهشگران (۱۱ و ۱۷) رقابت بین یون‌های Cl^- و NO_3^- برای جذب توسط گیاه را بررسی کرده‌اند. رقابت بین این دو یون به پتانسیل منفی سلول‌های ریشه و بار منفی این دو یون (NO_3^- و Cl^-) و جذب آنها از طریق سیستم‌های ناقل یکسان نسبت داده شده است (۱۳). در نتیجه، در شرایط شور، کاهش جذب نیتروژن و در پی آن کاهش رشد گیاه اتفاق می‌افتد. بنابراین با افزودن نیتروژن (به صورت NO_3^-)، جذب Cl^- کاهش و از اثر سوء شوری کاسته می‌شود. با این وجود برخی از پژوهشگران (۷) برهمکنش بین یون نیترات و کلر یاد شده در بالا را مشاهده نکرده‌اند.

مدل‌هایی چند برای بررسی پاسخ گیاه در شرایط تنش ناشی از کمبود عناصر غذایی وجود دارند که مهمترین آنها مدل‌های لیبیگ- اسپرینگل (LS) و میچرلیخ- بال(MB) می‌باشند. بر مبنای مدل LS در هر زمان، یک عامل رشد که محدود کننده ترین آنهاست، مقدار عملکرد را تعیین می‌کند و پاسخ گیاه به این عامل رشد خطی است (۸):

$$y_r = \min \begin{cases} \begin{cases} ۱ & ; \ x < x_{cr} \\ a - b\ .x & ; \ x \geq x_{cr} \end{cases} \\ \begin{cases} ۱ & ; \ z < z_{cr} \\ m - n\ .\ z & ; \ z \geq z_{cr} \end{cases} \end{cases} \qquad [۱]$$

که در آن x و z فاکتورهای تنش زا، a و b به ترتیب عرض از مبدأ و شیب تابع پاسخ عملکرد به فاکتور x و m و n به ترتیب عرض از مبدأ و شیب تابع پاسخ عملکرد به فاکتور z، x_{cr} حد آستانه گیاه به فاکتور تنش زای x و z_{cr} حد آستانه گیاه به فاکتور z می‌باشد. min در حقیقت مفهوم قانون حداقل را بیان می‌کند و y_r عملکرد نسبی گیاه است. حال چنانچه این مدل را برای تنش‌های هم‌زمان یک عنصر غذایی همچون نیتروزن و شوری

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]

تغییر دهیم، در این صورت نمای عمومی آن به صورت زیر خواهد بود:

$$y_r = \min \begin{cases} \begin{cases} ۱ & ; \ EC < EC_{cr} \\ ۱ - b \,.\, (EC - EC_{cr}) & ; \ EC \geq EC_{cr} \end{cases} \\ \begin{cases} ۱ & ; \ N \geq N_{cr} \\ n \,.\, N & ; \ N < N_{cr} \end{cases} \end{cases} \qquad [۲]$$

در مدل MB (۸) پاسخ گیاه به افزودن عناصر غذایی از قانون بازده نزولی تبعیت می‌کند. این مدل بر این فرض استوار است که آهنگ (Rate) پاسخ گیاه به عنصر غذایی، با افزایش متوالی و مساوی عناصر غذایی به خاک، کاهش می‌یابد. شکل کلی این مدل به صورت زیر است:

$$y = y_{max} \ (۱ - e^{-c_۱ x_۱}) \ (۱ - e^{-c_۲ x_۲}) \qquad [۳]$$

که در آن x_1 و x_2 مقادیر عامل‌های رشد، c_1 و c_2 عامل کارایی یا ضریب میچرلیخ برای عامل رشد مربوطه که برای هر عامل رشد ثابت فرض می‌شود، y عملکرد پیش بینی شده و y_{max} عملکرد حداکثر می‌باشد. این مدل در اساس از یک اصل فیزیولوژیک تبعیت می‌کند که می‌گوید «پاسخ نزولی گیاه به کاربرد عنصر به سبب اشباع ناقل واسطه جذب عنصر در ریشه است». به عبارت دیگر، افزودن یک عنصر به محیط ریشه، سبب اشباع ناقل پروتئینی ریشه (که انتقال دهنده عنصر از سطح ریشه به داخل ریشه است) با آن عنصر می‌شود. این امر، پاسخ نزولی عملکرد گیاه به کاربرد آن عنصر را به دنبال دارد (۸ و ۱۶).

در این مدل اگر چند عامل رشد را با مفهوم میچرلیخ 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 با فرض خطی بودن پاسخ گیاه به تنش شوری، برای تنش‌های توام شوری و کمبود نیتروژن می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$y_r = \frac{y}{y_{max}} = (۱ - e^{-C_N N}). \ (۱ - e^{C_{EC}(EC - EC_{max})}) \qquad [۴]$$

که در آن EC_{max} مقدار هدایت الکتریکی آب شور می‌باشد که در آن عملکرد برابر صفر است. EC و N مقادیر عامل‌های موثر بر رشد، C_{EC} و C_N عامل کارایی یا ضریب میچرلیخ برای عامل‌های موثر بر رشد مربوطه که برای هر عامل رشد ثابت فرض می‌شود، y عملکرد پیش‌بینی شده و y_{max} عملکرد حداکثر می‌باشند.

هر یک از دو مدل ۲ و ۴ ممکن است نتایج متفاوتی در ارتباط با مدیریت کودی نیتروژن در شرایط شور ارایه دهند. مثلاً چنانچه مدل LS پیش بینی عملکرد را در شرایطی که شوری عامل محدود کننده رشد است توضیح دهد، افزودن کود نیتروژنی تأثیری بر افزایش عملکرد ندارد و حتی در صورت عدم جذب به وسیله گیاه و خارج شدن از منطقه ریشه ممکن است باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی هم شود. لیکن چنانچه مدل MB برای تخمین پاسخ گیاه به دو عامل شوری و کمبود نیتروژن به‌کار رود، در این صورت با اضافه کردن نیتروژن می‌توان اثر منفی عامل شوری را تعدیل کرد.

بیشتر پژوهش‌های قبلی، پاسخ گیاه به شوری و کمبود نیتروژن را به صورت کیفی بررسی کرده‌اند. از طرف دیگر، مدل‌های LS و MB فقط برای شرایطی که عامل‌های موثر بر رشد گیاه، عناصر غذایی بوده است استفاده شده‌اند. بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی پاسخ کمّی عملکرد گیاه کلزا در تنش‌های توأم شوری و کمبود نیتروژن و ارزیابی کارایی مدل‌های تعدیل یافته LS وMB برای مدیریت کودی صحیح نیتروژن در شرایط شور بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت گلدانی و در گلخانه انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل ۵ سطح آب شور (آب غیرشور (۰/۳)، ۳، ۶، ۹، و ۱۲ دسی زیمنس بر متر) و چهار سطح نیتروژن (۰، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منبع نیترات آمونیوم) بود. آزمایش در سه تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد.

مقداری کافی خاک (Coarse-loamy, mixed thermic calcic Haplosalids)، با بافت لوم شنی از افق سطحی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]

جدول۱ . برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	SO_4^{2-} ($mg\ kg^{-1}$)	OC (%)	P ($mg\ kg^{-1}$)	Cl^- ($mg\ kg^{-1}$)	K^+ ($mg\ kg^{-1}$)	Na^+ ($mg\ kg^{-1}$)	گروه بافتی	FC (درصد وزنی)
۷/۹۱	۲/۹۹	۶۴	۰/۲۳	۵/۳۲	۲۱۶	۱۸۹	۴۰۹	SL	۱۵/۵

جدول۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی آب شور مورد استفاده

pH	EC	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	B
	$dS\ m^{-1}$	$mmol_c\ L^{-1}$								
۸/۱۵	۱۹۶/۲۳	۱۷۵/۵۷	۵۴/۴۴	۵/۴۵	۱۳۸۸/۵۲	۲/۹	۱۳۱۲/۵	۱۴۱/۶۵	۱۲۸/۱۵	۲۰/۳۴

(۳۰-۰ cm) از مزارع منطقه قمرود استان قم جمع‌آوری گردید. دلیل انتخاب این بافت آن بود که در موقع آبیاری با آب شور، شوری کل نیمرخ خاک با اعمال جزء آبشویی (LF) نسبتاً زیاد (LF = ۰/۵) تا حد امکان یک‌نواخت گردد. دلیل دیگر این انتخاب، نگهداشت یک‌نواخت توزیع رطوبت در محیط ریشه گیاه بود. خاک مورد نظر از مزرعه به گلخانه منتقل گردید. جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد نظر که با روش‌ها معمول در مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شده است (۳ و ۴) را نشان می‌دهد. آب شور به منظور اعمال تیمارهای شوری از دریاچه حوض سلطان استان قم تهیه گردید. در اکثر پژوهش‌های انجام شده در مورد شوری، از آب شور مصنوعی که عموماً NaCl و یا ترکیبی از NaCl + $CaCl_2$ است استفاده شده و از تأثیر منفی سمیت برخی از عناصر و هم‌چنین تأثیر آنها بر قابلیت فراهمی سایر عناصر غذایی از لحاظ جذب در سطح ریشه‌ها و انتقال به درون گیاه، صرفنظر می‌گردد. این موضوع با شرایط واقعی منابع آب و خاک شور تطابق ندارد. به همین دلیل، در این پژوهش استفاده از آب شور طبیعی نسبت به آب شور مصنوعی ترجیح داده شد. برخی ویژگی‌های این آب که با روش‌های معمول در مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شده است (۳ و ۴) در جدول ۲ ارایه شده است.

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 (۲) برای کلزا، به صورت محلول و با توجه به ظرفیت زراعی (FC) خاک مورد آزمایش به خاک درون کیسه‌ها اضافه شد. در این مرحله فقط $\frac{۱}{۱۰}$ مقادیر محاسبه شده تیمارهای نیتروژن به خاک اضافه گردید. 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 گردید.

پس از افزودن عناصر غذایی 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 عناصر غذایی اضافه شده به طور کامل انجام پذیرد. سپس خاک‌ها با چگالی ظاهری یکسان (۱/۳ تن در متر مکعب) در گلدان‌ها قرار داه 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 تا ۳ برگی با آب غیرشور ($EC=۰/۳dS\ m^{-1}$) آبیاری شدند (با توجه به حساس بودن گیاهچه‌ها به شوری، در صورتی که تیمارهای شوری از همان

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]

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 ۴۰۰ 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 به‌طور پیوسته اندازه‌گیری می‌شد تا از صحت اعمال LF =۰/۵ اطمینان حاصل شود. مقدار تبخیر و تعرق هر گلدان دارای گیاه، با روش وزن کردن روزانه گلدان‌ها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری مقدار تبخیر، گلدان‌هایی به عنوان شاهد (بدون گیاه) در بین گلدان‌های آزمایش قرار داده شد. با معلوم بودن مقدار تبخیر از هرگلدان، مقدار تعرق هر گلدان محاسبه شد. در طول دوره انجام آزمایش مراقبت‌های لازم (کنترل دمای گلخانه، سم پاشی 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(۱) اندازه‌گیری شدند.

به منظور کمّی کردن اثر شوری و نیتروژن بر عملکرد دانه کلزا، عملکرد نسبی با استفاده از مدل‌های تعدیل یافتهٔ MB و LS محاسبه شد. عملکرد نسبی برآورد شده توسط مدل‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر سطوح مختلف شوری و نیتروژن رسم و نتایج مدل‌ها با یکدیگر مقایسه گردیدند. هم‌چنین، مقایسه کمّی مدل‌ها با محاسبه آماره‌های خطای بیشینه (Maximum Error, *ME*)، ریشه میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error, *RMSE*)، ضریب تبیین (Coefficient of Determination, *CD*)، کارایی مدل (Modeling Efficiency, *EF*) و ضریب جرم باقی‌مانده (Coefficient of Residual Mass, *CRM*) برای هر کدام از مدل‌ها انجام شد (۱۰). بیان ریاضی آماره‌ها به صورت زیر است:

$$ME = \max\left|P_i - O_i\right|_{i=1}^{n} \quad [5]$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}\right]^{\frac{1}{2}} \frac{100}{\overline{O}} \quad [6]$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - \overline{O}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - \overline{O}\right)^2} \quad [7]$$

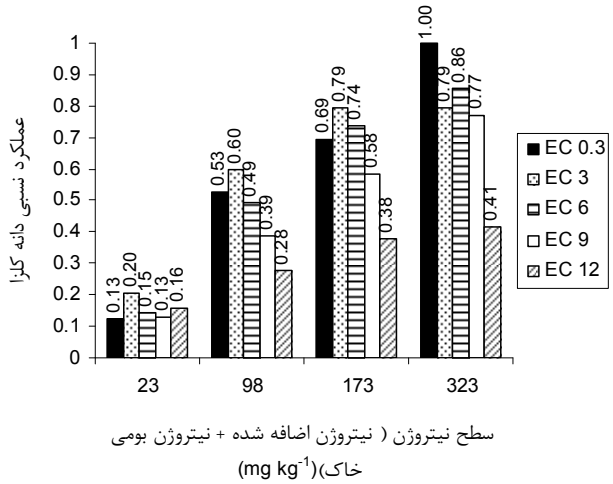
$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - \overline{O}\right)^2 - \sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - \overline{O}\right)^2} \quad [8]$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n}O_i - \sum_{i=1}^{n}P_i}{\sum_{i=1}^{n}O_i} \quad [9]$$

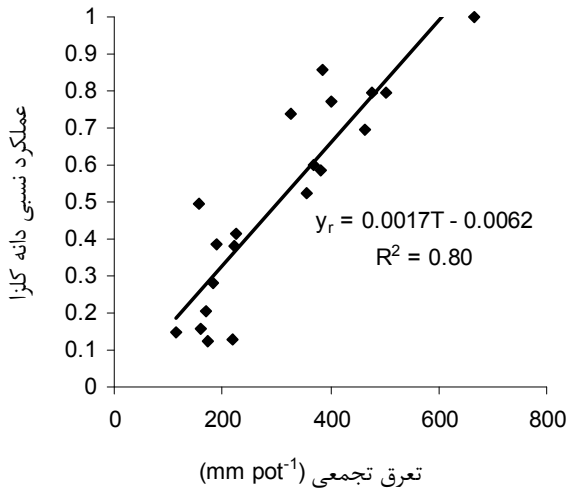
که در آنها P_i مقادیر برآورد شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده و n تعداد نمونه است. کمترین مقدار برای ME، RMSE و CD صفر است. هر چه مقدار ME یک مدل بیشتر باشد مناسب بودن مدل کمتر می‌شود در حالی‌که مقدار RMSE نشان می‌دهد که برآوردها چه مقدار بیش برآوردی (Overestimate) یا کم برآوردی (Underestimate) نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده دارند. CD نسبت بین پراکنش مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار برای EF یک است. مقادیر EF و CRM می‌توانند منفی باشند. مقدار EF مقادیر برآورد شده را نسبت به مقدار میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF دلالت بر آن دارد که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تخمین بهتری را نسبت به مقادیر برآورد شده ارائه می‌دهند. CRM گرایش مدل به تخمین بیشتر و یا کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را بیان می‌کند. به‌دست آوردن مقدار منفی برای یک مدل تمایل مدل را برای بیش برآورد اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. اگر تمامی داده‌های برآورد شده و

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]



شکل ۱ . تأثیر مقدار نیتروژن بر عملکرد نسبی دانه کلزا در شوری‌های مختلف آب آبیاری



شکل ۲. رابطه تعرق تجمعی با عملکرد نسبی دانه گیاه کلزا در طول دوره رشد گیاه

اندازه‌گیری شده یکسان باشند، نتایج آماره‌ها به صورت ME = 0، RMSE = 0، CD = 1، EF = 1 و CRM = 0 خواهد بود (۱۰). پارامترهای مدل‌ها با روش بهینه‌سازی حداقل مجموع مربعات خطا تعیین گردید. نرم افزارهای آماری مورد استفاده در این پژوهش SAS و Excel بودند.

نتایج و بحث

عملکرد نسبی دانه گیاه کلزا به عنوان تابعی از سطح مصرف نیتروژن در سطوح شوری‌های مختلف آب آبیاری در شکل ۱ نشان داده شده است. به طور کلی با افزایش شوری، عملکرد نسبی دانه کلزا کاهش و با افزودن نیتروژن به خاک عملکرد افزایش یافته است. در تیمار بدون مصرف نیتروژن (حضور فقط نیتروژن بومی خاک) افزایش شوری تأثیر چندانی بر کاهش عملکرد نسبی نداشته که نشان دهنده تأثیر گذارتر بودن عامل کمبود نیتروژن نسبت به شوری می‌باشد.

عملکرد دانه کلزا به عنوان تابعی از تعرق گیاه در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش تعرق، عملکرد دانه کلزا نیز افزایش یافته است. محل برخورد خط رسم شده با محور افقی نمایانگر میزان تبخیر از سطح خاک گلدان‌هاست. رابطه مستقیم عملکرد و تعرق توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۹ و ۱۵).

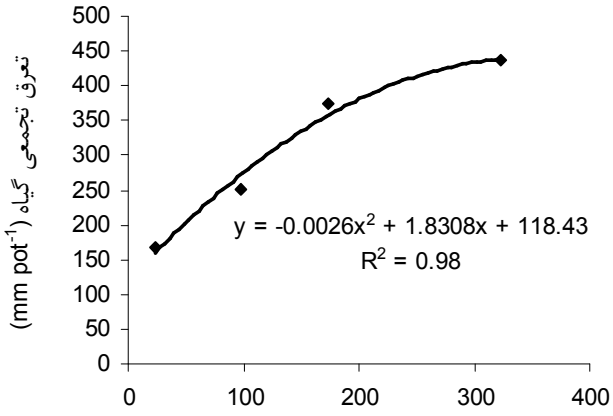
شکل ۳ تعرق گیاه کلزا را به عنوان تابعی از کاربرد نیتروژن نشان می‌دهد. به‌طور کلی با افزایش نیتروژن کاربردی، تعرق گیاه افزایش یافته است. زیرا افزودن نیتروژن به خاک، سطوح تعرق کننده گیاه را افزایش می‌دهد. از دیگر سو، افزایش تعرق گیاه باعث افزایش جذب نیتروژن دانه (غلظت نیتروژن در دانه × عملکرد دانه = نیتروژن جذب شده در دانه) گردید (شکل ۴). علت افزایش جذب نیتروژن با افزایش تعرق، سازوکار انتقال نیتروژن از خاک به طرف ریشه است. این سازوکار حرکت توده‌ای می‌باشد که عامل اصلی این انتقال حرکت و جابه‌جایی آب می‌باشد و تعرق نیروی اصلی این حرکت می‌باشد (۱۶).

شکل ۵ تأثیر نیتروژن کاربردی در خاک بر غلظت یون کلر در دانه کلزا را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود غلظت یون کلر با افزایش سطوح نیتروژن کاهش یافته است. این امر می‌تواند یکی از دلایل کاهش اثر سوء شوری بر رشد گیاه و افزایش عملکرد در نتیجه کاربرد نیتروژن باشد. یکی از علت‌های کاهش غلظت یون کلر در نتیجه کاربرد بیشتر نیتروژن رقابت این دو برای جذب بر مکان‌های جذبی ریشه گیاه است (۱۷).

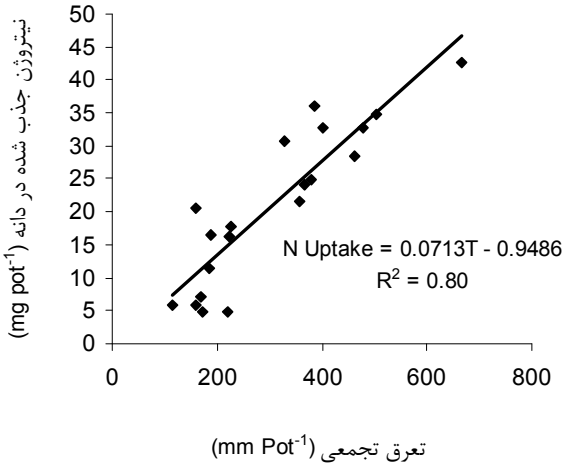
پارامترهای به‌دست آمده برای مدل‌های تعدیل یافتهٔ LS و MB به هنگام وجود تنش شوری و اعمال سطوح نیتروژن در جدول ۳ خلاصه شده است. پارامترهای این دو مدل، برای

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

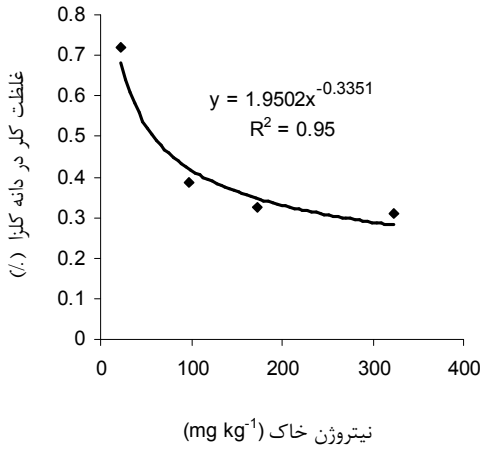
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]



شکل۳ . تأثیر کاربرد نیتروژن بر تعرق تجمعی گیاه کلزا



شکل ۴. تأثیر تعرق تجمعی (در طول دوره رشد گیاه) بر جذب نیتروژن در دانه گیاه کلزا



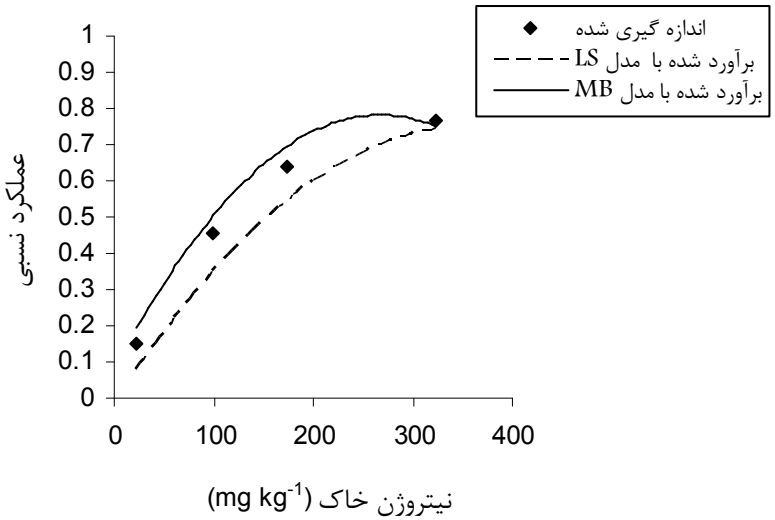
شکل۵ . تأثیر سطوح نیتروژن کاربردی در خاک بر غلظت یون کلر در دانه کلزا

جدول ۳. پارامترهای محاسبه شده برای مدل‌های LS و MB

پارامتر	مقدار	واحد
	مدل LS	
حد آستانه شوری (EC_{cr})	۳	$dS\ m^{-1}$
n	۰/۰۰۳۴	افزایش عملکرد نسبی به ازای هر واحد نیتروژن ($mg\ kg^{-1}$)
b	۰/۰۷۰۳	کاهش عملکرد نسبی به ازای هر واحد شوری ($dS\ m^{-1}$)
	مدل MB	
C_N	۰/۰۱۱۷۵	$kg\ mg^{-1}$
C_{EC}	۰/۱۳۳۹۳	$dS\ m^{-1}$
EC_{max}	۱۸/۲۴	$dS\ m^{-1}$

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]



شکل۶ . مقایسه عملکردهای نسبی اندازه گیری شده و برآورد شده دانه کلزا به وسیله مدل‌های MB وLS در سطوح مختلف نیتروژن

جدول ۴ . آماره‌های محاسبه شده برای مقایسه مدل‌ها بر اساس سطوح نیتروژن خاک

مدل‌ها	RMSE	CD	EF	ME	CRM	R^2
LS	۱۶/۷۸	۰/۸	۰/۸۷	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۹۸
MB	۸/۵	۱/۰۹	۰/۹۷	۰/۰۷	-۰/۰۶	۰/۹۹

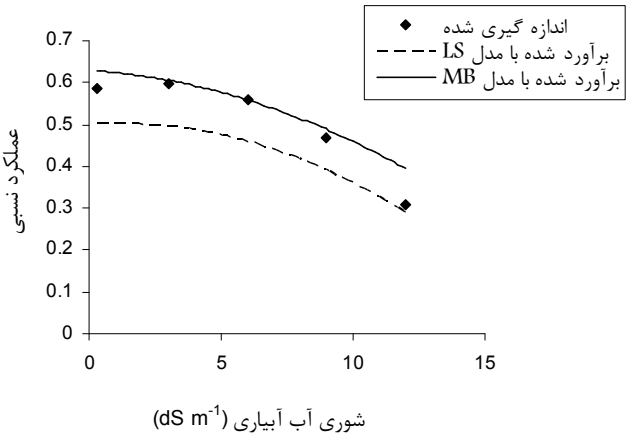
عامل نیتروژن، در حالتی محاسبه شده که تنش شوری وجود نداشته است. به عبارت دیگر در تیمارهایی از نیتروژن که شوری برای رشد گیاه ایجاد محدودیت ننموده (EC=۰/۳ dS m^{-1})، این پارامترها به‌دست آمده‌اند. هم‌چنین، پارامترهای دو مدلLS و MB، برای عامل شوری، در حالتی محاسبه شده‌اند که کمبود نیتروژن وجود نداشته است (در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک محاسبه شده است). محاسبه پارامترها با استفاده از روش بهینه‌سازی حداقل میانگین مربعات خطا انجام شده است.

شکل ۶ عملکردهای برآورد شده با مدل‌های تعدیل یافته LS و MB در مقایسه با عملکردهای اندازه گیری شده برای سطوح نیتروژن خاک را نشان می‌دهند. با توجه به مقادیر R^2 به‌دست آمده، هر دو مدل برای پیش بینی عملکرد بر اساس نیتروژن خاک مناسب هستند (R^2 برای مدل‌های LS و MB به ترتیب معادل ۰/۹۸ و ۰/۹۹ . است). همان‌گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود مقدار عملکرد برآورد شده به وسیله مدل LS نسبت به عملکرد واقعی کمتر تخمین زده شده است. مقایسه کمّی بین مدل‌های LS و MB با استفاده از آماره‌های مربوطه انجام و نتایج آن در جدول ۴ ارایه شده است.

مقایسه آماره‌های دو مدل نشان می‌دهد که مدل MB برای برآورد میانگین عملکرد نسبی دانه بر اساس سطوح نیتروژن خاک مناسب‌تر از مدل LS می‌باشد. زیرا علاوه بر کارایی بالاتر، مقادیر ME و RMSE نیز برای این مدل کمتر می‌باشد، ضمن این‌که مقدار R^2 آن نیز بالاتر می‌باشد (هرچند اختلاف ناچیزی دارند). مقدار RMSE نشان می‌دهد که برآوردها چه مقدار بیش برآوردی یا کم برآوردی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده دارند. از آنجا که مقدار RMSE برای مدل تعدیل یافته LS تقریباً دو برابر مدل تعدیل یافته MB است، تخمین عملکرد نسبی دانه برای سطوح نیتروژن خاک به وسیله مدل تعدیل یافته MB به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر می‌باشد. به‌دست

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]



شکل۷. مقایسه عملکردهای نسبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده دانه کلزا به‌وسیله مدل‌های MB و LS در سطوح مختلف شوری آب آبیاری

جدول ۵: آماره های محاسبه شده برای مقایسه مدل ها بر اساس سطوح شوری آب آبیاری

مدل‌ها	RMSE	CD	EF	ME	CRM	R^2
LS	۱۶/۴۷	۰/۹۵	۰/۴۱	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۹۸
MB	۸/۷۲	۱/۴۳	۰/۸۳	۰/۰۸	−۰/۰۶	۰/۹۵

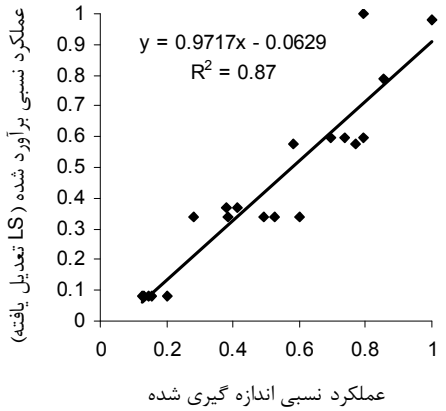
آوردن مقدار منفی و مثبت CRM برای یک مدل به ترتیب تمایل مدل را برای بیش برآوردی و کم برآوردی اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. مقدار CRM برای مدل‌های تعدیل یافته LS و MB به ترتیب مثبت و منفی می‌باشد که نشان می‌دهد مقدار برآورد شده عملکرد نسبی دانه به‌وسیله مدل‌های تعدیل یافته MB و LS به ترتیب بیشتر و کمتر از مقدار واقعی عملکرد نسبی تخمین زده می‌شوند. مقدار بیشتر ME کارایی نامناسب مدل را نشان می‌دهد. بنابراین، مقدار کمتر ME برای مدل تعدیل یافته MB، نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن این مدل نسبت به مدل تعدیل یافته LS است. آماره CD نسبت بین پراکنش مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. مناسب‌ترین مقدار CD برای یک مدل برابر یک می‌باشد. نزدیک‌تر بودن مقدار CD به یک در مدل تعدیل یافته MB نسبت به مدل تعدیل یافته LS، برتری مدل تعدیل یافته MB را نشان می‌دهد. هم‌چنین، کارایی مدل تعدیل یافته MB نیز از مدل تعدیل یافته LS بیشتر است. از آنجا که، همه آماره‌های جدول ۴ نشان از برتری مدل تعدیل یافته MB نسبت به مدل تعدیل یافته LS دارند، استفاده از مدل تعدیل یافته MB برای برآورد عملکرد نسبی دانه در سطوح نیتروژن خاک توصیه می‌گردد.

شکل ۷ برازش مدل‌های تعدیل یافته LS و MB بر عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده دانه کلزا در سطوح مختلف شوری را نشان می‌دهد. جدول ۵ نیز، مقدار هر آماره را برای دو مدل LS و MB در سطوح مختلف شوری ارایه می‌نماید.

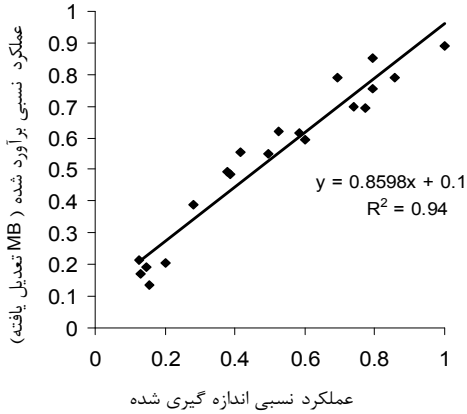
با توجه به ضرایب تبیین مدل‌ها، مدل تعدیل یافته LS نسبت به مدل MB، پیش بینی مناسب‌تری از عملکرد نسبی دانه کلزا در سطوح مختلف شوری آب آبیاری ارائه می‌دهد (گرچه اختلاف اندکی بین مقدار ضرایب تبیین دو مدل وجود دارد). ولی هنگامی که دیگر آماره‌های دو مدل با هم مقایسه شوند، مدل تعدیل یافته‌ی MB در پیش‌بینی عملکرد نسبی دانه کلزا در سطوح مختلف شوری، مناسب‌تر از مدل تعدیل یافته LS می‌باشد. کارایی مدل تعدیل یافته MB خیلی بیشتر از مدل تعدیل یافته LS است. هم‌چنین، مقایسه ME و RSME دو مدل

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

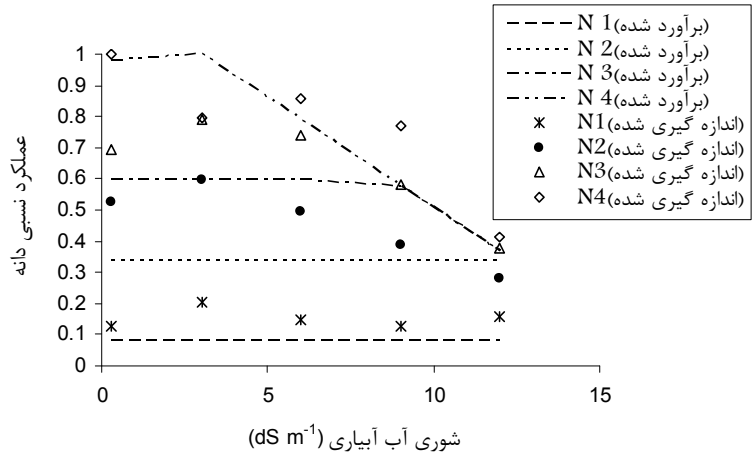
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]



شکل۸. مقایسه عملکردهای نسبی اندازه‌گیری شده و عملکرد برآورد شده به‌وسیله مدل تعدیل یافته LS



شکل۹. مقایسه عملکردهای نسبی اندازه‌گیری شده و عملکرد برآورد شده به وسیله مدل تعدیل یافته MB



شکل۱۰. رابطه عملکرد نسبی دانه کلزا با شوری آب آبیاری در سطوح مختلف نیتروژن بر اساس مدل تعدیل یافته LS و داده‌های اندازه‌گیری شده

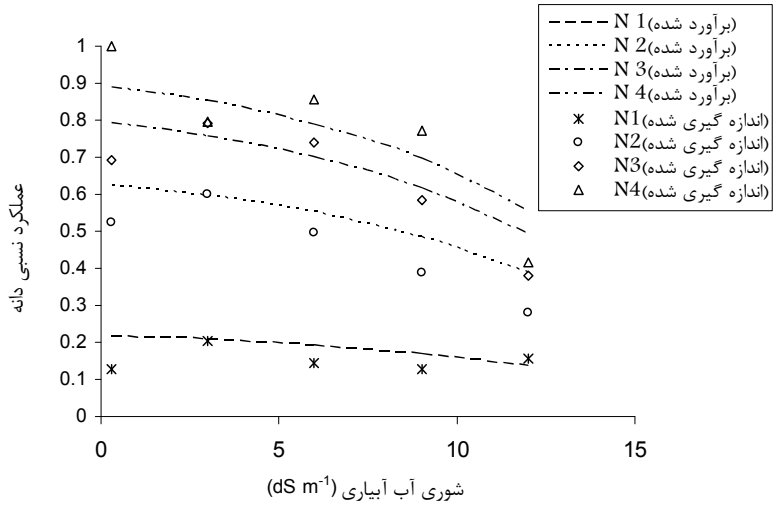
نیز برتری مدل تعدیل یافته MB نسبت به مدل تعدیل یافته LS را نشان می‌دهد. زیرا مقدار ME برای مدل تعدیل یافته LS بیشتر از مدل تعدیل یافته MB است. مقدار RSME برای مدل تعدیل یافته LS تقریباً دو برابر مدل تعدیل یافته MB است. بنابراین، برآورد عملکرد با مدل تعدیل یافته MB به مقادیر واقعی عملکرد نزدیک‌ترمی باشد. مقدار CRM برای مدل‌های تعدیل یافته LS و MB به ترتیب مثبت و منفی می‌باشد که نشان می‌دهد مقدار برآورد شده عملکرد نسبی دانه به وسیله مدل‌های تعدیل یافته MB و LS به ترتیب بیشتر و کمتر از مقدار واقعی عملکرد نسبی تخمین زده می‌شوند. با توجه به آماره CD، نسبت بین پراکنش مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده برای مدل تعدیل یافته LS نسبت به مدل تعدیل یافته MB بهتر می‌باشد. بیشتر آماره‌های فوق، برتری مدل تعدیل یافته MB را نسبت به مدل تعدیل یافته LS نشان می‌دهند.

در شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب، تمام عملکردهای نسبی برآورد شده به‌وسیله مدل‌های تعدیل یافته MB و LS به عنوان تابعی از تمام عملکردهای نسبی اندازه‌گیری شده، ارایه شده است. R^2 برای مدل‌های LS و MB به ترتیب برابر با ۰/۸۷ و ۰/۹۴ است. بنابراین، مدل تعدیل یافته MB نسبت به مدل تعدیل یافته LS، مناسب‌تر می‌باشد.

در شکل۱۰ رابطه بین عملکرد نسبی دانه و سطوح شوری در مقادیر مختلف مصرف نیتروژن بر اساس مدل تعدیل یافته

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]



شکل۱۱. رابطه عملکرد نسبی دانه کلزا با شوری آب آبیاری در سطوح مختلف نیتروژن با استفاده از مدل تعدیل یافته MB و داده‌های اندازه‌گیری شده

LS و داده‌های اندازه‌گیری شده ارائه شده است. این شکل مفهوم مدل LS تعدیل یافته را نشان می‌دهد که در آن اگر گیاه به طور هم‌زمان تحت تنش شوری و نیتروژن قرار گیرد، عملکرد آن تابع محدودکننده‌ترین عامل (شوری و یا نیتروژن) است. بنابراین تنش شدیدتر، عملکرد گیاه را تعیین می‌کند. در این شکل هر کدام از خطوط افقی که به خط شیب‌دار وصل شده، پاسخ عملکرد نسبی دانه به شوری در سطوح مختلف مصرف نیتروژن را نشان می‌دهد (خطوط افقی پاسخ گیاه به تنش نیتروژن را نشان می‌دهند). با کمک این شکل می‌توان عامل غالب و کنترل کننده عملکرد در مقادیر مختلف تنش شوری و نیتروژن برای گیاه کلزاز را مشخص کرد. همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، آستانه کاهش عملکرد در شرایط شور ثابت نبوده و بستگی به میزان نیتروژن موجود در خاک دارد. هنگامی که نیتروژن، عملکرد گیاه را محدود نمی‌کند (کاربرد ۳۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک)، حد آستانه کاهش عملکرد حدود ۳ $dS\ m^{-1}$ است. لیکن وقتی که نیتروژن عامل محدودکننده رشد گیاه می‌باشد حد آستانه کاهش عملکرد شوری بیشتر است. برای مثال با کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک، حد آستانه کاهش عملکرد برای شوری به ۹ $dS\ m^{-1}$ می‌رسد. حد آستانه کاهش عملکرد در شرایط شور در مقادیر کاربرد ۷۵ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک و بدون کاربرد نیتروژن به ترتیب ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. می‌توان گفت که تقریباً با کاربرد هر ۷۵

میلی‌گرم نیتروژن در کیلو گرم خاک، حد آستانه کاهش عملکرد در شرایط شور حدود ۴ دسی زیمنس بر متر کاهش می‌یابد. شنکر و همکاران (۱۶) نیز نتایج مشابهی برای گیاه ذرت شیرین گزارش کردند. آنان نتیجه گرفتند که در حالتی که کمبود نیتروژن وجود نداشته باشد، حد آستانه کاهش عملکرد برای این گیاه حدود ۰/۵ $dS\ m^{-1}$ می‌باشد. در حالی‌که با کاربرد نصف نیتروژن مورد نیاز گیاه، حد آستانه کاهش عملکرد به $4dS\ m^{-1}$ رسید. آنها علت این امر را محدودیت نیتروژن برای رشد گیاه در شرایط اخیر ذکر کرده‌اند. این دلیل برای نتایج این پژوهش نیز صادق است.

می‌توان نتیجه گرفت که حد کفایت نیتروژن برای گیاه نیز در شوری‌های مختلف متفاوت می‌باشد و کاربرد کمتر یا بیشتر از حد مناسب، سبب کاهش عملکرد و یا هدر رفت نیتروژن و آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود.

شکل۱۱ عملکرد نسبی دانه را در سطوح مختلف شوری و نیتروژن با استفاده از مدل تعدیل یافته MB نشان می‌دهد. در مدل تعدیل یافته MB فرض بر این است که جزء C برای دو

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]

جدول ۶ . آماره‌های محاسبه شده برای مقایسه مدل‌های تعدیل یافته LS و MB در سطوح مختلف شوری آب آبیاری برای هر یک از سطوح نیتروژن

مدل‌ها	سطوح نیتروژن	ME	RSME	CD	EF	CRM	R^2
LS	N_1	۰/۱۲	۵۱/۳۴	۰/۱۵	-۶/۸۷	۰/۴۸	
MB	N_1	۰/۰۹	۳۲/۲۳	۰/۴۳	-۲/۱۰	-۰/۲۰	
LS	N_2	۰/۲۶	۳۵/۸۳	۰/۸۸	-۱/۱۴	۰/۲۶	
MB	N_2	۰/۱۱	۱۸/۰۷	۱/۰۳	-۰/۴۶	-۰/۱۶	۰/۹۰
LS	N_3	۰/۲۰	۱۸/۴۳	۱/۳۰	۰/۳۵	۰/۱۴	۰/۸۳
MB	N_3	۰/۱۱	۱۱/۳۶	۱/۷۱	۰/۷۵	-۰/۰۵	۰/۸۴
LS	N_4	۰/۲۱	۱۷/۱۸	۰/۶۳	۰/۵۴	۰/۰۳	۰/۷۲
MB	N_4	۰/۱۴	۱۲/۴۳	۲/۵۷	۰/۷۶	۰/۰۲	۰/۸۵

عامل رشد و گیاه خاص ثابت است. البته ثابت بودن این جزء همواره با تردید مواجه بوده است (۸). در این آزمایش نیز جزء C ثابت فرض شد. نزدیک بودن عملکردهای برآورد شده و اندازه‌گیری شده می‌تواند دلیلی بر درستی این فرض باشد.

جدول ۶ آماره‌های محاسبه شده دو مدل تعدیل یافته LS و MB در سطوح مختلف شوری برای هر یک از سطوح نیتروژن را ارایه می‌نماید. با توجه به این آماره‌ها، مدل MB بهتر از مدل LS می‌تواند عملکرد را در سطوح مختلف شوری برای هر یک از مقادیر نیتروژن پیش‌بینی نماید. زیرا مقادیر ME در همه سطوح نیتروژن خاک در شوری‌های مختلف، برای مدل تعدیل یافته LS در مقایسه با مدل تعدیل یافته MB بالاتر می‌باشد. مقادیر RSME نیز برای همه سطوح نیتروژن خاک در شوری‌های مختلف آب آبیاری، برای مدل تعدیل یافته LS نسبت به مدل تعدیل یافته MB بیشتر بود (تقریباً ۱/۵ تا ۲ برابر بودند). بنابراین برآورد مدل تعدیل یافته MB برای سطوح نیتروژن خاک در سطوح متفاوت شوری، به مقادیر واقعی عملکرد نزدیک‌تر می‌باشد. به طور کلی، مقادیر RSME برای هر دو مدل تعدیل یافته LS و MB در سطوح پایین تر نیتروژن خاک نسبت به سطوح بالاتر آن بیشتر می‌باشد که نشان می‌دهد تخمین عملکرد با استفاده از این مدل‌ها، در سطوح بالاتر نیتروژن نسبت به سطوح پایین تر آن، به عملکردهای اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است. مقادیر آماره CRM مدل تعدیل یافته LS، در همه سطوح نیتروژن خاک نشان می‌دهد که مقدار برآورد شده نسبت به مقدار اندازه گیری شده کمتر برآورد شده‌اند. ولی در مورد مدل تعدیل یافته MB در همه سطوح نیتروژن به جز سطح چهارم (N_4) مقادیر برآورد شده، در مقایسه با اندازه‌گیری شده دارای بیش برآورد هستند. مقایسه کارایی مدل‌های تعدیل یافته LS و MB برای همه سطوح نیتروژن خاک در شوری‌های مختلف آب آبیاری نشان می‌دهد که مقادیر EF برای مدل تعدیل یافته MB در مقایسه با مدل تعدیل یافته LS به یک نزدیک‌تر می‌باشند. بنابراین، کارایی مدل تعدیل یافته MB بهتر از مدل تعدیل یافته LS می‌باشد. ضریب تبیین برای مدل MB در پایین‌ترین سطح نیتروژن خاک (نیتروژن بومی خاک) و هم‌چنین برای مدل LS در پایین‌ترین سطح نیتروژن خاک (نیتروژن بومی خاک) و کاربرد ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن در شوری‌های مختلف، قابل محاسبه نبود. زیرا مقادیر برآورد شده عملکرد به وسیله این مدل‌ها برای سطوح مختلف شوری یکسان بودند که علت این امر ایجاد محدودیت نیتروژن برای رشد گیاه نسبت به شوری، در این دو سطح نیتروژن خاک می‌باشد. مقدار ضریب تبیین برای دیگر سطوح نیتروژن خاک در سطوح مختلف شوری برای مدل تعدیل یافته MB بیشتر از مدل تعدیل یافته LS می‌باشد. با توجه به کلیه آماره‌های محاسبه شده، مدل تعدیل یافته MB برای برآورد عملکرد نسبی دانه کلزا در همه سطوح نیتروژن خاک (در شوری‌های مختلف آب آبیاری) مناسب‌تر می‌باشد.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]

نتیجه‌گیری

سیستم گیاه- خاک- آب بسیار پیچیده است و برهمکنش‌های زیادی بین اجزای مختلف آن وجود دارد. در این پژوهش، پاسخ گیاه کلزا به دو عامل تنش‌زای شوری و کمبود نیتروژن بررسی گردید. نتایج نشان داد با آن‌که دو مدل استفاده شده بر اساس فرضیات متفاوتی بنا شده‌اند، لیکن می‌توانند عملکرد دانه کلزا را در سطح قابل قبولی پیش‌بینی نمایند. با این حال، پیش‌بینی مدل تعدیل یافته MB به عملکردهای واقعی نزدیک‌تر بود. مدل تعدیل یافته LS فرض می‌کند از بین عامل‌های گوناگون رشد در هر زمان فقط یک عامل رشد عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مقابل مدل تعدیل یافته MB اثرات هم‌زمان عامل‌های رشد (بر اساس فرایندهای فیزیولوژیک) را مدنظر قرار می‌دهد. نتایج نشان داد که آستانه کاهش عملکرد در شرایط شور ثابت نبوده و بستگی به مقدار نیتروژن موجود در خاک دارد. بر مبنای مدل تعدیل یافته LS، می‌توان گفت که تقریباً با کاربرد هر ۷۵ میلی‌گرم نیتروژن در کیلو گرم خاک، حد آستانه کاهش عملکرد در شرایط شور حدود ۴ دسی زیمنس بر متر کاهش می‌یابد. مقایسه آماره‌های ME، RSME، EF، CD و CRM دو مدل نشان داد که عملکرد نسبی دانه برآورد شده برای سطوح نیتروژن خاک، شوری‌های آب آبیاری و اثرات متقابل شوری و نیتروژن (هر یک از سطوح نبتروژن خاک در سطوح مختلف شوری)، به وسیله مدل تعدیل یافته MB در مقایسه با مدل تعدیل یافته LS، نتایج رضایت بخش‌تری دارد. بنابراین، استفاده از مدل تعدیل یافته MB برای برآورد عملکرد نسبی دانه کلزا به هنگام وجود تنش‌های توأم شوری و نیتروژن توصیه می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌ها روش‌های تجزیه گیاه (جلد اول). نشریه شماره۹۸۲، مؤسسه تحقیقات خاک وآب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.

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

۳. علی احیایی، م. ۱۳۷۶. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک (جلد دوم). نشریه شماره ۱۰۲۴، مؤسسه تحقیقات خاک وآب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران، ایران.

۴. علی احیایی، م. و ع. ا. بهبهانی زاده. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک (جلد اول). نشریه شماره ۸۹۳، مؤسسه تحقیقات خاک وآب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.

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

6. Alam, S. M. 1999. Nutrient uptake by plants under stress conditions. PP. 285-313. *In*: M. Pessarakli (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc., New York.
7. Beltrao, J., J. Ben Ashes and D. Magnusson. 1993. Sweet corn response to combined effects of saline water and nitrogen fertilization. Acta. Hort. 335: 53-58.
8. Black, C. A. 1992. Soil Fertility Evaluation and Control. Lewis Publishers, Boca Raton, FL
9. Bresler, E. 1987. Application of conceptual model to irrigation water requirement and salt tolerance of crops. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 788–793.
10. Homaee, M., C. Dirksen and R. A. Feddes. 2002. Simulation of root water uptake. I. Non-uniform transient salinity stress. Agric. Water Manag. 57: 89-109.
11. Mengel, K. and E. A. Kirkby. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th ed. Kluwer Acadamic Publisher, Dordrecht. Germany.
12. Pazira, E. and M. Homaee. Salt affected resources in Iranian extention and reclamation. Sh. Kang, B. Davies, L. Shan and H. Cai (Eds.), 2003. Water–Saving Agriculture and Sustainable Use of Water and Land Resources. October 26-29, 2003. Yangling- Shaanxi, P. R. China.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]

13. Pope, A.L. and R.A. Leigh. 1990. Characterization of chloride transport at the tonoplast of higher plants using a chloride-sensitive huorescet probe. Effects of other anions, membrane potential, and transport inhibitors. Planta 181: 406-413.
14. Rhoades, J. D. and J. Loveday. 1990. Salinity in Irrigated Agriculture. PP. 1089-1142. *In*: B. A. Steward, D. R. Nielsen (Eds.), American Society oF Civil Engineers, Irrigation of Agricultural Crops, Monograph 30, USA.
15. Shani, U. and L. M. Dudley. 2001 Field studies of crop response to drought and salt stress. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 1522–1528.
16. Shenker, M., A. Ben-Gal and U. Shani. 2003. Sweet corn respose to combind nitrogen and salinity environmental stresses. Plant Soil 256: 139-147.
17. Xu, G., H. Magen, J. Trachitzky and U. Kafkafi. 2000. Advances in chloride nutrition of plants. Adv. Agron. 68: 97-150.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.54.3]