

مدل‌سازی واکنش گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) به تنش‌های

همزمان شوری آب و کمبود نیتروژن

حسین اردلانی، حسین بابازاده^{۱*} و حسین ابراهیمی

گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

h.ardalani1619@yahoo.com

گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

h_babazadeh@hotmail.com

گروه عمران، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

ebrahimi165@yahoo.com

چکیده

شوری یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان به شمار می‌آید. تحمل گیاهان به شوری با میزان نیتروژن دریافتی متغیر است. در این راستا پژوهشی با هدف مدل‌سازی پاسخ گیاه گوجه‌فرنگی به تنش‌های توأمان شوری و نیتروژن. به صورت گلدانی انجام شد. شش سطح شوری شامل ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی-زیمنس بر متر و سه سطح کود نیتروژن شامل صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی در سه تکرار اعمال شد. حداکثر عملکرد ماده خشک (۲۵/۸ گرم) در تیمار با شوری یک دسی‌زیمنس بر متر و کود مصرفی ۱۰۰ درصد و حداقل عملکرد ماده خشک (۵/۸ گرم) در تیمار با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و کود مصرفی صفر درصد به دست آمد. مدل‌های تعدیل یافته لیبیک-اسپرینگل (LS) و میچرلیخ-بال (MB) برای مدل‌سازی پاسخ گیاه به عناصر غذایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقایسه آماره‌های ارزیابی مدل‌ها نشان داد که برای مدل‌سازی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط توأمان تنش شوری و کمبود نیتروژن، مدل تعدیل یافته MB ($d=0/95$) در مقایسه با مدل تعدیل یافته LS ($d=0/88$) برآزش بهتری با داده‌های اندازه‌گیری شده داشت. بنابراین، استفاده از مدل تعدیل یافته (MB) برای برآورد عملکرد نسبی گوجه‌فرنگی توصیه می‌گردد. همچنین نتایج اثرات توأمان تنش‌های شوری و نیتروژن نشان می‌دهد که در یک سطح شوری با افزایش مقدار کود نیتروژن عملکرد ماده خشک گیاه افزایش یافته و با زیاد شدن شوری در یک سطح نیتروژن، عملکرد ماده خشک کاهش یافته است. آستانه کاهش عملکرد در شرایط شوری ثابت نبوده و بستگی به مقدار نیتروژن موجود در خاک دارد. در تیمار بدون مصرف نیتروژن، افزایش شوری تأثیر چندانی بر کاهش عملکرد نسبی نداشت. این امر نشان دهنده تأثیرگذار بودن عامل کمبود نیتروژن نسبت به شوری می‌باشد. بنابراین با مدیریت کود نیتروژن می‌توان، آستانه تحمل گیاه گوجه‌فرنگی به شوری را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: آستانه شوری، تعلق، مدل لیبیک-اسپرینگل (LS)، مدل میچرلیخ-بال (MB).

۱- آدرس نویسنده مسئول: تهران، انتهای اتوبان شهید ستاری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آب.

* - دریافت: مرداد ۱۳۹۵ و پذیرش: آذر ۱۳۹۵

مقدمه

کشاورز، ۱۳۸۴). در خاک‌های شور، به دلایلی متعدد کمبود این عنصر ممکن است تشدید شود. از جمله این عوامل می‌توان به کمبود شدید مواد آلی، 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 (جلالی و همکاران، ۱۳۸۶).

نیتروژن در بیشتر خاک‌ها، اعم از شور یا غیرشور عاملی محدودکننده برای رشد گیاه به شمار می‌آید. نتایج آزمایش‌های محققان (راویکوویچ و یولس، ۱۹۷۱) نشان داد که با کاربرد نیتروژن در شرایط شوری، تحمل به شوری افزایش می‌یابد. این اثر بستگی به گونه گیاه، سطح شوری و یا شرایط محیطی دارد (گراتن و گریو، ۱۹۹۹). نیتروژن از عناصر ضروری در افزایش تعداد گل و کیفیت میوه است و در بیشتر موارد نیتروژن ناکافی، محدود کننده رشد گیاه بوده و از سوی دیگر افزودن نیتروژن، رشد گیاه را بهبود می‌بخشد. بنابراین استفاده از کود نیتروژن به عنوان روشی در کاهش اثرات مضر شوری مطرح است (لیپس و همکاران، ۱۹۹۰).

دو مدل تعدیل یافته برای بررسی پاسخ گیاه در شرایط تنش همزمان یک عنصر غذایی همچون نیتروژن و شوری وجود دارند که شامل مدل‌های تعدیل یافته لیبیگ - اسپرینگل (Liebig-Sprengel (LS)) و مدل تعدیل یافته میچرلیخ بال (Mitscherlich-Baule (MB)) هستند. بر مبنای مدل تعدیل یافته لیبیگ - اسپرینگل (Liebig-Sprengel (LS)) در هر زمان، یک عامل رشد که محدود کننده‌ترین آنها است، مقدار عملکرد را تعیین می‌کند و پاسخ گیاه به این عامل رشد خطی است.

بسیاری از مناطق دنیا به ویژه در مناطق خشک، شوری یکی از مشکلات اصلی است که اثرات نامطلوبی بر فعالیت‌های کشاورزی دارد. شوری با افزایش فشار اسمزی، عدم تعادل بین عناصر غذایی و سمیت برخی عناصر ویژه، رشد گیاه را محدود می‌کند (گونس و آلسلن، ۱۹۹۶). در حقیقت هیچ ماده سمی به اندازه نمک رشد گیاهان در جهان را محدود نمی‌کند. شوری، حداقل ۲۰ درصد اراضی قابل کشت و بیش از ۴۰ درصد زمین‌های تحت آبیاری جهان را به درجات مختلف متأثر ساخته است (دمیرال و همکاران، ۲۰۰۵). اگر چه آبیاری سبب افزایش محصولات کشاورزی در سراسر جهان می‌شود، اما در صورت عدم مدیریت صحیح، سبب افزایش مقدار نمک در زمین‌های کشاورزی نیز می‌گردد. تخمین زده شده است که سالانه ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلیون هکتار زمین کشاورزی به علت افزایش نمک از چرخه تولید خارج می‌شود (اسکگر و همکاران، ۲۰۰۶).

در سال‌های اخیر، روند شور شدن خاک‌ها افزایش یافته و هکتارها زمین قابل کشت بر اثر تجمع بیش از حد نمک غیر قابل کشت شده‌اند (حسینی و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین شور شدن خاک تهدیدی است که به طور پیوسته سطح خاک‌های قابل کشت را کاهش می‌دهد (سالاردینی و مجتهدی، ۱۳۸۴). شوری به‌طور مستقیم توسعه دیواره سلولی را کاهش می‌دهد (برسان و همکاران، ۱۹۹۰). نیتروژن یکی از عناصر غذایی پر مصرف گیاه بوده که مدیریت مصرف آن اهمیت ویژه‌ای در تولید محصول، به‌خصوص در شرایط شوری دارد (فلورس و همکاران، ۲۰۰۱). نیتروژن یکی از مهمترین عناصر غذایی و عامل محدود کننده رشد گیاهان است و نقش بسیار مهمی در تغذیه گیاهان دارد (ملکوتی و

مدل تعدیل یافته لیبیگ- اسپرینگل به صورت زیر بیان می‌شود (بلاک؛ شنگر و شانی، ۲۰۰۳).

$$Y_r = \text{Min} \begin{cases} 1 & ; EC < EC_{cr} \\ a-b(EC-EC_{cr}) & ; EC \geq EC_{cr} \\ 1 & ; N > EC_{cr} \\ n.N & ; EC \leq EC_{cr} \end{cases} \quad (1)$$

که در آن:

EC_{cr} و N_{cr} عامل‌های تنش‌زا، به ترتیب حد آستانه گیاه به شوری و حد آستانه گیاه به کمبود نیتروژن، a و b به ترتیب عرض از مبدأ و شیب تابع پاسخ عملکرد به عامل EC_{cr} و n شیب پاسخ عملکرد به عامل N_{cr} می‌باشد. Min درحقیقت مفهوم قانون حداقل را بیان می‌کند و Y_r عملکرد نسبی گیاه است.

مدل تعدیل یافته میچرلیخ بال (Mitscherlich-Baule (MB)) در اصل از یک مبنای فیزیولوژیک تبعیت می‌کند که می‌گوید افزودن یک عنصر به محیط ریشه سبب اشباع ناقل پروتئینی ریشه (که انتقال‌دهنده عنصر از سطح ریشه به داخل ریشه است) با آن عنصر می‌شود. این امر، پاسخ نزولی عملکرد محصول به کاربرد آن عنصر را به دنبال دارد (بلاک، ۱۹۹۳؛ شنگر و شانی، ۲۰۰۳). 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 توأمان شوری و کمبود نیتروژن می‌توان به صورت زیر تعدیل کرد (شنگر و شانی، ۲۰۰۳).

$$Y_r = (1 - e^{-C_{NN}})(1 - e^{C_{EC}(EC - EC_{max})}) \quad (2)$$

که در آن:

EC_{max} مقدار هدایت الکتریکی آب شور می‌باشد، که در آن عملکرد محصول برابر صفر است و EC

N مقادیر عامل‌های مؤثر بر رشد، C_N و C_{EC} عامل کارایی یا ضریب میچرلیخ برای عامل‌های مؤثر رشد مربوطه که برای هر عامل رشد ثابت فرض می‌شود.

کاربرد توأم نیتروژن و شوری میزان جذب تمامی عناصر مورد مطالعه را در ریشه در مقایسه با کاربرد شوری به تنهایی افزایش می‌دهد که می‌تواند به دلیل شوری حاصل از افزودن نیتروژن به محیط رشد و در نتیجه نیاز به عناصر بیشتر برای تنظیم اسمزی باشد (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۹). هر یک از دو مدل تعدیل یافته MB و LS احتمال دارد در برهمکنش نیتروژن و شوری نتایج متفاوتی ارائه دهند. یعنی چنانچه مدل تعدیل یافته MB در تخمین برهمکنش شوری و نیتروژن به کار رود، اضافه نمودن نیتروژن می‌تواند اثر منفی شوری را کاهش دهد. در صورتی که مدل تعدیل یافته LS در پیش‌بینی عملکرد در شرایطی که شوری عامل محدود کننده رشد است، افزودن نیتروژن بر افزایش عملکرد تأثیری ندارد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۷).

سرایی و همکاران (۱۳۹۴) از دو مدل فوق برای مدل‌سازی پاسخ گیاه ریحان به تنش‌های توأمان شوری و کمبود نیتروژن استفاده کردند. نتایج تحقیقشان نشان داد که آستانه کاهش عملکرد در شرایط شوری ثابت نبوده و بستگی به مقدار نیتروژن موجود در خاک دارد. برای سطوح شوری آب آبیاری، مدل تعدیل یافته LS در مقایسه با مدل تعدیل یافته MB نتایج رضایت‌بخش‌تری داشت. در سطوح نیتروژن خاک و اثرات متقابل شوری و نیتروژن مدل تعدیل یافته MB نتایج رضایت‌بخش‌تری نسبت به مدل تعدیل یافته LS داشت. اختری و همکاران (۱۳۹۳) واکنش گیاه کلزا به شوری در شرایط کمبود نیتروژن را مدل‌سازی کردند و مدل‌های مبنایی خاک (LS, MB) را پیشنهاد نمودند.

نمونه دو کیلوگرمی و یک نمونه چهار کیلوگرمی تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. بعد از خشک کردن و با استفاده از الک، توزیع اندازه ذرات با روش هیدرمتری تعیین گردید. هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج و pH در گل اشباع با pH متر اندازه‌گیری شد. درصد کربن آلی از روش تعیین ازت کل به روش کج‌دال اندازه‌گیری شد. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک پس از پر کردن گلدان‌ها و چهار نوبت آبیاری، سه عدد گلدان که فقط برای جرم مخصوص ظاهری در نظر گرفته شده بودند یک روز بعد از آبیاری چهارم با استوانه نمونه‌برداری، نمونه دست نخورده تهیه و جرم مخصوص ظاهری هر نمونه تعیین گردید. از خاک دپو شده یک نمونه مرکب از چندین نقطه تهیه و در آزمایشگاه با استفاده از صفحات فشاری، نقاط FC و PWP تعیین گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی واکنش گیاه گوجه‌فرنگی به تنش‌های توأمان شوری و کمبود نیتروژن و ارزیابی کارایی مدل‌های تعدیل یافته LS و MB برای مدیریت صحیح کود نیتروژن در شرایط شور است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت گلدانی و در شرایط گلخانه‌ای بر روی گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) رقم Red Stone انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل شش سطح شوری (آب غیر شور یک و شوری ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) و سه سطح نیتروژن (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیتروژن) بر اساس آزمایش خاک بود. آزمایش در سه تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. مقدار خاک مورد نیاز جهت انجام آزمایش خاک از یکی از مزارع منطقه به محل آزمایش حمل و در محل دپو گردید. از این خاک یک

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

FC	بافت خاک	CU	K ⁺	N	P	OC	ZN	EC	pH
(درصد وزنی)			mg kg ⁻¹					ds/m	
۱۴/۹۶	لوم شنی	۱/۱۸	۵۵/۵	۲۰۵۰	۲/۰۵	۳/۷۳	۳/۷۳	۳/۵۳	۷/۲۴

شوری، از آب شور مصنوعی که عموماً NaCl و یا ترکیبی از CaCl₂+NaCl است، استفاده شده، و از تاثیر منفی سمیت برخی از عناصر و هم چنین تاثیر آنها بر قابلیت فراهمی سایر عناصر غذایی از لحاظ جذب در سطح ریشه و انتقال به درون گیاه، صرف‌نظر می‌گردد. این موضوع با شرایط واقعی منابع آب و خاک شور تطابق ندارد. در این پژوهش استفاده از آب شور طبیعی نسبت به آب شور ترجیح داده شد. برخی ویژگی‌های شیمیایی دو نمونه آب در جدول ۲ ارائه شده است.

بافت خاک لومی شنی و ظرفیت نگهداری آب در خاک در حد مطلوب می‌باشد. pH خاک ۷/۶ و در محدوده مناسب (۵/۵-۸/۵) برای کشت گوجه‌فرنگی بود و با توجه به هدایت الکتریکی (۳/۵۳ dSm⁻¹) خاک با شوری متوسط می‌باشد. مقدار فسفر موجود در خاک کمتر از حد بحرانی بوده و از طریق کوددهی جبران شد.

آب شور به منظور اعمال تیمارهای شوری از یک حلقه چاه واقع در منطقه گرمابسرده دماوند تهیه گردید. در برخی از تحقیقات انجام شده در مورد

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی نمونه آب مورد آزمایش چاه شور و غیر شور

منبع آب	pH	EC ds/m	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	CO ₃ ²⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	
			meq L ⁻¹								
چاه شور	۷/۸	۱۸/۲	۵۲۸	۸۴/۲	۸۷۲/۲	۸۰	۵۶	۸۳۶/۴	۸۱۰/۶	۰/۲	
چاه غیر شور	۸/۳	۰/۹۹	۲/۰۸	۶/۵	۲/۸	۰/۹	۶	۱/۵	۴/۳	۰/۱	

۵ تا ۱۰ کیلوگرم فسفر به خاک شنی لومی یا لومی شنی اضافه شود در حالی که در خاک‌های لوم و لومی رسی ۱۲ کیلوگرم فسفر در هکتار می‌بایست به خاک اضافه گردد تا میزان فسفر قابل جذب خاک یک کیلوگرم در هکتار افزایش یابد. همچنین در خاکهایی که مقدار پتاسیم خاک کمتر از ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک باشد از کود پتاسیم استفاده شود (سیلسپور و ملاحسینی، ۱۳۸۴). که با توجه به توصیه کودی آزمایشگاه، درجه خلوص کودها و نسبت سطح گلدان‌ها محاسبه و به صورت محلول در طی سه مرحله و از طریق آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شد. همچنین کودهای میکرو توصیه شده با توجه به نوع گیاه به صورت محلول پاشی داده شد. در این مرحله فقط یک چهارم مقادیر محاسبه شده تیمارهای نیتروژن به خاک اضافه گردید. سه نوبت دیگر هر هفت روز یکبار از طریق آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شد. تقسیط نیتروژن جهت تامین نیتروژن مورد نیاز در طول فصل رشد و با توجه به جزء آبتوی بود (حسینی و همکاران، ۱۳۸۷؛ سرایی و همکاران، ۱۳۹۴).

برای تعیین وزن خشک خاک، ۱۱ کیلوگرم (وزن خاک مورد استفاده در هر یک از گلدان‌ها) از خاک مورد استفاده در آن گذاشته و وزن خشک آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد و بعد از ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. برای حذف تبخیر از سطح گلدان‌ها، سطح آنها به وسیله شن پوشانده شد. تیمارهای اعمال شده به مدت یک ماه و از مرحله گلدهی تا میوه‌دهی اعمال شد. جهت آبیاری گلدان‌ها و به منظور اعمال

برای انجام این آزمایش، گلدان‌هایی به قطر ۳۰ سانتی‌متر و عمق ۲۵ سانتی‌متر تهیه و کف آنها با مته سوراخ شد. پس از آماده‌سازی گلدان‌های آزمایش، ۱۱ کیلوگرم خاک خشک، وزن شده و سپس در کیسه‌های پلاستیکی بزرگ ریخته شد. سپس مقادیر مناسب عناصر ضروری بر اساس توصیه آزمایشگاه، به صورت محلول و با توجه به ظرفیت زراعی (FC) خاک مورد آزمایش به خاک اضافه شد. برای انجام آزمایش خاک و تعیین نیاز کودی یک نمونه خاک به آزمایشگاه تحویل داده شد و پس از انجام آزمایش و نتایج بدست آمده توصیه کودی توسط آزمایشگاه به صورت کیلوگرم در هکتار داده شد، مقدار کود مورد نیاز یک گلدان با توجه به سطح گلدان به هکتار محاسبه و تهیه محلول‌های کودی به عنوان عامل فرعی در سه سطح به صورت زیر انجام شد. این محلول‌ها در کل در چهار مرحله در طول مراحل رشد به گیاه داده شد.

- تیمار اول (N₁): عدم مصرف کود نیتروژن
- تیمار دوم (N₂): کود نیتروژن به صورت اوره با خلوص ۴۶ درصد نیتروژن به منظور تامین ۵۰ درصد نیاز کودی گیاه
- تیمار سوم (N₃): همانند تیمار قبلی و به منظور تامین ۱۰۰ درصد نیاز کودی گیاه

سایر کودهای شیمیایی مورد نیاز، فسفر به صورت دی آمونیوم فسفات با درجه خلوص ۵۰ درصد، پتاسیم به صورت سولفات پتاسیم با درجه خلوص ۶۰ درصد بود. برای آنکه فسفر قابل جذب خاک، یک کیلوگرم در هکتار افزایش یابد می‌بایست

منظور وزن گلدان‌ها در یک ساعت مشخص با یک ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۰۱ کیلوگرم) اندازه‌گیری می‌شد (گلدان به عنوان لایسیمترهای وزنی در نظر گرفته می‌شد). برای برنامه‌ریزی آبیاری و تعیین زمان و مقدار آبیاری از روش بیلان رطوبتی آب در خاک استفاده شد. نخست مقدار رطوبت قابل جذب گیاه (θ_{CEC}) محاسبه (رابطه ۱) و سپس هر وقت رطوبت به آن حدود می‌رسید آبیاری انجام می‌شد. بدین منظور ابتدا مقدار رطوبت قابل جذب گیاه (θ_{CEC}) با توجه به میزان رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی ۱۹/۵ درصد و میزان رطوبت در نقطه پژمردگی ۱۰/۴ درصد که از طریق صفحات فشاری بدست آمده بود محاسبه و سپس با توجه به مقدار تخلیه مجاز رطوبتی ۵۰ درصد و جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب، عمق آب آبیاری از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$\theta_{CEC} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \quad (۳)$$

که در آن:

θ_{CEC} رطوبت حجمی قابل جذب گیاه (%)،
 θ_{FC} رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی (%)
 θ_{PWP} رطوبت حجمی خاک در حد نقطه پژمردگی دائم و
 MAD ضریب حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (%)
 می‌باشد.

$$d_n = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \times D_{rz} \quad (۴)$$

که در آن:

d_n عمق آب آبیاری (mm) و D_{rz} عمق منطقه توسعه ریشه‌ها (mm) می‌باشد. مقدار مصرف آب توسط گیاه از طریق بیلان اجزاء آب بر اساس رابطه زیر محاسبه شد.

$$I = (ET_c + D_d + R_0) \pm \Delta S \quad (۵)$$

که در آن:

تیمارهای شوری، ابتدا آب شور منتقل شده به گلخانه متناسب با هر تیمار رقیق گردید. سپس آبیاری گلدان‌ها با استفاده از آب شور مربوطه انجام گردید. رطوبت خاک هر روز در یک ساعت مشخص با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج PMS-۷۱۴ (با دامنه اندازه‌گیری رطوبت وزنی صفر تا ۵۰ درصد) اندازه‌گیری شد. این دستگاه از دو قسمت میله به طول ۲۰ سانتی‌متر و یک صفحه دیجیتالی به ابعاد ۲۸ میلی‌متر در ۱۹ میلی‌متر تشکیل شده است. جهت اندازه‌گیری رطوبت، میله دستگاه به طور قائم در داخل خاک و در منطقه ریشه قرار می‌گیرد، پس از قرار گرفتن در داخل خاک، رطوبت‌سنج شروع به ثبت تغییرات رطوبت خاک کرده تا اینکه پس از چند ثانیه دیجیتالی دستگاه روی عددی که نشان‌دهنده رطوبت خاک می‌باشد ثابت می‌گردد. جهت اطمینان از دقت دستگاه و به منظور واسنجی مجدد دستگاه در آزمایشگاه تعداد هشت گلدان در نظر گرفته شد. سپس با مشبک کردن انتهای گلدان‌ها، اشباع شدند و اجازه داده شد نمونه‌ها به طور طبیعی به حد رطوبتی دلخواه برسند. سپس دستگاه را به طور عمودی در داخل خاک وارد کرده و بعد از قرائت رطوبت، یک نمونه خاک با استفاده از سیلندرهای فولادی از داخل گلدان به قطر و ارتفاع یکسان برداشته و آن را در آون گذاشته و در دمای ۱۰۵ درجه خشک و رطوبت وزنی آن تعیین گردید.

رطوبت اندازه‌گیری در دو حالت با درصد کمی اختلاف یکی بود. از مزایای این روش اندازه‌گیری سریع، اندازه‌گیری مستقیم در صحرا و در شرایط طبیعی و قابلیت اندازه‌گیری رطوبت خاک از حد رطوبت پژمردگی تا رطوبت اشباع است. به منظور واسنجی، روش وزنی نیز به عنوان یک روش کنترلی جهت اطمینان از دقت دستگاه در مراحل رشد و روزهای اندازه‌گیری رطوبت در نظر گرفته شد. بدین

$$ME = \text{MAX} |P_i - O_i|_{i=1}^n \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (6)$$

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

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (8)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

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

که در آنها:

P_i مقادیر برآورد شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد مشاهدات و \bar{O} میانگین مقادیر O_i می‌باشد.

کمترین مقدار برای ME و $RMSE$ صفر است. هر چه مقدار ME مدل بیشتر باشد دقت یا برازش مدل کمتر می‌شود، در حالی که مقدار $RMSE$ نشان می‌دهد، که برآوردها چه مقدار بیش برآوردی یا کم برآوردی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده دارند. اگر تمامی داده‌های برآورد شده و اندازه‌گیری شده یکسان باشند، بیشترین مقدار برای EF برابر 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. شاخص سازگاری (d) هر قدر به عدد یک نزدیکتر باشد سازگاری آن مدل بیشتر می‌باشد. شاخص CRM گرایش مدل به تخمین بیشتر و یا کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را بیان می‌کند. اگر تمامی داده‌های برآورد شده و اندازه‌گیری شده یکسان باشند. نتایج آماره‌ها به صورت ME ، CRM و

I عمق آب آبیاری (mm)، ET_C تبخیر و تعرق گیاه (mm)، D_d عمق آب زه‌کشی (mm)، R_O عمق رواناب (mm) و ΔS تغییرات ذخیره رطوبتی خاک (mm) می‌باشند.

حجم گلدان با توجه به قطر گلدان (۳۰ سانتی‌متر) و عمق (۲۰ سانتی‌متر) برابر ۰/۰۱۴ متر مربع بود. مقدار آب آبیاری بر حسب لیتر از حاصلضرب حجم گلدان و عمق آب آبیاری به دست آمد. آب مصرفی گیاه در تیمارهای شوری با اعمال ۲۰ درصد اعمال شد. کل آب مصرفی برای کل تیمارها ۵۱۳۳ لیتر بود. پس از رسیدن گوجه‌ها از بوته جدا گردید و پس از انتقال به آزمایشگاه عملکرد ماده خشک در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری و عملکرد نسبی از تقسیم ماده خشک تیمارها بر عملکرد ماده خشک تیمار بدون تنش محاسبه شد.

به منظور کمی کردن اثر شوری و نیتروژن بر عملکرد محصول، عملکرد نسبی با استفاده از مدل‌های تعدیل یافته 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 هم مقایسه شدند.

شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها

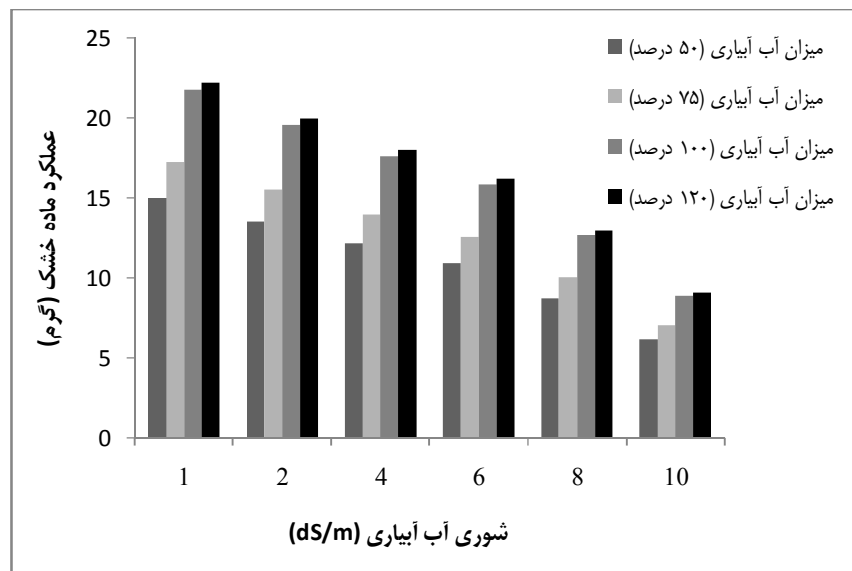
شاخص‌های آماری متفاوتی برای سنجش، اعتبار و صحت توابع تولید مدل‌ها وجود دارند. برای ارزیابی مدل‌ها، از پارامترهای آماری ریشه دوم میانگین قدر مطلق خطاها ($RMSE$)، قدر مطلق بیشینه خطاها (ME)، شاخص سازگاری (d)، نسبت انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از اندازه‌گیری شده به انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده از مقادیر میانگین (EF) و مقدار CRM که نشان‌دهنده تمایل مدل برای بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری‌ها می‌باشد به صورت زیر استفاده شد.

شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و کود مصرفی صفر درصد به دست آمد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری، عملکرد نسبی گوجه‌فرنگی کاهش و با افزایش نیتروژن به خاک، عملکرد افزایش یافته است. در سطوح پائین شوری، با افزودن نیتروژن، وزن خشک و تر میوه بیشتر از کاربرد شوری به تنهایی بود، ولی در سطوح بالای شوری، افزودن نیتروژن تاثیر کمتری داشت (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۹). افزودن کود نیتروژن تا حدی می‌تواند سبب کاهش و تعدیل اثر نامطلوب شوری شود ولی کاربرد زیادی نیتروژن باعث افزایش شوری می‌گردد (راویکیویچ و پراس، ۱۹۶۷). بنابراین، به هنگام وجود هر دو تنش شوری و فقر غذایی باید دقت نمود که آیا مصرف کود تحمل گیاه به شوری را کاهش یا افزایش می‌دهد (سرای، ۱۳۹۳). در تیمار بدون مصرف نیتروژن افزایش شوری تاثیر چندانی بر کاهش عملکرد نسبی نداشته که نشان‌دهنده تاثیرگذار بودن عامل کمبود نیتروژن نسبت به شوری می‌باشد، که نتایج ذکر شده در فوق با یافته‌های حسینی و همکاران (۱۳۸۷) و سرایی و همکاران (۱۳۹۴) تطابق دارد.

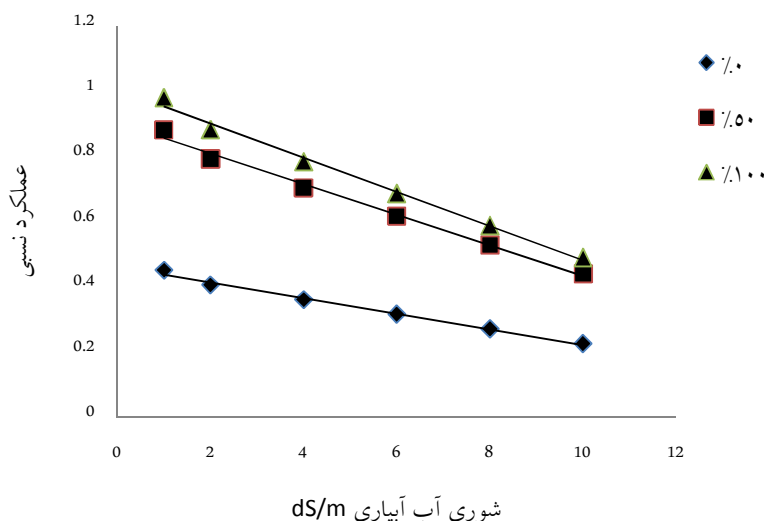
RMSE برابر صفر و EF برابر یک خواهد بود (سرای و همکاران، ۱۳۹۴؛ همایی و همکاران، ۲۰۰۲؛ همایی و همکاران، ۲۰۰۲c؛ لوگیو و گرین، ۱۹۹۱). پارامترهای مدل‌ها با روش بهینه‌سازی حداقل مجموع مربعات خطا تعیین گردید.

نتایج و بحث

عملکرد ماده خشک گیاه گوجه‌فرنگی در شوری‌های مختلف با توجه به میزان آب مصرفی در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در یک سطح شوری با افزایش مقدار آب آبیاری عملکرد ماده خشک گیاه افزایش و با افزایش شوری عملکرد ماده خشک گیاه کاهش یافته است. در شکل ۲ نیز عملکرد نسبی (میزان عملکرد در شرایط تنش به حداکثر عملکرد) گیاه گوجه‌فرنگی به عنوان تابعی از میزان مصرف نیتروژن در سطوح شوری‌های مختلف آب آبیاری نشان داده شده است. حداکثر عملکرد ماده خشک، ۲۵/۸ گرم در تیمار با شوری یک دسی‌زیمنس بر متر و کود مصرفی ۱۰۰ درصد و حداقل عملکرد ماده خشک، ۵/۸ گرم در تیمار با



شکل ۱- تاثیر شوری‌های مختلف آب آبیاری بر عملکرد ماده خشک



شکل ۲- تأثیر مقدار نیتروژن بر عملکرد نسبی گوجه‌فرنگی در شوریه‌های مختلف آبیاری

زیمنس بر متر). همچنین، پارامترهای دو مدل تعدیل یافته LS و MB برای سطوح شوری، در شرایط عدم وجود تنش مواد مغذی محاسبه شده است (در سطح تامین ۱۰۰ درصد نیاز کودی توصیه شده براساس آزمایش خاک).

جدول ۳ پارامترهای برآورد و کمی شده مدل‌های تعدیل یافته LS و MB را به هنگام وجود تنش همزمان شوری و نیتروژن نشان می‌دهد. پارامترهای این دو مدل، برای نیتروژن در شرایط عدم وجود تنش شوری محاسبه شد (شوری یک دسی

جدول ۳- پارامترهای محاسبه شده برای مدل‌های تعدیل یافته LS و MB

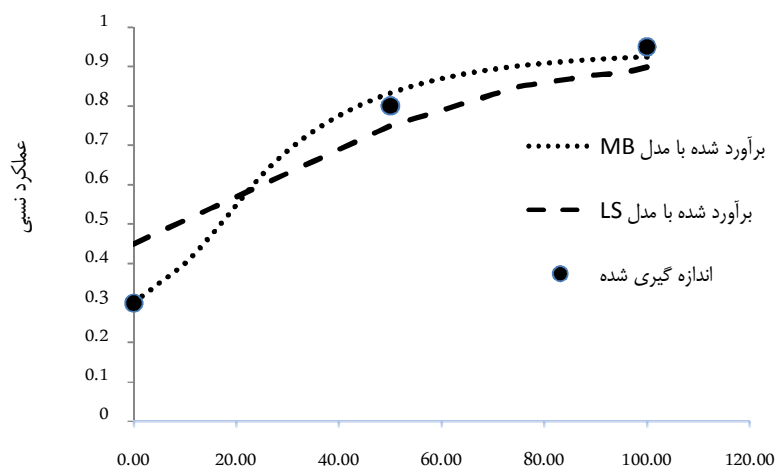
نام مدل	پارامتر	مقدار	واحد
	حد آستانه شوری آب (EC_{cr})	۲/۵	dSm^{-1}
مدل تعدیل یافته LS	n	-۰/۰۸۷	افزایش عملکرد نسبی به ازای افزایش هر واحد نیتروژن ($mg\ kg^{-1}$)
	b	۰/۰۸۸	کاهش عملکرد نسبی به ازای افزایش هر واحد شوری (dSm^{-1})
مدل تعدیل یافته MB	C_n	۰/۰۴۳	$Kg\ mg^{-1}$
	C_{EC}	۰/۳۰۶	dSm^{-1}
	EC_{max}	۱۰/۴	dSm^{-1}

جدول ۴ مقایسه کمی بین مدل‌های تعدیل یافته LS و MB با استفاده از آماره‌های مربوطه را نشان می‌دهد. اگر چه مقادیر ضرایب تبیین دو مدل تعدیل یافته LS ($R^2=0/89$) و MB ($R^2=0/92$) به هم نزدیک می‌باشد ولی مقایسه آماره‌های دیگر دو مدل نشان می‌دهد که مدل تعدیل یافته MB میانگین عملکرد

شکل ۳ عملکرد نسبی برآورد شده با مدل‌های تعدیل یافته LS و MB در مقایسه با عملکرد نسبی محاسبه شده برای سطوح مختلف نیتروژن خاک را نشان می‌دهد. مدل تعدیل یافته LS مقدار عملکرد نسبی را در سطوح نیتروژنی صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌نماید.

شده نزدیک‌تر می‌باشد. همه آماره‌های جدول ۴ نشان از برتری مدل تعدیل یافته MB نسبت به تعدیل یافته LS دارند، استفاده از مدل تعدیل یافته MB برای برآورد عملکرد نسبی در سطوح نیتروژن خاک توصیه می‌گردد. نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایج شنکر و شانی (۲۰۰۳)، حسینی و همکاران (۱۳۸۷) و سرایی و همکاران (۱۳۹۴) تطابق دارد.

نسبی در سطوح مختلف نیتروژن خاک را با دقت مناسب‌تری نسبت به مدل تعدیل یافته LS برآورد می‌نماید. زیرا علاوه بر کارایی بالاتر، مقادیر ME و RMSE نیز برای این مدل کمتر می‌باشد. مقدار RMSE برای مدل تعدیل یافته LS تقریباً چهار برابر مدل تعدیل یافته MB است، بنابر این تخمین عملکرد نسبی گوجه‌فرنگی برای سطوح نیتروژن خاک به وسیله مدل تعدیل یافته MB به مقادیر اندازه‌گیری



میزان مصرف کود (بر حسب درصد)

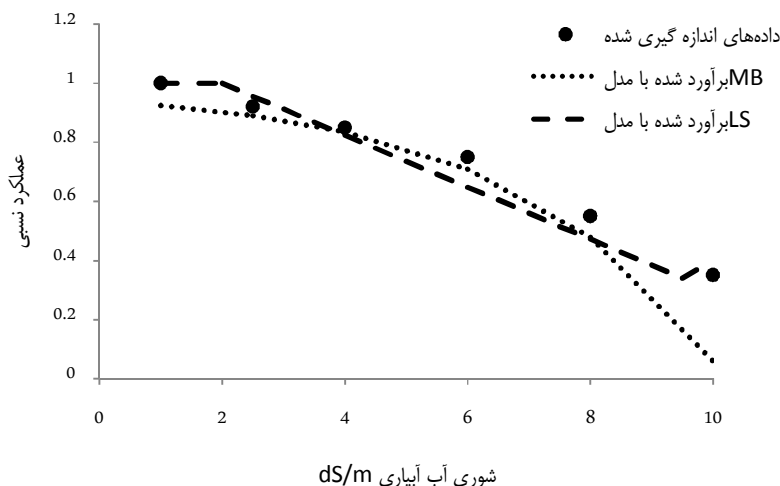
شکل ۳- مقایسه عملکردهای نسبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده گوجه‌فرنگی به وسیله مدل‌های MB و LS در سطوح مختلف نیتروژن

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

مدل	RMSE	ME	EF	CRM	R ²
LS	۲۵/۹	۱۴/۲	۱/۰۹	-۰/۴۵	۰/۸۹
MB	۶/۱	۳/۷	۱/۱۴	۰/۰۵	۰/۹۲

پیش‌بینی عملکرد نسبی گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف شوری مناسب‌تر از مدل تعدیل یافته MB می‌باشد. در جدول ۵ نیز، مقادیر آماری مدل‌های مورد ارزیابی در سطوح مختلف شوری ارایه شده است.

شکل ۴ برازش مدل‌های تعدیل یافته LS و MB بر عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف شوری را نشان می‌دهد. همانگونه در شکل مشاهده می‌شود مدل تعدیل یافته LS در



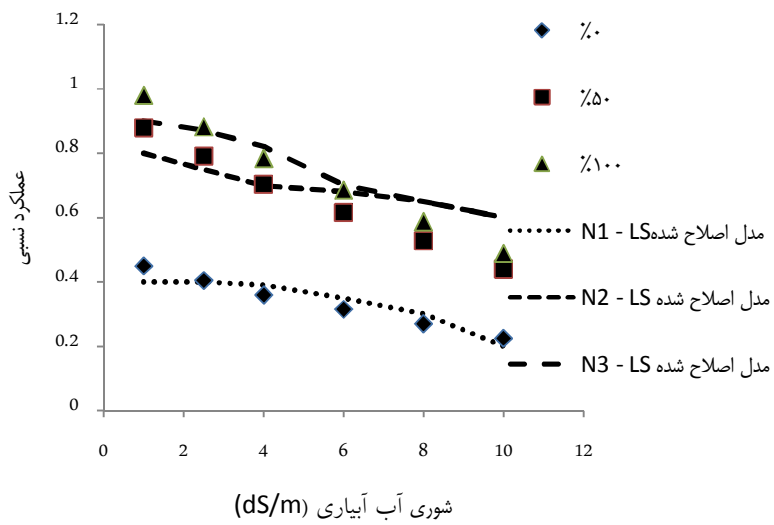
شکل ۴- مقایسه عملکردهای نسبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف شوری آب آبیاری

جدول ۵- آماره‌های محاسبه شده برای مقایسه مدل‌ها بر اساس سطوح شوری آب آبیاری

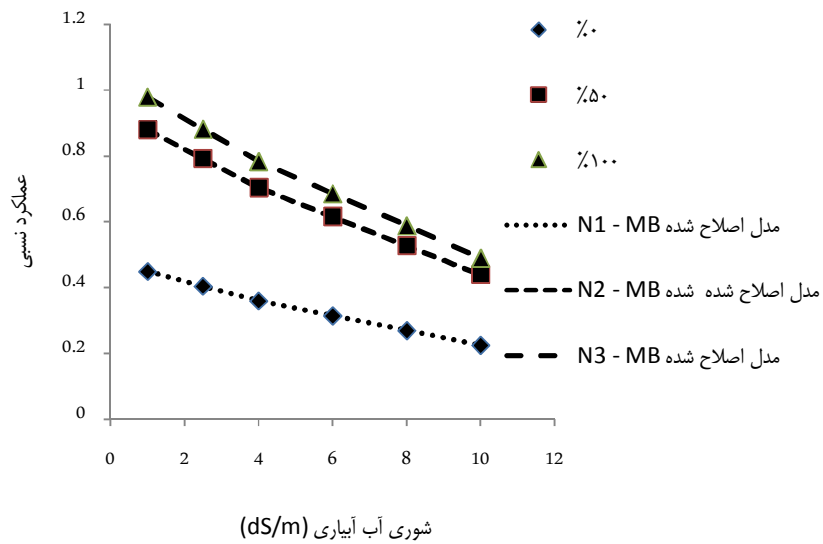
مدل	RMSE	ME	EF	CRM	R ²
LS	۱۲/۶۱	۶	۰/۹۲	۰/۰۹	۰/۸۹
MB	۱۲/۸۴	۸	۰/۸۷	۰/۱۱	۰/۸۵

به یک نزدیک‌تر بوده، لذا کارایی مدل تعدیل یافته LS بیشتر از مدل تعدیل MB می‌باشد. همچنین با مقایسه مقادیر $ME=6$ و $RMSE=12/61$ مدل تعدیل یافته LS در مقایسه با مقادیر $ME=8$ و $RMSE=12/84$ مدل تعدیل یافته MB، مشخص شد که تخمین عملکرد با مدل تعدیل یافته LS به مقادیر واقعی عملکرد نزدیک‌تر می‌باشد، که با نتایج تحقیقات شنکر و و شانی (۲۰۰۳) و سرایی و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی دارد.

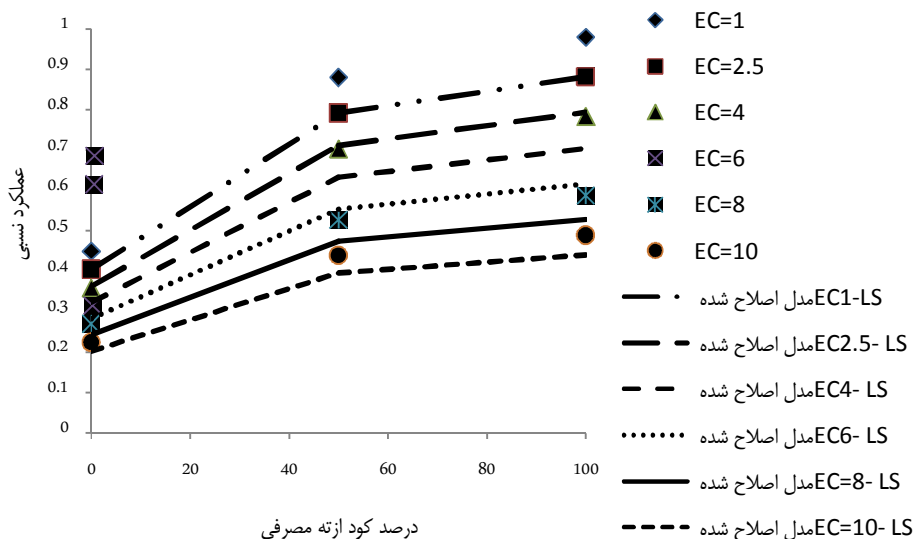
اگر چه مقادیر ضرایب تبیین دو مدل تعدیل یافته LS ($R^2=0/89$) و MB ($R^2=0/85$) به هم نزدیک می‌باشد و اختلاف زیادی وجود ندارد ولی با مقایسه سایر آماره‌های محاسبه شده دو مدل در سطوح مختلف شوری (جدول ۵) و شکل ۴، مدل تعدیل یافته LS در پیش بینی عملکرد گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف شوری، مناسب‌تر از مدل تعدیل یافته MB می‌باشد. آماره $EF=0/92$ مدل تعدیل یافته LS نسبت به آماره $EF=0/87$ مدل تعدیل یافته MB



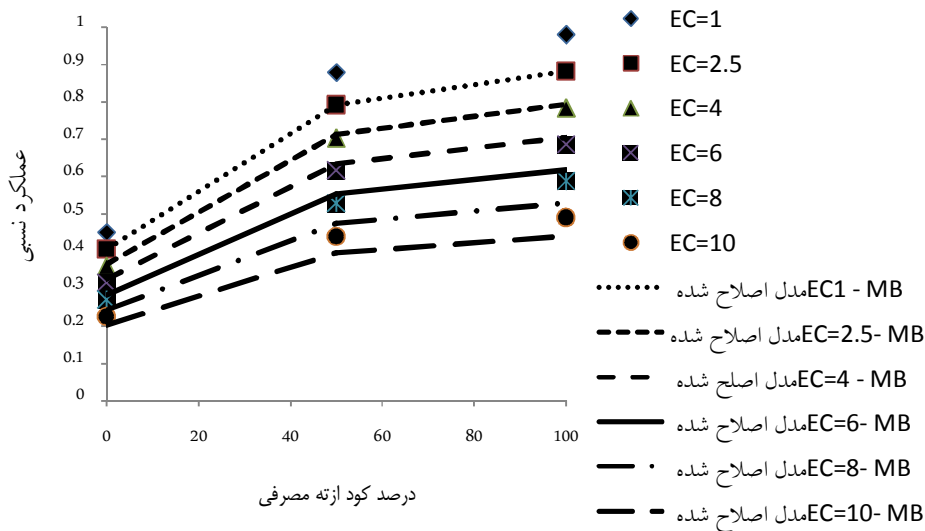
شکل ۵- مقایسه عملکرد نسبی اندازه گیری شده و برآورد شده در سطوح مختلف شوری آب آبیاری و نیترोजن بر اساس مدل تعدیل یافته LS



شکل ۶- مقایسه عملکرد نسبی اندازه گیری شده و برآورد شده در سطوح مختلف شوری آب آبیاری و نیترोजن بر اساس مدل تعدیل یافته MB



شکل ۷- مقایسه عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده در سطوح مختلف شوری آب آبیاری و نیتروژن بر اساس مدل تعدیل یافته LS



شکل ۸- مقایسه عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده در سطوح مختلف شوری آب آبیاری و نیتروژن بر اساس مدل تعدیل یافته MB

یافته MB را نشان می‌دهد که در آن گیاه به طور همزمان تحت تنش شوری و کمبود نیتروژن قرار می‌گیرد، عملکرد گیاه تابع محدود کننده‌ترین عامل (شوری و یا نیتروژن) است. بنابر این تنش شدیدتر، عملکرد گیاه را تعیین می‌کند. در این اشکال هر کدام

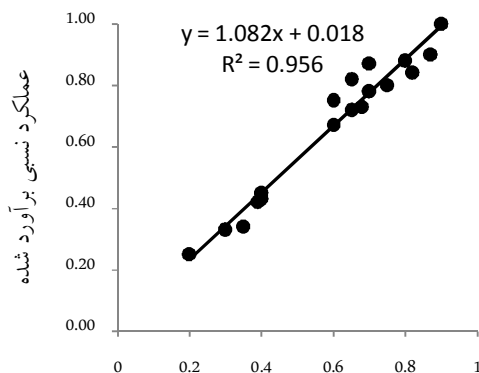
شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ مقادیر عملکرد نسبی شبیه‌سازی شده گوجه‌فرنگی در شرایط تنش همزمان شوری و نیتروژن توسط مدل‌های تعدیل یافته MB و LS را نشان می‌دهد. در شکل‌های ۵ و ۷ مفهوم مدل تعدیل یافته LS و شکل‌های ۶ و ۸ مفهوم مدل تعدیل

از خطوط افقی که به خط شیب‌دار وصل شده، پاسخ عملکرد نسبی گوجه‌فرنگی به شوری در سطوح مختلف مقدار نیتروژن را نشان می‌دهد. آستانه کاهش عملکرد نسبی در شرایط شوری ثابت نبوده و بستگی به میزان نیتروژن موجود در خاک دارد. هنگامی که نیتروژن، عملکرد گیاه را محدود نمی‌کند حد آستانه کاهش عملکرد شوری بیشتر است. لذا کاربرد کمتر یا بیشتر از حد مناسب نیتروژن، سبب کاهش عملکرد و یا هدر رفت نیتروژن می‌گردد. نتایج نشان داد در سطوح مختلف کود نیتروژنه N_{100} ، N_{50} و N_0 متوسط حد آستانه شوری متفاوت بوده و به ترتیب برابر ۲/۵، ۴ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد.

در شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب، کارایی دو مدل تعدیل یافته MB و LS در مقایسه با عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده ارائه شده است. در این شکل‌ها تمام عملکردهای نسبی برآورد شده توسط دو مدل به عنوان تابعی از عملکردهای نسبی اندازه‌گیری شده نمایان است. مقدار R^2 برای مقایسه مدل‌های تعدیل یافته MB و LS به ترتیب برابر با ۰/۹۷ و ۰/۹۵ است. که در مجموع مدل تعدیل یافته MB برآزش بهتری بر داده‌های اندازه‌گیری شده را به همراه داشت. در جدول ۶ آماره‌های محاسبه شده برای دو مدل تعدیل یافته LS و MB تحت شرایط همزمان شوری و کمبود نیتروژن ارائه شده است. با ملاحظه این جدول، بهترین مدل که بهترین انطباق را با داده‌های اندازه‌گیری شده داشته باشد، مدل تعدیل یافته MB می‌باشد. با توجه به آماره‌های این جدول، مدل تعدیل یافته MB در مقایسه با مدل تعدیل یافته LS عملکرد را در سطوح مختلف شوری برای هر یک از سطوح نیتروژن بهتر می‌تواند پیش‌بینی نماید.

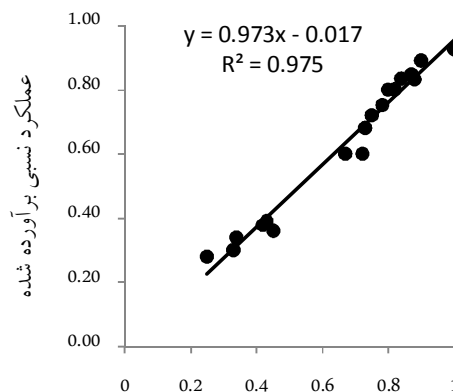
زیرا مقادیر ME در همه سطوح نیتروژن خاک (N_1 ، N_2 و N_3) در شوری‌های مختلف، برای مدل تعدیل یافته MB در مقایسه با مدل تعدیل یافته LS کمتر می‌باشد. مقادیر RSME نیز برای همه سطوح نیتروژن در شوری‌های مختلف آبیاری، برای مدل تعدیل یافته MB نسبت به مدل تعدیل یافته LS کمتر بود. مقادیر d برای مدل تعدیل یافته MB نسبت به مقادیر LS در همه سطوح نیتروژن و در شوری‌های مختلف آبیاری بالاتر بود. بنابر این مدل تعدیل یافته MB برای سطوح نیتروژن خاک در شوری‌های مختلف، به مقادیر واقعی عملکرد نسبی نزدیک‌تر می‌باشد. به طور کلی در هر دو مدل تعدیل یافته، مقادیر d در سطوح پائین‌تر نیتروژن، نسبت به سطوح بالای نیتروژن بیشتر می‌باشد، لذا تخمین عملکرد نسبی در مقایسه با عملکردهای اندازه‌گیری شده سازگاری بهتری دارد و در مقایسه دو مدل، مدل تعدیل یافته MB نسبت به مدل LS تخمین بهتری ارائه نمود. مقادیر آماره CRM در هر دو مدل، در همه سطوح نیتروژن خاک نشان می‌دهد که مقدار برآورد شده نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده دارای کم برآورد هستند.

مقادیر EF در مدل تعدیل یافته MB نسبت به مدل تعدیل یافته LS به یک نزدیک‌تر می‌باشند. بنابر این کارایی مدل تعدیل یافته MB بهتر از مدل تعدیل یافته LS می‌باشد. با توجه به کلیه آماره‌های محاسبه شده، مدل تعدیل یافته MB برای برآورد عملکرد نسبی گوجه‌فرنگی در همه سطوح نیتروژن در شوری‌های مختلف دارای دقت قابل قبول‌تری بوده و مناسب‌تر می‌باشد.



عملکرد نسبی اندازه گیری شده

شکل ۱۰- شبیه‌سازی با مدل تعدیل یافته LS



عملکرد نسبی اندازه گیری شده

شکل ۹- شبیه‌سازی با مدل تعدیل یافته MB

جدول ۶- آماره‌های محاسبه شده برای مقایسه مدل‌های تعدیل یافته LS و MB براساس سطوح مختلف نیتروژن و شوری آب آبیاری

مدل	سطوح نیتروژن	ME	RSME	CRM (%)	EF	d
LS	N1	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۸	-۷/۸	۰/۸۸
MB	N1	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	-۷/۶	۰/۹۵
LS	N2	۰/۰۶۷	۰/۰۷	۰/۰۸	-۳	۰/۷۳
MB	N2	۰/۰۶۲	۰/۰۵	۰/۰۶	-۲	۰/۷۸
LS	N3	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۲	-۲/۵	۰/۵۶
MB	N3	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	-۱/۲	۰/۹۳

(پترسن و همکاران، ۱۹۹۸). به‌طور کلی مصرف بهینه کود موجب افزایش عملکرد می‌گردد، قطع نظر از اینکه خاک شور بوده و یا نه ولی مسلماً هنگامی که خاک شور نباشد این افزایش بیشتر می‌باشد. در سطوح پائین شوری، با افزودن نیتروژن، وزن خشک و تر میوه بیشتر از کاربرد شوری به تنهایی بوده ولی در سطوح بالای شوری، افزودن نیتروژن تاثیر کمتری دارد (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به اینکه کود شیمیایی، به ویژه کودهای نیتروژن دار، املاح محلول بوده و باعث افزایش شوری خاک می‌شوند، بنابر این لازم است مقدار نیتروژن مورد نیاز در شرایط شور تعیین گردد. چون مصرف این کودها مشابه با شرایط غیرشور نه تنها عملکرد را افزایش نمی‌دهد بلکه ممکن است باعث کاهش عملکرد و در برخی

نتایج این تحقیق نشان داد که گیاه گوجه-فرنگی در حالت کمبود مواد غذایی نسبت به شوری مقاومت کمتری دارد. گیاه پس از تامین کود کافی مقاومتش در مقابل شوری افزایش می‌یابد، زیرا اثر منفی شوری بر عملکرد نمی‌تواند به اندازه اثرات مثبت تغذیه کافی باشد. کوددهی نیتروژن در تمام خاک‌ها ضروری است ولی اهمیت آن در خاک‌های شور بیشتر است (فلورس و همکاران، ۲۰۰۱؛ شن و همکاران، ۱۹۹۴). نتایج متضادی درباره نیاز غذایی گیاه به نیتروژن در شرایط شور با شرایط غیر شور وجود دارد (خوشگفتار و همکاران، ۱۳۸۲). برهمکنش بین شوری و عناصر غذایی بر عملکرد گیاه پیچیده و به عوامل مختلفی نظیر جنس و رقم گیاه، ترکیب سطوح شوری و غلظت عناصر بستگی دارد

موارد وزن تر و خشک میوه گیاهان در شرایط شور با افزایش نیتروژن در مقادیر بیش از آنچه در شرایط غیر شور لازم است کاهش و در برخی موارد افزایش معنی‌داری نشان دهد (ناوارو و همکاران، ۲۰۰۰). هنگامی که عملکرد در اثر کمبود نیتروژن و یا شوری به‌طور مشابهی کاهش یافته باشد، کاهش شوری و یا کاهش مصرف کود نیتروژن، باعث افزایش عملکرد می‌گردد. اما زمانیکه اثر یکی از دو تنش در کاهش عملکرد بیش از دیگری باشد، ممانعت از تنشی که بیشتر است عملکرد را افزایش می‌دهد تا تنشی که سهم کمتری در کاهش عملکرد دارد. لذا در هنگام وجود هر دو تنش (شوری و کمبود نیتروژن) باید دقت کرد که آیا مصرف کود تحمل گیاه به شوری را کاهش و یا افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، پاسخ گیاه گوجه‌فرنگی در تنش همزمان شوری و نیتروژن بررسی شد. نتایج نشان داد با توجه به اینکه دو مدل تعدیل یافته MB و LS براساس فرضیات متفاوتی بنا شده‌اند، لیکن در سطح قابل قبولی می‌توانند عملکرد گوجه‌فرنگی را

پیش‌بینی نمایند. نتایج نشان داد آستانه کاهش عملکرد در شرایط شوری ثابت نبوده و بستگی به مقدار نیتروژن موجود در خاک دارد. عملکرد نسبی شبیه‌سازی شده گوجه‌فرنگی با استناد به مقادیر شاخص‌های آماری در سطوح مختلف شوری، مدل تعدیل یافته LS ($R^2=0/89$) در پیش‌بینی عملکرد نسبی در سطوح مختلف شوری مناسب‌تر از مدل تعدیل یافته MB ($R^2=0/85$) می‌باشد. در سطوح مختلف نیتروژن خاک (N_1 ، N_2 و N_3) و اثرات متقابل شوری و نیتروژن مدل تعدیل یافته MB با آماره RSME به ترتیب برابر با ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۵ در مقایسه با مدل تعدیل یافته LS با آماره RSME به ترتیب برابر با ۰/۰۸، ۰/۰۷ و ۰/۱۲ نتایج رضایت‌بخش‌تری دارد. مقایسه آماره‌های ME، EF، CRM و d دو مدل نیز نشان داد که جهت مدل‌سازی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط توأمان شوری و نیتروژن، مدل تعدیل یافته MB ($d=0/95$) در مقایسه با مدل تعدیل یافته LS ($d=0/88$) برازش بهتری با داده‌های اندازه‌گیری شده دارند. بنابر این، استفاده از مدل تعدیل یافته MB جهت برآورد عملکرد نسبی گوجه‌فرنگی توصیه می‌گردد.

فهرست منابع

۱. اختری، ا.، م. همایی و ی. حسینی. ۱۳۹۳. مدل‌سازی پاسخ گیاه به تنش‌های شوری و کمبود ازت خاک. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، جلد ۴، شماره ۳: ۳۳-۵۰
۲. جلالی، و. ر. م. همایی و س. خ. میرنیا، ۱۳۸۶. مدل‌سازی واکنش کلزا به شوری طی دوره رشد رویشی. نشریه تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۸، شماره ۴: ۹۵-۱۱۲
۳. حسینی، ی.، م. همایی، ن. ع. کریمیان و س. سعادت. ۱۳۸۷. مدل‌سازی واکنش کلزا به تنش‌های توأمان شوری و کمبود نیتروژن. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک)، جلد ۱۲، شماره ۴: ۷۳۵-۷۲۱
۴. حسینی، ی.، م. همایی، ن. ع. کریمیان و س. سعادت. ۱۳۸۷. اثرات فسفر و شوری بر رشد، غلظت عناصر غذایی و کارایی مصرف آب در کلزا (*Brassica napus* L). نشریه پژوهش کشاورزی، آب، خاک و گیاه در کشاورزی، جلد ۸، شماره ۱۸: ۱-۴

۵. خوشگفتار، ا م و ح. سیادت. ۱۳۸۳. تغذیه معدنی سبزیجات و محصولات باغی در شرایط شور. انتشارات معاونت باغبانی وزارت جهاد کشاورزی، ۸۶ صفحه
۶. زاهدی فر، م.، ع. رونقی، س. ع. ا. موسوی و ص. صفرزاده شیرازی. ۱۳۸۹. اثر شوری و نیتروژن بر توزیع عناصر غذایی، اسید سیتریک و ویتامین C در گوجه فرنگی. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. سال اول، جلد ۳: ۲۹-۲۳.
۷. سالاردینی، ع. ا. و م. مجتهدی. ۱۳۸۴. نشریه حاصلخیزی خاک، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۳۴ صفحه
۸. سرایی تبریزی، م. م. همایی، ح. بابازاده، ف. کاوه و م. پارسى نژاد. ۱۳۹۴. مدل‌سازی پاسخ ریحان به تنش توآمان شوری و کمبود نیتروژن. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد ۱۹، شماره ۷۳: ۵۷-۴۵
۹. سرایی تبریزی، م ۱۳۹۳. مدل سازی جذب آب بوسیله گیاه در شرایط تنش‌های توآمان آب، شوری و نیتروژن. دانشگاه علوم و تحقیقات. تهران. پایان نامه دکترای تخصصی. ۱۳۲ صفحه.
۱۰. سیلسپور، م. و و ح. ملاحسینی. ۱۳۸۴. تولید پایدار، ارتقای عملکرد و بهبود کیفیت با مدیریت مصرف بهینه کود در محصولات سبزی و صیفی. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره ۴۸۶. انتشارات سنا. ۳۸ صفحه
۱۱. ملکوتی، م. ج. و پ. کشاورز. ۱۳۸۴. نگرشی بر حاصلخیزی خاک‌های ایران. انتشارات سنا، تهران، ۵۱۴ صفحه
12. Black, C. A. 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publisher, Boca Raton, FL.
13. Bressan, R. A., D. E. Nelson, N. M. Iraki, P. C. Larosa, N. K. Singh, P. M. Hasegawa and N. C. Carpita. 1990. Reduced cell expansion and changes in cell walls of plant cells adapted to NaCl. PP. 137-177. In: F. Katterman (ED.), Environmental Injury to Plant, Acadmic Press, New York.
14. Flores, P., M. Carvajal, A. Cerda and V. Martinez. 2001. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition and metabolites. J. Plant Nutr. 24: 1561-1573.
15. Grattan, S. R. and C. M. Grieve. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Sci. Hortic. 78: 127- 157.
16. Gunes, A., A. Inal and M. Alpaslan. 1996. Effect of salinity on stomatal resistance, praline and mineral composition of pepper. Plant Nutr. 19: 389-396.
17. Homae, M., R.A. Feddes and C. Dirksen. 2002. A macroscopic water extraction mode for nonuniform transient salinity and water stress. Soil Sci. Soc. Am. J. 66(6): 1764-1772.
18. Homae, M., R.A. Feddes., and C. Dirksen. 2002c. Simulation of root water uptake. Nonuniform transient combined salinity and water stress. Agric. Water Manage. 57(2): 127-144
19. Lips, S. H., E. O. Leidi and M. Silberbush. 1990. Nitrogen assimilation of plant under stress and high concentrations. PP. 207-215. In: W. R. Ulrich, C. Rigano, A. Fuggi and P. J. Aparicio (Eds.), Inorganic Nnitrogen in Plants and Microorganisms, Uptake and Metabolism, Springer-Verlag, Berlin.
20. Loague, K., and R.E. Green. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. J. of Contaminant Hydrology 7: 51-73.

21. Navarro, J. M., V. Martinez and M. Carvajal. 2000. Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. *Plant Sci.* 157: 89-96.
22. Petersen, K. k., J. Willumsen and K. Kach. 1998. Composition and taste of tomato as affected by increased salinity and different salinity sources. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 73: 205-215.
23. Ravikovitch, S. and A. Porath. 1967. The effect of nutrients on the salt tolerance of crops. *Plant Soil* 26: 49-71.
24. Ravikovitch, S. and D. Yoles. 1971. The influence of phosphorus and nitrogen on millet and clover growing in soils affected by salinity: I. Plant development. *Plant Soil.* 35: 555-567.
25. Shenker, M., A. Ben-Gal., and U. Shani. 2003. Sweet corn response to combined nitrogen and salinity environmental stresses. *Plant Soil* 256: 139-147
26. Shen, D., Q. Shen, Y. Liang and Y. Liu. 1994. Effect of nitrogen on the growth and photosynthetic activity of salt - stressed barley. *J. Plant Nutr.* 17: 787-799.
27. Skaggs, H.T., M.Th Van Genuchten., P.J. Shouse. and J.A Poss. 2006. Macroscopic approaches to root water uptake as a function of water and salinity stress. *Agricultural Water Management*, 86 (1-2): 140- 149.