شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران

دانشگاه زنجان، ۵ تا ۷ شهریور ۱۳۹۸

محور مقاله: فیزیک خاک و رشد گیاه

ارزیابی کارآیی دو مدل خطی و غیرخطی برآوردگر عملکرد پاسخ گیاه سورگوم به سطوح مختلف کود ازتی

نگار آقایاری[۱*]، مهدی همایی[۲]، سید مجید میرلطیفی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی ، دانشگاه تربیت مدرس

[۲] استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی ، دانشگاه تربیت مدرس

[۳] دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی ، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

کاربرد کودهای شیمیایی به منظور تولید بهینه‌ی محصولات زراعیدر خاک‌های زراعی که دچار فقر عناصر غذایی می‌باشند ضروری است. استفاده از مدل‌های تخمین‌گر برای پیش‌بینی عملکرد پیش از برداشت گیاه از اقدامات مدیریتی مهم به شمار می‌رود. پژوهش حاضر با هدف تعیین تابع نیتروژن- عملکرد برای گیاه سورگوم انجام شد. بدین منظور، آزمایشی با چهار سطح نیتروژن شامل ۸۰، ۱۹۴، ۲۱۷و ۲۴۰ کیلوگرم ازت عنصری در هکتار در سه تکرار بر روی گیاه سورگوم به اجرا درآمد. این سطوح بر مبنای ازت اولیه خاک (۸۰ کیلوگرم در هکتار) و سطح بهینه ازت برای گیاه سورگوم (۲۱۷ کیلوگرم در هکتار) و ۱۰٪ کمتر و بیشتر از سطح بهینه تعیین گردید. آنگاه مدل‌های پارامتریک خطی Liebig–Sprengelو غیرخطیMitscherlich-Baule به عنوان مدل‌های تخمین‌گر مورد استفاده قرار گرفته و کارآیی آنها مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای هر کدام از مدل‌ها با استفاده از روش بهینه‌سازی حداقل مجموع مربعات به دست آمد. آنگاه مدل‌ها با استفاده از آماره‌های ضریب کارآیی مدل، ضریب تبیین، خطای بیشینه، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب جرم باقیمانده به صورت کمّی مقایسه شدند. ارزیابی آماره‌های مختلف نشان دادند که مدلغیر-خطی Mitscherlich–Baule هنگامی که یک عامل رشد متحرک در خاک مانند ازت مورد ارزیابی قرار گیرد، برآوردی بهتر از عملکرد گیاه سورگوم در سطوح مختلف ازت کاربردی ارائه می‌کند.

کلمات کلیدی:مدلLiebig–Sprengel، مدل Mitscherlich-Baule، نمون‌سازی

مقدمه

با افزایش جمعیّت و نیاز روزافزون به غذا، افزایش تولیدات کشاورزی به عنوان منبع اصلی تغذیه، از مهم‌ترین اهداف بخشکشاورزی به شمار می‌رود. در ایران نیز که جمعیّت ۸۰ میلیون نفری آن که رو به رشد است، تولید محصولات کشاورزی بیشتر باید مورد توجه سیاستگزاران قرار گیرد. از طرفی، کاهش کیفیّت خاک‌های زراعی بر اثر کم‌آبی و یا کاربرد آب‌های نامتعارف، سبب کاهش عملکرد محصول در واحد سطح شده است (Jalali et al., 2016). کشاورزان برای بهبود عملکرد محصول و تولید بیشتر معمولاًکودهای شیمیایی به کار می‌برند.لیکن گاهی به دلیل گرانی کود یا فراهم نشدن آن در زمان مناسب، ممکن است به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار نگیرد. چنانچه گیاه در شرایطی رشد کند که مقدار کافی از عناصر غذایی در خاک موجود نباشد، کاهش محصول اجتناب‌ناپذیر است. به طور کلی، چنانچه کود به‌صورتی بهینه مصرف شود، موجب افزایش عملکرد می‌شود. لیکن چنانچه این افزایش بیش از نیاز گیاه باشد، کاهش عملکرد را در پی خواهد داشت (۱۳۸۱،همایی). ازت در بیشتر خاک‌ها، مهم‌ترین عنصر غذایی محدودکننده رشد گیاه است. به همین دلیل کوددهی ازتی معمولاً باعث افزایش رشد گیاه و عملکرد می‌شود (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۴). بیشتر پژوهش-هایانجام شده در خاک‌هایی که شوری شدید ندارند نشان داده که مصرف ازت باعث افزایش رشد و عملکرد محصولات می‌شود. برای ارزیابی پاسخ گیاه به افزودن عناصر غذایی به خاک تاکنون دو مدل عمومی خطی و غیرخطی ارائه شده است(Akhtari et al., 2019). این مدل‌ها به‌ترتیب شامل مدل(LS) Liebig–Sprengel و مدل Mitscherlich–Baule (MB) می‌باشند. با استفاده از این مدل‌ها می توان عملکرد گیاهان را در شرایط کمبود و یا بیشبود عناصر غذایی پیش از برداشت گیاه برآورد کرد. بنابراین هدف از این پژوهش، مقایسه کارآیی این دو مدل برای ارزیابی پاسخ گیاه سورگوم به سطوح مختلف کود نیتروژن بود.

* ایمیل نویسنده مسئول: negar.aghayari@modares.ac.ir

مواد و روش‌ها

مدل خطی پاسخ گیاه به عناصر غذاییکه در نیمه نخستسده‌ینوزدهم توسط Liebigو Sprengelارائه شده، بیان می‌دارد که در هر زمان یک عامل رشد که محدودکننده ترین آنهاست، مقدار عملکرد را تعیین می کند(Hatam et al., 2019; Shenker et al., 2003). بر مبنای این مدل، پاسخ گیاه به هر یک از عوامل رشد خطی است.

این تعریف در واقع همان قانون حداقل است که می توان آن را به صورت کلی زیر نوشت:

$$y_r = min\begin{cases}1 & ; x > x_{cr} \\ a + b.x & ; x \le x_{cr}\end{cases}, \quad x = x_0 + x_s \qquad (1)$$

که در آن:x، عامل رشد،aو bبه ترتیب عرض از مبدأ و شیب تابع پاسخ عملکرد به عامل x، x_{cr} حد آستانه ی گیاه به عامل رشدxمی‌باشد.x_0 مقدار اولیه عامل رشد در خاک و x_s مقدار عامل رشد کاربردی است.

این مدل توسط پژوهشگران مختلف مورد آزمون قرار گرفته و از آنجا که پاسخ واقعی گیاه به عوامل رشد در بسیاری از موارد خطی نمی‌باشد، مدل دیگری توسط میچرلیخ (۱۹۰۹) پیشنهاد شد که در آن پاسخ گیاه به افزودن عناصر غذایی از قانون بازده نزولی تبعیت می‌کند. این مدل بر این فرض استوار استکه آهنگ پاسخ گیاه به عناصر غذایی، با افزایش متوالی و مساوی عنصر غذایی به خاک، نخست افزایش و سپس به گونه‌ای غیرخطی کاهش می‌یابد.بیان ریاضی این مدل به صورت زیر است (Black,1992):

$$y = y_{max}(1 - e^{-c_1x_1})(1 - e^{-c_2x_1}) \dots (1 - e^{-c_nx_n}), \qquad x = x_0 + x_s \qquad (2)$$

که در آن: x_1، x_2،x_n...مقادیر عوامل‌گوناگون‌رشد،c_1، c_2،c_n...فاکتور کارآیی یا ضریب میچرلیخ برای عامل رشد مربوطه که برای هر عامل رشد ثابت در نظر گرفته می شوند، y عملکردپیش بینی شده و y_{max} عملکرد بیشینه (در حالت بدون کمبود عناصر یا عوامل تنش زا) می باشد. x_0 مقدار اولیه عامل رشد در خاک و x_s مقدار عامل رشد کاربردی است. این مدل از یک اصل فیزیولوژیک پیروی کرده که بیان می‌دارد 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 می شود. این امر، پاسخ نزولی عملکرد گیاه به کاربرد آن عنصر را به دنبال دارد (Shenker et al, 2003; Black, 1993). مدل میچرلیخ چند سال بعد توسط Baule (۱۹۱۸)کامل‌تر شد. در این مدل، اگر چند عامل رشد با همان مفهوم میچرلیخ با هم در نظر گرفته شوند، این عوامل به طور همزمان رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می دهند و به صورت تجمعی عمل می کنند. لیکن، این عوامل رشد برهمکنشی نیز برهم ندارند. ترکیب مفهوم میچرلیخ و بال مدل Mitscherlich-Baule نامیده می شود(Black, 1993).به منظور بررسی و ارزیابی کارآیی مدل خطیLS و مدل غیرخطی MB، بر عملکرد گیاه سورگوم،در پاسخ به افزودن سطوح مختلف کود ازتی، آزمایشی گلدانی در فضای باز و در یک خاک با بافت لوم شنی با چهار سطح نیتروژن شامل ۸۰، ۱۹۴، ۲۱۷و ۲۴۰کیلوگرم ازت عنصری در هکتار ودر سه تکرار اجرا شد. سطوح نیتروژن بر مبنای مقدار ازت اولیه خاک (۸۰ کیلوگرم در هکتار) و سطح بهینه‌ی توصیه شده برای گیاه سورگوم (۲۱۷ کیلوگرم در هکتار) و مقادیر ۱۰ درصد بیشتر (۲۴۰ کیلوگرم در هکتار) و ۱۰ درصد کمتر (۱۹۴ کیلوگرم در هکتار) از آن انتخاب شد. کود ازتی به صورت تقسیط، بخش اولدر ابتدای آزمایشو بخش دوم زمانی که ارتفاع بوته‌گیاه سورگوم به ۳۰ سانتی‌متر رسیده بود، به خاک داده شد. گیاهان پس از رشد کامل برداشت و مقدار عملکرد آنها بر حسب ماده‌ی خشک گیاهی به دست آمد. از آنجا که هدف پژوهش پاسخ گیاه فقط به عنصر ازت بود، سایر عناصر غذایی در سطح بهینه‌ی توصیه شده در خاک نگه داشته شد.

پارامترهای مربوط به هر یک از این دو مدل خطی و غیرخطی، با استفاده از روش بهینه‌سازی حداقل مجموع مربعات به دست آمد. آنگاه عملکرد نسبی بوته‌ی سورگوم برآورد شده توسط مدل‌های (۱) و (۲) با مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر سطوح مختلف نیتروژن رسم و نتایج مدل‌ها با یکدیگر مقایسه گردیدند. همچنین، مقایسه کمّی مدل‌ها با محاسبه‌ی آماره‌های خطای بیشینه[1](ME)، کارآیی مدل[2](EF) ، ریشه میانگین مربعات خطا[3](RMSE)،

[1]Maximum Error
[2]Modeling Efficiency
[3]Root MeanSquare Error

ضریب تبیین[4](CD)، ضریب جرم باقیمانده[5] (CRM) برای هر کدام از مدل‌ها انجام شد. بیان ریاضی آماره‌های مورد استفاده به صورت زیر است(Homaee et.al 2002):

$$ME = max|P_i - O_i|_{i=1}^{n}$$

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

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

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

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

که در آنها P_i مقادیر برآورد شده، O_i مقادیر اندازه گیری شده،n تعداد نمونهو $\bar{O}$میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است.

مقدار ME نمایانگر بدترین حالت برآورد مدل است، در حالی که مقدار RMSE نشان می دهد که برآوردها چه مقدار بیش برآوردی یا کم‌برآوردی نسبت به مقادیر اندازه گیری شده دارند. CD، نسبت بین پراکنش مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار EFیک است. مقادیرEF وCRM می توانند منفی باشند. CRM از گرایش مدل به تخمین بیشتر و یا کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده برای هر مدل ارائه می‌دهد. مقدار منفی CRM برای یک مدل تمایل مدل را برای بیش برآورد اندازه گیری ها نشان می دهد(Homaee et al., 2002).

نتایج و بحث

آماره‌های محاسبه شده برای مقایسه دو مدل خطی و غیرخطی مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.بر پایه‌ی این جدول، مقدار مثبت CRM برای هر دو مدل نشان می‌دهد که عملکرد ماده خشک سورگوم، در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده، کمتر برآورد شده است.مقدار منفی CRM برای یک مدل تمایل مدل را برای بیش برآوردیاندازه‌گیری ها نشان می دهد. مقدار مثبت این آماره تمایل مدل به کم برآوردی را نشان می-دهد.اگر همه‌ی داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل یکسان باشند، مقدارCRM صفر خواهد بود.این آماره در مدل MBبه صفر نزدیک‌تر است. مقدار RMSE نشان می دهد که برآوردها چه مقدار بیش برآوردی یا کم‌برآوردی نسبت به مقادیر اندازه گیری شده دارند. مقدار RMSEبرای مدلLS تقریبا دو برابر مقدار آن برای مدل MBاست.کم بودن مقدار این آماره برای مدل MBنشان می دهد مقادیر برآورد شده عملکرد نسبی به وسیله‌ی مدل MB به مقادیر واقعی نزدیک‌تر می‌باشد.همان گونه که در جدول۱مشاهده می‌شود، مقدار EF مدلMBحدود ۲/۵ برابر بیشتر از مدلLSمی‌باشد. همچنین مقدارCDمدلMBنزدیک به یک بوده ودر مقایسه با مدلLS از کارآیی بیشتری برخوردار است، مقدار این دو آماره هرچه به عدد یک نزدیکتر باشند، نشان‌دهنده‌ی برازش بهتر مدل بر داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشند.بنابراین مدلMB، از نظر این آماره نیز مناسب تر از مدل LSبرای برآورد عملکرد ماده خشک سورگوم می‌باشد. مقایسه مقادیر MEدو مدل نیز، برتری مدلMBرا نشان می‌دهد. درمجموع ارزیابی این آماره‌ها نشان می‌دهد که مدل MBتخمین بهتری از عملکرد گیاه سورگوم نسبت به مدل LS ارائه می‌نماید. کارآیی بهتر مدل MBنسبت به مدل LSرا می‌توان به ماهیت غیرخطی آن مرتبط دانست. از آنجا که پاسخ گیاه به سطوح مختلف کود ازتی معمولاً غیرخطی است، مدل MBتوانسته است با دقتی بیشتر

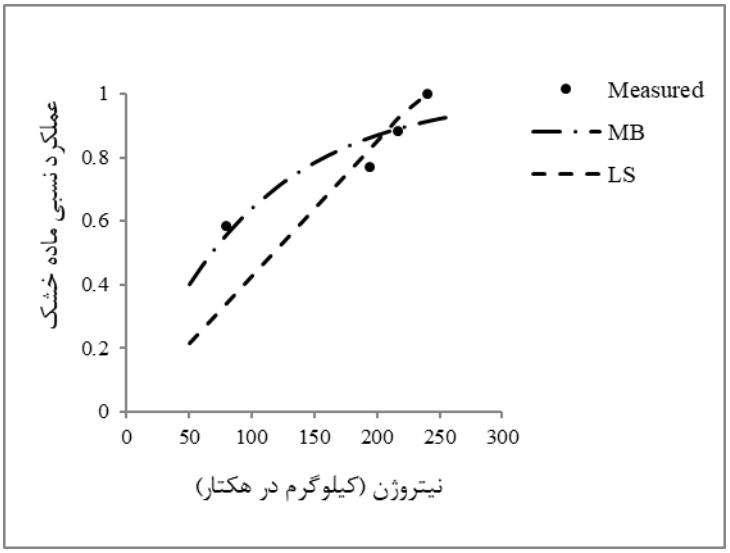
[4]Coefficient of Determination
[5]Coefficient of Residual Mass

عملکرد سورگوم را برآورد نماید. همان‌گونه که پیشتر نیز گفته شد، سطوح نیتروژن مورد بررسی در این پژوهش به جز ازت اولیه خاک، سه سطح دیگر شامل سطح بهینه آن و ۱۰ درصد کمتر و ۱۰ درصد بیشتر از سطح بهینه بود. چنانچه ازت به اندازه‌ای بیش از ۱۰ درصد سطح بهینه به گیاه داده می-شد، انتظار می‌رفت که بر پایه‌ی قانون بازده نزولی کاهش عملکرد آشکار شود و در این صورت مدل MBبرآوردی حتی بهتر از آنچه که در این پژوهش مشاهده گردید، ارائه نماید. بنابراین پژوهش‌های بیشتری در این زمینه توصیه می‌شود تا بتوان کل دامنه‌های کمبود، کفایت و بیشبود ازت را به صورت کمّی بیان کرد.

جدول ۱. محاسبه مدل‌های خطی و غیرخطی بر پایه‌ی آماره‌های محاسبه شده

رابطه	ME	RMSE	CD	EF	CRM
LS (1)	۰,۲۴	۱۵,۵۸	۰,۳۵	۰,۳۳	۰,۰۵
MB (2)	۰,۰۹	۷,۹۱	۱,۱۳	۰,۸۳	۰,۰۰۳

شکل۱ عملکردهای برآورد شده با مدل‌های MB و LS در مقایسه با عملکردهای اندازه گیری شده در سطوح مختلف نیتروژن خاک را نشان می دهند. داده‌های اندازه‌گیری شده با Measured نشان داده شده است.



شکل۱. برازش مدل‌هایMB وLSبر داده های اندازه گیری شده در سطوح مختلف نیتروژن

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، کارآیی و اعتبارسنجی دو مدل مبنایی باروری خاک شامل مدل خطیلیبیگ-اسپرنگل و غیرخطی میچرلیخ-بال، بررسی شد. نتایج بر پایه‌ی ارزیابی کمّی مدل‌های برازش داده شده بر عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده نشان داد که مدل غیرخطی میچرلیخ-بال عملکردهای نسبی اندازه‌گیری شده را بهتر برآورد می‌نماید. این مدل عملکرد نسبی گیاه سورگوم را در سطح قابل قبولی پیش‌بینی نموده و از این جهت برای پیش‌بینی عملکرد گیاه سورگوم در دامنه‌ی سطوح کاربردی ازت می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

ملکوتی، محمدجعفر و مهدی همایی. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ۴۸۸ ص.

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

Akhtari, A., M. Homaee, Y. Hosseini. 2019. Predictive Model for Plant Response to Interactive Effect of Salinity and Phosphorous. International Journal of Plant Production. doi.org/10.1007/s42106-019-00057-5.

Black, C. A. 1992. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.Hatam, Z., M.S. Sabet, M.J. Malakouti, M. Homaee. 2019. A quantitative approach for fertilizer ecommendation under saline conditions. Archives of Agronomy and Soil Science. doi.org/10.1080/03650340.2019.1624725.

Homaee, M., R. A. Feddes, and C. Dirksen. 2002a. Simulation of root water uptake. I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. Agricultural Water Management, 57:89-109.

Jalali, V. R., M. Homaee**,** S. Asadi Kapourchal. 2017. Evaluating performance of macroscopic water uptake models at productive growth stages of durum wheat under saline conditions. Agricultural Water Management. 180:13-21.

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

Topic for submission: Soil Physics and Plant Growth

Assessing performance of two linear and nonlinear yield predictive models for estimating Sorghum response to different nitrogen levels

Aghayari[*1], N., Homaee[2], M., Mirlatifi, M.[3]

[1] M. Sc. Student, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Agriculture University of Tarbiat Modares, Iran

[2] Prof., Irrigation and Drainage Department, Faculty of Agriculture University of Tarbiat Modares, Iran

[3] Associate Prof., Irrigation and Drainage Department, Faculty of Agriculture University of Tarbiat Modares, Iran

Abstract

Application of chemical fertilizers in soils having nutritional deficiencies is crucial for optimal crop production. Using predictive models to estimate the crop yield before harvest is of important management practices. This research was conducted to obtain the nitrogen-yield response function for sorghum plant. For this purpose, an experiment with four nitrogen levels of 80, 194, 217 and 240 kg/ha nitrogen, each with three replicates, was conducted. These levels were selected based on the optimal amount (217 kg/ha) of nitrogen recommended for sorghum as well as 10% lower (194 kg/ha) and 10% higher (240 kg/ha) than the optimal level. The parametric linear and nonlinear models proposed by Mitscherlich–Baule and Liebig–Sprengel as predictive models were used to examine and compare their performances for sorghum. The parameters of each model were obtained by using the minimizing least squares optimization method. These estimated values were then compared with the experimentally obtained data, using some statistics including maximum error (ME), root mean square error (RMSE), modeling efficiency (EF) and coefficient of residual mass (CRM) were used to evaluate and compare the performance of both models. The overall results obtained based on the calculated statistics revealed that the nonlinear model of Mitscherlich–Baule, under the applied nitrogen levels, can better predict the sorghum yield when a mobile nutrient such as nitrogen is considered.

Keywords: Liebig–Sprengel; Mitscherlich–Baule; Simulation

[*] Corresponding author, Email: negar.aghayari@modares.ac.ir