

یادداشت فنی

حساسیت مدل CERES – Maize نسبت به پارامترهای فیزیکی خاک برای تخمین محصول ذرت علوفه‌ای تحت دو سطح کود نیتروژنه

حمزه دوکوهکی^{۱*}، مهدی قیصری^۲ و سید فرهاد موسوی^۳

چکیده

استفاده گسترده و مفید از مدل‌های گیاهی، مستلزم شناخت رفتار آن‌ها در پاسخ به خطاهای پارامترهای ورودی است. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی حساسیت در شبیه‌سازی محصول ذرت علوفه‌ای با مدل CERES – Maize نسبت به پارامترهای فیزیکی خاک تحت دو سطح کود نیتروژنه است. در این مطالعه با استفاده از داده‌های یکسال کشت ذرت در منطقه ورامین، حساسیت مدل نسبت به پارامترهای رطوبت ظرفیت زراعی (FC)، رطوبت اشباع (SAT)، شماره منحنی (CN)، ضریب زهکشی (DR) و ضریب بازتابش (ALB) برای دو سطح صفر و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه بررسی شد. برای تعیین تابع پاسخ مدل به تغییرات پارامترهای ورودی، مدل ۸۰ بار اجرا شد و پس از جمع آوری نتایج به کمک برنامه نوشته شده در محیط نرم‌افزار متلب، حساسیت نرمال شده هر پارامتر به دست آمد. نتایج نشان داد که مدل، بیشترین حساسیت را در شبیه‌سازی محصول در هر دو تیمار به پارامتر FC از خود نشان می‌دهد، اما پاسخ مدل به تغییرات پارامترهای ورودی به شدت تحت تأثیر میزان کود مصرفی قرار دارد. با استفاده از مقادیر حساسیت نسبی محاسبه شده، رابطه بین مقدار خطای محتمل در شبیه‌سازی محصول و میزان خطا در تخمین داده‌های ورودی برای هر دو تیمار ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل حساسیت، ذرت، مدل گیاهی، DSSAT.

ارجاع: حمزه دوکوهکی ح. قیصری م. و موسوی س. ف. ۱۳۹۴. حساسیت مدل CERES – Maize نسبت به پارامترهای فیزیکی خاک برای تخمین محصول ذرت علوفه‌ای تحت دو سطح کود نیتروژنه. مجله پژوهش آب ایران. ۱۷: ۱۷۵-۱۷۹.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- استاد گروه عمران، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان.

* نویسنده مسئول: h.dokohaki@ag.iut.ac.ir

مقدمه

مدل‌های گیاهی سال‌هاست توانایی خود را در کمک به مطالعات و پژوهش‌های کشاورزی و یافتن روش‌های مدیریتی بهینه به اثبات رسانده‌اند (بوت و همکاران، ۱۹۹۶). بیشتر متغیرهای مرتبط با مدل‌سازی گیاهی دارای تغییرات شدید مکانی و زمانی هستند که سبب می‌شود تخمین دقیق این مقادیر سخت و هزینه‌بر باشد. از جمله این پارامترها می‌توان به پارامترهای فیزیکی خاک اشاره کرد. اطلاع از اینکه خطای احتمالی موجود در پارامترهای ورودی چگونه بر مقادیر خروجی تأثیر دارد، می‌تواند به‌عنوان یک راهنما برای بهبود کیفیت سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده شود (تارانتولا و همکاران، ۲۰۰۲).

تحلیل حساسیت شیوه‌ای برای سنجش میزان تأثیر تغییر یک متغیر است. با استفاده از تحلیل حساسیت می‌توان نقاط اهرمی و حدی یک متغیر را پیدا کرد. در زمینه بررسی حساسیت مدل‌های گیاهی مطالعات زیر انجام شده است. لیو و همکاران (۱۹۸۹) تحلیل حساسیت را بر پایه پارامترهای در دسترس خاک، گیاه و هواشناسی در مورد مدل گیاهی CERES – Maize در برزیل انجام داد. نونهبیل (۱۹۹۴) تأثیر عدم دقت پارامترهای دما و تابش خورشید را بر شبیه‌سازی گندم بهاره بررسی کرد. وی بیان کرد پاسخ گیاه به تغییرات تشعشع خورشیدی بستگی به میزان رطوبت قابل دسترس در خاک دارد. برت و لاسیانا (۲۰۰۶) نیز تأثیر چند پارامتر خاک و تابش خورشید را بر مدل CERES – Maize بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل بیشترین حساسیت را در شبیه‌سازی محصول نهایی نسبت به پارامتر تابش خورشیدی از خود نشان می‌دهد. پس از تابش خورشیدی، مقادیر شماره منحنی (CN) و ذخیره رطوبتی دو پارامتری بودند که دارای بیشترین میزان حساسیت نسبی بودند.

هدف از انجام این مطالعه بررسی حساسیت مدل CERES – Maize به وجود خطای محتمل در گروهی از پارامترهای ورودی پرهزینه در اندازه‌گیری، برای شبیه‌سازی محصول نهایی است. این پارامترها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که مقادیر پیش فرض آن‌ها با مدل تخمین زده می‌شود و با توجه به اینکه این مقادیر تخمین زده می‌شوند به طور حتم همراه با درصدی خطا در مدل استفاده می‌شوند. پس ضرورت بررسی حساسیت مدل

نسبت به این پارامترها به وضوح احساس می‌شود در این مطالعه، عدم قطعیت ساختاری موجود در مدل بررسی نمی‌شود. لذا از مدل فقط به‌عنوان یک جعبه سیاه^۱ استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش‌ها در مزرعه تحقیقات کشاورزی ورامین با طول جغرافیایی $28^{\circ} 38' 51''$ شرقی و عرض جغرافیایی $32^{\circ} 38' 38''$ شمالی و ۹۷۳ متر ارتفاع از سطح دریا انجام شد. ذرت علوفه ای واریته سینگل کراس ۷۰۴ در سطح دو هکتار مجهز به سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت-آبیاش متحرک کشت شد. طرح آزمایشی دارای دو سطح کود صفر و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و چهار سطح آبیاری $SMD^{2} 0/7$ ، $SMD 0/85$ ، $SMD 1$ و $SMD 1/13$ بود که در قالب طرح کرت‌های نواری با سه تکرار طی دو سال اجرا شد. با توجه به اینکه ضرایب ژنتیکی برای واریته مورد استفاده در این پژوهش قبلاً استخراج شده است، مدل CSM-CERES-Maize نیاز به واسنجی دوباره نداشت (قیصری و همکاران، ۲۰۰۹).

تحلیل حساسیت

در مطالعه حاضر از ترکیب روش‌های ریاضی و ترسیمی ارائه شده توسط فری و پاتیل (۲۰۰۲) استفاده شده است (رابطه ۱). در این مطالعه فرض شده است که Y به عنوان متغیر خروجی (محصول شبیه‌سازی شده) و آرایه $X = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ به عنوان پارامترهای ورودی است. حساسیت تعریف شده است مقدار تغییر خروجی مدل در پاسخ به تغییرات ورودی. با توجه به وجود تفاوت‌هایی در واحدها و مقیاس‌های بین پارامترهای ورودی، در این مطالعه برای بیان مقدار خطای محتمل خروجی از حساسیت نرمال شده^۳ (S_j) استفاده شده است. این مقدار برای هر متغیر ورودی X_j برابر است با تغییرات نسبی خروجی تقسیم بر یک واحد تغییر نسبی X_j می‌باشد (مورگان و هنریون، ۱۹۹۸).

1- Black Box

2- Soil Moisture Depletion

3- Normalized Sensitivity

مدل DSSAT

در این مطالعه از یکی از مدل‌های خانواده CERES (سنتر منابع محیط- گیاه) با نام CERES – Maize استفاده شده است. این مدل برای شبیه‌سازی رشد گیاه ذرت در قالب محیط DSSAT (سامانه پشتیبانی مدیریت انتقال علم کشاورزی) طراحی شده است. مدل CERES-Maize قادر به شبیه‌سازی تأثیرات گونه گیاهی، تراکم کشت، آب و هوا، آب خاک و نیتروژن بر رشد، توسعه و عملکرد غلات است. (هوگنبوم و همکاران، ۱۹۹۹).

انتخاب پارامترهای ورودی

پارامترهای ورودی انتخاب شده عبارتند از پارامترهای مستقلی که برهمکنش داخلی نداشته و به‌صورت پیش فرض با مدل تخمین زده می‌شوند. این پارامترها عبارتند از: (۱) FC، (۲) CN، که این پارامتر با توجه به گروه هیدرولوژیک و شیب تخمین زده می‌شود، (۳) رطوبت اشباع، (۴) ضریب زهکشی و (۵) ضریب بازتابش. مقادیر انتخاب شده تحت عنوان شرایط محلی، مقادیر عمومی این پارامترها در منطقه ورامین هستند (جدول ۱).

$$S_j = \left[\frac{\delta y}{\delta x} \right]_{x^0} \times \frac{X_j^0}{Y^0} \quad (1)$$

که در این رابطه نمای صفر برای X نشان دهنده مقداری است که پارامترهای ورودی حول آن تغییر می‌کنند، که به آن سناریوی اسمی گویند. همچنین $Y^0 = Y(x^0)$ به‌عنوان مقدار پاسخ متناسب با تغییر سناریوی اسمی معرفی می‌شود. با توجه به تعریف حساسیت نرمال برای تغییرات ورودی X_j ، مقدار تغییرات خروجی متناسب با آن برابر است با:

$$\frac{\partial Y}{\partial X_j} = S_j \times \frac{\partial x_j}{x_j^0} \quad (2)$$

در صورتی که دو طرف معادله ۲ را در ۱۰۰ ضرب کنیم ارتباط بین خطاها به‌صورت درصد به شکل زیر تعریف خواهد شد:

$$\Delta Y = S_j \times \Delta X \quad (3)$$

با استفاده از رابطه بین واریانس‌ها و درنظر گرفتن ثابت تناسب مناسب، رابطه بین انحراف معیارها را می‌توان به‌صورت ارتباط بین خطاها و برحسب درصد بیان کرد.

$$\Delta Y^2 \approx \sum_{j=1}^n S_j^2 \times \Delta x^2 \quad (4)$$

جدول ۱- پارامترهای ورودی، مقادیر اسمی، بازه مورد مطالعه و اندازه تغییرات آن‌ها

متغیر	نماد	مقادیر اسمی	بازه مورد مطالعه	اندازه هر تغییر
ظرفیت زراعی	X1	۰/۳۰۱	۰/۳۸-۰/۲۴	۰/۰۲
رطوبت اشباع	X2	۰/۴۵۱	۰/۵۴-۰/۳۳	۰/۰۳
ضریب زهکشی	X3	۰/۶	۰/۹-۰/۲	۰/۱
شماره منحنی	X4	۶۱	۹۶-۵۶	۵
ضریب بازتابش	X5	۰/۱۷	۰/۲۳-۰/۰۹	۰/۰۲

برابر هر یک از پارامترهای ورودی تعیین شد.

نتایج و بحث

مقدار محصول شبیه‌سازی شده با مدل در حالت استفاده از پارامترهای اسمی برای تیمار بدون کود ۴/۷۶۲ تن در هکتار و برای تیمار با ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود ۱۰/۸۸۶ تن در هکتار بود. پس از به دست آمدن معادله‌های پاسخ مدل به ازای تغییرات هر ورودی، از طریق برازش بهترین معادله بر نقاط و سپس جاگذاری در معادله ۱، مقادیر

شبیه‌سازی محصول و تعیین تابع پاسخ مدل

برای یافتن حساسیت مدل به میزان خطای محتمل ضرایب تخمین زده شده، مدل CERES – Maize از بسته نرم‌افزاری DSSAT به ازای هر تغییر یک پارامتر، در حالی که بقیه پارامترها در مقادیر اسمی خود ثابت بودند، اجرا شد. سپس میزان محصول تخمین زده شده توسط مدل برای هر اجرا استخراج شده و پس از تنظیم و مرتب سازی، داده‌ها به کمک برنامه نوشته شده در محیط نرم‌افزار MATLAB تحلیل و تابع پاسخ خروجی مدل در

متأثر از میزان کود نیتروژنه مصرفی است. به گونه‌ای که حتی می‌توان عنوان کرد در تیمارهای با کود نیتروژنه اندازه‌گیری آزمایشگاهی پارامترهای فیزیکی خاک برای تخمین محصول نهایی ضرورتی ندارد. همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد برای هر دو تیمار مورد بررسی پارامتر ظرفیت زراعی دارای بیشترین میزان حساسیت است.

حساسیت نسبی به دست آمد. حال با قرار دادن مقادیر حساسیت نسبی محاسبه شده در معادله ۴ خطای خروجی مدل را برای هر دو تیمار به صورت درصد محاسبه شد. علامت حساسیت‌های نرمال به دست آمده نیز بیانگر نوع ارتباط پارامترهای ورودی با مقدار خروجی به دست آمده است.

آن‌چنان که جدول ۲ نشان می‌دهد پاسخ مدل در تخمین محصول نهایی به تغییرات پارامترهای فیزیکی خاک به شدت

جدول ۲- حساسیت‌های نسبی محاسبه شده در مقادیر اسمی و کران‌های بازه مورد بررسی برای هر دو تیمار

تیمار بدون کود			
پارامتر	حساسیت در حداقل	حساسیت اسمی	حساسیت در حداکثر
ظرفیت زراعی	-۰/۷۲۱	-۱/۲۷۶	-۰/۸۸۲
رطوبت اشباع	-۱/۳۸۸	-۰/۱۸۳	۰/۶۲۶
ضریب زهکشی	۰/۲۱۹	۰/۱۰۷	۰/۲۵۴
ضریب بازتابش	۰/۰۱۵	۰/۰۲۹	۰/۰۰۶
شماره منحنی	۰/۰۱۱	-۰/۰۱۳	-۰/۵۶۰
تیمار ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژنه در هکتار			
پارامتر	حساسیت در حداقل	حساسیت اسمی	حساسیت در حداکثر
ظرفیت زراعی	۰/۳۵۶	۰/۰۰۸	-۰/۰۴۴
شماره منحنی	-۰/۰۱۵	-۰/۰۰۶	-۰/۰۳۵
رطوبت اشباع	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۵
ضریب زهکشی	۰/۰۰۳۷	-۰/۰۰۱۹	-۰/۰۱۱
ضریب بازتابش	-۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۰۰۹۱	۰/۰۰۰۰۶

نتیجه‌گیری

پی بردن به اینکه چه متغیرهایی و به چه صورت بر نتایج مدل تأثیر می‌گذارند کمک می‌کند تا اولویت‌های برداشت داده‌های با کیفیت مشخص شود. روش به کار گرفته شده در این مطالعه روشی ساده، کارآمد و مناسب برای درک نحوه رفتار مدل‌ها است. اما دارای محدودیت‌هایی است.

منابع

3. Frey H. C. and Patil S. R. 2002. Identification and review of sensitivity analysis methods. Risk Analysis. 22(3):553578
4. Gheysari M. Mirlatifi S. M. Homae M. Asadi M. E. and Hoogenboom G. 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. Agricultural water management. 96(6):946-954.
5. Hoogenboom G. Wilkens P. W. and Tsuji G. Y. 1999. DSSAT, Version 3. Vol. 2, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
6. Liu WTH Botner D. M. and Sakamoto C. M. 1989. Application of CERES-Maize model to yield prediction of a Brazilian maize hybrid. Agricultural and Forest Meteorology. 45(3):299-312.
7. Morgan M. G. and Henrion M. 1998. Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis.

1. Bert F. E. and Laciana C. E. 2006. Sensitivity of CERES-Maize simulated yields to uncertainty in soil properties and daily solar radiation. Agricultural Systems. 94(2):141-150.
2. Boote K. J. Jones J. W. and Pickering N. B. 1996. Potential uses and limitations of crop models. Agronomy Journal. 88(5):704-716.

Cambridge University Press, Cambridge, New York. 30:68 p.

8. Nonhebel S. 1994. Inaccuracies in weather data and their effects on crop growth simulation results. II. Water-limited production. *Climate Research*. 4:61-74.
9. Tarantola S. Giglioli N. Jesinghaus J. and Saltelli A. 2002. Can global sensitivity analysis steer the implementation of models for environmental assessments and decision-making? *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 16(1):63-73.

