• مدل اپسیم (APSIM)، و کاربرد آن در کشاورزی

زهرا ردائی الاملی | دانش‌آموخته دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران

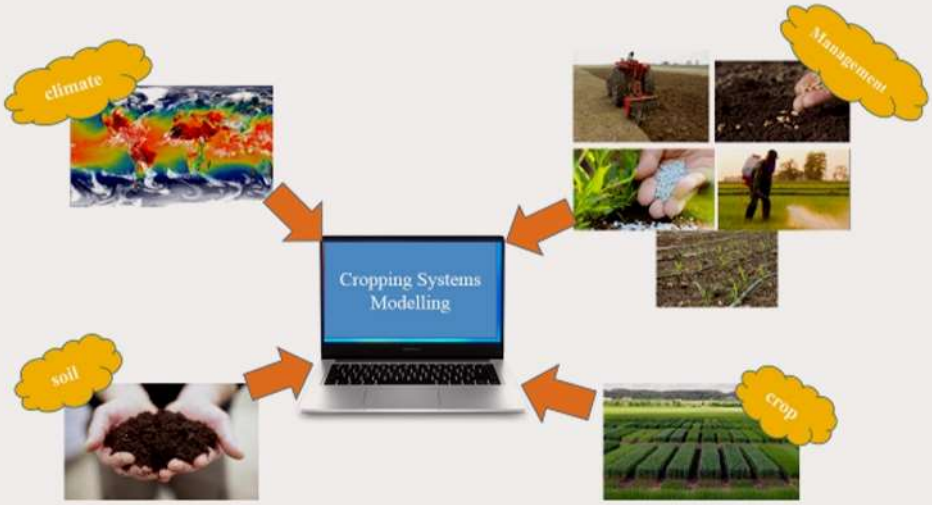
چکیده

مدل‌ها تعامل اجزای بیولوژیکی و زیست‌محیطی سیستم پویای خاک- گیاه - محیط را به‌شکل روابط ساده ریاضی به نمایش می‌گذارند. با استفاده از مدل‌های گیاهان زراعی و آمار هواشناسی بلندمدت، می‌توان رفتار گیاه را در زمان و موقعیت‌های مختلف شبیه‌سازی کرد. اپسیم (APSIM)، مدلی مکانیستیک است که حاصل تلاش گروهی از متخصصان استرالیایی در واحد تحقیقاتی سیستم‌های تولید کشاورزی در کشور استرالیا (APSRU)، است. از مدل شبیه‌سازی اپسیم برای انجام مطالعات مختلف از جمله تعیین خصوصیات مطلوب گیاهی، مدیریت زراعی، انتخاب گیاه و رقم مناسب برای یک منطقه، پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصول و تخمین عملکرد بالقوه استفاده می‌شود.

کلمات کلیدی: ارزیابی، پارامتریابی، شبیه‌سازی، ماژول، مدل‌سازی.

مقدمه

مدل‌سازی به‌معنای استخراج روابط بین پدیده‌های مرتبط با هم و ارایه یک سیستم پویا است، تا امکان پیش‌گویی تغییرات پدیده یا پدیده‌ها نسبت به زمان، مکان و غیره به وجود آید. مدل‌سازی به دانش کمی نمودن فرآیندهای رشد و نمو گیاه و اثرات متقابل آن با محیط اطراف اطلاق می‌شود. این دانش مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیستم خاک، گیاه و اتمسفر را شناسایی نموده و از دانش ریاضی برای برقراری روابطی که رشد گیاه زراعی و تشکیل عملکرد را کمی می‌نماید، استفاده می‌کند (شکل۱). در حقیقت، مدل‌ها سعی می‌نمایند تا سیستم‌ها را به گونه‌های ساده به نمایش درآورند، به‌طوری که سیستم ساده شده تا حد امکان همانند سیستم واقعی عمل نماید. شبیه‌ساز سیستم‌های تولید کشاورزی (APSIM)، یک مدل شبیه‌سازی فرایندگرای گیاه زراعی و سیستم‌های زراعی است. این مدل قادر است محصول اقتصادی طیف وسیعی از گیاهان زارعی، مرتعی و درختان را در پاسخ به عوامل اقلیمی، خاکی و مدیریتی شبیه‌سازی نماید.



شکل ۱- مدل‌سازی سیستم‌های گیاهی

اهداف مدل اپسیم

- شبیه‌سازی جنبه‌های مختلف سیستم‌های زراعی از جمله: تناوب، آیش، بقایا، استقرار گیاه و مرگ گیاه در شرایط مختلف.
- شناسایی عؤامل مؤثر در تولید و ارائه راه‌حل‌های مناسب جهت افزایش تولید محصولات کشاورزی و رسیدن به امنیت غذایی.
- بررسی جنبه‌های مختلف تغیر اقلیم بر تولیدات کشاورزی و انتخاب استراتژی‌های سازگار و مناسب برای هر منطقه.
- پیش‌بینی دقیق تولید محصول در ارتباط با عوامل اقلیمی، ژنتیکی، خاکی و مدیریتی مختلف، جهت مدیریت منابع.

تاریخچه مدل اپسیم

مدل اپسیم توسط واحد تحقیقاتی سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی (APSRU)، یک گروه مشترک متشکل از سازمان تحقیقات علمی و صنعتی مشترک المنافع (CSIRO)، و آژانس‌های دولتی ایالتی کوئینزلند، ساخته شده است. توسعه مدل با تشکیل گروه APSRU در سال ۱۹۹۱ آغاز شد و تلاش از یک تیم اولیه متشکل از دو برنامه‌نویس و شش دانشمند (طراح مدل)، به تیم فعلی متشکل از شش برنامه‌نویس و مهندس نرم‌افزار و ۱۲ دانشمند تبدیل شده است. محرک اولیه برای ایجاد مدل APSIM از آن‌جا ایجاد شد که نیاز به ابزار مدل‌سازی که پیش‌بینی‌های دقیق تولید محصول را در ارتباط با آب و هوا، ژنوتیپ، خاک و عوامل مدیریتی، ضمن پرداختن به مسائل مدیریت منابع طولانی مدت در سیستم‌های کشاورزی ارائه دهد، احساس شد.

قابلیت‌های مدل اپسیم

شبیه‌سازی عوامل مختلفی از جمله: رشد و عملکرد بیش از ۲۵ محصول، رشد و زیست توده مراتع و درختان، رقابت محصولات با علف های هرز، سیستم‌های کشت مخلوط، سیستم‌ها در شرایط آبیاری و دیم، تأثیر عوامل مدیریتی (خاک‌ورزی، آبیاری، کوددهی، تاریخ کاشت)، تناوب و آیش، سیستم‌های جنگل‌زراعی، فرآیندهای کلیدی در خاک، تجزیه کربن و بقایای سطحی، تأثیر تغییرات آب و هوایی، اثرات اقتصادی - اجتماعی تولید.

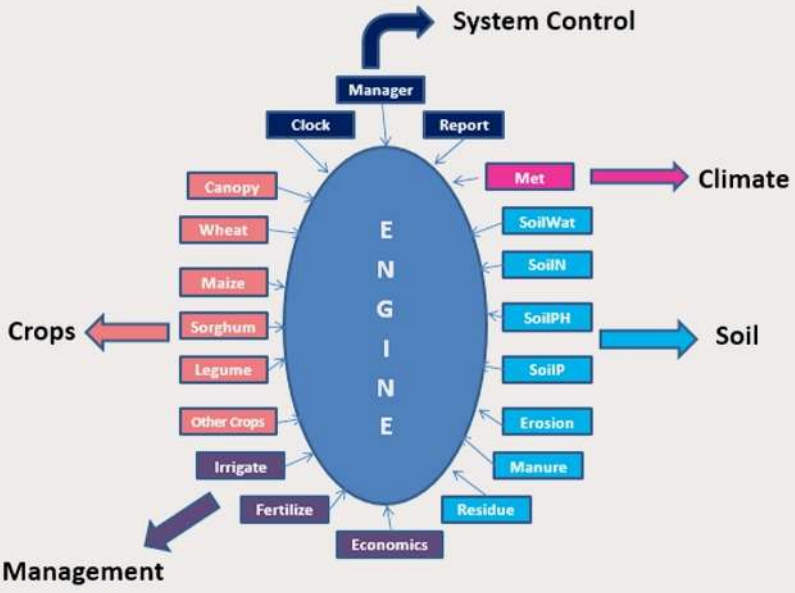
چارچوب مدل اپسیم

۱- مجموعه‌ای از ماژول‌های بیوفیزیکی که فرآیندهای بیولوژیکی و فیزیکی را در سیستم‌های کشاورزی شبیه‌سازی می‌کنند.

۲- مجموعه‌ای از ماژول‌های مدیریتی که به کاربر اجازه می‌دهد قوانین مدیریتی در نظر گرفته شده را که سناریوی شبیه‌سازی شده را مشخص می کند، توصیف کند و عملکرد شبیه‌سازی را کنترل کند.

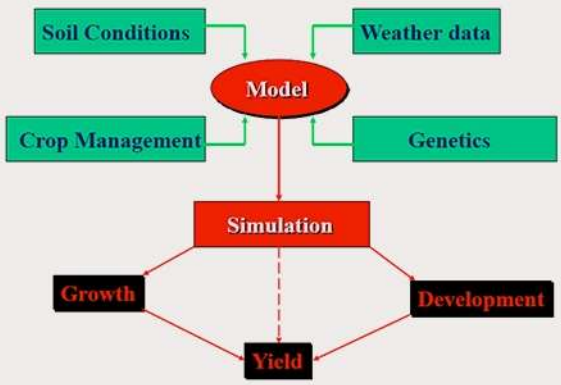
۳- ماژول‌های مختلف برای تسهیل ورود داده‌ها به مدل و خروج داده‌ها از شبیه‌سازی.

۴- یک موتور شبیه‌سازی که فرآیند شبیه‌سازی را هدایت، و تمام پیام‌های عبوری بین ماژول‌های مستقل را کنترل می‌کند.



شکل۲- نمایش نموداری چارچوب شبیه‌سازی مدل اپسیم به همراه ماژول‌های آن

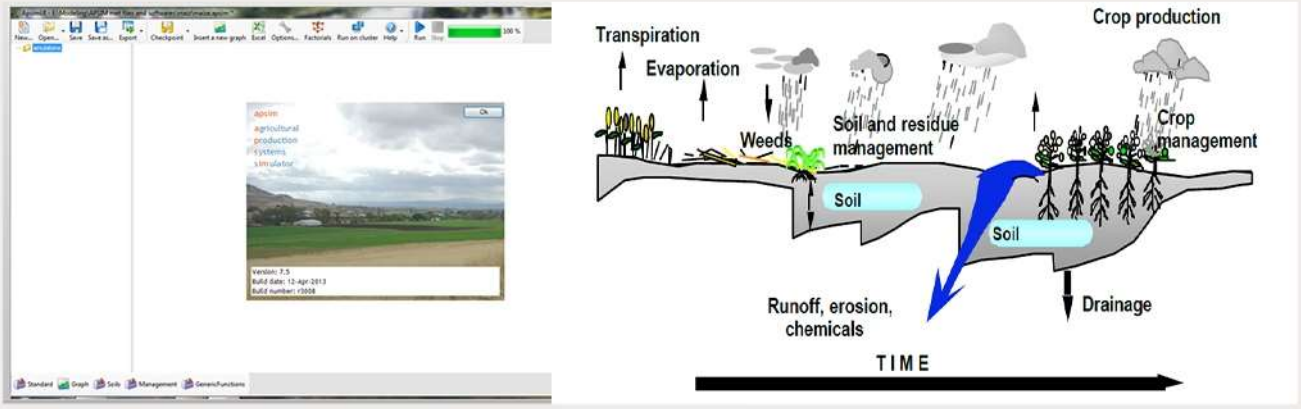
مدل اپسیم دارای یک موتور شبیه‌سازی است که فرآیند شبیه سازی را انجام داده و ارتباط بین مدول‌های مختلف را تسهیل می کند و بر زیرمدل‌های گیاهی، خاکی و مدیریتی مختلف دارد. این مدل می‌تواند در کنار داده‌های دیگر با استفاده از اطلاعات هواشناسی (شامل: بیشینه و کمینه دما، مقدار بارندگی و تشعشع روزانه)، راه‌اندازی شود. کاربر می‌تواند با استفاده از زیر مدل اختصاصی گیاه زراعی، شبیه‌سازی را انجام دهد و بر مبنای اهداف، گزارش‌های متعددی دریافت نماید (شکل ۲).



شکل ۳ سیستم کشاورزی را نشان می‌دهد که اپسیم در ابتدا برای شبیه‌سازی طراحی شده است. خاک کانون اصلی سیستم است. گیاه، آب و هوا و مدیریت در مزرعه در طول زمان تغییر می‌کنند. به‌عبارت دیگر اساس شبیه‌سازی در این مدل بر پایه محور بودن خاک در مقایسه با گیاه زراعی استوار است، هرچند که متغیر اصلی که شبیه‌سازی می‌شود، عملکرد گیاه زراعی می‌باشد. تغییر در متغیرهای وضعیت خاک مانند: میزان آب و نیتروژن موجود در آن، به‌طور پیوسته و در پاسخ به عوامل آب و هوایی و مدیریتی شبیه‌سازی می‌شود. سپس گیاه زراعی در شرایط موجود خاک کشت شده و در پایان با اعمال تغییراتی در متغیرهای خاک، برداشت می‌گردد. تمامی گیاهان زراعی به‌طور مشترک توسط اقلیم و خاک که دربردارنده فرآیندهای مختلفی از قبیل: چرخه‌های آب و نیتروژن در خاک و تجزیه بقایای سطحی می‌باشد، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. چنین شیوه‌ای این امکان را فراهم می‌سازد تا اثرات یک گیاه بر گیاه بعدی از طریق تأثیر آن بر وضعیت خاک، شبیه‌سازی گردد.

در حقیقت برای آن‌که بتوان علاوه بر گیاه زراعی، سیستم زراعی را نیز شبیه‌سازی نمود، ساخت مدل به گونه‌ای صورت پذیرفته است که تأثیر جنبه‌های مختلف سیستمی نظیر تناوب، آیش، بقایای گیاهی، استقرار و مرگ گیاه زراعی و گزینه‌های مدیریتی مختلف مانند: نوع گیاه زراعی، تاریخ و تراکم کاشت، مقدار و زمان کوددهی، مقدار و زمان آبیاری در آن قرار داده شده است تا فرآیند شبیه‌سازی را انجام داده و ارتباط بین مدول‌های مختلف را تسهیل می‌کند.

اپسیم، یکی از قوی‌ترین و معروف‌ترین انواع مدل‌ها می‌باشد که شامل زیرمدل‌های اختصاصی برای گندم، ذرت، سورگوم، ارزن، بقولات مختلف، آفتاب‌گردان، کتان، چغندرقند و یونجه می‌باشد. ماژول‌های گیاهی فرآیندهای کلیدی فیزیولوژیک را شبیه‌سازی می‌کنند و در پاسخ به داده‌های ورودی روزانه آب و هوا، مشخصات خاک و اقدامات مدیریت گیاهی در گام زمانی روزانه عمل می‌کنند. همه گونه‌های گیاهی از اصول فیزیولوژیک یکسانی برای گرفتن منابع و استفاده از این منابع برای رشد استفاده می‌کنند. تفاوت‌های اصلی در آستانه‌ها و شکل عملکردهای پاسخ آن‌ها می‌باشد. استحصال محصول از طریق روابط تعریف کننده واکنش به دما و دوره نوری شبیه‌سازی می‌شود. کلیه ضرایب پاسخ‌های عمومی گیاهی و ضرایب خاص گونه‌ای در کدها ذخیره می‌شوند، تا امکان استفاده آسان و انتقال در بین محصول و رقم فراهم شود. ثابت‌ها و پارامترهای کد در پرونده‌های پارامتر گیاه ذخیره می‌شوند. هر پرونده از دو قسمت عمده تشکیل شده است: ثابت‌های خاص محصول و رقم.



شکل۳- سیستم کشاورزی که اپسیم برای شبیه‌سازی آن طراحی شده است

زیر مدول‌های مختلف اپسیم

الف) ماژول گیاه (Crop)

- **AgPasture (مدل رشد مرتع):** برای شبیه‌سازی مراتع مخلوط علف‌ها و حبوبات سه کربنه و چهار کربنه طراحی شده است.
- **Canopy Intercropping (مدل رشد مخلوط):** در این مدل رقابت نور و آب بین محصولات شبیه‌سازی می‌شود. به‌صورت روزانه، تعداد محصولات در شبیه‌سازی و ارتفاع سایبان آن‌ها را پیدا می‌کند. سپس لایه‌های سایبان تعریف می‌شوند و مرزهای لایه در قسمت بالای هر سایبان مشخص می‌شود، بنابراین به اندازه سایبان‌ها لایه وجود دارد.
- **Growth:** یک ماژول رشد ساده گیاه برای شبیه‌سازی ماژول سیستم‌های مرتع و جنگلداری ساخته شده است
- **Plant:** رشد گونه‌های مختلف را در مقیاس روزانه (براساس سطح)، شبیه‌سازی می‌کند. رشد گیاه در این مدل به آب و هوا (دما، بارندگی و تابش از ماژول Met)، تأمین آب خاک (از ماژول Soilwat)، و نیتروژن خاک (از ماژول SoilN)، پاسخ می‌دهد.
- **Slurp:** مدلی برای محاسبه میزان جذب آب خاک توسط گیاهان.

ب) ماژول خاک (Soil)

Eroison: فرسایش روزانه خاک و تأثیر آن بر مشخصات خاک، **Map:** این نقشه لایه‌های خاک شبیه‌سازی را روی لایه‌های خروجی ترسیم می‌کند، **SoilN:** پویایی کربن و نیتروژن در خاک، **SoilP:** در دسترس بودن فسفر در خاک، **SoilTemp:** دمای خاک، **SoilWat:** مدل تعادل آب خاک، **Solute:** مدل تعادل املاح، **Surfac:** اثر هدایت آب سطحی که با گذشت زمان تغییر می‌کند، **SurfaceOM:** اثر مواد آلی سطح، **SWIM:** نفوذ و حرکت آب در خاک، **WaterSupply:** نقش منبع آب برای ماژول آبیاری.

ج) ماژول اقلیم (Met)

ماژول **APSIM Met** اطلاعات هواشناسی روزانه را در تمام شبیه‌سازی‌های اپسیم به همه ماژول‌ها ارائه می‌دهد.

د) ماژول مدیریتی (Management)

Fertiliser: تأثیر مصرف کود بر روی سیستم، **Irrigation:** زمانبندی آبیاری، **Economics:** تعادل نقدی را از طریق شبیه‌سازی تمام فعالیت‌های مالی کنترل می‌کند (به‌عنوان مثال: درآمد، هزینه‌ها، بازپرداخت وام)، **Manage:** قابلیت تعیین مجموعه‌ای از قوانین با استفاده از منطق شرطی در حین شبیه‌سازی برای کنترل عملکرد ماژول‌ها، **Clock:** زمان شبیه‌سازی و **Report:** یک پرونده خروجی ستونی ایجاد می‌کند تا داده‌ها را از شبیه‌سازی اپسیم ضبط کند.

	A	B	C	D	E	F	G
1	[weather.met.weather]						
2	Latitude = -27.11						
3	tav = 19.57 (oC)	! annual average ambient temperature					
4	amp = 10.40 (oC)	! annual amplitude in mean monthly temperature					
5							
6	year	day	radn	maxt	mint	rain	
7	()	()	(MJ/m^	2) (oC)	(oC)	(mm)	
8	1988	1	20.74	33	17.4	0.2	
9	1988	2	23.43	33.8	23	0	
10	1988	3	23.79	32.5	21	0	
11	1988	4	19.14	30.8	19.7	34	
12	1988	5	17.11	28.2	19.2	2	

شکل ٤- نمونه فایل آب و هوا

نتیجه‌گیری

اپسیم، از مدل‌های مبتنی بر فرآیند گیاه است که به‌طور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی تولید محصول و کارایی آب در سراسر جهان استفاده می‌شود. مدل‌های شبیه‌سازی کشاورزی نقش مهمی در آگاهی بخشیدن به عملکرد کشاورزان، استراتژی‌های اصلاح و سیاست‌های دولت دارند که هدف آن‌ها رفع چالش‌هایی مانند امنیت غذایی و کاهش و سازگاری با تغییرات آب و هوا است. تقاضا برای ابزاری که بتواند به تحلیل مشکلات پیچیده کمک کند، بیش از هر زمان دیگری مشهود است که مدل اپسیم می‌تواند ابزاری در برطرف کردن این نیاز باشد.

منابع

بنایان، م.، ۱۳۸۱. ساخت و کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی در کشاورزی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول.

Brown, H., Huth, N., Holzworth, D. 2018. Crop model improvement in APSIM: Using wheat as a case study. European Journal of Agronomy. 100, 141-150.

Keating, B., Carberry, P., Hammer, G., Probert, M., Robertson, M., Holzworth, D., Huth, N., Hargreaves, J., Meinke, M., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. European Journal of Agronomy. 18(3), 267-288.

Holzworth, D., Meinke, H., DeVoil, P., Wegener, M., Huth, N., Hammer, G., Howden, M., Robertson, M., Carberry, P., Freebairn, D., Murphy, C. 2006. The development of a farming systems model (APSIM): a disciplined approach. 3rd International Congress on Environmental Modelling and Software- Burlington, Vermont. USA, P 13.

IPCC. 2014. Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1150.