دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن کامپیوتر ایران
دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر ،تهران، ایران، ۱ تا ۳ اسفند ۱۳۸۵

شبیه‌سازی فرآیند نفوذ سموم شیمیایی در خاک به کمک اتوماتای یادگیر سلولی

سمیرا نوفرستی*، محمدرضا میبدی†

چکیده

در دهه‌های اخیر استفاده از سموم شیمیایی برای محافظت محصولات کشاورزی فراگیر شده است. آزاد شدن سموم در محیط خطرات زیانباری برای محیط و سلامت انسانها دارد. از جمله عواقب استفاده از سموم شیمیایی آلودگی آبهای زیرزمینی است که در بسیاری از شهرها منبع اصلی آب آشامیدنی را تشکیل می‌دهد. بهمین دلیل لازم است قبل از استفاده از سموم اثر آن بر محیط مورد بررسی قرار گیرد. در این مقاله مدلی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی برای شبیه‌سازی نفوذ سموم در خاک پیشنهاد می‌گردد. با استفاده از این مدل می‌توان اثر عوامل موثر در نفوذ سموم در خاک را قبل از مبادرت به استفاده از آنها مورد بررسی قرار داد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که این مدل با واقعیت تطبیق دارند.

واژه های کلیدی

شبیه سازی، نفوذ سموم شیمیایی در خاک، اتواتای یادگیر سلولی

Simulation of pesticide percolation in the soil based on Cellular learning automata

Abstract

In recent decades, the use of pesticides has increased exponentially to protect agricultural productions. Absorption of pesticide in soil can be hazardous both for the environment and human health. One of the disadvantages of using pesticides is pollution of groundwater that is main source of drinkable water in residential area. It is thus essential to assess the impact of a given pesticide on the environment before its application. In this paper an efficient model based on cellular learning automata is proposed for simulating impact of pesticide on soil. This model can assess various effective factors in pesticide absorption before using it. The results obtained from simulations are consistent with real case studies.

Keywords

Simulation, pesticide absorption in soil, cellular learning automata

* عضو هیأت علمی دانشگاه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی، گروه IT، samira_noferesty@yahoo.com
† عضو هیأت علمی دانشگاه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، mmeybodi@aut.ac.ir

۱- مقدمه

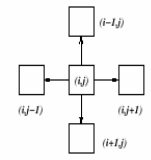
در دهه‌های اخیر استفاده از سموم شیمیایی برای محافظت محصولات کشاورزی فراگیر شده است. استفاده بی‌رویه از سموم برای محیط و حتی سلامت انسانها زیان‌آور است. بعد از سمپاشی محصولات کشاورزی، سموم جذب خاک شده و بسته به ترکیبات آنها ممکن است تا مدتها در سطح خاک باقی بمانند. سپس وقتی آب به دلیل بارش باران یا جاری شدن سیل در خاک نفوذ می‌کند، این سموم را در خود حل کرده و به لایه‌های زیرین خاک می‌برد. آب حاوی سم ممکن است به تدریج به آبهای زیرزمینی برسد. آبهای زیرزمینی منبع اصلی آبهای تازه هستند. در بسیاری از شهرها بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی شهر از آبهای زیرزمینی تامین می‌شود. بنابراین لازم است قبل از استفاده از سموم اثر آن بر محیط بررسی و راهکارهای بهتری برای حفاظت از آبهای زیرزمینی فراهم شود.

مدلهای مختلفی مبتنی بر مشتقات جزئی برای محاسبه مقدار سم موجود در آبهای زیرزمینی به کار رفته است [3]. مشکل عمده این مدلها پیچیدگی معادلات مورد استفاده و داده‌های مورد نیاز برای حل مسئله است. بندینی و پاوسی برای شبیه‌سازی نفوذ سموم شیمیایی در خاک مدل ساده‌ای با استفاده از اتوماتای سلولی ارائه کردند [4]. در این مدل حرکت آب درخاک به دلیل جاذبه زمین صورت می‌گیرد. در این مقاله مدلی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی برای شبیه‌سازی نفوذ سموم شیمیایی در خاک پیشنهاد می‌گردد. در واقع از اتوماتای یادگیرسلولی برای شبیه‌سازی واقعی‌تر حرکت آب در خاک استفاده می‌شود. در مدل پیشنهادی دیگر عوامل موثر در حرکت آب از قبیل خاصیت موئینگی و خاصیت پیوستگی مولکولها نیز منظور شده است. نتایج حاصل از پیاده‌سازی این مدل کارایی آن را نشان می‌دهد.

ادامه مقاله به این صورت سازماندهی شده است: در بخش ۲ مدل مبتنی بر اتوماتای سلولی برای شبیه‌سازی نفوذ سموم در خاک شرح داده می‌شود. در بخش۳ روشی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بخش پایانی مقاله نتیجه‌گیری می‌باشد.

۲- شبیه‌سازی نفوذ سموم در خاک به کمک CA

در این بخش مدل بندینی و پاوسی برای شبیه‌سازی نفوذ سموم شیمیایی در خاک ارائه می‌گردد. در این روش نفوذ سموم در خاک با یک اتوماتای سلولی دو بعدی با همسایگی فون‌نیومن مدل شده است (شکل۱). برای اطلاعات بیشتر درباره CA و همسایگی می‌توان به [1] مراجعه نمود. حالت هر سلول نوع عنصر تشکیل دهنده آن سلول را نشان می‌دهد که می‌تواند آب، خاک یا خالی باشد. به علاوه هر سلول آب یا خاک می‌تواند حاوی مقداری سم باشد که با یک عدد صحیح مشخص می‌شود. هر سلول مطابق شکل۲ به ۴ بخش تقسیم می‌شود. مقدار سم موجود در سلول به طور مساوی در این ۴ بخش توزیع شده است. حالت سلول $c(i,j)$ با یک ۵تایی به صورت $<I,N,S,W,E,F>$ تعریف می‌شود که I شناسه سلول است که می‌تواند آب، خاک یا خالی باشد، W و E,S,N چهار متغیر هستند که تعداد ذرات سم در هر بخش سلول را مشخص می‌کنند و $F=<u,d,l,r>$ یک چهارتایی با متغیرهای یک بیتی است که جهت حرکت آب را مشخص می‌کند.



شکل۱- همسایگی فون‌نیومن

شکل۲- ساختار یک سلول[4]

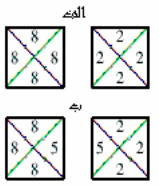
۲-۱- قوانین بروزرسانی

قوانین بروزرسانی عبارتند از: واکنش، موازنه و انتشار.

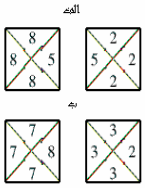
واکنش: این قاعده به طور همزمان بر روی همه بخشهای همه سلولهای اتوماتای یادگیر سلولی اعمال می‌شود. البته قانون هنگامی انجام‌پذیر است که دو سلول مجاور هر دو آب یا یکی آب و دیگری خاک باشد. پس از اعمال قانون مقدار سم موجود در هر بخش با مقدار سم موجود در بخش متناظر در سلولهای همسایه موازنه می‌شود (شکل۳).

برای نشان دادن ماکزیمم مقدار سمی که می‌تواند در یک سلول آب یا خاک قرار گیرد از ثابت اشباع استفاده می‌شود. این پارامتر برحسب خواص شیمیایی سم و خاک تعیین می‌شود و به عنوان پارامتر ورودی داده می‌شوند. افزودن این پارامتر قاعده واکنش را تا حدی تغییر می‌دهد به این صورت که بعد از مرحله واکنش مقدار سم هیچیک از سلولها نباید بیشتر از ثابت اشباع شود.

موازنه: این قاعده باعث می‌شود سم به صورت همگن در بخشهای هر سلول پخش شود (شکل۴). اعداد نشان‌دهنده مقدار سم است.



شکل۴- قاعده واکنش[4]
الف) دو سلول قبل از واکنش
ب) دو سلول بعد از واکنش



شکل۵- قاعده موازنه[4]
الف) دو سلول قبل از موازنه
ب) دو سلول بعد از موازنه

حرکت: در این مرحله آب به علت جاذبه زمین در خاک نفوذ می‌کند. اگر همسایه جنوبی خالی باشد آب به سمت پایین حرکت می‌کند. اگر دقیقاً یکی از همسایه های دو طرف آن خالی باشد، آن همسایه و اگر هر دو همسایه کناری خالی باشند یکی به تصادف انتخاب می‌شود.

۲-۲- شبیه‌سازی

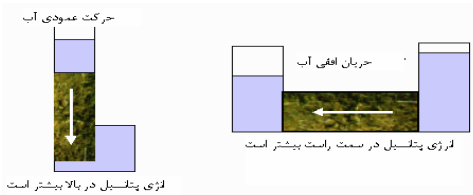
شبیه‌سازی با تخصیص بعضی از سلولهای اتوماتا به خاک و نسبت دادن مقدار مشخصی سم به سلولهای خاک سطحی آغاز می‌شود.

سپس آب اضافه می‌شود یعنی بعضی از سلولهای از نوع خالی به نوع آب تغییر پیدا می‌کنند. افزودن آب وابسته به شرایط جوی است.

به آب اجازه داده می‌شود که بستر خاک را ترک کند. به این صورت که سلولهای ردیف انتهایی اتوماتای سلولی که شناسه آنها آب می‌باشند به سلول خالی تبدیل شود. بدین طریق مقدار سمی که بستر را ترک می‌کند و بعداً به آبهای زیرزمینی وارد می‌شود محاسبه می‌شود.

۳- روش پیشنهادی

در این بخش شبیه‌سازی حرکت آب در مدل بندینی و پاوسی توسط اتوماتای یادگیر سلولی که شبیه‌سازی دقیقتری از حرکت آب در خاک می‌باشد ارائه می‌شود. آب مانند هر شیء دیگری تمایل دارد از مکان دارای انرژی پتانسیل بیشتر به مکان دارای انرژی پتانسیل کمتر حرکت کند(شکل۵). دو عامل در اختلاف پتانسیل دو مکان حاوی آب موثرند [8,10]: جاذبه زمین و خاصیت موئینگی. خاصیت موئینگی خود از نیروی چسبندگی بین آب و ذرات خاک و نیروی پیوستگی بین مولکولهای آب حاصل می‌شود. خاصیت موئینگی موجب حرکت آب در هر جهتی می‌شود ولی نیروی جاذبه آب را به سمت پایین می‌کشاند. هنگامی که خاک اشباع شد و دیگر تمایلی به جذب آب نداشت، نیروی جاذبه تنها نیروی موثر در حرکت آب است. در واقع این قواعد به ما اجازه می‌دهند که مشخص کنیم آیا آب قادر به حرکت است و در صورت حرکت به کدام جهت حرکت می‌کند.



شکل۵- حرکت آب به دلیل اختلاف انرژی پتانسیل[4]

در روش پیشنهادی هر سلول آب دارای یک اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر از نوع L_{RP} می‌باشد که با استفاده از آن درباره حرکت آب تصمیم‌گیری می‌شود. برای اطلاعات بیشتر درباره اتوماتاهای یادگیر و اتوماتای یادگیر سلولی می‌توان به [2,5,6,7] مراجعه نمود. حرکت آب در سه جهت چپ، راست و پایین انجام می‌شود. اگرچه خاصیت موئینگی می‌تواند آب را به سمت بالا جذب کند ولی بدلیل اینکه جاری شدن آب را در زمان بارندگی یا سیل بررسی می‌کنیم، فشار خارجی وارد شده بر مولکولهای آب مانع حرکت آنها به سمت بالا می‌شود.

تعیین احتمال متناظر با هر عمل نیاز به بررسی دقیقتری دارد. اندازه حفره‌های خاک یکی از عوامل اصلی نحوه حرکت آب در خاک است. حفره‌های بزرگتر آب را سریعتر عبور می‌دهند. علت آن نیز این است که خاصیت موئینگی در حفره‌های کوچک بسیار بیشتر است به طوری که در بعضی از خاکها مانند ماسه‌های نرم بر نیروی جاذبه غلبه می‌کند[11]. بنابراین بسته به نوع خاک این احتمالات به عنوان ورودی داده می‌شود. در هر مرحله بروزرسانی، اتوماتای یادگیر سلول آب یکی از سه عمل چپ، راست و پایین را با استفاده از بردار احتمالات اعمال خود انتخاب می‌کند. عمل انتخاب شده توسط محیط بررسی می‌شود. اگر این عمل باعث حرکت آب از مکان دارای انرژی پتانسیل بیشتر به مکان دارای انرژی پتانسیل کمتر شود پاداش می‌گیرد و در غیر این صورت جریمه می‌شود. بررسی مقدار انرژی پتانسیل به شرح زیر است.

۱. اگر یک سلول خاک در همسایگی خود سلول خالی یا سلولهای خاک سطحی داشته باشد که اشباع نشده‌اند، نیروی چسبندگی بین ذرات خاک و آب یک عامل جذب آب به این سلول می‌باشد. میزان تاثیر این عامل با پارامتر a_1 سنجیده می‌شود. هر سلول سطح خاک یک متغیر به نام S دارد که برای مشخص کردن میزان رطوبت خاک به کار می‌رود. در ابتدا مقدار این متغیر صفر است. هر بار که یکی از سلولهای اطراف این سلول با آب پر می‌شود به این متغیر یک واحد افزوده می‌شود تا زمانی که به مقدار از پیش تعریف شده N برسد. N ثابت اشباع خاک است. محاسبه a_1 به صورت زیر است:

$$a_1 = \sum_i \rho_1 (1 - \frac{Si}{N}) \qquad (۱)$$

ρ_1 ضریب ثابتی است که میزان تاثیر این عامل را در برابر دو عامل خاصیت پیوستگی و جاذبه مشخص می‌کند. از فرمول فوق مشخص است که هر چه خاک مرطوبتر می‌شود اثر این نیرو کمتر می‌شود و زمانی که خاک اشباع می‌شود اثر این نیرو صفر می‌شود.

۲. عامل دوم پیوستگی بین ذرات آب است. اگر آب به مکانی برود که در همسایگی آن سلولهای آب قرار داشته باشند، پاداش می‌گیرد. میزان تاثیر این عامل با a_2 مشخص می‌شود:

$$a_2 = \rho_2 * waterCells \qquad (۲)$$

ρ_2 ضریب ثابتی است که میزان تاثیر این عامل را در برابر دو عامل دیگر مشخص می‌کند.

۳. عامل سوم نیروی جاذبه است. اگر آب به سمت پایین حرکت کند، جایزه می‌گیرد. میزان تاثیر این عامل با پارامتر a_3 مشخص می‌شود.

۴. نکته دیگری نیز مطرح است. طبق تحقیقات انجام شده [12] آب تمایل دارد در بخش کوچکی از کل حجم موجود خاک حرکت کند. در اکثر خاکها بیشتر از ۸۰ درصد آب تنها در ۲۰ درصد عرض خاک نفوذ می‌کند. برای در نظر گرفتن این نکته به حرکت آب به سلولی که سلول زیرین آن خالی است جایزه می‌دهیم. میزان تاثیر این عامل را نیز با a_4 مشخص می‌کنیم.

در پایان مقدار $a = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$ محاسبه می‌شود. اگر $0 < a$ باشد عمل پاداش می‌گیرد. میزان پاداش نیز برابر a است.

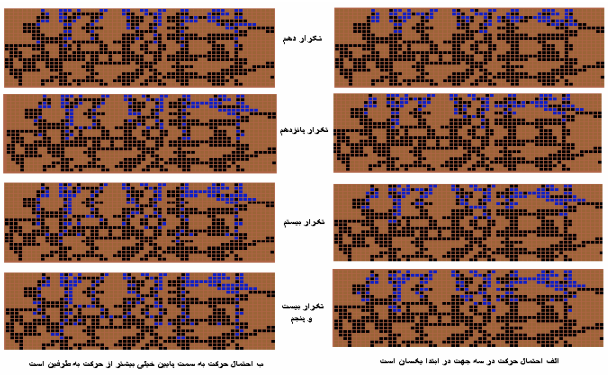
۴- ارزیابی مدل پیشنهادی

شبیه‌سازی نفوذ سموم شیمیایی با استفاده از مدل پیشنهادی بر روی نمونه‌های مختلف خاک انجام گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که برای بسترهایی با ساختارهای متفاوت و نیز انواع مختلف سم موجود در خاک، مقدار سم رسیده به آبهای زیرزمینی با واقعیت تطابق دارد. به عنوان مثال هر چه قابلیت حل سم در آب بیشتر باشد، احتمال حل شدن آن در آب و در نتیجه رسیدن آن به آبهای زیرزمینی بیشتر است. در جدول۱ به ازاء مقادیر مختلف برای ثابت اشباع آب، میزان سمی که بعد از ۱۰۰ مرحله تکرار اتوماتای یادگیر سلولی بستر را ترک می‌کند نشان داده شده است. همان طور که مشخص است هرچه ثابت اشباع آب بزرگتر باشد مقدار سم بیشتری را در خود حل می‌کند.

جدول۱- اثر ثابت اشباع آب در میزان سم رسیده به آبهای زیرزمینی

ثابت اشباع آب (SC)	میزان سم
۲۰	۸۶
۱۰	۶۴
۵	۱۹

فرایند نفوذ از خواص خاک نیز متاثر است. در مدل پیشنهادی اگر احتمالات متناظر با حرکت آب به درستی انتخاب شود، این حقیقت به خوبی نشان داده می‌شود. به عنوان مثال برای شن باید احتمال اولیه حرکت آب به سمت پایین خیلی بیشتر از احتمال حرکت آب به طرفین باشد. زیرا خاصیت موئینگی در شن بسیار کم است. برعکس در ماسه خاصیت موئینگی زیاد است و باید احتمال حرکت به طرفین نیز قابل توجه باشد. شکل۶ نتیجه شبیه‌سازی انجام شده بر روی یک نمونه خاک در مراحل مختلف شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. در شکل ۶-الف احتمال اولیه حرکت به طرفین و پایین یکسان است اما در شکل ۶-ب احتمال اولیه حرکت به سمت پایین ۰/۹۹ و احتمال حرکت به هر یک از طرفین ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است. برای خاکهایی که خاصیت موئینگی زیادی ندارند مانند شن بیش از ۸۰ درصد آب تنها در ۲۰ درصد عرض خاک نفوذ می‌کند که نتایج آزمایشهای انجام گرفته موید این واقعیت می‌باشد.



شکل۶- میزان نفوذ آب در خاک

در مدل ارائه شده خواص سموم به ویژه طول عمر آنها مورد نظر قرار نگرفته است. سموم به تدریج تجزیه می‌شوند[9] که این امر یکی از مواردی است که می‌تواند در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شود. یکی دیگر از مواردی که در نظر گرفته نشده است میزان مواد آلی خاک است. این مواد تمایل دارند با سم ترکیب شوند و در نتیجه با احتمال کمتری در آب حل می‌شوند. بنابراین هر چه میزان مواد آلی خاکی بیشتر باشد خطر کمتری دارد. این امر را نیز می‌توان با تغییر قاعده واکنش در نظر گرفت. عامل دیگر نقش ارگانهای زنده موجود در خاک است. به عنوان مثال ریشه گیاهان تمایل دارند آب را در اطراف خود نگه دارند. همچنین حشرات و دیگر موجودات زنده دورن خاک نقش موثری در تعیین ساختار خاک دارند[13].

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی برای شبیه‌سازی اثرات سموم در خاک پیشنهاد گردید. نشان داده شد که شبیه‌سازی فرایند نفوذ سموم در خاک با استفاده از این مدل به واقعیت نزدیکتر می‌باشد.

مراجع

[1] Wolfram, S., *Cellular Automata and Complexity*, Perseus Books Group, 1994.

[2] Najim, K., Poznyak, A. S., *Learning automata: theory and application*, Tarrytown, New York: Elsevier Science Publishing Ltd., 1994.

[3] Vanclooster, M., Boesten, J., Trevisan, M., Brown, C., Capri, E., Eklo, O., Gottesb¨uren, B.,Gouy, V., van der Linden, A., "*A European test of pesticide leaching models: methodology and major recommendations*", AgriculturalWater Management, Vol. 44, pp. 1–19, 2000.

[4] Bandini, S., Pavesi, G., "*Simulation of Pesticide Percolation in the Soil Based on Cellular Automata*", TTN/CAPP project, 2002.

[5] Thathachar, M. A. L., Sastry, P. S., "*Varieties of Learning Automata: An Overview*", IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, Vol. 32, No. 6, pp. 711-722, 2002.

[6] Meybodi, M. R., Beigy, H.,Taherkhani, M., "*Cellular Learning Automata and Its Applications*", Journal of Science and Technology, University of Sharif, No. 25, pp.54-77, Autumn/Winter 2003-2004.

[7] Marchini, F., Meybodi, M. R., "*Application of Cellular Learning Automata to Image Processing: Finding Skeleton*", Proceedings of The Third Conference on Machine Vision, Image Processing and Applications (MVIP 2005) University of Tehran, Tehran, Iran, pp. 271-280, Feb. 2005.

[8] Watson, J. Hardy, L., Cordell, T. Cordell, S. Minch, E. C., Pachek, C., "*How Water Moves Through Soil*", Cooperative Extension, College of Agriculture, University of Arizona, September 1995.

[9] Buttler, T., Martinkovic,W.,Nesheim, O. N., "*Factors Influencing Pesticide Movement to Ground Water*", University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS), April 1998.

[10]"*Water Movement in Soils*", soilphysics.okstate.edu/software/water/infil.html, access at 83/4/24.

[11] Anderson, A.,Gustafson, P.,"*Water Movement and Soil Treatment*",www.onsiteconsortium.org/files/Video_Outline.pdf, 18 October 2003.

[12] Bowman, B. T., Reynolds, W. D., "*FAQ- Water Flow in Soils*", *res2.agr.gc.ca/london/faq/water-leau_e.htm*.

[13] "*Movement of Pesticides in the Environment*", A Pesticide Information Project of Cooperative Extension Offices of Cornell University, Oregon State University, extoxnet.orst.edu/tibs/movement.htm, access at 83/4/24.