شبیه‌سازی عددی جریان غیر اشباع آب در خاک با استفاده از مدل بقای جرم

محمدعلی محمودی، مهدی شرفا و غلامرضا ثواقبی
به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد خاک شناسی و استادیاران گروه خاک شناسی دانشگاه تهران

مقدمه

ناحیه غیر اشباع پوسته زمین که vadose zone نیز نامیده می‌شود، ناحیه‌ای در زیرزمین است که از بالا بوسیله سطح خاک و از زیر بوسیله سفره آب زیر زمینی محدود می‌شود که در آن بسیاری از پدیده های فیزیکی مانند نفوذ آب به خاک، تبخیر، تخلیه به آب های زیر زمینی، ذخیره رطوبت در خاک و غیره رخ می دهند. هدف از این تحقیق ارائه روشی برای شبیه سازی جریان غیر اشباع آب در خاک است.

همانطور که واسکونسلوس و سزار اموریم (۲۰۰۱) اظهار می دارند، شبیه سازی عددی جریان غیر اشباع دارای سابقه مهمی در علوم خاک و هیدرولوژی آبهای زیر زمینی است. در این مورد می توان به کارهای نیلسن و همکاران (۱۹۸۶) و میلی (۱۹۸۸) اشاره کرد. تقریبا تمام شبیه سازی های جریان غیر اشباع از هر دو شکل h یا θ معادله

ریچاردز استفاده می‌کنند. انواع زیادی از تکنیک‌های تفاضل محدود و اجزاء محدود برای هر کدام از اشکال این معادلات استفاده شده اند (نیومن ۱۹۷۳، هاورکپ و همکاران ۱۹۷۷، و وان گنوختن ۱۹۸۰).

معادلات دیفرانسیلی حاکم بر جریان غیر اشباع آب در خاک

معادلات توصیف کننده جریان آب در خاک های غیر اشباع عبارتند از قانون دارسی و معادله پیوستگی (قانون بقای جرم). از ترکیب این دو معادله، معادله ریچاردز حاصل می شود. در جریان غیر اشباع آب در خاک فاز هوا پیوسته می باشد و با فشار اتمسفر در تعادل است و بنابراین دینامیک فاز آب را تحت تاثیر قرار نمی دهد. تاثیرات شوری و درجه حرارت نیز در جریان آب در خاک نادیده گرفته می شوند، از این رو فرض بر آن است که حرکت آب در خاک از معادله کلاسیک ریچاردز پیروی می کند. دو فرم معمول معادله ریچاردز عبارتند از:

فرم h

$$C(h)\frac{\partial h}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial z}\left(K(h)\frac{\partial h}{\partial z}\right)+\frac{\partial K(h)}{\partial z}-S$$

فرم θ

$$\frac{\partial \theta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial z}\left(D(h)\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)+\frac{\partial K(h)}{\partial z}-S$$

که در آنها θ رطوبت حجمی خاک، t زمان، K ضریب آبگذری غیر اشباع خاک که خود تابعی از رطوبت خاک است، h پتانسیل ماتریک خاک، z عمق خاک، C عکس شیب منحنی رطوبتی است که خود تابعی از رطوبت خاک است و ظرفیت رطوبتی متغیر نامیده می‌شود و S مقدار آب جذب شده بوسیله ریشه گیاه در واحد حجم خاک و در واحد زمان است. برای بیان کمی S مدل‌هایی وجود دارد (همایی ۱۳۸۱). در این تحقیق کاربرد معادله ریچاردز در شبیه سازی جریان غیر اشباع آب در خاک برای سیستمی که در آن گیاه وجود ندارد نشان داده می شود؛ از این رو S=0 خواهد بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق از داده های مربوط به منحنی رطوبتی خاک Sarpy Loam (جدول ۱) استفاده شد (محبوبی و نادری ۱۳۷۴). سطح ایستابی این خاک در عمق ۱۰۰ cm قرار دارد. فرض بر آن است که این خاک در نتیجه انجام بارندگی خیس شده و توزیع مجدد رطوبت و تبخیر در آن شروع می شود. طول هر کدام از این دوره ها در زیر داده شده است.

جدول (۱) پتانسیل ماتریک خاک Sarpy Loam در رطوبت های مختلف

θ_v	0.05	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26
h (cm)	-6975	-3365	-1255	-447	-330	-259	-209	-168	-134	-106	-78	-64
θ_v	0.28	0.3	0.32	0.34	0.36	0.38	0.4	0.41	0.42	0.44	0.46	
h (cm)	-53	-43	-34	-26	-18	-10	-3	0	-	-	-	

دوره اول: بارندگی به شدت ۱۰ cm/day – به مدت ۳۶ دقیقه
دوره دوم: بارندگی به شدت ۱۵ cm/day – به مدت ۳۶ دقیقه
دوره سوم: بارندگی به شدت ۸ cm/day – به مدت ۴۸ دقیقه
دوره چهارم: توزیع مجدد به مدت ۲۴ دقیقه
دوره پنجم تبخیر به شدت ۱/۴cm/day به مدت ۱۳۶ دقیقه
دوره ششم تبخیر به شدت ۳cm/day به مدت ۳۰ دقیقه
دوره هفتم تبخیر به شدت ۳/۵ cm/day به مدت ۴۲دقیقه
دوره هشتم تبخیر به شدت ۴/۲ cm/day به مدت ۱۲۶دقیقه
دوره نهم تبخیر به شدت ۲ cm/day به مدت ۲/۵ساعت
دوره دهم تبخیر به شدت ۱/۲ cm/day به مدت ۱۴ ساعت و ۱۲ دقیقه.

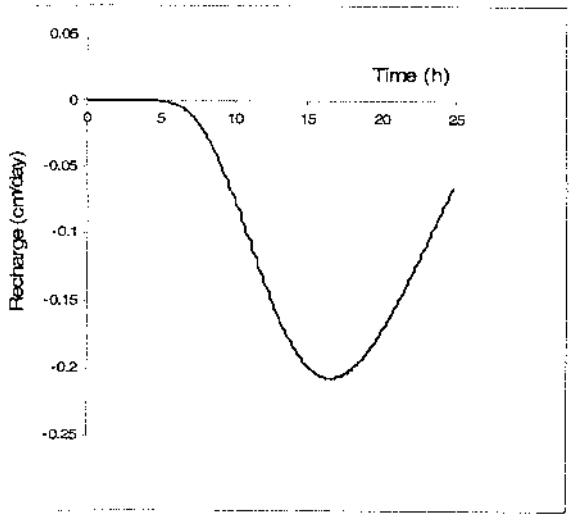
برای توصیف منحنی رطوبتی و ضریب آبگذری خاک از مدل وان گنوختن استفاده گردید. مدل وان گنوختن را بر داده های منحنی رطوبتی خاک برازش داده و بدین ترتیب با بدست آوردن پارامترهای مدل وان گنوختن، تغییرات پتانسیل ماتریک و ضریب آبگذری خاک با رطوبت خاک توصیف و بررسی گردید. معادلات دیفرانسیل حاصله به صورت عددی به روش تفاضل محدود (صریح-ضمنی) با در نظر گرفتن شرایط اولیه و حدی حل شدند. شرایط اولیه در شرایط مزرعه اندازه گیری می شود. در اینجا فرض بر آن است که در شرایط اولیه (t=0) تعادل هیدرولیکی بر قرار باشد. در این شبیه سازی‌ها از گام زمانی ۰/۱ h و گام مکانی ۲ cm استفاده شد.

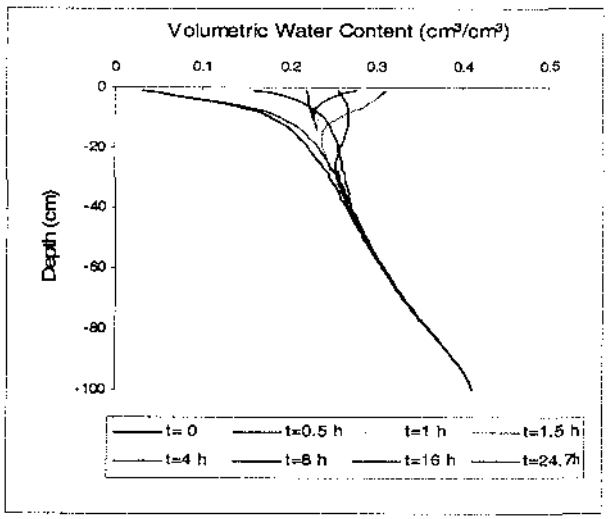
نتایج و بحث

در اغلب اوقات لازم است که جریان آب در نیمرخ خاک پیشگویی شود. تنها تعداد کمی دستگاه برای اندازه‌گیری جریان آب در مزرعه بوجود آمده اند، و بیشتر کوشش‌ها بر روی ایجاد روش‌های غیر مستقیم برای توصیف کمی جریان آب در خاک متمرکز بوده اند. اینگونه روش ها معمولا بر مبنای مفاهیم اساسی سامانه آب و خاک بنا می شوند و ممکن است از نظر ریاضی پیچیده باشند. در اینجا با استفاده از معادله ریچاردز رطوبت، پتانسیل ماتریک، ضریب آبگذری و شدت جریان آب در خاک را با عمق و زمان تعیین گردید. به علاوه با استفاده از این مدل شدت تخلیه آب به درون سفره آب زیر زمینی را با زمان تعیین شد. پارامتر اخیر خود در مدل‌های آبهای زیر زمینی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل (۱) تغییرات رطوبت حجمی با عمق برای چند زمان مختلف و در شکل (۲) تغییرات آبدهی با زمان نشان داده شده اند. بدین ترتیب ملاحظه می شود که با استفاده از

معادله ریچاردز و با ارائه یک راه حل عددی می‌توان جریان آب در خاک را پیشگویی کرد.

در طول مرحله توزیع مجدد رطوبت، که در این مساله عنوان شده است، بخشی از خاک در معرض خشک شدن و بخشی از آن در معرض خیس شدن قرار دارد. از این رو در حل اینگونه مسائل باید پدیده پسماند مورد توجه قرار گیرد؛ که البته در این تحقیق نادیده گرفته شد. همچنین در این تحقیق خاک همگن و بدون حضور گیاه در نظر گرفته شده است.





شکل(۱) (راست): نیمرخ های رطوبتی خاک در زمان های مختلف. داده ها با شبیه سازی توسط مدل بدست آمده اند.

شکل (۲) (چپ): تغییرات آبدهی با زمان. داده ها با شبیه سازی توسط مدل بدست آمده اند.

منابع مورد استفاده

۱- پورباک، علی محمد. ۱۳۸۰. محاسبات عددی(آنالیز عددی کاربردی). ترجمه. چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی. تهران.

۲- محبوبی، علی اکبر و علی اصغر نادری. ۱۳۷۴.فیزیک خاک کاربردی. ترجمه. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا. همدان.

۳- همایی، مهدی. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. چاپ اول. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران.

4- De Vasconecllos, C. A. B. and J.C. Cesar Amorim. 2001. Numerical simulation of unsaturared flow in porous media using a mass-conservative model. 16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering.

5- Haverkamp, R. and M. Vauclin, 1979. A note on estimating finite difference interblock hydraulic conductivity volues for transient unsaturated flow problems. Water Resour. Res. 15:181-187.

6- Haverkamp, R., and M. Vauclin, 1981. A comparative study of three forms of the Richards's equation used for predicting one-dimensional infiltration in unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 45: 13-20.

7- Nielsen, D.R., M.T. van Genuchten and J.W. Biggar. 1986. Water flow and solute transport processes in the unsaturated zone. Water Resour. Res., 22(9):89-108