دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران
تبریز، 12 الی 14 شهریور 1390
(فرسایش و حفاظت خاک)

شبیه‌سازی رواناب و فرسایش خاک ناشی از بارش با استفاده از روش ماشین‌های سلولی

هادی ثانی‌خانی[1]، پیام خسروی‌نیا[1]، بهاره صولتی[2]، سروین زمان‌زاد قویدل[3]، محمد علی خراسانی[4]

1- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

2- دانشجوی کارشناسی ارشدفیزیک خاک گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد تبریز

3- دانشجوی کارشناسی مهندسی آبیاری گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

4- کارشناس مرکز تحقیقات کشاورزی، پزشکی و هسته ای سازمان انرژی اتمی ایران

مسئول مکاتبه h.sanikhani@tabrizu.ac.ir

چکیده

فرسایش و رواناب ناشی از بارش در حوضه‌های آبخیز از موضوعات مهم مدیریت منابع طبیعی محسوب می‌شود. در این تحقیق از ماشین‌های سلولی جهت شبیه‌سازی رواناب و فرسایش ناشی از بارش استفاده گردید. روش ماشین‌های سلولی یک سیستم فیزیکی ایده‌آل است که قابلیت شبیه‌سازی ساده از یک فرآیند پیچیده نظیر فرسایش و رواناب را دارا می‌باشد. این روش در یک کرت آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که اندازه سلول‌ها، پارامترهای هیدرولیکی، انتخاب گام زمانی مناسب و تعداد تکرارها تاثیر به سزایی در نتایج شبیه‌سازی دارند. نتایج حاصله نشان دادند که روش ماشین‌های سلولی می‌تواند به عنوان یک روش دقیق و کاربردی جهت پیش‌بینی میزان فرسایش و رواناب ناشی از بارش به کار گرفته شود.

کلمات کلیدی: **فرسایش، رواناب، ماشین‌های سلولی، شبیه‌سازی**

مقدمه

فرسایش و رواناب ناشی از بارش در حوضه‌های آبخیز از موضوعات مهم مدیریت منابع طبیعی محسوب می‌شود(مارتینز و همکاران، 2008). جهت ارزیابی و پیش بینی فرسایش خاک روشهای تجربی و مدل های فیزیکی زیادی توسعه داده شده و به طور وسیع به کار گرفته شده‌اند. با این وجود، اغلب روش‌های تجربی نظیر رابطه جهانی فرسایش خاک(*USLE*) و رابطه اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (*RUSLE*) فقط شدت متوسط فرسایش سالانه خاک را بسته به انتخاب مقادیر ورودی برای میزان فرسایش دهندگی بارش و قابلیت فرسایش‌پذیری خاک تخمین می‌زنند(رینارد و همکاران، 1997). اگرچه مدل‌های فرسایش که مبنای فیزیکی دارند، نظیر مدل فرسایش خاک اروپا (*EUROSEM*) که توسط مورگان و همکاران در 1998 معرفی شد قابلیت تخمین رویدادهای بارش را به صورت مجزا دارند و جزئیات بیشتری از فرآیند و مکانیزم فرسایش خاک ارئه می‌دهند، اما این مدل‌های فیزیکی در توسعه صحیح و واقعی فرسایش خاک در نواحی شیب‌دار ضعیف عمل می‌کنند. از دیگر محدودیت‌های مدل‌های فیزیکی می‌توان به نیازمندی آن‌ها به پارامترهای ورودی زیاد اشاره کرد. فرسایش خاک ناشی از آب پدیده‌ای پیچیده با مشخصات غیرخطی و رفتار دینامیک می‌باشد(فاویس مورتلاک، 2000). یکی از روش‌های خود سازمانده روش ماشین‌های سلولی است که به عنوان یک روش کارآمد و جایگزین مدل‌های فیزیکی جهت شبیه‌سازی فرایندهایی پیچیده که در سطح

زمین رخ می‌دهند به کار می‌رود. در این روش از قوانین ساده فعل و انفعالی منطقه‌ای استفاده می‌شود. مدل سلول‌های ماشینی برای شبیه‌سازی فرسایش و تغییرات سطح زمین ناشی از عوامل طبیعی، رودخانه‌های ساحلی، انتقال و فرسایش رسوبات و فرسایش شیاری به کار گرفته شده‌اند (پراسپرینی و پروجینی، 2007). هدف اصلی این تحقیق ارائه مدل ماشین‌های سلولی جهت شبیه‌سازی فرسایش و میزان رواناب ناشی از بارش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ماشین‌های سلولی

مدل ماشین‌های سلولی یک سیستم فیزیکی ایده‌آل می باشد که در فضای زمان و مکان گسسته‌سازی می‌گردد. مدل ماشین های سلولی دارای چهار مولفه به صورت رابطه (1) می‌باشد:

$$A = (G, E, U, T) \qquad [1]$$

در این رابطه G معرف فضای شبکه‌بندی می‌باشد که کل محدوده مورد مطالعه را تحت پوشش قرار می‌دهد و شامل یک سری از سلول‌های فضایی(c) با مشخصات هندسی یکسان و مشخصه‌های خاک موردنظر می‌باشد. پارامتر E نمایانگر محدوده مجموعه سلول‌های فضایی، U معرف مجموعه سلول‌های همسایه(مجاور) و T نشان دهنده قانون انتقال جبری می‌باشد. هر سلول فضایی با بردار مختصات متناظر خود (x_c, y_c) شناخته می‌شود. بنابراین فضای شبکه‌بندی (G) با ابعاد $M \times N$ که M اندازه ردیف و N اندازه ستون می‌باشد در یک صفحه دو بعدی(Z^2) به صورت رابطه (2) نشان داده می‌شود:

$$G = \left\{ c(x_c, y_c) \middle| c \in Z^2,\ x_c < M, y_c < N \right\} \qquad [2]$$

در گام زمانی t در مدل ماشین‌های سلولی، موقعیت سلول فضایی (E')با توجه موقعیت سلول‌های مجاور آن و موقعیت خود سلول در گام زمانی قبلی ($t-1$) با استفاده از تابع نگاشت(f) تعیین می گردد که در رابطه (3) نشان داده شده است:

$$T : f < E(c, t-1), U(c) > \alpha \ \ E'(c, t) \qquad [3]$$

موقعیت کلیه سلول‌ها به طور همزمان با توجه به قوانین انتقال در هنگام اجرای مدل تعیین می‌گردد(باستین و همکاران، 2002). بیلان آب برای یک سلول منفرد که دارای بردار مختصات z می‌باشد، از رابطه زیر تعیین شد:

$$R(z) + \Delta Q(z) - I(z) - D(z) = 0 \qquad [4]$$

در این رابطه R میزان بارش(میلیمتر)، ΔQ میزان دبی خالص(میلیمتر)، I میزان تلفات از طریق نفوذ(میلیمتر) و D میزان تلفات ناشی از برگاب و گودال‌های سطحی می‌باشد. میزان آب تبادلی بین دو سلول مجاور (Q) در بازه زمانی Δt از رابطه زیر بر مبنای رابطه شزی- مانینگ بدست آمد:

$$Q = \frac{d\, h^{5/3} S^{1/2} \Delta t}{n} \qquad [5]$$

که در این رابطه h عمق آب (متر)، S شیب سطح آب، d طول سلول (متر) و n ضریب زبری مانینگ است.

تعیین جهت جریان بر اساس این نکته که همیشه انتقال آب از یک سلول با بار پتانسیل بزرگتر به سلول مجاور دارای بار پتانسیل کوچکتر صورت می‌گیرد، انجام شد. اگر در سلول‌های مجاور، کمترین بار پتانسیل در بیش از یک سلول وجود داشته باشد، تعیین جهت جریان بر اساس قوانین احتمالاتی و به صورت تصادفی صورت می‌گیرد.

در معادله (4) میزان تلفات ناشی از ذخیره گودالی ثابت در نظر گرفته شد و میزان نفوذ بر اساس رابطه هورتون که به شکل زیر است، تعیین گردید:

$$I = f(t)\Delta t = \left[f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt} \right] \Delta t \qquad [6]$$

در این رابطه $f(t)$ شدت نفوذ در زمان t، f_c شدت نفوذ نهایی، f_0 شدت نفوذ اولیه و k یک عدد ثابت می‌باشد. بنابراین در اینجا فرض شده است که انتقال رسوبات هنگامی صورت می‌گیرد که جریان آب از یک سلول به سلول مجاور وجود داشته باشد. میزان رسوب انتقالی به توانایی جریان آب بستگی دارد و برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده شده است:

$$S = pQV^q \qquad [7]$$

در این رابطه S میزان رسوب انتقالی(کیلوگرم)،p و q نیز ضرایب ثابت مربوط به ظرفیت انتقال رسوبات می‌باشند(تینگ و همکاران، 2009).

محدوده مطالعاتی و آزمایشات

آزمایشات در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی هسته‌ای واقع در زعفرانیه کرج انجام شد. یک کرت آزمایشی در مزرعه با ابعاد 45 در 9 متر در نظر گرفته شد. کرت مورد نظر با استفاده موقعیت‌یاب(GPS) مورد پیمایش قرارگرفت و مختصات و ارتفاع نقاط مختلف آن تعیین گردید. شیب کرت مورد نظر برابر 15/4 درصد بود. نوع خاک در کرت مطالعاتی از نوع لومی بود. جهت ایجاد بارش مصنوعی از یک نوع آبپاش مخصوص آبیاری بارانی کلاسیک که ارتفاع پایه آبپاش برابر 5 متر بود، استفاده گردید. شدت پاشش آب توسط فشار آب تنظیم می‌شد. میزان رواناب ناشی از بارش و همچنین میزان رسوبات شسته شده در اثر بارش در انتهای کرت با در نظر گرفتن ظروف مخصوصی در بازه‌های زمانی 2 دقیقه اندازه‌گیری شد. مشخصات کلی آزمایش انجام شده در جدول (1) آورده شده است:

جدول(1): خلاصه ای از مشخصات آزمایشات انجام شده

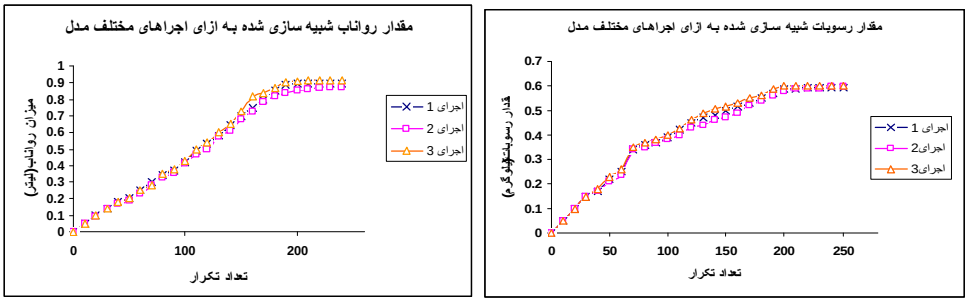
پارامتر مورد نظر	مقدار عددی پارامتر	پارامتر مورد نظر	مقدار عددی پارامتر
سرعت نفوذ اولیه	18 (mm/min)	شدت بارش	50 (mm/hr)
سرعت نفوذ نهایی	4 (mm/min)	مدت بارش	45(min)
k	0/69	تعداد اندازه گیری	23
n	0/003	فاصله زمانی اندازه‌گیریها	2(min)
q	2/7	میزان رواناب	0/9(m^3)
p	1/2	میزان رسوبات انتقالی	0/6(kg)

جهت شبیه‌سازی فرسایش و رواناب ناش از بارش با استفاده از روش ماشین‌های سلولی، محدوده کرت مورد نظر به 450 در 90 سلول سلول مربعی شکل با اندازه طول 0/1 متر تقسیم و شبکه‌بندی گردید. برای هر سلول در یک گام زمانی در مدل مراحل مختلفی به شرح زیر انجام گردید:

ابتدا مقدار بارش دریافتی و مقدار نفوذ و تلفات ناشی از ذخیره گودالی و برگاب که مقدار ثابتی داشتند، محاسبه گردید و سپس با استفاده ازمعادله بیلان، عمق آب سطحی تعیین شد. سپس در سلول‌های مجاور، سلولی را که کمترین بار پتانسیل را داشت، انتخاب شده و بر این اساس جهت جریان تعیین گردید. سرانجام مقدار آب انتقال داده شده از طریق رابطه (5) و مقدار رسوب انتقالی از طریق معادله (7) تعیین گردید. با طی مراحل فوق برای هر کدام از سلول‌ها، مقدار کل رواناب و رسوبات انتقالی در خروجی تعیین گردید.

نتایج و بحث

با توجه به این که ماهیت روش ماشین‌های سلولی استوکاستیک و تصادفی می‌باشد، به منظور بررسی شبیه‌سازی، مدل ماشین‌های سلولی سه بار اجرا گردید که پارامترهای مدل در کلیه اجراها یکسان بودند. نمودار رواناب تجمعی و مقدار تجمعی رسوبات به ازای اجراهای مختلف مدل نسبت به تعداد تکرار در شکل (1) نشان داده شده است.

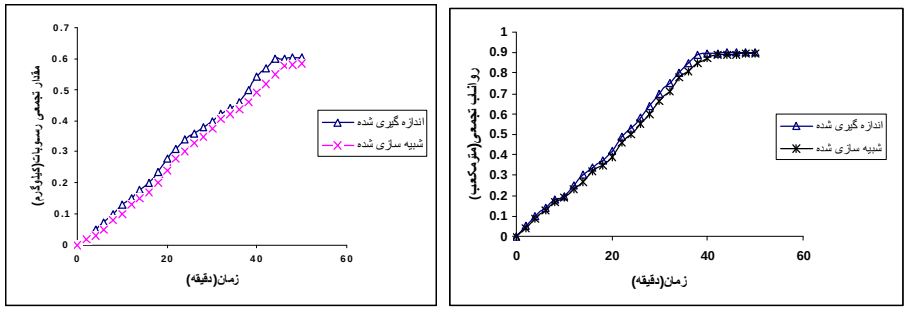


(الف) (ب)

شکل 1- مقادیر رواناب و رسوبات تجمعی به ازای اجراهای مختلف مدل الف) رسوبات ب) رواناب

در شروع بارش، مقدار جریان شبیه‌سازی شده در مدل ماشین‌های سلولی حالت ناپایدار و نوسانی از خود نشان می‌داد و با گذشت زمان حالت پایداری به خود گرفت. با افزایش تعداد تکرار الگوی فرسایش خاک نیز حالت پایدارتری از خود نشان داد. مقدار رواناب و رسوبات به ازای اجراهای مختلف مدل، تغییرات نسبتا کمی را نشان می‌دهد و مقدار نهایی رواناب و رسوبات در اجراهای مختلف تقریبا یکسان می‌باشد. علت این مساله شاید به دلیل یکسان بودن مشخصات هندسی سلول‌ها و پارامترهای در نظر گرفته شده در هر اجرا باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، تعداد تکرار موثر برابر200 بدست آمد.

مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی توسط مدل ماشین‌های سلولی و مقادیر اندازه‌گیری شده برای پارامترهای رواناب و رسوبات در شکل (2) ارائه شده است.



(الف) (ب)

شکل 2- مقادیر تجمعی رواناب و رسوبات مشاهداتی و شبیه سازی شده الف- رواناب، ب- رسوبات

با مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل ماشین‌های سلولی و مقادیر اندازه‌گیری شده، مشخص گردید که مدل ماشین‌های سلولی در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده روند مشابهی را برای هر دو پارامتر رواناب و مقدار رسوبات نشان می‌دهد. مقدار تجمعی رواناب و رسوبات اندازه‌گیری شده با افزایش مقدار بارش، افزایش قابل توجهی داشت. در پایان مدت زمان آزمایش، مقدار رواناب برابر 0/9 متر مکعب و مقدار رسوبات برابر 0/6 کیلوگرم بدست آمدند.

همچنین در آزمایشات انجام شده بین مقادیر رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مدل در زمان‌های پایانی اختلافاتی وجود داشت. این اختلاف ناشی از قوانین ناحیه‌ای در نظر گرفته شده برای سلول‌ها، تفاوت سرعت در مدل شبیه‌سازی و مقدار واقعی سرعت در آزمایشات و همچنین استفاده از روش مقیاس زمانی خطی در مدل می باشد. با توجه به فضای شبکه‌بندی مورد استفاده در این تحقیق، فضای باز سلول‌ها همواره دارای کمترین بار پتانسیل در مقایسه با سلول‌های مجاور می‌باشند. بنابراین هنگامی که مقدار بارش دریافتی بزرگتر از مقدار نفوذ باشد، آب می‌تواند از طریق این سلول‌های باز در شبکه جریان یابد. با توجه با اینکه مقدار رواناب در ابتدای آزمایش بسیار ناچیز بود، مقدار رسوبات فرسایش یافته در زمان‌های اولیه در مدل شبیه‌سازی نیز قابل توجه نبود. مقدار رواناب و رسوبات اندازه-گیری شده و شبیه‌سازی شده تطابق خوبی را با یکدیگر نشان دادند. با توجه به نتایج به دست آمده عملکرد مدل ماشین‌های سلولی در شبیه‌سازی رواناب در مقایسه با شبیه‌سازی رسوبات بهتر بود. از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار در نتایج شبیه‌سازی مدل، ضریب زبری مانینگ و ظرفیت انتقال رسوبات می‌باشند که تعیین کننده فرآیند تبادلات آب و رسوب بین سلول‌های مجاور می‌باشند. انتخاب پارامترهای متفاوت نتایج کاملاً متفاوتی را ارائه می‌دهد. به طور کلی خطای ناشی از شبیه‌سازی درمدل، ناشی از اندازه سلول‌ها و همچنین پارامترهای هیدرولیکی در نظر گرفته شده در مدل می‌باشد. با توجه به یکسانی پارامترهای هیدرولیکی برای سلول‌ها در این تحقیق، می‌توان گفت که خطای شبیه-سازی بیشتر تحت تاثیر اندازه سلول‌ها می‌باشد. هر چه اندازه سلول‌ها در مدل کوچکتر در نظر گرفته شود، دقت مدل بیشتر شده و نتایج دقیق‌تری حاصل می‌گردد. البته لازم به ذکر است که با کوچکتر شدن اندازه سلول‌ها مدت زمان اجرای مدل نیز افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی رواناب و فرسایش ناشی از بارش همواره مشکل می‌باشد که این مساله ناشی از پیچیدگی‌های ذاتی این پدیده‌ها می‌باشد. در این تحقیق روش ماشین‌های سلولی جهت شبیه‌سازی رواناب و فرسایش ناشی از بارش به کار گرفته شد. این روش ذاتاً یک روش فیزیکی می‌باشد و قابلیت شبیه‌سازی فرآیندهای پیچیده را با استفاده از قوانین تبادل ناحیه‌ای و ساده را دارد.

دقت شبیه‌سازی در این روش به شدت تحت تاثیر اندازه سلول‌ها، پارامترهای هیدرولیکی، اندازه گام زمانی انتخابی و تعداد تکرارها می‌باشد. نتایج حاصله با این روش به ازای تکرارهای گوناگون با انتخاب پارامترهای یکسان، متفاوت می-باشد که این تفاوت ناشی از وجود قوانین احتمالاتی و تصادفی در ساختار این روش می‌باشد. مقایسه نتایج شبیه‌سازی با مقادیر اندازه‌گیری شده حاکی از دقت و کارایی بالای این مدل در پیش‌بینی مقادیر رواناب و فرسایش خاک ناشی از بارش می‌باشد.

منابع

Bastien C, Alexandre D, Alexandre, M and Pascal L, 2002. Celllular automata and lattice Boltzmann techniques: An approach to model and simulate complex systems. *Adv. Complex Sy*. **5**(2–3): 103–246.

Favis-Mortlock D, Boardman J, Parsons J and Lascelles B, 2000. Emergence and erosion: a model for rill initiation and development. *Hydrol. Process*. 14: 2173–2205.

Martinez-Mena M, Lopez J, Almagro M, Boix-Fayos C and Albaladejo J. 2008. Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of South-East Spain. Soil Till. Res. 99(1): 119–129.

Morgan C, Quinton N, Smith E, Govers G, Poesen A, Auerswald K, Chisci G, Torri D and Styczen E. 1998. The European, Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Earth Surf. Proc. Land. 26(3): 527–544.

Prosperini N and Perugini D. 2007. Application of a cellular automata model to the study of soil particle size distributions.Physica A. 383(2): 595–602.

Renard G, Foster R, Weesies A, McCool K and Yoder C, 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Handbook No.703. USDA.

Rodriguez S, 1997. Hedgerows and mulch as soil conservation measures evaluated under field simulated rainfall. Soil Technol. 11: 79–93.

Ting M, Cheng-Hu Z, Ginag-Gu C, 2009. Modeling of hillslope runoff and soil erosion at rainfall events using cellular automata approaph. Pedosphere 19(6): 711-718.