کاربرد مدل پویایی سیستم در شبیه سازی فرسایش خاک

سهیلا اسمعیلیان [۲]، علی طالبی [۲] و مجید اسماعیلیان [۳]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه یزد، ۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، ۳- استادیار دانشکده علوم اداری و اقتصاد دانشگاه اصفهان

چکیده
جهت بررسی و کنترل فرسایش و هدررفت خاک، روش‌ها و مدل‌های متعددی ارائه گردیده که یکی از این مدل‌ها، مدل پویائی سیستم یا سیستم دینامیکی می‌باشد. در این مطالعه، میزان فرسایش و هدررفت خاک ایستگاه تحقیقاتی سنگانه خراسان رضوی با استفاده از مدل مذکور شبیه‌سازی شده که نتایج حاکی از آن است که در یک رگبار با حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای، شدت متوسط و مدت زمان بارش ثابت، در یک پلات به طور مثال با افزایش ۵/۲ درصدی ماده آلی خاک و کاهش ۲۰ درصدی شیب و عامل پوشش گیاهی از ۲۶/۰ به ۰۰۸/۰ که به معنای افزایش پوشش گیاهی و کمتر شدن سهم آن در فرسایش است، میزان فرسایش خاک از ۷۱۸/۴۰۱ به ۲۶/۲ گرم در مترمربع در ساعت رسیده است.
واژه های کلیدی: فرسایش خاک، مدل پویایی سیستم، ایستگاه تحقیقاتی سنگانه-خراسان رضوی.

مقدمه
فرسایش و هدررفت خاک یکی از عوامل اصلی در کاهش حاصلخیزی خاک، انباشت رسوبات در آبراهه‌ها، کانال‌های آبیاری و رودخانه‌ها، کاهش ظرفیت مخازن سدها و تشدید وقوع سیلاب‌های مخرب و آلودگی محیط‌زیست می باشد. برای بررسی و کنترل این مهم، روش‌ها و مدل‌های متعددی ارائه گردیده است. یکی از این مدل‌ها، مدل پویائی سیستم یا سیستم دینامیکی می‌باشد. این مدل با در نظر گرفتن روابط بین اجزای سیستم رفتار سیستم را پیش بینی می کند . پویاشناسی سیستم نیز یک روش برای مطالعه و مدیریت سیستم‌های پیچیده و دارای بازخورد می باشد. سیستم های طبیعی به عنوان مثال سیستم فرسایش و تولید رسوب، سیستم پیچیده‌ای است که برای رسیدن به روابط میان آن‌ها و تجزیه و تحلیل سایر عوامل مؤثر در آن باید از روش‌های دقیق بهره جست. هدف از انجام این تحقیق اولویت‌بندی عوامل مؤثر در فرسایش آبی با استفاده از فرمول جهانی فرسایش خاک تجدیدنظر شده (RUSLE)در مدل مذکور بوده که توسط نرم‌افزار Vensim انجام می‌پذیرد.
از تحقیقات داخلی انجام شده در این زمینه می‌توان به ثمره هاشمی و همکاران در سال ۱۳۸۸ با عنوان بررسی مکانیزم‌های مؤثر بر کاهش سطح سفره آب زیر زمینی در استان همدان با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها، اسدی و همکاران در سال ۱۳۸۹ با عنوان ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی تلفات خاک اصلاح شده(RUSLE)، ناصری و همکاران در سال ۱۳۸۹ مدلسازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب پایاب سد شهرچای(ارومیه) به روش پویائی سیستم، علیپور و همکاران در سال ۱۳۹۰ با عنوانبررسی عوامل موثر در ایجاد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز میاندشت اسفراین، باقری و همکاران در سال ۱۳۹۰با عنوانبررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در وقوع فروچاله در حوزه شهرستان ابرکوه با رویکرد پویایی سیستم‌ها، ملا حسینی و صلوی تبار در سال ۱۳۹۱ با عنوانارزیابی اثر ایجاد ظرفیت ذخیره درکاهش خسارت سیلاب با استفاده از مدل بهینه‌سازی شبیه‌سازی مبتنی برپویایی سیستم و ... اشاره نمود.
از تحقیقات خارجی انجام شده در این زمینه نیز می‌توان به تحقیق شین چنگ یه و همکاران در سال ۲۰۰۶ اشاره نمود که فرسایش خاک را در حوزه آبخیزی در تایوان با استفاده از مدل یکپارچه سیستم دینامیک شبیه‌سازی نموده‌اند. مطالعه دیگری توسط شوک‌وی و همکاران در سال ۲۰۱۲ تحت عنوان شبیه‌سازی سیستم دینامیک برای ارزیابی اثرات اقتصادی اجتماعی سطوح مختلف تخصیص جریان در حوزه رودخانه وی در چین انجام شده است. خی شیا و کیم لنگ در سال ۲۰۱۳ جهت مدیریت کارآمد منابع آب در سنگاپور از این مدل استفاده نموده‌اند.
با توجه به بخش قبل خواهیم دید که تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط با شبیه‌سازی و تخمین فرآیند فرسایش با استفاده از سیستم داینامیک صورت نگرفته و بیشتر مطالعات انجام شده با استفاده از این روش در زمینه منابع طبیعی یا علوم محیطی مربوط به مدیریت و روش‌های بهینه بهره‌برداری از منابع آبی مثل سد و ذخایر آب زیرزمینی بوده است. بنابراین در این پژوهش کارایی روش مذکور در شبیه‌سازی فرایند فرسایش خاک نشان داده خواهد شد.

مواد و روش‌ها

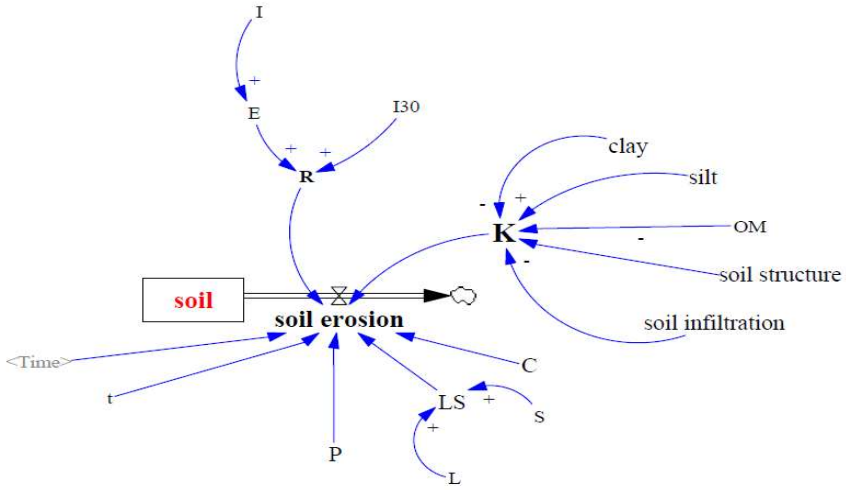
منطقه مورد مطالعه

پایگاه تحقیقات حفاظت خاك سنگانهدرشمالشرق ایران ودر ۱۰۰کیلومتری شمال شرقی مشهد واقع شده است. ارتفاع متوسط منطقه ازسطح دریاحدود ۷۰۰متر،متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۷میلی‌متروا‌قلیم منطقه به روشد ومارتن،نیمه‌خشکمي‌باشد. سازندهای سرچشمه و سنگانه مهم‌ترین واحدهای سنگی عرصه موردمطالعه راتشکیل داده وتیپپوششگیاهیغالب عرصه درمنه - پوامیباشد.

در این تحقیق، ابتدا داده‌های مربوط به چندین بارش (که در این‌جا فقط دو بارش شبیه‌سازی شده است- جدول ۱) و پلات‌های منتخب (جدول ۲) در منطقه جمع‌آوری و سپس از معادله RUSLE و پارامترهای آن جهت سنجش میزان تأثیر هریک از آن‌ها در میزان فرسایش خاک استفاده گردیده و پارامترها و ارتباطات متقابل آن‌ها در محیط نرم‌افزار Vensim وارد (شکل ۱) وکد نویسی شده و سرانجام برای پلات‌های منتخب در منطقه، نرم‌افزار اجرا گردیده و میزان سهم هر بارش در فرسایش خاک مشخص شده است. همچنین می‌توان با تغییر در میزان هریک از عوامل، تأثیر آن را در فرسایش خاک به طور مستقیم مشاهده نموده و بدین ترتیب سناریوهایی را جهت مدیریت و حفاظت بهتر خاک در منطقه مطرح نمود.

جدول ۱ - اطلاعات بارش‌های منتخب

تاریخ	مدت بارش(ساعت)	شدت متوسط(میلی‌متر بر ساعت)	حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای(میلی‌متر بر ساعت)
۲۵/۸/۸۵	۹۳/۸	۰۳/۱	۲/۵
۳۰/۱۱/۸۵	۰۳۳/۲۸	۴۲/۰	۶/۳



شکل ۳- مدل ساخته شده در نرم‌افزار VENSIM

جدول ۲ - مشخصات پلات‌های منتخب

plot	۶	۷	۹	۱۶	۱۷	۲۶	۲۷	۲۹	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۸	۶۹	۷۰	۷۱
S	۶۰	۳۶	۴۰	۶۷	۶۷	۵۵	۶۵	۴۰	۶۰	۳۶	۴۰	۴۰	۴۰	۶۰	۶۰	۶۰
L	۲۰	۵	۱۰	۱۰	۵	۵	۱۰	۱۰	۲۰	۵	۵	۱۰	۱۵	۵	۱۰	۱۵
C	۰۱۳/۰	۰۱۲/۰	۰۱۱/۰	۲۳/۰	۲۴/۰	۲۵/۰	۲۶/۰	۰۷/۰	۲۱/۰	۱۵/۰	۰۰۸/۰	۰۰۶/۰	۱۲/۰	۲۶/۰	۲۶/۰	۲۷/۰
OM	۸/۰	۸/۰	۳/۳	۴/۱	۴/۱	۹/۰	۸/۰	۸/۰	۸/۰	۸/۰	۳/۳	۳/۳	۶/۱	۹/۰	۹/۰	۹/۰
clay	۱۶	۱۶	۱۲	۱۴	۱۴	۵/۱۳	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۲	۱۲	۱۶	۱۵	۱۵	۱۵

silt	۳۰	۳۰	۵/۲۷	۲۷	۲۷	۵/۲۳	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۵/۲۷	۵/۲۷	۲۵	۲۳	۲۳	۲۳

ساختار معادله RUSLEو نحوه تعیین پارامترها

معادلهجهانیهدررفتخاکاصلاح شده (RUSLE) متوسطالانهتلفاتخاکرابه صورتترکیبیازششفاکتورکه نشان‌دهنده‌ینیرویفرسایندگیباران، فرسایش‌پذیریخاك، طول و درجه شیب (LS)، پوشش گیاهی (C) و عملیات مدیریتی(P) است، تخمین می‌زند و ساختار آن به صورت زیر است:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

کهدرآن،چهارفاکتور L,S,C و P بدونبعدهستند. درادامهروشتعیینهریکازفاکتورهاشرحدادهمي‌شود.

فاکتور فرسایش‌پذیری خاك(K)

$$K = (2.1M^{1.14} * 10^{-4} * (12 - \%OM) + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3))/100$$

M= حاصلضرب (۱۰۰-%رس) در (درصد شن ریز)
OM= درصد ماده آلی
S= کلاس ساختمان خاکدانه ها
P= کلاس نفوذپذیری خاک.
مقدار فرسایندگی باران R

مقدارفرسایندگیبرابیکرگبارمعینبرابرباحاصلضربانرژیکلرگبار (E) درحداکثرشدت ۳۰دقیقه‌ای (I_{30}) آنرگباراست .

فاکتور طول و درجه شیب(LS)

$$LS = (\frac{\lambda}{22.1})^{m}(0.065 + 0.045\ S + 0.0065\ S^{2})$$

که در آن λ طول شیب بر حسب متر و S شیب زمین به درصد می‌باشد.

عامل پوشش گیاهی (C)

عامل C عبارتست از نسبت مقدار خاک از بین رفته از زمین زیر کشت به خاک فرسوده شده از همان قطعه در طی یک آیش مداوم و عاری از پوشش با باقیمانده گیاهی. عواملی که در مقدار C تأثیر دارند عبارتند از: آسمانه گیاهی[۱۶]، بقایای گیاهی در سطح یعنی مالچ[۱۷] ، بقایای گیاهی مخلوط شده با خاک، اثر زراعت قبلی، عملیات شخم و ناهمواری‌های سطح زمین. عامل C در واقع حاصلضرب همه عوامل فرعی مربوط است.

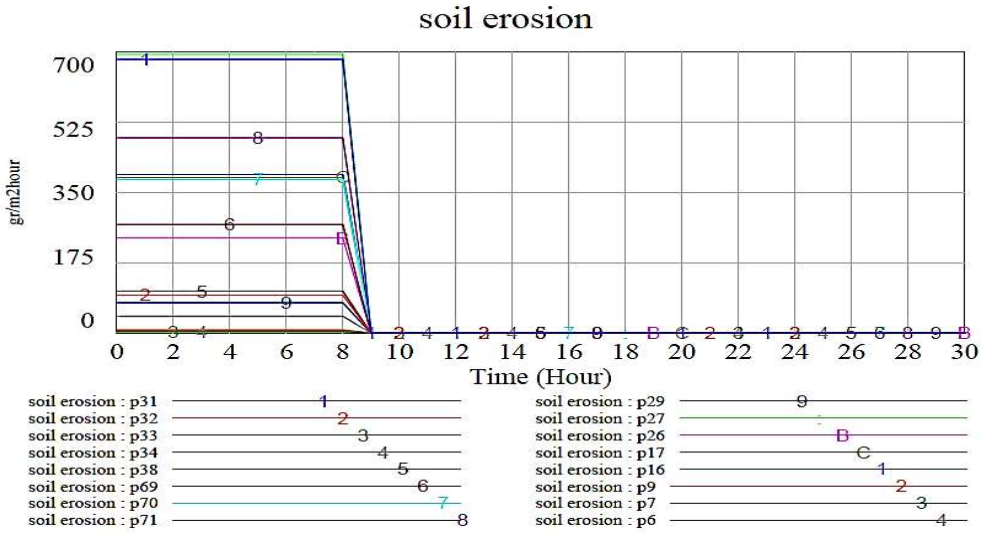
عامل حفاظت خاک (P)

عامل حفاظت خاک عبارتست از نسبت مقدار خاک از بین رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت شده، به زمینی که لخت بوده و در جهت بالا و پایین تندترین شیب شخم زده می‌شود. در اینجا منظور از کارهای حفاظتی بیشتر کشت در روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس‌بندی است. اگر هیچ‌گونه عملیات حفاظتی انجام نگیرد P برابر یک بوده (رفاهی، ۱۳۷۸) که در این مطالعه این عامل برابر با ۱ فرض گردیده است.

نتایج و بحث

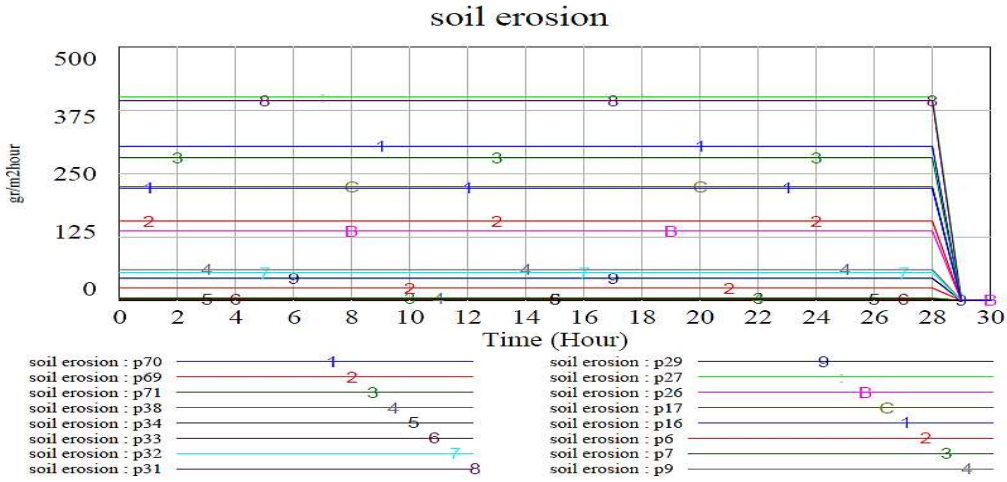
پس از وارد کردن معادلات و اطلاعات مربوط به بارش‌ها و اجرای نرم‌افزار مربوطه، میزان فرسایش خاک و خاک از دست رفته در ۱۶ پلات منتخب به صورت نمودارهای زیر بدست آمده است.

[۱۶] Crop canopy
[۱۷] Residue mulch

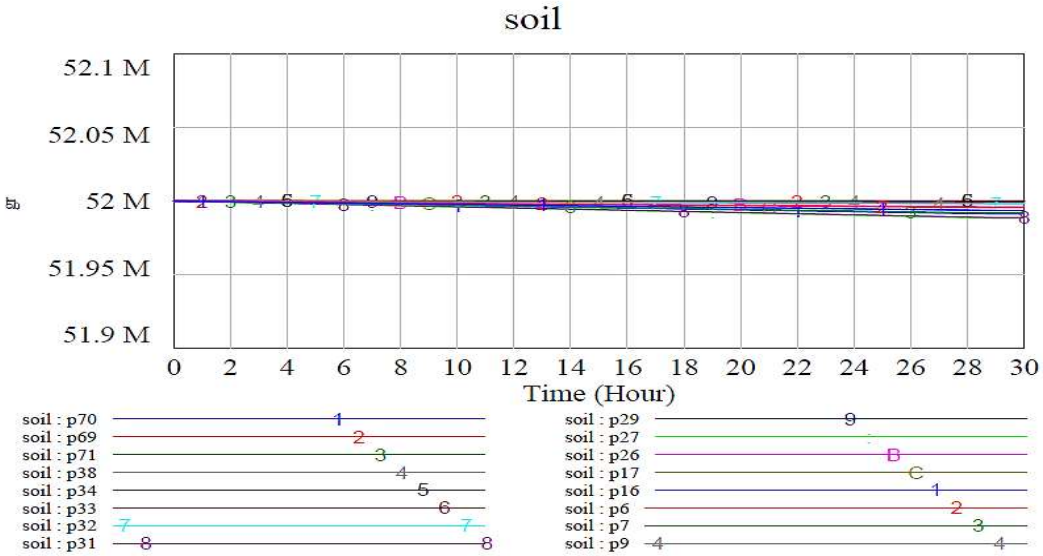


شکل ۴- میزان فرسایش خاک ۱۶ پلات منتخب در بارش ۲۵/۸/۸۵

با توجه به نمودار و جداول بالا و مقایسه مقادیر شیب، ماده آلی ، عامل C و دیگر خصوصیات پلات‌ها(به طور مثال پلات ۳۱ و ۳۲) میتوان دریافت که با افزایش مقدار شیب و کاهش ماده آلی و افزایش مقدار عامل C، میزان فرسایش افزایش یافته به طوری‌که عامل C و شیب نقش بیشتری در این افزایش داشته‌اند.



شکل ۵- میزان فرسایش خاک ۱۶ پلات منتخب در بارش ۳۰/۱۱/۸۵



شکل ۶-میزان خاک از دست رفته ۱۶ پلات بارش ۳۰/۱۱/۸۵

در این رگبار نیز به دلیل مدت زیاد زمان بارش و شدت کم آن، میزان هدررفت خاک در هرپلات با توجه به خصوصیات مربوطه کمتراز رگبار قبل بوده است. در این نمودار هم می‌توان دریافت که هر پلاتی که دارای شیب بیشتر، مقدار ماده آلی و پوشش گیاهی کمتر و در نتیجه عامل C بیشتر بوده، میزان فرسایش و هدررفت خاک بیشتری دارد.پس در نهایت باید با کنترل و مدیریت عواملی همچون پوشش گیاهی، اقدامات محافظتی و دیگر عواملی که در دست انسان است، میزان فرسایش و تخریب و هدررفت خاک را در مناطق به حداقل رساند.

منابع

اسدی، ح. ۱۳۸۹. ارزیابی و پهنه بندی خطر فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی تلفات خاک اصلاح شده (RUSLE). سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در حوزه آبخیز ناورود. شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان.

ناصری، ح.ر. احمدی، س. صلوی تبار، ع. ۱۳۸۹. مدل‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب پایاب سد شهر چای (ارومیه) به روش پویائی سیستم. فصلنامه زمین‌شناسی ایران. شماره شانزدهم.

باقری هارونی، مح. محمودپور، ط. باقری، ع. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در وقوع فروچاله در حوضه شهرستان ابرکوه با رویکرد پویایی سیستم ها و بررسی گزینه های مدیریتی.ششمین کنگره ملی مهندسی عمران. سمنان. دانشگاه سمنان.

ثمره هاشمی،م. انوری تفتی، ص. باقری، ع. ۱۳۸۸. بررسی مکانیزم‌های مؤثر بر کاهش سطح سفره آب زیر زمینی در استان همدان با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان. دانشگاه شهید باهنر.

علیپور، ح. اقبالی، و. صباغ‌زاده، س. ۱۳۹۰.بررسی عوامل موثر در ایجاد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز میاندشت اسفراین.اولینهمایش ملی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار.

ملاحسینی، م.صلوی تبار، ع. ۱۳۹۱. ارزیابی اثر ایجاد ظرفیت ذخیره درکاهش خسارت سیلاب با استفاده از مدل بهینه سازی شبیه سازی مبتنی برپویایی سیستم.نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران. اصفهان. دانشگاه صنعتی اصفهان.

رفاهی، ح. فرسایش آبی و کنترل آن. ۱۳۷۸. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تهران.

Azmi,M and Liaghat,A.and Sarmadi,F.۲۰۱۱.Evaluation of surface irrigation system performance using System Dynamics (SD) approach.Irrig Drainage Syst. ۲۶۵-۲۷۸.

Wei,Sh.andYang,H.andSong,J.andAbbaspour,K.andXu,Z. ۲۰۱۲.System dynamics simulation model for assessing socio-economic impacts of different levels of environmental flow allocation in the Weihe River Basin China.European Journal of Operational Research۲۲۱.۲۴۸-۲۶۲.

Xi,X.andPoh.K. ۲۰۱۳. Using system dynamics for sustainable water resources management in Singapore.Procedia Computer Science ۱۶ (۲۰۱۳) ۱۵۷ - ۱۶۶.

Yeh,S.and Wang, Ch. and Yu,H .۲۰۰۶. Simulation of soil erosion and nutrient impact using an integrated system dynamics model in a watershed in Taiwan.Environmental Modelling& Software ۲۱.۹۳۷-۹۴۸.

Abstract

Several models and methods for studying soil erosion and soil loss are provided, which one ofthem is system dynamic. in this study, the values of soil erosion and soil loss at SANGANEH research stationare simulated by using system dynamic. The results of this method indicate that inaevent with constant maximum intensity of ۳۰ minutes, constantaverage intensity and constant time duration of rainfall, for examplein a plot with۲.۵% increasing of soil organic matter, ۲۰% reduction in slope and canopy cover factor from۰.۲۶ to ۰.۰۰۸,soil erosion has been reduced from ۴۰۱.۷۱۸ to ۲.۲۶$gr/(m^2.hour)$.