# ارائه روشی برای تعیین فاکتور فرسایش‌پذیری خاک بر اساس سیستم‌های فازی

**حسینعلی بهرامی، حجت قربانی واقعی، بهمن قربانی واقعی و ناصر طهماسبی پور**

به ترتیب: استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشجوی دکتری برق- کنترل دانشکده برق، دانشگاه علم وصنعت ایران و مربی و عضو هیأت علمی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان.

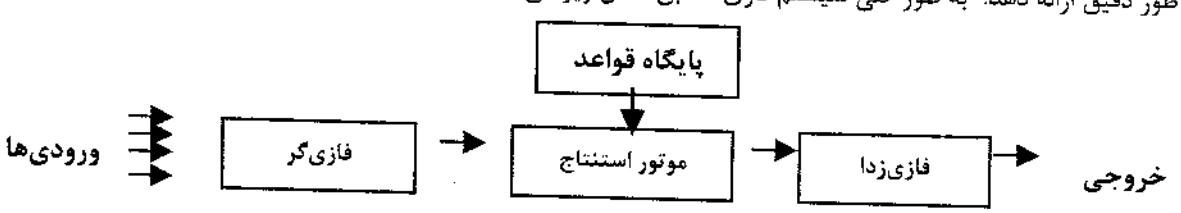
## مقدمه

فرسایش خاک پدیده‌ای است که در اثر جداسازی، انتقال و رسوب ذرات خاک حاصل می‌شود. نقش عواملی چون باد و سایر پارامترهای اقلیمی در بروز این پدیده انکار ناپذیر است، لیکن در میان عواملی بیرونی، نقش اصلی را باران و در میان خصوصیات ذاتی خاک نقش اصلی را فرسایش‌پذیری خاک به عهده دارند. به طور مثال بیش از ۴۰ درصد زمین‌های اندلس ( جنوب شرقی اسپانیا ) فاقد افق سطحی A و افق زیر سطحی B می‌باشد(۵). زیرا فرسایش‌پذیری خاک (Soil Erodibility) مبین خصوصیات ذاتی و حساسیت ذرات خاک به جداسازی ذرات از بستر اصلی خود و انتقال آن ها به نقطه دیگر می‌باشد و بنا به تعریف، میانگین مقدار فرسایش خاک بر حسب تن در هکتار در واحد شاخص فرسایندگی باران $(EI)_m$ از یک کرت مبناء (استاندارد) می‌باشد. فاکتور فرسایش‌پذیری(K) یکی از عامل‌های قابل بررسی در معادله عمومی هدر رفت خاک (USLE) و معادله اصلاح یافته آن (RUSLE) می‌باشد، این فاکتور در مدل USLE بر اساس بافت ، ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری پایه در پروفیل خاک و در مدل RUSLE بر اساس بافت خاک اندازه‌گیری می‌شود(۱۲).

پژوهشگران گزارش نمودند که استفاده از سیستم فازی سبب بهبود پیشگویی میزان فرسایش خاک می‌گردد(۸و۱۱). اما در این مقاله هدف، تخمین فاکتور Kجهت پیشگویی دقیق‌تر فرسایش خاک به روش فازی می‌باشد. مهمترین مرحله در سیستم‌های فازی، بیان قوانین به صورت دستورهای If_Then می‌باشد. تشخیص آنکه کدام ورودی با کوچکترین تغییر، بیشترین تأثیر را در خروجی دارد حائز اهمیت است(۳و۹). مطالعات ویشمایر و مانینگ نشان می‌دهد که تغییر جزئی در درصد سیلت غالباً با تغییر قابل توجه‌ای در مقدار فاکتور فرسایش‌پذیری خاک همراه می‌باشد، به طوری که خاکهای دارای ۶۰ -۴۰ درصد سیلت از فرسایش‌پذیرترین خاک‌ها به شمار می‌آیند (۱). در پژوهش دیگری آمده است که، درصد ذرات کوچکتر از ۰/۱میلی‌متر خاک، همبستگی خوبی با محدوده وسیعی از خاک‌ها در تولید حداکثر رواناب و فرسایش خاک دارا می‌باشند(۴ و۷). ماده آلی خاک، دومین عاملی است که تغییرات فرسایش پذیری خاک را بیش از سایر پارامترها تحت تأثیر قرار می‌دهد، این عامل بر روی پایداری خاکدانه‌ها، ساختمان و حتی نفوذپذیری خاک تأثیر مثبت دارد(۱). هدف از این تحقیق، تخمین فاکتور K برای پیشگویی دقیق‌تر فرسایش خاک به روش فازی است.

## مواد و روشها

از آنجا که تعیین فاکتورK در مدلUSLE به پنج عامل بستگی دارد، هدف آن است، سیستم فازی چنان طراحی شود که به ازای پنج ورودی درصد ذرات کوچکتر از ۰/۱میلی‌متر(FSS) ، درصد ذرات شن بزرگتر از۲/ میلی‌متر(CS) ، کلاس ساختمان خاک(SC)، کلاس نفوذپذیری خاک(PC) و ماده آلی(OM)، ضریب فرسایش‌پذیری خاک را به عنوان خروجی سیستم به طور دقیق ارائه دهد. به طور کلی سیستم فازی مطابق شکل زیر می‌باشد(۱۲).




**شکل ۱- بلوک دیاگرام سیستم فازی**

جهت طراحی سیستم فازی، کلیه ۴ بلوک فوق باید در نظر گرفته شوند. بر این اساس، فازی‌گر را از نوع فازی‌گر تکین ، موتور استنتاج را بر اساس حداقل ممدانی، و فازی‌زدا را از نوع فازی‌زدای مرکز ثقل انتخاب می‌کنیم. انتخاب فازی‌گر تکین، به جهت کاهش حجم محاسبات است. تجربه نشان داده است که انتخاب فازی‌گر تکین، دقت قابل قبولی در محاسبات و فازی‌زدای مرکز ثقل، بهترین دقت را در خروجی سیستم ارائه می‌دهند (۱۲). از آنجا که تخصیص یک تابع احتمال در بازه [0,1] به هر یک از ۵ عامل فوق، نتایج بسیار کوچک و غیر واقعی را در موتور استنتاج ضرب ممدانی پدید می‌آورد، بنابراین در این مقاله، از موتور استنتاج حداقل ممدانی، استفاده شده است. نکته حائز اهمیت در سیستم فازی، تعیین محدوده و توابع عضویت ورودی وخروجی است.

پس از بیان توابع عضویت ورودی و خروجی، باید پایگاه قواعد را تشکیل داد، در این بین لازم است که از تجارب و آزمایشات پیشین استفاده گردد. لذا، نتایج ۲۵۰ نمونه ( K) ، برگرفته از نموگراف ویشمایر در دامنه‌های مختلف استخراج گردید و به عنوان قواعد سیستم فازی، مورد استفاده قرار گرفت.

**جدول ۱- ورودی‌ها و خروجی سیستم فازی با بازه‌های مورد نظر**

| CS (درصد) | SC | FSS (درصد) | PC(cm/h) | OM | K-Factor |
|---|---|---|---|---|---|
| 0-5-15 | 0,-0.5e-3,1e-3 | 0-5-15 | 8.185-12.145-13 | 0.0-0.005-0.01 | 0.0-0.005-0.2 |
| 5-15-25 | 0.5e-3,1.5e-3,3.5e-3 | 5-15-25 | 3.3-8.185-12.145 | 0.01-0.5-1 | 0.005-0.02-0.045 |
| 15-25-40 | 1.5e-3,3.5e-3,5.5e-3 | 15-25-40 | 1.015-3.3-8.185 | 1-1.125-1.5 | 0.02-0.045-0.095 |
| 25-40-60 | 3.5e-3,5.5e-3,7e-3 | 25-40-55 | 0.33-1.015-3.3 | 1.5-2-2.5 | 0.045-0.95-0.15 |
| 40-60-80 | | 40-55-65 | 0.075-0.33-1.015 | 2.5-2.75-3 | 0.95-0.15-0.21 |
| 60-80-95 | | 55-65-75 | 0.0-0.075-0.33 | 3-3.25-3.5 | 0.15-0.21-0.26 |
| 80-95-100 | | 65-75-85 | | 3.5-3.75-4 | 0.21-0.26-0.3 |
| | | 75-85-95 | | 4-4.5-5 | 0.26-0.3-0.34 |
| | | 85-95-100 | | | 0.3-0.34-0.36 |
| | | | | | 0.34-0.36-0.45 |
| | | | | | 0.36-0.45-0.585 |
| | | | | | 0.45-0.585-0.7 |

## نتایج و بحث

جهت بررسی و ارزیابی عملکرد سیستم فازی طراحی شده ،چند داده آزمایشگاهی انتخاب گردیده و به سیستم فازی داده شد. این داده‌ها، بر اساس سیستم فازی طراحی شده، تحت پردازش قرار گرفتند. خلاصه این نتایج ، در جدول۲ ارائه شده است (در این جدول ضریب فرسایش‌پذیری خاک محاسبه شده بر اساس نموگراف نیز آورده شده است). همان طور که مشاهده می‌شود، مقادیر ضریب فرسایش‌پذیری محاسبه شده به روش فازی بسیار به ضریب فرسایش‌پذیری خاک حاصل از مدل USLE نزدیک است. به عبارت دیگر، روش ارائه شده در این مقاله، دارای عملکرد بسیار خوب و دقیقی در تخمین ضریب فرسایش‌پذیری خاک می‌باشد.

سیستم فازی با فازی‌گر تکین ، موتور استنتاج حداقل ممدانی و فازی زدای مرکز ثقل با دقت بالا و قابل قبولی، مقدار ضریب فرسایش‌پذیری خاک را برآورد کرد. این نتیجه، از مقایسه پاسخ سیستم فازی طراحی شده با مقدار ضریب فرسایش‌پذیری خاک همان نمونه بدست آمده است.

جدول ۲- نتایج محاسبه فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در سیستم فازی ومدل USLE

| ردیف | CS | SC | FSS | PC | OM | K- USLE | K - FUZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۵ | ۴ | ۶۹ | ۴ | ۱ | ۰/۱۵ | ۰/۴۶۶۷ |
| ۲ | ۱۰ | ۳ | ۵۳ | ۵ | ۲ | ۰/۳ | ۰/۳۰۰۰ |
| ۳ | ۴۰ | ۴ | ۵۰ | ۲ | ۱ | ۰/۱۳ | ۰/۳۱۲۰ |
| ۴ | ۱۰ | ۲ | ۳۶ | ۳ | ۲ | ۰/۱ | ۰/۰۹۶۹ |
| ۵ | ۶۰ | ۲ | ۲۰ | ۳ | ۲ | ۰/۱ | ۰/۰۹۶۹ |
| ۶ | ۲۰ | ۴ | ۲۳ | ۱ | ۲ | ۰/۰۵ | ۰/۰۵۴۹ |
| ۷ | ۱۶ | ۳ | ۷۰ | ۲ | ۴ | ۰/۰۵ | ۰/۰۵۵۵ |
| ۸ | ۵ | ۴ | ۶۹ | ۴ | ۱ | ۰/۱۵ | ۰/۴۶۶۷ |
| ۹ | ۴۰ | ۴ | ۲۳ | ۴ | ۱ | ۰/۱ | ۰/۲۰۴۵ |
| ۱۰ | ۸۰ | ۴ | ۱۴ | ۴ | ۱ | ۰/۱۵ | ۰/۲۴۶۵ |

Percentage of organic matter: OM  Soil particle size less than 0.1mm : FSS
Soil Structure Code: SC  Soil Permeability Class: PC
Percentage of Coarse Sand(.02-0.02mm) : CS

## منابع مورد استفاده


۱- رفاهی، ح. (۱۳۷۵). فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۴۷ص.

2- Ammor, S ., Wright, R. (2000). Applying Fuzzy set theory to performance evaluation. Socio-Economic Planning Science.34: 285-302.

3- Bardossy, A., Duckstein, L.,(1995). Fuzzy Rule Based Modeling with application to Geophysical, Biological and Engineering systems.CRC Press, Boca Raton.

4- Barthes, B., Roose, E. (2002). Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to run off and erosion validation at several levels. Catena,47: 133-149.

5- Giovannini, G., Valijo, R., Lucchesi, S., Bautista, S., Ciompi, S. and Llovet, J.(2001). Effects of land use and eventual fire on soil erodibility in dry Meditrranean condition. Forest Ecology and Management, 147: 15 23.

6- Loch, R., Slater, B. K. (1998). Soil erodibility (Km) value for some Australian soil. Australian Journal of Soil Research, 36: 1045 -1055.

7- Mitra, B., Scatte, H. D. (1998). Application of Fuzzy logic to prediction of soil erosion in large watershed. Geoderma,47: 12-21.

8- Mukaidono, M. (2001). Fuzzy Logic for beginners. Word Scientific.

9- Torri, D., Poesen, J., and Boreslli, L. (1997). Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. Catena, 31: 1-22

10- Tran, L. T, Ridgley, M. A., Duckstein, L. (2002). Application of Fuzzy Logic- based of the Rivised Universal Soil Loss Equation. Catena, 47: 203-226.

11- Wang, L. X. (1997). A coarse in Fuzzy Systems and Control. Prentice Hall.

12- Wang,..W., Gertner, G. Liu,..X. and Anderson, A. (2001). Uncertainly assessment of soil erodibility for Revised Universal Soil Loss Equation. Catena, 46: 1 14.