محور مقاله: فرسایش آبی، سیلاب و حفاظت خاک و آب

ارزیابی تاثیرات پارامترهای هیدرولیکی بر فرسایش آبی با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM)

مجتبی شیرازی[۱]، عطاالله خادم الرسول[۲*]، سید محمد صفی الدین اردبیلی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

[۲*] استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

[۳] استادیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

فرسایش خاک یکی از بارزترین فرایندهای تخریب خاک است که سالانه حجم قابل توجهی از خاک را جابجا می نماید. به منظور کنترل فرسایش خاک ضرورت دارد برآوردهای صحیحی از چگونگی وقوع آن متاثر از پارامترهای تاثیرگذار در حوضه ها صورت پذیرد، لذا این پژوهش با هدف ارزیابی و شبیه سازی تاثیرات پارامترهای هیدرولیکی موجود در معادله واگنوختن بر روی مقادیر فرسایش آبی توسط روش سطح پاسخ (RSM) و نرم افزار Design Expert در حوزه آبخیز امامزاده عبدالله باغملک انجام پذیرفت. در این پژوهش رابطه بین پارامترهای هیدرولیکی خاک بعنوان متغیرهای مستقل مشتمل بر Theta r ، Theta s ، Alpha ، n و K_s با مقدار فرسایش خاک (تن بر هکتار) بعنوان متغیر وابسته با استفاده از طرح‌های موجود در روش سطح پاسخ (RSM) ارزیابی گردید. نتایج نشان داد (P-value: <0.0014, R^2:0.95) که طرح Box-Behnken بعنوان بهترین روش جهت ارزیابی و بهینه سازی تاثیرات پارامترهای هیدرولیکی بر روی فرسایش خاک می باشد و ضمن ساده سازی فرایندهای شبیه سازی می توان جهت مدیریت بهینه فرسایش خاک در حوضه ها از این طرح استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: فرسایش آبی، پارامترهای هیدرولیکی، روش سطح پاسخ (RSM)، طرح Box-Behnken.

مقدمه

خاک یکی از مهمترین منابع طبیعی است که با توجه به دخالت‌های انسان در قالب عوامل آنتروپوژنیک که خود دارای زوایای مختلفی می‌باشد، ضرورت دارد در بهره برداری از این منبع حیاتی اصول و مبانی مدیریتی به طرز صحیحی بکار گرفته شود. همچنین نیاز است به ظرفیت‌ها و تناسب خاک منطقه به منظور حفظ خاک در برابر عوامل مخرب همانند فرسایش، فشردگی و نشست توجه ویژه ای مبذول گردد (Ghosh و همکاران، ۲۰۱۶). فرسایش خاک یکی از بارزترین شاخص های تخریب خاک و محیط زیست محسوب می شود (Wang و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین فرسایش خاک بعنوان یک منبع آلاینده غیرنقطه‌ای دارای دو دسته از تاثیرات شامل درون حوضه‌ای و برون حوضه‌ای می‌باشد که نیاز است به نحو مطلوبی مدیریت شود (خادم‌الرسول، ۱۳۸۵ و Louago، ۲۰۰۵). مدیریت مطلوب در حوضه‌های آبریز یک مدیریت چند جانبه است که ابعاد و زوایای مختلف مدیریت شامل مدیریت پایدار، مدیریت سازگار، مدیریت جامع و مدیریت یکپارچه در آن در نظر گرفته می‌شود، بنابراین، توسعه و ارزیابی مدیریت یکپارچه حوضه‌های آبریز، مستلزم ادغام مجموعه گسترده‌ای از اطلاعات مکانی و زمانی است (Bakker و همکاران، ۲۰۱۲). با توجه به اهمیت بسیار بالای وقوع فرسایش خاک در عرصه‌های طبیعی و زیست محیطی و پیچیدگی مکانیزم‌های رخداد آن، ضروری است از تکنیک‌ها و روش‌های متنوع و جدید جهت شبیه‌سازی فرایندهای فرسایشی و بهینه‌سازی آن‌ها، استفاده گردد (Box و همکاران، ۲۰۰۷). در راستای اجرای شیوه های مدیریتی پایدار در حوضه های آبریز و کاهش فرسایش خاک و تولید رسوبات لذا از نرم افزارها و تکنیک های پیشرفته با قابلیت پایش فرایندهای پیچیده استفاده می شود که از آن جمله روش سطح پاسخ[۱] می‌باشد که در حقیقت تکنیکی است که بر اساس ورودی‌هایی که دریافت می نماید با ارائه سطوح پاسخ همراه با آماره‌های مناسب امکان انتخاب بهترین پاسخ را بر اساس اهداف یک پژوهش فراهم می سازد (Sanchez و همکاران،۲۰۱۴).

پارامترهایTheta r، Theta s، Alpha، n و K_s که در معادله وان گنوختن است، مربوط به مباحث حرکت آب در خاک می‌باشد، جزء پارامترهای هیدرولیکی خاک محسوب می‌شود و از اهمیت بالایی در نفوذپذیری، انتقال املاح، هدایت هیدرولیکی، قابلیت نگهداشت آب در خاک و تهویه برخوردار است. در این مدل پارامترهای Alpha و n ضرایب شکل هستند، پارامتر Theta r بعنوان رطوبت باقی مانده که به تخلخل کل خاک وابسته است و Theta s رطوبت اشباع می باشد که به خلل و فرج درشت خاک بستگی دارد. همچنین K_s یا هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع است که متاثر

[1] Response surface methodology (RSM)

از بافت می باشد و می تواند شاخصی از قابلیت هدایت آب توسط یک خاک و لذا پتانسیل تولید رواناب های سطحی باشد (Assouline و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به مقدمه فوق الذکر هدف این پژوهش تسهیل در فرایندهای شبیه‌سازی فرسایش خاک توسط مدل‌های فرسایشی با بهره گیری از روش‌های بهینه سازی و نیز ارزیابی تاثیرگذاری پارامترهای هیدرولیکی بر روی فرسایش پذیری خاک‌ها می باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز امامزاده عبدالله با وسعت حدودا ۱۰۴ کیلومترمربع و مشتمل بر ۶ پارسل مطالعاتی در شمال شرقی شهرستان باغملک واقع شده است. محدوده تقریبی جغرافیایی حوزه مورد مطالعه بین ´۱۸ °۳۱ تا ´۳۳ °۳۱ شمالی و نیز ´۵ °۵۰ تا ´۱۳ °۵۰ شرقی می‌باشد. این حوزه دارای رژیم رطوبتی یوستیک و رژیم حرارتی ترمیک است و بر اساس مطالعات موجود در حوزه مورد مطالعه، کاربری‌های مختلف شامل کشاورزی (کشت آبی و دیم)، مرتع و جنگل مشاهده می‌گردد.

شبیه سازی و تکنیک RSM

این پژوهش شامل دو بخش اصلی شبیه‌سازی و بهینه سازی می‌باشد که فرایند شبیه‌سازی را با استفاده از مدل شبیه ساز فرسایشی WEPP[2] که در سال ۱۹۸۵ بوسیله‌ی دپارتمان کشاورزی آمریکا توسعه و به منظور بهبود فناوری حفاظت آب و خاک و همچنین ارزیابی و طراحی حوزه‌های آبخیز و هیل‌اسلوپ‌ها مورد استفاده قرار گرفته، انجام شد و بخش دوم که مربوط به ارزیابی و بهینه سازی پارامترهای هیدرولیکی موثر بر فرسایش خاک می‌باشد که با استفاده از روش RSM و توسط نرم افزار Design Expert v10 انجام پذیرفت. این نرم افزار یک ابزار توانمند جهت طراحی و بهینه سازی می باشد و با ایجاد اشکال دو بعدی و سه بعدی امکان بررسی عوامل را به صورت تک عاملی و یا اثرات متقابل فراهم می سازد. با استفاده از این تکنیک می‌توان به ساده سازی مسائل پیچیده، بررسی متغیرهای پیوسته و تعیین میزان حساسیت پاسخ در برابر هر فاکتور، پرداخت (Oehlert، ۲۰۰۰). پارامترهای هیدرولیکی موجود در معادله وان گنوختن شامل Theta r، Theta s، Alpha، n و K_s بعنوان متغیر مستقل و مقدار فرسایش خاک منطقه مطالعاتی که خروجی مدل شبیه ساز فرسایشی WEPP می‌باشد، بعنوان متغیر وابسته یا پاسخ، توسط نرم افزار Design Expert تعریف شده‌اند. همچنین متغیرهای مستقل در سطوح حداقل و حداکثر که در نرم افزار بصورت بازه ۱+ تا ۱- تعریف شده است، برای طرح مورد استفاده در نرم افزار، تعریف گردید. نحوه عملکرد نرم افزار اینگونه می‌باشد که بین متغیرهای مستقل و وابسته یکسری روابط ریاضی برقرار می نماید که این روابط را در پایان بصورت گراف‌های دو بعدی و سه بعدی، کانتوری، تک پارامتر، اثر متقابل و یک بخش مختص به آنالیز واریانس در اختیار کاربر قرار می‌دهد. نرم افزار Design Expert دارای طرح‌های آزمایشی متنوعی می‌باشد که از این طرح‌های آزمایشی می‌توان در طراحی فرایندها، پیش‌بینی ویژگی‌های رفتاری پارامترهای ورودی و همچنین برای درک صحیح‌تری از یک فرایند، استفاده نمود و این بعنوان یک نقطه قوت برای نرم‌افزار محسوب می‌شود. نرم افزار Design Expert در نهایت در بین طرح‌های موجود، با آزمایش و گرفتن خروجی از تمامی طرح‌های موجود در نرم افزار، طرح Box-Behnken بهترین نتایج را با توجه به متغیر وابسته تعریف شده، در اختیار ما قرار داد. طرح Box-Behnken (BBD[3])، یک طرح درجه دو براساس طراحی‌های فاکتوریل سه سطحی می‌باشد که این روش می‌تواند مقدار پارامترها را در یک مدل درجه دو تخمین زده و مقدار پارامترهایی که تطابق ندارند را محاسبه می‌کند. بین طرح‌های موجود در نرم افزار Design Expert، طرح BBD نسبت به سایر طرح‌ها کامل‌تر و نتیج بهتری را می‌دهد. این طرح مکعبی توسط مجموعه‌ای از نقاط فرضی، در نقطه میانی هر ضلع مکعب و نقطه مرکزی توصیف می‌شود که از ترکیب عامل‌های اضافه دوری می‌کند. این ویژگی ازا حتمال از دست رفتن داده‌ها جلوگیری می‌کند. این طرح اجازه می‌دهد که پاسخ‌ها توسط برازش یک چند جمله‌ای مرتبط مدلسازی شوند که می‌تواند بصورت زیر بیان شود (Ferreira و همکاران، ۲۰۰۷):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2$$

در این فرمول x_1 و x_2 و x_3 متغیرهای مستقل، β_0 بعنوان عرض از مبدا، β_1 تا β_{33} ثابت‌های برازش و Y پاسخ می‌باشند.

[2] Water erosion prediction project

[3] Box Behnken Design

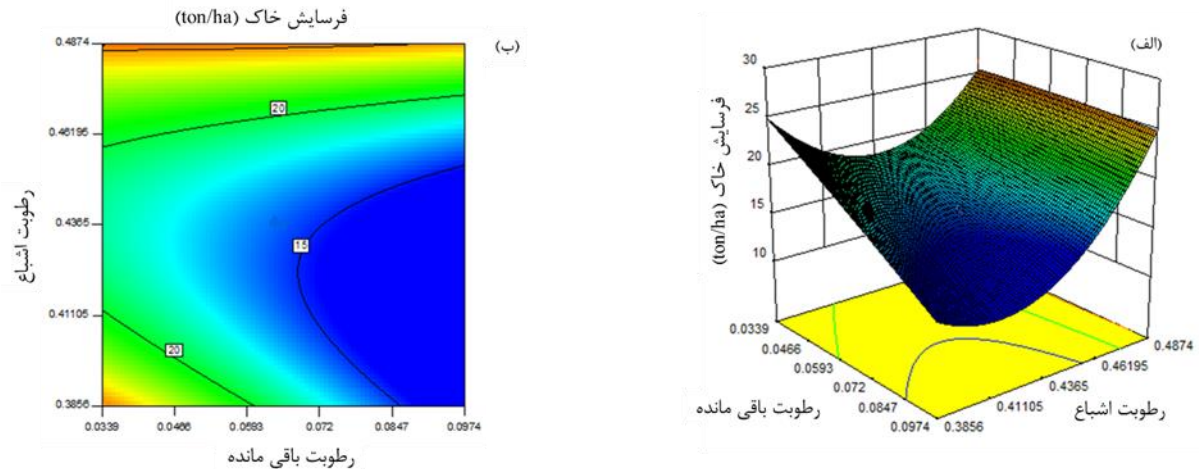
نتایج و بحث

پس از بررسی روابط هر پنج عامل هیدرولیکی خاک با متغیر وابسته یعنی فرسایش خاک، نتایج نشان داد که روابط معنی داری بین پارامترها با فرسایش خاک وجود دارد. پارامترهای Alpha و n به علت کوچک بودن بازه تغییرات آن‌ها، در قسمت نتایج و بحث لزومی به آوردن گراف‌های مربوط به آن‌ها وجود ندارد و فقط سه پارامتر Theta r، Theta s و K_s مورد بررسی قرار می‌گیرد. این بدین معنی نیست که فرسایش خاک صرفا متاثر از این سه پارامتر هیدرولیکی خاک می باشد. شایان ذکر است که نتایج آماره های موجود در روش سطح پاسخ نشان داد که طرح Box-Behnken دارای بهترین نتایج بهینه سازی می باشد (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج آنالیز واریانس طرح Box Behnken در روش سطح پاسخ

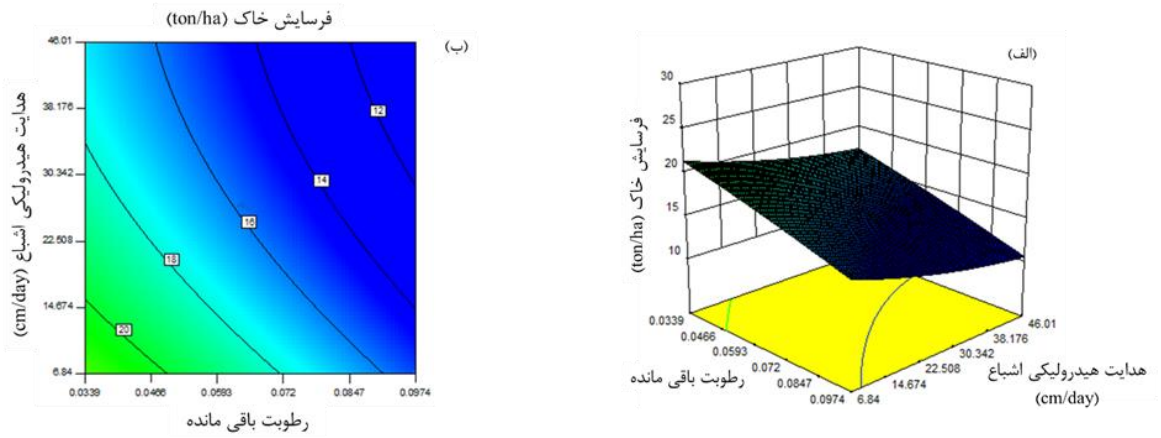
R^2	C.V. (%)	Std. Dev.	P-value
۰/۹۵	۹/۵۹	۱/۹	<۰/۰۰۱۴

همانگونه که شکل۱(الف و ب) نشان می‌دهد، کمترین مقدار فرسایش زمانی است که پارامترهای Theta r و Theta s دارای بیشترین مقدار ممکنه یعنی بترتیب 0.068 و 0.43 می باشند. در این حالت Theta s اثر غالب را داراست و از نظر کلاس بافت خاک با توجه به مقدار Theta s در محدوده‌ی کلاس بافتی سبک قرار می‌گیرد. خاک با بافت سبک از لحاظ خصوصیات فیزیکی مانند ظرفیت نگهداشت، تهویه، نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی و ضریب زبری در شرایط مطلوبی قرار دارد و همین امر سبب می‌گردد تا از میزان پتانسیل ایجاد رواناب کاسته شود که در نهایت مقدار فرسایش خاک در کمترین حالت ممکن قرار می‌گیرد. اما در مورد بیشترین مقدار فرسایش، این مقدار را زمانی خواهد بود که مقدار پارامتر Theta r کاهش (0.0339) و Theta s افزایش (0.43) پیدا کند و متاثر از خصوصیات Theta r می‌باشد، بدین صورت که این مقدار از Theta r در محدوده کلاس بافتی سیلت قرار می‌گیرد و به دلیل اینکه سیلت خصوصیات بینابین شن و رس را داراست از میزان فرسایش پذیری بیشتری برخوردار است (Ratten Lal، ۱۳۹۴).



شکل ۱- روند تغییرات رطوبت باقی مانده و روطوبت اشباع، سه بعدی(الف) و دو بعدی(ب)

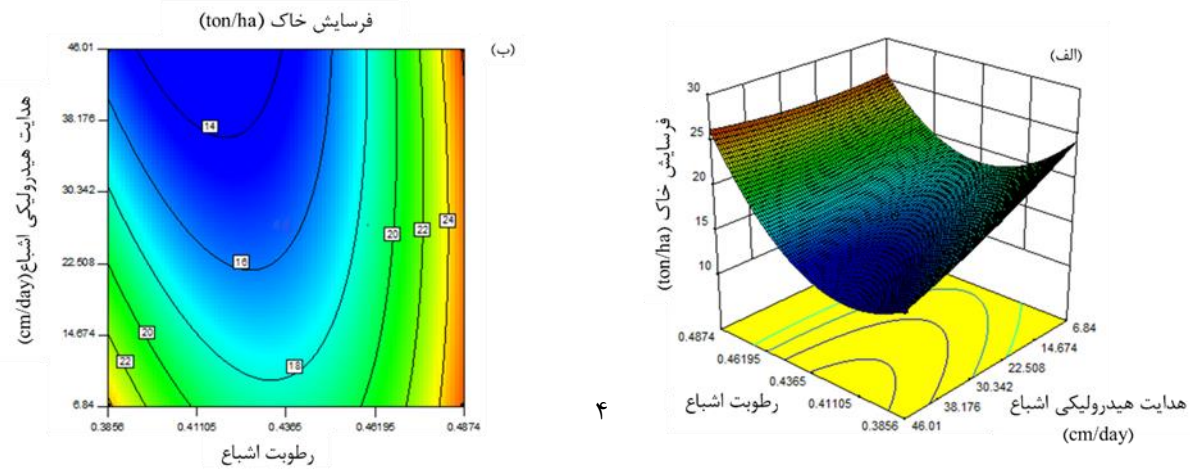
شکل ۲ (الف و ب) رابطه Theta r و K_s را بر فرسایش خاک نشان می‌دهد. همانگونه که نشان می‌دهد این دو پارامتر با یکدیگر همراستا بوده و با افزایش در مقدار هردو کمترین میزان فرسایش خاک را خواهیم داشت. هدایت هیدرولیکی اشباع شاخصی از بافت خاک است و هرگونه تغییری در مقدار این پارامتر متاثر از بافت خاک می‌باشد. همچنین هردو پارامتر می‌توانند شاخصی از تخلخل خاک باشند. همانگونه که شکل ۲ نشان می دهد، کمترین مقدار فرسایش زمانی رخ خواهد که K_s در بیشترین مقدار خود (0.1 - 0.09) قرار گرفته باشد و براساس طبقه‌بندی کلاس بافتی خاک، در محدوده Sandy Clay قرار می‌گیرد (عباسی، ۱۳۹۶).



شکل ۲- روند تغییرات رطوبت باقی مانده و هدایت هیدرولیکی اشباع، سه بعدی(الف) و دوبعدی(ب)

بافت خاک Sandy Clay از درصد شن بالایی برخوردار می‌باشد و همین سبب می‌شود تا مقدار خلل و فرج درشت آن که خود عامل موثری در افزایش نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی می‌باشد، بالا باشد و از طرفی هم جزء Clay موجود، باعث می‌شود تا مقدار تخلخل کل افزایش پیدا کند و بالا بودن مقدار Theta r که متاثر از تخلخل کل خاک است، آن را اثبات می‌کند. تمامی توضیحات داده شده نشان از اهمیت تخلخل خاک و توزیع اندازه خلل و فرج است که به خصوصیات فیزیکی و ساختمانی خاک برمی‌گردد و تا چه میزان می‌توانند برروی کاهش پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک‌ها موثر باشند.

پارامترهای هیدرولیکی Theta s و K_s دارای رابطه مستقیم و هم‌راستا در جهت پاسخ می‌باشند، بدین معنی که با افزایش در مقدار هر دو پارامتر هیدرولیکی خاک، حداقل فرسایش را خواهیم داشت و بالعکس (شکل ۳الف و ب).



شکل ۳- روند تغییرات رطوبت اشباع و هدایت هیدرولیکی اشباع، سه بعدی(الف) و دو بعدی(ب)

به دلیل اینکه K_s شاخصی از بافت خاک می‌باشد، وقتی مقدارش بالا باشد نشانگر این است که نفوذپذیری، تخلخل، تهویه، خلل و فرج، هدایت هیدرولیکی در وضعیت خوبی قرار دارند و همین امر سبب می‌گردد تا مقدار پتانسیل تولید رواناب رو به کاهش باشد و به دنبال آن فرسایش خاک هم کاهش پیدا می‌کند. از طرفی هم با توجه به بالا بودن مقدار Theta s (0.41 – 0.42)، بطور تقریبی در محدوده کلاس بافت شنی قرار می‌گیرد که خود از توزیع خلل و فرج بالایی برخوردار است و سبب می‌شود تا پتانسیل فرسایش پذیری و هدررفت خاک در حداقل مقدار خود قرار بگیرد (Blanco و همکاران، ۲۰۰۲).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش، نشان داد که تغییرات پارامترهای هیدرولیکی خاک تاثیر کاملا معنی دار و موثری برروی فرسایش خاک دارد و با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) به دلیل امکان استفاده از طرح‌های آزمایشی متنوع و ساده سازی روندهای پیچیده، امکان پیش‌بینی روند تغییرات پارامترهای هیدرولیکی و به حداقل رساندن مقدار فرسایش جهت ارزیابی و مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبریز را فراهم نموده است و طرح Box Behnken در بین تمامی طرح‌ها به دلیل نتایج آماری بهتر، برای محقق کردن اهداف این پژوهش مناسب تر از بقیه خواهد بود.

منابع

خادم الرسول، ع. و م. چرم. ۱۳۸۵ . استفاده از مدل ریاضی WEPP به عنوان ابزاری جهت اتخاذ بهترین شیوه های مدیریت پایدار خاک. همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، کرج.

عباسی، ف. ۱۳۹۶. فیزیک خاک پیشرفته. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

لال، راتان. ۱۹۴۴. اصول مدیریت و حفاظت خاک، ترجمه علی سلاجقه و محمدحسین سیدعلیپور و محسن حسینعلی‌زاده. (۱۳۹۳). تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

Assouline, S., & Selker, J. (2017). Introduction and evaluation of a Weibull hydraulic conductivity-p ressure head relationship for unsaturated soils. Water Resources Research, 53(6), 4956-4964.

Bakker, K. (2012). Water Security: Research Challenges and Opportunities. Science, 337(6097), 914–915.

Blanco-Canqui H, Gantzer CJ, Anderson SH et al. (2002) Saturated hydraulic conductivity and its impact on simulated runoff for claypan soils. Soil Sci Soc Am J 66:1596–1602.

Boix-Fayos, C., Martínez-Mena, M., Calvo-Cases, A., Arnau-Rosalén, E., Albaladejo, J., & Castillo, V. (2006). Causes and underlying processes of measurement variability in field erosion plots in Mediterranean conditions. Earth Surface Processes and Landforms, 32(1), 85–101.

Ferreira S.L.C., Bruns R.E., Ferreira H.S., Matos G.D., David J.M., Brandäo G.C., Da Silva E.G.P., Portugal L.A., Dos Reis P.S., Souza A.S., Dos Santos W.N.L. (2007). Box-Behnken Design: An Alternative for the Optimization of Analytica Methods, *Analytica Chimica Acta*, 597: 179-186.

Ghosh, B. N., Meena, V. S., Alam, N. M., Dogra, P., Bhattacharyya, R., Sharma, N. K., & Mishra, P. K. (2016). Impact of conservation practices on soil aggregation and the carbon management index after seven years of maize–wheat cropping system in the Indian Himalayas. Agriculture, Ecosystems & Environment, 216, 247–257.

Loague, K., & Corwin, D. L. (1998). Regional-scale assessment of non-point source groundwater contamination. Hydrological Processes, 12(6), 957–965.

Oehlert, W. Gary. (2000). Design and analysis of experiments: Response surface design, New York: W.H. Freeman and Company.

Raymond H,Myers., Douglas C,Montgomery and Chri*stine M, Anderson-cook. (2009). Response Surface Methodology. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey Published simultaneously in Canada, 705.

Sanchez, G. M., Nejadhashemi, A. P., Zhang, Z., Woznicki, S. A., Habron, G., Marquart-Pyatt, S., & Shortridge, A. (2014). Development of a socio-ecological environmental justice model for watershed-based management. Journal of Hydrology, 518, 162–177.

Wang, L., Wang, Y., Saskia, K., Artemi, C., Ma, B., & Wu, F. (2018). Effect of soil management on soil erosion on sloping farmland during crop growth stages under a large-scale rainfall simulation experiment. Journal of Arid Land.

Topic for submission: Water Erosion, Flood , Soil and Water Conservation

Evaluation of hydraulic parameters on water erosion using response surface methodology (RSM)

Shirazi, M[1], Ataallah Khadealrasoul[2*], Saffieddin Ardabili, S.M.

[1] M. Sc. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

[2*]Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran- corresponding author

[3] Assistant Prof., Bio System Engineering Department, Faculty of Agriculture University of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Abstract

Soil erosion is one of the most important forms of soil degradation that is able to dislodge considerable volumes of soil each year. In order to control soil erosion it is necessary to focus on different effective parameters on erosion. Therefore, this study aimed to evaluate and simulate the effects of hydraulic parameters of Van Genuchten equation on the amount of water erosion using response surface methodology (RSM) with design expert software in Imamzadeh Abdullah watershed of Baghmalek. In this study, the relations between hydraulic parameters of soil as independent variables including Theta r, Theta s, Alpha, n and Ks with soil erosion (ton/ha) as dependent variable investigated using available designs in response surface methodology (RSM). Our results showed (P-value: <0.0014, R^2: 0.95) that Box Behnken Design is the best method for evaluation and optimization the effects of hydraulic parameters on soil erosion. Moreover, there is a possibility to apply this design in order to optimize management scenarios in the watershed and minimize soil erosion.

Keywords: Soil erosion, Hydraulic parameters, Response Surface Methodology (RSM), Box Behnken Design.