



بررسی انتقال فلزات سنگین در رواناب با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران

نسیم نادری فرد^۱ صفر معروفی^۲

۱- کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی-آبیاری و زهکشی دانشگاه بوعلی سینا

۲- پروفسور- دانشگاه بوعلی سینا همدان

۱- پست الکترونیک: n.naderifard@yahoo.de

۲- پست الکترونیک: smarofi@yahoo.com

چکیده

ورود آلاینده‌ها به یک محیط خاک باعث ناپایداری، اختلال و آسیب در آن محیط می‌گردد. به منظور انجام این پژوهش، ابتدا یک دستگاه شبیه‌ساز باران به ابعاد ۳ متر×۳ متر و ارتفاع حداکثر ۴ متر طراحی و ساخته شد. سپس انتقال ۶ فلز سنگین در رواناب خاک آلوده در منطقه حوضه گنبد استان همدان در سه شیب متفاوت و هر یک در سه تکرار با سه شدت بارش مختلف بررسی گردید. به منظور مقایسه بهتر تیمارها قبل از آلوده نمودن خاک، یک کرت شاهد در نظر گرفته شد. همچنین فلزات سنگین در خاک اولیه قبل از آلوده نمودن اندازه‌گیری گردید. نتایج بیانگر آن است که به طور کلی بیشترین غلظت فلزات سنگین در خاک مربوط به فلز منگنز و کمترین آن مربوط به عنصر آهن می‌باشد. نتایج نشان داد که به طور کلی غلظت این ۶ فلز سنگین در رواناب نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است. همچنین فاکتور شیب بر عناصر اندازه‌گیری شده در رواناب تأثیر مثبت و معنی‌داری داشت ولی، فاکتور شدت بارش تأثیر مثبت و معنی‌داری روی عناصر مورد بررسی در رواناب نداشت. اثر متقابل شیب و شدت بارش در بیشتر فلزات سنگین در رواناب تأثیر معنی‌دار نداشت.

واژه‌های کلیدی: دستگاه شبیه‌ساز باران، رواناب، شدت بارش متغیر، شیب متغیر، فلزات سنگین

مقدمه

ورود آلاینده‌ها به یک محیط خاک باعث ناپایداری، اختلال و آسیب در آن محیط می‌گردد. آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل‌کننده اکوسیستم به شمار می‌روند و از میان آنها فلزات سنگین به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی آنها بر موجود زنده، در غلظت‌های کم حائز اهمیت شناخته شده‌اند، ولی بسیاری از این فلزات در غلظت‌های زیاد برای انسان سمی هستند (خداکرمی و همکاران، ۱۳۹۰). از جمله فعالیت‌های بشری که باعث آلودگی محیط به فلزات سنگین می‌شوند، استفاده از لجن حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها به عنوان بارورکننده خاک می‌باشد (et al & Hayes, ۱۹۹۰)



دستگاه‌های شبیه‌ساز باران یک وسیله کارآمد و مفید در مطالعه نفوذ، رواناب سطحی، فرسایش خاک و همچنین انتقال املاح کشاورزی- شیمیایی از زمین‌های قابل کشت است و می‌تواند تحت شرایط آزمایشگاهی و یا صحرایی مورد استفاده قرار گیرد. مهمترین مزایای استفاده از شبیه‌سازی باران، سرعت در عمل، کارایی، قابلیت کنترل و انعطاف- پذیری بیشتر آن نسبت به باران‌های طبیعی است و از معایب آن می‌توان هزینه ساخت، وقت‌گیر بودن و مشکلات اجرایی آن را ذکر نمود Fiener و همکاران (۲۰۱۱). محققانی در دنیا به بررسی انتقال آلودگی به وسیله دستگاه باران- ساز

پرداخته‌اند. Singh و همکاران (۲۰۰۰) به بررسی انتقال فلزات سنگین از رسوبات لایه‌روبی شده از سطح خاک در بلژیک با استفاده از شبیه‌ساز باران در شیب ۱۹ درصد و شدت ۴۰ میلیمتر در ساعت در مقیاس آزمایشگاهی پرداختند. Shigaki و همکاران (۲۰۰۷) اثرات شدت بارش و منابع فسفر مختلف را روی انتقال فسفر در رواناب بر روی سطوح خاک لومی پوشیده از شبدر بررسی نمودند. همچنین Bertol و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و کربن آلی در رواناب با استفاده سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی در طول دوره رشد سویا با استفاده از شبیه‌ساز باران در شدت ۶۴ میلیمتر در ساعت پرداختند. Chabrier و همکاران (۲۰۰۸) انتشار نوعی نماد را با استفاده از آبشویی و دستگاه شبیه‌ساز باران در غرب فرانسه مورد بررسی قرار دادند. در تحقیقی دیگر، Covert & Jordan (۲۰۰۹) تأثیرات آتش‌سوزی را بر رواناب و فرسایش خاک تحت بارش شبیه‌سازی شده در جنگل بررسی نمودند. همچنین افراد دیگری نظیر Rima و Lal (۲۰۰۹) تلفات خاک و کربن را در پنج منطقه مختلف (شامل جنگل، مرتع، زمین بدون شخم با کود، زمین بدون شخم بدون کود و زمین با شخم معمولی) در دو شرایط رطوبتی با استفاده از شبیه‌ساز باران بررسی کردند. Luck و همکاران (۲۰۰۹) تصفیه کود از طریق بتن نفوذپذیر را تحت شبیه- ساز باران مورد بررسی قرار دادند. آنها پس از اعمال پساب و کود به این نوع بتن، باران را با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران شبیه‌سازی کردند. سپس مقادیر کربن آلی محلول، آمونیوم، نترات، نیتريت، نیتروژن کل، فسفر محلول و فسفر کل را اندازه‌گیری نمودند. با توجه به نتایج این کار، بتن نفوذپذیر باعث کاهش غلظت این عناصر به طور قابل توجهی گردید. Armstrong و همکاران (۲۰۱۱) انتقال مواد مغذی در رواناب را در شیب‌های متفاوت در زمین‌های کشاورزی در شمال غرب اروپا بررسی نمودند. آنها برای این منظور از یک دستگاه شبیه‌ساز باران آزمایشگاهی در سه شیب متفاوت و شدت ثابت استفاده نمودند در ایران نیز محمودآبادی و روحی‌پور (۱۳۹۰) روند تغییرات برخی شاخص‌های فرسایش‌پذیری و ترسیب را روی سه نمونه خاک در چهار شیب متفاوت و با شدت‌های متغیر، با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران بررسی نمودند.

بررسی پژوهش‌های انجام شده بیانگر آن است تا قبل از انجام این تحقیق، انتقال فلزات سنگین در رواناب با شدت‌های بارش مختلف بررسی نشده است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، در ابتدا طراحی و ساخت یک دستگاه شبیه‌ساز باران با ارتفاع و ابعاد بزرگتر از نمونه‌های ساخته شده قبلی و همچنین انتقال فلزات سنگین در رواناب یک خاک آلوده با شیب‌ها و شدت‌های بارش متفاوت می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در حوضه گنبد استان همدان، وابسته به "اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان همدان" انجام گرفته است. این حوضه در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب شهرستان همدان با مساحتی معادل ۴۴۵ هکتار، دارای سه زیر حوضه به نام‌های: حوضه نمونه به مساحت ۱۵۳ هکتار، شاهد با مساحت ۱۴۲ هکتار و معرف با مساحت ۱۵۰ هکتار می‌باشد



که این تحقیق در حوضه نمونه انجام گرفته است (سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری). موقعیت این حوضه در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت حوضه گنبد در استان همدان

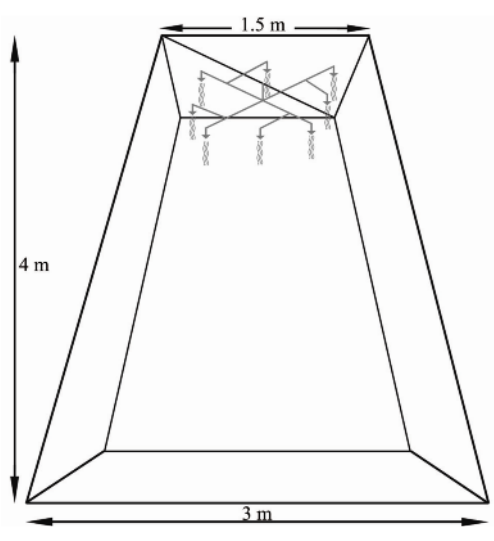
مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا یک دستگاه شبیه‌ساز باران طراحی و ساخته شد. سپس انتقال ۶ فلز سنگین شامل آهن، روی، مس، کادمیوم، منگنز و نیکل در رواناب خاک آلوده در سه شیب متفاوت و هریک در سه تکرار با سه شدت بارش مختلف بررسی گردید.

طراحی دستگاه شبیه‌ساز باران

به منظور انجام این پژوهش، یک دستگاه شبیه‌ساز به ابعاد ۳ متر×۳ متر و ارتفاع حداکثر ۴ متر که دارای قابلیت تنظیم ارتفاع در فواصل یک متری را می‌باشد، از جنس استیل زنگ نزن طراحی و ساخته شد. این دستگاه دارای ۹ نازل می‌باشد که در یک چارچوب ۱/۵ متر×۱/۵ متر با فاصله یکسان از یکدیگر نصب شده‌اند. به منظور تغییر قطر قطرات باران، نازل‌های دستگاه می‌توانند روزنه‌هایی با قطرهای ۲، ۲/۵ و ۳ میلی‌متری داشته باشند (شکل ۲). همچنین شیب نازل‌ها نیز جهت شبیه‌سازی باران‌هایی با بارش مورب نیز تغییر می‌نماید. ضمناً جهت جلوگیری از اثر باد بر توزیع یکنواختی قطرات باران پوشش مناسبی بدین منظور برای دستگاه در نظر گرفته شده است. این دستگاه متحرک بوده و با توجه به چرخ‌های خود می‌تواند از نقطه‌ای به نقطه دیگر جابجا شود.

جهت تامین آب نازل‌ها مخزنی پلاستیک فشار قوی و با ظرفیت ۱۰۰ لیتر که به یک دستگاه پمپ سانتریفیوژ مدل PVSE تجهیز شده در نظر گرفته شد. آب خروجی از مخزن توسط یک شیر قطع و وصل و یک دستگاه شیر فشارشکن قابل تنظیم می‌باشد ضمناً ظرفیت و فشار آب خروجی از مخزن نیز توسط یک دستگاه کنترل و یک فشارسنج مناسب مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. برای شرایط کار صحرائی از یک دستگاه موتور برق برای تامین انرژی لازم استفاده می‌شود.



شکل ۲- دستگاه شبیه‌ساز باران طراحی شده

نتایج واسنجی دستگاه باران‌ساز مورد نظر نشان داد که یکنواختی پخش (از نظر توزیع مکانی)، از ۷۰ درصد تا ۹۴ درصد ارتقاء می‌یابد. همچنین شدت بارش ایجاد شده توسط این دستگاه ۴۰ تا ۱۰۲ میلی‌متر در ساعت می‌باشد.

تهیه لجن مورد نیاز

لجن به کار رفته در این پژوهش از تصفیه‌خانه فاضلاب استان مرکزی تهیه گردید.

آماده‌سازی کرت‌ها

برای انجام این تحقیق، سه شیب کم (صفر درصد)، متوسط (پنج درصد) و زیاد (ده درصد) و برای هر شیب نیز سه تکرار در حوضه مذکور در نظر گرفته شد. کرت‌های مورد نظر به ابعاد ۳ متر ۳ متر ۳ متر آماده گردید و در مرزهای هر کرت صفحه‌های فلزی قرار داده شد. برای محکم شدن این صفحه‌ها، هر صفحه به ضخامت حدود ۱۰ سانتی‌متر در زمین کوبیده شد ولی مرز جلویی برای جمع‌آوری رواناب باز گذاشته شد.

جمع‌آوری رواناب

برای جمع‌آوری رواناب، یک صفحه فلزی طراحی گردید که یک شلنگ به آن متصل بود و رواناب توسط این شلنگ به ظرف نمونه‌گیری انتقال یافت که قبل از انجام آزمایش، در قسمت جلوی کرت قرار داده شد.



شکل ۳- صفحه جمع‌آوری رواناب

آلودن کردن خاک

پس از آماده نمودن کرت‌ها، سطح هر کرت سه ماه قبل از شروع آزمایش با لجن خشک به میزان ۲۲ کیلوگرم آلوده شد و با خاک سطحی مخلوط گردید. به منظور مقایسه بهتر تیمارها، یک کرت شاهد بدون آلودگی در شیب کم در نظر گرفته شده سپس با شدت ۴۵ میلیمتر در ساعت و به مدت یک ساعت شبیه‌سازی باران روی آن انجام گرفت و رواناب حاصل از آن جمع‌آوری گردید.

آزمایش شبیه‌سازی باران و نمونه‌برداری

شبیه‌سازی باران با سه شدت مختلف برای هر کرت انجام شد که شامل شدت ۴۵ میلیمتر در ساعت در مدت زمان ۹۰ دقیقه، شدت ۶۵ میلیمتر در ساعت در مدت ۶۰ دقیقه و شدت ۹۵ میلیمتر در ساعت در مدت ۴۵ دقیقه بود. سپس رواناب ایجاد شده در سطح هر کرت جمع‌آوری گردید.

تعیین بافت خاک

بافت خاک در هر کرت بر اساس قانون استوکس و به روش هیدرومتری تعیین شد (Bouyoucos, 1962).

تعیین غلظت کل فلزات سنگین

غلظت کل فلزات سنگین خاک اولیه قبل از اضافه کردن لجن، تعیین گردید (et al & Sposito, 1982). سپس نمونه‌های رواناب پس از جمع‌آوری از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، غلظت فلزات سنگین با دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی تعیین گردید.

نتایج و بحث

بافت خاک

بافت خاک برای هر تیمار در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده کرت‌های واقع شده در شیب کم دارای بافت لومی رسی و کرت‌های واقع شده در شیب‌های متوسط و زیاد دارای بافت لومی شنی می‌باشند.



جدول ۱- بافت خاک تیمارها

بافت	درصد			شیب*
	رس	سیل	شن	
لومی رسی	۳۶	۳۳	۳۱	S ₁
لومی شنی	۱۵	۱۴	۷۳	S ₂
لومی شنی	۱۲	۲۳	۶۵	S ₃

*: S₁ شیب کم، S₂ شیب متوسط و S₃ شیب زیاد می‌باشند.

فلزات سنگین در خاک اولیه

قبل از آلوده نمودن خاک، غلظت عناصر سنگین (میلی گرم در لیتر) در خاک اولیه به دست آمد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲- غلظت عناصر سنگین در خاک اولیه

تیمار*	روی	مس	آهن	نیکل	کادمیوم	منگنز
S ₁ R ₁	۰/۴۳۳۵	۰/۷۵۹	۰/۰۳۸۸۷۶	۰/۲۴۹	۰/۳۷۹	۱/۰۴۴
S ₁ R ₂	۰/۴۴۸۲	۰/۹۱۸	۰/۰۳۹۰۱۶	۰/۱۱۱	۰/۲۱۵	۱/۰۷۸
S ₁ R ₃	۰/۵۱۸۹	۱/۱۶۵	۰/۰۳۹۴۲۱	۰/۲۱۵	۰/۲۶۸	۱/۲۱
S ₂ R ₁	۰/۳۹۵۶	۰/۲۷	۰/۰۴۰۹۱۹	۰/۲۰۲	۰/۲۶۹	۰/۹۶۷
S ₂ R ₂	۰/۵۶	۰/۲۴۳	۰/۰۳۸۸۱۴	۰/۳۰۶	۰/۲۲۴	۱/۰۴۲
S ₂ R ₃	۰/۴۳۳۷	۰/۳۱۸	۰/۰۳۸۹۹۸	۰/۲۱۶	۰/۲۹۵	۱/۰۱۲
S ₃ R ₁	۰/۴۹۱۴	۰/۷۶۳	۰/۰۳۹۹۲	۰/۲۲۳	۰/۲۳	۱/۰۸۹
S ₃ R ₂	۰/۴۶۱۲	۰/۸۶۵	۰/۰۴۰۵۲۴	۰/۴۱۲	۰/۲۲۹	۰/۸۷۵
S ₃ R ₃	۰/۴۴۰۸	۰/۷۱	۰/۰۳۸۳۶۱	۰/۲۶۷	۰/۲۷۳	۰/۸۹۸

*: R₁ تکرار اول، R₂: تکرار دوم و R₃ تکرار سوم می‌باشند.

نتایج بیانگر آن است که خاک منطقه مورد مطالعه دارای مقداری عناصر سنگین می‌باشد که با توجه به دست‌نخورده بودن آن، می‌تواند ناشی از خصوصیات ذاتی خاک باشد. با توجه به جدول ۲، به طور کلی بیشترین غلظت فلزات سنگین مربوط به فلز منگنز و کمترین آن مربوط به عنصر آهن می‌باشد.

عناصر سنگین در رواناب

نتایج تجزیه واریانس عناصر سنگین موجود در رواناب در جدول ۳ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج این جدول، فاکتور شیب بر عناصر کادمیوم، روی، منگنز و نیکل در سطح ۱ درصد و بر عناصر آهن و مس در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. در واقع فاکتور شیب بر تمامی عناصر معنی‌دار است. ولی سطح شدت بارش فقط بر عنصر نیکل در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و بر دیگر عناصر اثر معنی‌داری نداشت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل شیب و شدت فقط بر عناصر منگنز و نیکل در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد و بر دیگر عناصر اثر معنی‌داری نداشت.



جدول ۳- نتایج تجزیه آماری حاصل از اندازه گیری عناصر سنگین موجود در رواناب

میانگین مربعات						درجه آزادی	منبع پراکنش
نیکل	منگنز	مس	روی	کادمیوم	آهن		
** ۰/۰۵	** ۰/۵۲	* ۰/۰۰	** ۰/۰۷	** ۰/۰۰	* ۰/۴۵	۳	شیب
* ۰/۰۳	Ns ۰/۲۲	Ns ۰/۰۰	Ns ۰/۰۰	Ns ۰/۰۰	Ns ۰/۱۲	۲	شدت
* ۰/۰۲	* ۰/۲۸	Ns ۰/۰۰	Ns ۰/۰۱	Ns ۰/۰۰	Ns ۰/۳۴	۶	شدت × شیب

** معنی دار در سطح یک درصد، * معنی دار در سطح پنج درصد و Ns: غیر معنی دار

اثرات ساده شیب بر میانگین عناصر آهن، کادمیوم، روی و مس موجود در رواناب

مقایسه میانگین سطوح یک فاکتور تنها در مواردی امکان پذیر است که بر هم کنش آن فاکتور با فاکتورهای دیگر معنی دار نباشد زیرا در صورت معنی دار بودن برهم کنش دو فاکتور، نتیجه بدست آمده از مقایسه میانگین سطوح هر یک از آنها قابل اعتماد نخواهد بود. (زمانی، ۱۳۸۹).

لذا با توجه به معنی دار شدن اثرات متقابل شیب و شدت بر میزان عناصر منگنز و نیکل موجود در رواناب، مقایسه میانگین بین اثرات ساده شیب و همچنین اثرات ساده شدت بر میزان این عناصر انجام نگرفت. اما مقایسه میانگین اثرات ساده شیب و شدت بر عناصر آهن، کادمیوم، روی و مس در جدول ۴ ارائه گردیده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر شیب بر مقادیر فلزات سنگین در رواناب (mg/l)

مس	روی	کادمیوم	آهن	سطح شیب
b ۰/۰۱	c ۰/۰۳	c ۰/۰۰	b ۰/۱۵	شاهد
b ۰/۰۱	b ۰/۱۳	b ۰/۰۱	ab ۰/۶۳	کم
a ۰/۰۲	b ۰/۱۳	a ۰/۰۲	a ۱/۱	متوسط
b ۰/۰۱	a ۰/۲۴	a ۰/۰۲	b ۰/۴۲	زیاد

*: میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می باشند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی داری ندارند.

الف) آهن

باتوجه به نتایج جدول ۴ ملاحظه می گردد که در تمامی شیبها میزان آهن موجود در رواناب نسبت به شاهد افزایش داشته است به طوری که بیشترین (۱/۱ میلی گرم در لیتر) و کمترین (۰/۱۵ میلی گرم در لیتر) میزان آهن موجود در رواناب به ترتیب مربوط به فاکتورهای شیب متوسط و شاهد بودند.

مقایسه میانگین بین شیبهای مختلف نشان داد که اختلاف آماری بین فاکتور شیب شاهد، شیب کم و شیب زیاد و همچنین بین شیب زیاد و دیگر شیبها (بجز شیب متوسط) از لحاظ میانگین آهن موجود در رواناب آنها در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی دار نمی باشد. اما اختلاف آماری بین شیبهای متوسط و شاهد و همچنین شیب متوسط و شیب زیاد از لحاظ میانگین آهن موجود در رواناب بر اساس آزمون دانکن (در سطح ۵ درصد) معنی دار می باشد.

ب) کادمیوم



باتوجه به نتایج جدول ۴ ملاحظه می‌گردد که در تمامی شیب‌ها میزان کادمیوم موجود در رواناب نسبت به شاهد افزایش داشته‌اند، به‌طوری‌که بیشترین (۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر) و کمترین (۰/۰۰ میلی‌گرم در لیتر) میزان کادمیوم موجود در رواناب به ترتیب مربوط فاکتورهای شیب متوسط (و همچنین شیب زیاد) و شاهد بود. مقایسه میانگین بین شیب‌های مختلف نشان داد که از لحاظ آماری اختلاف بین شیب شاهد و دیگر شیب‌ها و همچنین بین شیب متوسط و زیاد با دیگر شیب‌ها از لحاظ میانگین کادمیوم موجود در رواناب در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد ولی اختلاف آماری بین شیب‌های متوسط و زیاد معنی‌دار نمی‌باشد.

ج) روی

با توجه به جدول ۴، در تمامی شیب‌ها میزان روی موجود در رواناب نسبت به شاهد افزایش داشته‌اند. به‌طوری‌که بالاترین (۰/۲۴ میلی‌گرم در لیتر) و پایین‌ترین (۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر) میزان کادمیوم موجود در رواناب به ترتیب مربوط فاکتورهای شیب زیاد و شاهد بود.

مقایسه میانگین بین شیب‌های مختلف نشان داد که از لحاظ آماری اختلاف بین شیب شاهد و دیگر شیب‌ها از لحاظ میانگین روی موجود در رواناب در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد. همچنین اختلاف آماری شیب کم و متوسط با دیگر شیب‌ها معنی‌دار است. شیب زیاد با دیگر شیب‌ها از لحاظ میانگین روی موجود در رواناب در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد اما اختلاف آماری بین شیب‌های کم و متوسط معنی‌دار نمی‌باشد.

د) مس

نتایج جدول ۴ بیانگر آن است که در همه شیب‌ها میزان روی موجود در رواناب نسبت به شاهد افزایش یافته‌اند به‌طوری‌که بیشترین (۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر) و کمترین (۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر) میزان کادمیوم موجود در رواناب به ترتیب مربوط به فاکتورهای شیب متوسط و شاهد (و همچنین شیب‌های کم و زیاد) بود. مقایسه میانگین بین شیب‌های مختلف نشان داد که از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد و بر اساس آزمون دانکن، اختلاف بین شیب شاهد با شیب کم و زیاد از لحاظ میانگین مس موجود در رواناب معنی‌دار نمی‌باشد اما اختلاف آماری بین شیب متوسط و دیگر شیب‌ها معنی‌دار می‌باشد.

اثرات متقابل شیب و شدت بر میزان منگنز و نیکل موجود در رواناب

همانطور که در جدول ۳ قابل مشاهده است، اثر متقابل شدت بارش و شیب فقط بر عناصر منگنز و نیکل معنی‌دار شد. به همین دلیل مقایسه میانگین اثرات متقابل شیب و شدت بارش فقط بر میزان این دو عنصر موجود در رواناب محاسبه و در جدول ۵ ارائه گردیده است.

جدول ۵- اثرات متقابل شیب و شدت بر میزان عناصر سنگین موجود در رواناب (mg/l)

شیب**	شدت	منگنز	نیکل
S ₁	I ₁	c./۰.۳	b./۲.۱
	I ₂	c./۰.۳	b./۲.۱
	I ₃	c./۰.۳	b./۲.۱
S ₁	I ₁	a./۰.۹۷	ab./۳.۳
	I ₂	bc./۳.۳	b./۲.۲



ab. / ۲۹	c. / ۱۳	I _۳	
a. / ۳۸	ab. / ۸۳	I _۱	
ab. / ۳۳	bc. / ۲۷	I _۲	S _۲
ab. / ۳۳	abc. / ۶۲	I _۳	
ab. / ۳۰	bc. / ۲۹	I _۱	
ab. / ۲۳	ab. / ۷۶	I _۲	S _۳
c. / ۱۵	bc. / ۲۷	I _۳	

* S_۱, S_۲, S_۳ به ترتیب نشان‌دهنده شاهد، شیب کم، شیب متوسط و شیب زیاد می‌باشد.

الف) منگنز

باتوجه به نتایج جدول ۵، در تمامی این تیمارها میزان غلظت عنصر منگنز نسبت به شاهد افزایش داشته‌اند. بیشترین (۰/۹۷ میلی‌گرم در لیتر) و کمترین (۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر) میزان منگنز موجود در رواناب به ترتیب مربوط تیمارهای S_۱I_۱ و S_۱I_۳ (و همچنین S_۲I_۲ و S_۲I_۳) بود.

همانطور که در این جدول قابل مشاهده است، اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارهای S_۱I_۱, S_۱I_۲, S_۱I_۳, S_۲I_۱, S_۲I_۲, S_۲I_۳ وجود ندارد. همچنین بین تیمارهای S_۱I_۱, S_۱I_۲, S_۱I_۳ و S_۲I_۱, S_۲I_۲, S_۲I_۳ اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده نگردید. اما بین تیمارهای S_۱I_۱, S_۱I_۲, S_۱I_۳, S_۲I_۱, S_۲I_۲ و S_۲I_۳ اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

ب) نیکل

همانطور که در جدول ۵ قابل مشاهده است، غلظت عنصر نیکل در همه تیمارها به جز S_۲I_۳ نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است. بیشترین (۰/۳۸ میلی‌گرم در لیتر) و کمترین (۰/۱۵ میلی‌گرم در لیتر) میزان نیکل موجود در رواناب به ترتیب مربوط تیمارهای S_۲I_۱ و S_۲I_۳ بود. همانطور که قابل مشاهده است، اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارهای S_۱I_۱, S_۱I_۲, S_۱I_۳, S_۲I_۱, S_۲I_۲, S_۲I_۳ وجود ندارد. اما بین تیمار S_۲I_۳ با بقیه تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد و بر اساس آزمون دانکن مشاهده گردید.

نتایج تجزیه واریانس عناصر سنگین موجود در رواناب به طور کلی نشان داد که میزان این فلزات در رواناب افزایش پیدا کرده است. نتایج پژوهش Okochi و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که فلزات سنگین در رواناب شهری بطور معمول شامل: روی، سرب، مس و کادمیوم می‌باشد که بیشترین نگرانی را ایجاد میکنند زیرا غلظت این یونها در رواناب، معمولاً از رهنمودهای کیفی آب‌های سطحی خیلی بیشتر است. Chen و همکاران (۲۰۱۲) انتقال نیتروژن در رواناب را با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران بررسی نمودند و نتایج آنها بیانگر آلودگی نیتروژن در آب‌های سطحی بود.

نتیجه‌گیری

به منظور انجام این پژوهش، ابتدا یک دستگاه شبیه‌ساز باران به ابعاد ۳ متر×۳ متر و ارتفاع حداکثر ۴ متر طراحی و ساخته شد. سپس انتقال ۶ فلز سنگین در رواناب خاک آلوده در منطقه گنبد همدان در سه شیب متفاوت و هریک در سه تکرار با سه شدت بارش مختلف بررسی گردید. به منظور مقایسه بهتر تیمارها، قبل از آلوده نمودن خاک، یک کرت



شاهد در نظر گرفته شد. همچنین فلزات سنگین در خاک اولیه اندازه‌گیری گردید. نتایج بیانگر آن است که خاک منطقه مورد مطالعه دارای مقداری عناصر سنگین می‌باشد که می‌تواند ناشی از خصوصیات ذاتی خاک باشد. نتایج بیانگر آن است که به طور کلی بیشترین غلظت فلزات سنگین در خاک مربوط به فلز منگنز و کمترین آن مربوط به عنصر آهن می‌باشد. نتایج نشان داد که به طور کلی غلظت این ۶ فلز سنگین در رواناب نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است. فاکتور شیب بر عناصر اندازه‌گیری شده در رواناب تأثیر مثبت و معنی‌داری داشت ولی، فاکتور شدت بارش تأثیر مثبت و معنی‌داری روی عناصر مورد بررسی در رواناب نداشت. همچنین اثر متقابل شیب و شدت بارش در بیشتر فلزات سنگین در رواناب تأثیر معنی‌دار نداشت.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیر اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان همدان و جناب آقای مهندس فلاحیان به دلیل زحمات بی‌دریغشان تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱. خداکرمی، ل.، سفیانیان، ع.، میرغفاری، ن.، افیونی، م. و گلشاهی، ا.، (۱۳۹۰)، "پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های سه زیر حوزه آبخیز استان همدان با استفاده از فناوری‌های GIS و زمین‌آمار". مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۵۸: ۲۵۴-۲۴۳.
۲. زمانی، پ.، (۱۳۸۹)، "طرح‌های آماری در علوم دامی". نشر دانشگاه بوعلی‌سینا: ۶۵۴ صفحه.
۳. محودآبادی، م. و روحی‌پور، ح.، (۱۳۹۰)، "بررسی روند تغییرات برخی شاخص‌های فرسایش‌پذیری و ترسیب با استفاده از شبیه‌ساز باران". مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۸ (۴): ۱۶۶-۱۴۵.
4. Armstrong, A, Quinton, J. N, Francis, B, Heng, B. C. P and Sander, G. C., (2011), "Controls over nutrient dynamics in overland flows on slopes representative of agricultural land in North West Europe". *Geoderma*, 164: 2- 10.
5. Bertol, I, Engel, F. L., A. L., Bertol, O. J. and Ritter, S. R., (2007), "Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth". *Soil and Tillage Research*: 142-150.
6. Bouyoucos, G. J., (1962), "Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils". *Agronomy Journal*, 54(5): 464-465.
7. Chabrier, C., Carles, C., Desrosiers, C., Quénéhervé, P., and Cabidoche, Y. M., (2009), "Nematode dispersion by runoff water: Case study of *Radopholus similis* (Cobb) Thorne on nitisol under humid tropical conditions". *Applied Soil Ecology*, 41(2): 148-156.
8. Chen, Y. H., Wang, M. K., Wang, G., Chen, M. H., Luo, D., and Li, R., (2012), "Nitrogen runoff under simulated rainfall from a sewage-amended lateritic red soil in Fujian, China". *Soil and Tillage Research*, 123: 35-42.
9. Covert, A., and Jordan, P., (2009), "A portable rainfall simulator: techniques for understanding the effects of rainfall on soil erodibility". *Watershed Manage. Bull*, 13: 5-9.
10. Fiener, P, Seibert, S. P and Auerswald, K., (2011), "A compilation and meta-analysis of rainfall simulation data on arable soils". *Journal of Hydrology*, 409: 395-406.
11. Hayes, A. R., Mancino, C. F., and Pepper, I. L., (1990), "Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: I. Soil and leachate water quality". *Agronomy Journal*, 82(5): 939-943.



12. Luck, J. D., Workman, S. R., Coyne, M. S., and Higgins, S. F., (2009), "Consequences of manure filtration through pervious concrete during simulated rainfall events". *Biosystems Engineering*, 102(4): 417-423.
13. Okochi, N. C., and McMartin, D. W., (2011), "Laboratory investigations of stormwater remediation via slag: Effects of metals on phosphorus removal". *Journal of hazardous materials*, 187(1): 250-257.
14. Rimal, B. K. and Lal, R., (2009), "Soil and carbon losses from five different land management areas under simulated rainfall". *Soil and Tillage Research*, 106: 62-70.
15. Shigaki, F, Sharpley, A and Prochnow, L., (2007), "Rainfall intensity and phosphorus source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays". *Science of the Total Environment*, 373; 334-343.
16. Singh, R., Panigrahy, N., and Philip, G., (1999), "Modified rainfall simulator infiltrometer for infiltration, runoff and erosion studies". *Agricultural water management*, 41(3): 167-175.
17. Sposito, G., Lund, L. J., and Chang, A. C., (1982), "Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases". *Soil Science Society of America Journal*, 46(2): 260-264.