تأثیر نوع خاک و قدرت جریان بر اهمیت نسبی فرایندهای ناشی از روان آب در شرایط آزمایشگاهی

سیده کوثر دانشیار^۱، حسین اسدی^۲*، سیدعلی موسوی^۳ ۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشکدهٔ علوم کشاورزی دانشگاه گیلان ۲. استادیار گروه خاکشناسی دانشکدهٔ علوم کشاورزی دانشگاه گیلان ۳. مربی گروه مهندسی آب دانشکدهٔ علوم کشاورزی دانشگاه گیلان (تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۳ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۰/۸)

چکیدہ

درک فرایندهای فرسایش و تهیهٔ مدلهای فرسایش خاک به فهم جداسازی و تهنشینی و انتقال ذرات در شیارها نیاز دارد. بهمنظور بررسی اثر نوع خاک و قدرت جریان بر اهمیت نسبی فرایندهای ناشی از روانآب و مرز بین فرایندها از نظر کلاس اندازهٔ ذرات انتقالی، اثر ۶ قدرت جریان، در شیب ۲ درصد، روی ۵ نمونه خاک مختلف بررسی شد. نمونهها در بستر فرسایشی با ابعاد ۲۰۵×۲۰۵×۲۰۰×۲۰۵ متر ریخته شد و به مدت ۴۰ دقیقه، تحت دبی جریان معین، تغییرات زمانی توزیع اندازهٔ ذرات رسوب تعیین و بر مبنای آن فرایندهای انتقال ذرات تحلیل شد. نتایج این مطالعه مؤید وجود یک الگوی انتخابی وابسته به شرایط هیدرولیکی و انتقال ذرات با اندازههای متفاوت به وسیلهٔ مکانیسمهای مختلف، از جمله جهش- تعلیق و چرخش، است. نتایج همچنین نشان داد کلاس اندازهای با حداقل شدت انتقال، مرز بین جهش- تعلیق و چرخش، در خاکهای با توزیع اندازهٔ ذرات مختلف، منحصر به همان خاک است و با افزایش قدرت جریان از ۲۰٫۰۰ به ۸٫۰

کلیدواژگان: انتقال رسوب، چگالی ذرات، شیار، مدل های فرسایش خاک.

مقدمه

درک فرایندهای فرسایش و تهیهٔ مدلهای فرسایش خاک به فهم جداسازی و تهنشینی و انتقال ذرات خاک در شیارها نیاز دارد (Polyakov and Nearing, 2003). توزیع اندازهٔ ذرات خاک بر انتقال و تهنشینی رسوب تأثیر زیادی می گذارد. آگاهی از توزیع اندازهٔ ذرات رسوب درک و فهم فرایندهای فرسایشی و انتقال رسوب و در نتیجه مدلسازی فرایندی را بهبود می بخشد فرسایش شیاری و بینشیاری تقسیم میشود ,Shi et al, 2012) (Laflen et al, 2012). فرسایش خاک معمولاً به دو دستهٔ کلی فرسایش شیاری و بینشیاری تقسیم میشود ,Mitchell et al (شن، سیلت، رس) و ثانویهٔ (خاکدانهها) خاک است Mitchell (شن، سیلت، رس) و ثانویهٔ (خاکدانهها) خاک است Mitchell بینشیاری ذرات ریز به صورت انتخابی حمل میشوند، در حالی که در فرسایش شیاری، بعد از یک تنش برشی بحرانی خاص، مقدار این انتخابی بودن کمتر میشود (Proffitt and Rose, 1991; Malam Issa et al, 2006)

در جریان رودخانهای ذرات انتقالی بسته به اندازه و شکل و چگالی ذره و ویسکوزیته و سرعت سیال با چهار مکانیسم لغزش، غلطش (چرخش)، جهش، و تعلیق جابهجا میشوند. در

> asadi@guialn.ac.ir نویسنده مسئول: www.SID.ir

مراحل آرام انتقال، لغزش و چرخش متداول ترین مکانیسمها هستند؛ در حالی که در مراحل شدید، جهش و تعلیق وجه غالب انتقال ذرات اند (Allen, 1994).

در مطالعات فرسایش خاک و بهویژه در مدلسازی فرسایش ناشی از جریان (سطحی یا شیاری)، همانند مدل Misra and Rose, 1996) GUEST و مدل WEPP (Foster et al, 1995) ، توضيح مشخصي دربارهٔ مكانيسم انتقال ذرات ندادهاند. از سوی دیگر، فقط یک حد آستانه یا بحرانی واحد برای جریان در نظر گرفته شده است که در قدرت جریان (مدل GUEST) یا تنش برشی جریان (مدل WEPP) بالاتر از آن كندهشدن و انتقال ذرات رخ مى دهد. Moss et al (1979) اعلام کردند انتقال رسوب در فرسایش خاک نیز میتواند به بار معلق و جهشی و بستر تقسیم شود که هر یک با دامنهٔ اندازهای خاصى ارتباط دارند. نتايج مطالعة Asadi et al (2007a) نشان داد یک الگوی انتخابی در انتقال ذرات خاک بهوسیلهٔ جریان سطحی وجود دارد. آنها دلیل انتقال انتخابی ذرات با اندازههای مختلف را مقاومت متفاوت ذرات با اندازههای مختلف در مقابل انتقال (انتقال پذیری متفاوت ذرات) یا وجود فرایندهای مختلف انتقال برای ذرات با اندازههای مختلف اعلام کردند. Asadi et al (2007b) به این نتیجه رسیدند که توزیع اندازهٔ ذرات رسوب به صورت دونمایی و شامل دو بخش ذرات خیلی ریز و متوسط تا

درشت است. آنها نتیجه گرفتند فرایندهای مختلف موجب انتقال ترجيحی ذرات با اندازههای مختلف میشوند. همچنين نتایج Asadi et al (2011)، که بر دو نوع خاک و در دامنهای محدود از قدرت جریان (<0.5 W m⁻²) انجام شد، نشان داد حداقل دو فرایند متفاوت جهش - تعلیق و چرخش در انتقال ذرات بهوسيلهٔ جريان مؤثر است كه اهميت نسبى آنها به خصوصیات جریان، بهویژه قدرت جریان و بافت خاک، وابسته است. به طور کلی رابطه ای قوی و محکم بین ارتباط رسوب با چرخش و قدرت جریان وجود دارد (Shi et al, 2012) و بافت خاک عامل اصلی توزیع اندازهٔ ذرات رسوب است (Young, (2012) Shi et al (2080) نشان دادند مکانیسم اصلی در فرسایش بین شیاری جهش - تعلیق ذرات ریز است؛ در حالی که بعد از ایجاد شیار از میزان فعالیت این مکانیسم کاسته می شود و انتقال بهوسیلهٔ فرایند چرخش، که مکانیسم غالب در انتقال ذرات بزرگتر است، غالب میشود. اهمیت نسبی مکانیسمهای انتقال رسوب وابسته به قدرت جریان است؛ طوری که اهمیت نسبی جهش - تعلیق با افزایش قدرت جریان کم می شود و چرخش در قدرت جریان بالا اهمیت بیشتری می یابد (Asadi et) (al, 2011) نتایج حاکی از آن است که جداسازی و انتقال در شدتهای مختلف با مکانیسمهایی متفاوت انجام می پذیرد (Shi) *et al*, 2012).

با توجه به مطالعات انجامشده و از آنجا که اهمیت نسبی فرایندهای انتقال رسوب بهوسیلهٔ جریان شیاری و نیز مرز بین ذراتی که با مکانیسم جهش - تعلیق یا چرخش منتقل میشوند در خاکهای مختلف با ویژگیهای متفاوت (کلاس اندازهای ذرات متفاوت) و شرایط هیدرولیکی مختلف (قدرت جریانهای متفاوت) هنوز بهروشنی مشخص نیست، هدف تحقیق حاضر بررسی مکانیسمهای انتقال ذرات و اهمیت نسبی آنها در ۵ نمونهٔ خاک با توزیع اندازهٔ متفاوت تحت دبیهای مختلف جریان بود.

مواد و روشها

نمونهبرداری از خاک و آنالیز نمونهها

نمونهٔ خاکها از ۵ منطقهٔ مختلف (جدول ۱) با ویژگیهای متفاوت انتخاب گردید. نمونهبرداری به صورت همزمان و در یک فصل انجام شد. نمونهها از عمق ۰ تا ۲۰ سانتیمتری خاک سطحی بهدست آمد. پس از گذراندن زیرنمونهای از خاکها از الک ۲ میلیمتری، آنالیز فیزیکی و شیمیایی بافت خاک به روش الک ۲ میلیمتری، آنالیز فیزیکی و شیمیایی بافت خاک به روش هیدرومتر (Klute, 1986)، توزیع اندازهٔ ذرات ثانویه به روش الک تر (Blake and Hartge, 1986)، میزان مادهٔ آلی به روش والکی www.SID.ir

و بلک (Page *et al*, 1982)، و میزان کربنات کلسیم به روش تیتراسیون (Page *et al*, 1982) انجام شد. برخی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی نمونهٔ خاکهای بررسیشده در جدول ۱ میآید. نمونهٔ خاک گیلوان، خاک مارنی، شور سدیمی بدون خاکدانهٔ پایدار در آب، نمونهٔ خاک جنگلی با خاکدانههای بسیار پایدار و با میزان مادهٔ آلی زیاد نمونهٔ بکندی آهکی است. نمونهٔ خاک لیلاکوه رسوبات شنی سیلابی رودخانهای است. واکنش (pH) نمونهٔ خاکهای مطالعهشده خنثی و فقط در نمونهٔ جنگلی اندکی اسیدی است.

اجرای آزمایشها

برای انجامدادن این تحقیق و برای شبیهسازی شیار از دستگاه فلوم فرسایشی آزمایشگاه فیزیک و فرسایش خاک دانشگاه گیلان استفاده شد که توصیف آن در Asadi et al (2011) آمده است. فلوم مذکور متشکل از کانالی شفاف به ابعاد ۲٬۵×۲٬۲×۲۵ متر است که روی چارپایهای فلزی قرار می گیرد و یک منبع آب جریان مورد نیاز را با دبی ثابت در داخل کانال تأمین میکند (شکل ۱). فلوم دارای لوازم جانبی شامل آرامکنندهٔ جریان، قطعات نگهدارندهٔ خاک، هموارگر خاک، و وسیلهٔ اندازهگیری عمق آب نیز هست. در تحقیق حاضر برای انجامدادن آزمایشها و بهمنظور یکنواختی جریان و ممانعت از شیاری شدن جریان در فلوم عرض کانال با استفاده از یونولیت به ۰٬۰۵ متر تغییر یافت. آزمایشهای قبلی (Asadi et al, 2011) نشان داد چنانچه عرض جریان زیاد باشد، شیارهای کوچکی در بستر ایجاد می شود که موجب تمركز آب و غير يكنواختى جريان مىشود و امكان محاسبهٔ میانگین تنش برشی و قدرت وجود نخواهد داشت. بهمنظور جلوگیری از نفوذ آب به زیر یونولیت، یونولیت با استفاده از چسب آکواریوم به کف و دیوارهها چسبانده و آببندی شد. برای انجامدادن هر آزمایش، به مقدار لازم از نمونهٔ خاکهای گذرانده شده از الک ۴ میلیمتری (به جز نمونهٔ خاک شمارهٔ ۵) در فلوم ریخته شد و پس از هموارکردن دقیق با یک جریان آرام غیر فرساینده (دبی ۵ > میلی لیتر بر ثانیه در شیب صفر) به مدت یک شب اشباع شد. برای نمونهٔ خاک شمارهٔ ۵ (رسوبات شنی لیلاکوه لنگرود) از الک ۲٬۳۶ میلیمتری استفاده شد. آزمایشهای قبلی نشان داد بهدلیل چگالی بالای ذرات شن، در صورت عبوردادن نمونه از الک ۴ میلیمتری، در دامنهٔ شدت جریانهای بررسی شده در این تحقیق، هیچگونه انتقال ذرهای صورت نمی گیرد (Asadi et al, 2011). بعد از پایان هر آزمایش، خاک از داخل بستر بهآرامی تخلیه شد و در صورت نیاز بستر فلوم، با استفاده از آب، به صورت كامل شسته و پس از خشکشدن کامل بستر دوباره فلوم با خاک پر شد.

	*EC	*MWD	nН	OM	CCE	عرض	طول	مشخصات	منطقة ذمونور دلى	شمارهٔ
_	$(dS m^{-1})$	(mm)	pm	(/.)	(/.)	جغرافيايي	جغرافيايي		للتكلف فللوقدير فاري	خاک
	۰٫۵۹	۱/۰۲	۲ _/ ۶۳	۱,۱۰	۲١,۶	۳۶°۲۲	۴۹°۳۵′	زمین زراعی	بكندى (كوهين قزوين)	١
	۶, •	۱/۲۶	۲,۴۱	۲,۴۴	$\mathbf{A}_{\mathbf{A}}$	۳۶°۵۳′	۴۹゚۳۱	زمین زراعی	توتكابن (رستمآباد گيلان)	٢
	1.74	1,84	۸ <i>،</i> ۴۴	٠٫١۴	۱۶٫۵	۳۶°۴۵	۴۹°۱۵	زمين باير	گیلوان (مرز گیلان_زنجان)	٣
	۲/۳۴	٣,8٢	۶,۶۵	Δ_{I} Y I	۴	۳۶°۵۹′	۴۹゚۳۳΄	جنگل	سدتاریک (امامزاده هاشم گیلان)	۴
	۰,۲۵	۱/۹۴	۷٫۲۳	•	٢	۳۷゚۱۰	۵۰°۰۷	رسوبات رودخانهای	ليلاكوه (لنگرود گيلان)	۵

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی نقاط نمونهبرداری و برخی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی نمونهها

CCE کربنات کلسیم معادل، OM مادهٔ آلی، MWD میانگین وزنی قطر ذرات ثانویه (خاکدانههای) کوچکتر از ۴ میلیمتر و رسوبات شنی لیلاکوه کوچکتر از ۲٬۳۶ میلیمتر، EC هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع

> آزمایشهای فرسایش برای ۵ نمونهٔ خاک تحت ۶ دبی جریان مختلف (در دامنهٔ ۲۰/۰۳ تا ۲/۰ لیتر در ثانیه) و در شیب ۲ درصد انجام شد. این شرایط (ترکیب دبیها و شیب) برای دستیابی به قدرت جریانهای مختلف در دامنهٔ ۲/۰ تا ۱ وات بر Asadi *et al*, 2007 a and (دمانهٔ ۲/۰ تا ۱ وات بر متر مربع و با توجه به مطالعات قبلی (b; Asadi *et al*, 2011 ما داندازه گیریهای متوالی و میزان شیب نیز با شیب سنج مخصوص اندازه گیریهای متوالی و میزان شیب نیز با شیب سنج مخصوص فلوم تنظیم شد. قدرت جریان در واحد سطح ((0) برابر با فلوم تنظیم شد. قدرت جریان در واحد سطح ((0) برابر با مال مرب تنش برشی () در میانگین سرعت جریان (۷) است (pgShV= ρ gShV= ρ gSh شقل، ۲ شیب بستر، h عمق جریان، و p دبی در واحد عرض



شکل ۱. کانال و بستر فرسایشی مورد استفاده

پس از اعمال تیمار مورد نظر، در خروجی فلوم نمونهبرداری از روانآب خروجی انجام شد و نمونههای روانآب در زمانهای ۱، ۳، ۶، ۱۰، ۲۰، ۴۰ دقیقه هر یک به میزان ۲ تا ۵ لیتر جمعآوری گردید. در فواصل نمونهبرداری عمق و سرعت جریان نیز اندازهگیری شد. برای اندازهگیری عمق عمقسنج مخصوص فلوم و برای تعیین سرعت جریان روش رنگسنجی با ۳ تکرار به کار رفت. دامنهٔ تغییرات برخی از ویژگیهای

شیب و دبی در همهٔ آزمایشها ثابت است. همهٔ آزمایشها در شرایط زیر بحرانی (عدد فرود کوچکتر از ۱) انجام شد. سرعت و عمق جریان در خاکهای مختلف اختلاف اندکی دارند. پس از نمونهبرداری، نمونهها روی سری الک با اندازههای ۲، ۱، ۵/۰ الککردن در زیر آب (الک تر) و انتقال ذرات به کروزه در آون با الککردن در زیر آب (الک تر) و انتقال ذرات به کروزه در آون با مدای ۱۰۵ درجه بهمدت ۲۴ ساعت خشک گردید. سپس مقدار هر نمونه روی الک بر حسب گرم بهدست آمد. مقدار خاک موریافته از ریزترین الک نیز با تعیین غلظت و حجم آب عبوری بهدست آمد. فقط در یک نمونهٔ خاک (توتکابن) بنا به ضرورت و بهدست آمد. فقط در یک نمونهٔ خاک (توتکابن) بنا به ضرورت و بهدلیل اینکه بیش از ۱۰ درصد جرم خاک ذرات کوچکتر از بهدای ۲۰٬۴۴ میلیمتر از دادههای هیدرومتر استفاده شد.

تجزيهوتحليل دادهها

از آنجا که در تحقیق حاضر فقط فرایندهای ناشی از جریان (در غیاب بارندگی) بررسی شده و خاک قبل از آزمایش اشباع شده، اثر شکستهشدن خاکدانهها در هنگام آزمایش بر توزیع اندازهٔ ذرات رسوب منتفی یا ناچیز است. اثر توزیع اندازهٔ ذرات (خاکدانهها) خاک اصلی را میتوان با تقسیم بندی توزیع اندازهٔ ذرات خاک به n کلاس قطری با جرم اولیهٔ یکسان (برابر) حذف کرد (Asadi et al, 2007 a; Asadi et al, 2011). بر این اساس و بهمنظور تفسیر نتایج و توضیح فرایندهای دخیل در فرسایش، محاسبات و تبدیلهای زیر انجام شد:

الف) منحنی توزیع اندازهٔ ذرات ثانویهٔ خاک در ۳ تکرار با آزمایش الک تر تعیین شد. با استفاده از منحنی توزیع اندازهٔ ذرات ثانویه، با روشی که Asadi *et al* (2007a) شرح دادهاند، هر نمونهٔ خاک به ۱۰ کلاس قطری به گونهای تقسیم شد که هر کلاس دارای جرم برابر در خاک اصلی باشد. به دیگر سخن، در این روش برای هر خاک تعداد ۱۰ مرز قطری کلاس اندازهای به گونهای تعریف شد که هر کلاس یکدهم جرم کل خاک را شامل شود.

عدد فرود	عدد رينولدز	سرعت (m s ⁻¹)	عمق جريان (mm)	نمونهٔ خاک						
۰,۲۵-۰,۷۱	۳۷۰-۲۹۸۲	۰, <i>۰۶</i> -۰,۲۱	8-14	بكندى						
۰,۲۸-۰,۸۳	780-2461	۰,·۹-·,۲۳	۶-۲۰	توتكابن						
۰٫۳۳᠆۰٫۷۱	VIV-89F1	•,1•-•,7۶	۷-۱۶	گيلوان						
• / Y • – • / Y •	۶۵۳-۴۰۷۵	•,•Y-•,YY	٧-٢٠	جنگلی (سدتاریک)						
۳۸ _/ ۰ - ۱ ۲ _/ ۸۳	877-2060	۰, <i>۰۶</i> -۰,۲۷	۵-۲۰	ليلاكوه						

جدول ۲. دامنهٔ تغییرات برخی ویژگیهای هیدرولیکی جریان در آزمایشهای مختلف (شیب ۵٫۵ تا ۲ درصد، دبی ۳۰ تا ۲۰۰ میلیلیتر بر ثانیه، دبی در واحد عرض ۶ تا ۶۹ مت مید بثانیه)

خاک دو تفاوت اساسی با خاک بکندی و همچنین سایر خاکهای آزمایششده دارد. اول اینکه نقطهٔ اوج دوم خیلی ضعیف است و جز در یکی دو مورد به وضوح دیده نمیشود؛ به گونهای که میتوان توزیع اندازهٔ ذرات رسوب را در این خاک بیشتر یکنمایی دانست. دومین تفاوت مربوط به نقطهٔ اوج اول است که در این خاک، برخلاف خاک بکندی، متشکل از سه کلاس اندازهای است. به بیان دیگر، با افزایش قدرت جریان میزان ذرات ریز کاهش یافته، اما میزان ذرات درشت تغییر برجستهای نکرده است. شاید علت وجود ذرات ریز دانهبندی این خاک باشد. چهار کلاس اندازهای اول، برخلاف سایر نمونهها، کوچکتر از

در شکل ۴ نتایج خاک گیلوان میآید. در این مورد، با افزایش قدرت جریان، توزیع اندازهٔ ذرات رسوب بهتدریج از حالت یکنمایی به حالت دونمایی تغییر میکند؛ طوری که در زمان ۱ دقیقه میزان ذرات ریز (کلاس ۰ تا ۰٬۰۴ میلیمتر) از حدود ۶۰ درصد در قدرت جریان ۰٫۱۲ وات بر متر مربع به کمتر از ۴۰ درصد در قدرت جریان ۰٫۸ وات بر متر مربع کاهش یافته و در مقابل میزان ذرات درشت (کلاس ۱٬۵۶ تا ۴ میلیمتر) از حدود ۵ درصد به ۲۰ درصد افزایش یافته است. شش کلاس میانی اندازه ذرات (از ۲٫۲ تا ۱٫۱۲ میلیمتر) در همهٔ قدرت جریانها بهطور كموبيش يكسان داراى حداقل شدت انتقال اند. در نمونهٔ خاک جنگلی (شکل ۵) توزیع اندازهٔ ذرات رسوب، همچون خاک توتكابن، همواره يكنمايي است؛ با اين تفاوت اساسي كه نقطه اوج مربوط به کوچکترین کلاس اندازهای (۰ تا ۰٬۰۶۵ میلیمتر) است و با افزایش قدرت جریان میزان نسبی ذرات درشت تر به کندی و حداکثر تا ۱۰ درصد افزایش یافت. این نمونهٔ خاک خاکدانههای درشت و کاملاً پایدار در آب دارد.

در نمونهٔ رسوب رودخانهای (شن) حالتی شاخص و کلاسیک از تغییرات دیده می شود. در این مورد، همان طور که در شکل ۶ دیده می شود، در کمترین قدرت جریان آزمایش شده

ب) برای خاکهای بررسی شده در آزمایش های مختلف، خاک دو تفاوت مقدار هر یک از کلاس های قطری ده گانه در رسوب خروجی از خاکهای آزمایش فلوم در زمانهای مختلف تعیین شد. برای این منظور از منحنی ضعیف است و ج توزیع اندازهٔ ذرات رسوب در زمانهای مختلف و مرزهای هر گونهای که میتو کلاس قطری تعیین شده در زمانهای مختلف و مرزهای هر گونهای که میتو نمونهٔ خاک (بکندی)، به دلیل اینکه بیش از ۱۰ درصد جرم خاک است که در این نمونهٔ خاک (بکندی)، به دلیل اینکه بیش از ۱۰ درصد جرم خاک است که در این منونهٔ خاک (بکندی)، به دلیل اینکه بیش از ۱۰ درصد جرم خاک است که در این استفاده) بود، برای تعیین اندازهٔ خاک دانه های کوچک ترین الک مورد کلاس اندازهای استفاده) بود، برای تعیین اندازهٔ خاک دانه های کوچک تر از ۴۴۰٫۰ میلی متر از داده های کوچک تر از ۴۴۰٫۰ میلی متر (کوچک ترین الک مورد است. شاید (توتکابن)، به دلیل اینکه بیش از ۱۰ درصد جرم خاک را ذرات چهار کلاس اندار کوچک ترین الک مورد است. شاید کوچک تر از ۴۴۰٫۰ میلی متر (کوچک ترین الک مورد استفاده) ندر این کرده است. شاید (توتکابن)، به دلیل اینکه بیش از ۱۰ درصد جرم خاک را ذرات چهار کلاس اندار تعیین اندازهٔ خاک دانه های کوچک تر از ۴۴۰٫۰ میلی متر از داده های هیدرومتر استفاده شد. در یک مورد است. شاید (توتکابن)، به دلیل اینکه بیش از ۱۰ درصد جرم خاک را ذرات میلی مترند.

یافتهها و بحث

تغییرات توزیع اندازهٔ ذرات رسوب با زمان بر حسب درصد هر یک از کلاسهای ده گانه برای نمونهٔ خاکهای مطالعه شده در قدرت جریانهای مختلف در شکلهای ۲ تا ۶ میآید. همان طور که در شکل ۲ برای نمونهٔ خاک بکندی مشاهده می شود، توزیع اندازهٔ ذرات رسوب هرچند تغییرات دینامیک دارد، به طور کلی دونمایی (دارای دو نقطهٔ اوج) است. در زمان ۱ دقیقه میزان ذرات ریز (۰ تا ۲۰/۵ میلیمتر) در قدرت جریان ۲/۰ وات بر متر مربع از مربع کاهش یافته است، در حالی که میزان ذرات درشت (۹۶/۰ تا مربع کاهش یافته است، در حالی که میزان ذرات درشت (۹۶/۰ تا مربع به ۱۸ درصد در قدرت جریان ۲/۰ وات بر متر مربع به ۱۸ درصد در قدرت جریان ۵/۰ وات بر متر یافته است. در همهٔ موارد، کلاسهای اندازهای ۵/۰ تا ۲۰/۰ یافته است. در همهٔ موارد، کلاسهای اندازهای ۵/۰ تا ۲۰/۰ میلیمتر دارای حداقل شدت انتقال اند. در همهٔ زمانها روند تقریباً مشابه تکرار شده است.

شکل ۳ تغییرات توزیع اندازهٔ ذرات رسوب را در نمونهٔ خاک توتکابن نشان میدهد. همانطور که دیده میشود، این www.SID.ir



شکل ۳. تغییرات توزیع اندازهٔ ذرات رسوب در نمونهٔ خاک توتکابن در قدرت جریان های الف) ۱۲، (۰۰، ۲) ۲، ج) ۰۰، ۲ (۰۰، ۵) ۰۰، ۶ (۰۰، و و) ۰، ۲ وات بر متر مربع

شکل ۲. تغییرات توزیع اندازهٔ ذرات رسوب در نمونهٔ خاک بکندی در قدرت D.ir جريان هاي الفر) ٢٠/٦، ب) ٠٠/٣، ج) ٠٠/٤، د) ٠٠/٤، و ٥) ٠/٨ وات بر متر مربعب



شکل ۵. تغییرات توزیع اندازهٔ ذرات رسوب با زمان در نمونهٔ خاک جنگلی در قدرت جریانهای الف) ۰٫۳، ب) ۰٫۴، ج) ۰٫۶۰ و د) ۰٫۸ وات بر متر مربع *WWW*.SID.ir

(ب)

<u>n Sa hisi. Hisi, har hisa hisa har har 11.5</u>

114-1181 181-114

کلاس اندازہ ای (میلے

.10-11M

(د)

- 32 - 32 - 32

. a-1/14

.\4^{_.|Q}

ادقيقه

9دقيقه 🖪

۲۰ دقىقە 🖬

Jan Tha 114-11at

۶دقيقه

۲۰ دقىقە 🖪

1/2A-YIA

۳دقيقه 🗖

۱۰ دقیقه 🖾

۴۰دقىقە 🗹

x119-x149

۳ دقىقە 🗆

۱۰ دقیقه 🖾

۴۰دقیقه 🛛

x118-x149

1..

٨٠

۶.

۴.

۱۰۰

٨٠

۶. ۴.

۲.

<u>`</u>^*

.14-.15

10

.187.14 .14^{-.10}

مقدار در رسوب (٪)

.K....

مقدار در رسوب (٪)





نتایج هر ۵ نمونهٔ خاک مطالعه شده در قدرت جریان های مختلف (شکلهای ۲ تا ۶) بیانگر آن است که فرایندهای www.SID.ir



114-1181 18-114

مختلفي براي انتقال ذرات وجود دارد. فرايندهاي مختلف انتقال ذرات در دامنههای مختلفی از قدرت جریان فعال میشوند. این موضوع از تغییر الگو و شدت انتقال ذرات با اندازههای مختلف با تغییر شدت و در نتیجه قدرت جریان قابل استنباط است. از سوی دیگر، فرایندهای مختلف انتقال ذرات موجب انتقال ترجیحی ذرات با اندازههای مشخص می شوند؛ زیرا مثلاً شدت انتقال ذرات درشت (بزرگتر از ۰٫۵ میلیمتر) در دبیهای کم ناچیز است، اما با افزایش دبی (قدرت) جریان و در نتیجه فعال شدن فرایندی دیگر افزایشی قابل توجه مییابد و این در حالی است که در هر دو حالت شدت انتقال ذرات ریز تا متوسط (۰٬۰۵ تا ۱٬۵ میلیمتر) ناچیز و بدون تغییر باقی میماند. نوع و ویژگیهای نمونهٔ خاک تأثیر زیادی بر ظهور و بروز و شدت و ضعف اين فرايندها دارد. اين موضوع تفاوت الكوى توزيع اندازه ذرات رسوب را در قدرت جریانهای مختلف در ۵ نمونهٔ خاک آزمایش شده نشان می دهد. به علاوه اندازهٔ خاصی از ذرات (۵/۰ تا ۰٬۰۵ میلیمتر) در همهٔ شرایط (قدرت جریان و خاکهای مختلف) در مقابل انتقال مقاومت می کند و کموبیش با شدت

پایینی منتقل میشود. وجود الگوی انتخابی در انتقال ذرات خاک بهوسیلهٔ جریان و وابستگی آن به شرایط هیدرولیکی در مطالعات مختلف (,Radi *et al*, 2002; Legue dois *et al*, 2006; Tromp-Asadi *et al*, 2004; Malam *et al*, 2006; Tromp-Asadi *et al*, 2004; Malam *et al*, 2006; Tromp-Asadi *et al*, 2004; Nalam *et al*, 2008) من انتقال (2007b)، ضمن تأیید الگوی انتخابی انتقال ذرات تئوری، انتقال ذرات ریز با مکانیسم جهش تعلیق و انتقال ذرات درشت با مکانیسم چرخش را مطرح کردند. محققان دیگر (,Shi *et al* وابسته است؛ طوری قدرت جریان و البته نوع و ویژگیهای خاک وابسته است؛ طوری که اهمیت نسبی جهش در قدرت جریان بالا اهمیت بیشتری مییابد میشود و چرخش در قدرت جریان بالا اهمیت بیشتری مییابد



برای مقایسه و مشخصشدن بهتر نتایج و توجه ویژه به دامنهٔ اندازهٔ ذرات با حداقل شدت انتقال، توزیع اندازهٔ ذرات رسوب به صورت مجزا در زمان ۱ دقیقه برای هر ۵ نمونهٔ خاک در قدرت جریانهای مختلف استخراج و به صورت منحنی در شکل ۷ رسم شد. از آنجا که در ابتدای آزمایش شدت فرسایش شکل ۷ رسم شد. از آنجا که در ابتدای آزمایش شدت فرسایش بیشتر بود و جداسازی و انتقال ذرات با وضوح بیشتری مشاهده شد و از سوی دیگر توزیع اندازهٔ ذرات بستر هنوز نسبت به حالت اولیه تغییر چندانی نکرده بود، به زمان ۱ دقیقه بسیار توجه شد. نقطهٔ حداقل شدت انتقال را میتوان مرز بین دو مکانیسم جهش در نظر گرفت (Asadi *et al*, ا مکانیسم جهش در اساس اثر قدرت جریان و نوع خاک را بر اهمیت نسبی فرایندهای فرسایش بررسی کرد.



شکل ۷. توزیع اندازهٔ ذرات رسوب در زمان ۱ دقیقه در نمونهٔ خاکهای الف) بکندی، ب) توتکابن، ج) گیلوان، د) جنگلی، و ه) شنی

مرز بین دو مکانیسم در شکل ۷ برای نمونهٔ خاکهای مختلف با فلش مشخص شده است. شواهد ارائهشده در این شکل نشان می دهد: WWW.SID.ir

 ۱. توزیع اندازهٔ ذرات رسوب دونمایی است و شدت و ضعف آن وابسته به نوع خاک و قدرت جریان است.
 ۲. کلاس اندازهای که حداقل شدت انتقال را دارد تحت

شرایط هیدرولیکی جریان و شدت انتقال ذرات بزرگتر یا کوچکتر قرار نمی گیرد و برای هر نوع خاک مختص به همان خاک است. به طور کلی کلاس اندازهای با حداقل شدت انتقال (یا با حداکثر مقاومت در مقابل انتقال) در دامنهٔ ۰٫۰۵ تا ۰٫۰ میلی متر قرار دارد. همان طور که در شکل ۷ مشاهده می شود، با افزایش قدرت جریان میزان مشارکت (سهم نسبی) کلاس های اندازهای درشت در رسوب افزایش می یابد. به بیان دیگر، اهمیت نسبی فرایند چرخش با افزایش قدرت جریان زیادتر می شود.

بین نمونهٔ خاکهای آزمایششده رفتار فرسایشی نمونهٔ خاک منطقهٔ توتکابن بهطور استثنا متفاوت است. همان گونه که در شکل ۷ ب مشاهده میشود، نمیتوان مرز مشخصی بین فرایندهای مختلف انتقال ذرات تعیین کرد. دلیل این موضوع شاید توزیع اندازهٔ ذرات خاص و متفاوت این نمونه در مقایسه با سایر نمونهها باشد. توزیع اندازهٔ ذرات این خاک بیشتر در محدودهٔ کلاسهای اندازهای ریز است. مقایسهٔ توزیع اندازهٔ ذرات در نمونهٔ خاکهای مطالعهشده در شکل ۸ میآید. همان طور که مشاهده میشود، نمونهٔ خاک توتکابن ذرات ریز بیشتری دارد. شاید بتوان علت رفتار متفاوت نمونهٔ خاک توتکابن را نسبت به سایر نمونههای مطالعهشده با این موضوع مرتبط دانست.



شکل ۸. توزیع اندازهٔ ذرات ثانویه در نمونهٔ خاکهای مطالعه شده

eroded soil material. *Journal of Agronomy Crop Science*, 188, 311–322.

- Blake, G. R. and Hartge, K. H. (1986). Bulk Density, in A. Klute, (ed.), *Methods of Soil Analysis*, Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph no. 9 (2nd ed.), pp. 363-375.
- Foster, G. R., Flanagan, D. C., Nearing M. A., Lane L. J., Risse M. and Finkner, S. C. (1995). Hillslope erosion component. Chapter 11 In: D. C. Flanagan, and M. A. Nearing (eds.), USDA-Water Erosion Prediction Project, Technical Documentation. NSERL. Report No. 10, National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana. 11.1-11.12.
- Hogarth, W. L., Rose, C. W., Parlange, J. Y., Sander, G. C. and Carey, G. (2004). Soil erosion due to rainfall impact with no inflow: a numerical solution with spatial and temporal reffects of ir

نتيجهگيرى

نتایج بیانگر آن است که یک الگوی انتخابی در انتقال ذرات خاک بهوسیلهٔ جریان وجود دارد که وابسته به شرایط هیدرولیکی جریان است (شکلهای ۲ تا ۶). فرایندهای مختلفی برای انتقال ذرات وجود دارد و فرایندهای مختلف انتقال ذرات موجب انتقال ترجيحي ذرات با اندازههاي مشخص مي شوند. فرايند غالب در انتقال ذرات فرايند جهش - تعليق و چرخش است (Asadi et al, 2011; Shi et al, 2012). اهمیت نسبی این مکانیسمها وابسته به قدرت جریان و البته نوع و ویژگیهای خاک است؛ طوری که اهمیت نسبی جهش۔ تعلیق با افزایش قدرت جریان کم می شود و چرخش در قدرت جریان بالا اهمیت بیشتری می یابد (شکل ۷). با افزایش قدرت جریان از میزان ذرات ریز کاسته می شود و میزان مشارکت (سهم نسبی) کلاسهای اندازهای درشت در رسوب افزایش می یابد. به بیان دیگر، اهمیت نسبی فرایند چرخش با افزایش قدرت جریان زيادتر می شود. نتايج به طور مشخص اهميت نسبی فرايندهای انتقال رسوب را نشان می دهد. در توزیعهای دونمایی، نقطهٔ حداقل شدت انتقال را میتوان مرزی دانست که ذرات کوچکتر از آن عمدتاً با مكانيسم جهش تعليق و ذرات بزرگتر از آن عمدتاً با مکانیسم چرخش منتقل می شوند. کلاس اندازهای با حداقل شدت انتقال (نقطهٔ حداقل شدت انتقال) در هر خاک مخصوص و منحصر به همان خاک است و تحت تأثیر شرایط هیدرولیکی جریان و انتقال سایر ذرات با اندازهٔ بزرگتر یا کوچکتر قرار نمی گیرد (شکل ۷) و فقط اهمیت نسبی دو مکانیسم تغییر می یابد. این نتایج در دامنهٔ قدرت جریان ۰٬۰۲ تا ۸٫۰ وات بر متر مربع بهدست آمد و برای قدرت جریانهای بالاتر باید آزمایشهای بیشتری انجام شود.

REFERENCES

- Allen, J. R. L. (1994). Fundamental properties of fluids and their relation to sediment transport processes.
 In: K. Pye (ed.), *Sediment Transport and Depositional Processes*, Chapter 2, Blackwell Scientific Publications. pp 25-60.
- Asadi, H., Ghadiri, H., Rose, C. W., Yu, B. and Hussein, J. (2007a). An investigation of flowdriven soil erosion processes at low stream powers. J. of Hydrology, 342, 134-142.
- Asadi, H., Ghadiri, H., Rouhipour, H. and Rose, C.W. (2007b). Interrill soil erosion processes and their interaction in low slopes. *Earth Surface Processes and Landform*, 32(5), 711-724.
- Asadi, H., Moussavi, S. A., Ghadiri, H. and Rose, C.W. (2011). Flow-driven soil erosion processes and the size selectivity of sediment. *J. of Hydrology*, 406, 73–81.
- Basic, F., Kisic, I., Nestroy, O., Mesic, M. and Butorac, A. (2002). Particle size distribution (texture) of

sediment settling velocity characteristics. J. *Hydrol*, 294, 229–240.

- Klute, A. (1986). *Methods of Soil Analysis*. Part1. Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America, Wisconsin, USA.
- Laflen, J. M., Lane, L. J. and Foster, G. R. (1991). WEPP: a new generation of erosion prediction technology. *J. Soil Water Conserv.* 46, 34–38.
- Legue'dois, S. and Bissonnais, Y. L. (2004). Size fractions resulting from an aggregate stability test, interrill detachment and transport. *Earth Surf. Processes Landforms*, 29, 1117–1129.
- Malam Issa, O., Bissonnais, Y. L. Planchon, O. Favis-Mortlock, D., Silvera, N. and Wainwright, J. (2006). Soil detachment and transport on fieldand laboratory-scale interrill areas: Erosion processes and the size-selectivity of eroded sediment. *Earth Surf. Processes Landforms*, 31, 929–939.
- Misra, R. K. and Rose C. W. (1996). Application and sensitivity analysis of process-based erosion model GUEST. *Euro. J. of Soil Sci.* 47:593-604.
- Mitchell, J. K., Mostaghimi, S. and Pound, M. (1983). Primary particle and aggregate size distribution of eroded soil from sequenced rainfall events. *Trans. ASAE* 26, 1773–1777.
- Moss, A. J., Walker, P. H. and Hutka, J. (1979). Raindrop-stimulated transportation in shallow

water flows: An experimental study. *Sediment Geol.* 22, 165–184.

- Page, A. L., Miller, R. H. and Keeny, D. R. (1982). *Methods of Soil Analysis*, Part II, Chemical and Microbiological Properties American Society of Agronomy. Inc. Soil Sci. Am. Madison, Wisconsim, USA.
- Polyakov, V. O. and Nearing, M. A. (2003). Sediment transport in rill flow under deposition and detachment conditions. *Catena* 51, 33–43.
- Proffitt, A. P. B., and Rose, C. W. (1991). Soil erosion processes: II. Settling velocity characteristics of eroded sediment. *Aust. J. Soil Res.* 29, 685–695.
- Shi, Z. H., Fang, N. F., Wu, F. Z., Wang, L., Yue, B. J. and Wu, G. L. (2012). Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. *J. of Hydrology*, 454–455, 123–130.
- Tromp-van Meerveld, H. J., Parlange, J. Y., Barry, D. A., Tromp, M. F., Sander, G. C., Walter, M. T. and Parlange M. B. (2008). Influence of sediment settling velocity on mechanistic soil erosion modeling. *Water Resources Research.*, 44, W06401.
- Young, R. A. (1980). Characteristics of eroded sediment. *Trans. ASAE* 23, 1139–1142, 1146.