

## فهم فرسایش شیاری در شرایط خاک خشک و مرطوب

سوما محمدپور<sup>۱</sup>، حامد روحانی<sup>۱\*</sup>، حجت قربانی واقعی<sup>۲</sup>، سید مرتضی سیدیان<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

<sup>۲</sup> گروه شیلات و جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

### چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت:

۹۳/۱۲/۰۶

اصلاح:

۹۴/۱۲/۰۷

پذیرش:

۹۵/۱/۳۱

فرسایش شیاری یکی از مهمترین انواع فرسایش آبی است و در نتیجه تمرکز جریان به وجود می‌آید. در این تحقیق با هدف چگونگی رفتار فرسایشی شیار، رواناب و غلظت رسوب در طول شیار با دبی ۱۲ لیتر بر دقیقه بررسی شد. با این آزمایشات تغییرات حجم، سرعت و غلظت رسوب رواناب در طول چهار شیار فرسایشی در اراضی سد گلستان با بافت خاک لوم سیلتی مورد بررسی قرار گرفت. جریان ورودی با دو تیمار خشک و مرطوب، در ابتدای شیارها به مدت زمان ۱۰ دقیقه اعمال شد. برای هر شیار در سه نقطه اندازه‌گیری به فواصل ۵، ۱۰ و ۱۶ متری از مبدا طول شیار، غلظت رسوب و دبی جریان اندازه‌گیری و با استفاده از ردیاب رنگی، منحنی‌های سرعت رواناب برای هر متر از شیار رسم شد. نتایج نشان داد که سرعت رواناب در تیمار مرطوب نسبت به تیمار خشک بیشتر است. اولین رواناب جاری شده در تیمار خشک با وجود حداقل سرعت جریان حداکثر مقدار غلظت رسوب را نشان داد. در طول زمان و افزایش طول شیار سرعت جریان افزایش یافت؛ اما توانایی حمل جریان کاهش و مقدار رسوب معلق کمتر شد. تغییرات غلظت رسوب در واحد زمان نشان‌دهنده عدم ایجاد فرآیند فرسایشی مهمی با جریان ورودی در این آزمایشات است و انتقال رسوبات در شیار بیشتر ناشی از اثر بولدوزری است. همچنین در دو شیار مورد تحقیق که فقط عامل درصد پوشش گیاهی اختلاف معنی‌داری داشتند، تفاوت آشکار در میزان حجم رواناب و غلظت رسوب مشاهده شد.

واژگان کلیدی:

سد گلستان

سرعت رواناب

حجم رواناب

غلظت رسوب

### ۱- مقدمه

فرسایش خاک مهمترین مشکل تخریب زمین در سرتاسر جهان است (Vrieling, 2006). بررسی فرآیند فرسایش خاک و تولید رسوب و ارزیابی عوامل حاکم بر آن از ضروریات مدیریت صحیح منابع موجود در یک حوزه آبخیز می‌باشد. دو فرآیند اصلی فرسایش آبی، فرسایش شیاری و بین‌شیاری است که مکانیسم کاملاً متفاوتی دارند. فرآیندهای فرسایش شیار شامل جداسازی، برداشت و انتقال ذره خاک است (Yao et al. 2008). ویرتز<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) در منطقه‌ی آندولوزیای جنوب اسپانیا نرخ فرسایش شیاری را ۲۰ تا ۶۰ برابر فرسایش بین‌شیاری در آن محل برآورد کردند. همچنین مورگان<sup>۲</sup> (۲۰۰۵) بیان کرد که فرسایش شیاری در حدود ۷۰-۵۰٪ کل فرسایش خاک را به خود اختصاص می‌دهد. به‌علاوه درفلات لسی چین سهم فرسایش شیاری بیشتر از ۷۰٪ فرسایش دامنه‌ای و در حدود ۵۰٪ کل فرسایش خاک برآورد شده است (Li et al. 2010).

<sup>1</sup> Wirtz

<sup>2</sup> Morgan

در طول ۵۰ سال گذشته کمیت و کیفیت تحقیقات فرسایش شیاری شامل تشکیل شیار، شبکه شیار و تأثیر فاکتورهای مختلف بر شکل شیار بوده است. Bai *et al.* 2007; Luo *et al.* 2012; Wang and Shangguan, 2012 and Zhang *et al.* (2012). همچنین نتایج مختلف از آزمایشات میدانی، آزمایشگاهی، سنجش از دور و عکس‌های هوایی (Gessesse *et al.* 2010 and Huo *et al.* 2011)، جداسازی و انتقال رسوب را در شیار توصیف و پیش‌بینی کرده‌اند (Hessel and Jetten, 2007). به علاوه گاورز<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۷) مطالعات کاملی راجع به آزمایشات، مدل‌سازی و مشاهدات میدانی شیار دارد. از آنجایی‌که در تحقیقات گذشته تنها تأثیر یک عامل در شیار بررسی می‌شد، اثرات متقابل عوامل مختلف هنوز هم ناشناخته مانده است.

عوامل بارش، رواناب، توپوگرافی، پوشش گیاهی و سیستم کشت‌وکار تأثیر مهمی در توسعه شیار و تولید رسوب دارند. البته عوامل اصلی و قابل کنترل در فرسایش شیاری ترکیبی از رواناب و خاک است و دیگر عوامل تأثیر غیرمستقیم دارند که باعث افزایش و کاهش عوامل اصلی می‌شوند (Wirtz *et al.* 2012). تحقیقات نشان داده که وجود خاک سله‌بسته در شروع فرسایش اهمیت زیادی دارد (Remley *et al.* 1989; Singer and Le, 1998; Ding *et al.* 2001; Cai *et al.* 2002; Cheng *et al.* 2005). از یک‌سو خاک سله‌بسته سبب کاهش نفوذ شده و در نتیجه منجر به افزایش فرساینده‌گی رواناب در شیار می‌شود (Ding *et al.* 2001; Morgan, 2005 and Wirtz *et al.* 2013). از طرف دیگر خاک سله‌بسته با افزایش تنش برشی، برداشت خاک را کاهش و مانع کل فرسایش خاک می‌شود (Cai *et al.* 2004 and Cheng *et al.* 2005). اگرچه در فرایند تشکیل شیار، جریان ورودی نقش مهم‌تری نسبت به سطح خاک سله بسته ایفا می‌کند (Loch *et al.* 1987; Beven, 1996 and Liu *et al.* 2004). زمانی که در اثر بارندگی درصد رطوبت در خاک به نقطه اشباع برسد و نیروی جریان تمرکز یافته از میزان آستانه بیشتر شود، شیارها بوسیله جدایش و انتقال خاک‌های پایین دست دامنه به وجود می‌آیند. به عبارت دیگر ذرات خاک جدا شده بوسیله قطرات باران در فرسایش بین‌شیاری، توسط جریان تمرکز یافته به داخل شیار منتقل می‌شوند (Dunne, 1980). شیارهای کوچک براساس هیدرولیک منطقه در داخل کانال‌های بزرگتر به هم ملحق می‌شوند و شبکه‌های شیاری متفاوتی را در انواع خاک‌ها و شیب‌های متفاوت به وجود می‌آورند. در فرسایش‌های شدید، در نقطه‌ای که شیارها بهم پیوسته‌اند، در نهایت به هدکت یا نقطه گسیختگی<sup>۴</sup> تبدیل می‌شوند. شاخه‌های شیاری جدید ایجاد شده، یا به دلیل فرسایش کناره‌های شیار یا به دلیل افزایش تنش برشی جریان بیش از مقدار بحرانی به هم می‌پیوندند (Bryan, 2004). گیمنز و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۴) در یک فلوم آزمایشگاهی توزیع سرعت در شیارها و رابطه بین سرعت جریان و مورفولوژی بستر شیار را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که زبری بستر با شیب افزایش می‌یابد، در حالیکه سرعت جریان کاهش می‌یابد. سرعت آب تا آستانه عدد فرود بین ۱/۳ و ۱/۷ افزایش می‌یابد و در نهایت یک پرش هیدرولیکی ایجاد شده که منجر به تشکیل یک حفره آبستتگی می‌شود. به بیان دیگر عوامل عرض کانال، عمق جریان و ضریب زبری سطحی با تأثیر بر رفتار سیال، میانگین سرعت، ظرفیت جداسازی و ظرفیت انتقال را تغییر می‌دهند. البته چگونگی تأثیر عوامل جریان و اثرات متقابل آنها در فرآیندهای فرسایش شیار و خندق‌های کوچک، تفاوت‌های عمده‌ای با رودخانه‌ها و نهرها دارد (Torri *et al.*, 2006; Sidorchuk, 2009) و به راحتی به شیارهای طبیعی قابل تعمیم نمی‌باشد.

حسینی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی عوامل موثر بر فراوانی فرسایش شیاری در مشهد به این نتیجه رسیدند که پارامترهای درصد پوشش سطح زمین، درصد تاج پوشش گیاهی، درصد سنگریزه سطح زمین و میزان رس موجود در خاک، تأثیر معنی‌دار

<sup>3</sup> Govers

<sup>4</sup> knichpoint

<sup>5</sup> Giménez *et al.*,

و معکوسی بر فراوانی شیار در واحد طول دارند. همچنین فراوانی شیارها در واحد طول با پوشش سطح زمین بیشترین ضریب همبستگی را داشت. در مطالعه‌ای که واعظی و قره‌داغلی (۱۳۹۲) برای کمی کردن فرسایش شیاری در زنجان‌رود انجام دادند، مشخصه‌های فیزیکی شیار مانند عرض، عمق، سطح مقطع، طول، حجم، تراکم شیار و میزان فرسایش شیاری اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تمام مشخصه‌های شیار به جز طول آن همبستگی معنی‌دار با تندی شیب و ویژگی‌های خاک مانند توزیع اندازه ذرات، نسبت جذب سدیمی، پایداری خاکدانه و هدایت هیدرولیکی اشباع دارند. همچنین عمق شیار بالاترین رابطه را با تندی شیب و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نشان داد.

با توجه به اینکه موفقیت در مهار فرسایش و رسوب نیازمند شناخت و بررسی آن با استفاده از داده‌ها و آمار تولید رسوب است، از طرفی در کشورهای درحال توسعه بخصوص ایران مشکلات بررسی و مطالعات فرسایش، نبود آمار مناسب است؛ بنابراین مطالعه، اندازه‌گیری و کمی کردن فرسایش شیاری ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق، اثر رواناب شبیه‌سازی شده بر منحنی‌های سرعت رواناب و غلظت رسوب در طول شیار به وسیله انجام آزمایش‌های میدانی مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی در اطراف سد گلستان به مساحت دو هکتار در ۱۵ کیلومتری شهر گنبد کاووس انتخاب شد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه دارای بارش متوسط سالانه ۴۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای ۱۸/۶ درجه سانتی‌گراد است. به طوریکه قسمت اعظم نزولات آسمانی در فصل سرد بوقوع می‌پیوندد. فصل تابستان آن نسبتاً گرم و خشک می‌باشد و با توجه به آمار منحنی تغییرات درجه حرارت و بارندگی با داشتن ۲۰۰-۱۵۰ روز خشک جزء مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک و با داشتن فصل سرد و مرطوب و فصل گرم و خشک جزء رژیم خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود.



شکل ۱: نمای از محدوده مورد مطالعه در اطراف سد گلستان: الف: شیارها از نمای نزدیک ب: تصویر گوگل ارث

### ۲-۲- اندازه‌گیری فرسایش شیاری

سرعت جریان و غلظت رسوب در فرسایش شیاری دارای اهمیت است، لذا در این تحقیق مقدار این دو پارامتر در سه نقطه انتخابی در طول شیار مورد بررسی قرارگرفت. بدین منظور در پاییز ۱۳۹۱، چهار شیار آزمایشی در دامنه شمالی اطراف سد گلستان انتخاب و طول آن‌ها به فاصله هر متر علامت‌گذاری شد. با استفاده از خط‌کش، میله یک متری و تراز یاب شیب هر

متر طولی شیار محاسبه شد. برای تعیین سطح مقطع عرضی در نقاط موردنظر شیار نیز از متر نواری استفاده شد. در انتهای پایین‌دست هر شیار، گودالی به عمق ۰/۵ متر برای جمع‌آوری رواناب و رسوب تعبیه شد. قبل از شروع هر آزمایش دبی جریان ورودی شیار به روش حجمی تنظیم شد. بر روی هر سه مخزن تغذیه یک مخزن تنظیم با ارتفاع ثابت به منظور ثابت نگه‌داشتن دبی در طول آزمایش نصب شد (شکل ۲).



شکل ۲: نمایی از مخازن تغذیه و ردیاب رنگی

بر روی هر شیار یک آزمایش با دو تیمار خشک و مرطوب انجام شد. برای تیمار خشک در مدت زمان آزمایشی ۱۰ دقیقه، ابتدا جریان ورودی به شیار با دبی ثابت ۱۲ لیتر بر دقیقه به مدت سه دقیقه وارد کانال شیار شد و بر اساس زمان‌های رسیدن آب (رواناب اولیه) در هر متر از شیار منحنی تجمعی سرعت رواناب بدست آمد. بعد از گذشت سه دقیقه بلافاصله از مخزن آب دوم با ردیاب خوراکی آبی (ردیاب ۱) جهت پایش آب در هر متر طول شیار استفاده شد. در چهار دقیقه آخر آزمایش از مخزن آب سوم که از ردیاب قرمز (ردیاب ۲) استفاده شده بود، سرعت رواناب در طول هر متر شیار بدست آمد. بعد از ۱۵ دقیقه مرحله‌ی دوم آزمایش (تیمار مرطوب) در شرایطی که خاک مرطوب بود؛ با همین روش بر روی شیار مورد آزمایش، تکرار و داده‌های موردنظر ثبت شد. با ثبت فاصله زمانی آغاز دبی ورودی به شیار تا خروج دبی از انتهای شیار با کرنومتر، زمان رسیدن رواناب به پایین دست شیار برای هر تیمار مشخص شد (Wirtz et al., 2012).

برای هر شیار سه نقطه اندازه‌گیری شامل نقطه اندازه‌گیری اول (A) در ۵ متری و نقطه اندازه‌گیری دوم (B) در ۱۰ متری از ابتدای شیار و نقطه سوم (C) در انتهای شیار انتخاب شد. در نقاط A و B علاوه بر اندازه‌گیری دبی جریان، سه نمونه رواناب برداشت شد. نمونه اول به محض رسیدن روان‌آب و نمونه‌های دوم و سوم به ترتیب بعد از ۳ دقیقه و ۶ دقیقه پس از آن تهیه شد. همچنین برای شبیه‌سازی، نمونه‌های رواناب در نقطه اندازه‌گیری سوم (C) در انتهای شیار توسط استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. در نقطه C تغییرات زمانی حجم رواناب و غلظت رسوب به ترتیب در فواصل زمانی یک دقیقه‌ای و دو دقیقه‌ای مورد مقایسه قرار گرفت. با مشخص بودن حجم رواناب ورودی و خروجی با استفاده از استوانه مدرج (Marques et al., 2007) مقدار نفوذپذیری خاک در شیار آزمایشی محاسبه شد. در آزمایشگاه به روش فیلتراسیون نمونه بار معلق (Keim et al., 2006)، غلظت رسوب در سه نقطه در شیار اندازه‌گیری شد و نتایج حاصل شامل تغییرات منحنی سرعت رواناب، حجم رواناب و غلظت رسوب در دو مرحله خشک و مرطوب مقایسه شد. پوشش گیاهی سطح شیار به روش خطی اندازه‌گیری شد. قبل از آزمایش نمونه‌های خاک سطحی از نقاط مجاور شیار از عمق ۵ سانتی‌متری برای تعیین برخی خصوصیات فیزیکی خاک تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد. بافت خاک از روش هیدرومتری، وزن مخصوص ظاهری خاک از روش کلوخه، درصد ماده‌آلی از روش

والکی و بلک (Walkly and Black, 1934) و درصد آهک به روش تیتراسیون دی کرومات پتاسیم (Nelson, 1982) محاسبه شد. مشخصات شیارها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات شیارهای انتخابی

شیار I	شیار II	شیار III	شیار IV	
۱۶	۱۶	۱۹	۱۷	طول (متر)
۹۰	۵	۴۰	۱۰	پوشش گیاهی (%)
۱۹/۳	۲۲/۵	۱۸/۳	۱۷/۰	شیب (%)
۱/۳۹	۱/۳۰	۱/۴۵	۱/۳۵	وزن مخصوص ظاهری (g/cm <sup>3</sup> )

### ۳- یافته‌ها (نتایج)

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اطراف شیارهای مورد نظر در جدول (۲) ارائه شده است. بافت خاک منطقه عمدتاً لوم سیلتی است و pH آن بیش از ۷/۵ می‌باشد و حکایت از آهکی بودن خاک دارد. نتایج اندازه‌گیری میزان آهک خنثی نشان داد که درصد آهک خاک بیش از ۱۵ درصد است و مقدار میانگین عددی آن برابر ۲۱/۵٪ است. مطالعات ویشمایر و مانرینگ (۱۹۶۵)<sup>۶</sup> نشان داد که تغییر جزئی در مقدار سیلت خاک به علت چسپندگی پایین و قابلیت انتقال آسان با تغییر قابل توجهی در میزان فرسایش پذیری همراه است. از آنجا که مقدار سیلت خاک در حدود ۶۰٪ و مقدار آهک خاک بالاست می‌توان انتظار داشت که منطقه مستعد انواع فرسایش شیاری، خندقی و تونلی باشد. از طرفی ژانگ و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۲) گزارش کردند که بین مقدار رس و عامل فرسایش پذیری خاک از نظر آماری یک همبستگی معنی‌دار و منفی وجود دارد. لذا مقدار رس ۶/۶ درصدی خاک می‌تواند مستعد بودن آن را به فرسایش نشان دهد.

جدول ۲: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اطراف سد گلستان

شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	آهک (%)	کربن آلی (%)	ماده آلی (%)	pH	
۱۶/۸۰	۵۴/۷۳	۳/۰۷	۱۹/۵۴	۰/۳۵	۰/۶۰	۷/۶۲	حداقل
۴۱/۳۳	۷۵/۰۷	۱۰/۳۳	۲۴/۹۶	۰/۷۴	۱/۲۸	۸/۱	حداکثر
۲۶/۲۰	۶۷/۱۴	۶/۶۶	۲۱/۵۵	۰/۵۹	۱/۰۱	۷/۸	میانگین

نتایج مربوط به آزمایش شبیه‌سازی رواناب شیار I در شکل ۳ خلاصه شده است. طبق شکل (۳) متوسط سرعت جریان در تیمار خشک و مرطوب شیار I به ترتیب برابر ۰/۰۷ و ۰/۱۰ متر بر ثانیه است. پایین بودن سرعت جریان در تیمار خشک به علت بالا بودن نرخ نفوذ خاک و بالا بودن نرخ انتقال جریان در این تیمار است. همچنین سرعت رواناب اولیه نسبت به دقایق بعدی (ردیاب ۱ و ردیاب ۲) پایین‌تر است. از طرفی حداکثر میزان غلظت رسوب در این شیار برابر ۶/۲۴ گرم در لیتر در نقطه A و به محض رسیدن اولین رواناب ثبت شد که نشان داد عمده بار رسوب ناشی از حرکت مواد سست سطحی موجود در شیار و در دقایق ابتدایی آزمایش است. این لایه سست سطحی بدلیل هوازدگی، خشک شدن و لگدکوبی خاک توسط دام در بین دو واقعه بارندگی رخ می‌دهد که حرکت این مواد سست در ابتدای شیار اثر بولدوزری نامیده می‌شود (Wirtz et al., 2012). بنت و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۰) در آزمایش خود در حالت شرایط محدودیت انتقال مشاهده کردند که تخریب بستر در بالادست کانال از پایین دست

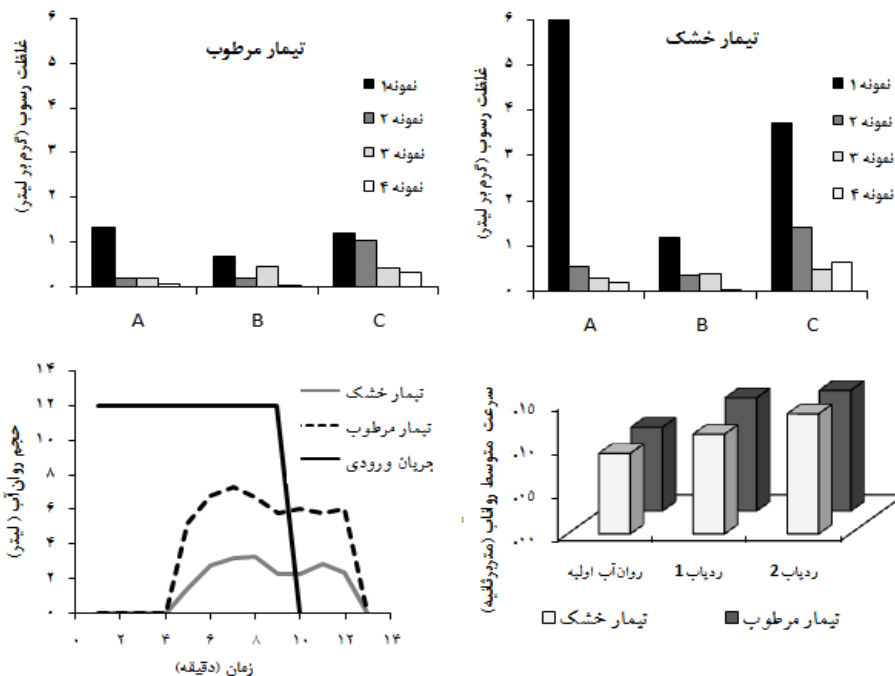
<sup>۶</sup> Wischmeier and Mannering

<sup>۷</sup> Zhang et al.

<sup>۸</sup> Bennet et al.

بیشتر است که با نتایج این تحقیق که مقدار غلظت رسوب در نقطه اول مشاهداتی نسبت به دو نقطه دیگر بیشتر بود مطابقت دارد.

به علاوه متوسط غلظت رسوب در تیمار خشک ۴/۷ برابر تیمار مرطوب است. بنابراین بررسی نتایج شیار I نشان می‌دهد که انتقال مواد در تیمار مرطوب حتی با وجود سرعت جریان بالاتر فرآیندهای فرسایشی را ایجاد نمی‌کند به طوری که حداکثر غلظت رسوب تیمار مرطوب بسیار پایین و حدود ۰/۵۰ گرم بر لیتر است (اثرات بولدوزری جزئی + فرسایش جزئی). در تیمار خشک مواد سست اساساً تحت تاثیر اثر بولدوزری ناشی از رواناب اولیه حرکت می‌کنند (اثرات بولدوزری بالا + فرسایش پایین) و غلظت رسوب بیشتر نقطه C نسبت به نقطه B نشان‌دهنده وجود مواد سست زیادی بالاتر از نقطه C است. به علاوه نمودار حجم رواناب خروجی در انتهای شیار ضریب رواناب پایین را در این شیار نشان می‌دهد که به دلیل پوشش گیاهی بالا در داخل آن البته به صورت فصلی و موقتی است که بیانگر آنست که پوشش گیاهی یک متغیر مهم در ابعاد و حجم رواناب شیار می‌باشد که با تحقیقات ست لوعالی و بکدال<sup>۹</sup> (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

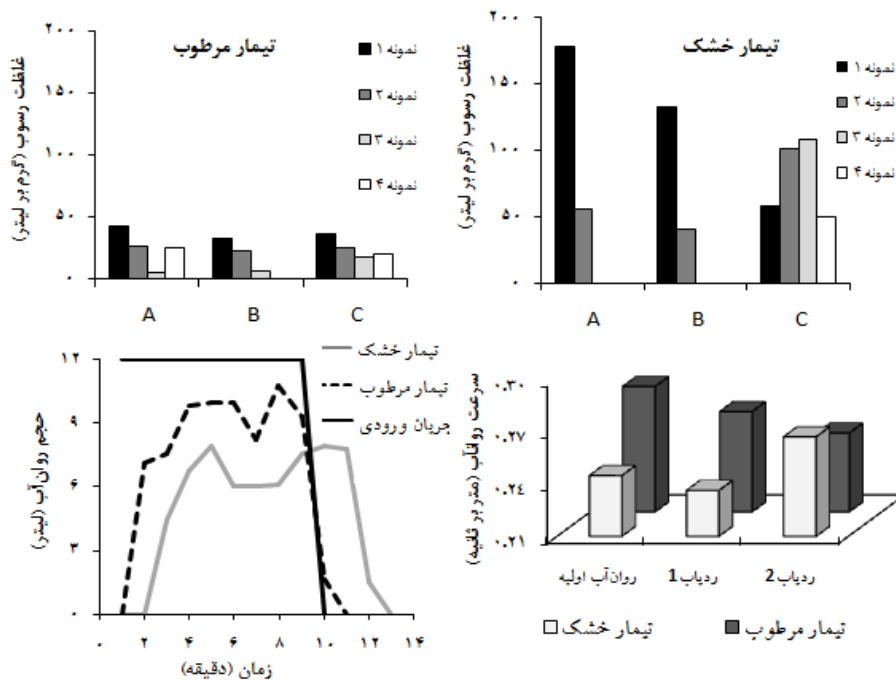


شکل ۳: تغییرات سرعت رواناب در طول زمان، تغییرات غلظت رسوب در نقاط برداشت نمونه و تغییرات زمانی حجم رواناب در انتهای شیار I

در شیار II متوسط سرعت جریان در تیمار خشک و مرطوب به ترتیب برابر ۰/۲۰ و ۰/۲۳ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد (شکل ۴). همچنین اختلاف سرعت جریان رواناب اولیه با زمان‌های بعدی آزمایش پایین است. حداکثر غلظت رسوب در این شیار برابر ۱۷۸/۲۱ گرم در لیتر و در تیمار خشک است. مقایسه نمودارهای غلظت رسوب در این شیار نشان می‌دهد که در تیمار خشک علاوه بر اثر بولدوزری، فرآیندهای فرسایشی هم باعث تولید رسوب شده‌اند زیرا غلظت رسوب نمونه دوم و سوم در نقطه C در طول زمان افزایش پیدا کرده است، بنابراین وجود فرآیند فرسایش بالاتر از نقطه C اثبات می‌شود ولی تأثیر رواناب اولیه بیشتر است (اثر بولدوزری بالا + فرسایش پایین).

<sup>9</sup> Seutloali and Beckedahl

در تیمار مرطوب هرچند که اثر بولدوزری محسوس ریخ نمی‌دهد اما با افزایش سرعت رواناب نسبت به تیمار خشک توانایی جریان برای کنش بستر بیشتر شده و فرآیندهای فرسایشی عامل اصلی تولید رسوب هستند (اثر بولدوزری ناچیز + فرسایش پایین). به علاوه در تیمار مرطوب کاهش سرعت رواناب در طول زمان وقوع فرآیندهای فرسایشی را اثبات می‌کند. مقایسه نمودار حجم رواناب در تیمار خشک و مرطوب نشان می‌دهد که رواناب در تیمار مرطوب با وجود حجم بالاتر نسبت به تیمار خشک اما به دلیل سرعت بالاتر و غلظت پایین تر حدود یک دقیقه زودتر به انتهای شیار می‌رسد. همچنین حجم رواناب خروجی از انتهای شیار نشان‌دهنده ضریب رواناب بالا در این شیار به دلیل پوشش گیاهی ضعیف است.

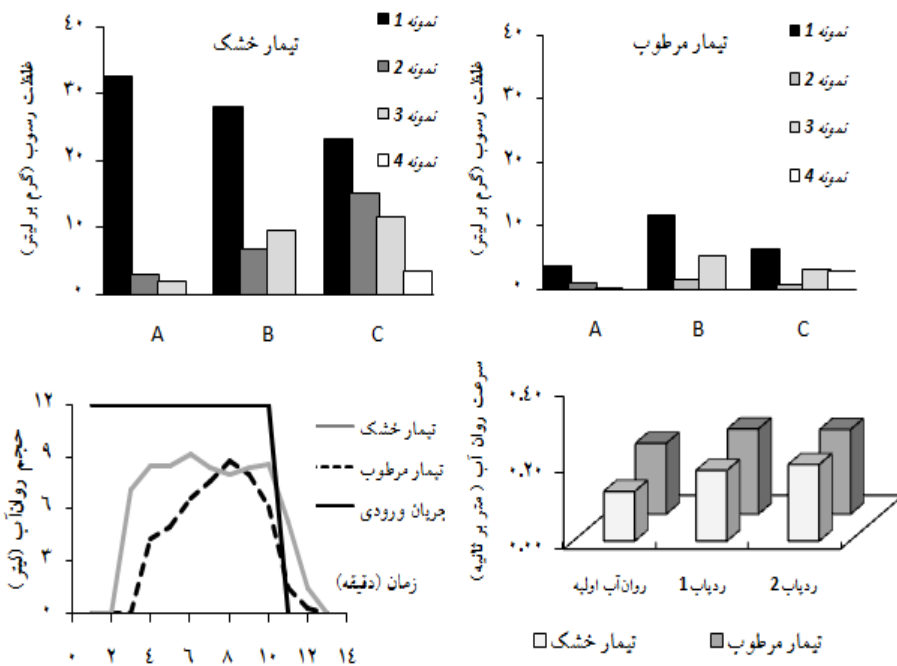


شکل ۴: تغییرات سرعت رواناب در طول زمان، تغییرات غلظت رسوب در نقاط برداشت نمونه و تغییرات زمانی حجم رواناب در انتهای

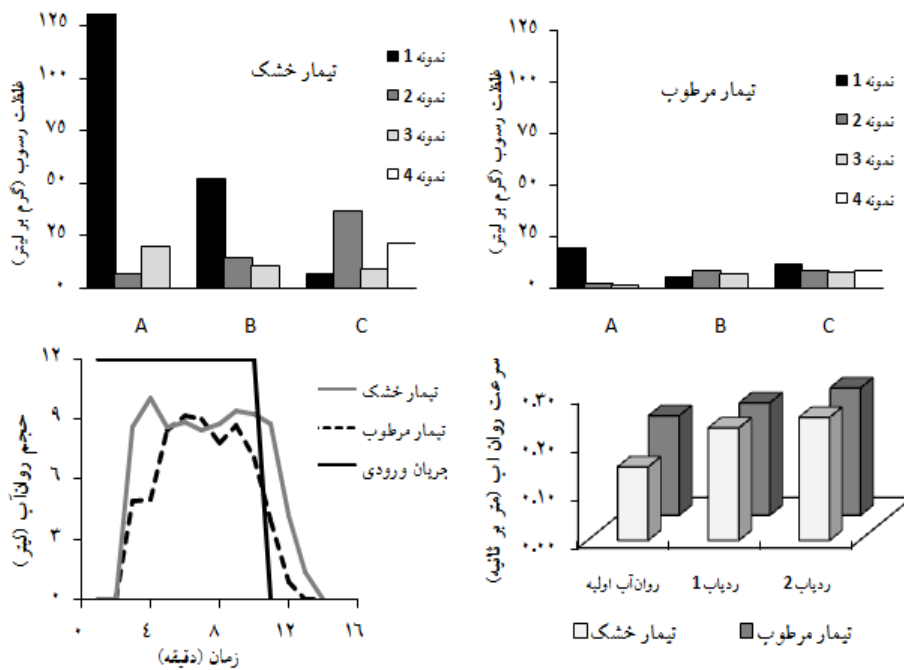
## شیار II

نمودارهای غلظت رسوب، حجم رواناب و متوسط سرعت رواناب مربوط به شیار III در شکل ۵ نمایش داده شده است. حداکثر غلظت رسوب اندازه‌گیری شده در این شیار برابر  $32/62$  گرم در لیتر برای تیمار خشک و مربوط به زمان رواناب اولیه است. بنابراین در تیمار خشک اثر بولدوزری عامل اصلی تولید رسوب است (اثر بولدوزری بالا + فرسایش ناچیز). در تیمار مرطوب غلظت رسوب بدلیل اثر بولدوزری ضعیف که فقط مواد باقیمانده از مرحله خشک را برداشت می‌کند، پایین است (اثر بولدوزری پایین + فرسایش ناچیز). با توجه به نمودار تغییرات حجم رواناب در انتهای شیار مشاهده می‌کنیم که تیمار مرطوب به علت نفوذ پایین تر حجم رواناب بالاتری نسبت به تیمار خشک دارد.

در شکل ۶ نتایج مربوط به شیار IV نشان داده شده است. باتوجه به حداکثر غلظت رسوب در نمونه اول تیمار خشک همانند دیگر شیارها اثر بولدوزری فرآیند اصلی تولید رسوب در تیمار خشک محسوب می‌شود. اما افزایش غلظت رسوب نمونه دوم در انتهای شیار نشان‌دهنده وقوع فرآیندهای فرسایشی بالاتر از نقطه C است (اثر بولدوزری بالا + فرسایش پایین). در تیمار مرطوب با وجود سرعت جریان بالاتر تنها مواد باقیمانده از تیمار خشک جابه‌جا می‌شود و اثر بولدوزری ضعیفی رخ می‌دهد. همچنین تنش برشی جریان توانایی کنش بستر را ندارد (اثر بولدوزری پایین + فرسایش ناچیز).



شکل ۵- تغییرات در سرعت روان آب (در طول زمان)، غلظت رسوب (در نقاط برداشت نمونه) و حجم روان آب در انتهای شیار III



شکل ۶- تغییرات در سرعت روان آب (در طول زمان)، غلظت رسوب (در نقاط برداشت نمونه) و حجم روان آب در انتهای شیار IV  
 نتایج این مطالعه با مطالعات دیگر (Cochrane and Flanagan, 1997; Merten *et al.* 2001 and Li *et al.* 2010) قابل مقایسه است. به طوریکه کوچران و فلانگان<sup>۱۰</sup> (۱۹۹۷) بیان داشتند که جداسازی ذرات پایین دست کانال با اضافه شدن رسوبات

<sup>10</sup> Cochrane and Flanagan



بالادست کاهش می‌یابد. همچنین مرتن و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۱) نتیجه گرفتند که کاهش جداسدگی ذرات با افزایش غلظت رسوب در طول کانال به علت افزایش مواد معلق و مواد بستر می‌باشد که منجر به کاهش ظرفیت جداسدگی می‌شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که با رواناب شبیه‌سازی شده ۱۲ لیتر بر دقیقه در هیچ یک از شیارهای آزمایشی فرآیندهای فرسایشی بزرگی رخ نمی‌دهد و بیشتر رسوبات حمل شده ناشی از انتقال مواد سست موجود توسط فرآیندهای بولدوزری جریان هستند. اما فرآیندهای فرسایشی هرچند کوچک در برخی شیارها باعث افزایش غلظت رسوب در طول زمان شده است. به‌علاوه تأثیر اثر بولدوزری در تیمار خشک بیشتر از تیمار مرطوب است. از طرف دیگر نتایج حاصل از سرعت حرکت رواناب در شیار نشان داد که متوسط سرعت جریان در طول زمان تحت شرایط مختلف رطوبتی خاک بدلیل کاهش قابلیت نفوذ خاک و زبری سطح خاک و افزایش عمق جریان، افزایش می‌یابد. البته کاهش سرعت جریان در طول زمان نشان‌دهنده افزایش بار رسوب حمل‌شده و وقوع فرآیندهای فرسایشی است.

مهمترین علت اختلاف معنی‌دار بین غلظت رسوب در دو شیار به تفاوت در پوشش گیاهی آن‌ها مربوط است. همچنین مقایسه نمودارهای حجم رواناب و متوسط ضریب رواناب به ترتیب برای شیار I و II، ۰/۵۷ و ۰/۲۹ تأثیر پوشش گیاهی را آشکارتر می‌کند (شکل ۷). به علاوه نتایج آزمایش نشان داد که لحظه شروع رواناب در تیمارهای خشک و مرطوب شیار II یکسان است در حالی که رواناب در شیار I در تیمار مرطوب ۱ دقیقه زودتر شروع شد. تأخیر زمانی شروع رواناب در شیار II اهمیت وجود پوشش گیاهی را در تأخیر وقوع سیلاب به وضوح نشان می‌دهد. همچنین ۴ دقیقه تأخیر رواناب در انتهای شیار بعد از اعمال رواناب شبیه‌سازی شده اهمیت پوشش گیاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نمایشی از شیار I و شیار II

#### فهرست منابع

۱. حسینی، س.م.، مساعدی، ا.، ناصری، ک.، گلکاریان، ع. ۱۳۹۱. شناسایی مهمترین عوامل تاثیر گذار بر فرسایش شیاری و فراوانی آن در منطقه احمدآباد مشهد، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲، ۸۷-۹۹.

<sup>11</sup> Merten et al.

۲. واعظی، ع. ر.، قره‌داغلی، ح. ۱۳۹۲. کمی‌سازی گسترش فرسایش شیاری در خاک‌های مارنی در حوزه آبخیز زنجان‌رود در شمال غرب زنجان، نشریه آب و خاک، دوره ۲۷، شماره ۵، ۸۸۱-۸۷۲.

3. Bai, J.H., Cui, B.S. Deng, W., Yang, Z.F., Wang, Q.G., Ding, Q.Y. 2007. Soil organic carbon contents of two natural inland saline-alkalined wetlands in northeastern China. *Journal of Soil and Water Conservation*. 62 (6): 447-452.
4. Bennet, S.J., Casali, J., Robinson, K.M., Kadavy, K.C. 2000. Characteristics of actively eroding ephemeral gullies in an experimental channel. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 43 (3): 641-649.
5. Beven, K. 1996. The limits of splitting: Hydrology. *Science of the Total Environment*, 183(1-2): 89-97.
6. Brunton, D.A., Bryan, R.B. 2000. Rill network development and sediment budgets. *Earth Surface Processes and Landforms*. 25 (7): 783-800.
7. Bryan, R.B. 2004. Gully-scale implication of rill network and confluence process. In: Valentin C, Poesen, J and Young Li (Eds) *Gully erosion under global change.* Sichuan Science and Technology Press. pp 73-95.
8. Bryan, R.B., Poesen, J. 1989. Laboratory experiment on the influence of slope length on runoff, percolation and rill development. *Earth Surface Processes and Landforms*. 14 (3): 211-231.
9. Cai, Q., Zhu, Y., Wang, Sh. 2004. Research on processes and factors of rill erosion. *Advances in Water Science*. 15 (1): 12-18.
10. Cheng, Q., Cai, Q., Li, J. 2005. Summarization on study of soil surface crust or sealing and its effects on erosion. *Progress in Geography*. 24 (4): 114-122.
11. Cochrane, T.A., Flanagan, D.C. 1997. Detachment in a simulated rill. *Transactions of the ASAE*. 40 (1): 111-119.
12. Ding, W., Li, Zh., Lu, K. 2001. The study of threshold condition of rill erosion on loess sloping surface. *Journal of Mountain Science*. 19(6): 551-555
13. Dunne, T. 1980. Formation and controls on channel networks. *Progress in Physical Geography*, 4: 211-239.
14. Flanagan, D.C., Livingston, S.J. 1995. WEPP user summary, USDA-water erosion prediction project. NSERL Report No. 11. National soil erosion research Laboratory, 141 pp.
15. Gessesse, G.D., Fuchs, H., Mansberger, R., Klik, A., Rieke-Zapp, D. 2010. Assessment of erosion, deposition and rill development on irregular soil surfaces using close range digital photogrammetry. *The Photogrammetric Record*. 15(131): 299-318.
16. Giménez, R., Planchon, O., Silvera, N., Govers, G. 2004. Longitudinal velocity patterns and bed morphology interaction in a rill. *Earth Surface Processes and Landforms*. 29:105-114.
17. Govers, G., Giménez, R., Oost, K.V. 2007. Rill erosion: Exploring the relationship between experiments, modelling and field observations. *Earth-Science Reviews*. 84 (3-4): 87-102.
18. Govers, G. 1991. Rill erosion on arable land in central Belgium: rates, controls and predictability. *Catena*. 18: 133-155
19. Hessel, R., Jetten, V. 2007. Suitability of transport equations in modelling soil erosion for a small Loess Plateau Catchment Engineering Geology. 91(1): 56-71.
20. Huo, Y., Wu, Sh., Feng, H. 2011. Dynamic process of slope rill erosion based on three-dimensional laser scanner. *Science of Soil and Water Conservation*. 9 (2): 32-37.
21. Hussein, M.H., Awad, M.M., Abdul-Jabbar, A.S. 2010. Effect of surface crust on rainfall infiltration in an aridisoiil in Northern Iraq. *European Water*. (32): 25-34.
22. Keim, R.F., Skaugset, A.E., Weiler, M. 2006. Storage of water on vegetation under simulated rainfall of varying intensity. *Advances in Water Resources*. 29: 974-986
23. Li, J., Cai, Q., Sun, L. 2010. Reviewing on factors and threshold conditions of rill erosion. *Progress in Geography*. 29 (11): 1319-1325
24. Liu, Q. Li, J., Chen, L. 2004. Dynamics of overland flow and soil erosion (II)-soil erosion. *Advances in Mechanics*. 34 (25): 193-506.
25. Loch, R.J., Thomas, E.C., Donnollan, T.E. 1987. Interflow in a tilled, cracking clay soil under simulated rain. *Soil and Tillage Research*. 9 (1): 45-63.

26. Loch, R.J. 2000. Using Rainfall simulation to guide planning and management of rehabilitated areas: part I. Experimental methods and results from a study at the Northparkes mine, Australia. *Land Degradation and Development*. 11: 221–240.
27. Luo, Y., Liu, T., Wang, X., Duan, L. 2012. Influences of landform as a confounding variable on SOM-NDVI association in semiarid Ordos Plateau. *Journal of Arid Land*. 4 (4): 450–456.
28. Marques, M.J., Bienes, R., Jimenez, L., Pérez-Rodríguez, R. 2007. Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE plots. *Science of the Total Environment*. 378: 161-165.
29. Merten, G., Nearing, M., Borges, A. 2001. Effect of sediment load on soil detachment and deposition in rills. *Soil Science Society of America Journal*. 65: 861-868.
30. Morgan, R.P.C. 2005. *Soil erosion and conservation*, 3rd ed, Malden, MA: Blackwell Publishing Co. PP. 67–157.
31. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. *Methods of Soil Analysis*. Agronomy Handbook No 9, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Part I (ed.A.L.Page), pp. 181-197.
32. Rejman, J., Brodowski, R. 2005. Rill characteristics and sediment transport as a function of slope length during a storm event on loess soil. *Earth Surface Processes and Landforms*. 30 (2): 231–239.
33. Remley, P.A., Bradford, J.M., Remley, P.A. 1989. Relationship of soil crust morphology to inter-rill erosion parameters. *Soil Science Society of America Journal*. 53(4): 1115–1121
34. Salvador Sanchis, M.P. Torri D. Borselli L. Bryan R. Poesen J. Yañez M. S. Cremer C. 2009. Estimating parameters of the channel width-flow discharge relation using rill and gully channel junction data. *Earth Surface Processes and Landforms* 34, 2023–2030.
35. Seeger M. Errea M. P. Beguería S. Arnáez J. Martí C. and García-Ruiz J.M. 2004. Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish Pyrenees. *Journal of Hydrology*, 288, 299–311.
36. Seutloali K.E., Beckedahl H.R. 2015. Understanding the factors influencing rill erosion on roadcuts in the south eastern region of South Africa. *Solid Earth*, 6, 633–641.
37. Sidorchuk, A. 2009. A third generation erosion model: the combination of probabilistic and deterministic components. *Geomorphology*. 110 (1–2): 2–10.
38. Singer, M.J., Le, B.Y. 1998, Importance of surface sealing in the erosion of some soils from a mediterranean climate. *Geomorphology*. 24(1): 79–85.
39. Torri, D., Poesen, J., Borselli, L., Knapen, A. 2006. Channel width flow discharge relationships for rills and gullies. *Geomorphology*. 76: 273–279.
40. Vrieling, A. 2006. Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review. *Catena*. 65(1): 2–18.
41. Walkly, A., Black I.A. 1934. An examination of digestion methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration. *Soil Science Society of America Journal*. 37: 29-38.
42. Wang, K., Shangguan, Zh. 2012. Simulating the vegetation-producing process in small watersheds in the Loess Plateau of China. *Journal of Arid Land*. 4(3): 300–309.
43. Wirtz, S., Seeger, M., Ries, J.B. 2012. Field experiments for understanding and quantification of rill erosion processes. *Catena*. 91(s1): 21–34.
44. Wirtz, S., Seeger, M., Zell, A., Wagner, C., Wagner, J-F, et al. 2013. Applicability of different hydraulic parameters to describe soil detachment in eroding Rills. *PLoS ONE* 8 (5): e64861. doi: 10.1371/journal.pone.0064861
45. Wischmeier, W.H., Mannering J.V. 1965. Effect of organic matter content of the soil on infiltration. *Soil and water Conservation*. 4: 150-152.
46. Yao, C. Lei, T., Elliot, W.J., McCool, D.K., Zhao, J., Chen, S. 2008. Critical conditions for rill initiation. *Transactions of the ASABE*. 5(1): 107–114.
47. Zhang, L., Liu, Y. 2004. An analysis on man-land relationship of eastern China. *Acta Geographica Sinica*. 59: 311–19

48. Zhang, L., Xie, Zh., Zhao, R., Wang, Y. 2012. The impact of land use change on soil organic carbon and labile organic carbon stocks in the Long Zhong region of Loess Plateau. *Journal of Arid Land*. 4 (3): 241–250.

---

## Understanding rill erosion rate in dry-wet condition

Mohamadpour, S.<sup>1</sup>, Rouhani, H.<sup>1\*</sup>, Ghorbani Vaghei, H.<sup>2</sup>, Seyedian, S.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. *Rangeland & Watershed Management Department, Faculty of Agricultural & Natural Resources, University of Gonbad Kavous*

<sup>2</sup>. *Aquaculture and Forestry Department, Faculty of Agricultural & Natural Resources, University of Gonbad Kavous*

---

### Abstract

Rill erosion is considered to be the most important process affecting soils created by the concentrated flow of water. In this research to quantify sediment transport and runoff in natural rills, two rill experiments under dry and wet conditions were accomplished in November 2013 in the Golestan Dam. Filed experiments lead to a closer understanding of the dynamics and power of different soil erosion processes in a rill channel. Water is introduced with an intensity of 12 L min<sup>-1</sup> into a rill within 10 min. Rill cross sections, slope values, flow velocities and sediment concentrations were measured for each rill at three points every 5, 10 and 16 m from the origin along a rill. The flow velocity within the rill was measured by recording the travel times of the waterfront and of two applied color tracers. The results showed that the flow velocity in the under wet condition is higher than dry condition. Under dry condition, the highest sediment concentrations are recorded at the initial runoff flow despite lowest flow velocity. The initial high sediment concentration may be attributed to the existence of a thin loose surface layer. Flow velocity increases along the length of the channel towards an increase with flow duration. However, suspended sediment concentration measured tends to decline with decreasing the sediment-transport capacity. Temporal variations in the sediment concentrations during the experiments indicated that no important erosion process with inflow water and sediment transport in the rills is mostly attributed to the bulldozer effect. Also showed that hydrological response and sediment production were significantly different in two rill channels which only ground cover was significantly different.

---

### Article History:

*Received:*

*February 25, 2015*

*Revised:*

*February 26, 2016*

*Accepted:*

*April 19, 2016*

---

### Keywords:

*Golestan dam*

*Runoff velocity*

*Runoff Volume*

*Sediment*

*concentration*

---

\* Corresponding Author Email: [rouhani.hamed@gonbad.ac.ir](mailto:rouhani.hamed@gonbad.ac.ir)