



شماره ۱۱۳، زمستان ۱۳۹۵

# پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

## بررسی تأثیر درجه‌ی شیب زمین بر آستانه‌ی فرسایش (خندقی) در پروژه‌های پخش سیلاب

### • احسان کمالی مسکونی\*

(نویسنده مسئول) عضو باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت، ایران

### • عبدالعلی عادلپور

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، ایران

### • عبدالله پیرنیا

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۳

\* Corresponding Email: ehsane\_2006@yahoo.com

### چکیده

بهره‌وری نابه‌جا و نامناسب از منابع تجدید شونده، همراه با خشکسالی‌های پی‌درپی، زمینه را برای تخریب پوشش گیاهی و بیابان‌زایی فراهم می‌کند. در این رابطه اجرای پروژه‌های مهار کردن و پخش سیلاب که در بیشتر بیابان‌ها قابل اجراست راه حل مناسبی جهت مقابله با این نوع مشکل است. پارامترهای مختلفی از جمله شیب زمین، بافت خاک، درصد رس، پوشش گیاهی و مقاومت جریان بر پارامترهای هیدرولیکی جریان و آستانه فرسایش تأثیر گذارند. در این مطالعه، پخش سیلاب‌های فصلی بر روی لبه کانال‌های گسترشی که روی خطوط تراز اجرا شده مورد مطالعه قرار گرفت. تحقیق حاضر در شبکه‌های پخش سیلاب کوثر واقع در جنوب شرقی استان فارس انجام شد و هدف مطالعه بررسی تأثیر درصد شیب بر فاصله بحرانی فرسایش در شبکه‌های پخش سیلاب بود. برای این منظور از یک دستگاه فلوم به طول ۱۰۰ متر، عرض ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد، تا در آن جریان سطحی به عمق ۱۰ سانتی‌متر شبیه سازی شود. در طرح آماری ۵ تیمار با شیب‌های ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۴، ۰/۰۰۶، ۰/۰۰۸، ۰/۰۱۰ و در هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شده‌است. در هر تکرار پارامترهای دبی و عمق جریان بطور مستقیم اندازه‌گیری و سایر پارامترها از جمله سطح مقطع جریان و سرعت متوسط جریان محاسبه شدند. افزون بر آن پس از انجام هر آزمایش عمق فرسایش و یا رسوب‌گذاری در طول بستر فلوم بطور جداگانه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد آستانه فرسایش با افزایش شیب افزایش می‌یابد. متوسط فاصله آستانه فرسایش برای تیمارهای مختلف به ترتیب برابر ۶۶/۵، ۵۶، ۶۶، ۳۶ و ۲۸ متر بدست آمد. همچنین سرعت متوسط جریان در امتداد طول مسیر بستر فلوم افزایش یافته و در محل آستانه فرسایش به حداکثر مقدار خود رسیده است.

**واژه‌های کلیدی:** پخش سیلاب، ایستگاه کوثر، اثرهای درصد شیب بر طول آستانه فرسایش و آستانه فرسایش خندقی

## Landslide Hazard Mapping Using the Artificial Neural Network a Part of Haraz Watershed

**Ehsan Kamali Maskooni**

(Corresponding Author) Young Researcher and Eleit Club, Jiroft Branch, Islamic Azad University, Iran

**Abdol Ali Adelpour**

Assistant Professor, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Iran

**Abdollah Pirnia**

PhD Student, Faculty of Natural Resource, University of Sari, Iran

### Abstract

Improper and inadequate usage of not-renewable resources and drought has prepared condition for degrading of vegetation cover and desertification. Herein control and flood spreading project that could be applied in more deserts is an appropriate solution to this problem. On the other hand, different parameters including slope gradient, soil texture, vegetation cover and flow resistance affect on flow hydraulic characteristics. In this study, seasonal floods are spreading with spreading channels which is constructed on contour lines. This study carried out in the Gareh Baygan plan, in the south east of Fars province to investigate the effect of slope steepness on critical distance for scouring. An open hydraulic flume with 100 meter length, 40 centimeter width and 25 centimeter depth was used to simulate overland flow with 10 centimeter depth. Five treatments including 0.002, 0.008, 0.006, 0.004 and 0.010 for slope were examined, and for each treatment, three to four experiments were used and some hydraulic parameter including discharge and flow depth were measured directly, and others such as flow area and flow velocity were calculated. After each experiment erosion and sedimentation depth were measured individually. Results of this study show that threshold value will be increasing with increase slope gradient. Average distance of erosion threshold obtained for different treatments, 45, 56, 66.5, 36 and 28, respectively. Likewise, flow velocity was increased with flow length. Also, this increasing trend was linear and uniform and changed according to bed slope and roughness and reached the maximum value in each experiment.

**Keywords:** Flood water spreading, The Kowsar station, Slope gradient and erosion threshold length and gully erosion threshold

شدن تندآب‌ها و سیلاب‌ها می‌گردد که باعث جابجایی حجم قابل توجهی از رسوبات و پیامدهای ناشی از آن و پسرقت منابع زیست محیطی می‌شود (Ahmadi et al, 2006). این نوع فرسایش در مناطق خشک و نیمه خشک جهان به هنگامی که بهره‌برداری از منابع خاک و آب مبتنی بر اصول صحیح و متناسب با توانایی‌های طبیعی و شرایط محیطی نباشد با شدت بیشتر حادث می‌شود (Sarvati, Ghoddousi and ; 2000, Ezechi, Dadkhah, 2008).

پخش سیلاب نوعی آبیاری سطحی است که آب در آن از طریق تأسیسات آبیگری به کانال‌های پخش منتقل شده و سپس جریان سطحی از روی لبه‌های تراز به صورت یک لایه نازک چند سانتی‌متری در امتداد شیب اراضی جاری می‌شود. نوع

### مقدمه

فرسایش خاک توسط آب یکی از عوامل مهم تغییر منظر زمین، تخریب منابع زیست محیطی و محدود کننده امکان دستیابی به امنیت غذایی و آب در جهان است (Mortezaei et al, 2008). هرچند انواع مختلف فرسایش آبی موجب هدر رفت خاک و در نتیجه پی آمدهای منفی و خسارت بار ناشی از آن می‌شوند، اما فرسایش کانالی (خندقی) در مقایسه با سایر انواع فرسایش آبی از عوامل مهم و تهدید کننده ی تعادل منابع زیست محیطی و ناپایداری آن به حساب می‌آید. بطور کلی این تهدید نه تنها به ایجاد تغییرات ناهنجار در منظر زمین که منجر به عدم امکان فعالیت‌های اصولی کشاورزی و بهره‌برداری اقتصادی از منابع طبیعی می‌شود، بلکه گسترش این نوع فرسایش موجب جاری

صورت یکسان بودن سایر عوامل مؤثر در فرسایش، با دو برابر شدن درجه شیب در شیب‌های پایین تر از ۱۰ درصد موجب از بین رفتن بیش از دو برابر خاک می‌شود. ولی دو برابر شدن شیب در شیب‌های بالاتر از ۱۰ درصد با از بین رفتن کمتر از ۲ برابر خاک همراه خواهد بود. مورگان (۲۰۰۵) شیب ۲ تا ۳ درجه را به عنوان حداقل شیب بحرانی فرسایش ذکر نمود. Myrick و Leopold, Emmett (1966) اظهار می‌دارد که در شیب‌های بیشتر از ۶۰ درجه، فرسایش خاک با افزایش شیب کاهش می‌یابد. Quigly (1972) با بررسی مشخصات مکان‌های مناسب برای پخش سیلاب و مبانی طراحی دروازه‌ها به این نتیجه رسیده است که اراضی با شیب ۲ تا ۳ درصد که در پهنه‌های آنها شیار، آبراهه و خندق وجود نداشته و دارای نفوذپذیری مطلوب باشند، برای اجرای طرح‌های پخش سیلاب مناسب هستند. افزون بر این، بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق مشخص شده است که وسعت عملیات اجرایی بهتر است بر اساس حجم آب قابل استحصال تعیین شود و فاصله دروازه‌های آبگذر در خاکریز شبکه‌های گسترشی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر و فاصله نهرهای گسترشی بر اساس اختلاف ارتفاع ۱/۱ متر بین دو نهر در اراضی با شیب ۱ درصد مشخص گردد. به طوری که به ازاء هر یک درصد افزایش شیب، ۰/۳۷ متر به فاصله ارتفاعی بین دو نهر گسترشی اضافه شود. صوفی و عادلپور (۲۰۰۶) با استفاده از فلوم صحرایی در ایستگاه تحقیقاتی کوثر، طول متوسط آستانه فرسایش را حدود ۷۵ متر بدست آورده است. این مقدار در صورتی است که شیب متوسط اراضی ۰/۰۴ و بافت خاک هم سیلتی کلی-لوم فرض شده است و همچنین نتایج آنها نشان داد که تنش برشی بیشینه در فاصله‌ی حدود ۷۵ متری از ابتدای فلوم تشکیل شده است و اگر تنش برشی جریان به عنوان پارامتر فرساینده‌ی جریان فرض شود، پیشنهاد می‌شود این طول به عنوان فاصله‌ی بین کانال‌های پخش در ایستگاه کوثر در نظر گرفته شود. هدف از این تحقیق بررسی پدیده فرسایش (خندقی) و رسوب به منظور تعیین محل تشکیل آستانه فرسایش بر اساس تغییرات درجه شیب در شرایط پخش سیلاب در گربایگان فسا بوده است. اساس پژوهش‌های صوفی و عادلپور (۲۰۰۶) و صوفی و عادلپور (۲۰۰۹) تعیین آستانه فرسایش به منظور تعیین فاصله کانال‌های پخش سیلاب در ایستگاه کوثر بوده و کلیه پارامترهای مؤثر بر فرسایش از جمله شیب متوسط حوزه، پوشش گیاهی، بافت و ساختمان خاک و ... منحصر به منطقه مورد مطالعه بوده و ثابت در نظر گرفته شده است که از بین این پارامترها شیب که یکی از پارامترهای مؤثر بر فرسایش و تشکیل فرسایش خندقی می‌باشد در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفته است.

#### منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در اراضی مرتعی دشت گربایگان فسا انجام شده است. دشت گربایگان فسا بین عرض‌های شمالی ۳۵° تا ۴۱° ۲۸' و طول‌های شرقی ۵۳° ۵۳' تا ۵۷° ۵۳' قرار دارد. پهنه این شنزار به

جریان کم عمق و عریض، و هیدرولیک جریان اغلب ناپایدار و غیر یکنواخت است. بنابر این پیش بینی پدیده فرسایش (خندقی) و رسوب بسیار پیچیده است و لزوم مراجعه به طبیعت و استفاده از توپوگرافی اراضی، شیب، بافت، نفوذپذیری خاک و پوشش گیاهی سطح خاک ضروری است (Adelpour and Soofi, 2006). موارد ذکر شده در زیر نمونه‌هایی از نتایج حاصله در این راستا به حساب می‌آیند: Feiznia و همکاران (2007) شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها را در شهرستان دهدشت بررسی کرد و به این نتیجه رسید که بین عواملی نظیر شیب حوزه بالادست خندق‌ها، نوع سازندهای موجود در منطقه، تراکم پوشش گیاهی، مقدار رس، شن و املاح موجود در خاک به عنوان متغیرهای مستقل با حجم خندق به عنوان متغیر وابسته رابطه معنی‌داری وجود دارد. رافاهی (2007) به نقل از کریکی در مطالعات خود روی یک حوضه شبیه‌سازی شده نشان داده است که آبراهه‌ها جهت انتقال رواناب و رسوب حوضه‌ها با هم رقابت می‌کنند و عواملی مانند شدت باران، ظرفیت نفوذپذیری خاک، شیب اراضی و ضریب فرسایش پذیری خاک روی فرسایش ورقه‌ای مؤثر اند. هر چه قطر قطرات باران کوچکتر و نفوذپذیری خاک زیادت‌تر و شیب اراضی ملایم‌تر باشد، قدرت کنش ذرات خاک و انتقال آن کاهش می‌یابد. Zambo و Gabris, Kertesz (2003) با مطالعه در زمینه فرسایش خندقی در مجارستان با استفاده از عکس‌های هوایی و تجزیه و تحلیل داده‌های نشان دادند که یکی از عوامل بررسی وضعیت فرسایش خندقی و توزیع مکانی آن شیب است. Bull Kirkby (2002) رابطه (۱) را برای محاسبه طول جریان بحرانی لازم برای رسیدن جریان به حد آستانه تشکیل شیار ذکر نموده‌اند:

$$l_{cr} = \frac{(V_{cr}^{5/2} \cdot n^{3/2})}{(i \cdot (\sin a)^{3/4} \cdot \cos a)} \quad (1)$$

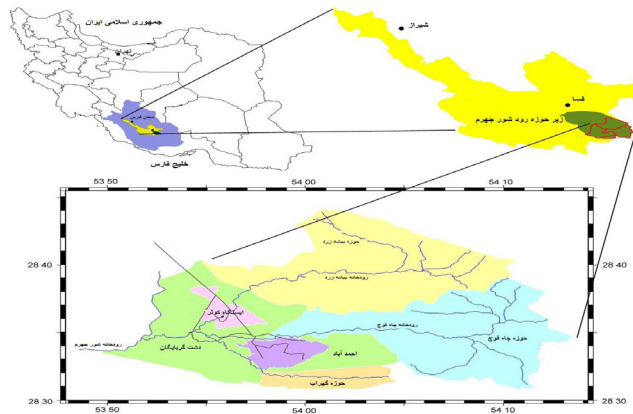
که در آن  $l_{cr}$ : طول جریان بحرانی،  $a$ : زاویه شیب زمین،  $i$ : بارش مازاد،  $n$ : ضریب زبری و  $V_{cr}$ : سرعت بحرانی است. Wischmeier و Smith (۱۹۷۸) بر اساس نتایج آزمایش‌های زمینی، رابطه بین مقدار فرسایش خاک و درجه شیب زمین را به صورت زیر بدست آورده است:

$$E = 0.43 + 0.36 + 0.04 S^2 \quad (2)$$

که در آن،  $E$  مقدار خاک از بین رفته بر حسب تن در ایکر و  $S$  درصد شیب می‌باشد. رافاهی (۲۰۰۷) به نقل از زینگ نشان داده است که مقدار فرسایش خاک با درجه شیب زمین رابطه خطی ندارد بلکه رابطه بین آنها به صورت نمائی است که رابطه ریاضی آن به صورت زیر می‌باشد: که در آن  $E$  مقدار فرسایش،  $S$  درصد شیب و  $\alpha$  یک نما با مقدار حدود ۱/۴ است. رافاهی (۲۰۰۷) به نقل از بیور بر اساس نتایج تحقیقات وزارت کشاورزی آمریکا به این نتیجه رسیده است که در

از آبخیز کوه‌گر با مساحت ۱۹۲ کیلومتر مربع، خشکه‌رودی به نام چاه قوچ از آبخیزی با پهنا ۱۷۱ کیلومتر مربع از خاور کوه‌گر و خشکه‌رودی به نام گهراب از آبخیزی با وسعت ۱۶ کیلومتر مربع از کوه گهراب وارد دشت می‌شود و به رود شور چهارم و نهایتاً از طریق مند به خلیج فارس می‌پیوندد.

حدود ۲۰۰۰ هکتار می‌رسد و بافت خاک آن سبک تا متوسط است. نوع رس بیشتر ایلیت، کلریت، اسمکتایت و پالی کورسکایت بوده و کانی‌های غالب در شبکه‌های پخش سیلاب کوارتز، فلدسپات، کلسیت و دولومیت است. همچنین حداقل و حداکثر شیب منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۰/۰۱ و ۰/۱۰ است. خشکه‌رودی به نام بیشه زرد



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان فارس و شهرستان فسا

فلوم صحرایی احداث گردید که توسط چاه موجود در محل آبخیزی می‌شد. آب از حوضچه ذخیره و لوله‌های نصب شده در زیر آن توسط کانالی خاکی و روباز وارد حوضچه آرامش می‌شد. این حوضچه بصورت گودالی درون زمین در بالادست فلوم، احداث شد به گونه‌ای که پس از آرام شدن جریان ورودی در حوضچه آرامش و افزایش سطح آب، عمق آب ورودی به فلوم با به کارگیری سرریز جانبی تنظیم می‌گردید. از طرفی در پروژه‌های پخش سیلاب حداکثر ارتفاع آب سیلاب ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود به همین علت سرریز جانبی با کد ارتفاعی ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از لبه ورودی آب به فلوم احداث شد، به طوری که اگر عمق آب ورودی به فلوم از ۱۰ سانتی‌متر تجاوز کند، بلافاصله آب اضافی از طریق سرریز جانبی تخلیه شود و مانع از افزایش عمق جریان ورودی به فلوم گردد. در شکل (۲) مراحل نصب پارشال فلوم و فلوم نشان داده شده است.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر میزان شیب زمین بر آستانه فرسایش با توجه به مطالعات پیشین و مشاهدات انجام شده در منطقه مورد مطالعه از فلوم صحرایی از جنس آهن گالوانیزه به طول ۱۰۰ متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شده است. مراحل نصب و راه اندازی فلوم صحرایی به شرح زیر است.

ابتدا با استفاده از غلطک دستی، وزن مخصوص ظاهری خاک بستر فلوم با شرایط طبیعی خاک منطقه مورد مطالعه شبیه سازی شد و سپس با استفاده از ریسمان کار و چکش، دیواره‌های فلوم به میزان ۱۰ سانتی‌متر درون خاک قرار داده شده. پس از نصب فلوم یکی از پارامترهای اساسی هیدرولیکی که دبی جریان است توسط دو پارشال فلوم که در ابتدا و انتهای کانال نصب شدند اندازه‌گیری می‌شد. جهت تأمین آب کافی از حوضچه‌ای خاکی جهت ذخیره آب در بالا دست،



شکل ۲- مراحل نصب پارشال فلوم و فلوم

ارتفاع جدید بستر فوم عمق فرسایش و یا رسوب گذاری در هر نقطه بدست آمد. لازم به ذکر است برای محاسبه ارتفاع جدید بستر فوم از ارتفاع دوربین و عدد تار وسط دوربین زمانی که شاخص روی لبه دیواره فوم قرار دارد استفاده شده است. بطوری که با محاسبه ارتفاع لبه دیواره فوم و اندازه گیری عمق متوسط بستر فوم، ارتفاع جدید بستر فوم به دست می آید. اندازه گیری و محاسبه عمق فرسایش و یا رسوب گذاری در فاصله ۲ متر از یکدیگر انجام می شد تا بطور دقیق محل شروع و فرسایش مشخص گردد. در این تحقیق، از ۵ تیمار به میزان ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۴، ۰/۰۰۶، ۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۰ درصد شیب استفاده شد و در هر تیمار ۳ تکرار انجام گردید تا با اندازه گیری عمق متوسط جریان در ایستگاه های مختلف، متوسط پارامترهای هیدرولیکی جریان شامل سطح مقطع، محیط تر شده و سرعت متوسط جریان محاسبه شود تا در پایان از طریق مقایسه نتایج مطالعات هیدرولیک جریان با مطالعات فرسایش و رسوب محل شروع و حداکثر عمق فرسایش در طول بستر فوم مشخص گردد.

### نتایج

#### ویژگی های هیدرولیک جریان

پارامتر هیدرولیکی اندازه گیری شده شامل شدت جریان جاری در فوم می باشد که در هر آزمایش چندین بار توسط پارشال فوم های ابتدایی و انتهایی اندازه گیری شدند. در اغلب آزمایش ها مقدار شدت جریان اندازه گیری شده در پارشال فوم بسیار به یکدیگر نزدیک بودند که خود حاکی از نفوذپذیری کم و هدر رفت کم آب در بستر فوم و رسیدن جریان به شرایط پایدار است. در این تحقیق با فرض ثابت ماندن متوسط شدت جریان در هر آزمایش و اندازه گیری مستقیم عمق متوسط جریان در مقاطع عرضی متوالی، پارامترهای هیدرولیکی دیگر محاسبه شده است. جدول (۱) نمونه ای از اطلاعات پارشال فوم ابتدایی و انتهایی و دبی متوسط پارشال فوم ها در یکی از آزمایش ها را نشان می دهد. همچنین جدول (۲) نمونه ای از اطلاعات هندسی - هیدرولیکی جریان در همان آزمایش را بیان می کند.

پس از نصب و راه اندازی فوم صحرایی همراه با پارشال فوم های آن، عملیات صحرایی به منظور اندازه گیری پارامترهای هیدرولیکی جریان و رسوب در سه تکرار انجام گرفت. مدت هر آزمایش ۴۵ دقیقه و پارامترهای هیدرولیکی جریان و رسوب در فواصل زمانی صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه از شروع آزمایش به طور مستقیم به شرح زیر اندازه گیری شدند.

#### الف- اندازه گیری پارامتر هیدرولیکی جریان

دبی جریان با استفاده از پارشال فوم های نصب شده در ابتدا و انتهای فوم و عمق متوسط جریان با انتخاب ۱۱ ایستگاه به فواصل ۱۰ متر از یکدیگر اندازه گیری شدند. اندازه گیری عمق متوسط جریان در هر مقطع عرضی در چهار نقطه به فواصل ۸ سانتی متری از یکدیگر و در کلیه ایستگاه ها همزمان انجام گردید. پس از اندازه گیری دبی و عمق جریان در ایستگاه های مختلف در طول فوم صحرایی، سطح مقطع جریان (A) و محیط تر شده (P) از رابطه های (۳) و (۴) محاسبه شدند. که در آن عرض فوم صحرایی که برابر ۴۰ سانتی متر و  $\gamma$  عمق متوسط جریان می باشد. با استفاده از رابطه پیوستگی جریان سرعت متوسط جریان در هر مقطع عرضی بر اساس معادله (۵) محاسبه شد. که در آن Q دبی جریان، A سطح مقطع و V سرعت جریان می باشد.

$$(3)$$

$$A = b \cdot y$$

$$(4)$$

$$p = b + 2y$$

$$(5)$$

$$Q = AV$$

#### ب- اندازه گیری عمق فرسایش و رسوب

در بخش دوم این تحقیق، مطالعات فرسایش و رسوب انجام شده است. برای این منظور پس از پایان هر آزمایش با استفاده از دوربین نیوو و اندازه گیری عمق بستر فوم در اولین بخش از بستر که دچار فرسایش و یا رسوب گذاری شده است می توان به عمق واقعی فرسایش و یا رسوب گذاری پی برد. در این بخش از مطالعه، ابتدای فوم بعنوان بنچ مارک (B.M) در نظر گرفته شده تا با توجه به شیب بستر فوم و فاصله آن از ابتدای فوم، ارتفاع اولیه بستر محاسبه شود. سپس با محاسبه

جدول ۱- اطلاعات پارشال فوم های ابتدایی و انتهایی در یکی از آزمایشات

اطلاعات پارشال فوم ابتدایی			اطلاعات پارشال فوم انتهایی		
ارتفاع آب در چاهک الف (سانتی متر)	ارتفاع آب در چاهک ب (سانتی متر)	ارتفاع آب در چاهک الف (سانتی متر)	ارتفاع آب در چاهک ب (سانتی متر)	ارتفاع آب در چاهک الف (سانتی متر)	ارتفاع آب در چاهک ب (سانتی متر)
۰	۱۹	۲۳	۰	۱۳/۵	۲۰
۱۵	۱۹	۲۳	۱۵	۱۴/۵	۲۰
۳۰	۱۸	۲۴/۵	۳۰	۱۶	۲۰
۴۵	۱۸	۲۴/۵	۴۵	۱۶	۲۲
متوسط عمق (سانتی متر)	۱۸/۵	۲۳/۷	متوسط عمق (سانتی متر)	۱۵	۲۰/۵
دبی (لیتر در ثانیه)	۱۸/۷۵		دبی (لیتر در ثانیه)	۱۵	
دبی اصلاح شده (لیتر در ثانیه)	۱۶/۹۱		دبی اصلاح شده (لیتر در ثانیه)	۱۴/۲۹	
دبی متوسط پارشال فوم ها = ۱۵/۶۰ لیتر در ثانیه					

جدول ۲- مشخصات هندسی- هیدرولیکی جریان در یکی از آزمایشات

شماره ایستگاه	فاصله از ابتدای فلوم (متر)	متوسط عمق جریان (میلی‌متر)	متوسط سطح مقطع جریان (سانتی‌متر مربع)	متوسط سرعت جریان (سانتی‌متر بر ثانیه)
۱	۰	۹۵/۲۵	۳۸۱/۰۰	۴۲/۰۰
۲	۱۰	۸۴/۱۲۵	۳۳۶/۵۰	۴۷/۵۵
۳	۲۰	۸۲/۷۵۰	۳۳۱/۰۰	۴۸/۳۴
۴	۳۰	۷۳/۳۷۵	۲۳۹/۵۰	۵۴/۵۱
۵	۴۰	۷۰/۶۲۰	۲۸۲/۴۸	۵۶/۶۴
۶	۵۰	۷۴/۶۷۰	۲۹۸/۶۸	۶۳/۵۷
۷	۶۰	۷۲/۱۲۵	۲۸۸/۵۰	۵۵/۴۶
۸	۷۰	۷۰/۹۴۰	۲۸۶/۷۶	۵۶/۳۸
۹	۸۰	۷۰/۸۳۰	۲۸۳/۳۲	۵۶/۴۷
۱۰	۹۰	۸۹/۱۷۰	۳۵۶/۶۸	۴۴/۸۶
۱۱	۱۰۰	۹۲/۴۲۰	۳۶۹/۶۸	۴۳/۲۸

### ویژگی‌های فرسایش و رسوب

یک مقطع ممکن است همزمان با فرسایش، رسوب گذاری هم وجود داشته باشد. اما متوسط جمع جبری چهار نقطه مشخص کننده، وضعیت نهایی فرسایش و یا رسوب گذاری در هر مقطع عرضی می‌باشد. جدول (۳) نمونه‌ای از اطلاعات عمق فرسایش و رسوب گذاری در تعدادی از مقاطع عرضی را نشان می‌دهد که در آن علامت مثبت (+) بیانگر رسوب گذاری و علامت منفی (-) بیانگر فرسایش می‌باشد.

برای محاسبه عمق فرسایش و یا رسوب گذاری، پس از انجام هر آزمایش عمق بستر در چهار نقطه از هر مقطع عرضی (۴۰ سانتی‌متر) که به فاصله ۸ سانتی‌متر از یکدیگر قرار داشتند اندازه‌گیری انجام شد. سپس متوسط عمق فرسایش و یا رسوب گذاری در هر مقطع عرضی از طریق متوسط جمع جبری نقطه به دست آمد. به عبارتی در

جدول ۳- نمونه‌ای از اطلاعات فرسایش و رسوب در مقاطع عرضی فلوم در یکی از آزمایشات

فاصله (متر)	عدد تار وسط دوربین (میلی‌متر)	ارتفاع لبه فلوم (متر)	عمق متوسط بستر فلوم (میلی‌متر)	ارتفاع بستر فلوم (متر)	ارتفاع اولیه بستر فلوم (متر)	عمق فرسایش یا رسوب (میلی‌متر)
۳۹	۱۲۲۵/۰۰۰	۱۰۰/۱۱۵	۲۲۸/۵۰	۹۹/۷۸۶	۹۹/۷۶۶	+۲۰
۴۱	۱۲۲۰/۰۰۰	۱۰۰/۱۱۲	۲۳۵/۰۰	۹۹/۷۷۹	۹۹/۷۵۴	+۲۵
۴۳	۱۲۷۵/۰۰۰	۱۰۰/۰۶۵	۱۷۲/۲۵	۹۹/۷۳۷	۹۹/۷۴۲	-۵
۴۵	۱۲۸۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۶۰	۱۹۵/۲۵	۹۹/۷۰۵	۹۹/۷۳۰	-۲۵
۴۷	۱۳۱۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۳۰	۱۸۳/۷۵	۹۹/۷۰۲	۹۹/۷۱۸	-۱۶
۴۹	۱۳۲۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۲۰	۱۷۹/۷۵	۹۹/۷۰۰	۹۹/۷۰۶	-۶
۵۱	۱۳۳۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۱۰	۱۷۸/۰۰	۹۹/۷۰۲	۹۹/۶۹۴	+۸
۵۳	۱۳۴۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۸۲/۵۰	۹۹/۶۹۴	۹۹/۶۸۲	+۱۲
۵۵	۱۳۵۰/۰۰۰	۹۹/۹۹	۱۷۷/۰۰	۹۹/۶۷۵	۹۹/۶۷۰	+۵

جدول ۴- اطلاعات فرسایش و رسوب بدست آمده در مقاطع عرضی فلوم برای تمامی آزمایشات

فرسایش یا رسوب (میلیمتر) تیمار سوم				فرسایش یا رسوب (میلیمتر) تیمار دوم				فرسایش یا رسوب (میلیمتر) تیمار اول			
فاصله (متر)	اول	دوم	سوم	فاصله (متر)	اول	دوم	سوم	فاصله (متر)	اول	دوم	سوم
۳۹	-۴	+۵	+۲۰	۵۱	-۸	-۵	+۲	۵۴	+۵	+۳	-۸
۴۱	-۳	-۹	+۲۵	۵۳	-۵	-۱۲	-۵	۵۶	+۹	-۹	-۳
۴۳	-۳۰	-۱۲	-۵	۵۵	-۱۵	-۲۴	-۲۵	۵۸	+۱۶	+۵	-۱۲
۴۵	+۶	-۲۰	-۲۵	۵۷	-۲۹	-۴۰	-۴۰	۶۰	+۱۰	-۱۳	-۹
۴۷	+۱۰	+۸	-۱۶	۵۹	+۳۰	+۱۲	-۴	۶۲	+۱۴	-۱۱	-۱۶
۴۹	+۲	+۱۰	-۶	۶۱	+۳۵	۰	+۶	۶۴	+۴	-۲	-۱۴
۵۱	+۲	+۸	+۸	فرسایش یا رسوب (میلیمتر) تیمار چهارم				۶۶	+۲	-۱	-۷
۵۲	+۳	+۳	+۱۲	فاصله (متر)	اول	دوم	سوم	۶۸	-۱۱	-۱	۰
فرسایش یا رسوب (میلیمتر) تیمار پنجم				۲۶	-۱۰	+۲	-۵	۷۰	-۱	۰	+۲
فاصله (متر)	اول	دوم	سوم	۲۸	-۱۴	-۸	-۱۰				
۱۷	+۲	+۲	+۲	۳۰	-۲۷	-۲۰	-۲۵				
۱۹	-۴	-۵	۰	۳۲	-۲۰	-۱۸	-۱۵				
۲۱	-۱۴	-۱۸	-۱۲	۳۴	-۱۸	-۱۵	-۱۲				
۲۳	-۱۲	-۱۳	-۱۵	۳۶	+۲	-۱۰	-۱۸				
۲۵	-۱۰	-۱۰	-۱۰	۳۸	+۵	+۵	-۸				
۲۷	-۹	-۸	-۷	۴۰	+۷	+۸	+۲				
۲۹	-۷	+۱	-۹	۴۲	+۸	+۱۰	+۴				
۳۱	+۱	+۴	+۱								
۳۳	+۴	+۵	+۲								

### بحث و نتیجه گیری

جریان در ابتدای فلوم آرام بوده و سپس در امتداد شیب، متناسب با تغییرات عمق و سطح مقطع جریان تغییر می کند زیرا در این تحقیق فرض بر پایداری جریان و ثابت ماندن دبی جریان (Q) در طول فلوم می باشد بطوری که با استفاده از قانون پیوستگی با کاهش سطح مقطع جریان، سرعت جریان افزایش می یابد و بر عکس.

در این پژوهش با توجه به افزایش سرعت جریان در طول فلوم و میزان مقاومت ناشی از دیواره ها و بستر فلوم، شرایط برای شروع فرسایش در امتداد بستر فلوم فراهم می شود. از طرفی دیگر آستانه فرسایش بستگی به میزان درجه شیب زمین داشته، به طوری که با افزایش میزان درجه شیب فاصله آستانه فرسایش از ابتدای فلوم کمتر می شود. در این تحقیق فاصله آستانه فرسایش از ابتدای فلوم برای تیمارهای ۱ تا ۵ به ترتیب

۶۶/۵، ۵۶، ۴۵، ۳۶ و ۲۸ متر بدست آمد، که در آن با افزایش میزان درجه شیب فاصله آستانه فرسایش از ابتدای فلوم کمتر شده است. Soofi و Adelpour (2009) این مقدار را در صورتی که شیب متوسط اراضی ۰/۰۰۴ و بافت خاک هم سیلتی کلی - لوم فرض شود را در فاصله ی حدود ۷۵ متری از ابتدای فلوم بدست آورده اند که اختلاف فاصله بین این دو پژوهش، ناشی از دست خورده نشدن خاک در تحقیق آنهاست. شکل (۳) نمودار تغییرات سرعت جریان را در فواصل مختلف از ابتدای فلوم برای تمامی تیمارها را نشان می دهد. لازم به ذکر است که میزان درجه شیب در تیمارهای مختلف به ترتیب برابر با ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۴، ۰/۰۰۶، ۰/۰۰۸ و ۰/۱۰ درصد می باشد. با مقایسه حداکثر عمق فرسایش در مطالعات فرسایش و رسوب با حداکثر سرعت متوسط جریان در مطالعات هیدرولیک جریان مشاهده می شود که حداکثر سرعت جریان در محل

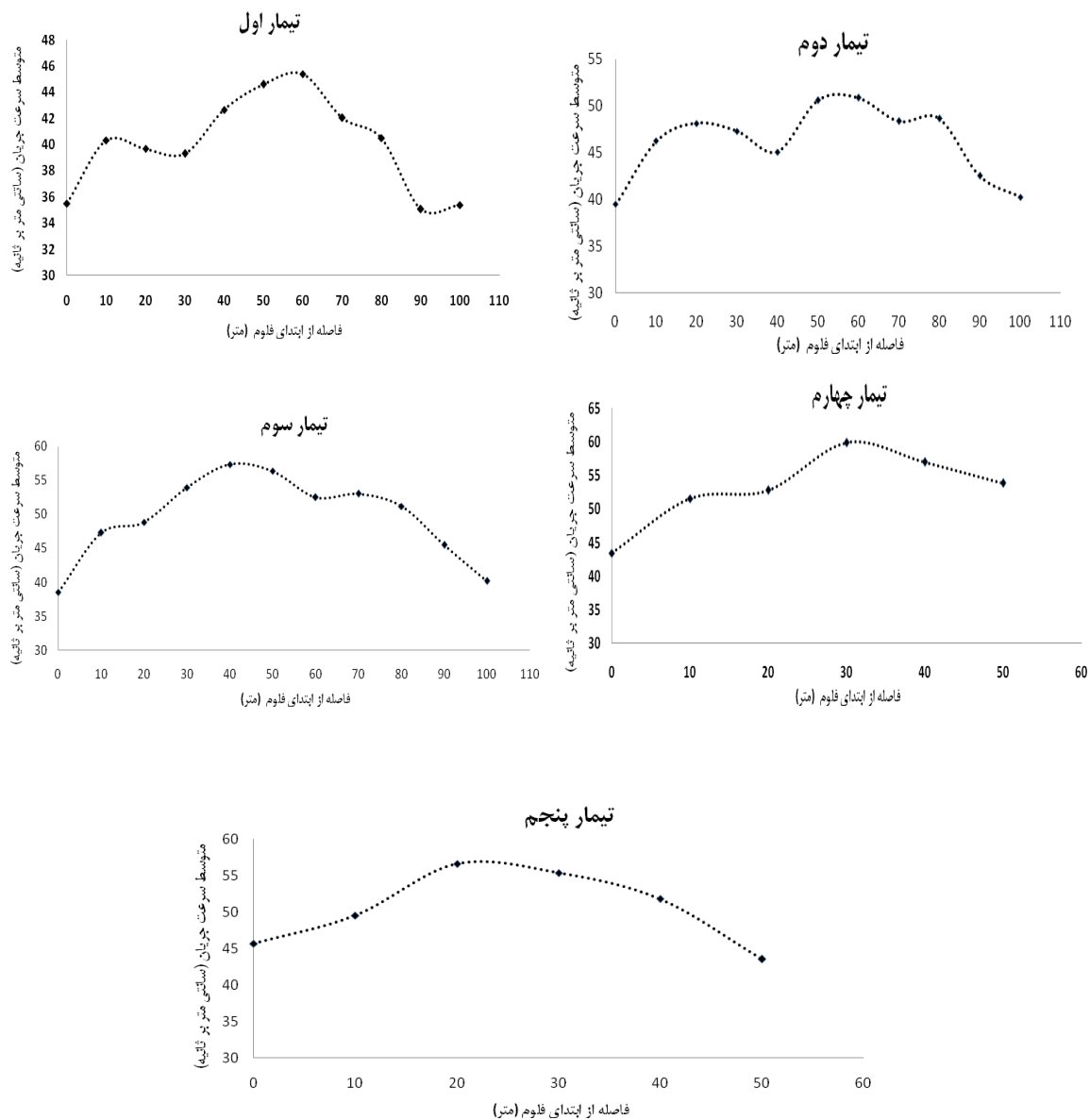
می‌باشد بدست آید. در این تحقیق بهترین رابطه برای پیش‌بینی فاصله مناسب بین کانال‌های گسترشی بر حسب درجه شیب در ایستگاه کوثر رابطه درجه دو به شرح زیر می‌باشد:

$$Y = 84.82e^{-108X} \quad (5)$$

که در آن Y فاصله آستانه فرسایش بر حسب متر و X درجه شیب بر حسب درصد می‌باشد. شکل (۴) تغییرات آستانه فرسایش کانالی از ابتدای فلوم بر اساس میزان تغییرات درجه شیب را نشان می‌دهد که (Rafahi, 2007) به نقل از زینگ نشان داده است که مقدار فرسایش خاک با درجه شیب زمین رابطه خطی ندارد و رابطه بین آنها بصورت نمایی می‌باشد.

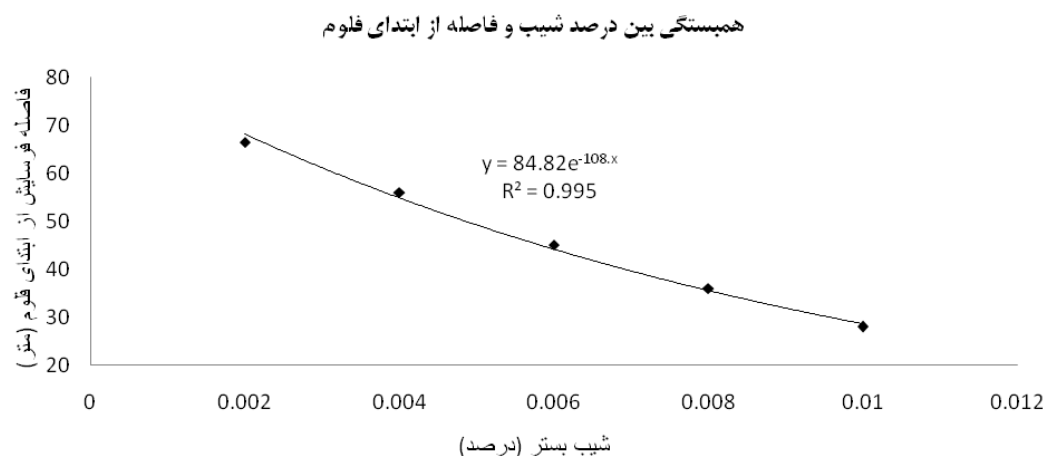
حداکثر فرسایش اتفاق افتاده است (شکل ۱). همچنین پدیده فرسایش و رسوب در اراضی، که دارای جریان‌های کم عمق و عریض هستند به طور همزمان رخ می‌دهد که این نتیجه با تحقیقات Mannering و Soofi (1969)، Wischmeier و Adelpour (۲۰۰۶) هماهنگ است.

در پایان پس از جمع‌بندی نتایج مطالعات هیدرولیک و مطالعات فرسایش و رسوب در طول فلوم، برای هر تیمار از میزان درصد شیب، مقداری معین برای طول آستانه فرسایش مشخص شده‌است تا با استفاده از روش رگرسیون بهترین رابطه بین میزان درجه شیب و طول آستانه فرسایش که همان فاصله بین کانال‌های پخش سیلاب



شکل ۳- نمودار تغییرات سرعت جریان در طول بستر فلوم در تیمارهای مختلف





شکل ۴- تغییرات آستانه فرسایش از ابتدای فلووم بر اساس میزان تغییرات درصد شیب زمین

(Case Study: Three sub-watersheds of Latian Dam basin). Journal of the Iranian Natural Resource, Vol, 61, No, 4. pp: 775-795.

Bull, L.J. and Kirkby, M. (2002). Channel heads and channel extension. In Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels, Bull, L.J., Kirkby, M.J. (Eds.), Wiley, Chichester. pp, 265-298.

Ezechi, J.I. (2000). The influence of runoff, litho logy and water table on the dimensions and rate of gullying Processes in Eastern, Nigeria. Catena Verlag. Cremlingen (Web-Site).

Feiznia, S. Heshmati, M. Ahmadi, H. and Ghodosi, J. (2007). Investigation of gully erosion in Marly Agha-Jari formation in Zagross (Case study: Ghasre Shirin, Kermanshah). Pajouhesh and Sazandegi, No, 74. pp: 32-40.

Gabris, G.Y. Kertesz, A. and Zambo, L. (2003) Land use change and gully formation over the last 200 years in a hilly catchment. Catena, No, 50. pp: 151-164.

Leopold, L.B. Emmett, W.W. and Myrick, R.M. (1966). Channel and hill slope processes in a semiarid area New Mexico. Geological Survey Professional Paper, No, 352. pp:

### پیشنهادها

۱- در پروژه‌های پخش سیلاب آستانه فرسایش علاوه بر شیب اراضی به پارامترهای دیگری از جمله پوشش گیاهی و میزان تراکم آن، توپوگرافی اراضی و عدم یکنواختی آن، بافت خاک و در صد رس و پارامترهای دیگر محیطی بستگی دارد. بنابر این توجه به معادله رگرسیون شیب به تنهایی قابل قبول نبوده و لازم است در طرح‌های تحقیقاتی بعدی تأثیر همزمان سایر پارامترها مورد بررسی قرار گیرد.

۲- انجام این گونه طرح‌ها در شرایط فلووم آزمایشگاهی بدون توجه به تأثیر پارامترهای محیطی خالی از اشکال نیست، اگرچه در عمل وجود برخی مشکلات از جمله تجهیز کارگاه و دقت پایین اجتناب ناپذیر می‌باشد.

### منابع

Adelpour, A.A. and Soofi, M. (2006). Field evaluation of channel erosion threshold in the flood water spreading projects. Water and Watershed, Vol, 2, No, 1. pp:1-10.

Adelpour, A.A. and Soofi, M. (2009). Evaluation of flow hydraulic in Kowsar flood spreading projects to estimate of distance between channels. Iran-Watershed Management Science and Engineering, Vol, 3, No, 7. pp: 1-7.

Ahmadi, H. Maleki, M. Jafari, M. Ghodosi, J. Azarnivand H. and Mosayebi, M. (2006). Quantification of qualitative geomorphology method for water erosion estimation

and conservation. pp: 1-568.

Sarvati, M.R. Ghoddousi, J. and Dadkhah, M. (2008). Factors effecting initiation and advancement of gully erosion in loesses. Pajouhesh and Sazandegi, No, 78. pp: 20-33.

Wischmeier, W.H. and Mannering J.V. (1969). Relation of soil properties to its erodibility. Soil Science Society of America Proceedings, No, 33. pp,131-137.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. US. Department of Agriculture. Agriculture Handbook. No, 53.

193- 253.

Morgan R.P.C. (2005). Soil erosion and conservation black well. pp: 320.

Mortezaei, GH. Ahmadi, H. Ghoddosee, J. Feiznia, S. and Jafari, M. (2008). Evaluation of the quantitative effects of environmental parameters on occurrence of gully erosion. Journal of the Iranian Natural Resource, Vol, 60, No, 4. pp: 1211-1223.

Quigty, J.A. (1972). Soil conservation structures for marginal available areas, gap absorption and gap spreader Tanks. Soil Conservation Journal. pp: 116-130.

Rafahi, H.Gh. (2007). Soil erosion by water

