

بررسی روند پیشروی خندق‌های دائمی در حوزه آبخیز خرم‌بید استان فارس

سید مسعود سلیمان‌پور^{۱*}، مجید صوفی^۲، محمدجواد روستا^۳، صمد شادفر^۴، لادن جوکار^۵ و حجت‌اله کشاورزی^۶
^۱ استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران، ^۲ دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران، ^۳ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، ^۴ مربی پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران و ^۵ کارشناس ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۱

چکیده

فرسایش خندقی یکی از بارزترین انواع فرسایش آبی است و به‌عنوان یکی از مهمترین و مخرب‌ترین شکل تخریب زمین و هدررفت خاک در سراسر جهان شناخته شده است. به همین دلیل، ضرورت شناخت دقیق عوامل مؤثر بر گسترش این نوع فرسایش به شدت احساس می‌شود. از سوی دیگر، مدیریت و کنترل فرسایش خندقی نیازمند شناخت عوامل مؤثر بر گسترش آن‌ها است. به این منظور، پژوهش حاضر با اندازه‌گیری میزان پیشروی طولی خندق‌های دائمی در دوره زمانی ۱۳ ساله (۱۳۸۳-۱۳۹۶) و تعیین عوامل مؤثر بر آن‌ها در حوزه آبخیز خرم‌بید، واقع در شمال استان فارس اقدام کرده است. نتایج نشان داد، به‌طور متوسط افزایش طول خندق‌های منتخب در این دوره ۲۱/۶۷ متر بوده است. این آمار بیانگر آن است که در طول این دوره، خندق‌های منتخب در هر سال ۱/۶۷ متر پیشروی طولی داشته‌اند. همچنین، با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) و انجام رگرسیون چندمتغیره پس‌رونده، مشخص شد، میزان پیشروی طولی خندق‌های دائمی در این منطقه تابع دو متغیر درصد خاک لخت و هدایت الکتریکی عصاره اشباع می‌باشد. بنابراین، لازم است، راهکارهای مدیریتی افزایش مقاومت خاک در برابر فرسایش، شامل: افزایش پوشش گیاهی سازگار و مقاوم با شرایط طبیعی منطقه و قرق به‌منظور احیاء پوشش گیاهی در اولویت برنامه‌های مدیریتی و اجرایی قرار گیرد و توجه بیشتری به کنترل فرسایش در پیشانی خندق‌ها شود.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌گیری، پوشش گیاهی، خاک لخت، فرسایش خندقی، هدایت الکتریکی

مقدمه

ملاحظه‌ای در اراضی و تولید رسوب فراوان و هدر رفت خاک می‌شود (De Luna و همکاران، ۲۰۰۰؛ Ezechi، ۲۰۰۰) و از مهمترین چالش‌های تهدیدکننده تهیه غذا، سلامت انسان‌ها و زیست‌بوم می‌باشد و در مناطقی که تغییرات کاربری اراضی و اقلیم وجود دارد، اثرات آن مشهودتر است (Svoray و Markovitch،

فرسایش خندقی یکی از بارزترین انواع فرسایش آبی است و اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان در مواردی که بهره‌برداری از منابع آب و خاک مبتنی بر اصول صحیح و متناسب با توان طبیعی و شرایط محیطی نباشد، موجب تغییرات قابل

ویژگی‌های آب و هوایی کرد (Bobrovitskaya, 2000). به‌طوری‌که Soleimanpour و همکاران (2008) پنج متغیر درصد شیب، مساحت حوزه آبخیز واقع در بالادست خندق‌ها، درصد شن، هدایت الکتریکی عصاره اشباع و پوشش گیاهی، Ahmadی و همکاران (2009) مساحت حوزه آبخیز بالادست، نمک‌های محلول و درصد رس، Shadfar (2010) حساسیت سازند، شیب، بارش، جهت دامنه‌ها، چرای مفراط دام، نوع خاک، جاده‌سازی، شخم در جهت شیب، تراکم و تیپ گیاهی و کاربری اراضی، Arabghashghaei و همکاران (2011) طبقه شیب، جهت شیب، نوع واحد سنگی، کاربری اراضی، تاج پوشش گیاهی و شخم در جهت شخم در اراضی کشاورزی، Khazaei و همکاران (2012) شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، پوشش گیاهی و بارندگی، Shadfar و همکاران (2013) نسبت جذبی سدیم و کاتیون سدیم، Yamani و همکاران (2013) عوامل سنگ‌شناسی، شیب، تغییر کاربری اراضی، جاده‌سازی و احداث پل، Yasrebi و همکاران (2013) افزایش میزان شیب بالادست، Ahmadi و Zamanzadeh (2013) مساحت آبخیز، درصد سیلت و شن و Nazari و Samani (2014) مساحت حوزه آبخیز بالادست خندق، فاصله بالاکنند تا مرز حوزه آبخیز، ارتفاع بالاکنند و نسبت جذبی سدیم را از مهمترین عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی معرفی کرده‌اند. این موارد در حالی مطرح می‌شوند که در بررسی منابع دیگر در زمینه عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی، عوامل: کاهش یون‌های کلسیم و منیزیم در خاک‌ها (Essein, 2013)، انسانی (Patrick, 2015)، نسبت جذبی سدیم، درصد شن و میزان انحنا دامنه (Rostamizad و همکاران، 2015)، سطح آب زیرزمینی (Assefa و همکاران، 2016)، شیب، فاصله از آبراهه، سنگ‌شناسی و کاربری مرتع (Shadfar, 2016)، شوری، رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، سدیم قابل جذب و درصد سدیم قابل تبادل (Jahantigh و Tabe, 2017)، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی و تناسب اراضی (Pourghasemi و همکاران، 2017)، بافت خاک، تراکم زهکشی و سنگ‌شناسی (Rahmati و همکاران، 2017؛ Choubin و همکاران،

2009)، به همین سبب، این نوع فرسایش به‌عنوان یکی از مهمترین و مخرب‌ترین شکل تخریب زمین و هدر رفت خاک در سراسر جهان شناخته شده است (Igwé و همکاران، 2018). Soufi (2004)، خندق دائم را کانالی به عمق 0/5 تا سه متر معرفی می‌کند که به‌وسیله ادوات معمول از بین نرود و خندق موقت را با عمق کمتر از 0/5 متر دانسته که با ادوات معمول شخم قابل حذف است. خندق‌ها اشکال مختلفی دارند، اما بیشتر در آبراهه‌های دائمی متمرکز هستند (Tebebu و همکاران، 2010) و می‌توانند بیش از 90 درصد رسوب حوزه‌های آبخیز را تشکیل دهند (Poesen و همکاران، 2003). خندق‌ها به مسیرهای حمل و نقل و سازه‌ها آسیب جدی وارد می‌کنند (Simon و همکاران، 2011) و می‌توانند سبب ایجاد رسوب در آبراهه‌ها، جاده‌ها، سدها و آبگیرها شوند (Shahrivar و همکاران، 2017). این نوع فرسایش در مناطق مختلف ایران، از جمله استان فارس نیز مشکلات فراوانی را در زیربخش‌های مختلف کشاورزی، منابع طبیعی و مسکونی ایجاد کرده است (Soleimanpour, 2012). به همین دلیل، ضرورت شناخت دقیق عوامل مؤثر بر گسترش این نوع فرسایش به شدت احساس می‌شود. از سوی دیگر، مدیریت و کنترل فرسایش خندقی نیازمند شناخت عوامل مؤثر بر گسترش آن‌ها است. به این منظور، پژوهش حاضر با اندازه‌گیری میزان پیشروی طولی خندق‌های دائمی و تعیین عوامل مؤثر بر آن‌ها در حوزه آبخیز خرم‌بید، واقع در شمال استان فارس، به‌دنبال تعیین این عوامل و معرفی عملیات کنترل فرسایش خندقی می‌باشد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که بررسی این عوامل و تعیین اثرگذارترین آن‌ها، کمک شایانی به تعیین راه‌کارهای کنترل و اجرای موفقیت‌آمیزتر طرح‌های آبخیزداری خواهد کرد.

پیچیده بودن چگونگی شکل‌گیری و روند رشد و گسترش و کنترل خندق‌ها، در شرایط مختلف محیطی و اقدام‌های متفاوت انسان در بهره‌برداری از منابع آب و خاک باعث شده است که این نوع فرسایش خاک را نتوان تنها و محدود به نوع معینی از سازندهای زمین‌شناسی، وضعیت توپوگرافی، خصوصیات خاک، استفاده از اراضی، شرایط اقلیمی و

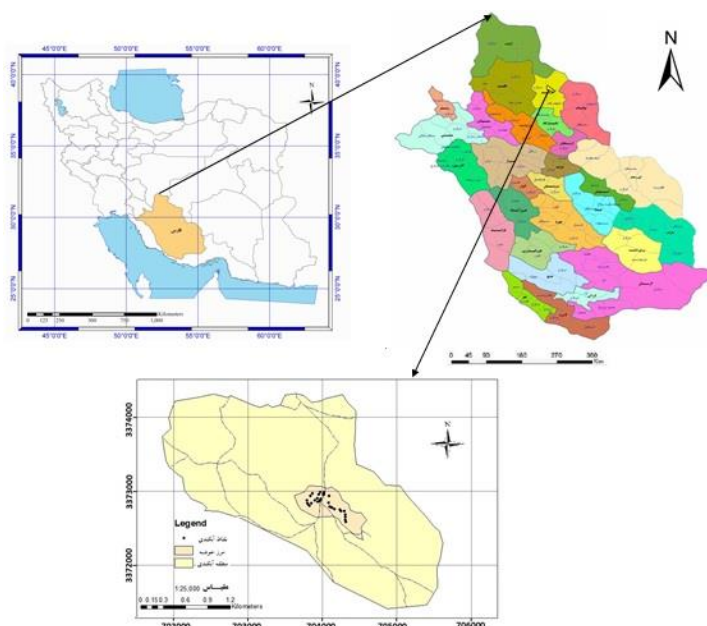
تکنیک‌های آماری است. زیرا دقت و سرعت پژوهش را ارتقا داده، پژوهشگران را در دستیابی به نتایج مناسب‌تر هدایت می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز خرم‌بید، در شمال استان فارس و در محدوده جغرافیایی "۵۳° ۰۴' ۵۰" تا "۳۰° ۱۱' ۳۰" شرقی و عرض جغرافیایی "۲۵' ۳۰" تا "۳۰° ۳۰' ۰۰" شمالی قرار دارد (شکل ۱). سازند زمین‌شناسی منطقه، آبرفت‌های دوره کواترنری بوده، تپ غالب اراضی منطقه، تپه ماهور است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن اصلاح‌شده در رده اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار می‌گیرد. متوسط دمای سالانه معادل ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد و میزان متوسط بارندگی طبق آمار ۳۱ ساله ایستگاه ده‌بید، برابر با ۲۳۹ میلی‌متر برآورد شده است. عمده کاربری اراضی منطقه در گذشته مرتع و در حال حاضر زراعت آبی است (Soufi, ۲۰۰۴).

(۲۰۱۸) و وجود معدن شن، فعالیت‌های کشاورزی نادرست، سامانه‌های زهکشی ضعیف و نامناسب، جاده‌سازی و ساخت و سازهای غیراصولی (Nwankwo و Nwankwoala, ۲۰۱۸) را از مهمترین عوامل در رشد و گسترش فرسایش خندقی در مناطق مورد مطالعه خود اعلام داشتند.

عنایت به بررسی و مطالعه پژوهش‌های محققان مختلف در خصوص ابعاد مختلف فرسایش آب‌بندی، حکایت از این موضوع دارد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مانند ایران، اهمیت این فرسایش به‌دلیل تولید رسوب و تخریب خاک، از سایر فرسایش‌های آبی بیشتر است. همچنین، مکانیسم پیچیده و اثرگذاری عوامل و پارامترهای مختلف بر شکل‌گیری و توسعه این فرسایش، شناخت دقیق عوامل مؤثر را با چالش روبرو کرده است. به همین دلیل نیاز به مطالعه و تعیین عوامل مهمتر و تاثیرگذارتر اجتناب‌ناپذیر و ضروری می‌باشد. نکته قابل توجه در این زمینه، استفاده و به‌کارگیری فنون و



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز و خندق‌های مورد مطالعه

نمونه‌ها (خندق‌ها) طبق فرمول کوکران^۱ در منطقه به‌طور تصادفی، به‌منظور اندازه‌گیری‌های صحرائی مشخص شد. در این حوزه آبخیز حدود ۵۰ خندق دائمی و اصلی (شاخص) وجود دارد که با خطای ۱۰

روش پژوهش: پس از انتخاب حوزه آبخیز خرم‌بید برای انجام پژوهش (به سبب غالب بودن فرسایش خندقی و ایجاد مشکل در زیربخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی) (شکل ۲)، تعداد صحیح و اصولی

¹ Cochran

(نسخه ۹/۱)، تحلیل عاملی^۱ انجام پذیرفت و سپس، اقدام به تهیه رگرسیون چند متغیره پس رونده^۲، به کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) با در نظر گرفتن میزان پیشروی طولی خندق‌ها در دوره زمانی ۱۳ ساله (۱۳۸۳-۱۳۹۶)، به‌عنوان متغیر وابسته، و سایر موارد اندازه‌گیری شده فوق‌الذکر به‌عنوان متغیرهای مستقل شد (شکل ۳).

نتایج و بحث

مساحت حوزه آبخیز خرم‌بید ۶/۲۱۱ کیلومتر مربع است که از این مقدار ۰/۳۰۸ کیلومتر مربع آن (۴/۹۶ درصد) تحت اشغال خندق‌ها است (شکل ۱). عمده خندق‌ها از نوع دائمی و دارای مقطع عرضی U شکل هستند. جدول ۱، مقادیر متغیرهای اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز قاضیان خرم‌بید را ارائه می‌دهد. بر طبق این جدول، خندق‌های واقع در این منطقه، به‌طور متوسط دارای مساحت آبخیز گسترش ۳۷۴/۰۲ متر مربع، شیب پیشانی ۷/۳۲ درصد هستند.

بافت خاک بیشتر خندق‌ها لومی است و بعد از آن به‌ترتیب بافت‌های لومی‌رسی، لومی‌رسی‌شنی و لومی‌شنی قرار دارند (شکل ۴).

شکل‌های ۵ و ۶، موقعیت خندق‌های منتخب در حوزه آبخیز خرم‌بید را بر روی تصویر گوگل‌ارث در دوره زمانی ۱۳ ساله (۱۳۸۳-۱۳۹۶) نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این تصاویر مشخص است، خندق‌ها در طی این دوره زمانی، پیشروی طولی و رشد داشته‌اند، به‌طوری که متوسط طول خندق‌های دائمی اندازه‌گیری‌شده در عملیات صحرائی در سال ۱۳۹۶، برابر با ۶۱/۲۹ متر و متوسط طول این خندق‌ها در سال ۱۳۸۳ (استخراج شده از تصاویر گوگل‌ارث)، ۳۹/۶۲ متر بوده است. به‌عبارتی، به‌طور متوسط افزایش طول خندق‌های دائمی منتخب در دوره ۱۳ ساله ۲۱/۶۷ متر بوده است (جدول ۲). این آمار بیانگر آن است که در طول دوره ۱۳ ساله مورد نظر، خندق‌های منتخب این منطقه در هر سال ۱/۶۷ متر پیشروی طولی داشته‌اند.

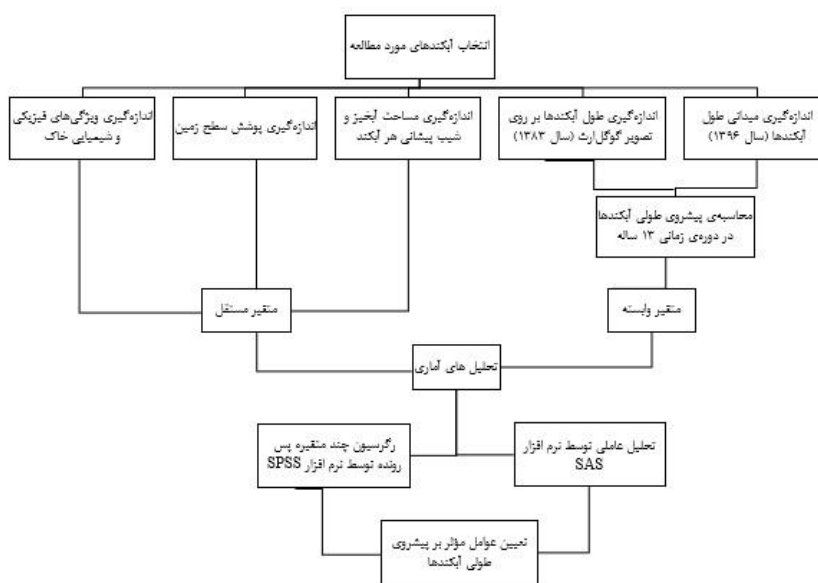
درصد، تعداد ۳۰ خندق دائمی به‌طور تصادفی در صحرا انتخاب شد. سپس، اقدام به تعیین موقعیت این خندق‌ها بر روی تصویر گوگل‌ارث مربوط به سال ۱۳۸۳ (۲۰۰۴ میلادی) شد و طول خندق‌ها در آن سال از روی تصاویر استخراج شد. در ادامه، با حضور در عرصه و انجام اندازه‌گیری‌های میدانی، طول هر خندق در صحرا در سال ۱۳۹۶ (۲۰۱۶ میلادی) به‌وسیله متر نواری اندازه‌گیری و اختلاف طول (پیشروی طولی خندق‌ها) در دوره زمانی ۱۳ ساله (۱۳۸۳-۱۳۹۶) استخراج شد. در مرحله بعد، اندازه‌گیری مساحت آبخیز و شیب، در بالای نقطه گسترش هر خندق، پس از برداشت میدانی و ثبت نقاط ارتفاعی (تقسیم آب) به‌وسیله دستگاه GPS (مدل ماژلان) در سال ۱۳۹۶ در صحرا، این نقاط به محیط GIS منتقل شد و با رعایت اصول کارتوگرافی، مساحت آبخیز گسترش هر خندق به‌طور جداگانه استخراج شد. همچنین، برای اندازه‌گیری شیب پیشانی هر خندق از دو روش DEM و اندازه‌گیری میدانی با استفاده از شیب‌سنج سنتو استفاده شد. مدل رقومی ارتفاعی مورد استفاده در این پژوهش، از نوع DEM با شبکه سلولی یا مربعی منظم، از نوع محلی بود. اما در کلیه محاسبات با توجه به نتایج محققانی چون Poesen و همکاران (۲۰۰۴) و Soufi (۲۰۰۴) مبنی بر دقت بهتر روش میدانی، از آمار روش میدانی در تحلیل‌ها استفاده شد. در ادامه، مقادیر درصد خاک لخت، سنگ‌ریزه سطحی، پوشش گیاهی و لاشبرگ سطحی در محدوده مساحت آبخیز گسترش خندق‌های منتخب با قرار دادن تصادفی کمتر از ۱۰ پلات یک متر مربعی و تعیین میانگین از آن‌ها انجام گرفت. سپس، اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با برداشت نمونه خاک از پیشانی هر خندق، انجام و پس از انتقال به آزمایشگاه، مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، اسیدیته، درصد ماده آلی، نسبت جذبی سدیم، درصد رس، سیلت و شن (بافت خاک به روش هیدرومتری) انجام شد. در انتها، به‌منظور تعیین عوامل تاثیرگذار بر طبقه‌بندی نمونه‌ها، با به‌کارگیری نرم‌افزار SAS

¹ Factor analysis

² Backward



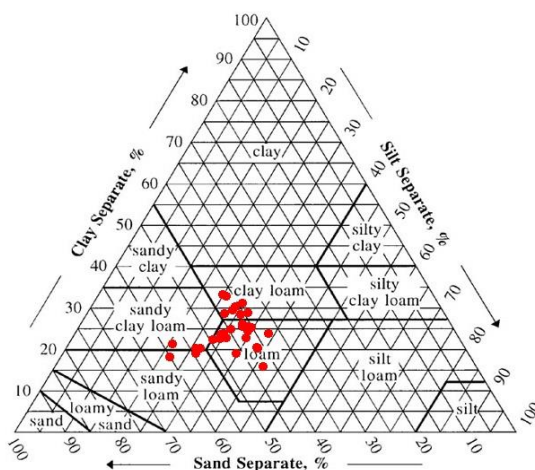
شکل ۲- نمونه‌هایی از خندق‌های منتخب در حوزه آبخیز خرم‌بید



شکل ۳- نمودار جریان روش پژوهش

جدول ۱- مقادیر متغیرهای اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز خرم‌بید

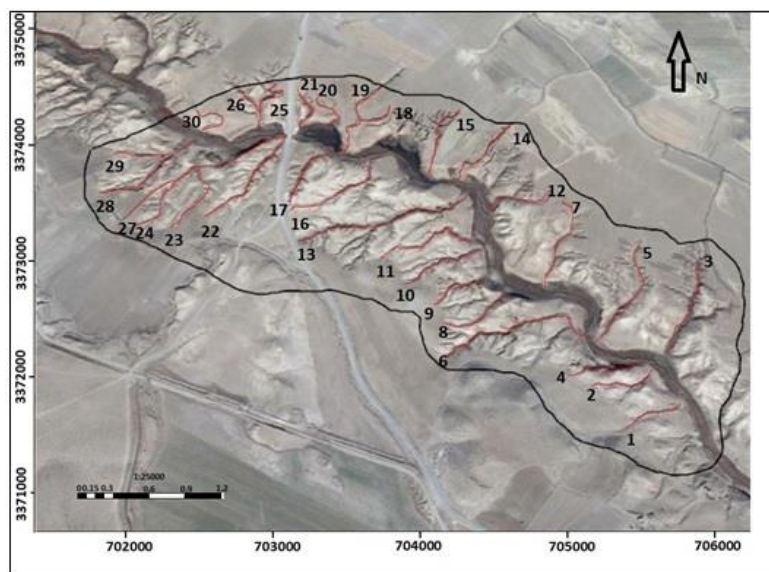
متغیر	کمینه	میانگین	بیشینه	انحراف معیار
پیشروی طولی خندق‌ها (Y) (متر)	۸	۲۱/۶۷	۴۰/۵	۸/۹۴۵
مساحت آبخیز گسترش (x1) (متر مربع)	۹۴	۳۷۴/۰۲	۸۹۳	۱۹۶/۸۴۳
شیب پیشانی (x2) (درصد)	۴	۷/۳۲	۱۱	۱/۹۷۲
خاک لخت (x3) (درصد)	۴۴	۸۷/۷۳	۹۹	۱۳/۰۴۸
سنگریزه سطحی (x4) (درصد)	۰	۶/۱۳	۵۰	۱۲/۲۱۸
پوشش گیاهی (x5) (درصد)	۱	۵/۲۰	۱۰	۲/۷۴۶
لاشبرگ سطحی (x6) (درصد)	۰	۰/۹۳	۴	۱/۱۱۲
هدایت الکتریکی عصاره اشباع (x7) (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۷۱	۱/۵۱	۲/۳۳	۰/۴۵۰
اسیدیته (x8)	۷/۵	۷/۸۲	۸/۱۴	۰/۱۶۶
نسبت جذبی سدیم (x9)	۶/۳۶	۸/۱۹	۱۱/۲۸	۱/۲۰۴
ماده آلی (x10) (درصد)	۰/۲۱	۰/۳۸	۰/۵۸	۰/۱۱۱
رس (x11) (درصد)	۱۵/۳۰	۲۳/۸۶	۳۲/۷۲	۴/۴۶۰
سیلت (x12) (درصد)	۲۰/۰۲	۲۹/۹۶	۴۱/۰۲	۴/۷۷۴
شن (x13) (درصد)	۳۸/۶۰	۴۶/۰۷	۶۱/۱۵	۵/۷۹۰



شکل ۴- بافت خاک در خندق‌های منتخب واقع در حوزه آبخیز خرمبید



شکل ۵- موقعیت خندق‌های منتخب بر روی گوگل‌ارث در سال ۱۳۸۳ (۲۰۰۴ میلادی)



شکل ۶- موقعیت خندق‌های منتخب بر روی گوگل‌ارث در سال ۱۳۹۶ (۲۰۱۶ میلادی)

جدول ۲- مقادیر طول و میزان پیشروی طولی خندق‌های منتخب در دوره زمانی مورد مطالعه (۱۳۸۳-۱۳۹۶)

شماره خندق	طول خندق در سال ۱۳۸۳ (متر)	طول خندق در سال ۱۳۹۶ (متر)	میزان پیشروی (متر)
۱	۹۷	۱۳۷	۴۰
۲	۵۳	۸۳	۳۰
۳	۷۸	۱۱۸/۵	۴۰/۵
۴	۶۲	۸۷	۲۵
۵	۳۸	۵۳	۱۵
۶	۸۱	۱۰۸	۲۷
۷	۵۵	۷۴/۳	۱۹/۳
۸	۳۸	۶۳	۲۵
۹	۲۷	۴۹	۲۲
۱۰	۲۳/۷	۴۲	۱۸/۳
۱۱	۱۸/۲	۲۸	۹/۸
۱۲	۱۶/۸	۳۸/۵	۲۱/۷
۱۳	۲۵	۳۳	۸
۱۴	۱۷	۲۷/۴	۱۰/۴
۱۵	۲۸	۴۵/۶	۱۷/۶
۱۶	۲۹/۵	۴۸/۳	۱۸/۸
۱۷	۱۸	۳۶/۶	۱۸/۶
۱۸	۳۹	۵۲	۱۳
۱۹	۷۹	۹۷/۴	۱۸/۴
۲۰	۲۶	۵۷	۳۱
۲۱	۲۹	۶۱/۳	۳۲/۳
۲۲	۶۶	۸۴	۱۸
۲۳	۴۱	۶۶	۲۵
۲۴	۱۴/۵	۴۰	۲۵/۵
۲۵	۱۹/۶	۳۱/۲	۱۱/۶
۲۶	۲۶	۶۱	۳۵
۲۷	۲۱	۳۴/۲	۱۳/۲
۲۸	۱۳/۸	۲۴/۲	۱۰/۴
۲۹	۷۷	۹۳/۶	۱۶/۶
۳۰	۳۱/۶	۶۴/۷	۳۳/۱
میانگین	۳۹/۶۲	۶۱/۲۹	۲۱/۶۷

نتایج تحلیل عاملی با چرخش واریماکس شامل: نمودار بارگذاری شده^۱، نمودار امتیاز^۲ و جدول ضرایب عوامل متغیرهای اندازه‌گیری شده خندق‌های منتخب حوزه آبخیز خرم‌بید در زیر ارائه شده است (شکل‌های ۷ و ۸ و جدول ۳).

با توجه به طول خطوط و نزدیکی آن‌ها به محورها در شکل ۶، مشخص می‌شود که متغیرهای درصد سنگریزه سطحی (x_4) و درصد خاک لخت (x_3) باید

بیشترین تاثیر را در مولفه اول و متغیرهای نسبت جذبی سدیم (x_9) و درصد شن (x_{13}) بیشترین ضریب را در مولفه دوم داشته باشند. همچنین، همان‌طور که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود، خندق شماره ۴ با فاصله بیشتری نسبت به سایر خندق‌ها قرار دارد و در مقایسه با سایر خندق‌ها وضعیت متفاوتی دارد. با تطبیق دو نمودار شکل‌های ۷ و ۸، به نظر می‌رسد که این امر می‌تواند به سبب وجود سنگریزه سطحی بیشتر نسبت به سایر خندق‌ها باشد. همچنین، وجود تفاوت میان خندق‌های ۱، ۲ و ۳ با سایر خندق‌ها نیز به دلیل وجود

¹ Loading plot

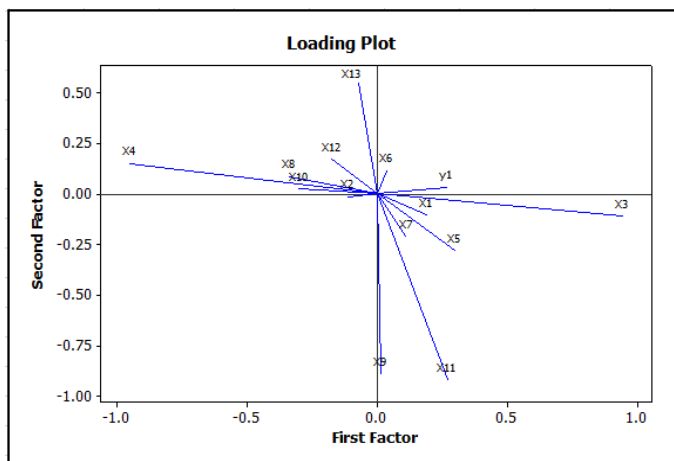
² Score plot

مربوط به شرایط پوشش سطح زمین و بافت خاک است.

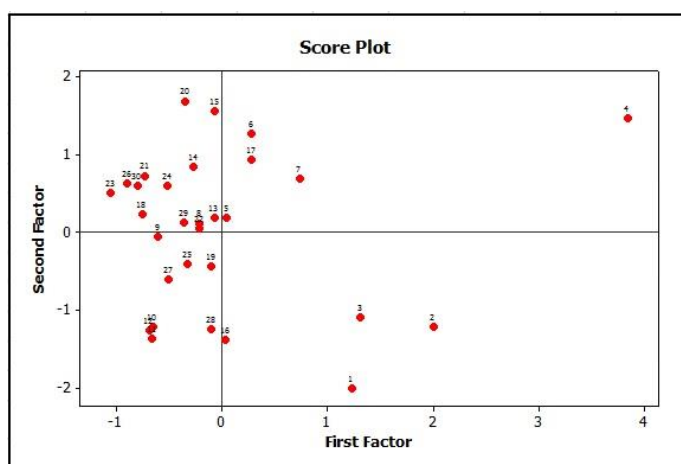
سؤالی که مطرح می‌شود، این است که در بین این متغیرها کدامیک تاثیر بیشتری بر میزان پیشروی طولی خندق‌ها دارند؟ به این منظور پس از تعیین روابط، با به‌کارگیری ضریب همبستگی پیرسون، از رگرسیون گام به گام استفاده می‌شود. با توجه به سطح معنی‌داری ضرایب همبستگی پیرسون (جدول ۴)، مشخص می‌شود که میزان پیشروی طولی خندق-ها (Y)، با متغیرهای مساحت آبخیز گسترش (X1)، درصد خاک لخت (X3)، درصد سنگریزه سطحی (X4) و هدایت الکتریکی عصاره اشباع (X7) ارتباط معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد دارد.

سنگ‌ریزه سطحی بیشتر و هدایت الکتریکی عصاره اشباع و نسبت جذبی سدیم بیشتر در مقایسه با سایر خندق‌ها است.

با توجه به مقادیر ویژه بالاتر از واحد، شش گام مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن اولین عامل، تنها ۱۶/۶ درصد و شش عامل دیگر، ۷۰ درصد از تغییرات را می‌توان مدیریت کرد (جدول ۳). بر اساس ضرایب جدول ۳، درصد خاک لخت در عامل اول، درصد رس در عامل دوم، درصد ماده آلی در عامل سوم، درصد سیلت در عامل چهارم، شیب پیشانی در عامل پنجم، و درصد لاشبرگ سطحی در عامل ششم دارای بیشترین ضرایب هستند. با توجه به برتری عوامل اولیه می‌توان ادعا کرد که مهمترین صفات،



شکل ۷- نمودار بارگذاری شده خندق‌های حوزه آبخیز خرم‌بید با چرخش واریماکس



شکل ۸- نمودار امتیاز خندق‌های واقع در حوزه آبخیز خرم‌بید با چرخش واریماکس

جدول ۳- مقادیر ویژه، واریانس و ضرایب متغیرها پس از چرخش واریانس

متغیر	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۴	عامل ۵	عامل ۶
پیشروی طولی خندق‌ها (Y) (متر)	۰/۲۷۶	۰/۰۳۵	-۰/۰۹۶	-۰/۰۰۶	-۰/۰۷۱	۰/۱۲
مساحت آبخیز گسترش (x1) (متر مربع)	۰/۱۹	-۰/۱۰۴	-۰/۰۲۷	-۰/۱۳۷	۰/۱	۰/۲
شیب پیشانی (x2) (درصد)	-۰/۱۱۱	-۰/۰۱۳	-۰/۰۲۱	-۰/۰۶۸	۰/۹۲	۰/۱۲۹
خاک لخت (x3) (درصد)	-۰/۹۴۹	۰/۱۵۲	-۰/۰۴۴	-۰/۰۶۶	۰/۰۹۱	۰/۰۷۳
سنگریزه‌ی سطحی (x4) (درصد)	۰/۹۴۲	-۰/۱۱	-۰/۱۴۶	۰/۰۷۷	-۰/۰۴	۰/۰۳۹
پوشش گیاهی (x5) (درصد)	۰/۳	-۰/۲۷۹	۰/۷۷۵	۰/۰۰۹	-۰/۲۰۴	-۰/۱۴۴
لاشبرگ سطحی (x6) (درصد)	۰/۰۳۸	۰/۱۱۶	۰/۱۹۷	-۰/۰۸۸	-۰/۱۲۴	-۰/۹۳۲
هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع (x7) (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۱۱۱	-۰/۲۰۸	-۰/۰۱۴	-۰/۰۸۵	-۰/۱۶۵	۰/۰۶۱
اسیدیته (x8)	-۰/۳۳۵	۰/۰۸۷	۰/۰۵۹	۰/۰۲۲	۰/۲۱۴	۰/۰۹۶
نسبت جذبی سدیم (x9)	۰/۰۱۵	-۰/۱۸۷	۰/۲۷۷	-۰/۰۳	-۰/۰۹۴	۰/۰۰۹
ماده‌ی آلی (x10) (درصد)	-۰/۳	۰/۰۲۷	۰/۹۰۶	۰/۰۲۶	-۰/۱۱۶	-۰/۱۴۹
رس (x11) (درصد)	۰/۲۶۹	-۰/۹۱۸	-۰/۰۸۱	-۰/۰۰۶	۰/۰۷۶	۰/۱۴۲
سیلت (x12) (درصد)	-۰/۱۷۲	۰/۱۷۳	۰/۰۰۴	-۰/۹۵۷	۰/۰۱۴	-۰/۰۸۹
شن (x13) (درصد)	-۰/۰۷۱	۰/۵۴۸	۰/۰۴۸	۰/۸۱۳	-۰/۰۸۷	-۰/۰۰۶
مقدار ویژه	۲/۳۲۱	۲/۱۵۰	۱/۶۲۸	۱/۶۲۷	۱/۰۳۷۶	۱/۰۳۰۶
درصد واریانس	۰/۱۶۶	۰/۱۵۴	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶	۰/۰۷۴	۰/۰۷۴
درصد واریانس تجمعی	۰/۱۶۶	۰/۳۲	۰/۴۳۶	۰/۵۵۲	۰/۶۲۶	۰/۷

جدول ۴- رابطه متغیر وابسته با متغیرهای مستقل

متغیرهای مستقل	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری
مساحت آبخیز گسترش (x1) (متر مربع)	۰/۴۵۶*	۰/۰۱۱
خاک لخت (x3) (درصد)	۰/۴۴۵*	۰/۰۱۴
سنگریزه سطحی (x4) (درصد)	-۰/۳۸۸*	۰/۰۳۴
هدایت الکتریکی عصاره اشباع (x7) (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۴۵۴*	۰/۰۱۲

به‌طوری که به ازاء افزایش هر واحد X_r (درصد خاک لخت) $0/358$ و هر واحد X_7 (هدایت الکتریکی عصاره اشباع) $0/370$ به میزان Y (پیشروی طولی خندق‌ها) اضافه می‌شود. در نتیجه، در این منطقه عامل هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع مهم‌ترین نقش را در میزان پیشروی طولی خندق‌ها دارد و عامل درصد خاک لخت، در اولویت بعدی است.

مناسب‌ترین معادله با توجه به بیشترین مقدار ضریب تبیین، با استفاده از رگرسیون گام به گام پس‌رونده، در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به معادله فوق و ضرایب استاندارد مندرج در جدول ۵، میزان پیشروی طولی خندق‌ها (Y)، در حوزه آبخیز خرم‌بید، تابع دو متغیر درصد خاک لخت (x_3)، و هدایت الکتریکی عصاره اشباع (x_7) است،

جدول ۵- معادله نهایی رگرسیون پس‌رونده و ضرایب آن در حوزه آبخیز خرم‌بید

معادله	ضرایب استاندارد		ضریب تبیین (R^2)	سطح معنی‌داری
	β_1	β_2		
$y=8.957+0.262x_3+7.332x_7$	۰/۳۵۸	۰/۳۷۰	۰/۶۳۶	۱ %

مشخص می‌شود که خاک‌های این منطقه در گروه خاک‌های شور قرار ندارند (EC بیشتر از دو و SAR بیشتر از ۱۳). در نتیجه خاک این منطقه نیاز به

نتایج این پژوهش نشان داد، با توجه به مقدار متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع (۱/۵۱) دسی‌زیمنس بر متر) و نسبت جذبی سدیم (۸/۱۹)

فرسایش‌پذیر قرار دارند، همچنین، میزان متوسط ماده آلی خاک ۰/۳۸ درصد است که با در نظر گرفتن آستانه ۳/۵ درصدی ماده آلی به‌منظور تفکیک خاک-های فرسایش‌پذیر طبق نظر ارائه شده به‌وسیله Morgan (۱۹۹۵) و Morgan و Mngomezulu (۲۰۰۳)، دارای ماده آلی لازم به‌منظور مقاومت در برابر فرسایش آبی نیست، همچنین، میزان متوسط درصد پوشش گیاهی، لاشبرگ سطحی، سنگریزه سطحی و خاک لخت به‌ترتیب ۵/۲۰، ۰/۹۳، ۶/۱۳ و ۸۷/۷۳ درصد می‌باشد. بنابراین، با توجه به روش‌های عامل گودوین^۱ اعلام شده به‌وسیله Moghadam (۲۰۱۴) منطقه مورد مطالعه دارای وضعیت خیلی فقیر است.

با عنایت به مباحث فوق‌الذکر، توصیه می‌شود، به‌منظور کاهش پیشروی طولی خندق‌ها توجه بیشتری به کنترل فرسایش در پیشانی خندق‌ها داشت. به این منظور پیشنهاد می‌شود، با استقرار پوشش گیاهی، به کاهش سطوح لخت و فاقد پوشش پرداخت، تا میزان رواناب کاهش یابد. در صورت عدم امکان اجرای این راهکار، بایستی رواناب ایجاد شده در بالای پیشانی خندق را منحرف کرد و در بخشی از بدنه خندق وارد کرد. همچنین، اجرای اقدام‌های احتیاطی برای جلوگیری از ایجاد خندق‌های جدید در محل ورود رواناب به بدنه خندق ضروری است. در صورت وجود شرایط اضطراری می‌توان با اقدام‌های مکانیکی نظیر بانکت‌بندی و یا احداث بندهای خاکی به ارتفاع یک متر در انتهای خندق‌ها، حجم و ارتفاع رواناب ورودی به پیشانی خندق را کاهش داد و به این طریق رواناب ایجاد شده را جمع‌آوری و در استقرا پوشش گیاهی در اطراف خندق‌ها اهتمام ورزید.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از نتایج پروژه تحقیقاتی مستقل با عنوان بررسی میزان تاثیر عوامل موثر بر گسترش فرسایش آبکندی (کد: ۹۵۰۳۷۲-۰۰۳-۲۹-۵۰-۲، مصوب: ۱۳۹۵/۰۹/۳۰) پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری می‌باشد. به این منظور، نویسندگان این اثر،

اصلاح ندارد، اما با تاکید بر موارد فوق‌الذکر و با توجه به درصد پوشش گیاهی اندک (۵/۲۰)، درصد کم ماده آلی (۰/۳۸) و درصد شن (۴۶/۰۷) و سیلت (۲۹/۹۶) بالای این خاک‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که منطقه در محدوده خاک‌های حساس به فرسایش قرار دارد و مستعد ایجاد و گسترش انواع فرسایش‌های آبی (به‌ویژه فرسایش خندقی) و به‌تبع آن، تولید رسوب فراوان است. بنابراین لازم است، راهکارهای مدیریتی افزایش مقاومت خاک در برابر فرسایش، شامل: افزایش پوشش گیاهی سازگار و مقاوم با شرایط طبیعی منطقه و قرق به‌منظور احیاء پوشش گیاهی در اولویت برنامه‌های مدیریتی و اجرایی قرار گیرد، این نتایج با یافته‌های Poesen و همکاران (۲۰۰۳)، Soleimanpour و همکاران (۲۰۰۸) و Igwe و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. همچنین، نظر به تاثیر عامل درصد خاک لخت، می‌توان نتیجه گرفت که این عامل مستقیماً بر سرعت جریان (رواناب) اثرگذار است، به‌طوری که هر چه در محدوده مساحتی آبخیز گسترش در بالای پیشانی خندق‌ها خاک لخت بیشتری وجود داشته باشد، رواناب تولیدی فرصت و قدرت بیشتری برای تخریب و هدر رفت خاک و به‌تبع آن رشد طولی خندق‌ها دارد. دلیل این امر، وجود فضای کافی برای پیشروی طولی خندق‌ها به‌سمت بالادست آبخیز است. این مطلب نشانگر این واقعیت است که در حوضه‌های کشیده‌تر (ضریب فرم کمتر) مقدار پیشروی طولی خندق‌ها بیشتر است، لذا، با کشیده‌تر شدن آبخیزها و به‌تبع آن گسترش محدوده مساحتی تحت اشغال خندق و فقدان پوشش گیاهی و افزایش خاک لخت در این محدوده، فضای بیشتری برای پیشروی طولی آن‌ها فراهم می‌شود. این یافته‌ها با نتایج سایر پژوهشگران از جمله Soleimanpour و همکاران (۲۰۰۸)، Ahmadi و همکاران (۲۰۰۹)، Essein (۲۰۱۳)، Yasrebi و همکاران (۲۰۱۳)، Nazari Samani و Ahmadi (۲۰۱۳)، و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت و هم‌خوانی دارد. همچنین، با توجه به مقدار متوسط رس (۲۳/۸۶ درصد) و محدوده اعلام شده به‌وسیله Evans (۱۹۸۰)، برای خاک‌های فرسایش‌پذیر (بین نه تا ۳۰ درصد رس)، خاک‌های این منطقه در گروه خاک‌های

¹ Goodwine

بر خود فرض می‌دانند از حمایت‌های مادی و معنوی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، نهایت تشکر و سپاس را اعلام دارند.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, H., A.A. Mohammadi, J. Ghodousi and A. Salajegheh. 2009. Investigation of effective factors and proposed model for define potential gully head advancement, study area: Hableh Roud drainage basin. *Territory (Sarzamin)*, 5(18): 1-12 (in Persian).
- Arabghashghaei, Z., D. Nikkami, S. Shadfar and A. Moeini. 2011. Gully erosion zonation in Toroud Firoozkooch Watershed. *Town and Country Planning*, 31(8): 107-119 (in Persian).
- Assefa, D., J. Eddy, R. Cathelijne, A. Stoof, C. Tilahun, A. Dagne, D. Zimale, B. Guzmanl and S. Tammo. 2016. Morphological dynamics of gully systems in the sub-humid Ethiopian Highlands. *The Debre Mawi Watershed, Journal of Soil Discuss*, 12: 2016-2025.
- Bobrovitskaya, N.N. 2000. Hydrological meteorological and morphological aspects of studying gully erosion in period of global change. *International Symposium on Gully Erosion under Global Change, Abstract of Papers*, 180 pages.
- Choubin, B., O. Rahmati, N. Tahmasebipour, B. Feizizadeh and H.R. Pourghasemi. 2018. Application of fuzzy analytical network process model for analyzing the gully erosion susceptibility. *Natural hazards GIS based spatial modeling using data mining techniques. Springer International Publishing (in Press)*.
- De Luna, E., K. Vanderlinden, J.M. De haro, A. Laguna, J. Poesen and J.V. Giraldez. 2000. Monitoring long term gully head advance in south-east Spain using GIS. *International Symposium on Gully Erosion under Global Change*, 53 pages.
- Essein, O.E. 2013. Effect of disturbed soil properties on gully growth. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 3(1): 27-39.
- Evans, R. 1980. Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical view point. In *Soil Erosion*, eds. Kirkby, M.J. and R.P.C. Morgan. John Wiley and Sons, Chichester, 109-128.
- Ezechi, J.I. 2000. The influence of runoff, lithology and water table on the dimensions and rates of gully processes in Eastern Nigeria. *International Symposium on Gully Erosion under Global Change*, 60 pages.
- Igwe, P.U., O.C. Chinedu, E.U. Nlem, C.C. Nwezi and J.C. Ezekwu. 2018. A review of landscape design as a means of controlling gully erosion. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 3(1): 103-111.
- Jahantigh, M. and M. Tabe. 2017. Comparing soil physico-chemical characteristics and trapezoidal and v-shaped gully morphology with different land uses in dry areas, case study: Hossinzahi and Nalint regions of Chabahar. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 9(3): 308-317 (in Persian).
- Khazae, M., A. Shafiei and A. Molaii. 2012. Investigating the effect of factors affecting the development of gully erosion in Maroon Watershed. *Iranian Journal of Soil Research*, 26(2): 153-164 (in Persian).
- Moghadam, M.R. 2014. *Range and range management*. Tehran University Press, 484 pages (in Persian).
- Morgan, R.P.C. 1995. *Soil erosion and conservation*. 2nd ed., Longman Press, 198 pages.
- Morgan, R.P.C. and D. Mngomezulu. 2003. Threshold conditions for initiation of valley-side gullies in the middle veld of Swaziland. *Catena*, 50: 401-414.
- Nazari Samani, A.A., F. Avazadeh Tavakoli, H. Ahmadi and Gh.R. Rahi. 2014. Determining of effective factors on gully longitudinal advancement, case study: Dareh Koreh Watershed. *Journal of Range and Watershed Management*, 67(1): 117-126 (in Persian).
- Nwankwo, C. and H.O. Nwankwoala. 2018. Gully erosion susceptibility mapping in Ikwano local government area of Abia State, Nigeria using GIS techniques. *Earth Sciences Malaysia (ESMY)*, 2(1): 8-15.
- Patrick, E. 2015. Comparative analysis of the causes of gully erosion in Nkpor and Obosi in Anambra State of Nigeria. *Journal of Environment and Earth Science*, 5(14): 85-98.
- Poesen, J., J. Nachtergaele, G. Verstraeten and C. Valentin. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50: 91-133.
- Pourghasemi, H.R., S. Yousefi. A. Kornejady and A. Cerdà. 2017. Performance assessment of individual and ensemble data-mining techniques for gully erosion modeling. *Science of the Total Environment*, 609: 767-775.

21. Rahmati, O., N. Tahmasebipour, A. Haghizadeh, H.R. Pourghasemi and B. Feizizadeh. 2017. Evaluating the influence of geo-environmental factors on gully erosion in a semi-arid region of Iran: an integrated framework. *Science of the Total Environment*, 579: 913-927.
22. Rostamizad, Gh., A. Salajegheh, A.A. Nazari Samani and J. Ghodoosi. 2015. Determination of factors affecting the longitudinal growth of the gullies and preventing its expansion, case study: Dareshahr County. *Journal of Quantitative Geomorphological Researches*, 4(1): 46-58 (in Persian).
23. Shadfar, S. 2010. An introduction to gully erosion. Entekhab Publications, 141 pages (in Persian).
24. Shadfar, S. 2016. Identifying the gully erosion potential using artificial neural network (ANN), case study: Toroud Watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 8(3): 256-263 (in Persian).
25. Shadfar, S., A.A. Davoodirad and H.R. Peyrowan. 2013. Investigation and comparing gully erosion characteristics in agriculture and rangeland land uses, case study: Robot Tork Watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 4(4): 217-222 (in Persian).
26. Shahrivar, A., S. Shadfar and B. Adeli. 2017. Assessment of gully erosion zoning methods, case study: Abgandi Watershed. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 4(1): 119-132 (in Persian).
27. Simon, A., N. Pollen-Bankhead and R.E. Thomas. 2011. Development and application of a deterministic bank stability and toe erosion model for stream restoration. *Geophysical Monograph Series*, 194: 453-474.
28. Soleimanpour, S.M. 2012. Investigation and comparison of thresholds controlling gully erosion in different climates of Fars Province. PhD Thesis, Shiraz University, 594 pages (in Persian).
29. Soleimanpour, S.M., M. Soufi and H. Ahmadi. 2008. Investigating the factors affecting gully erosion of sediment production and soil waste in Gouresped region, Fars Province. *Proceedings of 5th Conference on Engineering Geology and Environment*, Tehran (in Persian).
30. Soufi, M. 2004. Investigation of morphoclimatic characteristics of gully in Fars Province. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 130 pages (in Persian).
31. Svoray, T. and H. Markovitch. 2009. Catchment scale analysis of the effect of topography, tillage direction and unpaved roads on ephemeral gully incision. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 1970-1984.
32. Tebebu, T., A. Abiy, H. Dahlke, Z. Easton, S. Tilahun, A. Collick, S. Kidnau, S. Moges and F. Dadgari. 2010. Surface and subsurface flow effect on permanent gully formation and upland erosion near Lake Tana in the northern highlands of Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(11): 2207-2217.
33. Yamani, S., M. Zamanzadeh and M. Ahmadi. 2013. Analysis of factors affecting the formation and development of gully erosion, a case study of Kahoor Plain in Fars Province. *Geographical Exploration Desert*, 1: 53-84 (in Persian).
34. Yasrebi, B., M. Soufi, S.Kh. Mirnia and J. Mohamadi. 2013. Assessment the impact of topographic and soil characteristics on bank gullies advancement in croplands, case study: Ilam Province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 5(1): 31-40 (in Persian).
35. Zamanzadeh, S.M. and M. Ahmadi. 2013. The effect of soil physical and chemical properties on the formation and expansion of gully erosion, case study: Dashtekahoor region, Lamerd. *Journal of Quantitative Geomorphological Researches*, 2(2): 135-156 (in Persian).