

## Identification of Expansion Rate in Active Gullies using Remote Sensing

A.A. Ghezelsoufloo<sup>1</sup>, M. Maghrebi<sup>2\*</sup>, F. Daroughe<sup>3</sup>

1- Assistant Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, IAUM University, Mashhad, Iran. 2- PhD Student of Environmental Engineering, Water Resources, University of Tehran, Iran. 3- MSc Graduate of Agriculture Engineering, Mashhad, Iran.

\*(Corresponding Author Email: Maghrebi.mohsen@ut.ac.ir)

Received: 27-09-2016

Accepted: 23-12-2017

## شناسایی و تعیین میزان گسترش در آبکندهای فعال با استفاده از سنجش از راه دور

عباسعلی قزل سوفلو<sup>۱</sup>، محسن مغربی<sup>۲\*</sup>، فرزانه داروغه<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد. ۲- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست-منابع آب، دانشکده فنی، دانشگاه تهران. ۳- دانش آموزانه کارشناسی ارشد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

\*(E-Mail: Maghrebi.mohsen@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۰۲

### Abstract

The gully erosion is one of several water erosions which their expansion causes significant changes in terms of land, land degradation, and destruction of the environment. To study the diversity and expansion of gullies and the development of gully erosion from one place to another, remote sensing and geographical information systems were used. To achieve the current research objectives, the spatial and temporal extent of gully erosion and expansion of the eroded areas were investigated using the Landsat 7 and 8 satellite images with a resolution of 30 m in the period of 2001 (1380) and 2014 (1393). The spatial resolution has been enhanced from 30 m to 15 m using the band PAN (15 meters) and technique Resolution merge. This method was applied to all bands and pictures for two different time periods. The results from combining two layers of waterways, in the period of 13 years, applied on the Shordareh basin located in Golestan province, showed an increase in the length of the gully and the drainage density of sub-basins. The erosion rate in the assumed period is estimated at 0.99 meters per year. The gully expansion is directly related to the geological formations, land use, and other human activities such as unprincipled construction of rural and inland roads.

**Keywords:** Gully erosion, Remote sensing, Shordareh, Drainage density.

### چکیده

فرسایش خندقی از جمله انواع فرسایش آبی و تشدیدشونده است که رخداد و گسترش آن موجب تغییرات بارز در منظر زمین، پسرفت اراضی، صدمه به تأسیسات، آبستگي و تخریب ایستگاه‌های هیدرومتری و محیط زیست می‌شود. با توجه به تنوع و گسترش آبکندهای منطقه و گسترش فرسایش خندقی از نقطه‌ای به نقطه دیگر، به منظور شناسایی آن‌ها، از تکنیک سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی استفاده گردیده است. برای دستیابی به اهداف تحقیق، تغییرات مکانی و زمانی فرسایش خندقی همراه با میزان گسترش اراضی خندقی شده، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و لندست ۸ با قدرت تفکیک ۳۰ متر در دو بازه زمانی ۲۰۰۱ (۱۳۸۰) و ۲۰۱۴ (۱۳۹۳) استفاده گردید. به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی، با استفاده از باند PAN (۱۵ متر) و تکنیک Resolution merge، اندازه پیکسل‌ها از ۳۰ متر به ۱۵ متر ارتقا داده شده است. این عملیات برای کلیه باندها در دو بازه زمانی انجام گرفته است. نتایج حاصل از پوشش دو لایه آبراهه‌ای، در بازه زمانی ۱۳ ساله در حوضه شوردره، واقع در حوضه آبریز رودخانه‌های قره‌سو و گرگان رود در استان گلستان، حاکی از افزایش طولی خندق‌ها و افزایش تراکم زهکشی زیرحوضه‌های آبریز دارد، به طوری که در بازه مورد نظر نرخ فرسایش ۰/۹۹ متر در سال برآورد شده است. گسترش خندق‌ها رابطه مستقیمی با سازند زمین‌شناسی کاربری اراضی و سایر اقدامات انسانی از جمله احداث غیراصولی راه‌های روستایی و درون مزرعه‌ای دارد.

**واژه‌های کلیدی:** فرسایش خندقی، سنجش از دور، شوردره، تراکم زهکشی.



شکل ۱- احداث ایستگاه هیدرومتری شورکال درگز



شکل ۲- پیشرفت سر آبکند پس از وقوع سیلاب

سنجش از دور، داده‌های همگن از مناطق وسیع و با قابلیت تکرارپذیری منظم فراهم می‌آورد. بنابراین می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب در ارزیابی فرسایش آبی در مقیاس منطقه‌ای بکار گرفته شود (Oguchi و Siakeu، ۲۰۰۰). یکی از نکات مهم به‌عنوان فناوری در سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، امکان دستیابی به اطلاعات کامل و صحیح از منطقه است که از طریق پردازش داده‌ها و اطلاعات پایه توسط سیستم رایانه در تلفیق با نرم‌افزارهای قابل اجرا در محیط GIS فراهم می‌گردد. Poesen و Govers (۱۹۹۰) با به‌کارگیری عکس‌های هوایی برای محاسبه حجم خندق‌ها به این نتیجه دست یافتند که اصولاً مطالعه طولانی مدت و دقیق فرسایش خندقی تنها از طریق استفاده از عکس‌های هوایی میسر می‌باشد. شناسایی اشکال فرسایش به علت وسعت کم آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی پایین با محدودیت روبرو است. قدرت تفکیک ماهواره‌هایی مانند لندست و اسپات به نظر می‌رسد که بهترین نوع داده ماهواره‌ای در تشخیص فرسایش‌های خندقی با اندازه‌های بزرگ و متوسط باشند.

Gabris و همکاران (۲۰۰۳) با مطالعه در زمینه فرسایش خندقی در مجارستان با استفاده از عکس‌های هوایی و تجزیه و تحلیل داده‌ها با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان داده‌اند که بررسی وضعیت فرسایش خندقی و توزیع مکانی آن در رابطه با عوامل مختلف مانند شیب، پوشش گیاهی و نوع خاک و بررسی و مطالعه روند شکل‌گیری و نحوه گسترش و تغییرات فرسایش خندقی، تنها در صورت در دسترس بودن عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای امکان‌پذیر است.

Millington و همکاران (۲۰۱۳) طی بررسی‌های صورت گرفته بر روی خندق‌های کوچک در فلات جنوبی لهستان، به این نتیجه رسیدند که خندق‌های کوچک به روش‌های مختلف در کف دره‌ها و یا در شیب آن‌ها تشکیل می‌شوند. همچنین نرخ متوسط فرسایش خندقی کوچک را  $۰/۶۳$  متر در سال، نرخ متوسط فرسایش خندقی

فرسایش خندقی از فرآیندهای مهم تخریب خاک است که در اقلیم‌های مختلف سبب تلفات قابل ملاحظه خاک و تولید مقادیر فراوان رسوب می‌شود. از طرف دیگر این نوع فرسایش، یکی از مخرب‌ترین و پیچیده‌ترین انواع فرسایش آبی محسوب می‌شود (محمدی، ۱۳۸۵). خندق یک آبراهه با کناره‌های دارای شیب تند و یک پیشانی فرسایشی پرشیب و فعال می‌باشد که با فرسایش ناشی از جریان سطحی متناوب (به‌طور معمول در طی یا پس از ریزش باران‌های شدید) ایجاد شده است (Poesen و همکاران، ۲۰۰۳). خندق‌ها در اثر توسعه در طول خطوط زه‌کشی و از بزرگ شدن آبراهه‌ها نیز حاصل می‌شوند (احمدی، ۱۳۹۰).

آبکندها کانال‌های عمیقی در جهت شیب هستند که به طور عمومی به وسیله‌ی رواناب به وجود می‌آیند و اغلب جریان دائمی ندارند (Kirkby و همکاران، ۲۰۰۹). فرسایش آبکندی که از انواع پیشرفته فرسایش می‌باشد در اثر تشدید دخالت‌های انسانی حاصل شده است و عامل و حامل اصلی رسوب به اراضی پایین دست می‌باشد که اثرات درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای گسترده‌ای از جمله برهم‌زدن چشم‌انداز منطقه، قطعه‌قطعه شدن اراضی، کاهش حاصلخیزی، آلودگی منابع آبی، پر شدن مخازن سدها و آب‌انبارها و غیره را در پی دارد. به‌طوری‌که دلیل توجه به فرسایش خندقی را نسبت به دیگر انواع فرسایش پر اهمیت می‌دانند (مختاری، ۱۳۸۲؛ صوفی و چرخابی، ۱۳۸۳؛ Sidorchuk و همکاران، ۲۰۰۱).

توسعه سرآبکندها گاه‌چنان سریع صورت می‌گیرد که با هیچ تدبیری نمی‌توان رشد آن‌ها را کنترل کرد. تدابیری هم‌که اندیشیده می‌شود، صرفاً در جهت کند کردن سرعت رشد آنها است. با بررسی رشد آبکندها در بازه‌های زمانی و مناطق مختلف و همچنین مشاهده برخی از آبکندها پیش و پس از رگبارهای شدید، می‌توان نتیجه گرفت که گسترش و پیشروی سرآبکندها با میزان بارندگی‌ها و تکرار وقوع رگبارهای شدید، رابطه‌ای مستقیم دارد. به‌عنوان مثال مقایسه رشد حجمی هدکت (پیشانی گالی‌ها) شورکال در منطقه درگز واقع در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که میزان رشد این خندق پس از وقوع سیلاب، ۲۰ متر طولی، ۵ متر عمودی و ۷ متر عرض پیشرفت داشته است (شکل‌های ۱ و ۲). آبشستگی پایین دست ایستگاه هیدرومتری طاغان و ایستگاه درخت صنوبر واقع در تربت حیدریه نیز از جمله مواردی است که گسترش خندق‌های موجود در منطقه منجر به جابجایی ایستگاه شده است.

بررسی ابعاد مختلف فرسایش خندقی با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و با بهره‌گیری از تکنیک‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی افزون بر افزایش دقت نتایج، موجب صرفه‌جویی در زمان و کاهش حجم و مدت انجام مطالعات می‌شود (Govers و Desmet، ۱۹۹۷).

در شیب‌ها را ۰/۲۱-۰/۵۲ متر در سال و نرخ متوسط فرسایش در کف دره‌ها را ۰/۱۸-۱/۹۸ در سال برآورد کردند.

کمی‌سازی دینامیک فرسایش شیاری می‌تواند در درک شکل‌گیری و تکامل فضایی و زمانی خندق‌ها کمک کند. تجزیه و تحلیل بصری برجسته بینی از یکسری از عکس‌های هوایی در گذشته برای اندازه‌گیری تغییرات زمانی (تنها برای تغییرات بسیار بزرگ در مورفولوژی در طول زمان) در طول، مساحت، حجم و یا چگالی (طول کل، تعداد کل) استفاده می‌شد (Burkard و Kostaschuk، ۱۹۹۷).

با قابل دسترس شدن تجزیه و تحلیل زمانی از تصاویر ماهواره‌ای، مشاهده تغییرات دراز مدت در مناطق فعال آبکندهای پیچیده امکان‌پذیر شده است.

تصاویر چند طیفی هواپرد با قدرت تفکیک مکانی متوسط، مانند لندست (۳۰ متر) و یا ASTER (۱۵ متر) در منطقه مرئی و مادون قرمز نزدیک از طیف الکترومغناطیسی (۴۰۰-۱۰۰۰ نانومتر)، می‌بایست به همراه عکس‌های هوایی و سایر اطلاعات مرتبط استفاده شود و با داده‌های میدانی پشتیبانی شود، تا بتوان اطلاعات منطقه را در زمین‌های فرسایش یافته استخراج نمود (Brooks و همکاران، ۲۰۰۹؛ Pellikka و همکاران، ۲۰۰۵).

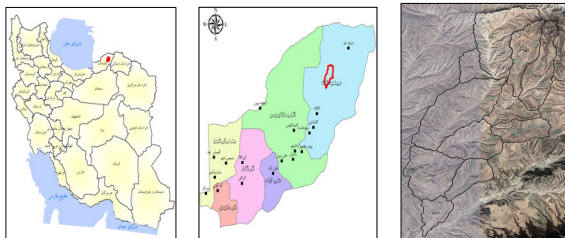
تجزیه و تحلیل بصری از داده‌های ماهواره‌ای، پیگیری منطقی برای تفسیر عکس‌های هوایی، به ترسیم تغییرات در ویژگی‌های شیاری مورد استفاده قرار گرفت (Singh، ۱۹۷۷). این طبقه‌بندی براساس تکنیک حداکثر احتمال مبتنی بر پیکسل (MLC)<sup>۱</sup> برای تشخیص ویژگی‌های فرسایش شیاری انجام می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا امکان مناسبی برای بررسی فرسایش شیاری و پویایی آن‌را ارائه می‌دهد (Giordano و Marchisio، ۱۹۹۱؛ Vrieling و همکاران، ۲۰۰۷).

آبکندها ممکن است تازه و فعال به نظر برسند درحالی‌که در واقع بسیار قدیمی و پایدار هستند (Valentin و همکاران، ۲۰۰۵). شواهدی وجود دارد که سیستم‌های خندقی بزرگ در نتیجه رخدادهای بارندگی شدید با دفعات تکرار بسیار کم و یک‌باره ایجاد شده‌اند و فعالیت‌های پس از آن به آهستگی صورت می‌پذیرد (Pellikka و همکاران، ۲۰۰۵). مطالعه حاضر با هدف تجزیه و تحلیل تغییرات در سیستم‌های خندق‌ها در یک دوره سیزده ساله از (۲۰۱۴-۲۰۰۱) در منطقه شوردره استان گلستان صورت پذیرفته است.

## مواد و روش‌ها

داده است به طوری که از روستای آق‌چاتال یعنی تا ارتفاعات قرناق در غرب حوضه و ارتفاعات آرامابای راق در شرق حوضه، فقط رسوبات لس دیده شده است.

حوضه شوردره در محدوده جغرافیایی "۱۰° ۳۶' ۵۵" تا "۵۱° ۴۳' ۵۵" طول شرقی و "۲۶° ۲۵' ۳۷" تا "۴۰° ۴۶' ۳۵" عرض شمالی و در استان گلستان با مساحت ۱۲۰ کیلومتر مربع قرار گرفته است. این حوضه در بخش مرکزی شهرستان کلالة و دهستان‌های تهران، مراوه تپه و زاوه‌کوه قرار گرفته است. شکل (۳) موقعیت منطقه طرح را نشان می‌دهد. این حوضه با بارش متوسط سالانه ۴۶۵ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۵/۸ درجه سانتیگراد دارای اقلیم نیمه خشک می‌باشد. بخش اعظم تشکیلات زمین‌شناسی منطقه را رسوبات لسی تشکیل



شکل ۳- موقعیت محدوده مطالعاتی در ایران و استان گلستان

باند PAN (۱۵ متر) و تکنیک Resolution merge، اندازه پیکسل‌ها از ۳۰ متر به ۱۵ متر ارتقا یافت. این عملیات برای کلیه باندها و در تصاویر دو زمان انجام شد.

جدول ۱- تصاویر مورد استفاده در پردازش تصاویر ماهواره‌ای

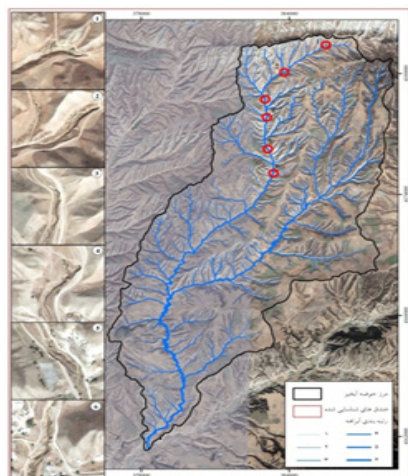
نام سنجنده	تاریخ اخذ تصویر	تعداد باند	قدرت تفکیک
Landsat 7 (ETM+)	۲۰۰۱/۰۹/۰۹	۸	۳۰ متر (مرئی و مادون قرمز) ۶۰ متر (حرارتی) ۱۵ متر (پانکروماتیک)
Landsat 8	۲۰۱۴/۰۷/۲۲	۹	۳۰ متر (مرئی و مادون قرمز) ۶۰ متر (حرارتی) ۱۵ متر (پانکروماتیک)

## روش تحقیق

جهت انجام این طرح از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و لندست ۸ (قدرت تفکیک ۳۰ متر) در دو بازه زمانی ۲۰۰۱ (۱۳۸۰) و ۲۰۱۴ (۱۳۹۳) استفاده شد. به منظور افزایش کیفیت و وضوح بهتر آبکندها، با استفاده از باند pan قدرت تفکیک ۳۰ متر به ۱۵ متر ارتقا داده شد. مشخصات تصاویر مورد استفاده به شرح جدول (۱) آمده است. تکنیک‌های متفاوتی جهت بارزسازی تصویر وجود دارد که به‌طور کلی به سه دسته بارزسازی رادیومتریک، بارزسازی مکانی و بارزسازی طیفی تقسیم می‌شود. انتخاب تکنیک بارزسازی باتوجه به هدف مطالعات و انتظار از استخراج نوع خاصی از اطلاعات صورت می‌گیرد. ابتدا به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی، با استفاده از



این دو سال دو پوشش پلیگونی می‌باشد که هر دو بر اساس سیستم مختصات UTM-40-n زمین مرجع شده‌اند. دو پوشش پلیگونی با استفاده از تابع union، روی هم گذاشته شدند. نتیجه این کار یک پوشش پلیگونی جدید است که اطلاعاتی در مورد هر کلاس نقشه جدید در زمان‌های متناوب می‌دهد، این اطلاعات به صورت دو بعدی (سطحی) در دوره‌های زمانی مشاهده شده، و دارای تغییراتی است که از روی آن مقدار عقب‌نشینی دیواره‌های آبکند محاسبه، میزان آن استخراج و برای هر خندق اندازه‌گیری شد (شکل‌های ۵ و ۶).



شکل ۵- شبکه زهکشی آبراهه‌ها و موقعیت آبکندهای شناسایی شده



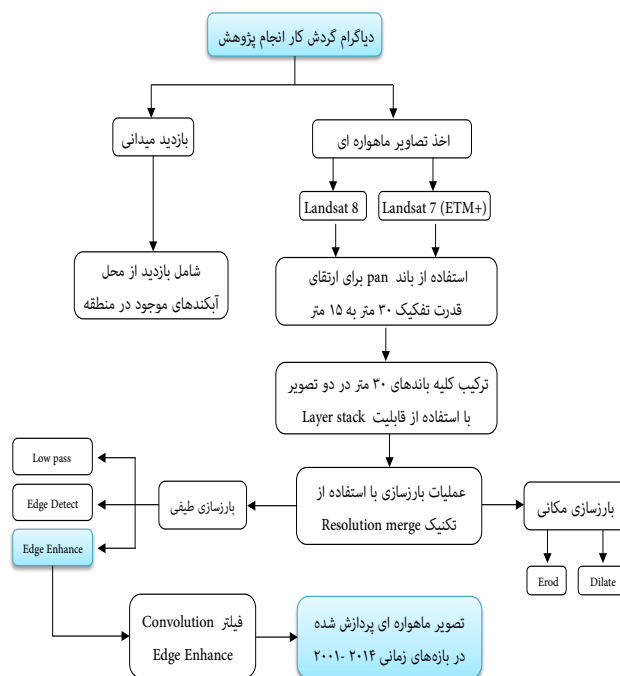
شکل ۶- میزان پیشرفت پیشانی خندق‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای



شکل ۷- نمایی از خندق‌ها در محدوده مورد مطالعه

برای بهبود دید بصری تصاویر و وضوح بهتر آبکندها جهت تشخیص میزان پیشروی و تراکم آنها، از میان روش‌های بارزسازی طیفی تکنیک (Principal Component) و از میان روش‌های بارزسازی مکانی، فیلتر Convolution در روش‌های متفاوت Edge Enhance، Edge Detect و Low pass در پنجره  $3 \times 3$  و همچنین فیلتر Morphological Operators در روش‌های Erode و Dilate در پنجره  $3 \times 3$  به منظور حصول بهترین نتیجه مورد آزمایش قرار گرفتند. باتوجه به نتایج به دست آمده، روش‌های مکانی قابلیت بهتری در بارزسازی سیستم‌های زهکشی و آبکندها به نمایش گذاشتند که در نهایت فیلتر Convolution با روش Edge Enhance به عنوان تکنیک بارزسازی انتخابی استفاده شده است.

به منظور به حداقل رساندن داده‌های کم ارزش و استفاده حداکثر از اطلاعات مفید و مورد نیاز لازم است باندهای مناسب برای ساخت تصویر رنگی استفاده شود. انواع مختلفی از ترکیب باندی برای تصاویر لندست پیشنهاد شده است که در این طرح از ترکیب باندی ۳-۵-۲ برای ساخت تصویر رنگی و بارز نمودن هر چه بیشتر آبکندها در تصاویر حاصل شده از فیلتر Convolution Edge Enhance استفاده شد. نمودار زیر مراحل انجام کار را نشان می‌دهد.



شکل ۴- فلوچارت انجام مطالعات

## نتایج و بحث

به منظور تعیین میزان گسترش در آبکندهای فعال، نقشه نواحی آبکندی شده‌ی سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد نظر با بهره‌گیری از نرم افزار ArcMap و سامانه داده‌های جغرافیایی (GIS) مشخص و ترسیم شد. نتیجه ترسیم مرز آبکندها در

پیشروی در محدوده سرخندق غالباً به صورت حفره‌ای صورت گرفته است به نحوی که خندق در ناحیه افق‌های میانی تا زیری انحلال پیدا کرده و ریزش می‌نماید. سپس سطح بالایی خندق نیز یک مرتبه فرو می‌ریزد و باعث پیشروی آن می‌شود. این نشان‌دهنده لایه‌های سست، وجود املاح و یا عناصر انحلال‌پذیر در این بخش از خاک است که این عمل با حضور مستمر آب صورت می‌گیرد و در قسمت دیواره‌ها یا بدنه خندق‌ها نیز پیشروی به صورت یکدست می‌باشد (شکل ۷). باتوجه به مقادیر اندازه‌گیری شده از طریق تصاویر ماهواره‌ای، میانگین رشد طولی خندق‌ها در سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۱، مقدار ۰/۹۹ متر در سال اندازه‌گیری شد. این نتایج تا حدودی نزدیک به نتایج عوض‌زاده توکلی (۱۳۸۸) که متوسط رشد طولی خندق‌ها

در طول دو دوره ۲۴ ساله، ۱/۳۶ متر در سال و ۱۶ ساله، ۱/۲۳ متر در سال برآورد کرده مطابقت دارد. اما دیگر محققان متوسط رشد طولی خندق در مناطق دیگر را کمتر از این مقدار برآورد کرده‌اند. این اختلاف می‌تواند به دلیل حساسیت بالای منطقه مورد مطالعه به فرسایش، مخصوصاً فرسایش خندقی باشد (محمدی، ۱۳۸۵). در دوره ۵۰ ساله، ۰/۲۰۶ متر در سال (Schlindwein، ۲۰۰۴)، ۰/۷۳-۰/۱ متر در سال (Pellikka و همکاران، ۲۰۰۵)، ۰/۶۳ متر در سال در خندق‌های کوچک و ۰/۲۱-۰/۵۲ متر در سال در شیب‌ها و ۰/۱۸-۱/۹۸ متر در سال در کف دره‌ها (Martinez، ۲۰۰۳)، در یک دوره ۳۴ ساله ۰/۲ متر در سال و حداکثر نرخ پیشروی هدکت (پیشانی گالی) خندق‌ها را ۰/۷ تا ۰/۸ متر در سال برآورد کرده‌اند.

جدول ۲- متوسط گسترش طولی در خندق‌های مورد مطالعه در طول دوره

شماره خندق	مختصات سرخندق در سال ۲۰۰۱		مختصات سرخندق در سال ۲۰۱۴		گسترش طولی آبکند در طول دوره (متر در سال)	نرخ فرسایش
	X	Y	X	Y		
۱	۴۱۸۱۳۹۴	۳۸۵۵۴۰	۴۱۸۱۳۹۲	۳۸۵۵۶۲	۱۲/۴۴	۰/۹۶
۲	۴۱۸۰۱۳۲	۳۸۳۸۹۴	۴۱۸۰۱۳۳	۳۸۳۹۰۵	۱۷/۶۹	۱/۳۶
۳	۴۱۷۸۷۶۵	۳۸۳۰۲۵	۴۱۷۷۸۷۲	۳۸۳۰۲۲	۱۳/۸۷	۱/۰۷
۴	۴۱۷۷۸۵۸	۳۸۳۱۲۱	۴۱۷۷۸۷۶	۳۸۳۱۳۹	۹/۱۲	۰/۷
۵	۴۱۷۶۳۰۵	۳۳۸۳۱۲۳	۴۱۷۶۳۱۹	۳۸۳۱۱۰	۱۱/۸۹	۰/۹۱
۶	۴۱۷۵۱۴۶	۳۸۳۳۳۹	۴۱۷۵۱۵۵	۳۸۳۳۴۴	۱۲/۹	۰/۹۹

### جمع بندی و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف تعیین تغییرات سیستم خندق‌ها در دوره زمانی (۲۰۱۴ - ۲۰۰۱) تدوین شده است. به منظور دستیابی به پراکنش آبکندهای منطقه و تغییرات آن در منطقه، از تصاویر ماهواره‌ای منطقه در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ استفاده شد.

بررسی و تحلیل نتایج مربوط به شکل‌گیری و گسترش مکانی فرسایش خندقی در منطقه تحقیق در رابطه با سازندهای زمین‌شناسی و ریخت‌شناسی و خاک، نشان‌دهنده نقش و مشارکت مستقیم عوامل مذکور در رخداد و گسترش انواع شکلی خندق است. به طوری که اکثر خندق‌ها در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر نیروی تنش برشی و قدرت حمل رواناب‌های متمرکز همراه با انحلال مواد موجود در سنگ بستر و خاک (نهشته‌ها و خاک‌های لسی) در اثر رخداد فرسایش انحلالی به‌ویژه در تپه‌های کم شیب میان تپه‌های در تراس‌های کم‌شیب ایجاد و در شرق حوضه گسترش یافته‌اند.

بررسی میانگین گسترش طولی خندق در طول دوره مطالعاتی نشان می‌دهد که خندق ۲ بیشترین میزان گسترش طولی به میزان ۱/۳۶ متر در سال را به خود اختصاص داده است (جدول ۲).

باتوجه به فعال بودن آبکندها، به‌ویژه در ماه‌های پر بارش سال، به منظور اتخاذ تدابیری در جهت جلوگیری از رشد سریع آنها یا به حداقل رساندن رشد آنها، ابتدا باید ریخت‌شناسی و سپس نحوه و علل رشد آبکندها را مطالعه کرد.

### پی‌نوشت

#### 1- Maximum likelihood concept

### منابع

احمدی، م. ۱۳۹۰. تحلیل عوامل موثر بر شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی (مطالعه موردی: حوضه دشت کهور لامرد، فارس). پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران. صفحه ۱۰۳.

صوفی، م. و چرخابی، ا. ح. ۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی فرآیند ایجاد خندق و نرخ رشد آن در لامرد و مرودشت. نشریه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران، صفحه ۹۵.

عوض‌زاده توکلی، ف. ۱۳۸۸. برآورد میزان گسترش طولی خندق

- tion of gully erosion. *Catena*, 50(2-4): 293-308.
- Poesen J. and Govers G. 1990. Gully erosion in the loam belt of Belgium: typology and control measures. In *Soil erosion on agricultural land. Proceedings of a workshop sponsored by the British Geomorphological Research Group, Coventry, UK, January 1989.* (pp. 513-530). John Wiley & Sons Ltd.
- Poesen J., Nachtergaele J., Verstraeten G. and Valentin C. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50(2-4): 91-133.
- Schindwein P.A. 2004. Evolution of Piedmont Floodplains and Stream Channels: Implication for Urban Stream Restoration. World Water and Environmental Resources Congress, Salt Lake City, Utah, United States.
- Siakeu J. and Oguchi T. 2000. Soil erosion analysis and modelling: a review. *Transactions of the Japanese Geomorphological Union*, 21(4): 413-429.
- Pellikka P.K.E., Clark B.J.F., Sirviö T. and Masalin K. 2005. September. Environmental change monitoring applying satellite and airborne remote sensing data in the Taita Hills, Kenya. In *Proceedings of the 1st International Conference on Remote Sensing and Geoinformation Processing in the Assessment and Monitoring of Land Degradation and Desertification*, Trier, Germany (7-9).
- Sidorchuk A., Borisova O. and Panin A. 2001. Fluvial response to the Late Valdai/Holocene environmental change on the East European Plain. *Global and Planetary Change*, 28(1-4): 303-318.
- Singh B.M. 1977. Interpretation of satellite imagery for delineation of ravines. *Journal of the Indian Society of Photo-Interpretation*, 5(1): 3-31.
- Vrieling A., Rodrigues S.C., Bartholomeus H. and Sterk G. 2007. Automatic identification of erosion gullies with ASTER imagery in the Brazilian Cerrados. *International Journal of Remote Sensing*, 28(12): 2723-2738.
- Valentin C., Poesen J. and Li Y. 2005. Gully erosion: impacts, factors and control. *Catena*, 63(2-3): 132-153.
- با استفاده از مدل (مطالعه موردی: استان بوشهر). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- محمدی، ع. ا. ۱۳۸۵. واسنجی چهار مدل پیش‌بینی رشد طولی فرسایش خندقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- مختاری، ا. ۱۳۸۲. بررسی ویژگی‌های مورفوکلیماتیک خندق‌های استان اصفهان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. صفحات ۴۲-۴۹.
- Brooks A.P., Shellberg J.G., Knight J. and Spencer J. 2009. Alluvial gully erosion: an example from the Mitchell fluvial megafan, Queensland, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 34(14): 1951-1969.
- Burkard M.B. and Kostaschuk R.A. 1997. Patterns and controls of gully growth along the shoreline of Lake Huron. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 22(10): 901-911.
- Desmet P.J.J. and Govers G. 1997. Two-dimensional modelling of the within-field variation in rill and gully geometry and location related to topography. *Catena*, 29(3-4): 283-306.
- Gábris G., Kertész Á. and Zámbo L. 2003. Land use change and gully formation over the last 200 years in a hilly catchment. *Catena*, 50(2-4): 151-164.
- Giordano A. and Marchisio C. 1991. Analysis and correlation of the existing soil erosion maps in the Mediterranean basin. *Quaderni di Scienza del Suolo*, 3 :97-132.
- Kirkby A., Clark D. and McPherson A. 2009. Drainage Modification Associated with the Northern Lapstone Structural Complex, New South Wales, Australia. *Geoscience Australia*.
- Millington A.C., Walsh S.J. and Osborne P.E. eds. 2013. GIS and remote sensing applications in biogeography and ecology (Vol. 626). Springer Science & Business Media.
- Martinez-Casasnovas J.A. 2003. A spatial information technology approach for the mapping and quantifica-