

# کنترل فرسایش خندقی در جلگه‌های لسی چین با استفاده از سیستم مکان‌یابی جهانی

یونگ کیوو، یونگ چنگ

اعضاء انستیتوی علوم پایه دانشگاه پکن

ترجمه:

دکتر محمدرضا زندهمقدم

عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

## مقدمه مترجم

امروزه استفاده از روش‌ها و تحلیل‌های کمی در ژئومرفولوژی بیش از پیش مستداول گردیده و کاربردهای وسیعی را در بررسی‌های محیطی به خود اختصاص داده است. لیکن متأسفانه در کشور ما و در تدریس‌های دانشگاهی این رشته و کتب مربوطه چندان به آن پرداخته نشده و به نظر می‌رسد که ضرورت‌های آن هنوز مورد توجه جدی قرار نگرفته است. همچنین کاربرد فن‌آوری‌های روز و کاربردهای هر چه بیشتر آنها در علم جغرافیا از ضروریات قطعی به شمار می‌رود. یکی از مهمترین آنها سیستم موقعیت‌یابی جهانی یا GPS می‌باشد، که ابعاد بسیار گسترده‌ای یافته است. در این مقاله سعی شده تا سیستم کنترل فرسایش خندقی که یکی از مهمترین عوامل فرساینده خاک‌های سست و ناپایدار همچون خاک لسی می‌باشد را با استفاده از این فن‌آوری مورد بررسی قرار دهند. مترجم که رساله دکتری خویش را در ارتباط با ژئومرفولوژی اراضی لسی جنوب و شرق آق‌بند در شمال استان گلستان نوشته است، به خوبی به اهمیت بهره‌گیری از این نوع فن‌آوری‌ها و روش‌های پیشنهادی در ایران پی برده و تلاش نموده با ترجمه مقاله، امکان استفاده از آن را برای دیگر علاقمندان فراهم سازد.

## چکیده

با توسعه کاربرد سیستم مکان‌یابی جهانی (GPS)، این روش بطور فزاینده‌ای کم‌هزینه، سبک‌تر و آسان‌تر گردید. صحت و درستی GPS بهبود یافت و ظاهراً کنترل مداوم تغییرات مرفولوژی بر روی سطح زمین، تغییرات جزئی و آرامی یافت. هدف از تحقیق این است که با استفاده از GPS مرفولوژی خندق‌ها را در یک آبگیر نزدیک به لویداز استان شانکسی اندازه‌گیری کند. در حیطه مطالعاتی، سه نوع خندق اصلی وجود دارد: خندق‌های کناری، خندق‌های کف دره، خندق‌های شیب‌تپه‌ای. این تحقیق عمدتاً بر خندق‌های شیب‌تپه‌ای متمرکز است. خندق‌های شیب‌تپه‌ای در محدوده تحقیق عمدتاً ناپیوسته هستند و به سرعت توسعه می‌یابند. در حیطه تحقیق، دانسیته خندق، بسیار بزرگ می‌باشد. میزان پسروری خندق‌های شیب‌تپه سالانه 0.16-2.0m می‌باشد. روابط بین محدوده زهکشی دارای شیب بالا (A) و شیب اصلی (S) خندق‌های تپه‌ای شیب‌دار

است.  $S = 0.1839A^2$  مقادیر  $AS^2$  در برش‌های اصلی خندق‌های شیب‌تپه‌ای از طیف ۴۱ تا ۸۱۴ متر مربع است و بیشتر آنها از طیف 100-300 متر مربع می‌ریزند. هر دوی این روابط بعنوان شاخص‌های موقعیت برش اصلی خندق در نظر گرفته می‌شوند.  
واژگان کلیدی: GPS، جلگه لسی، فرسایش خندقی، کنترل.

## ۱- مقدمه

خندق‌ها به کانال‌هایی اطلاق می‌شوند که پهنا و عمق آنها برای زراعت معمولی می‌باشد (فائو، ۱۹۶۵). خندق‌ها همچنین به عنوان جویبارهایی بزرگ با محدوده سطح مقطع عرضی بیش از  $1ft^2$  ( $0.0929m^2$ ) اطلاق می‌گردند. (پوسن، ۱۹۹۳) فرسایش خندق‌ها به زمین‌های کشاورزی آسیب می‌رساند و تولیدات کشاورزی را کاهش می‌دهد (زی و همکارانش، ۱۹۹۲، زو و دای، ۱۹۹۸، ژانگ و همکارانش، ۱۹۹۹). فرسایش خندقی در سراسر دنیا یک مشکل جدی می‌باشد (سیدورچاک، ۱۹۹۹، پوسن و همکارانش، ۱۹۹۶، واسون و همکارانش، ۱۹۹۶). اخیراً در بسیاری از مناطق، افزایش کاربری زمین باعث تشدید فرسایش خندق‌ها شده است (پروسر، ۱۹۹۶). نسبت توسعه خندق‌ها با توجه به دوره‌های مختلف توسعه متفاوت می‌باشد (بول و کیرک بای، ۱۹۹۷) تشکیل خندق طی دوره شروع اغلب بسیار سریع می‌باشد، زمانیکه ویژگی‌های مرفولوژیک چندان ثابت نیستند. (سیدورچاک، ۱۹۹۸) نسبت توسعه خندق‌ها در چند مکان اندازه‌گیری از طریق نقشه‌برداری و محورهای فرسایشی نشان داده است که کناره‌های عمودی که کم‌برش خورده‌اند بیشترین میزان فرسایش را (سالانه ۷۵ میلی‌متر) دارند و در این مورد، تابع دیواره‌های عمودی شیاردار هستند. (سالانه ۳۷ میلی‌متر) (کروچ، ۱۹۸۷) در «باتورست گرانیت» در جلگه مرکزی نیولز جنوبی، و با نقشه‌برداری اندازه‌گیری شده است، نسبت‌های فرسایشی بطور قابل ملاحظه‌ای در فواصل کوتاه از ۵ تا ۵۳ میلی‌متر در سال با یک میانگین پسروری ۱۹/۸ میلی‌متر در سال متغیر می‌باشد (کروچ، ۱۹۹۰) در ساحل شرقی دریاچه هازن در کانادا نسبت فرسایش خندق از طریق تصاویر هوایی

(۱۹۳۰، ۱۹۵۵، ۱۹۶۶، ۱۹۷۸، ۱۹۹۲) با مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰ تا ۱:۱۶۰۰۰ مورد تحقیق قرار گرفت، (بوکار و کوستاچکاک، ۱۹۹۷) در حوضه «وای پوا» در زلاندنو مقدار رسوب ایجاد شده بواسطه فرسایش خندق از طریق کاربرد، چنین دوره‌ی زمانی از تصاویر تجمعی تعیین گردیده است، تا یک مدل دیجیتالی ارتفاع ایجاد گردد. (دروس و همکارانش، ۱۹۹۸) شیوه‌ای براساس دندروکرنولوژی به منظور تخمین نسبت فرسایش خندق توسعه یافته که راهکاری براساس شیوه‌های سنتی برای ارزیابی نسبت‌های پسروری خندق بوده است. این شیوه به گونه‌ای موفقیت آمیز در جنوب شرقی اسپانیا به کار گرفته می‌شود. (واندکرچوف، ۲۰۰۱)

همچنین تعیین آستانه‌های اصلی شروع، توسعه و پرشدن خندق‌ها در محیط‌های مختلف بر حسب جریان هیدرولیک، باران، توپوگرافی، خاک و کاربری زمین مهم می‌باشد (پوسن و همکاران، ۲۰۰۳) پاتون و اسجام (۱۹۷۵) نقاط شروع خندق را از طریق تصاویر هوایی تعیین نموده (با مقیاس ۱:۱۲۰۰۰) و آنها را در نقشه‌های توپوگرافی ترسیم نمودند، به منظور آنکه رابطه‌ای را بین محدوده حوضه زهکشی (A) و شیب اصلی (S) ایجاد کنند. مونت گومری و دیتریچ (۱۹۸۸) یک رابطه محکم معکوس را بین محدوده مربوط و شیب رأس‌های کانال یافتند که در چندین حوضچه آبگیر اندازه‌گیری شده بودند. مونت گومری و دیتریچ (۱۹۹۲) مطرح نمودند که بین محدوده مربوطه و شیب اصلی یک آستانه وجود دارد، و مقدار  $AS^2$  از ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌متر مربع تعیین نقطه شروع خندق است. وان‌دیل و همکارانش (۱۹۹۶) روابط بین محدوده زهکشی بدون شیب (A) و شیب اصلی (S) را بطور خلاصه بیان نمودند که از طریق تابع قدرتمند  $S=ka^b$  نشان داده می‌شود. محدوده مربوط بدون شیب و شیب اصلی بطور خطی در یک نمودار ترسیم شده است. چنانچه حداکثر عوامل این روابط را تحت تأثیر قرار دهند، نمای b در رابطه محدوده زهکشی تغییرات اندکی را نشان خواهند داد. سایر محققان نیز این رابطه را مورد بررسی قرار دادند (گاورز، ۱۹۹۱، بوردمن ۱۹۹۲، وان دیال و پوسن، ۱۹۹۵، وان دیال و همکاران ۱۹۹۷). GPS یک سیستم مکان‌یابی رادیویی براساس ماهواره است که ۲۴ ساعته موقعیت ۳ بعدی، سرعت و اطلاعات مربوط به زمان را برای کاربران مجهز به تجهیزات مناسب دریافت کننده زمینی فراهم می‌کند (براسینگتون و همکاران، ۲۰۰۰) اصول زیربنایی GPS موقعیت یک دریافت کننده زمینی را بطور سه جانبه می‌تواند تعیین نماید، در صورتیکه فاصله واقعی را با حداقل سه ماهواره‌ای که در زمان اندازه‌گیری وجود دارند بدانیم. این شیوه نیازمند آن نیست که در دید مستقیم بین مکان‌های «حرکت» و ایستگاههای منبع قرار داشته باشد. در اکثر شرایط آب و هوایی می‌توان اندازه‌گیری را انجام داد. پردازش GPS کم هزینه‌تر، سبک‌تر و آسانتر برای کار می‌گردند. بنابراین GPS اغلب در تحقیقات ژئوفیزیک بکار می‌رود. GPS به منظور کنترل تغییر مرفولوژیک لغزش‌ها (مالت و همکاران، ۲۰۰۲، براسینگتون و همکاران، ۲۰۰۰) و کنترل جریان و واکنش توده‌های یخچالی (اسجوربرگ و همکاران، ۲۰۰۰) یا ضخامت برف (تیکستون و همکاران، ۱۹۹۲) بکار می‌رود. GPS همچنین برای کنترل ساختارهای دست بشر مانند سدها، پل‌ها و روگذرها

بکار می‌روند (براون و همکاران، ۱۹۹۹، هادانت و بهر، ۱۹۹۸). جلگه‌های لُسی در شمال چین یکی از مناطقی است که دارای بالاترین نسبت فرسایش در زمین می‌باشند. فرسایش خندق‌ها یکی از مهمترین فرآیندهای فرسایش خاک در آن منطقه محسوب می‌گردند. به هر حال تحقیقات اندکی در این منطقه صورت گرفته و به منظور انجام اندازه‌گیری‌های مؤثرتر برای محافظت از منابع خاکی مفید و محیط اکولوژیک، تعیین موقعیت اولیه خندق و نسبت‌های فرسایش خندق مهم تلقی می‌گردد. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که ظاهراً GPS در کنترل مداوم ساختارهای ژئولوژیک و ساخت بشر با تغییر و مکان‌های جزئی نقش دارد (حدوداً ۵ mm در روز) (مالت و همکاران، ۲۰۰۲) در نتیجه ما فرض می‌کنیم که می‌توان GPS را در مطالعه فرسایش خندق کوتاه مدت بکار برد. در این مقاله از GPS دارای دقت بالا به منظور اندازه‌گیری پارامترهای مرفولوژیک خندق‌ها در یک آبگیر کوچک استفاده شده است.

این مطالعه به بررسی نسبت‌های فرسایش کوتاه مدت خندق‌های شیب تپه‌ای، روابط شیب مساحت و آستانه‌های ابتدایی خندق و تپه‌های شیب‌دار می‌پردازد.

## ۲- شیوه‌های کار

### ۱-۲- محدوده تحقیق

محدوده تحقیق، کینوگوا، یک آبگیر کوچک (0.4503 کیلومتر مربع) در نزدیکی شهر سوآید استان شآنکسی می‌باشد. این منطقه در جلگه خاک لُسی شمال چین واقع شده است (۳۷° و ۲۹° شمالی و ۱۱۰° و ۱۷° شرقی) (نگاره ۱) ارتفاع محدوده تحقیق از ۸۱۰ تا ۹۶۰ متر می‌باشد. دمای میانگین این منطقه تقریباً ۹° سانتیگراد و رسوب سالیانه آن ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر در سال و در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر بوده که گاهی بارندگی شدید در آن رخ می‌دهد. ویژگی‌های اصلی مرفولوژیک این تحقیق شامل رودخانه‌های میانی و دره‌ها می‌باشد. کینوگوا یک آبریز کوچک در جلگه لُسی است.

### ۲-۲- اندازه‌گیری‌های میدانی

با سیستم GPS یک بررسی توپوگرافی از محدوده تحقیق و با دستگاه تریمبل RTK 4700 با دقت ارتفاع سنجی و سطح سنجی به ترتیب  $1\text{cm} \pm 2\text{ppm}$  و  $2\text{cm} \pm 2\text{ppm}$  و در یک شبکه ۵ متری اندازه‌گیری‌ها صورت پذیرفت. به هر حال در بعضی از مناطق از جمله نوک خندق‌ها کناره‌های خندق‌ها، خندق‌های یک روزه و کناره زمینهای صاف و بلند اندازه‌گیری‌های دقیق‌تری بعمل آمد. در بعضی از موارد فواصل بین دو نقطه فقط ۰/۲ متر یا کمتر است.

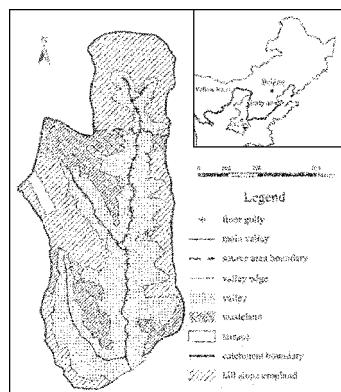
طی مدت اندازه‌گیری نه تنها مختصات جغرافیایی بلکه سایر نسبت‌ها (از جمله انواع کاربری زمین و انواع نقاط مانند نقطه کف خندق) ثبت شدند. در ژوئن ۲۰۰۱ و ماه می ۲۰۰۲ اندازه‌گیری‌هایی انجام گرفت که آبگیر کینوگوا را طی ۲۰۰۲ (با مساحت ۰/۸۶۵ کیلومتر مربع) اندازه‌گیری نمودند.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- انواع آبریز

آبگیر کینوگوا در جهت شمال - جنوب گسترش یافته است (نگاره ۱) سه نوع خندق اصلی در این آبگیر وجود دارد: خندق‌های کناری، خندق‌های کف دره‌ای و خندق‌های شیب تپه‌ای. خندق‌های کناری عمدتاً در مرز بین جویبارها و دره‌ها ایجاد می‌شوند که دارای بیشترین شیب هستند (نگاره (a) (۴)؛ با شیبی در حدود ۶۰ تا ۸۰ درجه در بالاترین نقطه رأس خندق‌ها به سمت کف که اغلب بیشتر از ۴۰ تا ۵۰ متر می‌باشند. حرکات توده‌ای و فرسایش آبی با یکدیگر از مهمترین فرایندهای توسعه خندق کناری می‌باشند. خندق‌های کف دره‌ای نیز بر روی کف این نوع از دره‌ها توسعه می‌یابند. (نگاره (b) (۴))

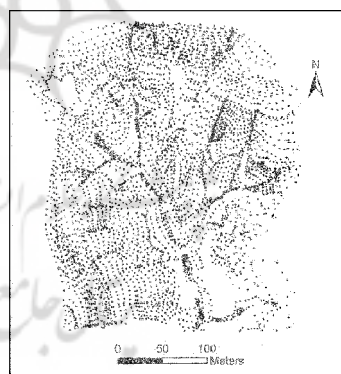
آنها اغلب بطور فوری در جریان پایینی تقارب دو شعبه رود ایجاد می‌شوند و ما فرض می‌کنیم که آنها زمانی تشکیل می‌شوند که جریان آب بیشتر از مقاومت یا تنش برشی اصلی مواد خاک باشد. در کف دره، ۳۶ خندق کف دره‌ای وجود دارد (که عمدتاً در دره‌های اصلی توزیع می‌شوند) بریدگی رأس، فرآیند اصلی توسعه خندق می‌باشد. خندق‌های شیب تپه‌ای جویبارها عمدتاً در بخش زمین اصلی رودخانه‌ها توسعه می‌یابند. (نگاره (c) (۴)) آنها عمدتاً به واسطه جریان آب سطح که زمین را شستشو می‌دهد توسعه یافته و احتمالاً زمانی تشکیل می‌شوند که تنش اصلی جریان در سطح خاک افزایش یابد.



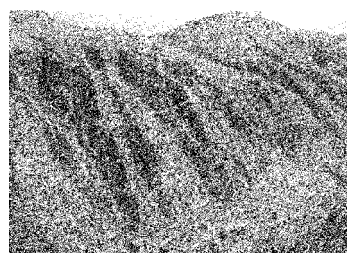
نگاره ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

#### ۳-۲- پردازش داده‌ها

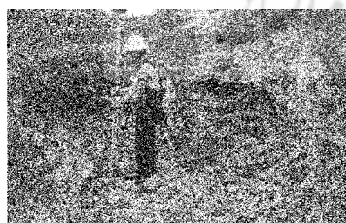
داده‌های جمع آوری شده با استفاده از بسته نرم‌افزاری تریمبل جنوماتیک با یک فورمت قابل انتقال و از طریق سیستم اطلاعاتی جغرافیایی پردازش شدند. بنابراین براساس داده‌های اندازه‌گیری شده و بسته (Mapinfo Professional 6.0)، پارامترهای مرفولوژی (از جمله طول، پهنا، عمق و مساحت) خندق‌ها در منطقه کینوگوا مشخص گردیدند. سپس با استفاده از مدل دیجیتالی ارتفاع (DEM) بررسی‌های لازم صورت پذیرفت (نگاره ۳) که اندازه پیکسل 2m DEM بود. در نهایت با کمک مدل آرکینفو (Arcinfo8,0) شیب و مساحت زهکش برای هر پیکسل محاسبه گردید.



نگاره ۲ - پراکندگی نقاط اندازه‌گیری شده در داخل منطقه کینوگوا



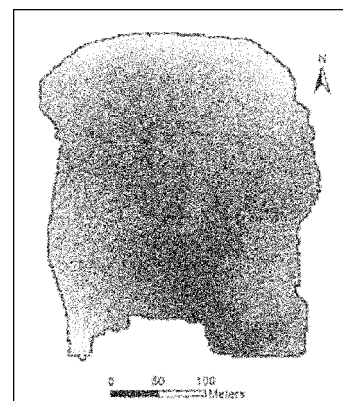
a. خندق‌های کناره‌ای بین اینترفلوها و دره‌ها



b. خندق‌های کف دره‌ای بر روی بستر رودها



c. خندق‌های شیب تپه‌ای بر روی زمین‌های زراعی



نگاره ۳- مدل ارتفاعی دیجیتالی داخل منطقه

نگاره ۴: انواع خندق در منطقه مورد مطالعه



این تحقیق عمدتاً بر خندق‌های شیب تپه‌ای متمرکز است زیرا این خندق‌ها عامل اصلی پستی زمین برای تولیدات کشاورزی و زراعتی می‌باشند. خندق‌های کشت زار تپه‌ای در منطقه تحقیق تقریباً ۲۰ درصد از مساحت کلی آبگیرها را اشغال می‌کنند.

نتایج مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که نسبت فرسایش خندق‌های شیب تپه‌ای گسترده‌تر است، اگر بتوانیم موقعیت رأس خندق را پیش بینی کنیم و اگر نسبت فرسایش خندق‌ها را نتوانیم اندازه‌گیری کنیم می‌توان از اندازه‌گیری‌ها به منظور محافظت زمین زراعی در شیب آبریزهای بیشتری استفاده نمود. خندق‌های کناره‌ای در دوره زمانی طولانی‌تری تشکیل می‌شوند و کنترل آنها مشکل است. خندق‌های کف دره‌ای در کف دره واقع شده‌اند و کشتزار دره ارتباط نسبی اندکی با کشتزار تپه دارد.

### ۳-۲- ویژگی خندق شیب تپه‌ای

در این منطقه ۲۴ خندق شیب تپه‌ای اندازه‌گیری شده است. پارامترهای مرفولوژیک خندق‌ها و طول بخشی از خندق‌های شیب تپه‌ای در سال ۲۰۰۱ اندازه‌گیری شده‌اند. که در جدول یک نشان داده شده است. مساحت کلی خندق‌های اندازه‌گیری شده ۲۵۵ متر مربع و تراکم خندق‌های شیب تپه‌ای در منطقه  $2/295 \text{ Km}^2$  می‌باشد. طیف مساحت خندق ۰٫۵ تا  $4/33 \text{ m}^2$ ، عمق آن از ۰٫۷ تا ۳٫۶ متر و پهنای آن از ۰٫۵ تا ۲٫۸ متر است. طول کلی ۲۴ خندق ۱۹۹ متر بوده و تراکم طولی  $2/230 \text{ m / Km}^2$  بوده است. (جدول ۱) طول خندق‌های شیب تپه‌ای دارای تفاوت چشمگیری می‌باشد. طول طویل‌ترین خندق ۲۸ برابر بزرگتر از کوچکترین خندق (دو یاسه خندق بطور گروهبی) توسعه می‌یافتند از جمله خندق‌های ۰٫۴، ۰٫۷، ۱٫۰ و ۱٫۱، ۲٫۲ و ۲٫۳. خندق‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷ دارای یک کانال و خندق‌های ۱۹، ۲۰ و ۲۱ دارای یک کانال دیگر بودند.

خندق‌های شیب تپه‌ای گیائوگوا عمدتاً ناپیوسته هستند. خندق‌های ناپیوسته از ویژگی فرسایش جمعی است و ناشی از تنوع آب و هوایی منطقه مانند انگلستان، اسپانیا، ایتالیا، روسیه، آفریقای جنوبی، ایالات متحده آمریکا، منطقه غربی کانادای شمالی، زلاندنو، استرالیا، آمریکای مرکزی و جنوبی می‌باشد. (بی ویس، ۲۰۰۰) ما با توجه به ناپیوستگی چنین فرض می‌کنیم که خندق‌های شیب تپه‌ای در منطقه اصلی دارای مراحل تشکیل اولیه است و هر گروه از خندق‌ها بالاخره در آینده به یک خندق بزرگتر تبدیل خواهد شد. طی سالهای اخیر، دولت چین تصمیم گرفته است تا زمین زراعی را با شیب‌های تپه‌ای در مناطق شمال غربی مسطح سازد. ما در آینده قصد داریم توسعه این خندق‌ها را کنترل کنیم.

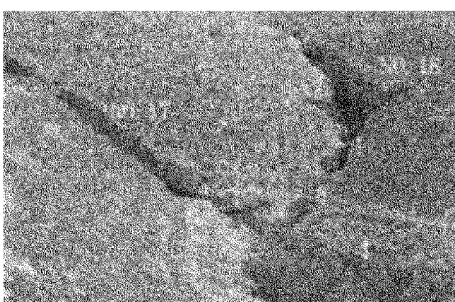
### ۳-۳- میزان پسروی خندق‌های شیب تپه‌ای

در سال ۲۰۰۱ طول خندق اندازه‌گیری شد و طول همه ۲۴ خندق مجدداً در سال ۲۰۰۲ اندازه‌گیری گردید (جدول ۱) تغییرات طول خندق‌ها محاسبه شد (جدول ۱) طیف مقادیر طی یکسال از ۰٫۱۶ متر تا ۲٫۲۰ متر بود که میانگین آن ۰٫۶۳ متر می‌باشد. اکثر تغییرات (۱۰ تغییر از ۱۵ تغییر بین ۰٫۴

متر و ۰٫۸ متر بودند. بال و کیرک بای (۱۹۹۷) خلاصه‌ای از نتایج تحقیق مربوط به نسبت‌های توسعه خندق را طی چندین مطالعه مختلف ارائه دادند. در بیشترین نتایج تحقیقاتی گزارش شده، طیف نسبت‌ها بین صفر میلی‌متر در سال و ۲۰ میلی‌متر می‌باشد که بسیاری پایین‌تر از نتایجی است که در اینجا گزارش شده‌اند. سایر نتایج تحقیقاتی (کروک، ۱۹۸۷) نیز دارای مقادیر مشابهی بوده‌اند. فقط تعداد اندکی از داده‌ها وسعت بیشتری از نتایج ما داشتند از جمله نتایج اخیر استودویچ دنس و برایان (۲۰۰۱) که در آن طیف نسبت پسروی رأس خندق در سال، ۰ تا ۱۵ متر در زمین‌های هموار نجس‌آلوویو - لا کوسترین که دارای شیب کم بوده و در منطقه نیمه خشک بارینگواز کشور کنیا قرار گرفته است. توسعه فرسایش خندق‌ها در مناطق خاک لسی چین سریعتر از اکثر مناطق دیگر است. اما سریعترین مورد ثبت شده در دنیا نیست. (استودویچ دنس و برایان، ۲۰۰۱) در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ از دو خندق شیب تپه‌ای، تصاویری تهیه شد (۱۷ و ۱۸) که تقریباً هر دو موقعیت مشابهی داشته‌اند (نگاره ۵) موقعیت ۴ تصویر نشان دهنده رأس خندق کناره‌ای پر شیب می‌باشد که عمق آن به بیش از ۱۰ متر می‌رسد. در این خندق در آبریز چندین بینه وجود دارد که خاک را در برابر فرسایش محافظت می‌کند تصویر (نگاره ۵b) در سال ۲۰۰۲ گرفته شده است و نشان می‌دهد که محدوده جریان پایینی دو خندق (۲ و ۳) فرسایش یافته‌اند. فرسایشی که در سال قبل وجود نداشته است (نگاره ۵a). اگر چه کانالهای اخیراً فرسایش یافته را نمی‌توان خندق نامید. به نظر می‌رسد که دو خندق در سال ۲۰۰۲ به هم برسند. ظاهراً دو خندق شیب تپه‌ای به سرعت توسعه می‌یابند و بدون شک در آینده‌ای نزدیک در جریان پایینی خندق کناره‌ای بهم می‌رسند. همچنین تغییر مرفولوژی آشکار دیگر در این دو خندق وجود دارد. مثلاً موقعیت ۱۱ از هجدهمین خندق شیب تپه‌ای (نگاره ۵) طی دوره تحقیق یکساله به شدت فرسایش یافته است.



نگاره ۵a



نگاره ۵b

تصویر دو خندق شیب تپه‌ای اخذ شده در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲

جدول ۱: تمام خندق‌های اندازه‌گیری شده در منطقه ۲۵۵ مترمربع بوده و تراکم خندق‌های شیب تپه‌ای در این منطقه ۲۹۵۰ مترمربع در کیلومترمربع می‌باشند (۲۹۵۰ m<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>). طیف یا گستره ناحیه خندقی از ۰/۵ تا ۴۴/۳ مترمربع، طیف عمق از ۰/۷ تا ۳/۶ متر، و طیف پهنا از ۰/۵ تا ۲/۸ متر است. طول تمام ۲۴ خندق ۱۹۹ متر بوده و تراکم ۲۳۰۰ متر بر کیلومترمربع می‌باشد. LO1 طول‌های خندق‌های شیب تپه‌ای در سال ۲۰۰۱؛ LO2 طول‌های خندق‌های شیب تپه‌ای در سال ۲۰۰۲؛ D,W متوسط پهنا و عمق خندق در سال ۲۰۰۲؛ A1 ناحیه خندقی در سال ۲۰۰۲؛ A: شیب زهکشی دامنه در سال ۲۰۰۲؛ S: شیب بحرانی دامنه  $AS_2=A \times S_2$ ؛ WDR: میزان عمق پهنا؛ R: میزان پسروری خندق می‌باشد.

NO	L01(m)	L02(m)	W(m)	D(m)	A1(m <sup>2</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	S(m/m)	AS2(m <sup>2</sup> )	WDR	R
1	3.70	4.10	2.79	2.39	9.41	1656	0.582	561	1.17	0.40
2	16.39	17.00	2.61	3.60	43.71	552	0.585	189	0.73	0.61
3	0.69	1.44	1.40	2.30	1.80	384	0.739	210	0.61	0.75
4	-	2.20	1.20	1.81	2.21	1012	0.541	296	0.66	-
5	1.08	1.24	1.00	0.68	2.48	1520	0.431	282	1.47	0.61
6	-	4.35	0.55	0.78	2.20	428	0.487	102	0.71	-
7	2.42	2.78	1.80	1.60	3.98	916	0.507	235	1.13	0.36
8	8.15	8.65	1.00	2.90	10.47	176	0.482	41	0.34	0.50
9	34.44	34.90	1.47	3.00	44.31	564	0.430	104	0.49	0.46
10	3.73	4.00	0.84	1.40	2.74	1796	0.277	138	0.60	0.27
11	-	3.53	1.12	1.00	3.61	1352	0.429	249	1.12	-
12	6.16	8.18	0.65	0.70	6.07	2032	0.399	324	0.93	2.02
13	10.24	10.76	1.50	1.10	17.35	4572	0.275	347	1.36	0.52
14	5.09	6.00	2.14	1.80	11.42	5760	0.320	590	1.19	0.91
15	-	30.20	1.55	1.70	32.21	1244	0.809	814	0.91	-
16	-	4.04	2.11	1.80	7.15	2120	0.297	187	1.17	-
17	10.39	11.12	1.40	1.50	12.57	2240	0.317	225	0.93	0.73
18	10.51	11.15	1.05	2.50	11.63	968	0.423	173	0.42	0.64
19	13.18	13.60	1.88	1.80	17.06	712	0.612	267	1.04	0.42
20	-	1.75	0.73	1.13	1.04	1104	0.448	222	0.65	-
21	-	8.58	0.58	1.90	4.51	1160	0.417	202	0.31	-
22	3.57	4.22	1.44	3.25	5.06	1216	0.451	247	0.44	0.65
23	-	1.31	0.50	2.10	0.49	1240	0.479	285	0.24	-
24	-	3.82	0.50	1.25	1.68	1340	0.386	200	0.40	-
Total	129.74	198.92	-	-	255.16	-	-	-	-	-
Average	8.65	8.29	1.33	1.83	10.63	1503	0.463	270	0.79	0.63
Maximum	34.44	34.90	2.79	3.60	44.31	5760	0.809	814	1.47	2.02
Minimum	1.80	1.24	0.50	0.68	0.49	176	0.275	41	0.24	0.16

#### ۴-۳- رابطه A-S

در سال ۲۰۰۲، مقادیر  $AS^2$  در ۲۴ خندق شیب تپه‌ای از طیف ۴۱ مترمربع تا ۸۱۴ مترمربع بوده است (جدول ۱) مقدار میانگین آن ۲۷۰ مترمربع می‌باشد. اکثر مقادیر (۲۰ مقدار از بین ۲۴ عدد) در طیف ۱۰۰ تا ۳۵۰ مترمربع بوده‌اند. آبریز ۱۵ با حداکثر مقدار  $AS^2$  در کف یک زمین شیب دار قرار گرفته است، بنابراین مقدار S مقدار بسیار بزرگتر از این حالت می‌باشد.

نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهد که طول خندق سمت چپ (شماره ۱۷، از جدول ۱) در سال ۲۰۰۱، ۱۰/۳۹۹ متر و در سال ۲۰۰۲، ۱۱/۱۲ متر بوده است. (نگاره ۶) بنابراین فاصله پسروری خندق طی یکسال ۰/۷۳ بوده است. طول خندق سمت راست (شماره ۱۸ از جدول ۱) در سال ۲۰۰۱، ۱۰/۵۱ متر و در سال ۲۰۰۲، ۱۱/۱۵ متر بوده است. بنابراین فاصله پسروری خندق طی همین دوره زمانی ۰/۶۴ متر بوده است.

می‌گردد (نگاره ۷) رابطه بحرانی S-A بصورت  $S=0.1839A^{-0.2385}$  می‌باشند و تقریباً مشابه با یافته‌های پاتون و اسپام هستند (۱۹۷۵) و به هر حال واندیل و همکارانش (۱۹۹۶) مقادیر b را از طیف ۰/۶-۰/۲۵ اقتباس نمودند که اکثر مقادیر حول مقدار ۰/۴ بود و مقدار طیف ۰/۳۵-۰/۳۵ بوده است. مقدار b ما کاملاً متفاوت با مقدار بدست آمده توسط واندیل و همکارانش (۱۹۹۶) بوده. رابطه بحرانی S-A را می‌توان بعنوان الگویی ساده از شروع کانال در جریان زمین فوقانی بکار برد.

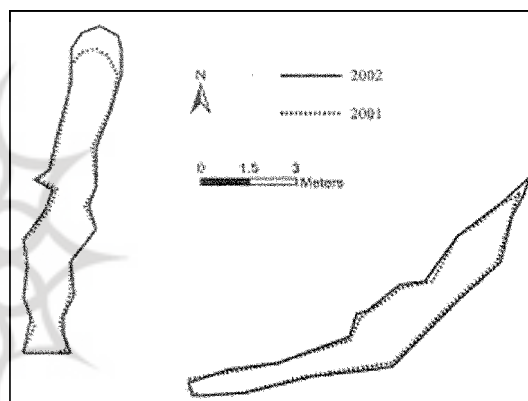
### نتیجه گیری

در منطقه تحقیق ماسه نوع خندق اصلی وجود دارد: خندق‌های کناره‌ای، خندق‌های کف دره‌ای و خندق‌های شیب تپه‌ای. تحلیل پارامترهای مرفولوژی نشان می‌دهند که خندق‌های شیب تپه‌ای در منطقه تحقیق ما عمدتاً ناپیوسته هستند و طی مدت زمان سریعتری توسعه می‌یابند. نسبت‌های پسروری اندازه‌گیری شده در خندق‌های شیب تپه‌ای ۰/۱۶ تا ۰/۲۲ متر در سال می‌باشند. رابطه بین منطقه زهکشی بدون شیب (A) و شیب‌های بحرانی (S) در خندق‌های شیب تپه‌ای بصورت  $S=0.1839A^{-0.2385}$  اقتباس می‌گردند در مکان‌هایی از شیب تپه‌ای  $AS^2$  با طیف ۴۱ تا ۸۱ مترمربع محاسبه می‌شود که بیشترین مقادیر ریزش آب در طیف ۶۰ تا ۳۵ مترمربع می‌باشد. این موارد را می‌توان بعنوان شاخص‌های اصلی در تعیین موقعیت رأس خندق شیب تپه‌ای در DEM جویبارهای کوچک جلگه خاک لُسی چین بکار برد.

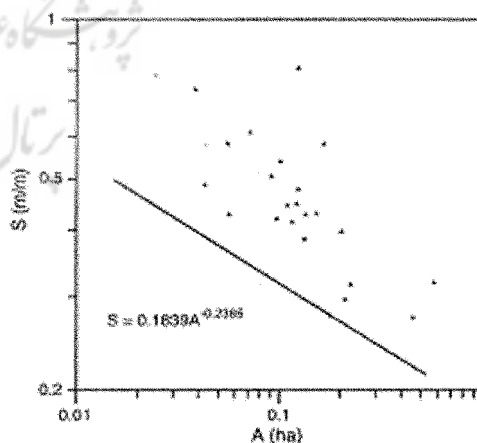
### منابع

- Beavis, Sara G., 2000. Structural controls on the orientation of erosion gullies in mid-Western New South Wales, Australia. *Geomorphology* 33, 59-72.
- Crouch, R.J., 1987. The relationship of gully sidewall shape to sediment production. *Austrian Journal of Soil Resource* 25, 531-539.
- Derose, R.C., Gomez, Basil, Marden, Mike, Trustum, N.A., 1998. Gully erosion in mangatu forest, New Zealand, estimated from digital elevation models. *Earth Surface Process and Landforms* 23, 1045-1053.
- Montgomery, D.R., Dietrich, W.E., 1992. Channels initiation and the problem of landscape scale. *Science* 255, 826-830.
- Prosser, I.P., 1996. Predicting the topographic limits to a gully network using a digital terrain model and process threshold. *Water Resources Research* 32(7), 2289-2298.
- Assessment of factors controlling ephemeral gully erosion in Southern Portugal and central Belgium using aerial photographs. *Zeitschrift fur Geomorphologie N.F.* 41(3), 73-287.
- Zhang, J.F., Li, X.K., Liu, X.L., 1999. The harm and control of donga erosion in black soil, Hei longjiang Province. *Information of Soil and Water Conservation* 3, 52-53 (in Chinese, With English Abstr).

مونت گومری و دیتریج (۱۹۹۲) مقادیر بزرگتری از  $AS^2$  را گزارش دادند، که از طیف ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ مترمربع بود تا موقعیت رأس خندق را در مدل دیجیتالی ارتفاع (DEM) تعیین نمایند. ما پیشنهاد می‌کنیم که مقادیر ۴۱ الی ۸۱۴ مترمربع  $AS^2$  مان (یا برابر با ۱۰۰ تا ۳۵۰ مترمربع) را در خندق‌های کوچک جلگه خاک لُسی چین به کار ببریم با این هدف که بعنوان شاخص تعیین موقعیت رأس خندق شیب تپه‌ای در مدل‌های دیجیتالی ارتفاع می‌باشد (DEM). شاید تفاوت نتایج مونت گومری و دیتریج (۱۹۹۲) بخاطر این بود که همه کانال‌های آبگیر فقط در خندق‌های شیب تپه‌ای بودند. از طرف دیگر، اندازه پیکسل DEM در تحقیق ما ۲ متر بود در حالی که اندازه پیکسل در تحقیق مونت گومری و دیتریج ۵ متر بود. اندازه پیکسل، صحت و درستی شیب را تحت تأثیر قرار می‌دهد و ممکن است دلیل احتمالی تفاوت نتایج باشد.



نگاره ۶ - نتایج اندازه‌گیری شده از دو خندق شیب تپه‌ای



نگاره ۷ - ارتباط بین شیب دامنه و رأس خندق (S) و شیب دامنه بحرانی و زهکش ناحیه (A) برای خندق‌های شیب تپه‌ای

روش دیگر برای تعیین موقعیت‌های اولیه خندق، رابطه بحرانی S-A است ( $S= aA^{-b}$ ) شیب بحرانی دامنه در مقابل مساحت زهکشی (A) در کاغذ ترسیم رسم شده است و از پایین‌ترین نقطه، خطی مستقیم ترسیم