

## ارزیابی شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) در فرسایش آبکندی (مطالعه موردی: حوضه الوند، استان کرمانشاه)

سجاد پیروزی نژاد<sup>۱\*</sup>، کریم سلیمانی<sup>۲</sup>، محمود حبیب نژاد روشن<sup>۲</sup>، رضا ذاکری نژاد<sup>۳</sup>  
۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادان آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۳- پسا  
دکتری گروه آبخیزداری دانشگاه صنعتی اصفهان  
Sajadpir9170@yahoo.com

### چکیده

عامل توپوگرافی یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در ایجاد فرسایش آبکندی است. شاخص توپوگرافی دارای چندین فاکتور است که شامل نقشه شیب، مساحت حوضه بالادست نقشه، جهت جریان و تجمع جریان می باشد. در این مطالعه به بررسی فرسایش خندقی در حوضه آبخیز الوند در غرب استان کرمانشاه پرداخته شده است. در این مطالعه، مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متر از داده‌های نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متر استفاده شده است. سپس مختصات x-y خندق‌ها با استفاده از GPS برداشت شد. نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی در نرم افزار ArcGIS تهیه شد. نتایج نشان داد شاخص رطوبت توپوگرافی یک رابطه معنی‌دار با فرسایش خندقی دارد. شاخص رطوبت توپوگرافی طبقه‌بندی شد و نتایج نشان داد که بیش‌تر خندق‌ها در طبقه ۳ و ۴ قرار گرفته و در طبقه ۱ کمترین تعداد خندق وجود داشت. واژه‌های کلیدی: فرسایش آبکندی، شاخص رطوبت توپوگرافی، ArcGIS، توپوگرافی

### مقدمه

کلمه فرسایش از ریشه لاتین Erode به معنی کنده شدن و ساییدن گرفته شده است (مورگان ۱۹۹۵). فرسایش خاک و تولید بار رسوب امروزه به یکی از معضلات مهم زیست محیطی بشر تبدیل شده است. بنابراین مدیریت خاک به منظور بهره‌برداری مطلوب و کاهش تخریب آن ضروری می‌باشد (آرخی و همکاران، ۱۳۸۹). طی دهه‌های اخیر میزان فرسایش خاک در ایران افزایش چشمگیری داشته است، به گونه‌ای که این مقدار در سال‌های ۱۳۳۰، ۱۳۴۰، ۱۳۵۰، ۱۳۶۰، ۱۳۷۰ و ۱۳۸۰ به ترتیب ۰/۷۵، ۱، ۱/۵، ۲ تا ۲/۵ میلیارد تن تخمین زده شده است (احمدی، ۱۳۹۰). فرسایش آبی بر روی تولیدات کشاورزی، منابع طبیعی، ساخت سازه‌ها و کیفیت آب در مقیاس‌های مختلف اثر منفی برجای می‌گذارد. یکی از انواع فرسایش آبی فرسایش خندقی است که افزون بر پیامدهای ناشی از فرسایش، موجب عدم امکان بهره‌برداری از اراضی به‌ویژه در اراضی زراعی می‌شود (فتاحی و همکاران، ۱۳۸۹). برادفورد<sup>۱</sup> و همچنین انجمن علوم خاک آمریکا (۱۹۸۰-۱۹۸۴)، خندق را آبراهه عمیقی می‌دانند که توسط شخم عادی از بین نمی‌رود. به‌رغم یافته‌های پژوهشی نسبتاً زیاد درباره فرسایش خندقی و مشخص شدن مشارکت این نوع فرسایش در تخریب و از بین رفتن اراضی و تولید رسوب، محققان بسیاری به این نتیجه رسیده‌اند که هنوز نکات فراوان ناشناخته‌ای در مورد این نوع فرسایش وجود دارد که مستلزم انجام بررسی و پژوهش‌های تکمیلی است (هدلی<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۸۵، هاروری<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۸۵، فوستر<sup>۴</sup>، ۱۹۸۸). انتظار می‌رود (همکاران، ۱۳۹۴)، با استفاده از شاخص قدرت آبراهه (SPI<sup>۵</sup>) و داده‌های داده‌های توپوگرافی و مدل رقومی آن به بررسی مناطق مستعد فرسایش خندقی در حوضه رودخانه دیره پرداختند. نتایج نشان داد که ۵ عامل شیب، انحنای افقی شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده و سنگ‌شناسی از عوامل موثر در ایجاد خندق می‌باشند.

1 - Bradford

2 - Hadley

3 - Harvery

4 - Foster

5 - Stream Power Index

مارتینز<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۳)، در حوضه‌ای واقع در کاتالونیا (اسپانیا) با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۳۰۰۰۰ در یک بازه ۳۶ ساله به تعیین نرخ فرسایش خندقی و نیز با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی<sup>۷</sup> به تهیه نرخ برش کانال و رسوب پرداختند. آن‌ها با استفاده از تکنیک سنجش از دور برای پیش‌بینی اثرات تغییر جهانی مانند استفاده از زمین، تغییرات آب و هوایی، نقشه برداری، اندازه نرخ فرسایش خندقی، از جمله نرخ عقب‌نشینی دیوار خندق و میزان تولید رسوب بسیار موثر می‌دانند. در این پژوهش با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی تاثیر شاخص رطوبت توپوگرافی<sup>۸</sup> (TWD) بر روی فرسایش آبکندی پرداخته شد و پس از تهیه نقشه‌های لازم، شاخص مورد نظر طبقه بندی شده و با قرار گرفتن لایه خندق‌های برداشت شده، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه الوند در جنوب غربی استان کرمانشاه واقع شده است. رودخانه الوند رودخانه مرزی است که بین کشورهای ایران و عراق می‌باشد. این منطقه در حد فاصل بین النهرین و فلات ایران قرار گرفته است. منطقه مورد پژوهش، با مساحت ۱۱۲۳۳۲٫۷۷ هکتار در ۳۵°۴۵' الی ۳۶°۰۹' طول شرقی و ۳۲°۳۵' الی ۳۴°۲۴'، ۱۵° عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا بین ۳۲۹ تا ۲۶۷۲ متر متغیر بوده و متوسط ارتفاع حوضه مورد مطالعه ۱۰۹۸ متر می‌باشد. این منطقه در مجموعه ناهمواری‌های سیستم چین خورده زاگرس محسوب می‌شود. منتهی طول موج‌های ناهمواری در این بخش بلند و کشیده است. از این نظر انعکاس ناهمواری‌ها به شکل تپه ماهور مشاهده می‌شود. جنس غالب لیتولوژی در منطقه مورد مطالعه ماسه سنگ آغاچاری می‌باشد. از جمله مهم‌ترین مناطق مسکونی حوضه الوند، شهرستان سرپل ذهاب و شهرستان قصرشیرین را می‌توان نام برد.

### روش کار

ابتدا با استفاده از دستگاه GPS Garmin در بازید میدانی از حوضه مورد مطالعه، مختصات محل خندق‌ها ثبت و در محل‌هایی که خندق‌های طویل وجود داشت مسیر خندق با استفاده از GPS پیمایش و برداشت شد. مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۱۰ متر برای کل حوضه مورد مطالعه تهیه شده و برای تهیه شاخص رطوبت توپوگرافی مدل‌های رقومی ارتفاعی با دقت‌های مختلف به ترتیب وارد نرم افزار ARCGIS شد و آنالیزهای لازم صورت پذیرفت. در نهایت نقشه‌های شیب و مساحت حوضه بالادست و نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی تهیه شد. با طبقه‌بندی نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی و با هم پوشانی لایه‌های خندق و نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی، ارزش لایه به هر یک از خندق‌ها داده شده و سپس تجزیه تحلیل نهایی صورت گرفت.

### تهیه لایه مورد نیاز

### شاخص رطوبت توپوگرافی (Topographic Wetness Index)

شاخص رطوبت توپوگرافی TWI ابزاری مفید و رایج برای توصیف شرایط رطوبتی در مقیاس حوضه می‌باشد و بنابراین مناطق اشباع سطحی و توزیع مکانی رطوبت خاک در حوضه‌ها را با فرض برابر بودن شیب آب زیرزمینی با شیب سطح زمین، تقریب می‌زند. نظریه شاخص رطوبت توپوگرافی اولین بار بوسیله بیون و کریک بی<sup>۹</sup> (۱۹۹۱) در مدل بارش رواناب TOPMODEL معرفی شد که می‌تواند تاثیر توپوگرافی را بر روی تولید رواناب به صورت کمی بیان کند. این شاخص بصورت  $\ln(\alpha/\tan\beta)$  تعریف شد. که  $\alpha$  مساحت بالادست در واحد طول خط تراز یا مساحت حوضه ویژه و  $(\tan\beta)$  زاویه شیب محل برای تخمین زاویه هیدرولیک می‌باشد (کین ۲۰۱۱). این شاخص گرایش آب را به جمع شدن در هر نقطه از حوضه (بر حسب  $\alpha$ ) و تمایل نیروهای

6 - Martinez

7 - Dem

8 - Topographic Wetness Index

9 - Beven and Kirkby

10 - keen

گرانسی را به انتقال آب به پایین دست (بر حسب  $\tan\beta$  به عنوان شیب هیدرولیکی تقریبی) توصیف می کند. در نتیجه محاسبه  $\alpha$  و  $\tan\beta$  برای نشان دادن تاثیر عوارض زمین بر روی زهکشی محل، مورد نیاز می باشد (اندرنی و وود<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۳).

#### جهت جریان و جریان تجمعی (Flow Direction and Flow Accumulation)

مقدار TWI بوسیله الگوریتم های محاسبه  $\alpha$  و تخمین  $\tan\beta$  متاثر می شود. محاسبه  $\alpha$  بستگی به الگوریتم جهت جریان استفاده شده دارد. الگوریتم های جهت جریان مشخص می کنند که چطور جریان از یک سلول به سلول دیگر انتقال می یابد. بنابراین این الگوریتم ها جمع مساحت بالادست ورودی به یک سلول و طول مؤثر خط تراز قائم بر جهت جریان را تعیین می کنند. مساحت تجمعی بالادست ( $\alpha$ ) که در محاسبه TWI مورد نیاز است، می تواند از این رابطه محاسبه شود (رحیمی فر و همکاران، ۱۳۹۰).

$$\alpha = \frac{A}{L} \quad (1)$$

که در این معادله (A) کل مساحت بالادست و (L) طول مؤثر خط تراز می باشد. معادله زیر نیز برای تعیین مقدار جریانی که به هر سلول مجاور ورود پیدا می کند استفاده می شود:

$$F_i = \frac{L_i \times \tan \alpha_i}{\sum_{i=1}^n L_i \times \tan \alpha_i} \quad (2)$$

که در این معادله ( $F_i$ ) جریان متناسب با یک سلول همسایه، ( $L_i$ ) عرض جریان و ( $\alpha_i$ ) زاویه شیب سلول می باشد.

#### شیب (Slope)

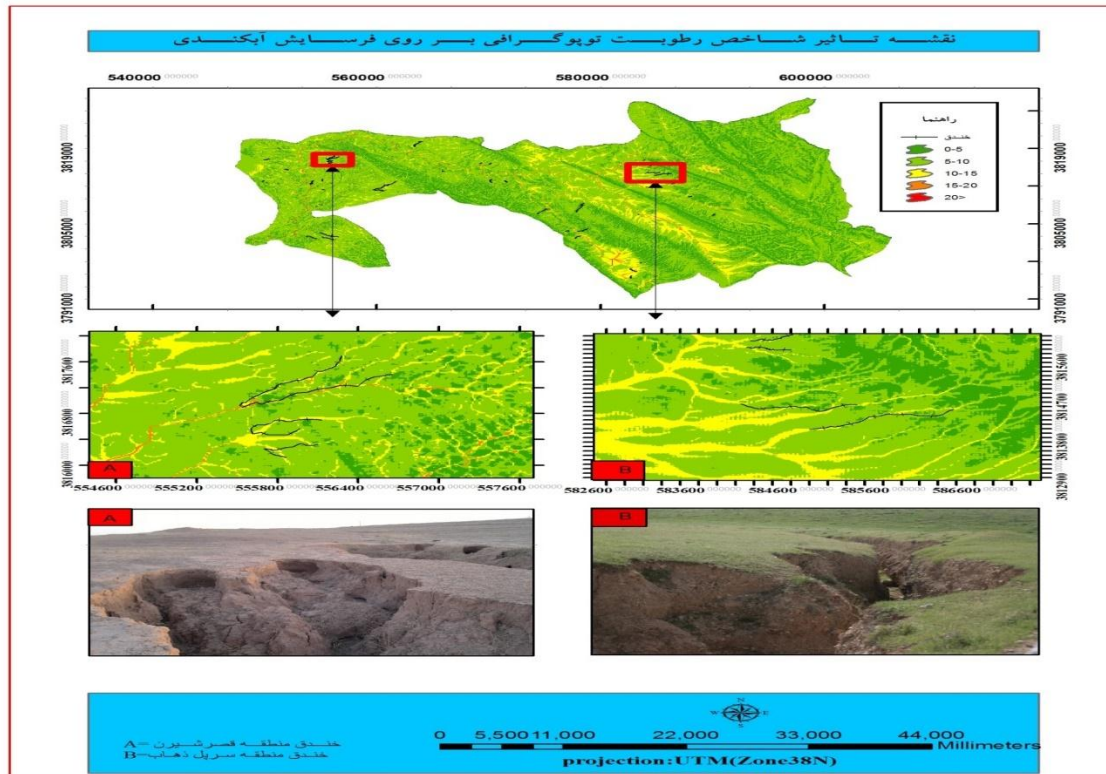
شیب دامنه اهمیت عمده ای در تجمع سرعت بالای رواناب دارد که منتهی به ایجاد شکافها و شیارها و خندقها می شود (والنتین و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۵).

#### بحث و نتایج

بررسی ها نشان داد که میان ارتفاع و مناطق مستعد فرسایش آبکندی رابطه معکوس برقرار می باشد به طوری که از ۵۰ خندق برداشت شده در منطقه مورد مطالعه، ۴۵ مورد از این خندق ها در ارتفاع کمتر ۷۰۰ متر قرار دارند. علت این امر را می توان کاهش عمق خاک در بالادست دانست به طوری که با افزایش طول خندق ها در مناطق مرتفع عمق خندق ها کاهش می یافت و از طرفی در مناطق مرتفع حوضه بالادست وجود ندارد که تحت تاثیر جریان رواناب آن ها قرار گیرد که با نتایج سایر پژوهشگران هم خوانی دارد (ثروتی و همکاران، ۱۳۷۸؛ بیاتی و خطیبی و همکاران، ۱۳۹۰). در ارتباط با شیب، بر اساس کلاس بندی نقشه شیب بیشترین خندق ها در کلاس اول (۰-۲۸ درجه) قرار دارند و عامل شیب یکی از مهم ترین پارامترهای مؤثر در ایجاد خندق می باشد، به طوری که در مناطق کم شیب منطقه قصرشیرین تمامی خندق ها در شیب کمتر از ۱۰ درصد قرار دارند و بیشتر این خندق ها کم عمق می باشند. اما در مناطق سرپل ذهاب خندق های با عمق بیشتر و طول بیشتر ایجاد شده که در بعضی از مناطق خندق های به عمق ۵ متر وجود دارد که با افزایش شیب در ارتفاع، عمق خندق ها کاهش می یابد که با نتایج سایر پژوهشگران از جمله (دی استفانو و همکاران، ۲۰۱۳؛ ثروتی و همکاران، ۱۳۸۵؛ خطیبی و همکاران، ۱۳۹۰؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱؛ گابریس و همکاران، ۲۰۰۳؛ مقیمی و همکاران، ۱۳۹۳) هم سو است.

<sup>11</sup> - Endreny and Wood

<sup>12</sup> - Valentin



شکل ۱: نقشه تاثیر شاخص رطوبت توپوگرافی بر فرسایش آبکندی

همچنین در ارتباط با عامل مساحت حوضه بالادست به تجمع جریان و جهت جریان بر می‌گردد که در بحث جهت جریان شکل و نحوه حرکت آب از یک سلول به سلول دیگر اهمیت پیدا می‌کند. بیشتر خندق‌ها در مکان‌هایی رخ داده‌اند که محل تمرکز جریان بوده و مساحت حوضه بالا بسیار وسیع بوده که با نتایج (زاگر نژاد و همکاران، ۲۰۱۳؛ مرکر و همکاران، ۲۰۱۵) هم خوانی دارد. تاثیر عامل رطوبت توپوگرافی نیز تحت تاثیر توپوگرافی و شکل و ساختار زمین‌شناسی منطقه می‌باشد. در مناطقی که انحنا به صورت محدب یا مقعر می‌باشد، این شاخص حالت ویژه‌ای دارد. رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی در بالاترین کلاس خود قرار داشته در حالی که خندق‌ها در کلاس سوم قرار دارند که با در نظر گرفتن شیب این نواحی، می‌توان وجود انحنا را یافت. مناطق پست نیز سبب ذخیره رطوبت بیشتر و فراهم شدن شرایط برای ایجاد خندق شده است که با نتایج (انگیلر و همکاران، ۲۰۱۶؛ زاگر نژاد و همکاران ۲۰۱۳) هم سو می‌باشد.

### نتیجه گیری

به‌طور کلی در منطقه مورد مطالعه فرسایش خندقی از اهمیت و گستردگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است، به‌طوری که منجر به تخریب منابع آب و خاک و تاسیسات زیر بنایی به‌ویژه راه‌های ارتباطی و اراضی مرتعی شده است که ادامه این روند می‌تواند خسارات قابل ملاحظه بیشتری را سبب شود. در ایجاد این خندق‌ها در منطقه مورد مطالعه بی شک موارد بسیاری نقش داشته‌اند که از جمله آن‌ها شدت و مدت بارندگی، ویژگی‌های هیدرولوژی، خصوصیات خاک، نوع کاربری اراضی و نوع لیتولوژی و... را می‌توان نام برد که با توجه به وجود روابط پیچیده بین این عوامل نمی‌توان تمام موارد را در یک پژوهش مورد مطالعه قرار داد. توجه به نتایج نشان می‌دهد که در منطقه شاخص‌های توپوگرافی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. بررسی و یافتن روابط میان شاخص‌های مخالف توپوگرافی می‌تواند درک بهتری از فرایند تشکیل خندق در حوضه الوند را به ما بدهد، از این رو تهیه دیگر شاخص‌ها از جمله انحنا، شیب و فاصله طولی شبکه آبراهه‌ها و دیگر شاخص‌های توپوگرافی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. با توجه به یافته‌ها و نتایج پژوهش، شاخص رطوبت توپوگرافی یکی از عوامل مهم بوده و رابطه‌ی معنی‌داری در ایجاد فرسایش خندقی دارد.



منابع

انتظاری، م، ملکی، ا، مرادی، خ و الفتی س. ۱۳۹۴. بررسی فرسایش خندقی حوضه آبریز دیره با استفاده از روش تلفیق وزنی و شاخص توان آبراهه ای. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره (۳)، شماره پیاپی ۱۱۸، صفحات ۲۹۷-۳۱۲.

احمدی، ح، ۱۳۹۰. ژئومرفولوژی کاربردی (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، ص ۶۸۸.

آرخی ص. و نیازی ی. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد GIS و RS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل (RUSLE). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد هفدهم، شماره (۲)، صفحات ۲۷-۱.

بیاتی خطیبی، م، رجبی، م و کرمی ف. ۱۳۹۰. بررسی آستانه‌های توپوگرافیکی و تحلیل نقش نوع سازندهای سطحی در توسعه خندق‌ها در دامنه‌های کوهستان‌های نواحی نیمه خشک حوضه شورچای. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۱، شماره ۱، صفحات ۱۵-۳۴.

ثروتی، م، قدوسی ج و دادخواه م. ۱۳۸۷. عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در لس‌ها. مجله پژوهش و سازندگی، دوره ۲۱، صفحات ۲۱-۳۲.

سپهر، ع و هنرمندنژاد س. ۱۳۹۱. تهیه نقشه خطر فرسایش واقعی خاک با استفاده از مدل گرین اصلاح شده، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره (۳)، صفحات ۵۷-۷۲.

شادفر، ص، ۱۳۹۳. کاربرد منطق فازی در بررسی فرسایش خندقی با استفاده از سیستم اطالعات جغرافیای حوضه طرود. فصلنامه علمی - پژوهشی اطالعات جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره (۹۲)، صفحات ۳۵-۴۲.

Angileri, S. E., Conoscenti, C., Hochschild, V., Märker, M., Rotigliano, E., & Agnesi, V. (2016). Water erosion susceptibility mapping by applying Stochastic Gradient Treeboost to the Imera Meridionale River Basin (Sicily, Italy). *Geomorphology*, 262, 61-76.

Zakerinejad, R., & Märker, M. (2014). Prediction of Gully erosion susceptibilities using detailed terrain analysis and maximum entropy modeling: a case study in the Mazayejan Plain, Southwest Iran. *Geogr Fis Din Quat*, 37(1), 67-76.

Zucca, C., Canu, A., & Della Peruta, R. (2006). Effects of land use and landscape on spatial distribution and morphological features of gullies in an agropastoral area in Sardinia (Italy). *Catena*, 68(2), 87-95.

Maerker, M., Quénéhervé, G., Bachofer, F., & Mori, S. (2015). A simple DEM assessment procedure for gully system analysis in the Lake Manyara area, northern Tanzania. *Natural Hazards*, 79(1), 235-253.

Martinez-Casasnovas, J. A., Ramos, M. C., & Poesen, J. (2004). Assessment of sidewall erosion in large gullies using multi-temporal DEMs and logistic regression analysis. *Geomorphology*, 58(1), 305-321

**Evaluation of topographic wetness index (TWI) in Gully Erosion  
(Case Study: Alvand Basin, Kermanshah Province)**

S. Pirouzinejad<sup>1\*</sup>, K. Solaimani<sup>2</sup>, M. Habibnejad Roshan<sup>2</sup>, R. Zakerinejad<sup>3</sup>

1 and 2- M.Sc. Student and Professors respectively, Agriculture and Natural Resources University of Sari, Iran

3- Postdoctoral, watershed management department, Isfahan University of technology, Iran

**Abstract**

Topography is one of the effect factors in the creation of gully erosion. Topographic Wetness Index has a several factor such as map slope, catchment area up stream, Map the flow direction, Flow accumulation. In this study, investigated gully erosion in Alvand watershed in western Kermanshah province. This study used topography map 1/25000, and digital elevation model with Resolution 10 meter, then gullies using Garmin GPS handheld device and measured x- and y- coordinates. Topographic Wetness Index was prepared in ARC MAP software. Result show that topographic Wetness Index has a significant relationship with gully erosion. Topographic Wetness Index Classified and result show there are most gullies in 3 and 4 Class and there are least gullies in class 1.

**Key words:** Gully erosion, Topographic Wetness Index, ARC MAP Software