



در

منابع طبیعی شماره ۷۵، تابستان ۱۳۸۶

پژوهش سازه‌نگ

## معرفی مدل‌هایی برای پیش‌بینی رشد حجم خندق (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سرخ آباد- مازندران)

• بهنوش جعفری گرزین

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران

• رضاعلی دومهری، • مهرداد صفایی و • سیدحسن احمدیان

اعضاء هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران

تاریخ دریافت: بهمن ماه ۱۳۸۴ تاریخ پذیرش: اسفندماه ۱۳۸۴

Email: b\_jafari96@yahoo.com

### چکیده

وقوع فرسایش خندقی در یک منطقه سبب بروز اثرات تخریبی زیادی می‌گردد. در حوزه آبخیز سرخ آباد واقع در شهرستان سوادکوه- مازندران، گستره وسیعی از آبخیز تحت تاثیر خندق‌ها قرار گرفته است. در این تحقیق رشد حجمی ۱۴ خندق و عوامل محیطی موثر بر میزان رشد طی دو دوره شش ماهه (یک سال) ارزیابی شد. در ابتدا نقش برخی ویژگی‌های مورفومتری خندق در رشد حجمی خندق بررسی و سپس میزان دخالت متغیرهای محیطی در رشد حجمی خندق با استفاده از رگرسیون چند متغیره برآورد گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که رشد حجمی خندق‌ها تقریباً در همه موارد با افزایش طول خندق و ارتفاع هدکت افزایش می‌یابد. همچنین براساس مدل‌های رگرسیونی معرفی شده در این تحقیق مشخص گردید که متغیرهایی نظیر بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت، سطح آبخیز بالادست خندق، میزان املاح محلول خاک و درصد رس خاک در محل تشکیل خندق نقش مهمتری در رشد حجمی خندق دارند.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی فرسایش خندقی، پیش‌بینی رشد حجمی خندق، متغیرهای محیطی، مدل رگرسیونی

Pajouhesh & Sazandegi No 75 pp: 108-117

### Introducing some models for predicting gully volume growth (A case study in Sorkh-Abad watershed – Mazandaran province- Iran)

By: B. Jafari Gorzin, Member of Scientific Board of Mazandaran Agricultural and Natural Resources Reseach Center.

R. A. Domehri, M. Safaei and S.H. Ahmadian, Members of Scientific Board of Mazandaran A. U. R. R. C.

Occurrence of gully erosion on an area causes major impacts. Large area of the Sorkh-abad watershed in the Savadkooch district dissected by gullies. In this research several effective environmental factors on gully volume growth of 14 gullies have been evaluated in two six-month intervals(1 year). At first rule of some gully's morphometric characteristics on volume growth have been estimated, then effects of environmental variables on gully volume growth have been calculated by multivariate regression analysis. The results of this research demonstrated that gully volume growth has been increased with increasing of gully length and height of headcut at all cases. Also according to introduced equations of multivariate regression analysis in this study, has been illustrated variables such as precipitation over 10mm per 24h, area of gully drainage basin, soluble salts and clay in soil have more effective rules on gully volume growth.

**Key words:** Gully erosion modeling, Prediction Gully volume growth, Environmental variables, Regression model

#### مقدمه

زمانی و مکانی ارائه نگردیده است. مطالعات Oostwoud Wijddens و همکاران (۱۵) نشان داد که سنگ شناسی نقش مهمی در فعالیت هدکت خندق دارد، بطوریکه در یک کاربری معین، هدکت خندق‌ها در مارن‌ها، اراضی لوم- شنی و لوم‌ها به طور قابل توجهی فعال‌تر از هدکت‌های واقع در اراضی گراولی و کنگلومرا هستند. Vandekerkhove و همکاران (۲۲) روشن ساختند که ریزش خاک در اثر توسعه ترک‌های کششی یکی از مهمترین علل پیشروی هدکت می‌باشد. تحقیقات Collison (۱۱) نیز بر اهمیت ترک‌های کششی به عنوان یک عامل مهم ناپایداری هدکت خندق و توسعه خندق تاکید دارد. Soufi (۱۸)، با تحقیق و بررسی کرونولوژی تشکیل خندق در یک محیط جنگلی در جنوب شرق استرالیا به این نتیجه رسیده است که قطع درختان، بهم خوردگی سطح خاک توسط ماشین آلات و وقوع بارندگی شدید علت اصلی ایجاد فرسایش خندق بوده است. نتایج تحقیقات Van den Elsen و همکاران (۲۳) و Stotle و همکاران (۱۹) با شبیه‌سازی و استفاده از مدل LISEM نشان داد که منبع اصلی رسوب خندق‌های مورد مطالعه، شیارها و خندق‌های کوچک در کف خندق اصلی بوده و دیواره‌های جانبی یکی از منابع مهم ایجاد رواناب می‌باشند. تحقیقات Istanbuluoglu و همکاران (۱۳) نشان داد که وقتی چسبندگی خاک کم باشد خندق‌های عرض‌تر و کم عمق‌تر با گسترش و پیوستن به یکدیگر دره‌های عرض را می‌سازند. هر قدر چسبندگی خاک افزایش می‌یابد فرسایش خاک کمتر شده و خندق‌های عمیق‌تر با دیواره‌های عمودی تشکیل می‌شود. در مناطق با رگبارش کوتاه مدت و شدت بالا، خندق با دیواره‌های قائم پدید آمده و این دیواره‌ها در اثر شکاف و ریزش ورقه ای توسعه می‌یابند. در حالیکه در مناطق با بارش‌های بلند مدت و شدت کم، دیواره قائم خندق از بین رفته و شیب آن کم شده و خندق‌ها به سرعت پایدار می‌شود.

مطالعات عبدال و همکاران (۲)، نشان داده است که املاح محلول موجود در خاک و مساحت حوزه آبخیز هر خندق براساس

بنا به تعریف خندق آبراه‌های است نسبتاً دائمی که جریان‌های موقت آب در هنگام بارندگی از آن می‌گذرد و مقدار بسیار زیادی رسوب توسط آن‌ها تخلیه می‌شود (۱). با توجه به اینکه شکل‌گیری خندق‌ها همواره با فرسایش و تغییر شکل ظاهری زمین همراه است و سبب تولید میزان قابل توجهی رسوب، تخریب اراضی، جاده‌ها، شبکه‌های آبیاری و پرشدن سدها می‌گردد (۸)، شناسایی و بررسی عوامل مؤثر در شکل‌گیری و توسعه آن‌ها حائز اهمیت ویژه‌ای است. بر اساس بررسی‌های اولیه مشخص شده است که فرسایش خندقی در حوزه آبخیز سرخ آباد از جمله فرسایش‌های غالب آبی بوده و این آبخیز به فرسایش خندقی حساس می‌باشد بطوریکه اثرات منفی اقتصادی و اجتماعی این پدیده در پی تخریب مزارع، مراتع و چراگاه‌ها، جاده‌ها، هدر رفت خاک‌های حاصلخیز و تولید رسوب در منطقه نمود پیدا می‌کند (۶)، از این رو شناسایی و بررسی عوامل مؤثر در رخداد فرسایش خندقی و تعیین میزان تاثیرگذاری هر یک می‌تواند منجر به تولید اطلاعات ارزشمند برای پیش بینی، مهار و کاهش خسارات این نوع فرسایش در منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه شود. با توجه به متنوع بودن مطالعات و تحقیقات در باره فرسایش خندقی، تعاریف متفاوتی در رابطه با این نوع فرسایش بیان و نظرات مختلفی نیز در زمینه عوامل مؤثر در شکل‌گیری و پیشرفت آن ارائه شده است. بیشترین تلاش‌ها در مدل‌سازی فرسایش خندقی مربوط به محل تشکیل خندق‌ها، رشد طولی خندق، حجم یا مقدار رسوبات تولیدی ناشی از فرسایش خندقی و پیش بینی امکان یا عدم امکان شکل‌گیری خندق‌ها بوده است (۵). Poesen و همکاران (۱۷) اظهار می‌دارند که علیرغم تلاش‌های انجام شده، تعریف نظام مندی از خصوصیات مورفولوژیک (طول، عرض و عمق) انواع مختلف خندق و عوامل محیطی کنترل‌کننده آن‌ها (نظیر توپوگرافی، نوع خاک، کاربری اراضی و هیدرولوژی) ارائه نشده و مدل معتبری جهت پیشگویی اثر تغییرات محیطی روی شدت فرسایش خندقی در مقیاس‌های مختلف

در امتداد زهکش طبیعی قرار دارند. شایان ذکر است که طول خندق‌ها از چند متر تا ده‌ها متر متغیر بوده و عمق متوسط آن‌ها در محل هدکت ۲ - ۰/۳ متر و در آبراهه خندق ۸ - ۰/۵ متر با مقطع U شکل که در برخی نقاط به صورت V شکل نیز می‌باشد، تغییر می‌کند.

### مواد و روش‌ها

جهت انجام تحقیق، مطالعات پیشین انجام شده در زمینه خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، اقلیم‌شناسی و پوشش گیاهی (۶) جمع‌آوری و برای تفکیک مناطق تحت تاثیر فرسایش خندقی و بررسی ویژگی‌های این مناطق مورد استفاده قرار گرفت. برای پیش‌بینی رشد حجمی خندق، تعداد ۱۴ خندق با ابعاد مشخص (جدول ۱) در دو منطقه تحت تاثیر فرسایش خندقی (شکل ۱) انتخاب و بررسی آن‌ها براساس روش تحقیق انجام شد.

در راستای بررسی نقش عوامل محیطی در رشد حجمی، خندق‌های انتخاب شده، طی دو دوره زمانی مشخص (دوره اول: بهمن سال ۸۰ لغایت تیرماه ۸۱، دوره دوم: مرداد ماه سال ۸۱ لغایت بهمن سال ۸۱) پارامترهای ذیل و تغییرات ابعاد خندق‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

میزان بارش: شکل‌گیری و توسعه فرسایش خندقی مرتبط با وقوع بارش‌هایی با شدت معین می‌باشد. تحقیقات Cassali و همکاران (۱۰) و Vandekerkhove و همکاران (۲۱) مویب این نکته می‌باشد. در این تحقیق با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و محیطی منطقه مقدار بارش ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت به عنوان حد آستانه جهت ایجاد رواناب و شکل‌گیری خندق در نظر گرفته شده و مقدار مجموع بارش معادل یا بیش از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت طی دوره‌های اندازه‌گیری برپایه اطلاعات ایستگاه

رابطه  $y = 3538/3X_1 + 136/8 X_2 + 177/6$  با حجم خندق در منطقه تحقیق (آبخیز سوق - استان کهگیلویه و بویراحمد) مرتبط می‌باشد. که در آن  $Y$  حجم خندق ( $m^3$ )،  $X_1$  درصد املاح محلول خاک و  $X_2$  مساحت حوزه آبخیز خندق (هکتار) است. همچنین تحقیقات غفاری و چرخایی (۳)، نشانگر این است که با توجه به مقایسه انواع مدل‌های رگرسیونی خطی و غیر خطی پیش‌بینی تولید رسوب ناشی از فرسایش خندقی، اصولاً مدل‌های رگرسیونی غیر خطی برای محاسبه بار رسوبی حاصل از رخداد فرسایش خندقی مناسب‌تر می‌باشند. از این‌رو رابطه:

$$GR = -87/87 + (0/04X_1) + (-0/36X_2) + (110/07X_3) + (0/07 X_{11})$$

را برای برآورد رشد حجمی معرفی نموده‌اند. که در آن GR رشد متوسط سالانه خندق (متر)،  $X_1$  سطح حوزه (هکتار)،  $X_2$  درصد سطح خاک‌های قهوه‌ای روشن در حوزه آبخیز خندق،  $X_3$  نسبت درصد سیلت به درصد رس در خاک و  $X_{11}$  متوسط عرض خندق (متر) می‌باشد.

### منطقه مورد مطالعه

آبخیز سرخ آباد با مساحت ۲۵۰۰ هکتار یکی از زیرحوزه‌های آبخیز رودخانه تالار می‌باشد که مختصات جغرافیائی آن عبارت است از: ۶° ۵۱' ۵۲" تا ۵° ۱۴' ۵۳" طول شرقی و ۳۵° ۴۹' ۰۰" تا ۳۶° ۰۰' ۰۰" عرض شمالی. نتایج حاصل از مطالعات مدیریت آبخیزداری استان مازندران (۶) نشان داد در حدود ۱۶۰۰ هکتار از وسعت این آبخیز تحت تأثیر فرسایش خندقی قرار دارد. تپ اصلی اراضی در منطقه مورد مطالعه مشتمل بر ۵۷ درصد کوه، ۳۴ درصد تپه، ۴/۳ درصد فلات و ۱/۱ درصد دشت دامنه‌ای است.

متوسط بارندگی سالیانه در این منطقه ۵۱۲/۷ میلی‌متر دمای متوسط سالیانه ۱۵/۸ درجه سانتیگراد بوده و براساس روش دومارتن اصلاح شده، سه نوع اقلیم مشتمل بر اقلیم ارتفاعات در مناطق مرتفع، اقلیم نیمه خشک سرد و اقلیم مرطوب سرد در مناطق کم ارتفاع قابل تفکیک می‌باشد. شیب متوسط حوزه تحت اشغال آبکند ۳۰ تا ۵۰ درصد می‌باشد که جهت شیب آبراهه آن‌ها اکثر شمالی و غربی است. مناطق تحت تاثیر فرسایش خندقی در این حوزه آبخیز بیشتر روی دامنه و اراضی شیبدار و گاهی نیز منطبق با دره و



شکل ۱: موقعیت خندق‌های مورد بررسی در حوزه سرخ آباد

جدول ۱: مشخصات مورفومتریک خندق‌های مورد مطالعه

منطقه	شماره خندق	طول (متر)	عرض متوسط (متر)	عمق متوسط (متر)	ارتفاع هدکت (متر)
۱	۱	۴۰/۸۲	۰/۸۹	۱/۱۴	۰/۶۰
	۲	۱۸/۲۶	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۳۹
	۳	۲۲/۲۵	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۴۰
	۴	۱۲/۹۶	۰/۹۴	۰/۷۶	۰/۵۰
	۵	۳۱/۶۹	۱/۳۷	۱/۳۰	۰/۴۷
	۶	۱۲/۰۴	۰/۹۷	۱/۱۷	۰/۲۰
	۷	۸/۶۳	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۴۳
	۸	۱۴/۸۷	۰/۳۸	۰/۵۰	۰/۲۷
	۹	۱۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۴۲	۰/۳۰
	۱۰	۱۶/۱۶	۱/۰۴	۰/۷۱	۰/۷۰
۲	۱۱	۸/۳۳	۱/۱۵	۰/۹۱	۰/۳۰
	۱۲	۱۰/۸۵	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۳۰
	۱۳	۱۲/۲۲	۰/۴۷	۰/۳۴	۰/۳۰
	۱۴	۱۷/۰۱	۰/۵۳	۰/۳۸	۰/۳۰

به مطالعات شناسایی توجیهی حوزه آبخیز سرخ آباد (۶) جهت برآورد و اندازه‌گیری دقیق‌تر میزان املاح محلول و بافت خاک مربوط به کل آبراهه خندق و محدوده گسترش خندق، اقدام به تهیه نمونه مرکبی که بیانگر مقادیر میانگین پارامترهای مورد نظر باشد، گردید. به اینصورت که یک نمونه در فاصله ۰/۵ الی ۱ متری هر خندق، از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر که بیانگر خصوصیات افق سطحی خاک است، یک نمونه از کف و یک نمونه از دیواره خندق در قسمت میانی طول خندق، تهیه شده و نمونه‌ها با نمونه سطحی ترکیب شد. از این نمونه‌های مرکب (مجموعاً ۱۴ نمونه) جهت انجام آزمایشات خاک، تعیین بافت خاک و برآورد املاح محلول خاک بر اساس هدایت الکتریکی محلول خاک و رابطه  $TDS = Ec \times 0.64$  که در آن TDS مقدار کل املاح و EC هدایت الکتریکی محلول خاک بر اساس دسی زیمنس بر متر است استفاده گردید (۷).

**درصد پوشش گیاهی حوزه آبخیز بالادست:** نقش پوشش گیاهی در شکل‌گیری و گسترش خندق در منابع مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است (۱، ۲، ۳، ۵، ۱۵، ۱۸، ۱۹) که دلالت بر اهمیت این پارامتر در فرسایش خندقی دارد. در این تحقیق سعی شده است میزان اثر این پارامتر با مدل‌های رگرسیونی مشخص گردد. جهت اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی خندق، یک ترانسکت در امتداد آبراهه خندق به سمت دورترین نقطه ارتفاعی بالادست مستقر نموده و به فواصل هر ۱۰۰ متر اقدام به نصب پلات‌های ۱×۱ متر روی این ترانسکت گردید، بطوریکه اولین پلات در فاصله یک متری از محل هدکت مستقر و پلات‌های بعدی به فاصله ۱۰۰ متری از پلات قبلی در طول ترانسکت نصب گردید. میانگین درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده در پلات‌های نصب شده در هر ترانسکت برای هر دوره اندازه‌گیری، به عنوان درصد پوشش گیاهی حوزه آبخیز بالادست هر خندق در نظر گرفته شد.

**اندازه‌گیری افزایش حجم خندق:** جهت ثبت دقیق ابعاد خندق و برآورد

هواشناسی زردگل سرخ آباد محاسبه و مورد استفاده قرار گرفت.

**سطح آبخیز خندق:** در مدل‌ها و روش‌های پیش‌بینی رشد طولی خندق، مساحت آبخیز واقع در بالا دست خندق به عنوان اندکس حجم رواناب در نظر گرفته می‌شود (۵). در این تحقیق برای محاسبه سطح آبخیز بالادست هر خندق با توجه به کوچک بودن ابعاد خندق‌ها (جدول ۱) و افزایش دقت اندازه‌گیری، از طریق پیمایش در راس الخط آبخیز بالا دست خندق و دستورالعمل پلی‌گون‌سازی در GPS گارمین مدل ۱۲XL، مساحت آبخیز بالادست خندق برآورد گردید.

**شیب عمومی حوزه خندق و شیب آبراهه خندق:** با توجه به نقش شیب در شکل‌گیری و توسعه فرسایش خندقی که در بسیاری از منابع نظیر Zinck (۲۴)، Zachar، و همکاران (۲۵) و قدوسی (۵) به آن اشاره شده است و اثر شیب آبراهه خندق بر سرعت جریان رواناب و ویژگی‌های هیدرولیکی آبراهه، تاثیر این عوامل در رشد حجمی خندق مورد بررسی قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری این دو پارامتر از شیب‌سنج استفاده شد.

**میزان املاح محلول در خاک و درصد ذرات خاک:** فرسایش پذیری خاک و شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی، تحت تاثیر مقدار املاح محلول خاک و سازندهای زمین‌شناسی می‌باشد (۲، ۴). همچنین فرسایش پذیری و حساسیت خاک تحت تاثیر خصوصیات فیزیکی، بافت و توزیع ذرات تشکیل دهنده خاک می‌باشد. عوامل فرساینده براساس ویژگی‌های مختلف خاک از جمله بافت آن می‌توانند تاثیر متفاوتی بر فرایندهای فرسایش نظیر کنندن، حمل و رسوبگذاری ذرات خاک داشته باشد. از این‌رو در این تحقیق مبادرت به بررسی نقش میزان املاح محلول و ذرات مختلف تشکیل دهنده خاک در رشد حجمی خندق گردید. علیرغم کوچک بودن ابعاد آبراهه‌های خندقی (جدول ۱) و عدم اختلاف قابل توجه از نظر املاح محلول و بافت خاک در عمق‌های مختلف آبراهه خندق‌های مورد مطالعه (مشاهدات میدانی و بررسی نتایج آزمایشات نمونه‌های خاک مربوط

در این تحقیق همبستگی بین متغیرهای مستقل (مقدار بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت برحسب میلی‌متر، سطح آبخیز خندق برحسب هکتار، درصد پوشش گیاهی، درصد شیب آبراهه خندق، درصد ذرات حوزه بالادست خندق، درصد املاح محلول، درصد رس خاک، درصد ذرات سیلت خاک، درصد ذرات ماسه خاک و نسبت مجموع درصد ذرات سیلت و ماسه به درصد رس) با متغیر وابسته (افزایش حجم خندق بر حسب متر مکعب) مورد بررسی قرار گرفته است. از طرفی با توجه به اینکه استفاده از ارقام لگاریتمی مربوط به افزایش حجم خندق، می‌تواند واریانس داده‌ها را در محدوده کوچکتری نشان داده و اثرات نامعین محیطی را در روابط رگرسیونی کاهش دهد، همبستگی بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته لگاریتم مقادیر افزایش حجم خندق نیز جهت دست‌یابی به روابط جدید مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳).

همچنین در این تحقیق جهت ارائه روابط رگرسیونی مناسب جهت برآورد متغیر وابسته (افزایش حجم) براساس روابط موجود بین متغیرهای مستقلی که همبستگی و ارتباط مطلوبی با متغیر وابسته نشان داده‌اند معادلات ذیل که حاصل رگرسیون چند متغیره به روش Enter-Backward

حجم آن در هر مرحله از برداشت و ثبت اطلاعات، باتوجه به تغییرات پروفیل و وجود مئاندرها، در نقاط ثابت و مشخص و در فاصله معین در دو طرف خندق و عمود بر جهت جریان پیکه‌های فلزی نصب گردید (شکل ۲). سپس سطح مقطع خندق در نقاط علامت گذاری شده که بر اساس شکل و مئاندرهای خندق تعیین گردیده است اندازه‌گیری و حجم در محدوده دو سطح مقطع متوالی محاسبه و با جمع کردن حجم‌های متوالی، حجم آبراهه خندق برآورد شد. اندازه‌گیری حجم هدکت نیز با استفاده از نقاط ثابت و مقاطع برداشت شده محاسبه شد (شکل ۳). حجم کل خندق در هر دوره با جمع حجم هدکت و حجم آبراهه خندق برآورد گردید.

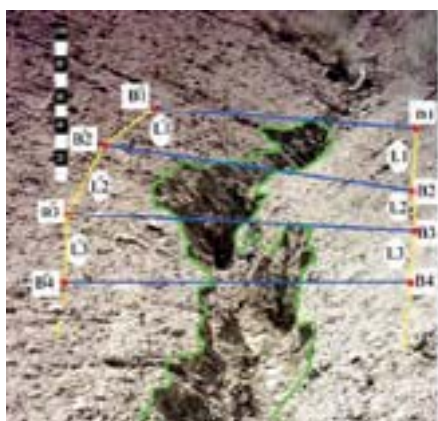
## نتایج

نتایج حاصل از اندازه‌گیری عوامل محیطی مورد ارزیابی مربوط به ۱۴ خندق طی دو دوره در جدول ۲ ارائه گردیده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد مقدار مجموع بارش‌های بیش از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت و بارش کل طی دوره دوم (مرداد ۱۳۸۱ لغایت بهمن ۱۳۸۱) افزایش قابل توجهی داشته است. درصد پوشش گیاهی حوزه آبخیز بالادست هر خندق طی

دوره دوم نسبت به دوره اول (بهمن ۱۳۸۰ لغایت تیر ۱۳۸۱) رو به کاهش نهاده است. مقادیر افزایش حجم خندق‌ها طی دوره دوم بیشتر از مقادیر آن طی دوره اول بوده و بیشترین مقدار افزایش حجم مربوط به خندق شماره ۶ می‌باشد (نمودار ۱). همچنین مقایسه افزایش حجم هدکت خندق‌ها طی دو دوره نشان می‌دهد که مقادیر افزایش حجم تقریباً در همه موارد (به جز هدکت خندق شماره ۶) در دوره دوم بالاتر بوده و بیشترین مقدار مربوط به هدکت خندق شماره ۴ می‌باشد (نمودار ۲).

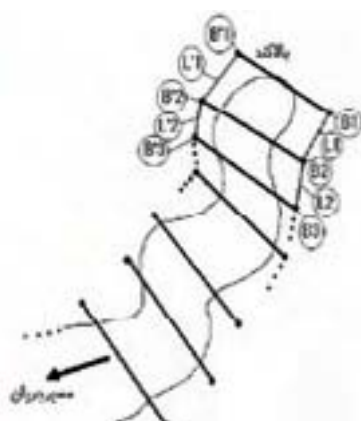
جهت بررسی آماری داده‌های اندازه‌گیری شده مربوط به عوامل مختلف از نظر وجود مقادیر انتهایی (Extreme Value) که می‌تواند اثر نامطلوبی در تجزیه و تحلیل‌های آماری داشته باشند، از آنالیز اکتشافی (Explore Analysis) و نمودار مستطیلی (Box Plot) در نرم افزار SPSS استفاده شد. این بررسی نشان داد که مقادیر افزایش حجم مربوط به خندق شماره ۶ یک مقدار انتهایی یا افراطی بوده و از اینرو از تجزیه و تحلیل‌های بعدی حذف گردید.

مقایسه رشد حجمی خندق‌ها طی یک دوره یکساله (بهمن ۱۳۸۰ لغایت بهمن ۱۳۸۱) نشان می‌دهد میزان رشد تا حدودی از طول خندق پیروی می‌کند. به عبارتی با افزایش طول خندق سرعت رشد نیز افزایش می‌یابد. هرچند میزان این تغییرات از الگوی واحدی تبعیت نمی‌کند (نمودار ۳). همچنین رشد حجمی خندق با ارتفاع اولیه هدکت نیز مرتبط بوده و در بیشتر خندق‌ها با افزایش ارتفاع هدکت رشد حجمی خندق نیز افزایش می‌یابد (نمودار ۴).



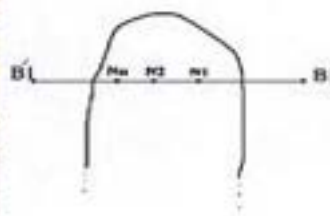
شکل ۲: نقاط ثابت جهت

اندازه‌گیری ابعاد و محاسبه میزان حجم خندق



شکل ۳: نمای هدکت خندق و نقاط

ثابت جهت اندازه‌گیری حجم هدکت



جدول ۲: مقادیر عوامل اندازه‌گیری شده خندق‌ها طی دوره‌های اندازه‌گیری

عوامل	X <sub>۱</sub>	X <sub>۲</sub>	X <sub>۳</sub>	X <sub>۴</sub>	X <sub>۵</sub>	X <sub>۶</sub>	X <sub>۷</sub>	X <sub>۸</sub>	X <sub>۹</sub>	X <sub>۱۰</sub>	Y
G <sub>۱</sub> -۱	۲/۸۱۷	۸/۱۱	۵۵	۴/۶۰	۳۵	۴۵	۲۰	۴۸	۳۲	۲/۱۵۵	-۰/۲۸۱
G <sub>۱</sub> -۲	-۰/۳۴۲	۸/۱۱	۶۰	۳/۴۱	۳۵	۶۵	۲۲	۵۱	۲۷	۲/۱۵۵	-۰/۳۰۰
G <sub>۱</sub> -۳	-۰/۲۹۱	۸/۱۱	۴۵	۳/۱۳	۴۰	۴۵	۳۳	۴۳	۲۴	۲/۱۵۵	-۰/۰۶۹
G <sub>۱</sub> -۴	-۰/۲۴۰	۸/۱۱	۵۵	۲/۷۵	۴۰	۶۵	۳۰	۵۵	۱۵	۴/۱۵۷	-۰/۱۲۲
G <sub>۱</sub> -۵	۱/۸۳۷	۸/۱۱	۵۰	۷/۱۶	۴۰	۶۵	۱۸	۶۰	۲۲	۴/۱۶۴	-۰/۳۴۰
G <sub>۱</sub> -۶	۳/۳۶۸	۸/۱۱	۵۵	۷/۶۸	۳۰	۵۵	۱۷	۶۴	۱۹	۴/۱۵۵	۶/۱۹۸
G <sub>۱</sub> -۷	-۰/۳۲۴	۸/۱۱	۵۵	۲/۹۴	۳۵	۵۰	۳۱	۴۸	۲۱	۴/۱۵۵	-۰/۱۲۵
G <sub>۱</sub> -۸	-۰/۵۲۸	۸/۱۱	۵۵	۲/۵۶	۳۵	۴۰	۳۳	۴۷	۲۰	۴/۱۵۵	-۰/۰۵۷
G <sub>۱</sub> -۹	-۰/۹۱۷	۸/۱۱	۶۵	۲/۹۴	۱۵	۳۵	۳۶	۵۰	۱۴	۴/۱۵۵	-۰/۱۱۸
G <sub>۱</sub> -۱۰	-۰/۷۸۶	۸/۱۱	۵۰	۲/۹۲	۱۵	۱۵	۲۰	۵۹	۲۱	۱۵۳	-۰/۸۴۵
G <sub>۱</sub> -۱۱	-۰/۰۸۳	۸/۱۱	۶۰	۴/۲۸	۴۵	۴۵	۳۴	۴۳	۲۳	۱۵۳	-۰/۰۱۱
G <sub>۱</sub> -۱۲	-۰/۳۱۴	۸/۱۱	۶۵	۷/۱۶	۵	۱۵	۳۱	۵۴	۱۵	۱۵۳	-۰/۱۷۳
G <sub>۱</sub> -۱۳	-۰/۲۴۱	۸/۱۱	۶۰	۶/۲۷	۱۵	۲۵	۲۶	۵۹	۱۵	۱۵۳	-۰/۲۷۷
G <sub>۱</sub> -۱۴	-۰/۳۷۱	۸/۱۱	۵۵	۵/۹۵	۲۰	۲۰	۲۲	۶۳	۱۵	۱۵۳	-۰/۳۸۵
G <sub>۲</sub> -۱	۲/۸۱۷	۴/۷۱	۳۵	۴/۶۰	۳۵	۴۵	۲۰	۴۸	۳۲	۶/۲۴۹	۲/۵۸۹
G <sub>۲</sub> -۲	-۰/۳۴۲	۴/۷۱	۴۰	۳/۴۱	۳۵	۶۵	۲۲	۵۱	۲۷	۶/۲۴۹	-۰/۵۰۵
G <sub>۲</sub> -۳	-۰/۲۹۱	۴/۷۱	۳۵	۳/۱۳	۴۰	۴۵	۳۳	۴۳	۲۴	۶/۲۴۹	-۰/۴۷۱
G <sub>۲</sub> -۴	-۰/۲۴۰	۴/۷۱	۴۰	۲/۷۵	۴۰	۶۵	۳۰	۵۵	۱۵	۴/۲۴۷	-۰/۳۶۱
G <sub>۲</sub> -۵	۱/۸۳۷	۴/۷۱	۳۵	۷/۱۶	۴۰	۶۵	۱۸	۶۰	۲۲	۲۳۴	۱/۶۳۶
G <sub>۲</sub> -۶	۳/۳۶۸	۴/۷۱	۴۵	۷/۶۸	۳۰	۵۵	۱۷	۶۴	۱۹	۲۳۴	۸/۰۲۵
G <sub>۲</sub> -۷	-۰/۳۲۴	۴/۷۱	۵۰	۲/۹۴	۳۵	۵۰	۳۱	۴۸	۲۱	۴/۲۴۷	-۰/۱۴۷
G <sub>۲</sub> -۸	-۰/۵۲۸	۴/۷۱	۴۵	۲/۵۶	۳۵	۴۰	۳۳	۴۷	۲۰	۴/۲۴۷	-۰/۱۷۶
G <sub>۲</sub> -۹	-۰/۹۱۷	۴/۷۱	۵۵	۲/۹۴	۱۵	۳۵	۳۶	۵۰	۱۴	۴/۲۴۷	-۰/۱۸۶
G <sub>۲</sub> -۱۰	-۰/۷۸۶	۴/۷۱	۳۵	۲/۹۲	۳۵	۱۵	۲۰	۵۹	۲۱	۲۴۳	۲/۵۸۹
G <sub>۲</sub> -۱۱	-۰/۰۸۳	۴/۷۱	۴۰	۴/۲۸	۴۵	۴۵	۳۴	۴۳	۲۲	۲۴۳	-۰/۲۴۹
G <sub>۲</sub> -۱۲	-۰/۳۱۴	۴/۷۱	۴۰	۷/۱۶	۴۰	۵	۳۱	۵۴	۱۵	۲۴۳	-۰/۲۷۷
G <sub>۲</sub> -۱۳	-۰/۲۴۱	۴/۷۱	۳۵	۶/۲۷	۳۵	۱۵	۲۶	۵۹	۱۵	۲۴۳	-۰/۶۶۳
G <sub>۲</sub> -۱۴	-۰/۳۷۱	۴/۷۱	۴۰	۵/۹۵	۲۰	۲۰	۲۲	۶۳	۱۵	۲۴۳	-۰/۵۸۸

i دوره اندازه‌گیری، ز شماره خندق، X<sub>۱</sub> مساحت آبخیز خندق (هکتار)، X<sub>۲</sub> میزان بارندگی بیش از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت (میلی‌متر)، X<sub>۳</sub> پوشش گیاهی (درصد)، X<sub>۴</sub> املاح محلول خاک (درصد)، X<sub>۵</sub> شیب آبراهه خندق (درصد)، X<sub>۶</sub> شیب عمومی حوزه خندق (درصد)، X<sub>۷</sub> درصد رس خاک، X<sub>۸</sub> درصد سیلت، X<sub>۹</sub> درصد ماسه خاک، X<sub>۱۰</sub> مقدار بارش کل دوره (میلی‌متر) و Y افزایش حجم خندق (مترمکعب)

$$\text{Log}Y = (-0/73) + 0/08X_1 + 0/07X_3 + (-0/24)X_4$$

$$R^2 = 0/81 \quad (3)$$

که در آن LogY لگاریتم مقادیر افزایش حجم خندق برحسب مترمکعب، X<sub>۱</sub> مقدار بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت برحسب میلی‌متر، X<sub>۳</sub> سطح آبخیز خندق برحسب هکتار، X<sub>۴</sub> درصد املاح محلول، X<sub>۵</sub> درصد رس خاک و X<sub>۶</sub> نسبت مجموع درصد ذرات سیلت و ماسه به

بوده است ایجاد گردید.

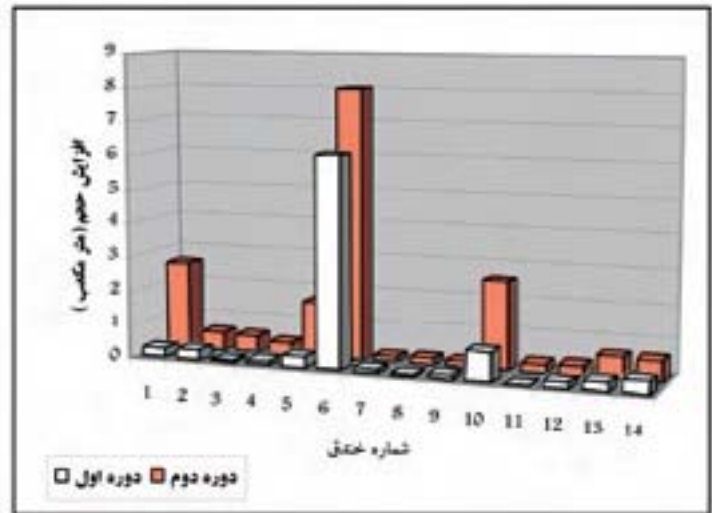
$$\text{Log}Y = 1/431 + 0/08X_1 + 0/174X_2 + 0/93X_3 +$$

$$(-0/068)X_4 + (-0/444)X_5 \quad R^2 = 0/84 \quad (1)$$

$$\text{Log}Y = (-0/907) + 0/08X_1 + 0/82X_2 + 0/071X_3 +$$

$$(-0/021)X_4 \quad R^2 = 0/83 \quad (2)$$

حجمی خندق با هم همبستگی معنی داری دارند. اگرچه مقدار رواناب حاصل از بارش و در واقع عامل فرساینده (آب) به طور مستقیم تحت تأثیر بارش قرار دارد، اما تأثیر مستقیم متغیر بارش (بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت) بر رشد حجمی خندق در این تحقیق به طور بارزی نشان داده نشده است. به نظر می‌رسد در نظر گرفتن مقدار بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت به عنوان حد آستانه‌ای برای فرسایش خندقی در منطقه تحقیق مناسب نبوده است. به طور مثال Vandekerckhove و همکاران (۲۱) حد آستانه بارش در هر واقعه بارندگی را برای توسعه فرسایش خندقی در اراضی زراعی ۱۴۵ میلی‌متر و Casali و همکاران (۱۰) ۱۷ میلی‌متر در نظر گرفته‌اند. همبستگی مساحت آبخیز خندق با افزایش حجم خندق معنی دار می‌باشد به عبارتی با افزایش مساحت آبخیز خندق، سرعت رشد حجمی خندق نیز بیشتر می‌شود. تحقیقات عبدال و همکاران (۲) نیز رابطه مستقیم و معنی دار سطح آبخیز خندق و افزایش ابعاد خندق را نشان می‌دهد. همچنین یافته‌های Thomas و همکاران (۲۰) نشان داد با کاهش سطح آبخیز خندق در اثر بزرگ شدن خندق در بلند مدت، شدت افزایش طول، مساحت و حجم خندق کم شده است. در تحقیق حاضر نقش این عامل بصورت کمی در روابط رگرسیونی جهت برآورد رشد حجمی خندق‌ها نشان داده شده است. در برخی از تحقیقات رابطه مشخصی بین شیب و شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها گزارش شده است به طور مثال تحقیقات قدوسی (۵) نشان داد فراوانی رخداد فرسایش خندقی با کاهش شیب افزایش یافته و شیب ۱۲٪ را می‌توان به عنوان آستانه توپوگرافی برای تعیین حد مناطق حساس و یا در معرض خطر بودن آن‌ها در مقابل فرسایش خندقی در نظر گرفت. Zachar (۲۴) با بررسی تحقیقات سایر محققین بیان می‌کند که بیشتر خندق‌ها در کشور چک و اسلواکی در شیب ۱۰ درجه و در حدود ۹۰ درصد آن بین ۲ تا ۱۵ درجه تشکیل شده است. همچنین مطالعات Zinck و همکاران (۲۵) موید این نکته است که بیش از پنجاه درصد نواحی خندقی منطقه مورد

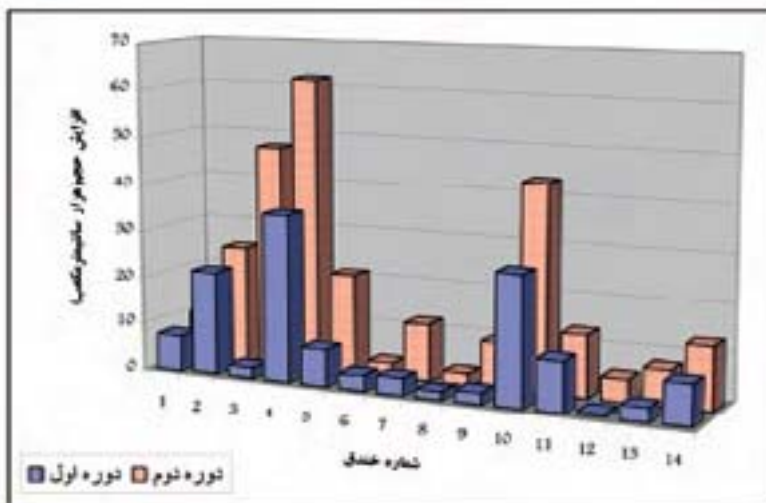


نمودار ۱: مقادیر افزایش حجم خندق‌ها طی دوره‌های اندازه‌گیری

درصد رس می‌باشد.

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در اکثر خندق‌های مورد مطالعه رشد حجمی خندق‌ها طی یک دوره یکساله با طول آن‌ها مرتبط بوده و خندق‌های طولی‌تر رشد بیشتری داشته‌اند. این نتیجه با نتایج تحقیقات Burkard و Kostaschuk (۹) و تحقیقات Matharu و Kukul (۱۴) که اظهار داشته‌اند خندق‌های طولی‌تر نسبت به خندق‌های با طول کمتر شدت رشد طولی بیشتری دارند، قابل مقایسه است. همچنین رشد حجمی اکثر خندق‌های مورد مطالعه با ارتفاع هدکت خندق‌ها مرتبط بوده و خندق‌هایی که ارتفاع هدکت در آن‌ها بیشتر بوده است، رشد بیشتری طی دوره یکساله داشته‌اند. اگر چه در این تحقیق افزایش حجم مربوط به هدکت خندق‌ها، با توجه به دوره کوتاه بررسی (یکساله) قابل ملاحظه نبوده و پیشروی طولی محسوس مشاهده نگردید، اما افزایش حجم خندق‌ها (رشد حجمی) محسوس بوده است. این نتیجه با یافته‌های Oostwoud و Brayan و Wijddens (۱۶) که اظهار می‌دارند رسوب خروجی از خندق بستگی زیادی با رواناب ورودی به خندق داشته اما پیشروی طولی خندق به دلیل رفتار پیچیده آن از این الگو پیروی نمی‌کند، و با توجه به یافته‌های Hessel و Van Asch (۱۲) که نشان داده‌اند علیرغم پایداری نسبی هدکت، خندق‌ها مقدار قابل توجهی رسوب هنگام ایجاد رواناب از خود خارج می‌نمایند، قابل مقایسه می‌باشد. مقادیر بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت و رشد

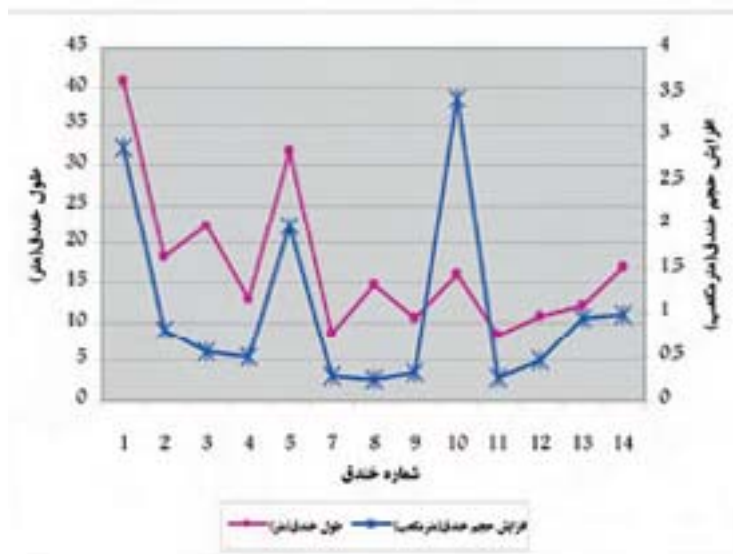


نمودار ۲: مقادیر افزایش حجم هدکت خندق‌ها طی دوره‌های اندازه‌گیری

بالایی معنی دار بوده است. بررسی روابط بین درصد ذرات خاک با رشد حجمی خندق نشان داد با افزایش مقدار رس خاک رشد حجمی خندق کاهش می‌یابد. با توجه به همبستگی مطلوب برخی از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته، مدل‌های رگرسیونی جهت پیش‌بینی و برآورد رشد حجمی خندق معرفی گردید، که بالاترین  $R^2$  مربوط به روابطی بوده است که در آن‌ها لگاریتم مقادیر افزایش حجم خندق (متر مکعب) بعنوان متغیر وابسته، مقدار بارش بیش از ۱۰ میلیمتر در ۲۴ ساعت (میلیمتر)، مساحت آبخیز خندق (هکتار)، میزان املاح محلول خاک (درصد)، مقدار ذرات رس خاک (درصد) و نسبت مقدار سیلت و ماسه خاک به مقدار رس خاک به عنوان عوامل مستقل در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه در این معادلات از لگاریتم مقادیر افزایش حجم خندق به عنوان متغیر وابسته استفاده شده است باید توجه داشت که نوعی رابطه غیر خطی بین متغیر وابسته اولیه (مقادیر افزایش حجم خندق) و متغیرهای مستقل وجود دارد که با لگاریتمی نمودن مقادیر افزایش حجم خندق علاوه بر کاهش اثر عوامل ناشناخته درک ارتباط بین عوامل و انجام عملیات محاسباتی ساده‌تر گردید. کاربرد مدل‌های رگرسیونی معرفی شده علی‌رغم  $R^2$  بالا در منطقه تحقیق نیازمند تعیین دقت و واسنجی برای منطقه تحقیق و مناطق مشابه می‌باشد.

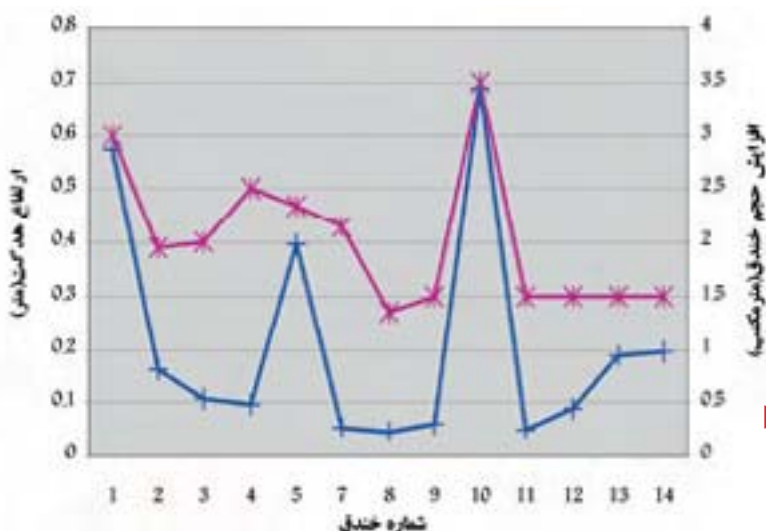
### سپاسگزاری

این تحقیق در قالب یک طرح تحقیقاتی تحت عنوان بررسی عوامل موثر در تشکیل و توسعه فرسایش خندقی در حوزه آبخیز سرخ آباد سوادکوه در بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران انجام شده است. از این‌رو از همه همکارانی که در به انجام رساندن این تحقیق از هیچ‌گونه مساعدتی دریغ ننموده‌اند سپاسگزاری می‌شود. مضافاً از زحمات جناب آقای دکتر جمال قدوسی به خاطر راهنمایی‌های مدبرانه جهت تدوین این مقاله قدردانی می‌گردد.



نمودار ۳: مقایسه افزایش حجم خندق (رشد حجمی یکساله) با طول خندق

مطالعه در محدوده شیب ۴-۷ درصد قرار داشته اما شکل‌گیری فرسایش خندقی به تناسب شیب افزایش نمی‌یابد. در این تحقیق شیب عمومی آبخیز بالادست خندق و شیب آبراهه خندق در هر دو حالت با رشد حجمی خندق رابطه معنی‌داری را نشان نداده است. به نظر می‌رسد این امر بدلیل عدم تنوع شیب در تحقیق حاضر بوده است. بررسی رابطه بین درصد پوشش گیاهی و افزایش حجم خندق نشان می‌دهد که یک رابطه معکوس بین آن‌ها وجود دارد. با کاهش پوشش گیاهی شرایط جهت تولید رواناب بیشتر شده و در نتیجه افزایش دبی جریان در آبراهه خندق، فرسایش بیشتری در خندق مشاهده می‌شود. همچنین نتایج نشان داد رشد حجمی خندق طی دوره دوم (مرداد لغایت بهمن ۱۳۸۱) بطور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از دوره اول (بهمن ۱۳۸۰ لغایت تیر ۱۳۸۱) بوده است علت اختلاف قابل ملاحظه رشد حجمی خندق در دوره دوم را اینگونه می‌توان توجیه نمود که علاوه بر افزایش مقدار بارش‌های فرساینده از بین رفتن پوشش گیاهی یکساله طی دوره دوم نیز مزید بر علت بوده است. تحقیقات قدوسی (۵) نیز نشان داده است فراوانی رخداد فرسایش خندقی در اراضی با تیپ غالب گیاهان یکساله به دلیل کوتاه بودن دوره رویش گیاهان یکساله می‌باشد. در رابطه با نقش املاح محلول خاک در فرسایش خندقی، قدوسی (۴) اظهار داشته است که شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها رابطه مستقیمی با میزان املاح محلول خاک دارد. عبدال و همکاران (۲) نیز املاح محلول خاک را به عنوان یکی از عوامل موثر در رخداد و توسعه فرسایش خندقی گزارش کرده‌اند. در این تحقیق نیز رابطه بین رشد حجمی خندق و مقدار املاح محلول مستقیم و با ضریب همبستگی



نمودار ۴: مقایسه افزایش خندق (رشد حجمی یکساله) با ارتفاع هدکت



جدول ۳: ضرایب همبستگی عامل وابسته با عوامل مستقل

عوامل مستقل	عامل وابسته	افزایش حجم خندق (m <sup>۳</sup> )	لگاریتم افزایش حجم خندق (m <sup>۳</sup> )
بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت	۰/۴۱ *	۰/۵۰ **	
مساحت آبخیز خندق به هکتار	۰/۵۰ **	۰/۴۳ *	
درصد پوشش گیاهی	- ۰/۵۸ **	- ۰/۶۴ **	
درصد شیب آبراهه خندق	- ۰/۰۹	- ۰/۲۴	
درصد شیب حوزه خندق	- ۰/۱۳	- ۰/۱۴	
درصد املاح محلول خاک	۰/۶۲ **	۰/۷۱ **	
درصد رس خاک	- ۰/۵۷ **	- ۰/۷۱ **	
درصد سیلت خاک	۰/۲۸	۰/۵۲ **	
درصد ماسه خاک	۰/۴۳ *	۰/۳۷	
نسبت مجموع سیلت و ماسه به رس	۰/۶۰ **	۰/۷۱ **	

\* همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی دار است

\*\* همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی دار است

## منابع مورد استفاده

J.Geomorphology.Vol.14: pp 211 - 219.

9-Burkard, M.B. Kostaschuk, R.A.,1997; Patterns and controls of gully growth along the shoreline of Lake Huron. Earth Surface Processes and Landforms 22(10), pp 901-911.

10- Casali, J., Lo'pez, J.J., Giraldez, J.V., 1999; Ephemeral gully erosion in Southern Navarra (Spain). Catena, 36, pp 65- 84.

11-Collison, A. J., 2001. The cycle of instability: Stress releas and fissure flow as controls on gully head retreat. Hydrological Processes, 15(1), pp 3-12.

12-Hessel, R., and T. Van Asch, 2003; Modeling gully erosion for a small catchment on the Chinese Loess Plateau.Catena 54, pp 131-146.

13-Istanballuoglu, E., Bras, R.L., Flores-Cervantes, H., 2005; Implication of bank failures and fluvial erosion for gully development: Filed observations and modeling, Journal of Geophysical Research,110, F01014,doi:10.1029/2004JF145.

14-Kukul ,S.S. and G.S. Matharu. 2002; Behavior of gully erosion in relation to chatchment characteristics in foothills of lower Shivaliks.Proc. 17th WCSS, 14-21 August 2002; Thailand, pp 628-1 to 628-6

15-Oostwoud Wijdenes, D.J.and R.B. Bryan., 2001; Gully-head

۱ - رفاهی، ح. ۱۳۷۵؛ فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۵۱ صفحه.

۲ - عبدال، ش.، س. فیض نیا، ح. احمدی، ج. قدوسی. ۱۳۷۸؛ بررسی علل فرسایش خندقی در منطقه سوق. مجله پژوهش و سازندگی. شماره ۴۰، ۴۱، ۴۲. صفحات ۲۴ - ۱۸.

۳ - غفاری، ع.، ا.ج. چرخایی. ۱۳۷۸؛ پیش بینی میزان رشد سالانه فرسایش خندقی بر اساس مدل رگرسیونی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. دانشگاه تربیت معلم تهران، صفحات ۸۹۵ - ۸۸۷.

۴ - قدوسی، ج.، ۱۳۷۳؛ رشد و گسترش خندق‌ها. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، گزارش پژوهشی، ۲۸ صفحه.

۵ - قدوسی، ج.، ۱۳۸۲؛ مدل‌سازی مورفولوژی فرسایش خندقی و پهنه بندی خطر آن (مطالعه موردی در آبخیز زنجانرود)، رساله دوره دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۳۶۸ صفحه.

۶ - مدیریت آبخیزداری جهاد مازندران. ۱۳۷۳؛ مجموعه گزارشات مطالعات شناسایی توجیهی حوزه آبخیز سرخ آباد ۶۷۵ صفحه.

7- Bresler, E., Mcneal, B.L., Carter, D.L. 1982; Saline and sodic soils. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.236p.

8- Burkard , M.B., Kostaschuck, R. A., 1995; Initiation and evolution of gullies along the shore line of lake Huron.

erosion processes on a semi-arid valley floor in Kenya: A case study into temporal variation and sediment budgeting. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(9), pp 911–933.

16-Oostwoud Wijdenes, D.J., Poesen, J., Vandekerckhove, L., Ghesquiere, M., 2000; Spatial distribution of gully head activity and sediment supply along an ephemeral channel in a Mediterranean environment. *Catena*, 39, pp 147–167

17-Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, C., 2003; Gully erosion and environmental change: Importance and research needs. *Catena*, 50, pp 91-133.

18- Soufi, M., 2002; Characteristics and causes of gully erosion in Iran. *Proc. 12th ISCO conference*. Beijing. pp 589-593.

19- Stotle, J., Liu, B., Ritsema, C.J., Van den Elsen, H.G.M., Hessel, R., 2003. Modeling water flow and sediment processes in a small gully system on the Loess Plateau in China. *Catena* 54, pp 117-130.

20-Thomas, J.T., Iverson, N.R., Burkart, M.R., Kramer, L.A., 2004; Long-Term growth of valley-bottom gully, Western Iowa. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(8), pp 995-1009.

21-Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., Nachtergaele, J., Kosmas, C., Roxo, M.J., De Figueiredo, T., 2000; Thresholds for gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe. *Earth Surface Processes and Landforms* 25(11), pp 1201–1220.

22-Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., Gyssels, G., 2001; Short-term bank gully retreat rates in Mediterranean environments. *Catena*, 44, pp 133–161

23-Van den Elsen, E., Xie, Y., Liu, B., Stolte, J., Wu, Y., Trouwborst, K., Ritsema, C.J., 2003; Intensive water content and discharge measurement system in a hillslope gully in China. *Catena*, 54, pp 93-115.

24- Zachar, D. 1982; Soil erosion. Elsevier scientific publishing company. 584p.

25-Zinck, A., J. Lopez, G.I. Metternich, D.P. Shrestha, and L. Vazquez-Selem. 2001; Mapping and modelling mass movement and gullies in mountainous areas using remote sensing and GIS techniques. *JAG*. Vol.3(1) pp 44-53.

