تحلیل تغییرات زمانی و مکانی مورفومتری اشکال خندقی در استان البرز (مناطق اسماعیل‌آباد و نجم‌آباد)

علی اکبر نظری‌سامانی* : *دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، البرز*

زیبا احمدی کاکاوندی: *دانش‌آموختهٔ ارشد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج*

محسن محسنی‌ساروی: *استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، البرز*

رضا بیات: *استادیار پژوهش پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران*

زینب شیخی: *دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج*

مقاله پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۶)

چکیده

فرسایش خندقی از اشکال خطی و پیشروندهٔ فرسایش آبی است که در تخریب اراضی نقش گسترده‌ای دارد. فرایند عمدهٔ رشد خندق‌ها، رشد بالاکند خندق است که پایش رشد و گسترش آنها برای حفاظت خاک امری ضروری است. پژوهش حاضر با استفاده از پیمایش در مناطق اسماعیل‌آباد و نجم‌آباد (استان البرز)، با انتخاب سی خندق دایمی و تهیهٔ نقشهٔ اولیهٔ پراکنش خندق‌ها انجام شد. با استفاده از عکس‌های هوایی سال ۱۳۶۷ و ۱۳۷۸، پیمایش میدانی و برداشت موقعیت بالاکند خندق‌ها در سال ۱۳۹۶، رشد خندق‌ها طی سه دورهٔ ۱۳۷۸-۱۳۶۷، ۱۳۹۶-۱۳۷۸ و ۱۳۹۶-۱۳۶۷ با پیمایش میدانی و ارتوفتوکردن عکس‌های هوایی برآورد شد. نتایج برآورد رشد نشان داد که میانگین رشد طولی در سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۶۷، ۱۳۹۶-۱۳۷۸ و ۱۳۹۶-۱۳۶۷ به ترتیب ۱/۲۴، ۱/۱۸ و ۱/۲ متر در سال در منطقهٔ اسماعیل‌آباد و ۷۵/۰۳، ۳۰/۷۸ و ۳/۷۵ متر در سال در منطقهٔ نجم‌آباد است. میانگین رشد سطحی نیز به ترتیب ۴/۹۶، ۴/۴۶ و ۴/۶۵ متر مربع در سال در منطقهٔ اسماعیل‌آباد و ۴۶۴/۲، ۱۸/۷ و ۱۸۷/۷ متر مربع در سال در منطقهٔ نجم‌آباد است. همچنین میانگین رشد حجمی به ترتیب ۴/۵۹، ۳/۳۸ و ۳/۸۴ مترمکعب در سال در منطقهٔ اسماعیل‌آباد و ۵۱۳/۸۶، ۲۰/۷۰ و ۲۰۷/۷۶ مترمکعب در سال در منطقهٔ نجم‌آباد است. رشد حجمی خندق‌های اسماعیل‌آباد و نجم‌آباد طی دورهٔ زمانی ۷۸-۶۷ (یازده سال) به ترتیب ۴۵/۳۱٪ و ۸۲/۹۳٪ است. همچنین رشد حجمی خندق‌ها طی دورهٔ زمانی ۹۶-۷۸ (هیجده سال) به ترتیب ۵۴/۶۹٪ و ۶/۱۸٪ در دو منطقهٔ اسماعیل‌آباد و نجم‌آباد است. میانگین رشد خندق در مقیاس زمانی بلندمدت (۱۳۹۶-۱۳۶۷)، بیش از دورهٔ زمانی کوتاه مدت (۱۳۹۶-۱۳۷۸) است که می‌تواند به دلیل رشد بیشتر خندق در فاز اولیهٔ تشکیل، تغییر کاربری و بارش شدید با دوره بازگشت طولانی باشد. با توجه به نتایج تجزیهٔ همبستگی بین رشد خندق و عوامل محیطی مشخص شد که متغیرهای درصد رس، طول خندق، SAR، مساحت آبخیز بالادست و سطح جاده بیشترین نقش را بر رشد طولی داشته‌است. درکنار عوامل محیطی، انسان و فعالیت‌های عمرانی نیز بر توسعهٔ خندق تأثیر داشته‌است.

واژگان کلیدی: استان البرز، ژئومورفولوژی، عکس هوایی، رگرسیون، رشد طولی.

* نویسندهٔ مسئول: Aknazari@ut.ac.ir

۱ـ مقدمه

یکی از انواع مهم فرسایش آبی، فرسایش خندقی است که رشد و گسترش آن به هدررفت میزان قابل توجهی از خاک منجر می‌شود. خندق، کانالی با شیب کنارهٔ تند است که با فرسایش خاک توسط جریان آب سطحی یا زیر سطحی، در طول باران‌های سنگین یا بلافاصله پس از آن تشکیل می‌شود و قسمت پرشیب سر آن (بالاکند[1]) فعال است. این کانال به اندازه‌ای عمیق است که توسط عملیات خاک‌ورزی معمولی محو نمی‌شود (Poesen et al, 1997). رشد طولی خندق، از عوامل مؤثر در تعیین گسترش خندق‌ها است که در پیشگیری و مبارزه با فرسایش خندقی اهمیت قابل توجهی دارد (Nazari Samani, 2007). توسعهٔ خندق‌ها به خارج شدن خاک حاصلخیز از دسترس، تشدید مشکلات جاری شدن سیل و تولید رسوب در اراضی کشاورزی منجر می‌شود که نسبت به فرسایش شیاری و بین شیاری اهمیت بیشتری دارد. در نتیجه، توجه بیشتر به پیش‌بینی رسوب تولید شده توسط خندق و اراضی در معرض تخریب آن در شرایط محیطی مختلف، امری ضروری است (Nachtergaele et al, 2001).

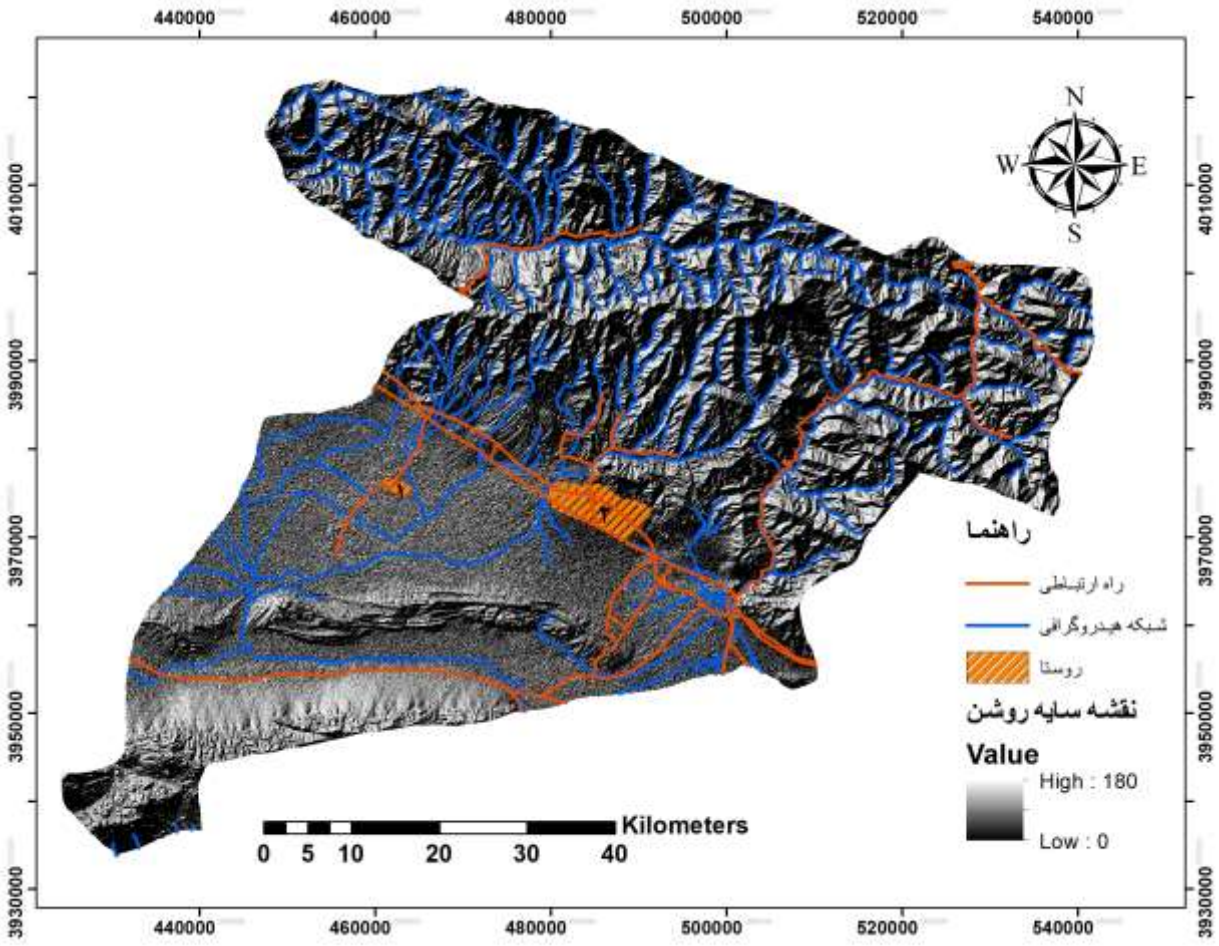
پژوهش حاضر، به علت شرایط ویژهٔ اقلیمی و حساس بودن خاک در منطقهٔ مورد مطالعه انجام شد و از آنجایی که رشد بالاکند خندق فرایند عمدهٔ رشد خندق است، اندازه‌گیری این رشد در مطالعات مختلفی صورت گرفت؛ به طوری که در اسپانیا در یک دورهٔ کوتاه مدت دو ساله میانگین رشد حجمی ۴۶ خندق، ۴ مترمکعب در سال و میانگین رشد طولی آنها ۰/۱ متر در سال به دست آمده‌است (Vandekerckhove et al, 2001). در منطقهٔ نیمه خشک جنوب شرق اسپانیا نیز با آنالیز عکس‌های هوایی و پیمایش میدانی، رشد حجمی دوازده خندق اندازه‌گیری شد و میانگین این رشد برای یک دورهٔ ۴۳-۴۰ ساله (میان مدت)، ۱۷/۴ مترمکعب در سال به دست آمد (Vandekerckhove et al, 2003). در حوضه آبخیز سمل استان بوشهر نیز رشد طولی خندق‌ها طی دو دوره بررسی شد. این بررسی با استفاده از عملیات میدانی، نرم‌افزار GIS و عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۴۶، ۱۳۷۲ و ۱۳۸۷ انجام و مشخص شد که میانگین رشد طولی خندق‌های منطقه، ۱/۲۹ متر در سال است (Tavakolirad et al, 2014). حوضه آبخیز حبله‌رود در استان سمنان نیز در منطقهٔ خشک و نیمه خشک قرار دارد و میانگین رشد طولی خندق‌ها در آن از سال‌های ۱۳۸۴- ۱۳۳۵، معادل ۰/۲۰۶ متر در سال است (Mohammadi, 2015). همچنین در پژوهشی در دره شهر استان ایلام، میانگین رشد طولی خندق و حجم خاک فرسایش‌یافته به ترتیب ۸۵ متر و ۸۸/۱ مترمکعب در سال برآورد شد. نتیجه نشان داد که گسترش حجمی خندق، پیرو ضریب کشیدگی حوضه آبخیز بالادست، درصد آهک و مساحت خندق است وگسترش طولی خندق نیز پیرو درصد انحنای دامنه، درصد جذب سدیم و درصد شن است (Rostamizad et al, 2015). برای بررسی ارتباط بین طول و حجم خندق در فلات‌های چین نیز تحقیقی انجام شد که نشان داد بین طول و حجم خندق ارتباط معنی‌دار و مستقیمی وجود دارد (Li et al, 2017). نتایج حاصل از بررسی مناطق خندقی در شمال نیجریه نشان داد که بین عرض و عمق خندق‌ها با سازندهای حساس به فرسایش ارتباط معناداری وجود دارد (Oparaku and Lwar, 2018). در استان بوشهر با استفاده از عکس‌های هوایی و پیمایش میدانی در دو دوره از سال‌های ۱۳۷۸ ـ ۱۳۴۶، میانگین رشد طولی ۲۵ خندق، ۱/۲۹ متر در سال و میانگین حجم خاک از دست‌رفته توسط خندق‌ها، ۵/۴۱ مترمکعب در سال به دست آمد (Avazzadeh Tavakoli, 2008). حوضهٔ درب خزینهٔ خوزستان نیز با استفاده از عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۳ و ۱۳۷۴ و پیمایش میدانی

[1] Head cut

سال ۱۳۹۳ بررسی و در دو دورهٔ مذکور، میانگین رشد طولی خندق‌ها به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۶۵ در سال برآورد شد. حوضه آبخیز خرم‌بید استان فارس طی بررسی روند پیشروی خندق‌ها در یک دورهٔ سیزده ساله نشان داد که میزان پیشروی طولی خندق‌ها ۱/۶۷ متر در سال است (Soleimanpour et al, 2019). در استان هرمزگان نیز تغییرات بلندمدت رشد فرسایش خندقی با استفاده از عکس‌برداری هوایی و نرم‌افزار GIS در سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۴ و ۲۰۰۴ در منطقهٔ کندوران بررسی شد و نشان داد که در طول یک دورهٔ شصت ساله، مساحت خندق‌ها رشد ده برابری داشته و طی سال‌های ۱۹۵۷-۲۰۱۶، از ۳۲ هکتار به ۳۷۰ هکتار رسیده‌است. میزان متوسط رشد طولی خندق‌های منطقهٔ مورد مطالعه نیز ۵/۲ هکتار در سال برآورد شد (Damizadehand Shadfar, 2021). با توجه به آثار تخریبی حاصل از فرسایش خندقی، تغییرات زیاد در ابعاد و رشد خندق‌ها در مناطق مختلف با شرایط (آب و هوا، خاک، کاربری ارضی و ...) متفاوت و اهمیت آن در تخریب خاک، نیاز است قبل از هر چیز عوامل مؤثر بر رشد طولی، سطحی و حجمی آن شناخته شود. استان البرز یکی از مناطقی است که بیشترین شدت تغییرات انسانی را در شرایط محیطی تجربه کرده‌است. با توجه به نقش فرسایش خندقی در تخریب اراضی از یک سو و تأثیر رشد خندق‌ها بر جاده‌ها و خطوط ارتباطی استان، نیاز است فرسایش خندقی از نظر میزان رشد و عوامل مؤثر بر آن ارزیابی شود. همچنین شناخت تغییرات زمانی این رشد، برای درک فرایندهای مؤثر از یک‌سو و پیش‌بینی دقیق‌تر ضروری است. با توجه به موارد ذکر شده مهم‌ترین هدف‌های مورد توجه پژوهش حاضر عبارت است از: شناخت دورهٔ زمانی مورد پایش در برآورد رشد طولی و سطحی فرسایش خندقی و تعیین قابلیت و دقت عکس‌های هوایی در برآورد گسترش طولی و حجمی خندق‌ها در مناطق تحت‌تأثیر استان البرز.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

پژوهش مورد نظر در دو منطقهٔ اسماعیل‌آباد شوربلاغ متعلق به شهرستان ماهدشت بین طول‌های ″۱۷ ′۴۶ °۵۰ و ″۳۰ ′۴۹ °۵۰ شرقی و عرض‌های ″۵۷ ′۴۴ °۳۵ تا ″۱ ′۴۷ °۳۵ شمالی و نجم‌آباد در شهرستان نظرآباد بین طول‌های ″۲۰ ′۲۴ °۳۵ و ″۱۸ ′۲۹ °۵۰ شرقی و عرض‌های ″۳۷ ′۵۰ °۳۵ و ″۴۰ ′۴۸ °۳۵ شمالی انجام شد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه (شمارهٔ ۱: منطقهٔ نجم‌آباد و شمارهٔ ۲: منطقهٔ اسماعیل‌آباد)

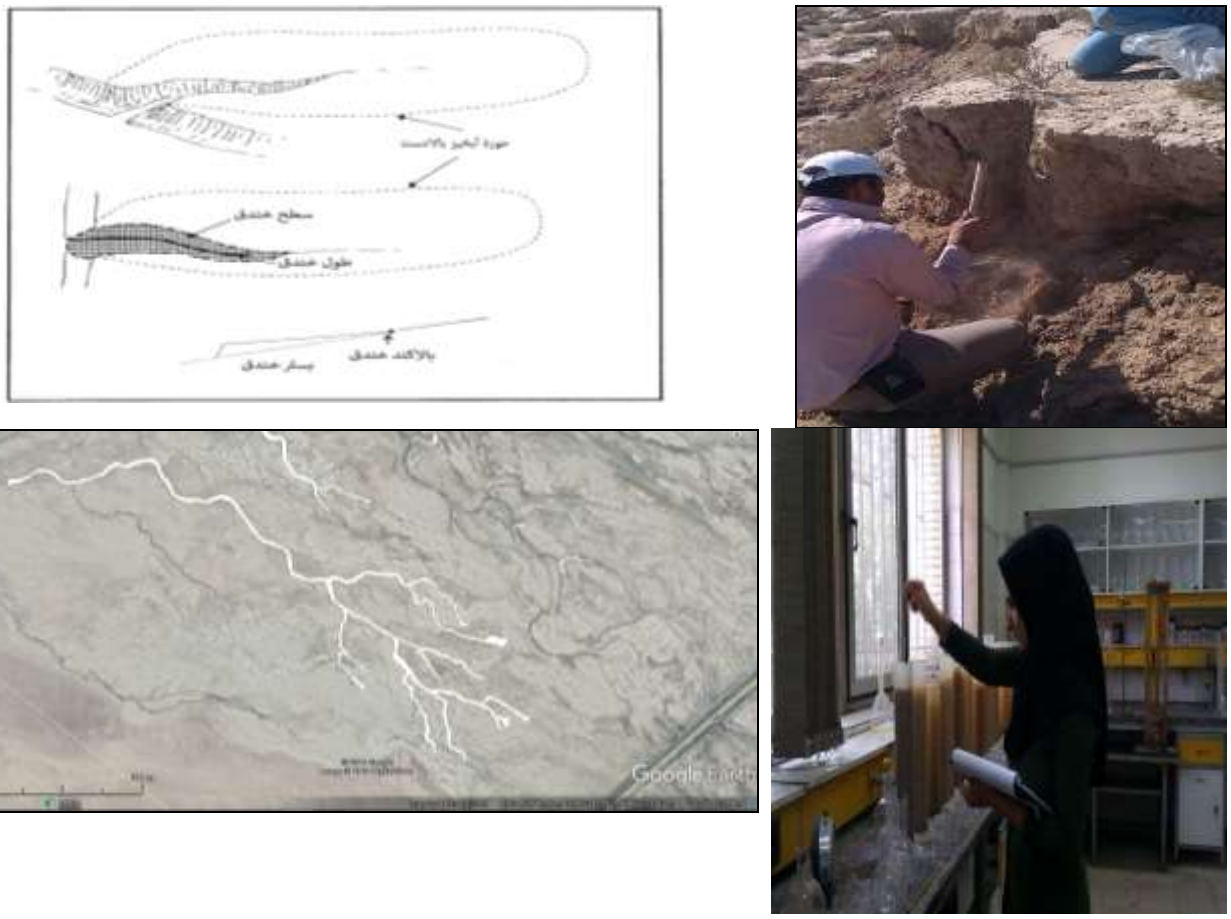
۳ـ مواد و روش

تحقیق جاری با رهیافت پیمایشی مبتنی بر برداشت میدانی، اجرای آزمایش برای استخراج داده‌ها و در نهایت اجرای تجزیه و تحلیل آماری انجام شد. برای این منظور، از داده‌هایی همچون نقشه‌های رقومی توپوگرافی ۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و عکس‌های هوایی (اسکن متریک) دههٔ ۱۳۶۰ و ۱۳۷۰ بهره‌برداری شد. برای این منظور در آغاز با استفاده از پایگاه اطلاعات زمینی Google Earth، تفسیر چشمی عکس‌های هوایی و بهره‌گیری از ویژگی‌هایی اعم از حضور و شناسایی بالاکند خندق، تیره بودن دیواره‌ها در اثر عمود بودن و وجود رطوبت، موقعیت خندق‌ها شناسایی و نقشهٔ اولیهٔ پراکنش آنها تهیه شد. سپس ارتوفتوی عکس‌های هوایی در نرم‌افزار Geomatica با استفاده از دیاپازتیو، اطلاعات کالیبراسیون دوربین و علائم حاشیه‌ای عکس[1] به همراه مختصات نقاط شاهد به عنوان نقاط کنترل زمینی[2] انجام شد. سپس با اجرای عمل ارتوفتو، تصاویری با دقت مکانی ۱*۱ متر و خطای (RMSE) کمتر از یک پیکسل به دست آمد و نقشهٔ وضعیت پراکنش خندق‌ها به همراه مرز حوضه روی هرکدام از عکس‌های هوایی تعیین شد. طی بازدید میدانی برای بررسی موقعیت خندق‌های انتخاب شده، تعیین موقعیت رأس خندق‌ها در سال ۱۳۹۶ با دستگاه GPS، اطلاعات مورد نیاز اعم از طول، عرض و عمق خندق‌ها، شیب کانال بالادست منتهی به خندق و شیب بستر خندق با

[1] Fiducial Mark
[2] GCP

استفاده از دوربین شیب‌سنج و نوع کاربری و وضعیت پوشش سطح زمین، برداشت نمونه خاک از بالاکند خندق‌ها به منظور تعیین متغیرهای فیزیکی ـ شیمیایی خاک انجام شد.

برای استخراج ویژگی‌های فیزیوگرافی، مدل رقومی ارتفاع با ابعاد ۵*۵ متر در نرم‌افزار Arc GIS (به عنوان پایه‌ای برای محاسبهٔ شیب و مساحت آبخیز بالادست) تهیه شد و اطلاعات مربوط به خطوط توپوگرافی اصلی و فرعی، نقاط ارتفاعی و آبراهه‌ها (اصلاح و تکمیل شده از روی پایگاه google earth) تعیین شد. سپس برای برآورد اندازه‌گیری رشد طولی خندق، به طور مستقیم پس از تعیین موقعیت بالاکند خندق‌ها بر روی عکس‌های هوایی (۱۳۶۷ و ۱۳۷۸)، رشد طولی خندق‌ها طی سه دورهٔ ۱۳۷۸-۱۳۶۷، ۱۳۹۶-۱۳۷۸ و ۹۶-۱۳۶۷ در مناطق مورد مطالعه به طور مستقیم محاسبه شد. در پایان با انتقال نقشه‌های بالاکند خندق‌ها در سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۸ و ۱۳۹۶ از نرم‌افزار Arc GIS به پایگاه زمینی google earth، محدودهٔ سطحی هر خندق در هر دوره از ابتدا تا خروجی رسم شد. اطلاعات طول، عرض و عمق برداشت شده طی بازدید میدانی با اندازه‌گیری‌های محاسبه شده از روی عکس‌های هوایی، برای تعیین مساحت پلیگون‌های موردنظر و سطح خاک از دست رفتهٔ هر خندق و رشد سطحی در نظر گرفته شد. رشد حجمی هر خندق نیز با ضرب سطح هر خندق در عمق متوسط ـ که از بازدید میدانی به دست آمد ـ تعیین شد. برای تعیین نقش طول دوره در میزان رشد فرسایش خندقی در بازه‌های زمانی مختلف، رشد طولی ارزیابی شد و با مقایسهٔ رشد طولی، سطحی و حجمی خندق‌ها در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت، به صورت بازه‌های زمانی یازده ساله (۱۳۷۸-۱۳۶۷)، هیجده ساله (۱۳۹۶-۱۳۷۸) و ۲۹ ساله (۱۳۹۶-۱۳۶۷) واکاوی شد. همچنین برای تعیین کمی رابطهٔ رشد طولی و دیگر متغیرهای محیطی اعم از شیب، مساحت آبخیز بالادست، ویژگی‌های خاک اعم از مقدار رس، سیلت، شن، شوری، pH و SAR، نمونه‌های خاک از محل خندق‌ها برداشت شد و پس از تجزیهٔ آزمایشگاهی تست روش رگرسیون بررسی شد. در شکل ۲، برخی از مدارک میدانی ذکر شده‌است.



شکل ۲: شماتیک موقعیت خندق و حوضه آبخیز بالادست آن (چپ بالا)، نمونه‌برداری خاک (راست بالا)، موقعیت رشد سطحی خندق‌ها از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶ در منطقهٔ نجم‌آباد (گوگل ارث) و جادهٔ بالادست (چپ پایین) و اندازه‌گیری بافت نمونه‌های خاک در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکدهٔ منابع طبیعی (محقق)

۴ـ یافته‌ها (نتایج)

با توجه به جدول ۱ و ۲، میانگین حجم خاک فرسایش‌یافتهٔ خندق‌ها در منطقهٔ اسماعیل‌آباد در سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۶۷ به میزان ۴/۵۹ متر مکعب در سال و در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۸ به میزان ۳/۳۸ متر مکعب در سال اندازه‌گیری شد. همچنین با توجه به جدول ۴، میانگین حجم خاک فرسایش‌یافتهٔ خندق در دو دوره از سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۶۷ به میزان ۳/۸۴ مترمکعب در سال اندازه‌گیری شد. در منطقهٔ نجم‌آباد نیز با توجه جدول ۳، ۴ و ۶، میانگین حجم خاک فرسایش‌یافتهٔ خندق‌ها در سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۶۷ به میزان ۵۱۳/۸۶ مترمکعب در سال و در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۸ به میزان ۲۰/۷ مترمکعب در سال اندازه‌گیری شد. همچنین میانگین حجم خاک فرسایش‌یافتهٔ خندق در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۶۷ به میزان ۲۰۷/۷۶ مترمکعب در سال اندازه‌گیری شد.

با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شدهٔ رشد طولی خندق از روی عکس‌های هوایی و عملیات میدانی، میانگین رشد طولی خندق‌ها در منطقهٔ اسماعیل‌آباد در سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۶۷ به میزان ۱/۲۴ متر در سال و میانگین رشد طولی خندق‌ها در سال های ۱۳۹۶-۱۳۷۸ به میزان ۱/۱۸ متر در سال اندازه‌گیری شد. همچنین میانگین رشد طولی خندق در دورهٔ ۱۳۹۶-۱۳۶۷ به میزان ۱/۲۰ متر در سال اندازه‌گیری شد. در منطقهٔ نجم‌آباد نیز میانگین رشد طولی خندق‌ها در سال‌های ۱۳۷۸-

۱۳۶۷ به میزان ۷۵/۰۳ متر در سال و در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۸ به میزان ۳/۷۵ متر در سال اندازه‌گیری شد. همچنین میانگین رشد طولی خندق در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۶۷ به میزان ۳۰/۷۸ متر در سال اندازه‌گیری شد. با توجه به اندازه‌گیری رشد طولی خندق از روی عکس‌های هوایی، انتقال مختصات رأس خندق‌ها به پایگاه گوگل ارث و بستن پلیگون و محاسبهٔ سطح خندق، میانگین رشد سطحی خندق‌ها در منطقهٔ اسماعیل‌آباد در سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۶۷ به میزان ۴/۹۶ متر مربع در سال و میانگین رشد سطحی خندق‌ها در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۸ به میزان ۴/۴۶ متر مربع در سال اندازه‌گیری شد. همچنین میانگین رشد سطحی خندق در دو دوره از سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۶۷ به میزان ۴/۶۵ مترمربع در سال اندازه‌گیری شد. در منطقهٔ نجم‌آباد نیز میانگین رشد سطحی خندق‌ها در سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۶۷ به میزان ۴۶۴/۲ متر مربع در سال و میانگین رشد سطحی خندق‌ها در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۸ به میزان ۱۸/۷۳ مترمربع در سال اندازه‌گیری شد. همچنین میانگین رشد سطحی خندق در دو دوره از سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۶۷ به میزان ۱۸۷/۷ متر مربع در سال اندازه‌گیری شد.

جدول ۱: رشد (طولی، سطحی و حجمی) و میزان (متوسط در سال) رشد خندق‌های منطقهٔ اسماعیل‌آباد در دورهٔ زمانی ۱۳۷۸-۱۳۶۷

شمارهٔ خندق	رشد طولی		رشد سطحی		رشد حجمی	
	متر	متر در سال	متر مربع	متر مربع در سال	مترمکعب	متر مکعب در سال
۱	۲۳/۲۰	۲/۱۱	۱۳۱	۱۱/۹۱	۷۰/۷۴	۶/۴۳
۲	۵/۲۷	۰/۴۸	۲۰/۳۰	۱/۸۵	۱۹/۰۸	۱/۷۳
۳	۹/۹۴	۰/۹۰	۱۱/۷۰	۱/۰۶	۱۰/۱۸	۰/۹۳
۴	۳/۸۹	۰/۳۵	۱۰/۴۰	۰/۹۵	۸/۵۳	۰/۷۸
۵	۳/۱۶	۰/۲۹	۷/۶۸	۰/۷۰	۱۱/۳۷	۱/۰۳
۶	۱۱	۱/۰۰	۳۲/۲	۲/۹۳	۲۲/۵۴	۲/۰۵
۷	۱۷/۴۰	۱/۵۸	۲۱/۸۰	۱/۹۸	۲۹/۴۳	۲/۶۸
۸	۳/۵۶	۰/۳۲	۳/۴۷	۰/۳۲	۴/۸۶	۰/۴۴
۹	۴۵/۴۰	۴/۱۳	۲۵۲	۲۲/۹۱	۲۷۷/۲۰	۲۵/۲۰
متوسط	۱۳/۶۵	۱/۲۴	۵۴/۵۰	۴/۹۶	۵۰/۴۴	۴/۵۹

جدول ۲: رشد (طولی، سطحی و حجمی) و میزان (متوسط در سال) رشد خندق‌های منطقهٔ اسماعیل‌آباد در دورهٔ زمانی ۱۳۹۶-۱۳۷۸

شمارهٔ خندق	رشد طولی		رشد سطحی		رشد حجمی	
	متر	متر در سال	متر مربع	متر مربع در سال	متر مکعب	مترمکعب در سال
۱	۴۹/۷۰	۲/۷۶	۳۷۲	۲۰/۶۷	۲۰۰/۸۸	۱۱/۱۶
۲	۵/۵۶	۰/۳۱	۱/۵۳	۰/۰۹	۱/۴۴	۰/۰۸
۳	۵/۶۱	۰/۳۱	۵/۷۷	۰/۳۲	۵/۰۲	۰/۲۸
۴	۲۱/۳	۱/۱۸	۱۰۸	۶	۸۸/۵۶	۴/۹۲
۵	۱۰/۳۰	۰/۵۷	۱۷/۵۰	۰/۹۷	۲۵/۹۰	۱/۴۴
۶	۲۰/۲۰	۱/۱۲	۴۵/۴۰	۲/۵۲	۳۱/۷۸	۱/۷۷
۷	۱۳/۳۰	۰/۷۴	۹/۸۵	۰/۵۵	۱۳/۳۰	۰/۷۴
۸	۲/۸۲	۰/۱۶	۵/۲۱	۰/۲۹	۷/۲۹	۰/۴۱
۹	۶۱/۸۰	۳/۴۳	۱۵۸	۸/۷۸	۱۷۳/۸۰	۹/۶۶
متوسط	۲۱/۱۸	۱/۱۸	۸۰/۳۶	۴/۴۶	۶۰/۸۸	۳/۳۸

جدول ۳: رشد و میزان رشد خندق‌های منطقهٔ اسماعیل‌آباد در دورهٔ زمانی ۱۳۹۶-۱۳۶۷

شمارهٔ خندق	رشد طولی		رشد سطحی		رشد حجمی	
	متر	متر در سال	متر مربع	مترمربع در سال	مترمکعب	مترمکعب در سال
۱	۷۲/۹۰	۲/۵۱	۵۰۳	۱۷/۳۴	۲۷۱/۶۲	۹/۳۷
۲	۱۰/۸۳	۰/۳۷	۲۱/۸۳	۰/۷۵	۲۰/۵۲	۰/۷۱
۳	۱۵/۵۵	۰/۵۴	۱۷/۴۷	۰/۶۰	۱۵/۲۰	۰/۵۲
۴	۲۵/۱۹	۰/۸۷	۱۱۸/۴۰	۴/۰۸	۹۷/۰۹	۳/۳۵
۵	۱۳/۴۶	۰/۴۶	۲۵/۱۸	۰/۸۷	۳۷/۲۷	۱/۲۹
۶	۳۱/۲۰	۱/۰۸	۷۷/۶۰	۲/۶۸	۵۴/۳۲	۱/۸۷
۷	۳۰/۷۰	۱/۰۶	۳۱/۶۵	۱/۰۹	۴۲/۷۳	۱/۴۷
۸	۶/۳۸	۰/۲۲	۸/۶۸	۰/۳۰	۱۲/۱۵	۰/۴۲
۹	۱۰۷/۲۰	۳/۷۰	۴۱۰	۱۴/۱۴	۴۵۱	۱۵/۵۵
متوسط	۳۴/۸۲	۱/۲۰	۱۳۴/۸۷	۴/۶۵	۱۱۱/۳۲	۳/۸۴

جدول ۴: رشد (طولی، سطحی و حجمی) و میزان (متوسط در سال) رشد خندق‌های منطقهٔ نجم‌آباد در دورهٔ زمانی ۱۳۷۸-۱۳۶۷

شمارهٔ خندق	رشد طولی		رشد سطحی		رشد حجمی	
	متر	متر در سال	متر مربع	مترمربع در سال	مترمکعب	مترمکعب در سال
۱۰	۱۳۹۵	۱۲۶/۸۲	۹۱۸۶	۸۳۵/۰۹	۱۲۸۶۰/۴۰	۱۱۶۹/۱۳
۱۱	۱۳۹۵	۱۲۶/۸۲	۹۱۸۶	۸۳۵/۰۹	۱۰۵۶۳/۹۰	۹۶۰/۳۵
۱۲	۱۳۸۱/۹۰	۱۲۵/۶۳	۹۰۸۹	۸۲۶/۲۷	۱۰۵۴۳/۲۴	۹۵۸/۴۸
۱۳	۱۳۵۹	۱۲۳/۵۵	۸۹۱۳	۸۱۰/۲۷	۹۴۴۷/۷۸	۸۵۸/۸۹
۱۴	۱۳۹۵	۱۲۶/۸۲	۹۱۸۶	۸۳۵/۰۹	۱۲۵۸۴/۸۲	۱۱۴۴/۰۷
۱۵	۱۳۶۶	۱۲۴/۱۸	۸۳۸۹	۷۶۲/۶۴	۴۸۶۵/۶۲	۴۴۲/۳۳
۱۶	۲۷۷	۱۸/۲۵	۴۸۴	۴۴	۲۱۷/۸۰	۱۹/۸۰
۱۷	۱۲/۱۰	۱/۱۰	۳۵/۸۰	۳/۲۵	۳۲/۲۲	۲/۹۳
۱۸	۱۹/۶۰	۱/۷۸	۳۶/۶۰	۳/۳۳	۳۶/۶	۳/۳۳
۱۹	۱۶/۵۰	۱/۵۰	۴۲/۵۰	۳/۸۶	۴۰/۳۷	۳/۶۷
۲۰	۵۲/۶۰	۴/۷۸	۲۱۵	۱۹/۵۵	۲۷۹/۵۰	۲۵/۴۱
۲۱	۵۶	۵/۰۹	۱۴۰	۱۲/۷۳	۸۴	۷/۶۴
۲۲	۱۵/۶۰	۱/۴۲	۴۵/۶۰	۴/۱۵	۴۵/۶۰	۴/۱۵
۲۳	۱۳۸۷	۱۲۶/۰۹	۸۳۹۵	۷۶۳/۱۸	۶۷۱۶	۶۱۰/۵۵
۲۴	۱۳۶۰	۱۲۳/۶۴	۸۲۵۲	۷۵۰/۱۸	۷۴۲۶/۸۰	۶۷۵/۱۶
۲۵	۱۳۳۳/۹۰	۱۲۱/۲۶	۸۰۲۴	۷۲۹/۴۵	۱۰۳۵۰/۹۶	۹۴۱
۲۶	۱۲۵۴/۳۰	۱۱۴/۰۳	۷۵۷۷	۶۸۸/۸۲	۱۰۶۰۷/۸۰	۹۶۴/۳۵
۲۷	۱۱۹۲/۳۰	۱۰۸/۳۹	۷۴۱۷/۸۰	۶۷۴/۳۵	۸۳۰۷/۹۴	۷۵۵/۲۷
۲۸	۱۳۹۵	۱۲۶/۸۲	۸۴۵۴	۷۶۸/۵۵	۱۰۱۴۴/۸۰	۹۲۲/۲۵
۲۹	۳۰۷	۲۷/۹۱	۱۹۹۰	۱۸۰/۹۱	۱۵۹۲	۱۴۴/۷۳
۳۰	۳۶۰	۳۲/۷۳	۲۱۷۱	۱۹۷/۳۶	۱۹۵۳/۹۰	۱۷۷/۶۳
متوسط	۸۲۵/۲۸	۷۵/۰۳	۵۱۰۶/۱۶	۴۶۴/۲۰	۵۶۵۲/۴۸	۵۱۳/۸۶

جدول ۵: رشد (طولی، سطحی و حجمی) و میزان (متوسط در سال) رشد خندق‌های منطقهٔ نجم‌آباد در دورهٔ زمانی ۱۳۹۶-۱۳۷۸

شمارهٔ خندق	رشد طولی		رشد سطحی		رشد حجمی	
	متر	متر در سال	متر مربع	مترمربع در سال	مترمکعب	مترمکعب در سال
۱۰	۲۳۳	۱۲/۹۴	۱۱۹۷	۶۶/۵۰	۱۶۷۵/۸۰	۹۳/۱۰
۱۱	۱۷۴	۹/۶۷	۸۷۳	۴۸/۵۰	۱۰۰۳/۹۵	۵۵/۷۸
۱۲	۱۸۰	۱۰	۹۶۱	۵۳/۳۹	۱۱۱۴/۷۶	۶۱/۹۳
۱۳	۱۴۹	۸/۲۸	۷۱۵	۳۹/۷۲	۷۵۷/۹۰	۴۲/۱۱
۱۴	۱۷۵	۹/۷۲	۱۰۳۷	۵۷/۶۱	۱۴۲۰/۶۹	۷۸/۹۳
۱۵	۱۵۸	۸/۷۸	۱۱۶۱	۶۴/۵۰	۶۷۳/۳۸	۳۷/۴۱
۱۶	۱۸/۴۰	۱/۰۲	۴۰/۶۰	۲/۲۶	۱۸/۲۷	۱/۰۲
۱۷	۲۲	۱/۲۲	۵۱/۷۰	۲/۸۷	۴۶/۵۳	۲/۵۹
۱۸	۱۲/۸۰	۰/۷۱	۲۲/۵۰	۱/۲۵	۲۲/۵۰	۱/۲۵
۱۹	۸/۵۵	۰/۴۸	۱۶/۹۰	۰/۹۴	۱۶/۰۵	۰/۸۹
۲۰	۶	۰/۳۳	۳۶/۷۰	۲/۰۴	۴۷/۷۱	۲/۶۵
۲۱	۴۰/۵۰	۲/۲۵	۶۹/۹۰	۳/۸۸	۴۱/۹۴	۲/۳۳
۲۲	۱۰/۹۰	۰/۶۱	۳۴	۱/۸۹	۳۴	۱/۸۹
۲۳	۱۱/۲۰	۰/۶۲	۱۳/۸۰	۰/۷۷	۱۱/۰۴	۰/۶۱
۲۴	۷۸/۵۰	۴/۳۶	۳۱۷	۱۷/۶۱	۲۸۵/۳۰	۱۵/۸۵
۲۵	۱۵/۷۰	۰/۸۷	۴۳/۷۰	۲/۴۳	۵۶/۳۷	۳/۱۳
۲۶	۳۷/۸۰	۲/۱۰	۲۱۰	۱۱/۶۷	۲۹۴	۱۶/۳۳
۲۷	۴۶/۱۰	۲/۵۶	۱۰۹	۶/۰۶	۱۲۲/۰۸	۶/۷۸
۲۸	۲۱/۵۰	۱/۱۹	۱۰۰	۵/۵۶	۱۲۰	۶/۶۷
۲۹	۴/۲۵	۰/۲۴	۱۰/۷۰	۰/۵۹	۸/۵۶	۰/۴۸
۳۰	۱۳/۲۰	۰/۷۳	۶۱	۳/۳۹	۵۴/۹۰	۳/۰۵
متوسط	۶۷/۴۵	۳/۷۵	۳۳۷/۲۱	۱۸/۷۳	۳۷۲/۶۵	۲۰/۷۰

جدول ۶: رشد و میزان رشد خندق‌های منطقهٔ نجم‌آباد در دورهٔ زمانی ۱۳۹۶-۱۳۶۷

شمارهٔ خندق	رشد طولی		رشد سطحی		رشد حجمی	
	متر	متر در سال	متر مربع	مترمربع در سال	مترمکعب	مترمکعب در سال
۱۰	۱۶۲۸	۵۶/۱۴	۱۰۳۸۳	۳۵۸/۰۳	۱۴۵۳۶/۲۰	۵۰۱/۲۵
۱۱	۱۵۶۹	۵۴/۱۰	۱۰۰۵۹	۳۴۶/۸۶	۱۱۵۶۷/۸۵	۳۹۸/۸۹
۱۲	۱۵۶۱/۹۰	۵۳/۸۶	۱۰۰۵۰	۳۴۶/۵۵	۱۱۶۵۸	۴۰۲
۱۳	۱۵۰۸	۵۲	۹۶۲۸	۳۳۲	۱۰۲۰۵/۶۸	۳۵۱/۹۲
۱۴	۱۵۷۰	۵۴/۱۴	۱۰۲۲۳	۳۵۲/۵۲	۱۴۰۰۵/۵۱	۴۸۲/۹۵
۱۵	۱۵۲۴	۵۲/۵۵	۹۵۵۰	۳۲۹/۳۱	۵۵۳۹	۱۹۱
۱۶	۲۹۵/۴۰	۱۰/۱۹	۵۲۴/۶۰	۱۸/۰۹	۲۳۶/۰۷	۸/۱۴
۱۷	۳۴/۱۰	۱/۱۸	۸۷/۵۰	۳/۰۲	۷۸/۷۵	۲/۷۲
۱۸	۳۲/۴۰	۱/۱۲	۵۹/۱۰	۲/۰۴	۵۹/۱۰	۲/۰۴
۱۹	۲۵/۰۵	۰/۸۶	۵۹/۴۰	۲/۰۵	۵۶/۴۲	۱/۹۵
۲۰	۵۸/۶۰	۲/۰۲	۲۵۱/۷۰	۸/۶۸	۳۲۷/۲۱	۱۱/۲۸
۲۱	۹۶/۵۰	۳/۳۳	۲۰۹/۹۰	۷/۲۴	۱۲۵/۹۴	۴/۳۴
۲۲	۲۶/۵۰	۰/۹۱	۷۹/۶۰	۲/۷۴	۷۹/۶۰	۲/۷۴
۲۳	۱۳۹۸/۲۰	۴۸/۲۱	۸۴۰۸/۸۰	۲۸۹/۹۶	۶۷۲۷/۰۴	۲۳۱/۹۷
۲۴	۱۴۳۸/۵۰	۴۹/۶۰	۸۵۶۹	۲۹۵/۴۸	۷۷۱۲/۱۰	۲۶۵/۹۳
۲۵	۱۳۴۹/۶۰	۴۶/۵۴	۸۰۶۷/۷۰	۲۷۸/۲۰	۱۰۴۰۷/۳۳	۳۵۸/۸۷
۲۶	۱۲۹۲/۱۰	۴۴/۵۶	۷۷۸۷	۲۶۸/۵۲	۱۰۹۰۱/۸۰	۳۷۵/۹۲
۲۷	۱۲۳۸/۴۰	۴۲/۷۰	۷۵۲۶/۸۰	۲۵۹/۵۴	۸۴۳۰/۰۲	۲۹۰/۶۹
۲۸	۱۴۱۶/۵۰	۴۸/۸۴	۸۵۵۴	۲۹۴/۹۷	۱۰۲۶۴/۸۰	۳۵۳/۹۶
۲۹	۳۱۱/۲۵	۱۰/۷۳	۲۰۰۰/۷۰	۶۸/۹۹	۱۶۰۰/۵۶	۵۵/۱۹
۳۰	۳۷۳/۲۰	۱۲/۸۷	۲۲۳۲	۷۶/۹۷	۲۰۰۸/۸۰	۶۹/۲۷
متوسط	۸۹۲/۷۲	۳۰/۷۸	۵۴۴۳/۳۷	۱۸۷/۷۰	۶۰۲۵/۱۳	۲۰۷/۷۶

نتایج حاصل از رگرسیون خطی چندمتغیره بین متغیرهای اندازگیری شده با رشد خندق طی دورهٔ زمـانی ۱۳۹۶-۱۳۶۷، معنی‌دار بودن تأثیر عوامل درصد رس، عرض خندق، مساحت آبخیز بالادست، تراکم جاده در آبخیز بالادست و SAR را با رشد طولی (جدول ۷) نشان می‌دهد.

جدول ۷: نتیجهٔ رگرسیون چندگانه بین رشد طولی خندق در دورهٔ ۱۳۹۶-۱۳۶۷ و متغیرهای معنی‌دار شده

مدل	ضرایب غیر استاندارد		ضریب استاندارد	سطح معنی‌داری ۵٪
	ضریب B	انحراف معیار استاندارد	ضریب B استاندارد شده	
(ثابت)	-۰/۱۶۱	۴/۷۴۲		۰/۹۷۴
مساحت جاده در حوضهٔ آبخیز بالادست (مترمربع)	۰/۲۸۳	۰/۰۴۴	۰/۶۹۸	۰/۰۰۱
طول خندق (متر)	۰/۱۰۴	۰/۰۲۹	۰/۳۸۶	۰/۰۱۲
حوضهٔ آبخیز بالادست (هکتار)	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	۰/۳۹۱	۰/۰۰۳
رس (٪)	۴۷/۸۸۳	۹/۲۴۷	۰/۶۲۷	۰/۰۰۰
عرض خندق (متر)	۶۳/۴۸۲	۱۹/۶۱۶	۰/۳۹۲	۰/۰۰۳
SAR	۱۳/۱۱۰	۴/۳۷۷	۰/۳۳۹	۰/۰۰۶

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

فرسایش خندق، مهم‌ترین فرایند مؤثر بر تخریب خاک و تولید رسوب در مقیاس حوضه آبخیز است. نتایج حاصل از ارزیابی در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که مقدار سرعت رشد فرسایش خندقی در دوره‌های زمانی مختلف متفات است؛ به طوری که مقایسهٔ رشد حجمی در سه دوره نشان می‌دهد رشد حجمی در هر دو منطقه در مرحلهٔ اول (۱۳۶۷-۱۳۷۸) بیشتر است. دلیل بیشتر بودن میانگین رشد در مرحلهٔ اول در هر دو منطقهٔ مورد بررسی، رشد بیشتر خندق در مرحلهٔ اولیهٔ تشکیل است؛ به طوری که دیگر محققان (Vanwalleghem et al, 2005 & Bayati Khatibi, 2006) نیز به این مورد اشاره کرده‌اند. دلیل این امر به مساحت حوضه آبخیز بازمی‌گردد؛ در مرحلهٔ اول، مساحت آبخیز خندق بیشترین مقدار است و بنابراین مقدار رواناب نیز بیشتر خواهد بود، ولی با توسعهٔ خندق، مساحت آبخیز آن کمتر می‌شود و در نتیجه، رواناب تولیدی نیز کمتر خواهد شد. بنابراین، رشد خندق با آهنگ کمتری همراه خواهد بود. همچنین نتایج نشان می‌دهد که میانگین رشد خندق در دورهٔ زمانی ۱۳۹۶-۱۳۶۷ (دورهٔ ۲۹ سال) از دورهٔ ۱۳۹۶-۱۳۷۸ (هیجده سال) بیشتر است که می‌تواند به دلیل مشمول بودن زمان تشکیل خندق (رشد بیشتر در فاز اول تشکیل)، تغییرکاربری در این زمان و وقوع بارش شدید (با دوره بازگشت بیشتر) در دورهٔ طولانی‌تر باشد (Vandekerckhove et al, 2003). همچنین نتایج نشان می‌دهد که در منطقهٔ اسماعیل‌آباد، ۳۹/۱۹٪ از رشد طولی طی دورهٔ زمانی ۱۳۷۸-۱۳۶۷ (یازده سال) و ۶۰/۸۱٪ آن طی دورهٔ زمانی ۱۳۹۶-۱۳۷۸ (هیجده سال) رخ داده‌است. بیشتر بودن رشد در دورهٔ زمانی هیجده ساله (بلند مدت) نسبت به یازده ساله (کوتاه مدت)، می‌تواند به دلیل تغییرکاربری در این زمان یا وقوع بارش شدید در دورهٔ طولانی‌تر باشد (Vandekerckhove et al, 2003). در منطقهٔ نجم‌آباد نیز ۹۲/۴۴٪ از رشد طولی طی دورهٔ زمانی ۱۳۷۸-۱۳۶۷ (یازده سال) و ۷/۵۶٪ آن طی دورهٔ زمانی ۱۳۹۶-۱۳۷۸ (هیجده سال) رخ داده‌است. بیشتر بودن رشد در دورهٔ زمانی یازده ساله

نسبت به هیجده ساله نیز می‌تواند به دلیل رشد بیشتر خندق در مرحلهٔ اولیه تشکیل باشد (Vandekerckhove Vanwalleghem et al, 2005 & Bayati Khatibi, 2006). میانگین رشد خندق در منطقهٔ نجم‌آباد بسیار زیادتر از منطقهٔ اسماعیل‌آباد است. با توجه به ثابت بودن شرایط اقلیمی، تفاوت بین رشد خندق در دو منطقهٔ مذکور برگرفته از سایر شرایط از جمله مواد زمینی (خاک و سازند)، شیب و نوع کاربری است (Vandekerckhove et al, 2003).

در منطقهٔ اسماعیل‌آباد، کاربری مرتع و در منطقهٔ نجم‌آباد، اراضی بایر است. با توجه به اینکه کاربری مرتع، پوشش گیاهی بیشتری دارد به پوشیده شدن سطح خاک و فرسایش کمتر منجر می‌شود؛ اما در اراضی بایر، زمین لخت و فرسایش بیشتر است. یک عامل مؤثر دیگر در ایجاد فرسایش خندقی، فعالیت‌های عمرانی مانند جاده‌سازی و پل‌سازی است (Sufi, 2014). در منطقهٔ نجم‌آباد، جادهٔ (دو باند) نظرآباد - اشتهارد در حوضه آبخیز بالادستِ چند خندق قرار دارد. این ویژگی‌ها سبب می‌شود رواناب با شدت و حجم بیشتر و زمان کمتر به منطقه وارد شود و در نتیجه، خندق با سرعت بیشتری رشد کند. از سوی دیگر، خاک بسیار شور منطقهٔ نجم‌آباد (نوع سازند) نسبت به منطقهٔ اسماعیل‌آباد می‌تواند علت بیشتر بودن فرسایش خندقی در منطقهٔ نجم‌آباد باشد. براساس یک نتیجه‌گیری کلی از پژوهش‌های پیشین و نتایج این تحقیق، تغییر در کاربری اراضی و دیگر عوامل محیطی از قبیل اقلیم، خاک، سنگ‌شناسی و ... می‌تواند به تغییر در سرعت رشد خندق منجر شود؛ همان طور که در نتایج دو منطقهٔ این تحقیق مشاهده شد (Poesen et al, 2003). در هر دو منطقه، میانگین رشد سطحی خندق در مرحلهٔ اول بیشتر است که می‌تواند به دلیل رشد خندق در فاز اول تشکیل آن باشد (Bayati Khatibi, 2006 & Vanwalleghem et al, 2005). همچنین رشد خندق در دورهٔ زمانی ۱۳۶۷-۱۳۹۶ (دورهٔ ۲۹ سال) از دورهٔ ۱۳۹۶-۱۳۷۸ (هیجده سال) بیشتر است که می‌تواند به دلیل مشمول بودن زمان تشکیل خندق (رشد بیشتر در فاز اول تشکیل)، تغییرکاربری در این زمان یا وقوع بارش شدید در دورهٔ طولانی‌تر باشد (Vandekerckhove et al, 2003). نتایج نشان می‌دهد که در منطقهٔ اسماعیل‌آباد، ۴۰/۴٪ از رشد سطحی طی دورهٔ زمانی ۱۳۶۷-۱۳۷۸ (یازده سال) و ۵۹/۶٪ آن طی دورهٔ زمانی ۱۳۹۶-۱۳۷۸ (هیجده سال) رخ داده‌است. بیشتر بودن رشد در دورهٔ زمانی هیجده ساله نسبت به یازده ساله می‌تواند به دلیل تغییرکاربری در این زمان یا وقوع بارش شدید در دورهٔ طولانی‌تر باشد (Vandekerckhove et al, 2003). در منطقهٔ نجم‌آباد نیز ۹۳/۸۱٪ از رشد سطحی طی دورهٔ زمانی ۱۳۷۸-۱۳۶۷ (یازده سال) و ۶/۱۹٪ آن طی دورهٔ زمانی ۱۳۹۶-۱۳۷۸ (هیجده سال) رخ داده‌است. بیشتر بودن رشد در دورهٔ زمانی یازده ساله نسبت به هیجده ساله می‌تواند به دلیل رشد بیشتر خندق در مرحلهٔ اولیهٔ تشکیل باشد (Vanwalleghem et al, 2005 & Bayati Khatibi, 2006).

ارزیابی رگرسیون بین عوامل محیطی اعم از شیب، مساحت آبخیز بالادست و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که عوامل مقدار رس، مساحت حوضه آبخیز بالادست، SAR و مساحت جاده به عنوان متغیرهای معنی‌دار بر رشد طولی خندق تأثیرگذار است. مقدار رس با تأثیر بر شرایط نفوذپذیری به افزایش تولید رواناب منجر می‌شود. همچنین بر پایهٔ مدل پیشنهادی تامپسون (Nazari Samani, 2007)، مقدار رس، شیب و آبخیز بالادست، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد طولی خندق است. عامل SAR نیز تأثیر سدیم زیاد خاک و افزایش فرسایش‌پذیری آن را نشان می‌دهد؛ به طوری که با افزایش مقدار سدیم، پراکندگی خاکدانه‌ها بیشتر می‌شود. بنابراین، شرایط ذرات خاک برای جدایش توسط رواناب و پایپینگ بیشتر می‌شود (Vandekerckhove et al, 2003).

جمع‌بندی کلی یافته‌های حاصل از پژوهش اجرا شده بیانگر این است که فرسایش خندقی از نظر تغییرات زمانی و مکانی دارای مقیاس است؛ به عبارت دیگر، میزان رشد و گسترش این پدیده علاوه بر شرایط محیطی (اقلیم و زمین) به طول دورهٔ مورد ارزیابی وابسته است. بر پایهٔ یافته‌ها، رشد (طولی، سطحی حجمی) خندق‌های منطقهٔ نجم‌آباد بسیار زیادتر از منطقهٔ اسماعیل‌آباد است. این مسئله از یک سو به شرایط ژئومورفولوژی منطقه و حساسیت سازندهای زمین-شناسی برمی‌گردد. در منطقهٔ اسماعیل‌آباد به دلیل شرایط تپه ماهور، مساحت آبخیز بالادست خندق‌ها کمتر از منطقهٔ نجم‌آباد (دشت آبرفتی) است؛ بنابراین، مقدار رواناب حاصل شده بیشتر خواهد بود و رشد خندق‌ها در این اراضی بیشتر خواهد شد. در هر دو منطقه نتایج رشد طولی و سطحی نتایج نشان داد که به طور میانگین ۴۳٪ از رشد حجمی طی دورهٔ زمانی ۱۳۷۸-۱۳۶۷ (یازده سال) و ۵۵/۱٪ آن طی دورهٔ زمانی ۱۳۹۶-۱۳۷۸ (هیجده سال) رخ داده‌است. به عنوان جمع‌بندی کلی، با افزایش طول دورهٔ اندازه‌گیری رشد خندق‌ها (دورهٔ زمانی هیجده ساله نسبت به یازده ساله) به دلیل احتمال تغییر کاربری/پوشش، وقوع بارش شدید در دورهٔ طولانی‌تر بیشتر می‌شود و رشد طولی نیز افزایش می‌یابد (Vandekerckhove et al, 2003). همچنین تغییرات زمانی نشان داده که در منطقهٔ نجم‌آباد نیز ۹۳/۸۲٪ از رشد حجمی طی دورهٔ زمانی ۱۳۷۸-۱۳۶۷ (یازده سال) و ۶/۱۸٪ آن طی دورهٔ زمانی ۱۳۹۶-۱۳۷۸ (هیجده سال) رخ داده‌است. در واقع، بیشتر بودن رشد در دورهٔ زمانی یازده ساله نسبت به هیجده ساله می‌تواند بیانگر این باشد که رشد خندق در مرحلهٔ اولیه آنها بیشتر است (Bayati Khatibi, 2006 & Vanwalleghem et al, 2005). علاوه براین، با در نظر گرفتن سطح خندق‌ها و آبخیز بالادست، مقدار شدت فرسایش حاصل از خندق‌ها برای منطقهٔ اسماعیل‌آباد و نجم‌آباد به ترتیب برابر با ۱/۶۶ و ۱۹/۰۴ مترمکعب در هکتار در سال بود. این اعداد بیانگر این است که فرسایش خندقی می‌تواند حجم بسیار زیادی از خاک را تخریب کند. مقایسهٔ نتایج این تحقیق با سایر پژوهش‌ها (Vanwalleghem et al, 2005 & Vandekerckhove et al, 2001 & Vandekerckhove et al, 2003)، از تفاوت آنها با تحقیقات در مناطق مختلف دنیا حکایت دارد. دلیل زیاد بودن رشد خندق‌ها در این تحقیق نسبت به پژوهش‌های دیگر را می‌توان به حساس بودن خاک منطقه، اقلیم خشک، وجود جاده و دستکاری‌های انسانی بیشتر در منطقه بررسی کرد.

منابع

1. Avazzadeh Tavakoli, F., 2008. Estimating the amount of longitudinal expansion of the gully using the model - case study: Bushehr province, Master's thesis. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. (In Persian).
2. Bayati Khatibi, M., 2006. Characteristics of gullies and factors controlling gully formation trends, case study: the area between Ahar-Meshkinshahr, *Geography and Development*, 7(4), 115-136. (In Persian).
3. Chinese loess plateau based on changes in gully length and area, *Catena*, 148(2), 195-203.
4. Damizadeh, M., & S. Shadfar., (2021). Investigating the long-term changes in the growth of gully erosion in the Kandoran basin, Hormozgan province. *Journal of Environmental Erosion Research*. 11(3), 140-159. (In Persian).
5. Li, Zh.; Zhang, Y.; Zhu, Q.; Yang, S.; Li, H.; & H. Ma., 2017. A gully erosion assessment model for the Chinese loess plateau based on changes in gully length and area, *Catena*, 148(2), 195-203.
6. Mohammadi, A. A., 2006. Validation of four models for predicting the longitudinal growth of gully erosion, Master's thesis of the Faculty of Natural Resources, University of Tehran. (In Persian).

7. Nachtergaele, J.; Poesen, J.; Vandekerckhove, L.; Oostwoud Wijdenes, D.; & M. Roxo, 2001. Testing the Ephemeral Gully Erosion Model (EGEM) in mediterranean environments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(1):17 - 30
8. Nazari Samani, A. A., 2007. Investigating the effective mechanisms on gully erosion in order to determine the thresholds of topography, runoff and the resulting sediment contribution. PhD thesis of Tehran School of Natural Resources. (In Persian).
9. Nazari Samani, A. A.; Tavakoli, M.; Ahmadi, Q.; & GH. Rahi, 2013. Determining factors affecting the longitudinal growth of gully erosion (case study: Koreh Valley watershed). Pasture and Watershed Journal, Journal of Natural Resources of Iran, 67(1), 126-117. (In Persian).
10.Neisi, S., Khalili Moghadam, B., & A. Zoratipour, 2017. Modeling of the impact factors on the length development of the marl gullies and determined of the sediment contribution of them (case study: Darb Khazine Basin), Journal of Range and watershed Management, 70(2), 531-541.
11. Oparaku, L. A., & R. Lwar., (2018). Relationships between average gully depths and withs on geological sediments underlying the Idah-Ankpa Plateau of the North Central Nigenia. *International Soil and Conservation Reservarion Research*. 6(1), 43- 50.
12. Poesen, J.; Vandaele, K.; & B. Van Wesemael, 1996. Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands, *IAHS Publication*, 236, 251-266.
13. Poesen, J.; Nachtergaele, J.; Verstraeten, G.; & C. Valentin, 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs, *Catena*, 50, 91-133.
14. Rostamizad, Q.; Selajgeh, A.; Nazari Samani, A. A.; & J. Qudousi, 2015. Determining the effective factors on the longitudinal growth of gullies and predicting its expansion, case study: Dereshahr city, *Quantitative Geomorphology Research*, 1(13), 46-58 (In Persian).
15. Soleimanpour, S.; Sufi, M.; Rusta, M. J.; Shadfar, S.; Jokar, L.; & H. Keshavarz, 2019. Investigating the progress of permanent gullyes in Khorram Bid watershed of Fars province, *Watershed Engineering and Management Scientific Research Journal*, 12(1), 329-318. (In Persian).
16. Sufi, M., 2006. The impact of vegetation destruction and urban development on the expansion of watersheds in the south of Fars province. Proceedings of the 3rd National Erosion and Sedimentation Conference, Karaj, 354-349. (In Persian).
17. Tavakolirad, F.; Ahmadi, H.; Nazari Samani, A.; Rahi, Gh.; & E. Abbasi, 2014. Using Aerial Photos and GIS Capabilities to Estimate Gullyhead Advancement (Case Study: Samal Watershed, Bushehr Province), *Iranina Journal of Remote Sensing & GIS*, 6(3), 103-116 (In Persian).
18. Vandekerckhove, L.; Poesen, J.; Oostwoud Wijdenes, D.; & G. Gyssels, 2001. Short-term bank gully retreat rates in Mediterranean environments, *Catena*, 44, 133-161.
19. Vandekerckhove, L.; Poesen, J.; & G. Govers, 2003. Medium-term gully headcut retreat rates in Southeast Spain determined from aerial photographs and ground measurements, *Catena*, 50, 329- 352.
29. Vanwalleghem, T.; Bork, H. R.; Poesen, J.; Schmidtchen, G.; Dotterweich, M.; Nachtergaele, J.; Bork, H.; Deckers, J.; Brüsch, B.; Bungeneers, J.; & M. De Bie, 2005. Rapid development and infilling of a buried gully under cropland, Central Belgium, *Catena*, 63, 221-243.

Spatio-Temporal Analysis of Morphometric Changes of Gully Shape in Alborz Province (Ismailabad and Najmabad Regions)

Aliakbar Nazari Samani[1]*:Associate professor, Watershed management Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj.*
Ziba Ahmadi Kakavandi**:** *Graduated Student in Watershed Management Engineering, University of Tehran, Karaj*
Mohsen Mohseni Saravi**:** *Professor, Faculty of Natural Resources, Watershed management Engineering, University of Tehran, Karaj.*
Reza Bayat**:** *Assistant Professor in Research, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran.*
Zeinab Sheykhi**:** *Graduated student in Watershed Management Engineering, University of Tehran, Karaj*

Article History (Received: 2022/12/22 Accepted: 2023/06/27)

Extended abstract

1- Introduction

Gully erosion is one of the linear and progressive forms of water erosion that has an expanding role in land degradation. A gully is a channel with a steep side slope and head cut that is formed by surface or subsurface soil erosion processes though heavy rains, soil disturbance or landuse changes. Upon once the gully initiation head cut retreating is the main effective erosion process influencing land degradation and soil loess. The development of the head cuts have caused the removal of fertile soil, the aggravation of flooding by wild land and production of sediment from agricultural lands. Therefore, it is necessary to monitor the growth and expansion of gullies in order to identify the factors involved in soil loss and effectiv implimentation of soil conservation projects. In the same regard, besides paying attention to the special climatic conditions and the high sensitivity of the soil in the study area, the main aim of this research is to compare the growth of the gullies by aerial photographs and field operations to determaine the most important factors on gully head development over the short and long time spans. Also, other geometric of gullies including length, volume and surface growth were estimated and modelled by regression analysis procedure to find out the most important variables.

2- Methodology

The present research was conducted by selecting 30 permanent gullies using a survey based on field sampling, and conducting experiments to extract data and performing statistical analysis in two areas of Ismail Abad and Najm Abad villages in Alborz province. Identification of the gullies' location and mapping of gullies distribution were performed by using the google earth database, interpretation of aerial orthophotos of the 1980s and 1990s, digital topographic maps (25,000). Also the present location of head cuts were determined by field survay in 2017 with a GPS device. The length, width and depth of gullies, the slope of the upstream channel leading to the gully and the slope of the gully channel bed and the landuse condition were recorded during field surveying. At the end soil samples were taken from the gulleis' walls to determine the physicochemical attributes of the soil. Using geographic information system (GIS), the longitudinal, surface and volume growth of the gullies over the three time periods of 1988-99, 1999-2017 and 1988-2017 in two study areas estimated directly. By multiplying the surface of each gully by the average depth obtained from the field surviving, the volumetric growth was also determined. Multiple regression analysis was applied into the data to

[1] **Corresponding Author: aknazari@ut.ac.ir**

determine the significant factors (soil and topography and upland contribution area and road density).

3- Results

The growth estimation results showed that the average annual longitudinal growth over the 1988-1999, 1999-2017 and 1988-2017 in Ismailabad and Najmabad were 1.24, 1.18, 1.2 m/Y and 75.03, 30.78, 3.75, respectively. The average surface growths are 4.96, 4.46 and 4.65 m^2/Y in Ismailabad region and 464.2, 18.73, and 187.7 m^2/Y in Najmabad region. Also, the average volume growths are 4.59, 3.38, and 3.84 m^3/Y in Ismailabad region and 513.86, 20.70 and 207.76 m^3/Y in Najmabad region. The gully volumetric growths of Ismail Abad and Najmabad during the period of 11 years (88-99) are 45.31% and 93.82%, respectively. Also, the volume growths during the period of 99-2017 (18 years) are 54.69%, 6.18% respectively in the two regions of Ismailabad and Najmabad, and the average gully growth over the 29-year period is more than the 18-year period.

4- Discussion & Conclusions

The volume growth in both regions is higher in the first phase, the average gully development in the long-term time span (1988-2017) is more than the short-term period (1988-1999), which can be due to the greater growth of the head cuts in the initial phase of formation, landuse changes, and heavy low-frequency rainfalls. Also, due to factors such as slope, type of land use, soil, and humane construction activities, the average gully growth in Najmabad region is higher than Ismailabad one. The growth (longitudinal and surface) of gullies in Najmabad region has been much higher than in Ismailabad region. In Ismailabad region, due to the conditions of hilly rugged land, the contribution upstream area of the head cuts were less than Najmabad region (alluvial plain) and ttherefore, the amount of runoff will be less and consequently the gully head development is more in Najmabad. Comparing the results of this research with other researches shows that the reason for the high growth of headcuts in this research can be related to the sensitivity of the soil, the dry climate and the human developing constarctions such as roads construction.

Key Words: Volumetric growth, surface growth, longitudinal growth, aerial photo, head cut, Road construction.