

## گسترش فرسایش خندقی و طبقه بندی آن در حوضه آبخیز رباط ترک دلیجان

محمدمهدی حسین‌زاده\* - دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران  
کاظم نصرتی - دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران  
سمیه خلجی - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران  
خبات درفشی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۵/۱۲

### چکیده

فرسایش خندقی از جمله زیان‌بارترین انواع فرسایش آبی و از فرآیندهای مهم تخریب خاک به‌شمار می‌آید که در بعضی موارد باعث ایجاد کانال‌هایی با طول، عرض و عمق زیاد می‌شود. این نوع فرسایش یکی از انواع فرسایش آبی است که موجب تخریب اراضی و برهم خوردن تعادل در پهنه‌های منابع طبیعی و اراضی کشاورزی می‌شود. در این پژوهش، به منظور شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر در شکل‌گیری خندق‌های حوضه آبخیز رباط ترک در شهرستان دلیجان از استان مرکزی اقدام به جمع‌آوری اطلاعات از طریق انجام بازدیدهای میدانی و اندازه‌گیری‌های مورفومتری ۱۰ خندق، نمونه‌برداری خاک از مقاطع هدکت، بخش میانی، دهانه خروجی و حوضه آبخیز هر خندق شد. پارامترهایی از جمله اسیدیت، هدایت الکتریکی، ماده آلی، کربنات کلسیم، رطوبت اشباع، ظرفیت نگهداری، وزن مخصوص و بافت خاک در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. جهت تحلیل داده‌ها از روش‌های تحلیل خوشه‌ای، تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شد؛ خندق‌ها بر اساس ویژگی‌های مورفومتری و بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک خوشه‌بندی شده که در هر دو مرحله خندق‌ها به سه خوشه تقسیم گردیدند. برای شناخت علت قرارگیری خندق‌ها در خوشه‌های متفاوت از تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شده است. نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد خوشه‌هایی که بر اساس ویژگی‌های مورفومتری ایجاد شدند، دارای اختلاف معنی‌داری در میزان ماده آلی، درصد رطوبت اشباع و رس حوضه آبخیز می‌باشند و خوشه‌هایی که بر اساس خصوصیات فیزیکی - شیمیایی ایجاد شدند، دارای اختلاف معنی‌داری در میزان ماسه، سیلت، ظرفیت نگهداری، رطوبت اشباع و ماده آلی هستند.

واژگان کلیدی: فرسایش خندقی، مورفومتری، ویژگی فیزیکی شیمیایی، تحلیل خوشه‌ای، حوضه آبخیز رباط ترک

## مقدمه

فرسایش خاک پدیده‌ای است که در هر منطقه در صورت بروز، امنیت غذایی، حاصلخیزی خاک، منابع آب سطحی، کیفیت آب‌های سطحی، توازن اکولوژیک و منظره طبیعت را به مخاطره می‌اندازد. برآوردها نشان می‌دهد که سالانه حدود ۶ میلیون هکتار از اراضی زراعی جهان در سال، حاصلخیزی خود را در اثر فرسایش خاک از دست می‌دهند (ورکر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴). یکی از مهم‌ترین انواع فرسایش آبی، فرسایش خندقی است که موجب بروز آسیب‌ها و زیان‌های زیادی می‌شود. این نوع فرسایش باعث کاهش امکان تردد وسایل نقلیه و ماشین‌های کشاورزی می‌شود و در نتیجه هزینه ارتباطات افزایش می‌یابد و در برخی موارد موجب فساد تولیدات کشاورزی به دلیل نبود راه‌های ارتباطی می‌گردد (آرچیلد<sup>۲</sup>، ۱۹۹۶). همچنین هدر رفت خاک در این نوع فرسایش چندین برابر بیش‌تر از فرسایش سطحی و شیبی است که پیامد آن پرشدن مخازن سدها، کاهش ظرفیت انتقال آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و تخریب اراضی کشاورزی پایین دست آن‌ها می‌باشد. علاوه بر این، هزینه بسیار زیادی برای کاهش گسترش خندق‌ها باید صرف شود (مونتگومری<sup>۳</sup>، ۱۹۹۴).

فرسایش خندقی، فرآیند تخریب قابل توجه زمین و یکی از منابع تولید رسوب برای رودخانه‌ها می‌باشد (آندریو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۱). این رسوبات با مواد مغذی یکی شده، اکوسیستم‌های رودخانه‌ای پایین‌دست را تحت تأثیر قرار داده، تنوع فرم‌های بستری را کاهش و گل‌آلودگی و بارهای مغذی را افزایش می‌دهند (لملی<sup>۵</sup>، ۱۹۸۲؛ گالووی<sup>۶</sup> و همکاران، ۱۹۹۶). فرسایش از کناره‌های آبراهه و خندق می‌تواند تا بیش از ۹۰ درصد مجموع رسوب‌دهی حوضه‌ای را تولید کند (اولی<sup>۷</sup> و همکاران، ۱۹۹۳؛ پروسر<sup>۸</sup> و وینچستر<sup>۹</sup>، ۱۹۹۶؛ والبرینک<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۱۹۹۸؛ واسون<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۸). فرسایش خندقی، خاک را از کانال‌های کم‌عمق از طریق تجمع رواناب سطحی فرسایش داده، گرایش به تولید رسوب بسیار بیش‌تر از دیگر فرم‌های فرسایشی خاک همانند جریان‌های سطحی و جاری دارد (واسون و همکاران، ۲۰۰۹؛ پوئسن<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۳؛ دی‌وتته<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۵؛ هیون<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۵؛ ولز<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). آن‌ها همچنین یکی از مخرب‌ترین شکل‌های فرسایش بوده که تخریب خاک، خرابی سازه‌ها، خسارت به زمین‌های کشاورزی، تغییر و دگرگونی کریدورهای ارتباطی و پایین رفتن سفره‌های آب را در پی دارند (والنتین<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). فرسایش خندقی به‌طور قابل توجهی نرخ‌های جریان و بیلان‌های رسوبی را تحت تأثیر قرار داده و دینامیک‌های رودخانه‌ای را نیز متأثر می‌سازند که این تأثیرات از طریق داده‌های هیدروگرافی قابل اثبات می‌باشند (کلسی<sup>۱۷</sup>، ۱۹۸۰؛ کوستا<sup>۱۸</sup> و باسلار<sup>۱۹</sup>،

1. Worker  
2. Archibold  
3. Montgomery  
4. Andrew  
5. Lemly  
6. Galloway  
7. Olley  
8. Prosser  
9. Winchester  
10. Wallbrink  
11. Wasson  
12. Poesen  
13. De Vente  
14. Huon  
15. Wells  
16. Valentin  
17. Kelsey  
18. Costa  
19. Bacellar

۲۰۰۷). بعلاوه، در برخی نواحی فرسایش خندقی با شرایط تغییر اقلیمی در ارتباط است (نیرینگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛ چاپلوت<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۵؛ ناونز<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹).

در تشکیل خندق‌ها علاوه بر عوامل طبیعی، تغییرات اقلیمی و وضعیت زمین‌شناسی، ویژگی‌های خاک و عوامل انسانی نیز دخیل هستند که سرعت جابه‌جایی آن‌ها را تشدید می‌کند. کشت خطی، چرای مفرط، کشیدن جاده در کمرکش کوهستان‌ها، فشرده شدن خاک در اثر عبور وسایل نقلیه کشاورزی، عبور مداوم دام از یک مسیر ویژه و مواردی دیگر به‌عنوان عوامل انسانی محسوب می‌شوند که نقش عمده‌ای در تشکیل و توسعه خندق‌ها بازی می‌کنند (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۵).

فرسایش خندقی به لحاظ انتقال افق‌های حاصلخیز خاک و کاهش ظرفیت نگهداشت آب، بسیار خطرناک است. به همین دلیل، امروزه ارزیابی میزان و نحوه‌ی ایجاد فرسایش خندقی در اغلب مناطق جهان به یک موضوع اساسی تبدیل شده است (چاپلوت، ۲۰۰۵). به‌طور کلی، فرسایش خندقی از دو نظر در بین انواع فرسایش آبی اهمیت دارد. اول این که تحقیقات کمی درباره آن صورت گرفته و کمبود داده درباره آن احساس می‌شود؛ در حالی که تحقیقات زیادی درباره فرسایش پاشمانی (بارانی) و سطحی و شیاری در چند دهه اخیر صورت گرفته است که دلیل آن به گسترش و ارائه مدل‌های فرسایش شیاری و بین شیاری، MUSLE، USLE، و WEP برمی‌گردد. دوم اینکه فرسایش خندقی چندین برابر فرسایش سطحی تولید رسوب دارد که برای مخازن سدهای احداث شده، هدر رفت خاک حاصلخیز تولید شده و رسوب گذاری رودخانه‌ها بسیار مهم است (پوئسن، ۲۰۰۳).

اهمیت این موضوع با توجه به نقش این نوع فرسایش در تخریب اراضی کشاورزی، مرتعی، تأسیسات ساختمانی، راه‌آهن و غیره از جهت دیگر نقش آن‌ها در ایجاد رسوب و گل‌انباشتگی نه‌رهای آب‌رسانی، رودخانه‌ها و مخازن سدهای ذخیره آب، ایجاب می‌کند که به شناسایی علل توسعه فرسایش خندقی جهت برنامه‌ریزی برای طرح‌های مدیریت جامع در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌منظور استفاده دستگاه‌های اجرایی و توجه خاص به این پدیده در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و نیز جهت ارائه راهکارها و دستورالعمل‌های مناسب در پیشگیری و کنترل مناطق دارای خطر زیاد پرداخته شود. منطقه مورد بررسی در این پژوهش یکی از مناطق فعال فرسایش خندقی محسوب می‌شود؛ به طوری که گسترش و تشکیل خندق‌ها در طول سال کاملاً مشهود است که اثرات منفی اقتصادی اجتماعی این پدیده در پی تخریب مزارع، مراتع و چراگاه‌ها، جاده‌ها، هدر رفت خاک‌های حاصلخیز و تولید رسوب در منطقه نمود پیدا می‌کند. از این‌رو شناسایی و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در سطوح مختلف کاربری و تعیین میزان تأثیرگذاری هر یک می‌تواند منجر به تولید اطلاعات ارزشمند برای پیش‌بینی، مهار و کاهش خسارات این نوع فرسایش در منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه شود.

### منطقه مورد مطالعه

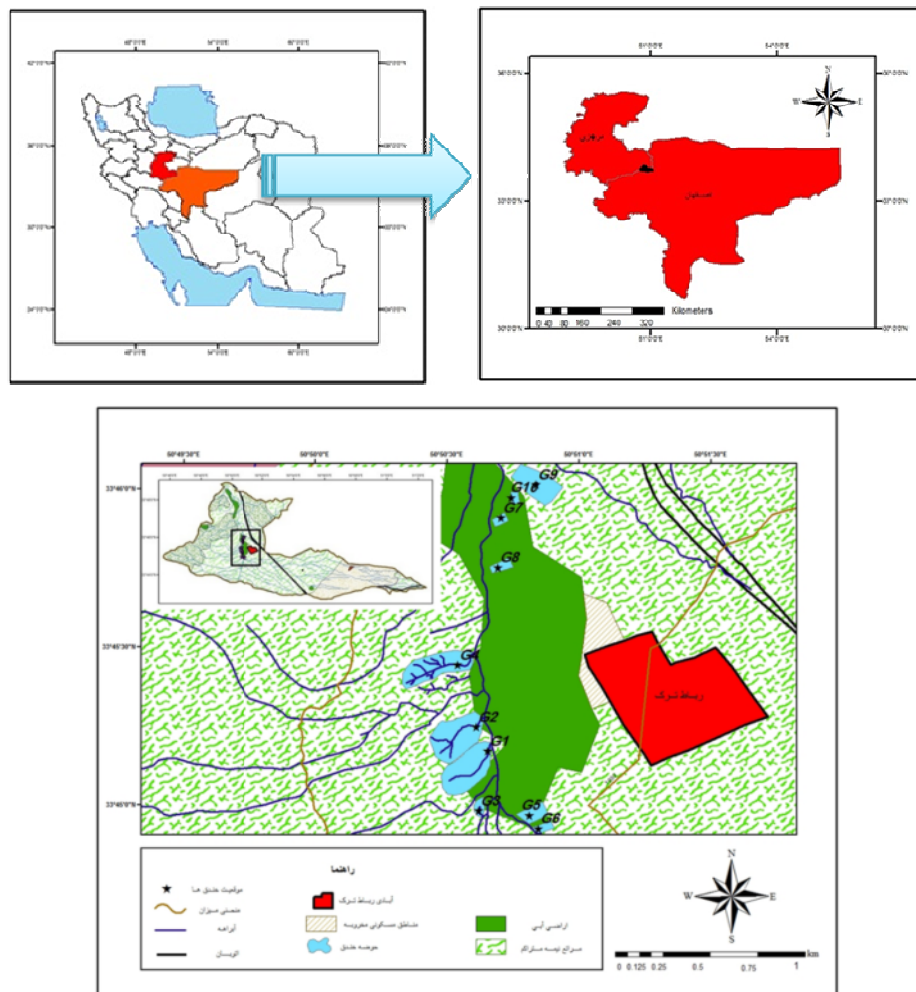
حوضه آبخیز رباط ترک یکی از زیر حوضه‌های رودخانه شورا است که به قمرود پیوسته (یکی از زیر حوضه‌های سد پانزده خرداد) و در نهایت به دریاچه نمک تخلیه می‌شود. جهت عمومی زیر حوضه شمالی است (شکل ۱). مساحت حوضه ۱۱۲/۶۷ کیلومتر مربع و در محدوده طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی قرار دارد. بیش‌ترین ارتفاع آن ۲۷۵۸ متر و کم‌ترین ارتفاع آن ۱۸۷۰ متر از سطح دریا می‌باشد. با توجه به روش آمبرزه اقلیم منطقه خشک تا نیمه‌خشک و در روش دومارتن

<sup>1</sup>. Nearing

<sup>2</sup>. Chaplot

<sup>3</sup>. Nunes

خشک تعیین شده است و میزان متوسط بارش سالیانه منطقه ۲۱۳/۷ میلی متر برآورد گردیده است. منطقه مورد مطالعه در دشت و کوهستان واقع شده و نوع سازند آن از رسوبات کواترنر تشکیل شده است و نوع کاربری منطقه کشاورزی و مرتعی می باشد. وضعیت ژئومورفولوژی حوضه آبخیز رباط ترک نمایانگر وجود واحدهای کوهستان، تپه ماهور و نهشته های رودخانه ای می باشد. ارتفاعات و ناهمواری های حوضه جزء ناهمواری های عادی تلقی می گردند و بر اساس انتظام دامنه ها به یک تیپ طبقه بندی شده اند. ژئومورفولوژی منطقه در بخش های شرقی و مرکزی حوضه دربرگیرنده واحد نهشته های آبرفتی بوده و در بخش جنوبی و غربی حوضه واحدهای تپه ماهور و کوهستان قرار دارند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز رباط ترک و خندق های مورد مطالعه

## داده ها و روش پژوهش

### مطالعات اسنادی و کتابخانه ای

به منظور شناسایی مقدماتی ویژگی های طبیعی حوضه و از سویی گستردگی اطلاعات مورد نیاز و محدودیت زمانی، بخشی از اطلاعات مورد نیاز از طریق مطالعات انجام شده قبلی به دست آمده است. این مطالعات توسط مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی در قالب طرح های پژوهشی - کاربردی انجام گرفته است. همچنین جهت گردآوری مباحث

نظری از اسناد کتابخانه‌ای، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵,۰۰۰ از منطقه مورد مطالعه و تصاویر ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup> سال ۲۰۰۱ برای به کارگیری شاخص NDVI استفاده شده است.

### عملیات صحرائی

به منظور دست‌یابی به برخی از اطلاعات مورد نیاز، عملیات و پیمایش صحرائی اجتناب‌ناپذیر بوده است. در منطقه مطالعاتی با توجه به تفاوت در کاربری اراضی و با حضور در محل هر خندق، کارهای میدانی زیر انجام شده است.

- ثبت موقعیت خندق مورد نظر با دستگاه GPS؛
- تعیین شیب کف و کناره خندق‌ها با شیب‌سنج؛
- اندازه‌گیری طول، عرض و عمق خندق در سه مقطع؛
- نمونه‌برداری خاک از رأس، وسط و دهانه خروجی خندق و همچنین از حوضه بالادست خندق؛
- اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی حوضه بالادست هر خندق.

### مطالعات آزمایشگاهی

نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه به آزمایشگاه منتقل شدند. تعداد ۴۰ نمونه خاک جمع‌آوری شده که پس از خشک شدن در هوا و کوبیدن، از الک ۲ میلی‌متر رد شده و پس از الک کردن، نمونه‌ها در آزمایشگاه برای ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آنالیز شدند. سپس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک شامل اسیدیت، هدایت الکتریکی، ماده آلی، کربنات کلسیم، رطوبت اشباع، ظرفیت نگهداری، وزن مخصوص و بافت خاک تعیین گردیدند. اسیدیت و هدایت الکتریکی با تهیه عصاره ۱:۱ و به ترتیب با دستگاه‌های pH و EC متر اندازه‌گیری شدند (شکل ۲).

ماده آلی به روش واکلی - بلاک اندازه‌گیری شد. مقدار ماده آلی نمونه بر اساس اندازه‌گیری یکی از اجزای تشکیل‌دهنده آن یعنی کربن آلی تعیین گردید. در واقع ۵۸ درصد ماده آلی از کربن آلی تشکیل شده است. زمانی که در آزمایشگاه عصاره به دست آمده از نمونه خاک به وسیله دستگاه تیتراسیون، تیتراژ شد با استفاده از رابطه ۱ درصد کربن آلی و سپس درصد مواد آلی به دست آمد.

$$\%OM = \%C \times \frac{100}{58} \quad \text{و} \quad \%C = \frac{0.003 \times (A-B) \times 0.5 \times 100}{W \text{ SOIL}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه:

%C درصد کربن؛ %OM درصد مواد آلی؛ A سولفات آمونیوم مصرفی برای نمونه شاهد؛ B سولفات آمونیوم برای نمونه و W Soil وزن خاک خشک می‌باشد.

درصد کربنات کلسیم با استفاده از روش حجم‌سنجی (کلسی‌متری) به دست آمد. در روش حجم‌سنجی یا کلسی‌متری، حجم CO<sub>2</sub> آزاد شده اندازه گرفته می‌شود؛ سپس از طریق رابطه ۲ درصد کربنات کلسیم یا درصد آهک خاک را به دست می‌آورند.

$$\%caco3 = \frac{15 \times V_1 \times 100}{V_2 \times dwt} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه V<sub>1</sub> حجم گاز CO<sub>2</sub>؛ V<sub>2</sub> حجم گاز CO<sub>2</sub> برای نمونه شاهد و dwt وزن خاک خشک است.

رطوبت اشباع از اختلاف وزن کل اشباع قبل و بعد از خشک کردن توسط آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید و با استفاده از رابطه ۳ درصد رطوبت اشباع را به دست آمد.

$$SP = \frac{\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک مرطوب}}{\text{وزن خاک مرطوب}} \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

برای اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری ۲۰ گرم خاک را با ظرفیت رطوبت مزرعه روی کاغذ صافی ریخته و روی قیف در ارلن قرار داده، بعد از اضافه کردن مقدار ۱۰۰ گرم آب به مدت ۲۴ ساعت در آزمایشگاه نگهداری نموده و سپس با اندازه‌گیری مقدار آبی که نفوذ کرده و خاکی که رطوبت دارد و با استفاده از رابطه ۴ درصد ظرفیت نگهداری مشخص می‌شود.

$$\%whc = [(100 - wp) + wi] / dwt \times 100 \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن  $dwt$  وزن خاک خشک؛  $wi$  خاکی که رطوبت دارد و  $wp$  آبی که نفوذ کرده است.

برای به دست آوردن وزن مخصوص دو مدل وجود دارد؛ وزن مخصوص ظاهری و وزن مخصوص حقیقی. در این پژوهش از وزن مخصوص ظاهری استفاده شده است. وزن مخصوص به وسیله استوانه‌ای با حجم مشخص، طبق رابطه نسبت وزن به حجم اندازه‌گیری شده است.

بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری تعیین شده است. این روش یکی از روش‌های تعیین درصد رس، سیلت و ماسه است. برای تعیین بافت خاک با استفاده از هیدرومتر و دماسنج هر یک از مقادیر دمای اولیه، قرائت اولیه، دمای ثانویه و قرائت ثانویه به دست می‌آید. باید اعداد قرائت شده را نسبت به درجه حرارت مخلوط آب و خاک، هنگام آزمایش تصحیح کرد. برای این منظور باید به ازای هر درجه حرارت بیش از ۶۸ درجه فارنهایت، ۰/۲ به عدد هیدرومتر اضافه و برای کم‌تر از ۶۸ درجه فارنهایت، ۰/۲ از عدد هیدرومتر کسر می‌گردد که در رابطه ۵ قابل مشاهده است.

رابطه ۵)

مقدار رس + سیلت:

$$3 + \text{دمای اولیه} \times \frac{9}{5}$$

$$0.2 \times \text{دمای اولیه فارنهایت} - 68$$

دمای اولیه اصلاح شده - قرائت اولیه = قرائت اصلاح شده اولیه

مقدار رس:

$$3 + \text{دمای ثانویه} \times \frac{9}{5}$$

$$0.2 \times \text{دمای اولیه فارنهایت} - 68$$

دمای اولیه اصلاح شده - قرائت اولیه = قرائت اصلاح شده اولیه

## تحلیل‌های آماری

### تحلیل خوشه‌ای<sup>۱</sup>

تحلیل خوشه‌ای برای تعیین شباهت نسبی به کار می‌رود که این شباهت، همگنی در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده پارامترها را نشان می‌دهد. تحلیل خوشه‌ای مجموعه‌ای از متغیرها را در داخل خوشه‌های همگن جای می‌دهد. خوشه‌های حاصل از این تحلیل، از همگنی درونی (درون خوشه) و بیرونی (بین خوشه‌ها) برخوردار هستند (شرستا<sup>۲</sup> و کازاما<sup>۳</sup>، ۲۰۰۷). خوشه‌بندی متراکم سلسله مراتبی، رایج‌ترین روش تحلیل خوشه‌ای است که ارتباطات همسان ذاتی را بین هر کدام از نمونه‌ها و نیز بین همه‌ی داده‌ها فراهم می‌کند و معمولاً با یک نمودار درختی نشان داده می‌شود. نمودار درختی، خلاصه‌ای از فرآیند خوشه‌بندی، تصویر خوشه‌ها و مجاورت آن‌ها را به همراه کاهش قابل توجه ابعاد داده‌های اولیه، ارائه می‌دهد. شباهت بین خوشه‌ها و جداسازی خوشه‌های همگن بر اساس فاصله اقلیدسی تعیین می‌شود. در این پژوهش، با توجه به متغیرهای متعدد، برای قرار دادن خندق‌ها در گروه‌های مختلف، رسیدن به گروه‌های واقعی و کاهش حجم داده‌ها از تجزیه خوشه‌ای استفاده شده است. خندق‌ها با توجه به خصوصیات مورفومتریشان از جمله عمق، عرض و نسبت عرض به عمق مقاطع رأس، میانی و خروجی خوشه‌بندی شدند. هدف از خوشه‌بندی خندق‌ها این است که خندق‌ها به گروه‌های متجانس تقسیم شود؛ به طوری که خندق‌های هر خوشه بیش‌ترین شباهت و خندق‌های خوشه‌های مختلف کم‌ترین شباهت را با هم داشته باشند.

### تحلیل آزمون واریانس یک‌طرفه<sup>۴</sup>

تحلیل واریانس (ANOVA) با بررسی تفاوت بین گروه‌ها سرو کار دارد. این روش به منظور استنتاج معنی‌داری آماری تفاوت بین گروه‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. در تحلیل واریانس (ANOVA) فرضیه آماری برابر بودن میانگین بین گروه‌هاست. تحلیل واریانس ضمن بررسی درون گروه‌ها و بین گروه‌ها از طریق محاسبه نسبت واریانس بین گروه‌ها به واریانس درون گروه‌ها تفاوت‌های موجود را موردبررسی قرار می‌دهد. تحلیل واریانس یکی از تکنیک‌های آماری مؤثر و پر کاربرد در تحقیقات اقتصادی، اجتماعی، علوم تربیتی، روانشناسی، مدیریت و حتی کشاورزی، بیولوژی و غیره است. زمانی که بخواهیم به بررسی تفاوت میانگین‌های بیش از دو گروه بپردازیم از تحلیل واریانس استفاده می‌شود. در این پژوهش از تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شده است.

### یافته‌های پژوهش

#### خوشه‌بندی خندق‌ها بر اساس خصوصیات مورفومتریک

نتایج حاصل از تحلیل نشان داد که خندق‌های منطقه مورد مطالعه در سه خوشه جایی گرفتند. خوشه‌های همگن بر اساس روش وارد و فاصله اقلیدسی تعیین شدند. با توجه به شکل ۲ در فاصله کم‌تر از  $(D_{link}/D_{max} \times 100)$  ۱۲، تفاوت خندق‌های مورد مطالعه از نظر ویژگی‌های مورفومتریک به گونه‌ای است که می‌توانند در سه خوشه قرار گیرند.

خوشه اول: خندق‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶

خوشه دوم: خندق‌های شماره ۳ و ۷ و

<sup>۱</sup>. Cluster analysis

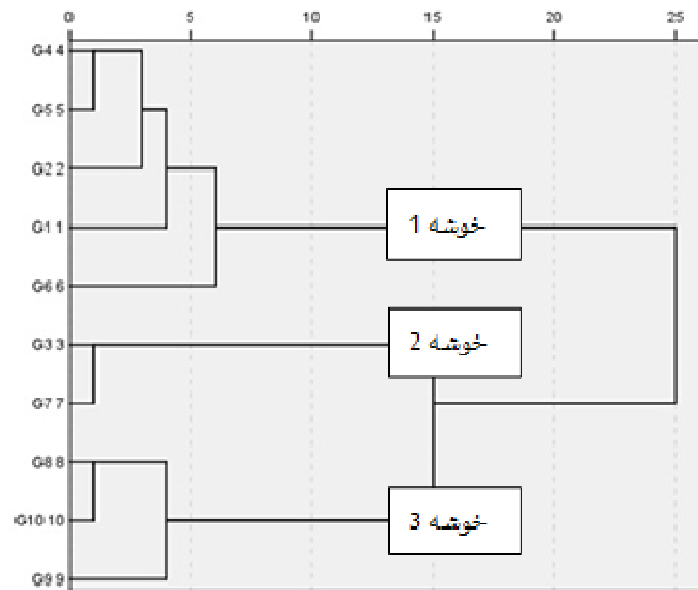
<sup>۲</sup>. Shrestha

<sup>۳</sup>. Kazama

<sup>۴</sup>. One-way anova

خوشه سوم : خندق‌های شماره ۸، ۹ و ۱۰ را شامل می‌شود (شکل ۳).

خوشه‌های حاصل از این تحلیل در نتیجه تفاوت در عمق و نسبت عرض به عمق دهانه خروجی خندق‌ها می‌باشند که این تفاوت با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA) مورد تحلیل قرار گرفت (جدول ۱). خندق‌هایی که در خوشه ۱ قرار گرفتند دارای بیش‌ترین عمق و خندق‌های خوشه ۲ دارای بیش‌ترین نسبت عرض به عمق هستند (شکل‌های ۴ و ۵).

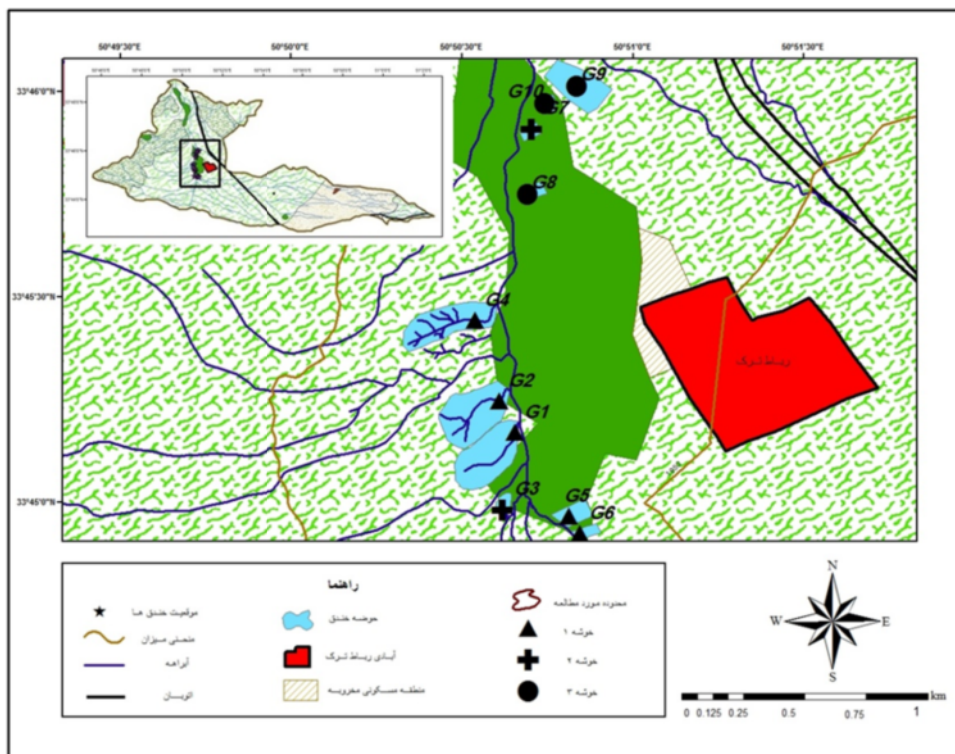


شکل ۲. خوشه‌بندی مورفومتریک خندق‌های منطقه مطالعاتی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای

### خوشه‌بندی خندق‌ها بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

با انجام تحلیل خوشه‌ای، خندق‌های منطقه مورد مطالعه در سه خوشه جایی گرفتند. فاصله بین هر یک از خندق‌ها در خوشه‌های به دست آمده از تحلیل خوشه‌ای، در نتیجه همبستگی و خودهمبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک خندق‌ها است. خوشه‌های همگن بر اساس روش وارد و فاصله اقلیدسی تعیین شدند. با توجه به شکل ۶ در فاصله کمتر از ۱۲ ( $D_{link}/D_{max} \times 100$ )، تفاوت خندق‌های مورد مطالعه از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به گونه‌ای است که می‌توانند در سه خوشه قرار گیرند که خوشه اول شامل خندق‌های شماره ۷، ۸، ۹ و ۱۰، خوشه دوم شامل خندق‌های شماره ۱، ۳، ۵ و ۶ و خوشه سوم شامل خندق‌های شماره ۴ و ۲ می‌شود (شکل ۷).

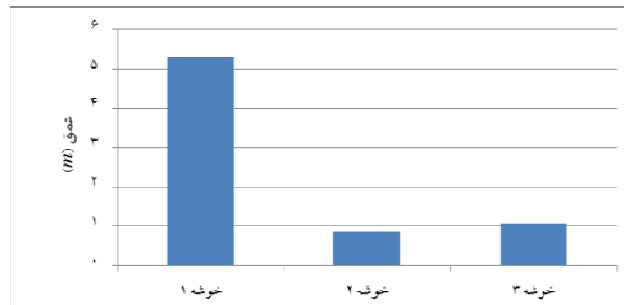




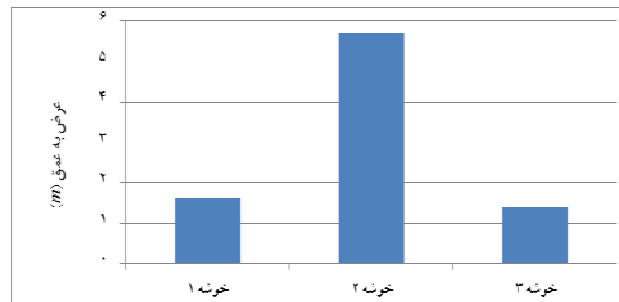
شکل ۳. نقشه پراکنندگی خندق‌ها بر اساس طبقه‌بندی ویژگی‌های مورفومتریک

جدول ۱. نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفه

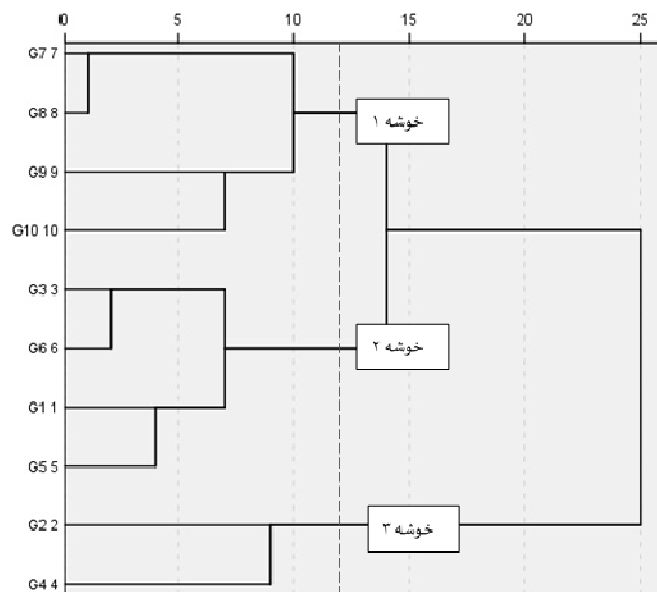
متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
عمق دهانه خروجی	-	-	-	-	-
بین گروهی	۴۷/۴۸	۲	۲۳/۷۴	۱۳/۳۲	۰/۰۰۴
درون گروهی	۱۲/۴۷	۷	۱/۷۸	-	-
کل	۵۹/۹۶	۹	-	-	-
عرض به عمق دهانه خروجی	-	-	-	-	-
بین گروهی	۲۸/۳۵	۲	۱۴/۱۷	۱۳/۰۹	۰/۰۰۴
درون گروهی	۷/۵۸	۷	۱/۰۸	-	-
کل	۳۵/۹۴	۹	-	-	-



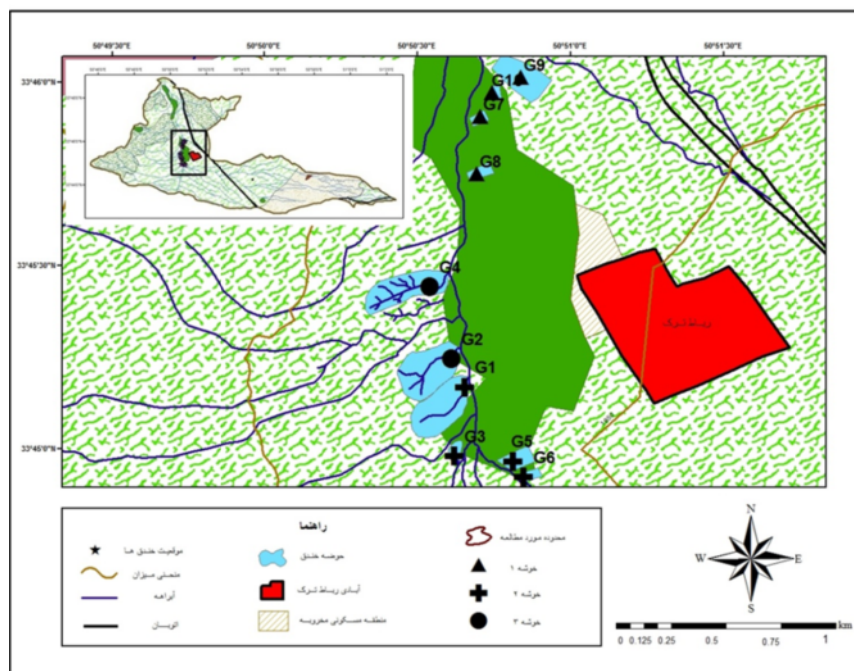
شکل ۴. نمودار عمق دهانه خروجی خندق‌ها در هر خوشه



شکل ۵. نمودار نسبت عرض به عمق خروجی خندق‌ها در هر خوشه



شکل ۶. خوشه‌بندی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خندق‌های منطقه مطالعاتی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای



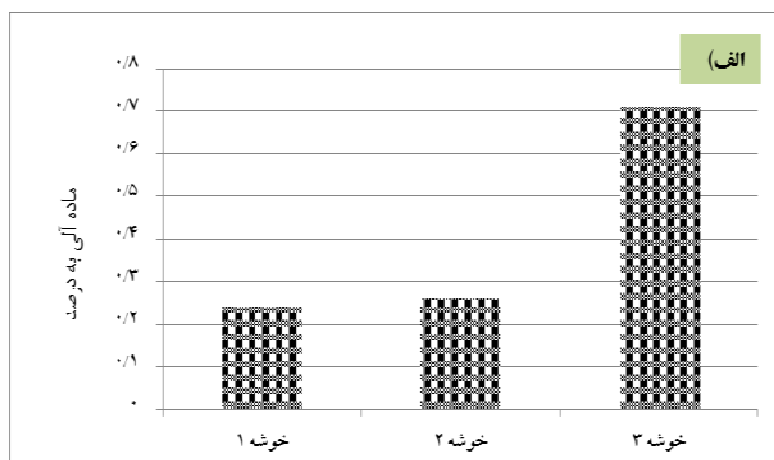
شکل ۷. نقشه پراکنندگی خندق‌ها بر اساس طبقه‌بندی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

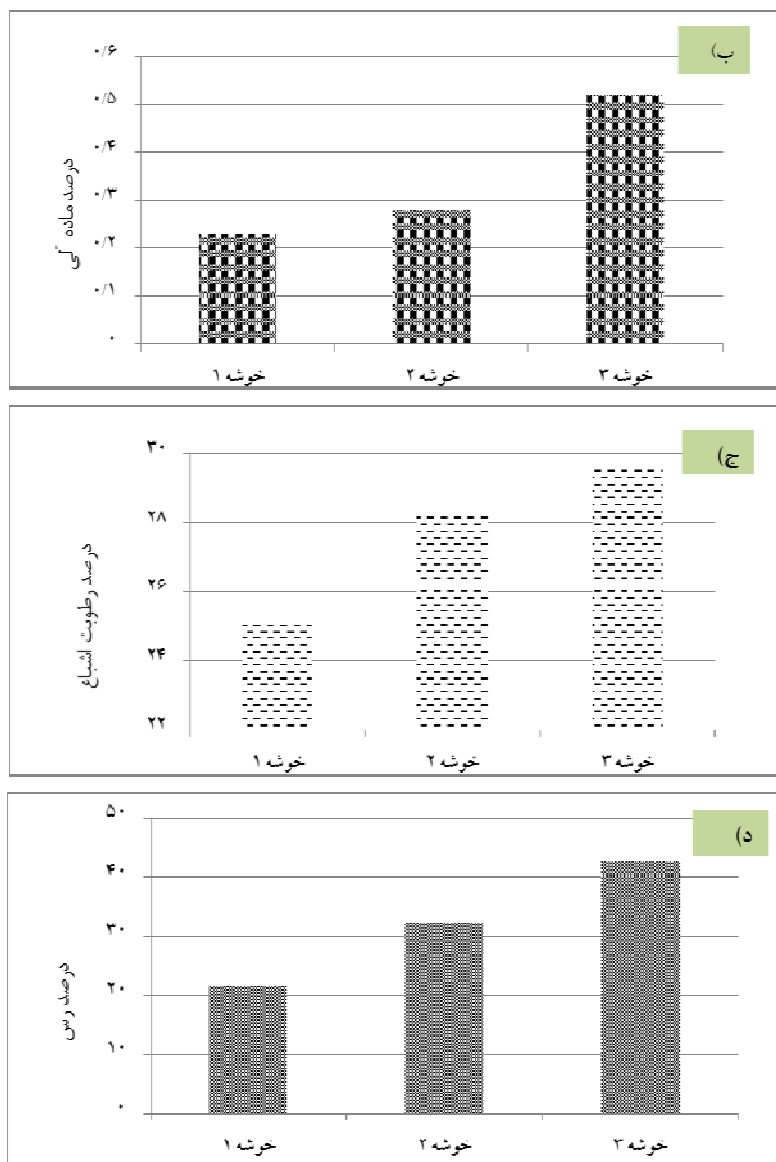
### نتایج حاصل از تحلیل واریانس یک‌طرفه بر اساس ویژگی‌های مورفومتریک

برای بررسی و مشخص شدن اختلافات و تفاوت‌های موجود بین گروهی خندق‌های خوشه‌بندی شده بر اساس ویژگی‌های مورفومتریک از تحلیل واریانس استفاده شد. به بیان دیگر این تحلیل به ما کمک می‌کند که چه اختلاف و تفاوتی باعث قرارگیری خندق‌ها در این خوشه‌ها شده است. بدین جهت خندق‌ها با تمام ویژگی‌های نامبرده، در سه گروه همگن وارد مدل شدند. در ارائه نتایج تحلیل واریانس، عواملی که اختلاف معناداری داشتند در جدول ۲ شرح داده شده است. از آزمون تجربی توکی برای مشخص کردن اختلافات بین گروهی خندق‌ها استفاده شد که با نمودار نمایش داده شده است (شکل ۸). نتایج نشان داد که ماده آلی هدکت و دهانه خروجی، درصد رطوبت اشباع و درصد رس حوضه بالادست دارای اختلاف معناداری هستند. مقایسه میانگین درصد ماده آلی هدکت و دهانه خروجی بر اساس تحلیل واریانس به ترتیب دارای اختلاف معنی‌داری ( $F=13/63$ ,  $P=0/004$ ) و ( $F=5/73$ ,  $P=0/034$ ) است. شکل‌های ۱۰ الف و ۱۰ ب به ترتیب میزان ماده آلی هدکت در خوشه ۳ را با اختلاف معناداری به مقدار حدود  $0/71$  درصد و ماده آلی دهانه خروجی در خوشه ۳ را با اختلاف معناداری به مقدار  $0/52$  درصد نشان می‌دهند. درصد رطوبت اشباع و رس حوضه بالادست خندق به ترتیب دارای اختلاف معنی‌داری ( $F=5/06$ ,  $P=0/044$ ) و ( $F=5/47$ ,  $P=0/037$ ) است. شکل‌های ۱۰ ج و ۱۰ د به ترتیب میزان رطوبت اشباع حوضه خوشه ۳ را با اختلاف معناداری به مقدار حدود  $29/63$  درصد و رس در خوشه ۳ را با اختلاف معناداری به مقدار  $47/6$  درصد نشان می‌دهند.

جدول ۲. نتایج تحلیل واریانس یک طرفه گروه‌های مورفومتریک

متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی داری
ماده آلی هدکت	-	-	-	-	-
بین گروهی	۰/۴۳۹	۲	۰/۲۲۰	۱۳/۶۳	۰/۰۰۴
درون گروهی	۰/۱۱۳	۷	۰/۰۱۶	-	-
کل	۰/۵۵۲	۹	-	-	-
ماده آلی مقطع خروجی	-	-	-	-	-
بین گروهی	۰/۱۶۵	۲	۰/۰۸۳	۵/۷۱۳	۰/۰۳۴
درون گروهی	۰/۱۰۱	۹	۰/۰۱۴	-	-
کل	۰/۲۶۶	۷	-	-	-
درصد رطوبت اشباع حوضه	-	-	-	-	-
بین گروهی	۴۲/۵۴	۲	۲۱/۲۷۰	۵/۰۶۱	۰/۰۴۴
درون گروهی	۲۹/۴۲	۹	۴/۲۰۳	-	-
کل	۷۱/۹۶	۷	-	-	-
رس حوضه	-	-	-	-	-
بین گروهی	۸۳۱/۱۶۰	۲	۴۱۵/۱۷	۵/۴۷	۰/۰۳۷
درون گروهی	۵۳۰/۹۶	۹	۷۵/۸۵	-	-
کل	۱۳۶۲/۱۲۳	۷	-	-	-





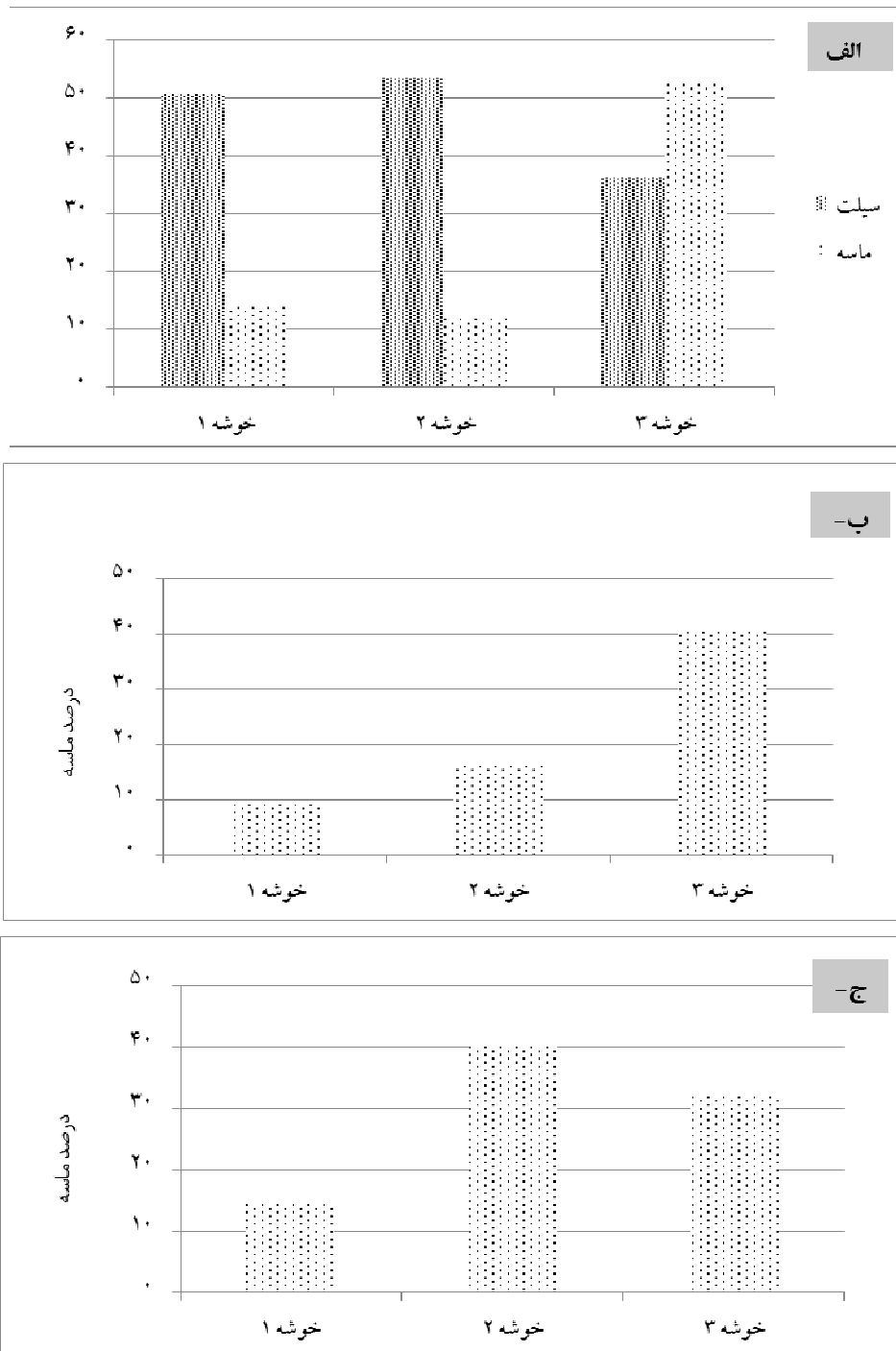
شکل ۸ الف، ب، ج و د) به ترتیب درصد ماده آلی هدکت، ماده آلی مقطع خروجی، درصد رطوبت اشباع و رس حوضه بالادست خندق‌ها

### نتایج حاصل از تحلیل واریانس یک‌طرفه بر اساس خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک

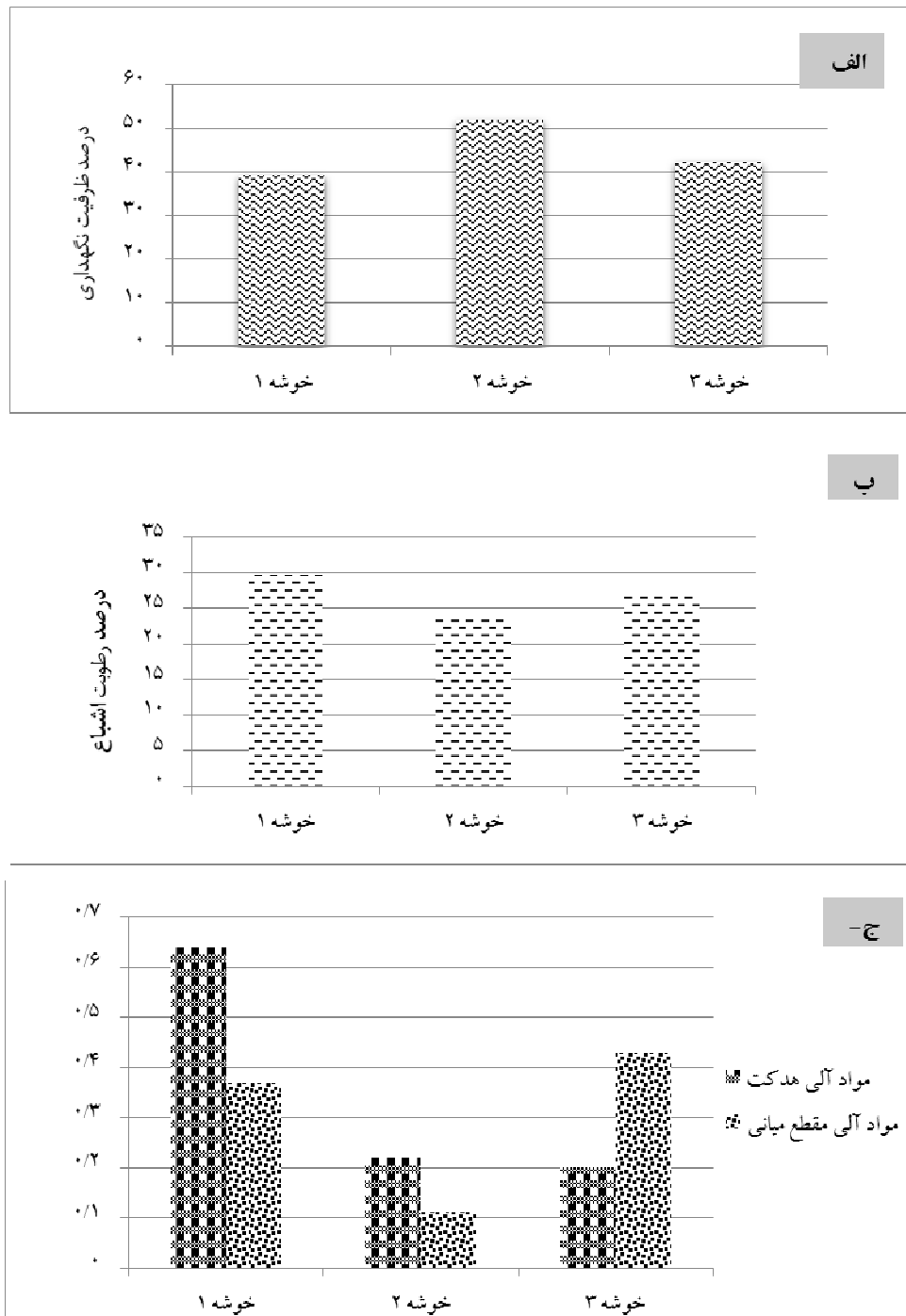
برای بررسی و مشخص شدن اختلافات و تفاوت‌های موجود بین گروهی و درون‌گروهی خندق‌های خوشه‌بندی‌شده بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از تحلیل واریانس استفاده شده است. به این جهت خندق‌ها در سه گروه همگن وارد مدل شدند. در ارائه نتایج تحلیل واریانس، عواملی که اختلاف معناداری داشتند در جدول ۳ ارائه شده است. از آزمون تجربی توکی برای مشخص کردن اختلافات بین گروهی خندق‌ها استفاده شد که با نمودار نمایش داده شده است (شکل ۹ و ۱۰).

جدول ۳. نتایج تحلیل واریانس یک طرفه گروه‌های خصوصیات خاک

معنی‌داری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	متغیر
					ماده آلی هدکت
۰/۰۰۳	۱۴/۱۵۶	۰/۲۲۱	۲	۰/۴۴۳	بین گروهی
		۰/۰۱۶	۷	۰/۱۰۹	درون گروهی
			۹	۰/۵۵۲	کل
					ماده آلی مقطع خروجی
۰/۰۰۱	۲۶/۵۴۹	۰/۱۱۸	۲	۰/۲۳۵	بین گروهی
		۰/۰۰۴	۷	۰/۰۳۱	درون گروهی
			۹	۰/۲۶۶	کل
					ماسه مقطع میانی
۰/۰۳۲	۵/۸۲۱	۶۳۸/۸۸۲	۲	۱۲۷۷/۷۶۴	بین گروهی
		۱۰۹/۷۴۵	۷	۷۶۸/۲۱۸	درون گروهی
			۹	۲۰۴۵/۹۸۳	کل
					سیلت مقطع خروجی
۰/۰۳۱	۵/۹۳۶	۲۰۹/۲۴۰	۲	۴۱۸/۴۸۰	بین گروهی
		۳۵/۲۵۰	۷	۲۴۶/۷۴۷	درون گروهی
			۹	۶۶۵/۲۷۷	کل
					ماسه مقطع خروجی
۰/۰۰۱	۲۰/۵۷۸	۱۲۴۹/۲۵۶	۲	۲۴۹۸/۵۱۲	بین گروهی
		۶۰/۷۰۷	۷	۴۲۴/۹۵۲	درون گروهی
			۹	۲۹۲۳/۴۶۴	کل
					ظرفیت نگهداری حوضه آبخیز
۰/۰۱۰	۹/۶۱۹	۱۶۹/۷۱۸	۲	۳۳۹/۴۳۵	بین گروهی
		۱۷/۶۴۵	۷	۱۲۳/۵۱۲	درون گروهی
			۹	۴۶۲/۹۴۷	کل
					درصد رطوبت اشباع حوضه آبخیز
۰/۰۰۵	۱۲/۲۳۹	۲۸/۰۰۶	۲	۵۶/۰۱۳	بین گروهی
		۲/۲۷۸	۷	۱۵/۹۴۸	درون گروهی
			۹	۷۱/۹۶۰	کل
					ماسه حوضه آبخیز
۰/۰۱۱	۹/۲۷۷	۶۶۲/۸۸۸	۲	۱۳۲۵/۷۷۶	بین گروهی
		۷۱/۴۵۴	۷	۵۰۰/۱۷۵	درون گروهی
			۹	۱۸۲۵/۹۵۰	کل



شکل ۹ الف، ب و ج) به ترتیب میزان درصد سیلت و ماسه موجود در مقطع خروجی خندق، درصد ماسه مقطع میانی و درصد ماسه حوضه آبخیز



شکل ۱۰ الف، ب و ج) به ترتیب میزان ظرفیت نگهداری، رطوبت اشباع در حوضه آبخیز و میزان مواد آلی در هدکت و مقطع میانی خندق

نتایج نشان داد که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله ماسه مقطع میانی، سیلت و ماسه مقطع خروجی، ماسه، ظرفیت نگهداری و رطوبت اشباع حوضه آبخیز، ماده آلی هدکت و ماده آلی مقطع میانی اختلاف معناداری را نشان داده-اند. مقایسه میانگین درصد سیلت و ماسه در مقطع خروجی خندق بر اساس تحلیل واریانس به ترتیب دارای اختلاف معنی‌داری ( $F=5/93$ ,  $P=0/031$ ) و ( $F=20/57$ ,  $P=0/001$ ) است. شکل ۷ الف میزان سیلت در خوشه ۲ اختلاف معناداری با مقدار حدود ۵۴ درصد و ماسه در خوشه ۳ اختلاف معناداری با مقدار حدود ۵۲ درصد را نشان می‌دهد. درصد ماسه مقطع میانی و ماسه حوضه آبخیز خندق به ترتیب دارای اختلاف معنی‌داری ( $F=5/82$ ,  $P=0/032$ ) و



در شکل ۷ ب و ج به ترتیب میزان ماسه در خوشه ۳ اختلاف معناداری را با مقدار حدود ۴۱ درصد و ماسه حوضه آبخیز در خوشه ۲ اختلاف معناداری با مقدار حدود ۴۰ درصد را نشان می‌دهد. در شکل ۸ الف میزان ظرفیت نگهداری آب در خاک در خوشه ۲ اختلاف معناداری با مقدار ۵۲ درصد را نشان می‌دهد. رطوبت اشباع حوضه آبخیز دارای اختلاف معنی‌داری ( $F=12/25$ ,  $P=0/005$ ) می‌باشد. در شکل ۸ ب میزان رطوبت اشباع در خوشه ۱ اختلاف معناداری با مقدار ۲۹ درصد را نشان می‌دهد. ماده آلی هدکت و مقطع میانی خندق به ترتیب دارای اختلاف معنی‌داری ( $F=14/15$ ,  $P=0/003$ ) و ( $F=26/54$ ,  $P=0/001$ ) می‌باشد. در شکل ۸ ج میزان ماده آلی هدکت در خوشه ۱ اختلاف معناداری با مقدار حدود ۶۴ درصد و ماده آلی مقطع میانی در خوشه ۳ اختلاف معناداری با مقدار حدود ۴۳ درصد را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای و تحلیل واریانس یک‌طرفه، ویژگی عمق و نسبت عرض به عمق دهانه خروجی باعث تفاوت خندق‌ها و در نتیجه قرارگیری آن‌ها در سه خوشه شده است. خندق‌هایی که در خوشه ۱ قرار گرفتند دارای عمق بیش‌تر و خندق‌هایی که در خوشه ۲ قرار گرفتند، دارای نسبت عرض به عمق بیش‌تری در مقایسه با دیگر خوشه‌ها بودند؛ به‌طور کلی می‌توان گفت که وجه تمایز خندق‌ها در این سه خوشه، ویژگی عمق و نسبت عرض به عمق بوده است. برای مشخص شدن علت تفاوت خندق‌ها از تحلیل واریانس استفاده شد؛ نتیجه حاصل از این تحلیل نشان داد که عواملی که باعث تفاوت خندق‌های هر خوشه شده‌اند، میزان ماده آلی در هدکت و مقطع خروجی، درصد رطوبت اشباع و رس حوضه بالادست خندق‌ها می‌باشد. خندق‌هایی که در خوشه ۱ قرار گرفتند، دارای کم‌ترین مقدار ماده آلی، درصد رطوبت اشباع و رس بودند و خندق‌های خوشه ۳ بیش‌ترین میزان ماده آلی، درصد رطوبت اشباع و رس را داشتند. به‌طور کلی با توجه به تحلیل خوشه‌ای و تحلیل واریانس، می‌توان به این نتیجه رسید که خندق‌هایی که در خوشه ۱ قرار گرفتند دارای عمق بیش‌تر و در نتیجه کم‌ترین میزان مواد آلی، رطوبت اشباع و رس هستند.

در ارتباط با بحث ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از جمله عامل‌هایی که اختلاف معناداری را نشان داده‌اند می‌توان به ماسه مقطع میانی، سیلت و ماسه مقطع خروجی، ماسه، ظرفیت نگهداری آب در خاک و رطوبت اشباع حوضه آبخیز، ماده آلی هدکت و ماده آلی مقطع میانی اشاره کرد. به‌طور کلی خندق‌هایی که در خوشه ۱ قرار دادند، بالاترین مقدار ماده آلی و درصد رطوبت اشباع و همچنین پایین‌ترین درصد ماسه را نسبت به خوشه‌های دیگر دارند. خندق‌هایی که در خوشه ۲ قرار گرفته‌اند، بالاترین میزان سیلت و ظرفیت نگهداری آب در خاک و در مقابل پایین‌ترین مقدار ماده آلی را دارند. خندق‌هایی که در خوشه ۳ قرار جای گرفته‌اند، دارای بالاترین مقدار ماسه می‌باشند.

به‌عنوان جمع‌بندی کلی از نتایج این پژوهش می‌توان استنباط نمود عوامل تأثیرگذار در گسترش خندق‌های حوضه مورد مطالعه را می‌توان به دودسته عوامل طبیعی و انسانی تقسیم نمود. عوامل طبیعی شامل نوع بافت خاک، میزان مواد آلی، وزن مخصوص، مساحت حوضه آبخیز، میزان شیب و نوع سازند تشکیل‌دهنده حوضه که پادگانه‌های آبرفتی جوان بخش اعظم حوضه را پوشش می‌دهد. این سازند به نقل از (فیض نیا، ۱۳۸۲) میزان نفوذپذیری متوسط تا بالا را دارد و در مقابل فرسایش حساسیت نسبتاً بالایی را دارد. بر اساس شواهد میدانی از عوامل انسانی تأثیرگذار می‌توان به اقدامات کشاورزی در این حوضه اشاره کرد که تغییر و افزایش نفوذپذیری لایه‌های سطحی (توسط فرآیند شخم)، اثر عملیات کشاورزی و خاک‌ورزی رفتار لایه‌های سطحی و زیرین را در برابر نفوذپذیری نامتعادل می‌نماید. در نتیجه حجمی از رواناب در سطح نفوذ می‌کند ولی در عمق به‌جای نفوذ عمقی ناگزیر به حرکت افقی در خاک می‌شود و سبب ایجاد مجاری افقی می‌گردد لازم به ذکر است که این بخش نیازمند مطالعات دقیق‌تری است. این یافته‌ها با نتایج مطالعات دیگر پژوهشگران ز جمله راهی و همکاران (۱۳۸۸) همخوانی دارد. عامل دیگر نوع آبیاری است که آبیاری در این حوضه به‌صورت غرقابی است و با توجه به نوع بافت خاک این حوضه شرایط را برای ایجاد پایپینگ فراهم می‌کند.

## منابع

- بیاتی خطیبی، م؛ ۱۳۸۵. پژوهشی پیرامون علل تشکیل و توسعه آبکندها در کوهستان‌های نیمه‌خشک مطالعه موردی : محدوده بین دامنه‌های شمال باختری سبلان و دامنه‌های شمال و شمال خاوری قوشه داغ. علوم زمین، سال پانزدهم، شماره ۶۰.
- راهی، غ؛ نظری سامانی، ع؛ احمدی، ح و سلاجقه، ع؛ ۱۳۸۸. تأثیر ویژگی‌های خاک در نوع ساز و کار ایجاد خندق و مورفولوژی آن در منطقه گناوه. مرتع و آبخیزداری، شماره ۴، صص ۴۷۲-۴۵۹.
- Andrew, O., Hughes, I.P., Prosser, J.S., Anthony, S., Hua, L., John, G., and Chris, J.M., 2001. **Gully Erosion Mapping for the National Land and Water Resources Audit**. CSIRO Land and Water, Canberra Technical Report 26/01, August 2001.
- Archibold, Q.W., 1996. **A Device for measuring Gully headwall morphology**. *Earth surface processes and landforms*. V. 21. Pp.1001-1005.
- Chaplot, V., Giboire, G., Marchand, P., and Valentin, C., 2005. **Dynamic modelling for linear erosion initiation and development under climate and land -use changes in northern Laos**. *Catena*. V. 63. Pp. 318-328.
- Costa, F.M., Bacellar, L.d., and Almeida, P., 2007. **Analysis of the influence of gully erosion in the flow pattern of catchment streams, Southeastern Brazil**. *Catena*. V. 69. Pp. 230-238.
- De Vente, J., Poesen, J., Verstraeten, G., 2005. **The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain**. *J. of Hyd.* V. 305. Pp. 63-86.
- Earing, M.A., Pruski, F.F., and O'Neal, M.R., 2004. **Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review**. *J. Soil Water Cons.* V. 59. Pp. 43-50.
- Galloway, J.N., Howarth, R.W., Michaels, A.F., Nixon, S.W., Prospero, J.M., and Dentener, F., 1996. **Nitrogen and phosphorus budgets of the North Atlantic Ocean and its watershed**. *Biogeochemistry*. V. 35. Pp. 3-25.
- Huon, S., Bellanger, B., Bonte', Ph., Podwojewski, P., Valentin, C., Velasquez, F., Bricquet, J.-P., Rouw, A., and Girardin, C., 2005. **Monitoring soil organic carbon erosion with isotopic tracers, two case studies on cultivated tropical catchments with steep slopes (Laos, Venezuela)**. *Advances in Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Kelsey, H.M., 1980. **A sediment budget and an analysis of geomorphic process in the Van Duzen River basin, north coastal California, 1941-1975: summary**. *Geol. Soc. Am. Bull.* V. 91. Pp. 190-195.
- Lemly, A.D., 1982. **Modification of benthic insect communities in polluted streams: combined effects of sedimentation and nutrient enrichment**. *Hydrobiologia*, V. 87. Pp. 229-245.
- Montgomery, D.R., 1994. **Road Surface Drainage, Channel Initiation and Slope Instability**. *Water Resources Research*, V. 30. Pp. 1925-1932.
- Nunes, J.P., Seixas, J., Pacheco, N.R., 2008. **Vulnerability of water resources, vegetation productivity and soil erosion to climate change in Mediterranean watersheds**. *Hyd. Process*. V. 22. Pp. 3115-3134.
- Olley, J.M., Murray, A.S., Mackenzie, D.M., and Edwards, K., 1983. **Identifying sediment sources in a gullied catchment using natural and anthropogenic radioactivity**. *Water Resources Research*. V. 29. Pp. 1037-1043.
- Poesen, J., Nachtergale, J., Vertstraeten, G., and Valentin, C., 2003. **Gully erosion and environmental change. Importance and research needs**, *Catena*. V. 50. Pp. 91-134.

- Prosser, I.P., and Winchester, S.J. 1996. **History and processes of gully initiation and development in Australia.** *Zeitschrift für Geomorphologie Supplement Band. V. 105.* Pp. 91-109.
- Shrestha, S., and Kazama, F., 2007. **Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan.** *Journal of Environmental Modeling & Software. V. 22.* Pp. 464-475.
- Valentin, C., Poesen, J., and Yong, L., 2005. **Gully erosion: impacts, factors and control,** *Catena. V. 63.* Pp. 132-153.
- Wallbrink, P.J., Murray, A.S., Olley, J.M., and Olive, L.J., 1998. **Determining sources and transit times of suspended sediment in the Murrumbidgee River, New South Wales, Australia, using fallout 137 Cs and 210 Pb.** *Water Resources Research. V. 34.* Pp. 879-887.
- Wasson, R.J., Mazari, R.K., Starr, B., and Clifton, G., 1998. **The recent history of erosion and sedimentation on the Southern tablelands of southeastern Australia: sediment flux dominated by channel incision.** *Geomorphology. V. 24.* Pp. 291-308.
- Wells, R.R., Alonso, C.V., Bennett, S.J., 2009. **Morphodynamic of head cut development and soil erosion in upland concentrated flows.** *Soil Sci. Soc. Am. J. V. 73.* Pp. 521-530.
- Worker, B., 2004. **Evaluation of soil erosion in the Harevge region of Ethiopia using soil loss models, rain simulation and field trials.** *Thesis for degree Doctor of philosophy, University of Pretoria, Pretoria.*