

## میکرومورفولوژی رسوبات آبرفتی متأثر از فرآیندهای خاک‌زایی، تکنیکی نو در مطالعات ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سقز)

خبات درفشی\* - استادیار ژئومورفولوژی، گروه میراث طبیعی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران.  
حسن شعبانی‌نیا - دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲      تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۱۱/۲۱

### چکیده

شناخت فاکتورهایی که فرآیند تشکیل خاک‌های قدیمی و رسوبات خاک‌زایی کربناتی را در بین نهشته‌های آبرفتی نظم می‌دهند، مورد مهمی برای بازسازی محیط‌های دیرینه، تکامل محیط‌های رودخانه‌ای در شرایط مختلف اقلیمی و در نهایت سناریوهای مدیریتی است. در پژوهش حاضر، به منظور انجام مطالعات میکرومورفولوژی خاک، یک پروفیل رسوبی متشکل از خاک قدیمی مدفون، لایه کربنات خاک‌زایی، نهشته‌های دشت سیلابی (کنگلوما و لنز ماسه‌ای)، نهشته‌های رسوبی منفصل، خاک قدیمی ظاهر شده و نهشته‌های رسوبی عهد حاضر در یکی از شاخه‌های فرعی رودخانه سقز مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی میکرومورفولوژی خاک، دو نمونه از رسوبات آبرفتی متأثر از خاک‌زایی با حفظ کامل بافت و ساختار خاک برداشت شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها، مقاطع نازک از آن‌ها تهیه شده و در ادامه مطالعه، تشریح، تفسیر و عکس‌برداری از آن‌ها با استفاده از میکروسکوپ پولاریزان در دو حالت نور پولاریزه ساده (PPL) و نور پولاریزه متقاطع (XPL) انجام گرفت. نتایج بررسی میکرومورفولوژی رسوبات آبرفتی پلیستوسن پایانی نشان از آغستگی زمینه به اکسیدهای آهن و تشکیل رگچه‌های کوارتز و اکسید آهن دارد که به طور مشخص حاصل فرآیندهای خاک‌زایی برجا در این نوع رسوب می‌باشد. بارزترین تأثیر فرآیندهای خاک‌زایی را می‌توان در تشکیل لایه‌های کربنات متأثر از خاک‌زایی میان رسوبات آبرفتی مشاهده نمود که لایه‌های سخت کلسیتی را به وجود آورده است. بر اساس شاخص ژئوشیمیایی محاسبه شدت هوازدگی و یافته‌های میکرومورفولوژی، رسوبات مطالعه شده در این پژوهش، در شرایط آب و هوایی سرد و خشک پلیستوسن پایانی تحول پیدا کرده‌اند.

واژگان کلیدی: میکرومورفولوژی، رسوبات آبرفتی، خاک‌زایی، رودخانه سقز.

## مقدمه

شرایط امروزی زمین می‌تواند راهنمایی برای درک شرایط گذشته باشد. استفاده از خاک‌های قدیمی که در شرایط متفاوت از شرایط فعلی چشم‌اندازهای موجود در منطقه تشکیل شده‌اند (روهه<sup>۱</sup>، ۱۹۶۵؛ یالون<sup>۲</sup>، ۱۹۷۱)، می‌تواند به‌عنوان شاخصی مهم برای برآورد شرایط اقلیمی گذشته و فرآیندهای هوازدگی انجام شده در طی این دوران مد نظر قرار گیرد (رتالاک<sup>۳</sup>، ۲۰۰۱). خاک‌های قدیمی، به‌طور عمده دارای پدیده‌های میکرومورفولوژیکی مختلف هستند که به‌نظر می‌رسد منشاء خاک‌زایی<sup>۴</sup> دارند (کمپ<sup>۵</sup>، ۱۹۹۸). یکی از مهم‌ترین شواهد میکرومورفولوژیکی موجود در خاک‌های قدیمی، پوشش‌های رسی موجود روی خاک‌دانه‌ها و گاهی روی ذرات شن می‌باشد که به‌عنوان ابزاری مهم برای تفسیر شرایط اکولوژیکی گذشته، قابل استفاده است (کمپ، ۱۹۹۹؛ تامپسون<sup>۶</sup>، ۱۹۸۶). فرآیندهای تشکیل خاک و خاک‌زایی ارتباط نزدیک و متقابلی با اشکال اراضی و فرآیندهای ژئومورفیک دارد. تعادل بین پیدایش خاک و پیدایش اشکال اراضی نشان‌دهنده اصول اساسی ژئومورفولوژی خاک یا ژئوپدولوژی است (شاتزل<sup>۷</sup> و آندرسون<sup>۸</sup>، ۲۰۰۵؛ زینک<sup>۹</sup>، ۲۰۱۶؛ سنجرى و همکاران، ۱۴۰۰). شناخت فاکتورهایی که فرآیند تشکیل خاک‌های قدیمی و رسوبات خاک‌زایی کربناتی را در بین نهشته‌های آبرفتی نظم می‌دهند، مورد مهمی برای بازسازی محیط‌های دیرینه، تکامل محیط‌های رودخانه‌ای طی دوره‌های زمانی طولانی در شرایط مختلف اقلیمی و در نهایت سناریوهای مدیریتی است (مورایتس<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). این مورد مهم به وسیله انجام دادن ۱۷ مشاهده ناحیه‌ای اخیر در جهان (بانوارت<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۱) و مطالعات فردی مرتبط با تشکیل و توسعه خاک‌ها و رسوبات رودخانه‌ای (اگر<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ سولیرو-ریولدو<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۱؛ اسکارسلیا<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ مورایتس و همکاران، ۲۰۱۵) تأکید شده است. این مطالعات، شناخت ما را از فاکتورهای مؤثر بر خاک‌زایی و رسوبات محیط‌های رودخانه‌ای، مجموعه‌های چشم‌اندازی، اقلیم و فعالیت‌های انسانی در رژیم‌های رودخانه‌ای و زهشکی خاص بهبود می‌بخشد.

ناهمگونی خاک‌های شکل گرفته و یا رسوبات آبرفتی متأثر از خاک‌زایی بر روی دامنه‌ها، در بررسی‌های ماکروسکوپی مشخصه‌های مورفولوژیکی، همچون تغییرات ناگهانی در توزیع اندازه دانه (واروشفسکی<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵؛ کووالسکا<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۷)، درصد خرده‌های سنگی با سنگ‌شناسی متفاوت (کووالسکا و همکاران، ۲۰۲۰)، تغییر قابل توجه درصد محتوی و یا شکل خرده‌های درشت (کاکپرزاک<sup>۱۷</sup> و درکوفسکی<sup>۱۸</sup>، ۲۰۰۷؛ کووالسکا و همکاران، ۲۰۱۹)، درجات گوناگون هوازدگی خاک و تغییرات در رنگ و یا ضخامت خاک (شاتزل و آندرسون، ۲۰۰۵) قابل مشاهده است. با

1. Ruhe

2. Yaalon

3. Retallack

4. Pedogenic

5. Kemp

6. Thompson

7. Schaetzel

8. Anderson

9. Zinck

10. Moraetis

11. Banwart

12. Eger

13. Solleiro-Rebolledo

14. Scarciglia

15. Waroszewski

16. Kowalska

17. Kacprzak

18. Derkowski

این وجود، مواد مرکب، انتقال داده شده و جابه‌جا شده بر روی دامنه‌ها، از طریق برخی از مشخصه‌های میکرومورفولوژی، به‌خوبی قابل بررسی و تحلیل هستند. در صورت عدم وجود نشانه‌های ماکروسکوپی، گاهی تحلیل مشخصه‌های مورفولوژیکی حتی می‌تواند شناخت دقیق‌تری به‌دست دهد (برتران<sup>۱</sup> و تکسیر<sup>۲</sup>، ۱۹۹۹؛ موچر<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ کووالسکا و همکاران، ۲۰۲۰). در واقع، یکی از تکنیک‌های مهم و حتی شاید ضروری در مطالعه خاک‌ها و رسوبات متأثر از فرآیندهای خاک‌زایی که توسط اکثر پژوهشگران به‌کار می‌رود، مطالعات میکرومورفولوژی می‌باشد. ویژگی‌های میکرومورفولوژی همراه با سایر ویژگی‌های خاک، اطلاعات مهمی را برای بازسازی فرآیندهای تشکیل و شرایط محیطی خاک‌های مدفون و پلی‌ژنتیک فراهم می‌کند (کمپ و همکاران، ۲۰۰۳؛ سرمست<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۹؛ بتانکور-کوردور<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ سنجری و همکاران، ۱۴۰۰؛ سریواستاوا<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۱؛ تنتوری<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۲).

با این وجود، مطالعه مشخصه‌های میکرومورفولوژی در خاک‌های متأثر از فرآیندهای دامنه‌ای و همچنین رسوبات متأثر از فرآیندهای خاک‌زایی، قابل توجه نیست. مطالعه پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات حدود ۴۰ سال پیش، بیش‌تر بر روی جنبه‌های میکرومورفولوژی رسوبات عمدتاً مرتبط با سولی‌فلکسیون (هریس<sup>۸</sup> و ایلس<sup>۹</sup>، ۱۹۸۰؛ هریس، ۱۹۸۱؛ موچر و همکاران، ۲۰۱۰) و کوه‌رفتی (موچر و همکاران، ۱۹۸۱؛ موچر و موروزوا<sup>۱۰</sup>، ۱۹۸۳؛ گاورز<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۴؛ ون اُوست<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۰؛ ون مویسن<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۲) متمرکز بوده‌اند. در دهه ۱۹۹۰ مطالعات میکرومورفولوژی نسبتاً فراوان بوده و به‌خوبی مستند شده است (موچر و همکاران، ۲۰۱۰). دانشمندان بسیاری نسبت به ویژگی‌های کربنات کلسیم قابل رؤیت در مقاطع نازک انواع گوناگون خاک علاقه نشان داده‌اند (سیگال<sup>۱۴</sup> و استوپس<sup>۱۵</sup>، ۱۹۷۲؛ ویدر<sup>۱۶</sup> و یالون<sup>۱۷</sup>، ۱۹۷۴؛ دوراند<sup>۱۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعات بیش‌تری هم مکانیسم تشکیل و تکامل کربنات کلسیم ثانویه که ترسیب شده و اغلب در معرض فرآیندهای تبلور مجدد (دوراند و همکاران، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۰؛ زمانیان<sup>۱۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۶) و انحلال (آلونسو<sup>۲۰</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛ زمانیان و همکاران، ۲۰۱۶) قرار می‌گیرند. با این وجود، تنها مطالعه کووالسکا و همکاران (۲۰۲۰) است که هم بر تأثیر فرآیندهای دامنه‌ای بر روی ویژگی‌های میکرومورفولوژی در خاک‌های تشکیل شده از نهشته‌های دامنه‌ای و هم بر ارزیابی‌های وقوع و توزیع سنگ‌شناسی و فرم‌های خاک‌زایی کربنات کلسیم متمرکز بوده است. هدف از مطالعه حاضر نیز، ارائه شناخت دقیق‌تر در مورد ارزیابی تصویر میکرومورفولوژیکی از رسوبات آبرفتی متأثر از فرآیندهای خاک‌زایی در یک پروفیل مطالعاتی از یکی از شاخه‌های فرعی و در حال حاضر غیر فعال رودخانه سقز می‌باشد که به‌صورت یک بایگانی، ثبت‌هایی از رسوبات آبرفتی و دامنه‌ای را در خود حفظ نموده است. ضرورت انجام این پژوهش،

1. Bertran

2. Texier

3. Mücher

4. Sarmast

5. Betancur-Corredor

6. Srivastava

7. Tentori

8. Harris

9. Ellis

10. Morozova

11. Govers

12. van Oost

13. van Muijsen

14. Sehgal

15. Stoops

16. Wieder

17. Yaalon

18. Durand

19. Zamanian

20. Alonso

نشان دادن اهمیت تحلیل‌های میکرومورفولوژی خاک و رسوب در مطالعات ژئومورفولوژی، به‌ویژه بازسازی فرآیندهای فرم‌ساز، از جمله هوازدگی و فرسایش، است که می‌تواند در شناخت بهتر فرم‌ها و فرآیندهای فعال در محیط‌های رسوبی گذشته بسیار مهم و تأثیرگذار باشد.

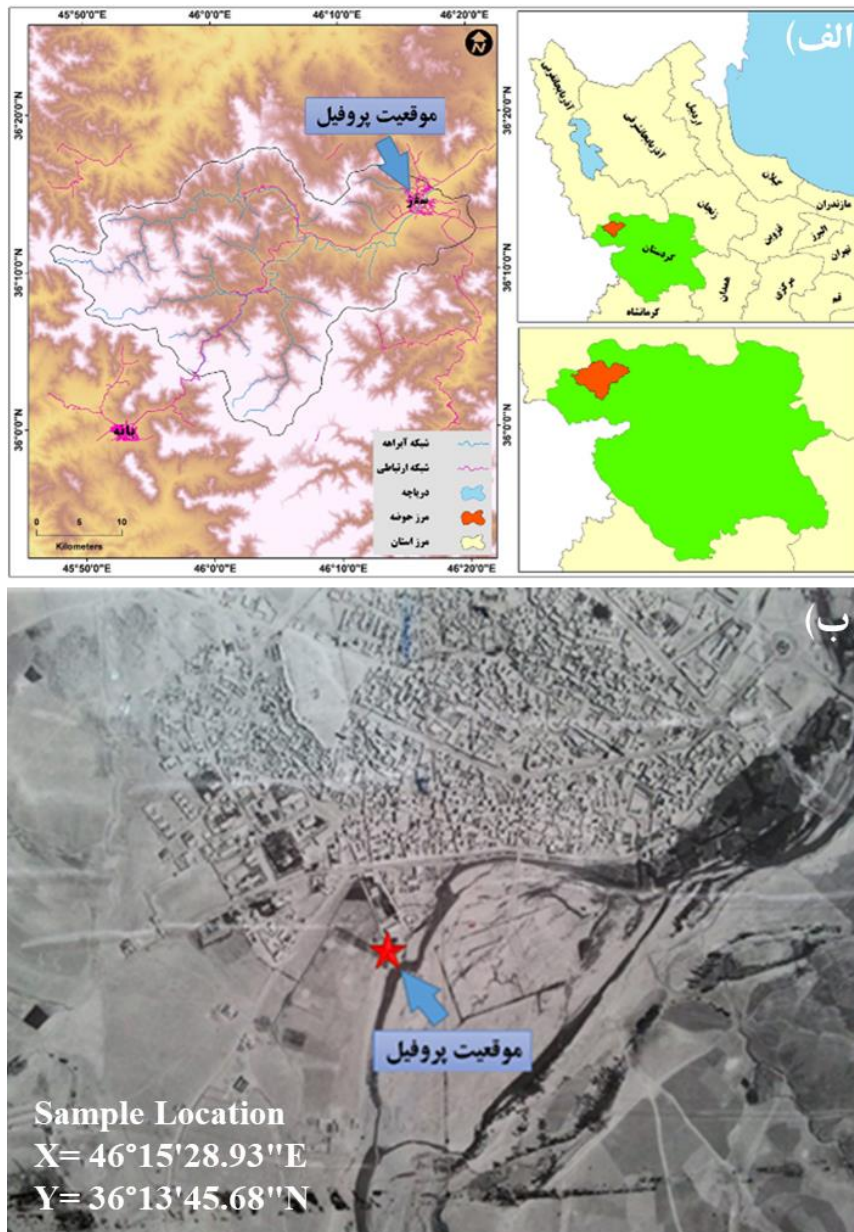
### منطقه مطالعاتی

پروفیل مورد بررسی در این پژوهش، شامل رسوبات آبرفتی متأثر از پدژنیک می‌باشد که در یکی از شاخه‌های رودخانه سقز تشکیل شده است. حوضه آبخیز رودخانه سقز با مساحتی معادل ۸۳۵ کیلومتر مربع از ۳۶ درجه تا ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی گسترش یافته است (شکل ۱). از دیدگاه تقسیم‌بندی‌های زمین‌ساختی، در حاشیه شمال غربی نوار دگرگونی سنج - سیرجان و در حقیقت در محل تلاقی این زون با زون‌های ساختاری خوی - مهاباد و البرز - آذربایجان واقع شده است. از دیدگاه مورفولوژی، مناطق میانی حوضه مورد مطالعه که به‌طور عمده از سنگ‌های آواری و آتشفشانی کرتاسه پدید آمده‌اند، دارای توپوگرافی ملایم و به‌صورت تپه‌های کم ارتفاع با سطوح فرسایش هموار است. بخش‌های آهکی و دولومیتی کرتاسه زیرین و الیگو - میوسن فرسایش خشن دارند و مناطق مرتفع حوضه را در نزدیکی خط‌الرأس، در نوار جنوب غربی و غرب آن و نیز محدوده‌ای کوچک، در غرب شهر سقز (روستای یستگاه) تشکیل می‌دهند. در بخش‌هایی که سنگ‌های دگرگونی قدیمی گسترش دارند، بخش‌های شیستی توپوگرافی به نسبت خشنی را به‌صورت پراکنده در بخش‌های مختلف حوضه دارند؛ ولی نهشته‌های شیلی سازند کهر (کاهار) توپوگرافی ملایمی را به‌صورت تپه‌های کم ارتفاع در محدوده‌ای کوچک در جنوب غربی حوضه (مجاورت روستاهای پیر عمران و قلقله) نشان می‌دهند (شکل ۲). در این منطقه توده گرانیتهی نیز توپوگرافی خشن‌تری را نسبت به سنگ‌های پیرامون خود در بخش‌های جنوبی و شمالی حوضه نشان می‌دهد. دره‌هایی که در نتیجه حفر رودخانه‌ها پدید آمده‌اند، علاوه بر فرسایش ناشی از جریان‌ات آب، تابع شرایط تکتونیکی و عملکرد گسل‌ها هستند؛ به‌طوری‌که حتی در مناطق یکنواخت از نظر سنگ‌شناسی، همچون فیلیت‌های کرتاسه که پهنه گسترده‌ای را اشغال کرده‌اند و در مناطق پویای تکتونیکی که گسل‌های خطی پرشیب وجود دارد، دره‌های ژرف و خطی با پیچ و خم‌هایی با طول موج کوتاه، در مسیر رودها واقع شده‌اند.

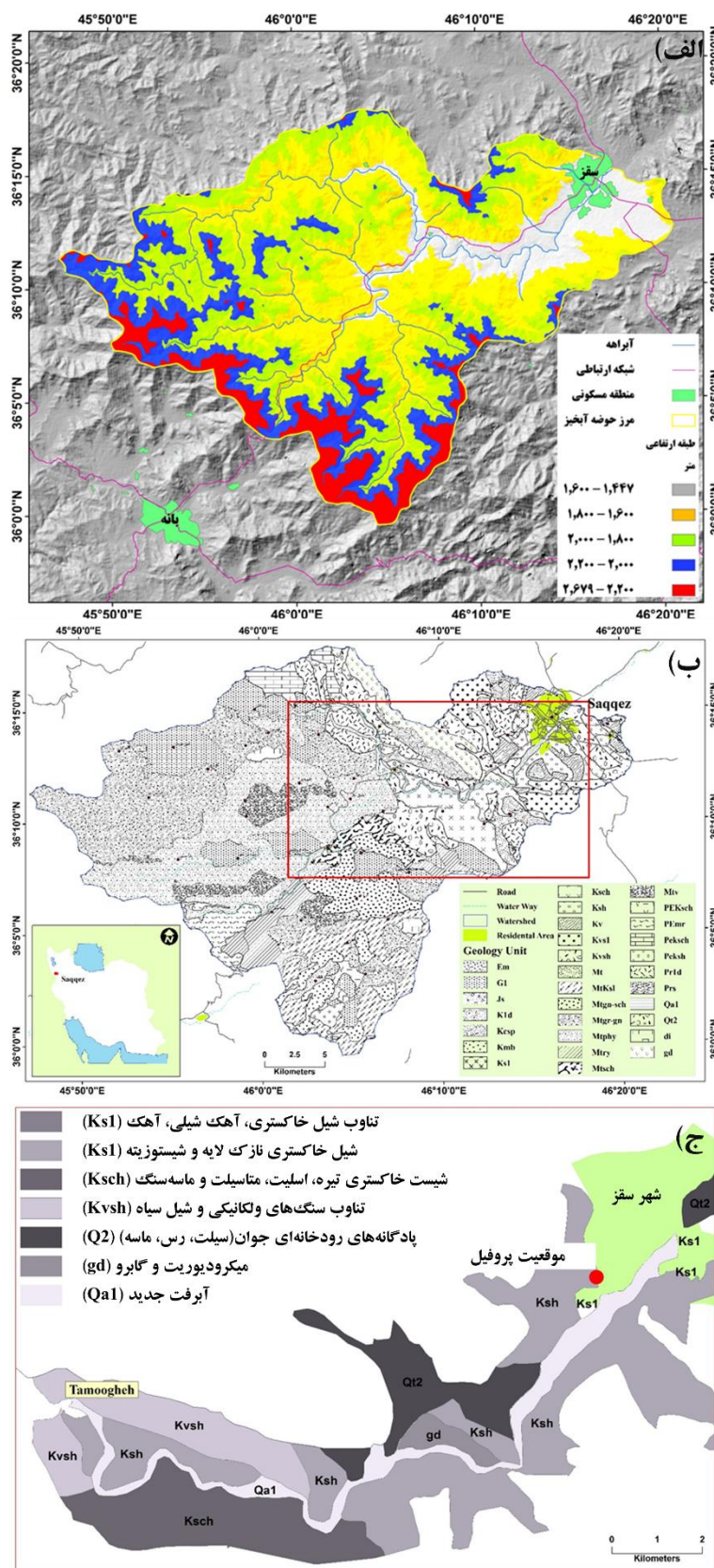
حرکات دامنه‌ای (واریزه‌ای)، زمین‌لغزش، گیلوئی و الگوهای مختلف آبراهه‌ها (موازی و دندریتی) از اشکال ژئومورفولوژیکی شاخص و مهم در حوضه می‌باشند. واریزه یکی از انواع بسیار رایج حرکات دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه است که بر روی دامنه‌های شیب‌دار واقع در پای رخنمون‌های سنگی مرتفع با سیمای گیلویی گسترش می‌یابد. اشکال بدلندی (تراکم الگوهای آبراهه موازی و دندریتی) بر روی واحد لیتولوژیکی گرانیته، اسلیت و فیلیت که نفوذپذیری‌های متفاوتی در مقابل بارندگی دارند، تشکیل می‌شوند. لندفرم گیلویی هم نوعی برجستگی است که با شیب بسیار تند به صورت پرتگاه بر روی یال یا دامنه‌های بعضی از ارتفاعات مشاهده می‌شود. رخدادهای تکتونیکی و فرسایش نهشته‌های سنگی و رسوبی مقاوم و نامقاوم از جمله عوامل مؤثر در ایجاد این اشکال محسوب می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه این اشکال عموماً بر روی رخساره‌های ژئومورفولوژیک توده سنگی واحدهای گرانیته از گسترش بیش‌تری برخوردار می‌باشند.

البته در کنار این اشکال ژئومورفولوژی شاخص در حوضه آبخیز رودخانه سقز، باید به پادگانه‌های رودخانه‌ای به شکل کنگلومرا هم در قسمت پایین دست و خروجی حوضه اشاره نمود؛ این پادگانه‌ها بیش‌تر در اطراف و داخل شهر سقز گسترش دارند و در بخش‌هایی از شهر بر روی آن‌ها سازه‌های انسانی همچون مدرسه، مخابرات، پارک و ساختمان‌های مسکونی استقرار پیدا کرده است. این دسته از نهشته‌ها نشان‌گر سنگ رسوبی آواری متعلق به گروه کنگلومرا هستند. اجزای اصلی سازنده سنگ را قطعات سنگی و کوارتزهای منوکریستالین تشکیل می‌دهند. دانه‌های آواری آتشفشانی در یک زمینه ریزدانه عمدتاً از کربنات‌های ریزیلور (گل کربناتی) و با فراوانی کم‌تر کانی‌های رسی قرار گرفته‌اند. دانه‌های آتشفشانی و دانه‌های

کوارتز و فلدسپار در اندازه ماسه تا سیلت هستند. خرده‌های سنگی آتشفشانی در اندازه‌های ماسه ریز تا بزرگتر از ماسه قابل شناسایی می‌باشند. سیمان کربناتی در حاشیه خرده‌های سنگی و نیز درون حفره‌ها و فضاهای خالی سنگ قابل مشاهده هستند.



شکل ۱: الف) موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز رودخانه سقز؛ ب) محل برداشت نمونه‌ها جهت مطالعات میکرومورفولوژی بر روی عکس هوایی سال ۱۳۴۲ شهر سقز

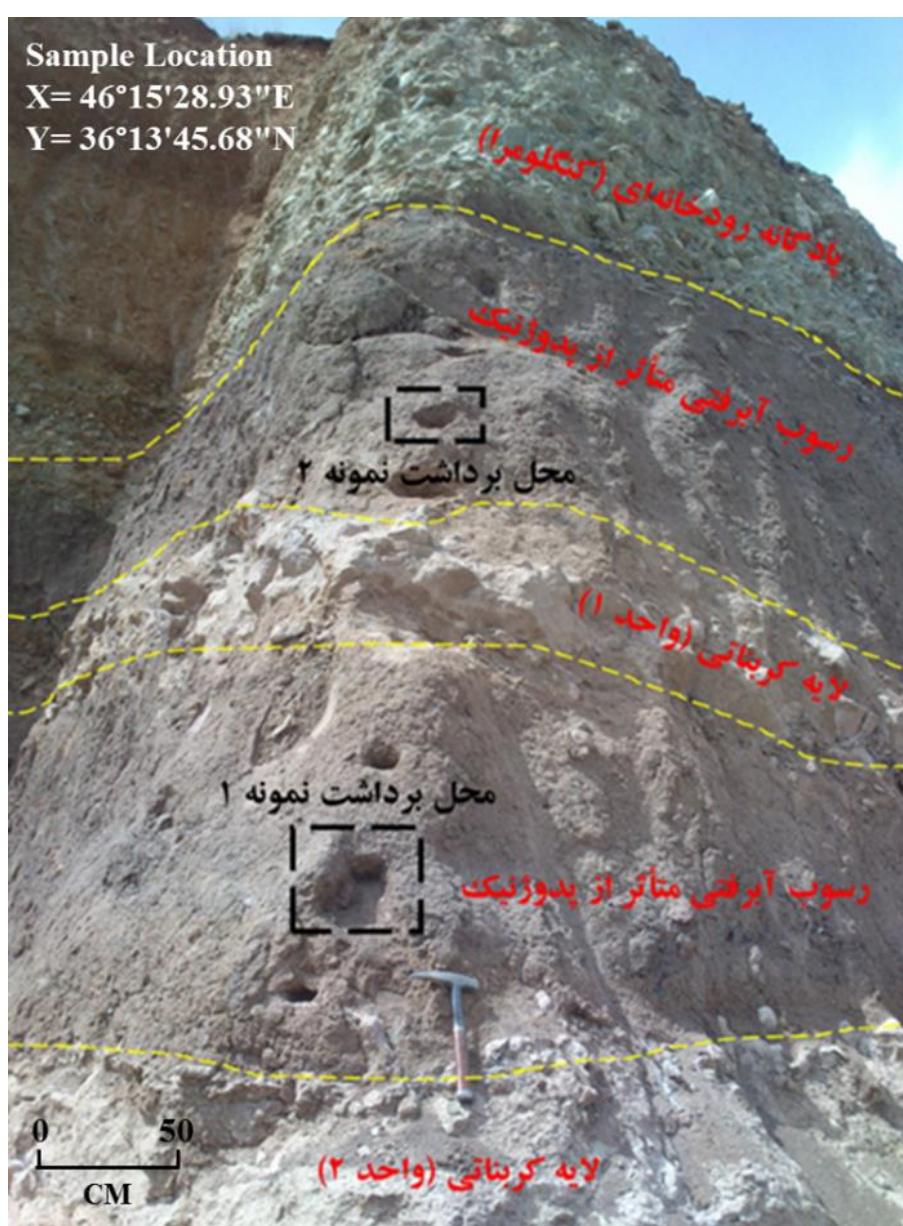


شکل ۲: الف) نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز رودخانه سقز؛ ب) نقشه واحدهای سنگ‌شناسی حوضه آبخیز رودخانه سقز؛ ج) واحدهای سنگ‌شناسی بازه رودخانه سقز در محل پروفیل برداشت نمونه‌های میکرومورفولوژی



## روش تحقیق

جهت بررسی میکرومورفولوژی خاک، دو نمونه از خاک‌های قدیمی مدفون شده (رسوبات آبرفتی متأثر از خاک‌زایی) با حفظ کامل بافت و ساختار خاک برداشت شد (شکل ۳). جهت آماده سازی نمونه‌های دست نخورده برای انجام این مطالعات، پس از خشکانیدن نمونه‌ها در آزمایشگاه، از محلول Epoxy Resin به اضافه کبالت و کاتالیست و اعمال مکش ناشی از پمپ خلاء در دستگاه دسیکاتور گروه خاک دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران برای اشباع استفاده شده و در دمای آزمایشگاه سخت گردیدند (شکل ۴). پس از خشک شدن نمونه‌ها، مقاطع نازک از آن‌ها تهیه شده و در ادامه مطالعه، تشریح، تفسیر و عکسبرداری از آن‌ها در آزمایشگاه زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی شرکت زمین ریز کاوان و با استفاده از میکروسکوپ پولاریزان در دو حالت نور پولاریزه ساده (PPL) و نور پولاریزه متقاطع (XPL) انجام گرفت.



شکل ۳: مشخصات لایه‌های رسوبی و موقعیت برداشت نمونه‌ها جهت مطالعات میکرومورفولوژی خاک در پروفیل مورد بررسی در یکی از شاخه‌های فرعی رودخانه سقز (واقع شده در جنوب‌غربی شهر سقز)

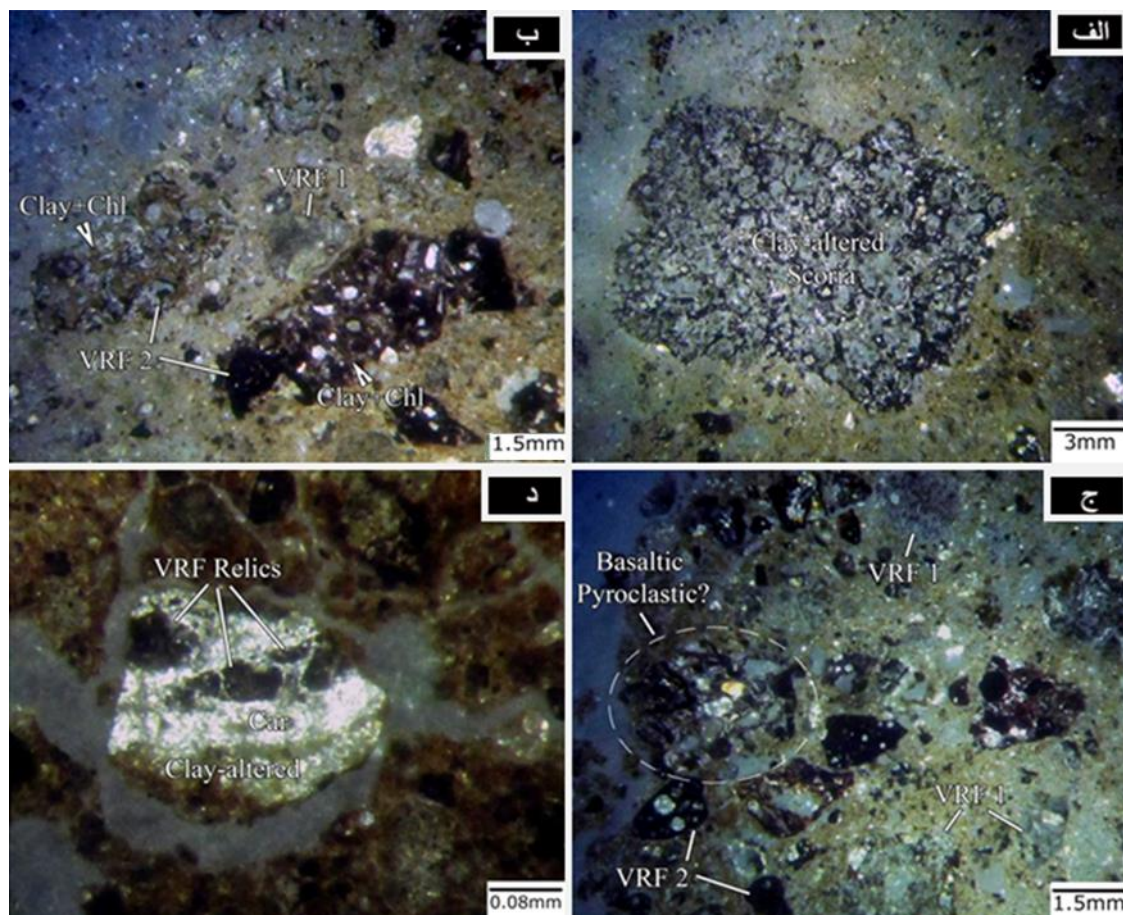


شکل ۴: نمونه‌های برداشت شده برای بررسی میکرومورفولوژی خاک قدیمی مدفون شده (رسوبات متأثر از خاک‌زایی)

#### یافته‌ها و بحث

مطالعه میکرومورفولوژی خاک با استفاده از مقاطع نازک تهیه شده برای دو نمونه از افق خاک قدیمی مدفون، با حفظ کامل بافت و ساختار خاک، انجام گرفت. بررسی نمونه‌های برداشت شده نشان داد که رسوبات آبرفتی متأثر از خاک‌زایی در زمینه ریزدانه آواری متشکل از ذرات سیلتی و رسی با آغستگی به اکسیدهای آهن است و به‌طور عمده از خرده‌های سنگی و خرده‌های کانی پراکنده و فرآورده‌های حاصل از هوازدگی آن‌ها تشکیل شده است. خرده‌های سنگی از انواع ولکانیک و با فراوانی کم از انواع رسوبی (ماسه سنگ) هستند (شکل ۵).





شکل ۵: الف) خرده سنگ بازالتی با بافت متخلخل از نوع اسکوری که نسبتاً شدید رسی شده است (Clay Altered Scoria)؛ ب) نمایی از خرده سنگ‌های بازالتی کلریتی شده (Chlorite Volcanic Rock Fragment) که در مرحله بعد رسی شده‌اند (Clay Fragment) و با زمینه آپاسیته (VRF 2) در اینجا دیده می‌شوند؛ ج) نمای دیگری از خرده‌های ولکانیکی با یافت متمایز که اغلب کم و بیش رسی شده‌اند. یک خرده سنگ با بافت آذرآواری در اینجا دیده می‌شود؛ د) خرده سنگ ولکانیکی پرشی و کربناتی شده که در مرحله بعد متأثر از فرآیندهای هوازدگی و خاک‌زایی (احتمالاً در منطقه خاستگاه رسوبات) رسی شده است.

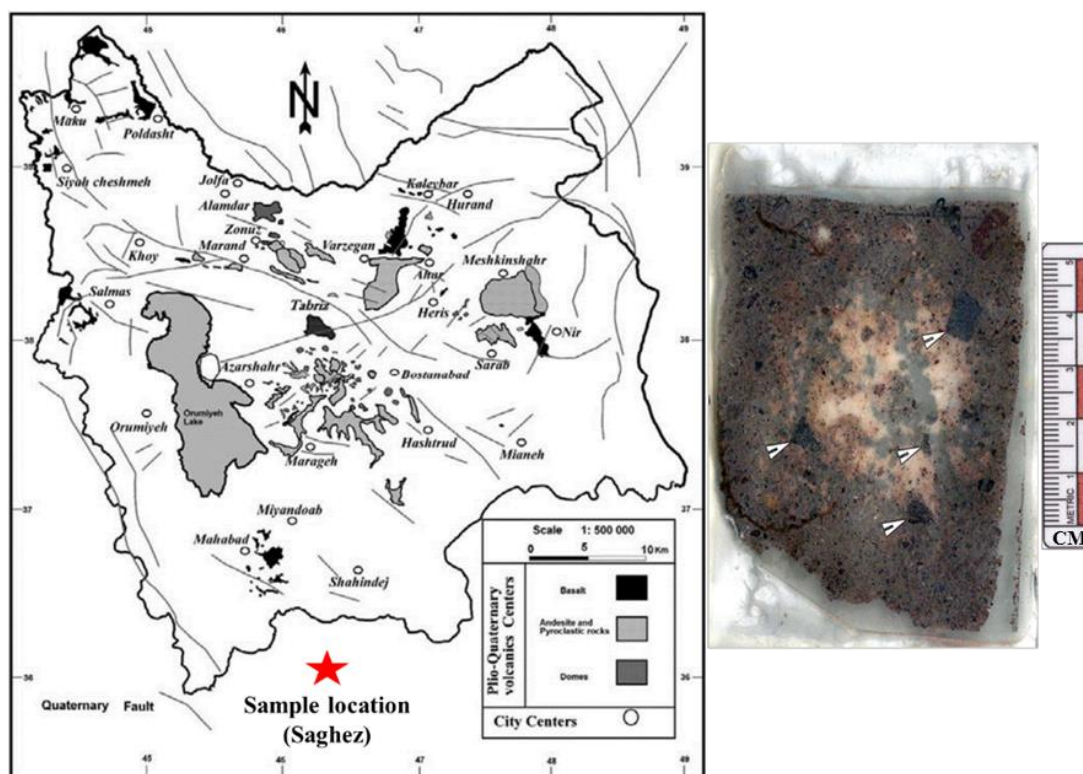
با توجه به بافت آواری نمونه‌های مورد بررسی، به نظر می‌رسد که رسوبات آبرفتی به صورت حمل و ته‌نشست فرآورده‌های هوازدگی سنگ‌های ولکانیکی بازالتی (که در زمان تشکیل احتمالاً دارای رخنمون‌های نسبتاً گسترده‌ای در سطح زمین بوده‌اند) و به صورت یک نهشته جریان واریزه‌ای<sup>۱</sup>، تشکیل شده است. نمونه‌های مورد مطالعه دارای ترکیب کانی‌شناختی و بافتی مشابه هستند که لایه‌بندی ترکیبی مشخصی در نمونه‌ها دیده نمی‌شود. به همین دلیل به نظر می‌رسد که نهشته‌ها به صورت یک جریان توده‌ای و به صورت یکباره رسوب یافته است. وجود اجزای ولکانیکی بازالتی حفره‌دار<sup>۲</sup> از نوع اسکوری<sup>۳</sup> در این نمونه‌ها نشان می‌دهد که دست کم بخشی از سنگ‌های ولکانیکی در منطقه خاستگاه این نهشته‌ها به صورت گدازه‌های سطحی بوده است. خرده‌های سنگی ولکانیکی در این نمونه‌ها دارای بافت متفاوت از سنگ‌های ولکانیکی

1. Debris flow deposit

2. Vasular

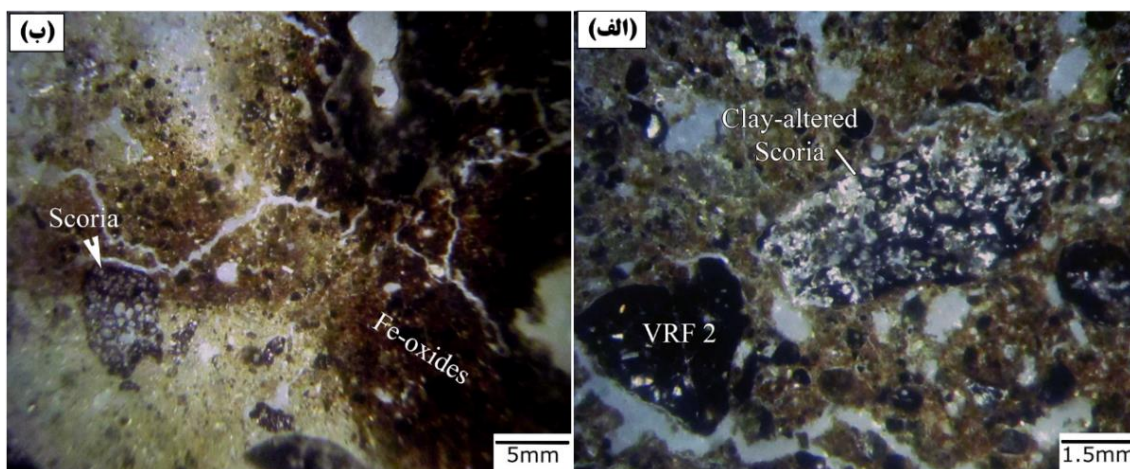
3. Scoria

آندزیتی و آندزیت بازالتی سنگ بستر با سن کرتاسه می‌باشند و با واحدهای بازالتی با سن پلیو - کواترنری در مناطق نزدیک به این منطقه در استان آذربایجان غربی قابل مقایسه است (شکل ۶).



شکل ۶: موقعیت رسوبات آبرفتی متأثر از خاک‌زایی (با خرده‌های سنگی ولکانیکی) در حوضه آبخیز سقز نسبت به واحدهای آتشفشانی بازالتی پلیو - کواترنری در آذربایجان شرقی و غربی همراه با موقعیت گسل‌های جوان (شکل چپ). در شکل راست نمای کلی از سطح مقطع نازک یکی از نمونه‌های مورد بررسی دیده می‌شود که خرده‌های سنگی ولکانیکی با ترکیب بازالتی (به رنگ تیره) را در زمینه آواری ریزدانه متشکل از خرده‌های ریز سنگی و کانی نشان می‌دهد؛ این خرده‌های سنگی ترکیب سنگ شناختی مشابه با واحدهای آتشفشانی بازالتی پلیو - کواترنری در آذربایجان شرقی و غربی دارند (درفشی و همکاران، ۲۰۲۲).

با توجه به هوازدگی غیر یکنواخت و با شدت متفاوت اجزای کانی در نمونه، نمودهای هوازدگی احتمالاً از منطقه خاستگاه نهشته‌های رسوبی به ارث رسیده است (شکل ۷ الف). با این وجود، آغستگی زمینه به اکسیدهای آهن و تشکیل رگچه‌های کوارتز و اکسید آهن در آن به‌طور مشخص حاصل فرآیندهای خاک‌زایی برجا در نمونه بوده است (شکل ۷ ب). بارزترین تأثیر فرآیندهای خاک‌زایی را می‌توان در تشکیل لایه‌های کربنات متأثر از خاک‌زایی میان این رسوبات آبرفتی مشاهده نمود که لایه‌های سخت آهکی را به‌وجود آورده است.



شکل ۷: الف) هوازدگی و رسی شدن با شدت کاملاً متفاوت در دو خرده‌سنگ با ترکیب مشابه و در نزدیکی یکدیگر که نشان از به ارت رسیدن نموده‌های هوازدگی از منطقه خاستگاه نهشته‌های رسوبی دارد؛ ب) خرده سنگ بازالتی حفره‌دار (اسکوری) در زمینه آواری ریزدانه که رگچه اکسید آهن درون آن جایگزین شده و حاصل فرآیندهای خاک‌زایی برجا در رسوبات آبرفتی مورد بررسی حوضه آبخیز رودخانه سقز بوده است (درفشی و همکاران، ۲۰۲۲).

بر اساس مطالعات درفشی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۲)، در مورد شرایط محیطی تشکیل این لایه‌های کربناتی باید گفت که مقادیر پایین  $\delta^{18}O$  در کربنات پدوژنیک نشان می‌دهد که زمان تشکیل آن‌ها دمای هوا پایین بوده است؛ چرا که مقادیر منفی  $\delta^{18}O$  غنی از ایزوتوپ‌های سبک بوده و شرایط اقلیمی سرد را بیان می‌کنند. بر اساس نتایج مدل رگرسیونی و مقادیر  $\delta^{18}O$  دمای هوا در زمان تشکیل کربنات حدود ۵/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به زمان حاضر سردتر بوده است. با توجه به کنترل ترکیب ایزوتوپی کربن در کربنات‌های ثانویه توسط گاز  $CO_2$  خاک حاصل از تنفس ریشه‌های گیاهی کنترل، پوشش گیاهی گذشته منطقه با استفاده از ترکیب ایزوتوپی کربن در کربنات‌های پدوژنیک نشان داد که در زمان تشکیل کربنات‌های پدوژنیک و تکامل پروفیل خاک، ترکیب غالب از پوشش گیاهی C4 بوده است (۸۳ درصد). بنابراین، در زمان تشکیل کربنات‌های پدوژنیک شرایط اقلیمی حوضه مورد مطالعه به صورت سرد و با مقادیر پایین بارش همراه بوده است؛ به گونه‌ای که گیاهان C4 غالب شده و در شرایط سرد و خشک رشد کرده‌اند. تحلیل یافته‌های پژوهش حاضر و پژوهش درفشی و همکاران در سال ۲۰۲۲، نشان می‌دهد که تشکیل لایه‌های کلسیتی در میان رسوبات آبرفتی متأثر از فرآیندهای خاک‌زایی در ارتباط با ترسیب و تبلور مجدد کربنات‌هایی است که از منابعی هم‌چون هوازدگی سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و بازالتی و انتشار کلسیم از مواد معدنی غنی از کلسیم مانند پلاژیوکلاز منشاء گرفته‌اند. با توجه به تناب دوره‌های آب‌هوایی سرد و خشک و مرطوب در حوضه آبخیز رودخانه سقز طی دوره پلیستوسن پایانی، فرآیند شکل‌گیری این افق‌ها هم در نتیجه انحلال، جابه‌جایی، رسوب و تجمع مجدد کربنات‌ها از سطح و تجمع آن‌ها در عمق بوده است<sup>۲</sup> و هم در نتیجه تبلور مجدد و درجای کربنات‌ها.

همچنین بر اساس مطالعات درفشی (۱۳۹۸) که با هدف منشاء‌یابی و تعیین شدت هوازدگی شیمیایی بر اساس داده‌های ژئوشیمی رسوبات رودخانه ای در حوضه سقز انجام شده است، میانگین شاخص  $\Sigma Bases/Al$  در ۹ نمونه جمع‌آوری شده از رسوبات آبرفتی متأثر از فرآیندهای خاک‌زایی از محل پروفیل مورد بررسی در این مطالعه، ۰/۹۶ می‌باشد. با توجه به مقدار ۰/۵ از نسبت  $\Sigma Bases/Al$  که یک خط تقسیم مهم آماری میان آلفی‌سول (بزرگ‌تر از ۰/۵: آرجیلی‌سول‌های خشک)

<sup>۱</sup>. Derafshi

<sup>۲</sup>. Eluviation



و آلتی سول (کوچک‌تر از ۰/۵: آر جیلی سول‌های مرطوب) است، رسوب‌های آبرفتی متأثر از خاک‌زایی مورد بررسی، مشابه با آلتی سول‌ها یا آر جیلی سول‌های خشک می‌باشد (سید<sup>۱</sup> و هوندکاری<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶). بنابراین، بر اساس این شاخص ژئوشیمیایی، رسوبات مطالعه شده در شرایط آب و هوایی سرد و خشک پلیستوسن پایانی تحول پیدا کرده‌اند. ذکر این نکته ضروری است که شاخص  $\Sigma Bases/Al$  برای اهداف متنوعی شامل مشخص نمودن شدت هوازدگی (رتالاک، ۱۹۹۹؛ رتالاک و کرول<sup>۳</sup>، ۱۹۹۹؛ بستلند<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰؛ سید و هوندکاری، ۲۰۰۶) و فرآیندهای تاکسونومی (شیلدون و همکاران، ۲۰۰۲) مورد استفاده قرار گرفته است. با این شاخص می‌توان خاک‌های قدیمی مشابه با آلتی سول یا آلتی سول را بر مبنای معیار اشباع ۳۵ درصد به منظور جداسازی آلتی سول‌های غنی از عناصر بازیگ و آلتی سول‌های فقیر به لحاظ عناصر بازیگ و تعیین شدت هوازدگی با توجه به شرایط آب‌وهوایی، مطالعه نمود.

### نتیجه‌گیری

اهمیت پژوهش حاضر در بهره‌گیری از تکنیک "میکرومورفولوژی خاک" برای مطالعه رسوبات به صورت دست‌نخورده، با حفظ فابریک اولیه می‌باشد که اطلاعات زیادی را در ارتباط با ماهیت و نحوه تشکیل رسوبات، ماهیت مرز لایه‌ها، لایه‌بندی و شواهد هوازدگی‌های منشاء و یا برجا، فراهم می‌کند. هوازدگی و رسی شدن با شدت کاملاً متفاوت در دو خرده‌سنگ با ترکیب مشابه و در نزدیکی یکدیگر، نشان از به ارث رسیدن نمونه‌های هوازدگی از منطقه خاستگاه نهشته‌های رسوبی در نمونه‌های رسوبات آبرفتی متأثر از فرآیندهای خاک‌زایی دارد. با این حال، خرده سنگ بازالتی حفره‌دار در زمینه آواری ریزدانه که رگچه اکسید آهن درون آن جایگزین شده، حاصل فرآیندهای خاک‌زایی برجا در رسوبات آبرفتی مورد بررسی بوده است که بارزترین تأثیر فرآیندهای خاک‌زایی را می‌توان در تشکیل لایه‌های کربنات متأثر از خاک‌زایی میان این رسوبات آبرفتی مشاهده نمود. بنابراین، با بهره‌گیری از تکنیک میکرومورفولوژی، می‌توان به این مفهوم اساسی پی برد که هوازدگی‌های رخ داده در نمونه‌های مطالعاتی دارای ماهیتی برجا هستند و یا از منطقه منشاء رسوبات به ارث رسیده و در فاز رسوب‌گذاری، همچنان قابل مشاهده است. علاوه بر این، تکنیک میکرومورفولوژی خاک کمک می‌کند تا بتوان تشخیص داد که ترکیب کانی‌شناختی نمونه‌های مطالعه شده با پراکنش ویژگی‌های چینه‌شناختی در منطقه مورد بررسی، چه الگویی را نشان می‌دهد. همچنین سرعت و نرخ فرسایش و رسوب‌گذاری را نیز با استفاده از این تکنیک می‌توان تشخیص داد. با توجه به بافت آواری نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش، رسوبات آبرفتی به صورت حمل و ته‌نشست فرآورده‌های هوازدگی سنگ‌های ولکانیکی بازالتی (که در زمان تشکیل احتمالاً دارای رخنمون‌های نسبتاً گسترده‌ای در سطح زمین بوده‌اند) و به صورت یک نهشته جریان واریزه‌ای، تشکیل شده‌اند. نمونه‌های مورد مطالعه دارای ترکیب کانی‌شناختی و بافتی مشابه بوده که لایه‌بندی ترکیبی مشخصی در آن‌ها دیده نشد. به همین دلیل، به نظر می‌رسد که نهشته‌ها به صورت یک جریان توده‌ای و به صورت یکباره رسوب پیدا کرده‌اند. تحلیل یافته‌های پژوهش در ارتباط با سایر پژوهش‌های انجام گرفته در حوضه آبخیز رودخانه سقر، نشان داد که تشکیل لایه‌های کلسیتی در میان رسوبات آبرفتی متأثر از فرآیندهای خاک‌زایی در ارتباط با ترسیب و تبلور مجدد کربنات‌هایی است که از منابع مختلفی منشاء گرفته‌اند. با توجه به تناب دوره‌های آب‌هوایی سرد و خشک و سرد و مرطوب در حوضه آبخیز رودخانه سقر طی دوره پلیستوسن پایانی، فرآیند شکل‌گیری این افق‌ها هم در نتیجه انحلال، جابه‌جایی، رسوب و تجمع مجدد کربنات‌ها از سطح و تجمع آن‌ها در عمق

<sup>۱</sup>. Sayyed

<sup>۲</sup>. Hundekari

<sup>۳</sup>. Krull

<sup>۴</sup>. Bestland

بوده است و هم در نتیجه تبلور مجدد و درجای کربنات‌ها، بر اساس شاخص ژئوشیمیایی محاسبه شدت هوازدگی و یافته‌های میکرومورفولوژی، رسوبات مطالعه شده در این پژوهش، در شرایط آب و هوایی سرد و خشک پلیستوسن پایانی تحول پیدا کرده‌اند.

#### منابع

- درفشی، خ.، ۱۳۹۸. تحلیل داده‌های ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای، افق‌های سیمانی کربنات‌ها و خاک‌های دیرینه و کاربرد آن در منشاء‌یابی و هوازدگی شیمیایی (مطالعه موردی: رودخانه سقز)، فصل‌نامه کوآترنری ایران، دوره ۵، شماره ۳، صص ۳۹۷-۴۲۱.
- سنجری، ص.، فرپور، م.، محمودآبادی، م.، و برخوردار، س.، ۱۴۰۰. مطالعه ژنتیکی و میکرومورفولوژی خاک‌های واقع بر سطوح مختلف ژئومورفیک در پلایای جازموریان، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۳۵، شماره ۳، صص ۳۷۹-۳۹۴.
- Alonso, P., Dorronsoro, C. and Egido, J.A., 2004. Carbonatation in paleosols formed on terraces of the Tormes river basin (Salamanca, Spain). *Geoderma*, 118, pp. 261-276. <https://doi.org/10.1180/0009855054010157>.
- Banwart, S., 2011. Save our soils. *Nature*, 474, pp. 152-151.
- Bertran, P. and Texier, J.P., 1999. Facies and microfacies of slope deposits. *Catena*, 35, pp. 99-121. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(98\)00096-4](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00096-4).
- Bestland, E.A., 2000. Weathering flux and CO<sub>2</sub> consumption determined from palaeosol sequences across the Eocene-Oligocene transition. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 156, pp. 301-326.
- Betancur-Corredor, B., Loaiza-Usuga, J.C., Denich, M. and Borgemeister C., 2020. Changes of Technosol properties and vegetation structure along a chrono-sequence of dredged sediment deposition in areas with alluvial gold mining in Colombia. *Journal of Soils and Sediments*, 20, pp. 2377-2394. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02551-9>.
- Derafshi, K., Amini, S., Hosseinzadeh, M.M., Evans, M. and Fotuhi, E., 2022. Paleoenvironmental reconstruction of Saqqez River basin, western Iran: evidence from quaternary deposits and pedogenic carbonates. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(14), pp. 1-22.
- Durand, N., Gunnell, Y., Curmi, P. and Ahmad, S.M., 2007. Pedogenic carbonates on Precambrian silicate rocks in South India: Origin and paleoclimatic significance. *Quaternary International*, 162/163, pp. 35-49.
- Durand, N., Monger, H.C. and Canti, M.G., 2010. Calcium carbonate features. In: *Stoops G, Marcelino V, Mees F (eds.), Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, Amsterdam, pp. 149-194. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-18081-9>.
- Eger, A., Almond, P.C. and Condrón, L.M., 2011. Pedogenesis, soil mass balance, phosphorus dynamics and vegetation communities across a Holocene soil chronosequence in a super-humid climate, South Westland, New Zealand. *Geoderma*, 163(3-4), pp. 185-196.
- Govers, G., Vandaele, K., Desmet, P., Poesen, J. and Bunte, K., 1994. The role of soil tillage on soil redistribution on hillslopes. *European Journal of Soil Science*, 45, pp. 469-478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1994.tb00532.x>.
- Harris, C. and Ellis, S., 1980. Micromorphology of soils in soliflucted materials, Okstindan, Northern Norway. *Geoderma*, 23: 11-29. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(80\)90046-4](https://doi.org/10.1016/0016-7061(80)90046-4).
- Harris, C., 1981. Microstructures in solifluction sediments from South Wales and North Norway. *Biuletyn Peryglacjalny*, 28, pp. 221-226.



- Kacprzak A. and Derkowski, A., 2007. Camisoles developed from cover-beds in the Pieniny Mts, southern Poland) and their mineral composition. *Catena*, 71, pp. 292-297. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.01.004>.
- Kemp R.A., Tomas P.S., Sayago J.M., Debyshire E., King M. and Wagner L., 2003. Micromorphology OSL dating of the basalt part of the loess-paleosol sequence at La Mesuda in Tucuman province, northwest Argentina. *Quaternary International*, 106-107, pp. 111-117.
- Kemp, R.A., 1998. Role of micromorphology in palaeoecological research. *Quaternary International*. 51/52, pp. 133-141.
- Kemp, R.A., 1999. Soil micromorphology as a technique for reconstructing paleoenvironmental change. pp. 41-71. In: Singh, VI A.S. and Derbyshire (Eds.), *Paleoenvironmental Reconstruction in Arid Lands*. Balkema Pub., Netherlands.
- Kowalska J.B., Zaleski, T., Józefowska, A. and Mazurek, R., 2019. Soil formation on calcium carbonate-rich parent material in the outer Carpathian Mountains - A case study. *Catena*, 174, pp. 436-451. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.025>.
- Kowalska, J., Kajdas, B. and Zaleski, T., 2017. Variability of morphological, physical and chemical properties of soils derived from carbonate-rich parent material in the Pieniny Mountains (south Poland). *Soil Science Annual*, 68(1), pp. 27-38. <https://doi.org/10.1515/ssa-2017-0004>.
- Kowalska, J.B., Zaleski, T. and Mazurek, R., 2020. Micromorphological features of soils formed on calcium carbonate-rich slope deposits in the Polish Carpathians. *Journal of Mountain Science*, 17(6), pp. 1310-1332. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5829-5>.
- Leopold, E.B. and Clay-Poole, S.T., 2001. Florissant leaf and pollen floras of Colorado compared: Climatic implications. *Proceedings of the Denver Museum of Nature and Science*, series 4, pp. 17-70.
- Moraetis, D., Nikolaos, V., Nikolas, P., Nikolaidis, A., Steve, A., Banwart, S.R., Kercheva, M., Nenov, M., Shishkov, Ruiter, P., Bloem, J., Blum, W.E.H., Lair, G.J., Gaans, P. and Verheul, M., 2015. Sediment provenance, soil development, and carbon content in fluvial and manmade terraces at Koiliaris River Critical Zone Observatory. *Soils Sediments*, 15, pp. 347-364.
- Mücher H., van Steijn, H. and Kwaad, F., 2010. Colluvial and mass wasting deposits. In: Stoops G, Marcelino V, Mees F., eds.), *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, Amsterdam, pp. 37-48. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-18081-9>.
- Mücher, H.J. and Morozova, T.D., 1983. The application of soil micromorphology in Quaternary geology and geomorphology. In: Bullock P, Murphy CP (eds.), *Soil Micromorphology. Volume 1. Techniques and Applications*. AB Academic Publishers, Berkhamsted, UK. pp. 151-194.
- Mücher, H.J., De Ploey, J. and Savat, J., 1981. Response of loess materials to simulated translocation by water: micromorphological observations. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, pp. 331-336. <https://doi.org/10.1002/esp.3290060312>.
- Retallack, G.J. and Krull, E.S., 1999. Landscape ecological shift at the Permian-Triassic boundary in Antarctica. *Australian Journal of Earth Sciences*, 46(5), pp. 785-812. DOI: 10.1046/j.1440-0952.1999.00745.x.
- Retallack, G.J., 1999. Post-apocalyptic greenhouse paleoclimate revealed by earliest Triassic paleosols in the Sydney Basin, Australia. *Geological Society of America Bulletin*, 111, pp. 52-70.
- Retallack, G.J., 2001. *Soils of the past: An introduction to paleopedology*. Blackwell Scientific Publication, Oxford, pp. 404. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470698716>.

- Retallack, G.J., 2007. Soils and global change in the carbon cycle over geological time. In Holland H.D. and Turekian, K.K., Editors, *Treatise on geochemistry*, Pergamon Press, Oxford, 5, pp. 581-605.
- Retallack, G.J., Orr, W.N., Prothero, D.R., Duncan, R.A., Kester, P.R. and Ambers, C.P., 2004. Eocene-Oligocene extinction and paleoclimatic change near Eugene, Oregon. *Bulletin Geological Society of America*, 116, pp. 817-839.
- Ruhe, R.V., 1965. Quaternary and paleopedology. Wright H.E. and Frey D.G., Eds.) *The Quaternary of the United States*. Princeton University Press, Princeton, NJ, pp. 755-764.
- Sarmast, M., Farpoor, M.H., Jafari, A. and Esfandiarpour Borujeni, I., 2019. Tracing environmental changes and paleoclimate using the micromorphology of soils and desert varnish in central Iran. *Desert*, 24(2), pp. 331-353.
- Sayyed, M.R. and Hundekari, S.M., 2006. Preliminary comparison of ancient bole beds and modern soils developed upon the Deccan volcanic basalts around Pune (India): potential for paleoenvironmental reconstruction. *Quaternary International*, 156-157, pp. 189-199.
- Scarciglia, F., Tuccimei, P., Vacca, A., Barca, D., Pulice, I., Salzano, R. and Soligo, M., 2011. Soil genesis, morphodynamic processes and chronological implications in two soil transects of SE Sardinia, Italy: Traditional pedological study coupled with laser ablation ICP-MS and radionuclide analyses. *Geoderma*, 162, pp. 39-64.
- Schaetzl, R. and Anderson, S., 2005. Soils genesis and geomorphology. First published, Cambridge University Press, pp. 817.
- Sehgal, J.L. and Stoops, G., 1972. Pedogenic calcic accumulation in arid and semiarid regions of the Indo-Gangetic alluvial plain of the erstwhile Punjab (India). Their morphology and origin. *Geoderma*, 8, pp. 59-72.
- Sheldon, N.D. and Retallack, G.J., 2004. Regional paleoprecipitation trends in the Eocene and Oligocene of North America. *Journal of Geology*, 112, pp. 487-494.
- Sheldon, N.D. and Tabor, N.J., 2009. Quantitative paleo-environmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. *Earth-Sciences Reviews*, 95, pp. 1-52.
- Sheldon, N.D., Retallack, G.J. and Tanaka, S., 2002. Geochemical climo-functions from North America soils and application to paleosols across the Eocene-Oligocene boundary in Oregon. *Journal of Geology*, 110, pp. 687-696.
- Solleiro-Rebolledo, E., Sycheva, S., Sedov, S., McClung, E., Rivera-Uria, Y., Salcido-Berkovich, C. and Kuznetsova, A., 2011. Fluvial processes and paleopedogenesis in the Teotihuacan Valley, México: responses to late Quaternary environmental changes. *Quaternary International Journal*, 233, pp. 40-52.
- Srivastava, A.K., Bansod, M.N. and Khare, N., 2021. Calcretes from the Quaternary alluvial deposit of Purna basin, central India: lithological and climatic controls. *Rhizosphere*, 1818(1), <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100343>.
- Tentori, D., Mancini, M., Milli, S., Stigliano, F., Tancredi, S. and Moscatelli, M., 2022. Compositional, micromorphological and geotechnical characterization of Holocene Tiber floodplain deposits (Rome, Italy) and sequence stratigraphic implications. *Sedimentology*, 69, pp. 1705-1737. doi: 10.1111/sed.12969.
- Thompson, K., 1986. Small-scale heterogeneity in the seed bank of an acidic grassland. *Journal of Ecology*, 74, pp. 733-738.
- Uhl, D., Abuhamed A., Kerp, H. and Bandel, K., 2007. Evidence for paleo-wildfire in the Late Permian paleotropics - charcoalfied wood from the Um Irna Formation of Jordan. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 144, pp. 221-230.
- Utescher, T. and Mosbrugger, V., 2007. Eocene vegetation patterns reconstructed from plant diversity - a global perspective. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology*, 247, pp. 243-271.

- van Muijsen, W., Govers, G. and van Oost, K., 2002. Identification of important factors in the process of tillage erosion: the case of mouldboard tillage. *Soil and Tillage Research*, 6, pp. 77-93. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00282-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00282-3).
- van Oost, K., Govers, G. and Desmet, P., 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*, 15, pp. 577-589. <https://doi.org/10.1023/A:1008198215674>.
- Waroszewski, J., Kalinski, K., Malkiewicz M., Mazurek, R., Kozłowski, G. and Kabala, C., 2013. Pleistocene-Holocene cover-beds on granite regolith as parent material for Podzols - An example from the Sudeten Mountains. *Catena*, 104, pp. 161-173. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.11.006>.
- Waroszewski, J., Malkiewicz, M., Mazurek, R., Labaz, B., Jezierski, P. and Kabala, C., 2015. Lithological discontinuities in Podzols developed from sandstone cover beds in the Stolowe Mountains (Poland). *Catena*, 126, pp. 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.034>.
- Wieder, M., Yaalon, D.H., 1974. Effect of matrix composition of carbonate nodule crystallization. *Geoderma*, 11, pp. 95-121. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(74\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0016-7061(74)90010-X).
- Wolfe, J.A., 1994. Tertiary climatic changes at middle latitudes of western North America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 108, pp. 195-205.
- Yaalon, D.H., 1971. Soil forming processes in time and space. PP. 29-39. In: Yaalon, D.H., Ed., *Paleopedology Jerusalem*. Israel University Press, Israel.
- Zamanian, K., Pustovoytov, K. and Kuzyakov, Y., 2016. Pedogenic carbonates: forms and formation processes. *Earth Science Reviews*, 157: 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.03.003>.
- Zinck J.A., 2016. The geopedologic approach. In: Zinck, J.A., Metternicht, G., Bocco, G., De Valle, H.F., Eds.), *Geopedology: An integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Springer, p. 556. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19159-1>.