پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال نهم، شماره ۳، زمستان۱۳۹۹
صص. ۲۲۶-۲۰۳

ارتباط بافت رسوبات و توسعه یافتگی خندق‌ها در سطح مخروط‌افکنه‌های جنوبی البرز شرقی (گرمسار– سید آباد)

مجتبی یمانی*– استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
ابوالقاسم گورابی– استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
مهران مقصودی– دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
صدیقه محبوبی– دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۱۴ تائید نهایی: ۱۳۹۸/۰۹/۱۷

چکیده

قطر ذرات رسوبات سطحی با فرایندهای غالب موثر در توسعه یافتگی و مورفولوژی سطحی لندفرمها ارتباط تنگاتنگی دارد. این پژوهش به ارتباط بافت رسوبات و توسعه یافتگی خندق‌های واقع در دشت-سرهای جنوبی البرز شرقی به روش تحلیل آماری و با اندازه‌گیری قطر ذرات در چهار سایت مطالعاتی حدفاصل گرمسار- سیدآباد پرداخته است. سایت‌ها با توجه به تفاوت‌ها و تشابهات مورفولوژی سطحی بر روی تصاویر و بازدیدهای میدانی انتخاب شده‌اند. نمونه‌های برداشت‌شده از بخش‌های ابتدایی، میانی، انتهایی و دیواره گالی‌ها در آزمایشگاه توزین و پس از الک، نتایج توسط نرم‌افزار GRADISTAT در قالب نمودارها و جداول استخراج و تحلیل شده‌اند. علاوه بر این، با برداشت ۸۰۰ نمونه از باکس‌های ۵ در ۵ متری، شاخص پهن‌شدگی و مورفومتری آنها محاسبه شد. نتایج حاصله نشان می‌دهند که بافت سطحی رسوبات چندمنشایی بوده و بیانگر تفاوت فرایندهای موثر در طی زمان هستند(در سایت ۱ و ۲ و ۴، سنگفرش قلوه‌سنگی با نام قلوه‌سنگ ماسه‌ای است به جز سایت ۳، که ماسه قلوه‌سنگی است. سایت یک و چهار، دو منشایی محاسبه شدند. سایت ۲، سه منشایی و سایت ۳، تک‌منشأ.) کج‌شدگی زیاد، جورشدگی ضعیف و کشیدگی متفاوت بیانگر آن است که نوع و اندازه رسوب سطحی و عمقی گالی‌ها نتوانسته در همه سایت‌ها به طور کامل در توسعه‌یافتگی آنها موثر باشد. شاید در سایت ۴، توسعه‌یافتگی گلی‌ها را فقط به عامل قطر رسوب منطقه و در سایت ۲، عدم توسعه‌یافتگی گالی‌ها را بتوان به این عامل نسبت داد ولی در دو سایت دیگر یعنی سایت ۱ و ۳، به‌هیچ‌عنوان نمی‌توان توسعه‌یافتگی گالی‌ها را تنها به بافت و قطر رسوب منطقه نسبت داد بنابراین با توجه به تکتونیک فعال در منطقه عوامل تغییر سطح اساس بیش از خصوصیات فیزیکی رسوبات در این مسئله تاثیرگذار بوده‌اند.

واژگان کلیدی: گرمسار، گرانولومتری، مورفومتری، فرسایش خندقی، دشت‌سر.

---

* نویسنده مسئول: E-mail: myamani@ut.ac.ir

مقدمه

فرسایش خندقی یکی از فرایندهای مهم و تهدیدکننده تعادل منابع زیست محیطی و پایداری آن به شمار می‌رود، به گونه‌ای که این تهدید تنها محدود به ایجاد تغییرات نابهنجار در منظر زمین، تخریب اراضی و از بین رفتن خاک و عدم امکان فعالیت‌های کشاورزی و بهره‌برداری اقتصادی از عرصه‌های منابع طبیعی نمی‌شود، بلکه با رخداد و گسترش این نوع فرسایش، جاری شدن تندآب‌ها و سیل، جابجایی حجم قابل توجهی از رسوبات و پیامدهای ناشی از آن و در نهایت، غیرقابل استفاده شدن اراضی تشدید می‌شوند (قدوسی و همکاران، ۱۳۸۴). خندق‌ها که در بیشتر موارد به عنوان شاخص‌های تغییرات محیطی و شاخص تغییر سطح اساس در نظر گرفته می‌شوند، به لحاظ رشد سریعی که دارند، داری اهمیت بسیارند. توسعهٔ خندق‌ها گاه چنان سریع صورت می‌گیرد که با هیچ تدبیری نمی‌توان رشد سریع آن‌ها را کنترل کرد (خطیبی، ۱۳۹۰).

شکل سنجی یا مورفومتری به‌عنوان روش و تکنیک اندازه‌گیری کمی شکل چ شم‌انداز تعریف شده ا ست. در ساده‌ترین حالت، مورفومتری شناسایی اشکال زمین (لندفرم‌ها) ازنظر اندازه؛ ارتفاع (حداکثر؛ حداقل و یا میانگین) وشیب آن‌ها تعریف می‌گردد. اندازه‌گیری‌های کمی به ژئومورفولوژیست‌ها امکان می‌دهد تا با مشاهده غیرمستقیم پدیده‌ها به مقایسه لندفرم‌های مختلف با استفاده از محاسبه پارامترهای کمی شاخص‌های ژئومورفیک بپردازند (گورابی، ۱۳۹۵). با اندازه‌گیری قطرذرات در ر سوبات ناپیو سته می‌توان تغییرات قطردانه‌ها و تراکم(ن سبت در صد هر یک از دانه‌ها) را تعیین نمود (احمدی، ۱۳۷۴). تحلیل‌های گرانولومتریک، یکی از ابزارهای متداول در تعیین من شاء و شناخت ر سوبات به شمار می‌رود که برای رسیدن به این امر، از پارامترهای مربوط به اندازهٔ ذرات و همچنین تحلیل‌های آماری همچون میانگین، انحراف معیار، ک شیدگی، چولگی و... ا ستفاده می‌گردند (گانگ[1]، ۲۰۰۴). ذرات ر سوب دامنه و سیعی از اندازه‌های مختلف ذرات را در بر می‌گیرند(رس تا شن درشت) و با انجام دانه‌سنجی رسوبات و تهیه هیستوگرام آنها می‌توان به بررسی اندازه و نوع رسوب اقدام کرد.

از آنجا که بخش‌های شمالی گرمسار تحت تاثیر فرسایش خندقی قرار دارد لیکن توسعه یافتگی خندق‌ها در یک قلمرو حدود ۳۰ کیلومتر تفاوت‌های زیادی را نشان می‌دهند و مشخص نیست این تفاوت‌های مکانی نتیجه کدام عوامل تاثیرگذار است.

نگاهی به نتایج پژوهش‌های پژوهشگران بیانگر تاثیر نوع خاک و مقاومت افق‌های آن در کنترل ابعاد، عمق و مورفولوژی مقطع عرضی خندق‌ها دارند(پوسن[2] و همکاران، ۲۰۰۳). برخی، فرآیندهای تراوش زیرسطحی را عامل تعیین‌کننده خصوصیات مورفومتری کانال خندق دانسته‌اند (ولنتین[3] و همکاران، ۲۰۰۵). بر اساس این یافته‌ها، نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در افق‌های سطحی و زیر سطحی در مناطق مختلف، از عوامل بسیار مهم در نوع فرآیند غالب در شکل‌گیری رأس و توسعه کانال خندق به شمار می‌آید.

مندز دارت[4] و همکاران (۲۰۰۷) روی کانال‌های ایجاد شده‌ی شبه‌جزیره‌ی ایبری شمالی مطالعه کردند. آن‌ها درکل ۱۳۳ کانال دائمی را با شواهدی از فر سایش خندقی به م ساحت ۷۱/۸ کیلومترمربع در دامنه‌ی شیب‌دار شمالی این ر شته‌کوه شناسایی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر ارتباط بین نوع لایه‌های زیرین و گسترش فرسایش خندقی است.

---

1. Guang
2. Poesen
3. Valentine
4. Menéndez-Duarte

آ شن[1] و همکاران (۲۰۰۸) وقوع فر سایش خندقی را در منطقه‌ای به و سعت ۱۳۰۰۰ کیلومترمربع در جنوب شرق تانزانیا مورد ارزیابی قراردادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که خندق‌ها در تمام واحدهای چشم‌انداز پراکنده‌اند. وقوع این خندق‌ها با زبری سطح، رابطه‌ی مثبت داشتند. در این منطقه وجود جاده‌ها بر وقوع خندق‌ها تأثیر داشتند.

ویا[2] و همکاران (۲۰۰۸) با اسـتفاده از داده‌های GPS در ناحیه خاک‌های سـیاه در شـمال شـرق چین مطالعه‌ای را برای شناخت میزان گ سترش خندق‌ها انجام دادند. نتایج ای شان ن شان دادند مقدار فر سایش خندق‌های موقّتی و دائمی، ۱/۵ برابر مقدار ر سوب از انواع دیگر فر سایش سطحی بوده و در ف صل بهار و هنگام ذوب شدن برف‌ها، سرعت گ سترش خندق‌ها افزایش می‌یابد (مقصودی و همکاران،۱۳۹۱).

بین[3] و همکارانش (۲۰۱۷) به بررسی فرسایش گالی‌ها در سنگ‌های توف در آفریقای جنوبی پرداختند. ایشان به این نتیجه دست یافتند که فرسایش در منطقه با دخالتهای بشر ارتباط نزدیکی دارد و هر کجا که پوشش‌گیاهی آسیب‌دیده، فرسایش افزایش یافته و گالی‌ها بسیار عمیق و عریض گشته‌است.

فرناندز[4] و همکارانش (۲۰۱۷) کاربرد مدل SIMWE را برای آنالیز فرسایش گالی‌ها در تراس‌های کشاورزی در دانمارک مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان برای این کار نتایج این مدل را با شاخص‌های هیدرولوژیکی، بافت خاک و ساختار خاک در تراس‌های کشاورزی مقایسه کردند و به این نتیجه دست‌یافتند که مناطق با بیشترین فرسایش، با جریان رسوب، ظرفیت انتقال و تمرکز رسوب کاملا ارتباط دارد و بافت ریزدانه خاک اجازه افزایش رواناب و توسعه فرسایش خطی و تبدیل آن به گالی‌ها را می‌دهد.

در ایران، راهی (۱۳۸۲) معتقد است اکثر خندق‌های استان بوشهر بر روی رسوبات کواترنر دوران چهارم با املاح زیاد، بافت لومی شنی در عمق و لومی سیلت در سطح با کاربری زراعی و در اقلیم بیابانی گرم ایجادشده‌اند. عواملی مانند خطوط انتقال گاز و نفت و راه‌های ارتباطی در توسعه آن‌ها مؤثرند.

احمدی (۱۳۷۸) بر اساس تحقیقاتی که بر روی اشکال مختلف فرسایش در سازندهای رسی و مارنی در نقاط مختلف ایران انجام داده به این نتیجه رسیده که فرسایش خندقی به‌طور عمده بر روی سازندهای نئوژن (میوسن) دارای املاح گچ و سایر نمک‌های قابل‌حل در آب و در پایین دامنه مارنی که شیب ملایم گردیده و یا در دشت‌های مسطح که ساختار اصلی آن رس یا مارن باشد، ایجاد می‌گردد.

طباطبایی (۱۳۸۴) عوامل طبیعی تأثیرگذار در بروز پدیده‌ی فرسایش خندقی را در اراضی جنوب شرقی شهرستان شوشتر، وجود لایه‌های مارنی و گچی در سازندهای میشان و آغاجاری، رسوب‌های ریزدانه کواترنر متشکل ازذرات ریزدانه ماسه، سیلت و رس، پایداری کم خاک، ساختمان ضعیف خاکدانه‌ها، کمبود مواد آلی، وجود املاح گچ و آهک، بارندگی و تبخیر زیاد و دخالت‌های انسانی تأثیرگذار در بروز پدیده‌ی فرسایش خندقی، چرای مفرط دام‌ها، شخم اراضی در جهت شیب و آبیاری غیراصولی در اراضی کشت آبی عنوان کرده است.

صوفی (۱۳۸۲) در بررسی‌هایی در استان فارس نتیجه گرفت که بخش اعظم خندق‌های استان فارس در اقلیم نیمه‌خشک و خشک با بافت خاک عمدتاً لوم تا لوم شنی و پلان عمومی پنجه‌ای ایجادشده‌اند که عواملی مانند تخریب پوشش گیاهی، کاربری نامناسب اراضی و احداث جاده و آبیاری غیراصولی در توسعه آن‌ها نقش داشته و با مدیریت صحیح قابل‌کنترل

---

[1] . Achten

[2]. via

[3] . bean

[4] . Fernandes

هستند. صوفی (۱۳۸۲)، به نقل از پوسن[1] و همکاران، (۲۰۰۳) اعلام می‌کند که ویژگی‌های شکل‌شناسی نظیر طول، عرض و عمق انواع مختلف خندق‌ها و عوامل کنترل‌کننده آن‌ها مانند پستی‌وبلندی، نوع خاک، کاربری اراضی و هیدرولوژی در دامنه وسیعی از اقالیم به‌طور سیستماتیک جمع‌آوری نشده است. لذا برای اینکه مدیران و کارشناسان بخش اجرایی قادر به پیشگویی احتمال ایجاد انواع خندق در منطقه خود در صورت تغییر کاربری باشند، به چنین اطلاعات کمی نیاز دارند (زنجانی جم و همکاران،۱۳۹۲).

عیسایی (۱۳۸۲) اعلام می‌کند که بخش اعظم فرسایش خندقی در استان گلستان در اقلیم نیمه‌خشک بر روی خاک‌هایی با بافت لومی تا سیلتی لؤم ایجادشده‌اند که با حذف جریان آب سطحی و تقویت پوشش گیاهی قابل‌کنترل هستند. حسین زاده و همکاران (۱۳۸۹) طبقه‌بندی گالی‌های منطقه فیروز کلا نوشهر را بر مبنای ویژگی‌های مورفومتریک و با استفاده از تکنیک آماری چند متغیره انجام دادند.

در پژوهشی محمدابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) ارتباط عوامل مؤثر خاکی و غیرخاکی در ایجاد فرسایش خندقی خطی در حوضه آبخیز آق‌امام (۲) را بررسی و فاکتورهای مؤثر آن را دسته‌بندی و کاوش نمودند. یمانی و عرب عامری (۱۳۹۷) کاربرد آنالیز کمی پارامترهای ژئومورفومتریک حوضه آبخیز منج را در شناسایی مناطق حساس به فرسایش و نیز فرسایش خندقی بررسی نمودند.

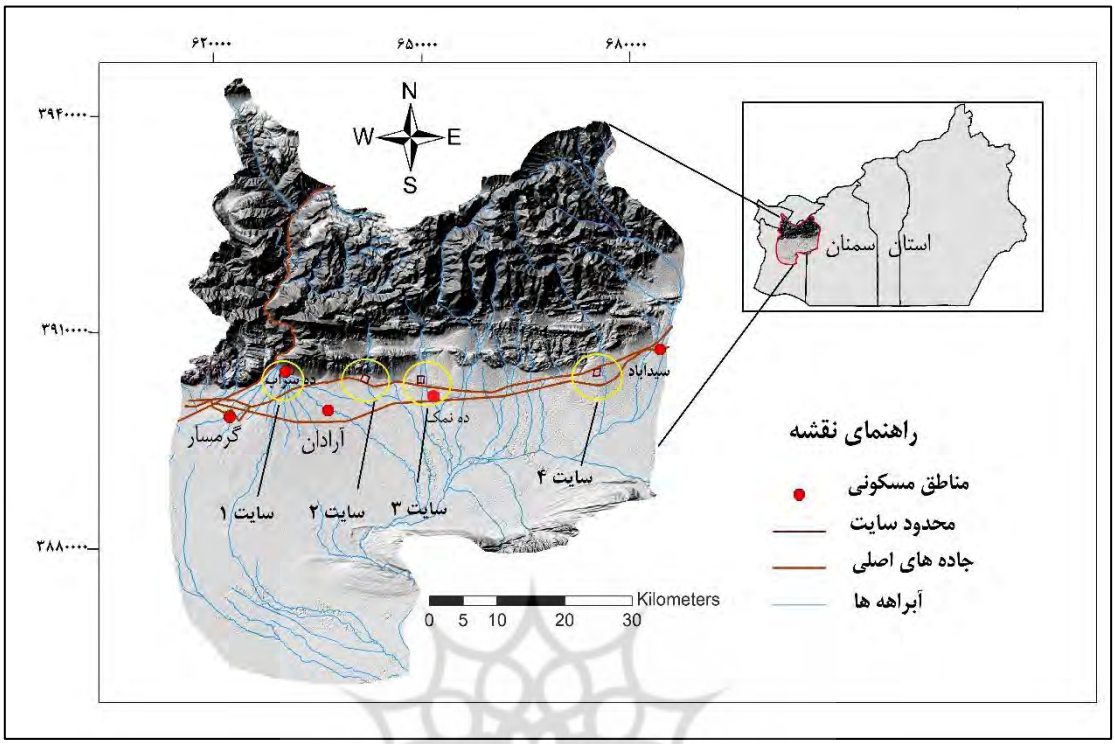
دورسنجی اولیه مورفولوژی لندفرم‌های کوهپایه‌های جنوبی البرز شرقی حد فاصل ایوانکی- سمنان و تمرکز گالی‌ها با الگوی خاص و در مناطقی خاص در حدفاصل گرمسار- سیدآباد و مشاهدات میدانی مکمل، ما را بر آن داشت تا در قالب یک پژوهش، ارتباط بافت رسوبات و توسعه یافتگی خندق‌های این محدوده را به روش تحلیل آماری مورد بررسی قرار دهیم. از آنجا که خندق‌های منطقه به سرعت در حال توسعه و تعریض هستند و مهم‌تر آنکه از نظر مکانی تفاوت‌های زیادی نشان می‌دهند، لذا این پژوهش سعی دارد با بررسی بافت رسوبات سطحی و دیواره گالی‌ها علت این توسعه‌یافتگی و تفاوت‌های مکانی را در قالب چهار سایت مطالعاتی منتخب در شمال‌شرق گرمسار تا سید اباد بیازماید.

محدوده مورد مطالعه

منطقه موردمطالعه بر روی مخروط‌افکنه‌های جنوبی سلسله جبال البرز قرارگرفته که به‌تدریج از شمال به جنوب از ارتفاع آن کاسته شده و به کویر نمک منتهی می‌گردد. این منطقه دشت‌سرهای جنوبی البرز شرقی را شامل می‌شود و خندق‌های مورد بررسی، محدوده‌ای از گرمسار تا سمنان را در بر می‌گیرند، این منطقه بواسطه قرارگرفتن در حاشیه بیابان مرکزی ایران و در نتیجه اقلیم حاکم بر آن، دارای اقلیم بیابانی است، به نحوی که اختلاف درجه حرارت در فصول سرد و گرم سال بیش از ۵۰ درجه سانتی‌گراد است (هواشناسی گرمسار).

پوشش رسوبات سطحی برخی سایت‌های منطقه اغلب متشکل از سنگ فرش بیابانی است که تقریباً تا حد زیادی رسوبات ریزدانه زیرین را پوشانده‌اند. این رسوبات ریزدانه که پلایای قدیمی منطقه راتشکیل می‌دادند بیشتر رس و مارن و ژیپس هستند که رسوبات آبرفتی مخروط‌افکنه‌ای در دوره‌های بعد روی آنها پیشروی کرده‌است. رسوبات پلایا به همراه رسوبات آبرفتی در اثر تکتونیک بالا آمده‌اند و در سطح کنونی منطقه قرار گرفته‌اند. هر کجا هرزآب‌ها، رسوبات رویی را کنار زده‌اند، به راحتی رسوبات ریزدانه زیرین را فرسایش داده و خندق‌ها گسترش یافته‌اند. (شکل ۱)

[1]. Poesen



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه

روش تحقیق

این پژوهش در چند مرحله انجام گرفت: (الف) ابتدا، قلمرو تحقیق با توجه به گالی‌های منطقه به ۴ سایت یا محدوده مطالعاتی تقسیم شد. سایت‌ها با توجه به تفاوت‌ها و تشابهات مورفولوژی سطحی بر روی تصاویر هوایی و بازدیدهای میدانی انتخاب شدند. این سایت‌ها شامل ۳۵ گالی بود که در هریک از سایت‌ها یک گالی شاخص انتخاب و مطالعات بر روی آن انجام گرفت. از داده‌های رسوبی حاصل از برداشت‌های میدانی برای تعیین نوع و اندازه (مورفومتری) رسوبات گالی‌ها استفاده شد. در این راستا سه نمونه از ابتدا، میانه و انتهای طول گالی‌های هر سایت برداشت گردید. جهت بررسی تغییرات عمقی گالی‌ها و فرایندهای آن، سه نمونه نیز از دیواره هر کدام از گالی‌ها از ۲۵٪ ابتدای دیواره، ۵۰ ٪ میانه دیواره و ۷۵٪ انتهایی دیواره گالی‌ها برداشت شد. جمعا ۲۴ نمونه که این نمونه‌ها، در پاکت‌های مخصوص نمونه‌گیری و با عنوان و شماره مشخص جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه منتقل گردیدند(شکل ۲). روش تجزیه‌وتحلیل نیز عمدتاً بر پایه روش تحلیلی است که طی آن متغیرهای تأثیرگذار با یکدیگر مقایسه و ارتباط آنها تحلیل شد.

شکل ۲: نمونه‌برداری و مورفومتری در سطح و دیواره گالی‌های منطقه

(ب) **نمونه‌برداری از رسوب گالی‌ها:** در سایت یک و دو، به دلیل درشت‌بودن رسوب سطحی، در چند باکس ۵ در ۵ متری نمونه‌ها شمارش و تعداد ۸۰۰ نمونه به روش شبکه‌ای انتخاب و مورفومتری گردید و سپس شاخص پهن‌شدگی برای آنها محاسبه و نمودارهای آنها در نرم‌افزار اکسل رسم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. (شکل ۲)

شاخص‌های پهن شدگی و گرد شدگی شاخص‌هایی هستند که برای بررسی قلوه سنگ‌ها(گراول) استفاده می شود. این روش توسط A.Cailleux برای پژوهش‌های ژئومورفولوژی توسعه داده شده‌است.

رابطه شماره ۱: شاخص پهن شدگی $AP= L+I/2E$

AP = شاخص پهن شدگی I=قطر کوچک و L =قطر بزرگ قلوه سنگ E= ضخامت آن می‌باشد.

اگر یک قلوه سنگ کاملا کروی با شد، شاخص پهن شدگی آن عدد ۱ خواهد بود. بنابراین شاخص پهن شدگی در قلوه سنگ‌های رودخانه ای به عدد ۱ نزدیکتر بوده و قلوه سنگهای ساحلی شاخص بزرگتری خواهند داشت. این شاخص‌ها در سنگ‌های مختلف مقادیر متفاوتی نشان می‌دهند (یمانی، ۱۳۹6).

(ج) **کارهای آزمایشگاهی:** در آزمایشگاه ژئومورفولوژی، نمونه‌های برداشت‌شده توزین و نمونه‌های کلوخه‌ای کوبیده و سپس توسط دستگاه شیکر الک شدند. نمونه‌های باقیمانده در هر الک، مجددا وزن گردید و ارقام به دست آمده، به نرم افزار گرادی استات[1] منتقل شد. نمونه‌های درشت نیز مورفومتری گردیدند.

(د) **تجزیه و تحلیل مورفومتری با استفاده از نرم‌افزار GRADISTAT:** از این نرم‌افزار برای تجزیه و تحلیل ارقام به دست آمده استفاده گردید. و سپس نتایج به دست آمده، تحلیل شد و جداول و نمودارها از آن استخراج گردید. در این مرحله از ضرایب مختلف و مولفه‌های گرانولومتری دانه‌ها از جمله: ضریب کو- دو- اف(شاخص جورشدگی کرومباین)، درصد اندازه ذرات تشکیل‌دهنده، یکنواختی یا جورشدگی، میانه، نما، میانگین اندازهٔ ذرات، کج شدگی و کشیدگی ذرات با استفاده از روابط آماری فولک[2] و وارد[3] (۱۹۵۷) استفاده شد.

---

[1] . GRADISTAT

[2] . Folk

[3] . Ward

شاخص های مورفومتری

qdeph یا شاخص کرومباین

شاخص کرومباین[1] از رابطه زیر به دست می آید.

رابطه شماره ۲:

$$Qdeph=(\phi 75-\phi 25)/2$$

در این رابطه، ϕ۲۵ اندازه ذراتی است که ۲۵ درصد رسوب را مشخص می‌کنند و ϕ۷۵، ۷۵ درصد قطر ذرات را نشان می‌دهد. بنابراین (ϕ۷۵-ϕ۲۵) اندازه طولی بین دو حد ۷۵ و ۲۵ درصد رسوب است. هر چه فاکتور به دست آمده کوچکتر باشد، رسوب منظم‌تر است و هرچه این فاکتور بزرگتر باشد، رسوب نامنظم‌تر است (احمدی، ۱۳۷۴).

از روی این ضریب سه نوع رسوب را می‌توان مشخص نمود:

الف- اگر ضریب کو- دو- اف بین ۰/۸ تا ۱ و ۱/۵ به دست آید، نشان‌دهنده سایش کم در رسوب است.

ب- اگر ضریب کو- دو- اف بین ۰/۴ تا ۰/۷ به دست آید، نشان‌دهنده رسوب رودخانه‌ای است.

ج- اگر ضریب کو- دو- اف بین ۰/۲ تا ۰/۳به دست آید، نشان‌دهنده سایش شدید در رسوب است (احمدی، ۱۳۷۴).

یکنواختی یا جورشدگی

یکنواختی یا جورشدگی بدین معنی است که ذرات تشکیل دهنده رسوب تا چه میزان از نظر اندازه یکسان یا متفاوت می‌باشند. هرچه اندازه ذرات رسوب یکسان‌تر باشد رسوب جورشده‌تر بوده یا دارای جورشدگی خوب است، هرچه اندازه ذرات رسوب نایکنواخت‌تر باشد رسوب جورنشده و یا دارای جورشدگی ضعیف است. برای محاسبه جورشدگی روش‌های متعددی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش ضریب جورشدگی تراسک، اندیس کودفی فرانسوی، انحراف معیار معمولی، انحراف معیار جامع یا انحراف استاندارد اشاره کرد. در اینجا جورشدگی به روش انحراف معیار جامع محاسبه شد (فیض‌نیا، ۱۳۷۸).

رابطه شماره ۳:

$$SDI=\frac{\emptyset_{84}-\emptyset_{16}}{4}+\frac{\emptyset_{95}-\emptyset_{5}}{6.6}$$

بر اساس مقدار انحراف معیار در رسوبات، فولک، جدولی را برای میزان جورشدگی ارائه داده است (جدول۱) (موسوی حرمی، ۱۳۷۷).

جدول ۱: جورشدگی رسوبات با استفاده از روش فولک

انحراف معیار استاندارد	جورشدگی
کمتر از ۰/۳۵ فی	جورشدگی خیلی خوب
۰/۰-۳۵/۵ فی	جورشدگی خوب
۰/۰-۵/۷۱ فی	جورشدگی خوب - متوسط
۱- ۰/۷۱ فی	جورشدگی متوسط
۱-۲ فی	جورشدگی ضعیف
۴- ۲ فی	جورشدگی خیلی ضعیف
بیشتر از ۴ فی	جورشدگی فوق العاده ضعیف

[1]. KRUMBEIN

کج‌شدگی

کج‌شدگی، نامتقارن بودن و تمایل منحنی دانه‌بندی رسوب به سمت ذرات ریز یا درشت‌دانه است. در منحنی‌های متقارن، مقدار کج‌شدگی صفر است. منحنی بعضی رسوبات به سمت چپ و مواد دانه‌ریز متمایل شده که میزان کج‌شدگی، مثبت می‌شود. منحنی بعضی دیگر از رسوبات به سمت راست و مواد دانه‌درشت متمایل می‌شود که میزان کج‌شدگی منفی است(موسوی حرمی، ۱۳۷۷).

رابطه شماره ۴:

$$SKI = \frac{\emptyset_{16} + \emptyset_{84} - 2\emptyset_{50}}{2(\emptyset_{84} - \emptyset_{16})} + \frac{\emptyset_{5} + \emptyset_{95} - 2\emptyset_{50}}{2(\emptyset_{95} - \emptyset_{5})}$$

فولک در سال ۱۹۸۰ مقیاسی برای کج‌شدگی ارائه و به شرح زیر آن را طبقه‌بندی کرده است(جدول۲).

جدول ۲: میزان کج‌شدگی (فولک ۱۹۸۰)

کج‌شدگی	نتیجه
۱تا ۰/۳	کج‌شدگی شدید به سمت ذرات دانه ریز
۰/۳ تا ۰/۱	کج‌شدگی به سمت ذرات ریز
۰/۱ تا ۰/۱-	تقریبا متقارن
۰/۱- تا ۰/۳-	کج‌شدگی به سمت ذرات دانه درشت
۰/۳- تا ۱-	کج‌شدگی شدید به سمت ذرات دانه درشت

کشیدگی

کشیدگی عبارت است از اندازه‌گیری نوک تیزی یا کشیدگی منحنی توزیع ذرات که از نسبت جورشدگی دنباله منحنی به جورشدگی قسمت وسط منحنی به دست آمده و با فرمول زیر محاسبه می‌گردد (فیض‌نیا، ۱۳۷۸).

رابطه شماره ۵:

$$Ku = \frac{\emptyset_{95} - \emptyset_{5}}{2.44(\emptyset_{75} - \emptyset_{25})}$$

این فرمول توسط فولک ارائه شده و مقدار بلندی منحنی به طریقه ترسیمی بدست می‌آید. اگر قسمت وسط دارای جورشدگی بهتر باشد منحنی کشیده‌تر و به نام لپتوکورتیک و اگر دنباله دارای جورشدگی بهتر از قسمت وسط باشد منحنی پهن‌تر و پلی‌کورتیک نامیده می‌شود. فولک(۱۹۸۰) مقیاسی برای طبقه‌بندی کشیدگی منحنی‌ها به شرح زیر ارائه کرده است (جدول۳).

جدول ۳: انواع و میزان کشیدگی (فولک ۱۹۸۰)

کشیدگی	نتیجه
کمتر از ۰/۶۷	خیلی پهن
۰/۶۷ تا ۰/۹	پهن
۰/۹ تا ۱/۱۱	متوسط
۱/۱۱ تا ۱/۵	کشیده
۱/۵ تا ۳	خیلی کشیده
بیشتر از ۳	فوق العاده کشیده

بحث و یافته‌ها

یافته‌های حاصل از گرانولومتری دانه‌ها

با انجام کارهای آزمایشگاهی، بر روی نمونه‌های برداشت شده، از ۴ سایت مورد نظر، مولفه‌های گرانولومتری دانه‌ها از جمله: جورشدگی، میانه، نما، میانگین اندازهٔ ذرات، کج‌شدگی و کشیدگی ذرات با استفاده از روابط آماری فولک و وارد (۱۹۵۷) و نرم‌افزار آماری GRADISTAT محاسبه شده‌اند (جدول۴).

جدول ۴: مولفه‌های گرانولومتری گالی‌ها

نمونه	نوع نمونه	نوع بافت	کج شدگی	کشیدگی
سایت ۱	دومنشأیی، جورشدگی خوب	قلوه سنگ ماسه‌ای	به سمت ذرات ریزدانه	بسیارکشیده
سایت ۲	سه منشأیی، جورشدگی متوسط	قلوه سنگ ماسه‌ای	به سمت ذرات بسیار ریزدانه	بسیارکشیده
سایت ۳	تک منشا، جورشدگی ضعیف	ماسه قلوه سنگی	به سمت ذرات ریزدانه	متوسط
سایت ۴	دو منشایی، جورشدگی ضعیف	قلوه سنگ ماسه‌ای	به سمت ذرات بسیارریزدانه	پهن

تجزیه و تحلیل آماری پراکندگی ذرات

همانطور که در جدول شماره (۴) مشاهده گردید:

سایت ۱: از نظر منشا: دارای دو منشاء می‌باشد و جورشدگی خوبی دارد. به نظر می‌رسد علاوه‌بر منشأ رودخانه‌ای رسوبات، عامل تکتونیک نیز در منطقه موثر است که باید بررسی گردد. بافت رسوبات منطقه نیز، قلوسنگ ماسه‌ای است. کج‌شدگی در رسوبات سایت ۱، به سمت ذرات ریز دانه است و ذرات در آن از نظر کشیدگی، بسیار کشیده هستند.

سایت ۲: از نظر منشاء سه منشأیی می‌باشد با جورشدگی متوسط. بافت رسوبات سطحی آن قلوه‌سنگ ماسه‌ای است. رسوبات این سایت از سه نوع رسوب متفاوت تشکیل یافته‌اند، رسوبات بسیار درشت‌دانه که از حوضه بزرگ بالادست به منطقه منتقل شده‌اند، دوم رسوبات متوسط و مخلوطی که از حوضه نزدیک وارد منطقه شده‌اند و و رسوبات سوم رسوبات ریزدانه زیرین که مربوط به پلایای قدیمی منطقه می‌شوند. کج‌شدگی در رسوبات سایت ۲، به سمت ذرات بسیار ریزدانه است و از نظر کشیدگی نیز بسیار کشیده می‌باشند.

سایت ۳: از نظر مشاء: تک‌منشاء محاسبه شده‌است (رسوبات دریاچه‌ای) و جورشدگی آن ضعیف است. بافت رسوب آن ماسه قلوه‌سنگی است و کج شدگی رسوبات آن به سمت ذرات ریزدانه و با کشیدگی متوسط هستند.

سایت ۴: از نظر منشاء: دو منشأیی با جورشدگی ضعیف محاسبه شده‌است که یکی رسوبات درشت سطحی که حاصل آب‌شستگی رسوبات ریزدانه توسط جریانها است و دیگری رسوبات ریزدانه زیرین که منشأ دریاچه‌ای دارند. بافت رسوبات سطحی آن قلوه‌سنگ ماسه‌ای است. کج‌شدگی در رسوبات به سمت ذرات بسیار ریزدانه با کشیدگی پهن می‌باشد.

میانگین: میانگین ذرات در رسوب‌ها، به نوع منبع رسوب، نوع عامل حمل و شرایط رسوب‌گذاری بستگی دارد. میانگین ذرات، متوسط دانه‌های رسوبی و شاخص شرایط انرژی را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول شماره(۴) مشاهده می‌شود، در سایت ۳ میانگین قطر ذرات ۰/۵فی محاسبه شده و از همه سایت‌ها کمتر است و در سایت ۲ با ۰/۵- از همه بیشتر نشان‌داده شده‌است.

جدول ۵: ویژگی های دانه سنجی گالی‌ها

نمونه	میانگین اندازه ذرات (فی)	مد ۱ (فی)	مد ۲ (فی)	مد ۳ (فی)	میانه (فی)
سایت ۱	-۰/۲۸	-۱/۵	۲/۵	-	-۱/۷۳
سایت ۲	-۰/۵	-۱/۵	۰/۵	۲/۵	-۱/۹
سایت ۳	۰/۵۳	۰/۵	-	-	۰/۵
سایت ۴	-۰/ ۱۴	۲/۵	-۱/۵	-	-۱/۸

مد: اندازه ذره که بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده است مد نام دارد. میزان مد در گالی‌های مورد مطالعه محاسبه شد که همان‌طور که در جدول شماره (۵) مشاهده می‌شود سایت ۱ و سایت ۴ دارای ۲ مد می‌باشند که نشان‌دهنده دو منشأیی بودن رسوبات آن است. سایت ۲ دارای ۳ مد است که نشان از سه منشایی بودن رسوبات آن دارد. فقط رسوبات سایت ۳ دارای یک مد هستند. در بررسی‌های میدانی این موارد کاملا قابل مشاهده و تفسیر است.

سایت ۱ و ۴ که دارای دو مد می‌باشند، همانطور که در منطقه نیز مشاهده گردید: سایت ۱ دارای رسوبات درشت‌دانه‌تر در رو و رسوبات مختلط در زیر می‌باشد. سایت ۴ نیز شامل رسوبات درشت‌تر در رو و رسوبات کاملا ریزدانه در زیر است. در سایت ۲، رسوبات به طور واضح از دو حوضه مختلف نشأت گرفته‌اند. یک حوضه کوچک و نزدیک که رسوبات متوسط‌دانه و یک حوضه بزرگ و دورتر که رسوبات بسیار درشت‌دانه را به منطقه منتقل کرده‌است. و در زیر این رسوبات نیز، رسوبات ریزدانه کاملا مشهود است و اینها دلیل ۳ مد بودن رسوب سایت ۲ است. سایت ۳ نیز همانطور که در منطقه مشاهده‌گردید و در محاسبات مشخص شد، از یک نوع رسوب ریزدانه با مقدار بسیار اندکی ریگ‌های ریز که همه از یک منشأ هستند تشکیل شده است.

میانه: اندازه قطر دانه‌ای که در ۵۰ درصد منحنی رسوب مشخص می‌گردد، مدیان یا میانه نامیده می‌شود، هر اندازه میانه بی شتر با شد، ر سوب در شت‌تر ا ست و برعکس هرچه میانه کوچک‌تر با شد ر سوب ریزتر ا ست. اندازه میانه برای ذرات مختلف متفاوت است. همان‌طور که در جدول شماره (۵) مشاهده می‌شود بیشترین میانه مربوط به سایت ۳ است که ۰/۵ محاسبه شده، ولی درسه سایت دیگر اندازه میانه تقریبا" یکسان است.

ضریب کو- دو- اف(شاخص جورشدگی کرومباین):

ضریب کرومباین، برای گالی‌های منطقه مورد مطالعه، محاسبه گردید که به صورت جدول زیر ارائه می‌گردد. جدول (۶)

جدول ۶: ضریب کرومباین گالی‌های مورد مطالعه

نمونه	(ϕ۷۵-ϕ۲۵)	(ϕ۷۵-ϕ۲۵)/۲	نوع رسوب
سایت ۱	۰/۴	۰/۲	سایش شدید
سایت ۲	۰/۶۱	۰/۳	سایش شدید
سایت ۳	۱/۸۶	۰/۹۳	رسوب نامنظم با سایش کم
سایت ۴	۱/۸۳۵	۰/۹۲	رسوب نامنظم با سایش کم

جدول ۷: ضریب کرومباین دیواره گالی‌های مورد مطالعه

نمونه	(ϕ۷۵-ϕ۲۵)	(ϕ۷۵-ϕ۲۵)/۲	نوع رسوب
سایت ۱	۰/۴۲	۰/۲۱	سایش شدید
سایت ۲	۴/۴۳	۲/۲	سایش شدید
سایت ۳	۳	۱/۵	رسوب نامنظم با سایش کم
سایت ۴	-۰/۳	-۰/۱۵	سایش شدید

همانطور که در جدول مشاهده می‌شود: ضریب کرومباین در سایت شماره۱، ۰/۲۱، و در سایت‌شماره ۲، ۲/۲ است که نشاندهنده سایش شدید در رسوبات این دو سایت می‌باشد. ضریب کرومباین در سایت ۳، ۱/۵ است که آنها نشان‌دهنده رسوب نامنظم با سایش کم می‌باشد. ضریب کرومباین در سایت ۴، ۱/۵- است که نشان‌دهنده سایش شدید رسوبات است.

درصد اندازه ذرات تشکیل‌دهنده لایه‌ها:

آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد بافت سطحی غالب نمونه‌های مورد آزمایش، گراولی است(جدول ۸ و ۹). همان‌طور که در جدول آمده است، بیشترین میانگین قطر رسوب مربوط به سایت ۳ و کمترین آن مربوط به سایت ۲ می‌باشد.

بیشتر بافت رسوبات سطحی در سایت‌ها قلوه‌سنگی (گراول) است. سایت ۱، ۸۵/۵ درصدقلوه سنگ، سایت ۲، ۷۲/۳ درصد قلوه سنگ و سایت ۴ با ۶۱/۷ درصد قلوه سنگ، درشت‌ترین رسوبات سطحی را دارا می‌باشند (البته با توجه به اینکه غیر از رسوبات مورفومتری شده سطحی، فقط سایت ۲ دارای تخته‌سنگ‌ها و قطعات بزرگ سنگی نیز بود). پس از آن دانه‌های ریزتر به اندازه ماسه هستند که در سایت۱، ۱۳/۵ درصد در سایت ۲، ۲۶/۲ درصد و در سایت۴، ۳۷/۶ درصد رسوبات را تشکیل می‌دهند .

سایت ۳ از این نظر متفاوت از بقیه سایت‌ها است. زیرا در این سایت بیشترین میزان ذرات را با ۸۳/۲ درصد رسوبات ریز دانه تشکیل می‌دهد و رسوبات درشت قلوه‌سنگی در آن کمتر از بقیه سایت‌ها مشاهده می‌شود. در همه سایت‌ها میزان سیلت (گل) بسیار ناچیز است. دلیل تفاوت در رسوبات سطحی سایت‌ها را می‌توان اینگونه عنوان نمود، در سایت ۱، به دلیل بالا آمدگی گسل گرمسار رسوبات ابتدای مخروط‌افکنه گرمسار افزایش ارتفاع یافته و مخروط‌افکنه‌های کوچکتر اما

پرشیب‌تر و درشت‌دانه‌ای را در منطقه تشکیل داده‌اند. علت درشت‌دانه بودن این رسوبات، بالا آمدگی ابتدای مخروط‌افکنه گرمسار است که شامل رسوبات درشت‌دانه‌تری بوده‌است که این رسوبات در دیواره گالی‌ها و سطح سایت ۱ کاملا یکسان و شبیه به هم دیده می‌شوند.

در سایت ۲، درشت بودن رسوبات به دلیل دو حوضه‌ای بودن رسوبات سطحی است. حوضه بزرگتر، که رسوبات درشت‌تری را با خود به سطح منطقه حمل کرده و حوضه کوچکتر، که رسوبات متوسط دانه مخروط‌افکنه بالادست خود را به منطقه حمل نموده است. در سایت ۳، رسوبات پلایای قدیمی مشاهده می‌شود که بسیار ریزدانه بوده و مشتمل بر نمک و ژیپس هستند.

در سایت ۴ نیز رسوبات سطحی درشت‌دانه که سنگفرش بیابانی را تشکیل می‌دهد حاصل اثر باد و جریانهای آبی است که رسوبات ریزدانه را حمل نموده و رسوبات درشت‌دانه در سطح باقی مانده‌است. ولی در زیر رسوبات سطحی، ذرات کاملا ریزدانه و انحلال پذیر ژیپس و نمک وجود دارد اما در دیواره گالی‌ها به دلیل حمل رسوبات از حوضه بالادست، لایه‌بندی از رسوبات مختلف ریز و درشت نیز مشاهده می‌گردد که حاصل رسوب‌گذاری جریانها در زمانهای مختلف است.

شکل۳: سمت چپ: رسوبات ریزدانه دریاچه‌ای زیرین تصویر سمت راست: رسوبات بالایی دیواره گالی‌ها

جدول ۸: درصد اندازه ذرات دیواره گالی‌های مورد مطالعه

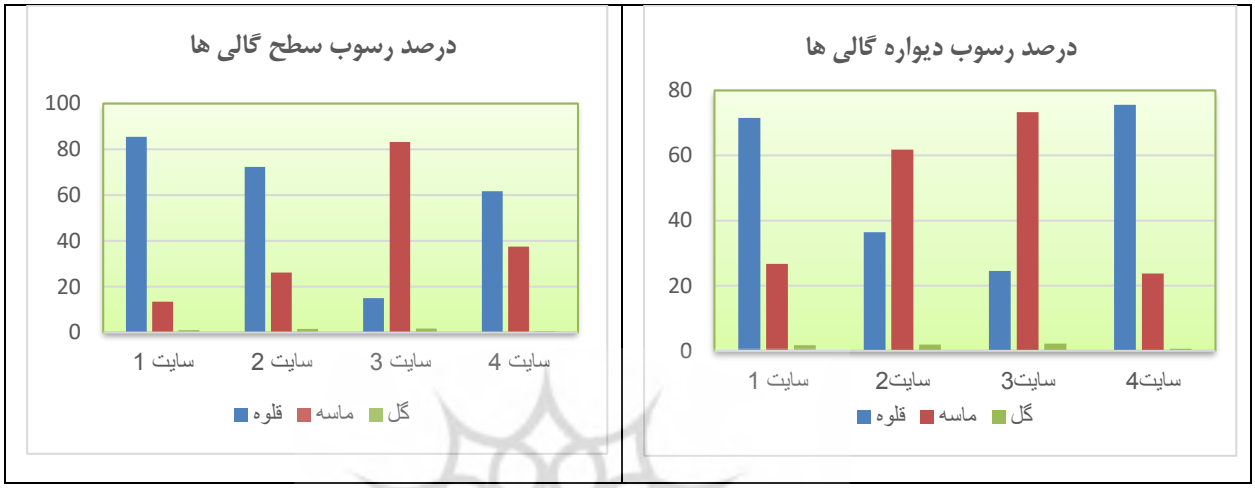
نمونه	قلوه‌سنگ	ماسه	سیلت
سایت ۱	۷۱/۶	۲۶/۷	۱/۷
سایت ۲	۳۶/۴	۶۱/۸	۱/۹
سایت ۳	۲۴/۵	۷۳/۳	۲/۲
سایت ۴	۷۵/۶	۲۳/۸	۰/۶

جدول ۹: درصد اندازه ذرات گالی‌های مورد مطالعه

نمونه	قلوه‌سنگ	ماسه	سیلت
سایت ۱	۸۵/۵	۱۳/۵	۱
سایت ۲	۷۲/۳	۲۶/۲	۱/۶
سایت ۳	۱۵/۱	۸۳/۲	۱/۷
سایت ۴	۶۱/۷	۳۷/۶	۰/۶

از نظر بافت رسوب در دیواره گالی‌ها، سایت‌های مورد نظر متفاوت‌تر هستند. میزان قلوه‌سنگ‌ها در دیواره گالی‌های دو سایت ۱ و ۴ بیشتر از بقیه است در حالی که رسوبات ریزدانه دیواره گالی‌های ۲ و ۳ فراوان‌تر است.

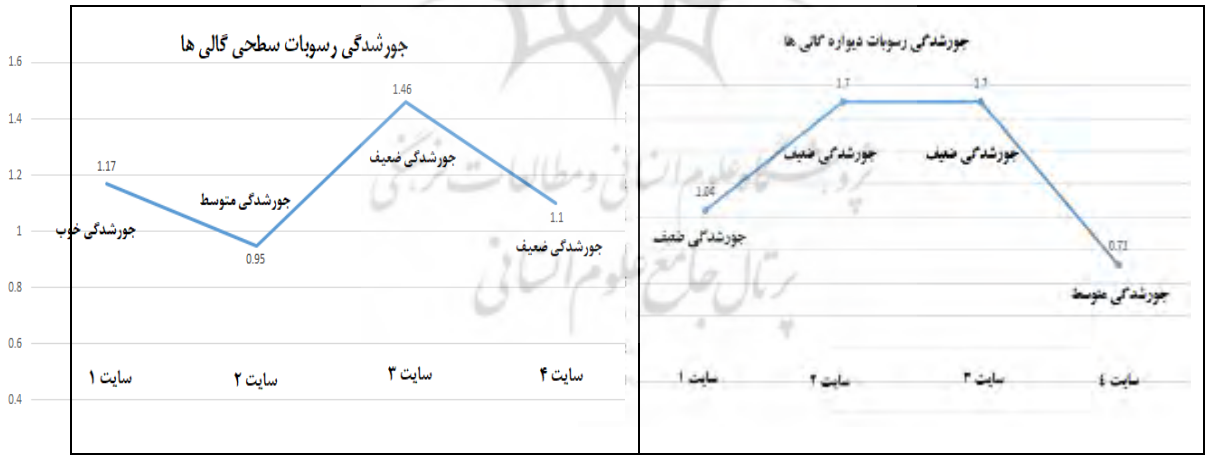
در بیشتر سایت‌ها میزان گل در رسوب سطحی بسیار ناچیز محاسبه شده است (به جز سایت ۳ که کاملا از رسوبات ریزدانه تشکیل شده‌است). ولی از این نظر دیواره سایت ۳ باز هم بیشترین میزان رسوبات گلی را دارا بوده‌است. که در مشاهدات میدانی نیز لایه‌ای از رسوبات گلی سخت شده که رسوبات دریاچه‌ای پلایای قدیمی را تشکیل می‌دهند مشاهده گردید که این رسوبات به مرور در اثر حرکات تکتونیکی گسل گرمسار و گسل‌های موازی آن (سرخه‌کلوت) بالا آمده‌اند. (شکل۳)



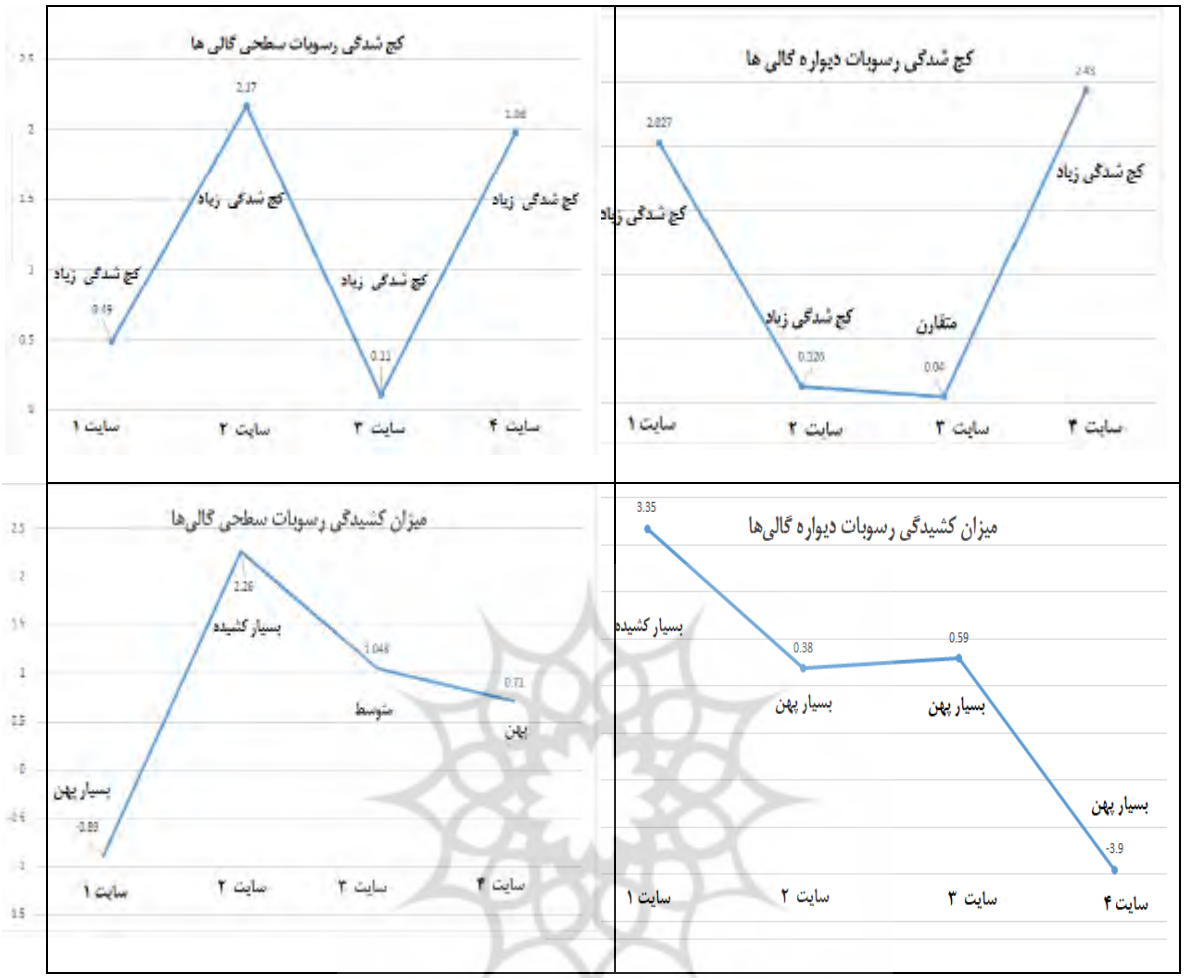
شکل۴: راست: اندازه ذرات تشکیل دهنده دیواره گالی‌ها چپ: اندازه ذرات تشکیل دهنده گالی‌ها

جورشدگی[1]

از روی فاکتور جورشدگی می‌توان به نوع و مکانیسم رسوب‌گذاری و ویژگی‌های جریان پی‌برد.



[1] . sorting



شکل ۵ : میزان جورشدگی، کج‌شدگی، کشیدگی رسوبات سطحی و دیواره گالی‌ها

از نظر میزان جورشدگی همان‌طور که در شکل شماره (۵) مشاهده می‌گردد. در سایت ۱ جورشدگی رسوبات سطحی خوب محاسبه شده است و همان‌گونه که در مشاهدات میدانی نیز بررسی شد این سایت از رسوبات یک دست درشت‌دانه و مخروط‌افکنه‌ای تشکیل شده است.

در سایت ۲، جورشدگی متوسط است که باز هم در این سایت، در مشاهدات میدانی رسوبات درشت‌دانه‌تر سطحی کاملا مشخص بود و در واقع از رسوبات بسیار درشت به‌همراه رسوبات درشت به صورت یکدست در سطح با ضخامت زیاد تشکیل شده بود که در زیر این رسوبات ضخیم، رسوبات ریزدانه مشاهده گردید. و سایت ۳ و۴ هر دو دارای جورشدگی ضعیف هستند. که در مشاهدات میدانی نیز مخلوط بودن رسوبات متنوع در آن ها به خوبی قابل مشاهده بود.

در مورد جورشدگی رسوب در دیواره گالی‌ها همان‌طور که در شکل (۵) نیز مشاهده می شود، در بیشتر سایت‌ها، یعنی سایت ۱، ۲ و ۳، جورشدگی ضعیفی در رسوبات آن وجود دارد و در مشاهدات میدانی نیز مخلوط بودن رسوبات ریز و درشت در دیواره این گالی‌ها کاملا نمایان بود. در سایت ۴ نیز میزان جورشدگی رسوبات دیواره متوسط است.

کج‌شدگی[1]

میزان کج‌شدگی در گالی‌های موردمطالعه محاسبه گردید و با توجه به اینکه بیشتر بافت رسوبات گالی‌ها گراولی است، اغلب دارای کج‌شدگی به سمت ذرات ریزدانه می‌باشند. در سایت ۱، رسوبات به سمت ذرات بسیار ریزدانه میل دارند. در سایت ۲، نیز کج‌شدگی ذرات زیاد و به سمت ذرات بسیار ریزدانه است. سایت ۳، کج‌شدگی به سمت ذرات ریزدانه و سایت ۴، نیز کج‌شدگی به سمت ذرات بسیار ریزدانه میل دارد. که این نوع کج شدگی نشان از تغییر ناگهانی شیب مخصوصا بعد از خط گسل است که رسوبات به طور ناگهانی به سمت ذرات ریزدانه تغییر می‌کنند.

در مورد کج شدگی در ر سوبات دیواره گالی‌ها، سایت۱، کج شدگی زیاد و به سمت ذرات بسیار ریزدانه ا ست. سایت ۲، کج‌شدگی زیاد و به سمت ذرات ریزدانه، سایت ۳، متقارن است و سایت ۴، کج‌شدگی زیاد و به سمت ذرات بسیار ریزدانه است (شکل ۵).

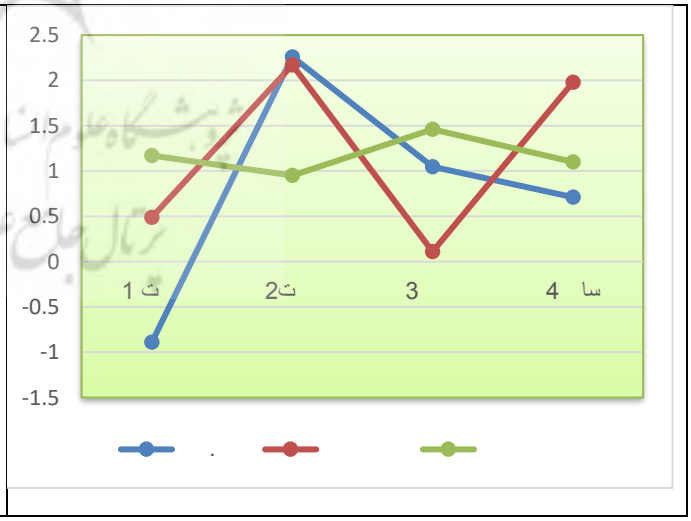
کشیدگی[2]

میزان کشیدگی در رسوب گالی‌های موردمطالعه محاسبه و به صورت جدول زیر ارائه گردید:

کشیدگی منحنی، اطلاعات زیادی در رابطه با جورشدگی و اندازه دانه‌ها می‌دهد که این اطلاعات برای تعبیر و تفسیر محیط رسوبی و همچنین فرایندهای رسوب‌گذاری از اهمیت خاصی برخوردار است. بیشتر اختلافات در منحنی‌ها در رابطه با دنباله آنهاست که این خود نشان دهنده مقدار ذرات دانه‌ریز یا درشت در رسوبات می‌باشد.

همان‌گونه که در جدول نیز مشاهده می‌شود، کشیدگی در سایت ۱، ۰/۸۹- است که رسوبات بسیار پهن محاسبه شده‌است که نشان از گسترش در پوشش سطحی زمین دارد که فرسایش را در منطقه سخت می‌نماید. در سایت۲، ۲/۲۶ است که رسوبات بسیار کشیده‌اند که نشان از دینامیک جریان‌های قدیمی آرام در منطقه دارد که رسوب در جهت جریان کشیدگی می‌یابد. در سایت ۳، ۱/۰۴۸ که کشیدگی متوسط است و در سایت ۴، ۰/۷۱ و رسوبات پهن در نظر گرفته شده‌اند که همان پوشش سطحی رسوبات را توجیه‌پذیر است. از این نظر تفاوت کامل در سایت‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۵).

نمونه	کشیدگی	کج‌شدگی	جورشدگی
سایت ۱	۰/۸۹-	۰/۴۹	۱/۱۷
سایت ۲	۲/۲۶	۲/۱۷	۰/۹۵
سایت ۳	۱/۰۴۸	۰/۱۱	۱/۴۶
سایت ۴	۰/۷۱	۱/۹۸	۱/۱

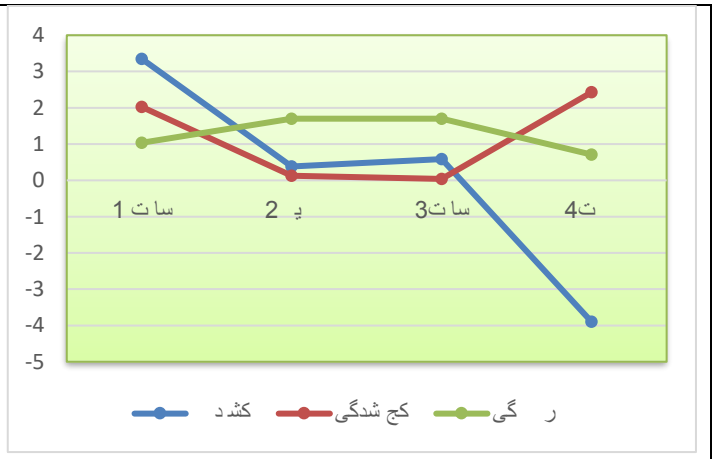


شکل ۶ : میزان جورشدگی و کج‌شدگی و کشیدگی رسوبات گالی‌ها

[1] . skew

[2] . kurtosis

نمونه	کشیدگی	کـــــج-شدگی	جورشدگی
سایت ۱	۳/۳۵	۲/۰۳	۱/۰۴
سایت ۲	۰/۳۸	۰/۱۳	۱/۷
سایت ۳	۰/۵۹	۰/۰۴	۱/۷
سایت ۴	-۳/۹	۲/۴۳	۰/۷۱



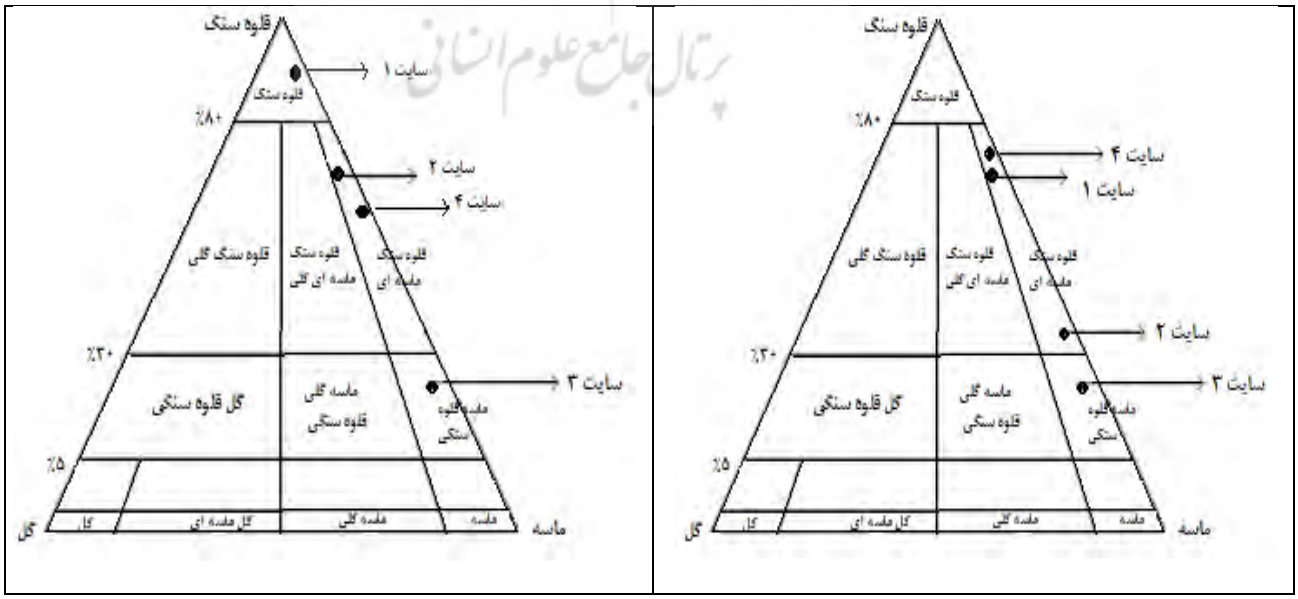
شکل ۷ : میزان کشیدگی، جورشدگی و کج‌شدگی رسوبات دیواره گالی‌ها

تفاوت رسوبات بر اساس اندازه‌دانه‌ها

با تعیین درصد ذرات با قطرهای مختلف می‌توان رسوب را نام‌گذاری کرد. یکی از روش‌های متداول برای نام‌گذاری رسوبات روش فولک(۱۹۵۴) می‌باشد که در این زمینه دو مثلث وجود دارد (موسوی حرمی، ۱۳۷۷).

با توجه به نتایج حاصله از آنالیزهای آزمایشگاهی و نرم‌افزار Gradistat، بافت رسوبات به‌صورت زیر مشخص گردید (شکل ۱۳).

همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، رسوبات سطحی درسایت ۱ گراولی هستند با نام قلوه‌سنگ ماسه‌ای. سایت ۲ قلوه‌سنگ ماسه‌ای. سایت ۳ ماسه قلوه‌سنگی و سایت ۴ نیز قلوه‌سنگ ماسه‌ای هستند. رسوبات سطحی اغلب درشت‌دانه با پوشش سنگ‌فرشی است به غیر از بخش‌هایی از سایت‌ها که اغلب یا به دلیل آب‌شستگی یا به دلیل عوامل انسانی پوشش سطحی سنگ‌فرش از بین رفته است، بقیه سطح سایت‌ها از سنگ فرش پوشیده شده است. در دیواره گالی‌ها هم قلوه‌سنگ ماسه‌ای و ماسه قلوه‌سنگی هستند (شکل ۸).



شکل ۸ : اندازه دانه رسوبات سطحی گالی‌ها (سمت چپ) و دیواره گالی‌ها(سمت راست) به روش فولک

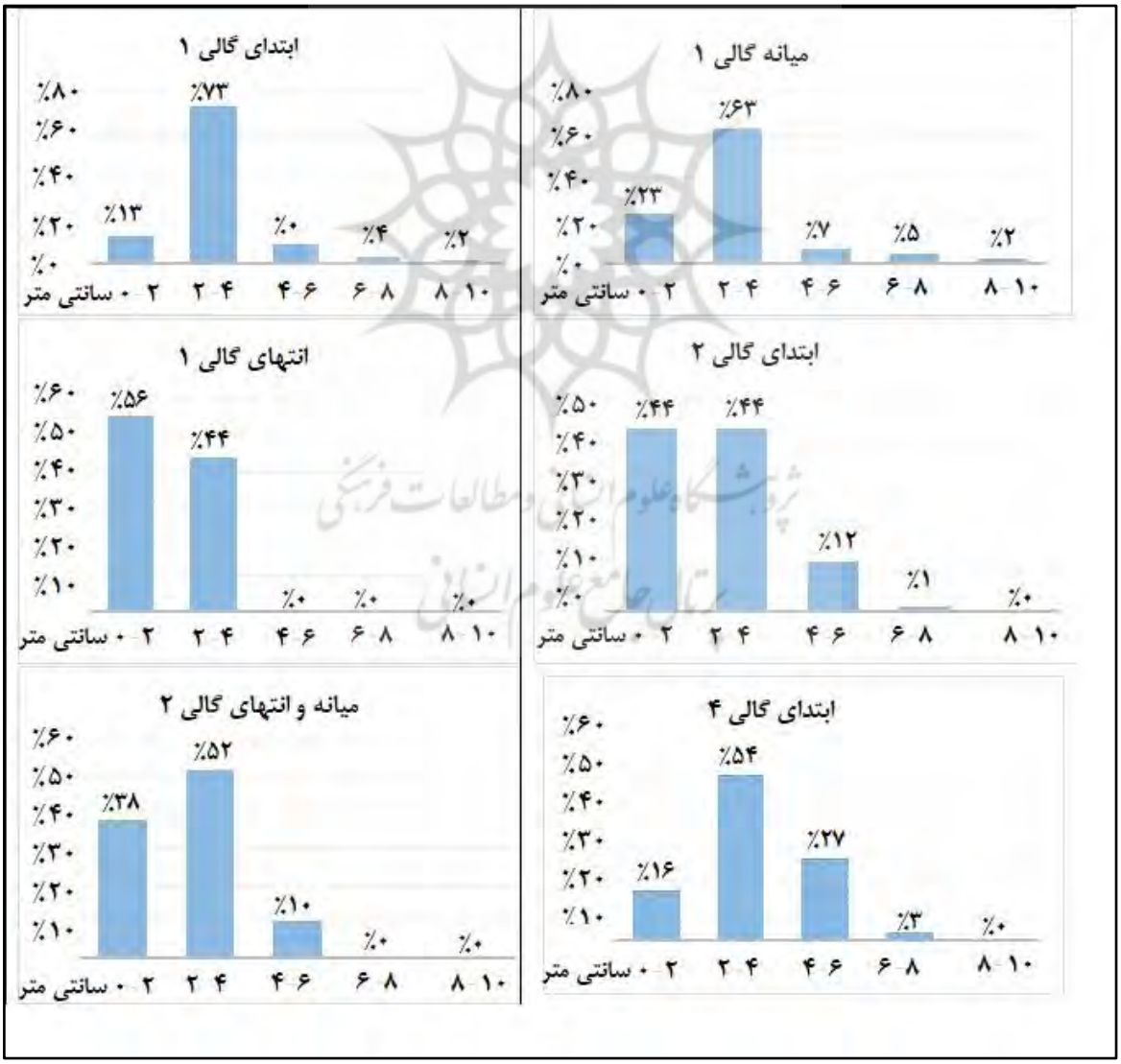
مورفومتری قلوه‌سنگ‌ها و محاسبه ضریب پهن‌شدگی

در سایت یک و دو، به دلیل درشت‌بودن رسوب سطحی، در چند باکس ۵ در ۵ متری، تعداد ۸۰۰ نمونه به روش شبکه‌ای انتخاب و مورفومتری گردید. علاوه برآن دانه‌های درشت‌تر از ۲ سانتی‌متر در رسوبات نمونه‌برداری شده نیز مورفومتری شد. که نتایج به صورت نمودارهای زیر تهیه و مورد مقایسه قرار گرفت.

رابطه شماره ۶ : شاخص پهن شدگی $AP= L+I/2E$

$AP =$ شاخص پهن شدگی $I=$قطر کوچک و $L =$قطر بزرگ قلوه سنگ $E=$ ضخامت آن می‌باشد.

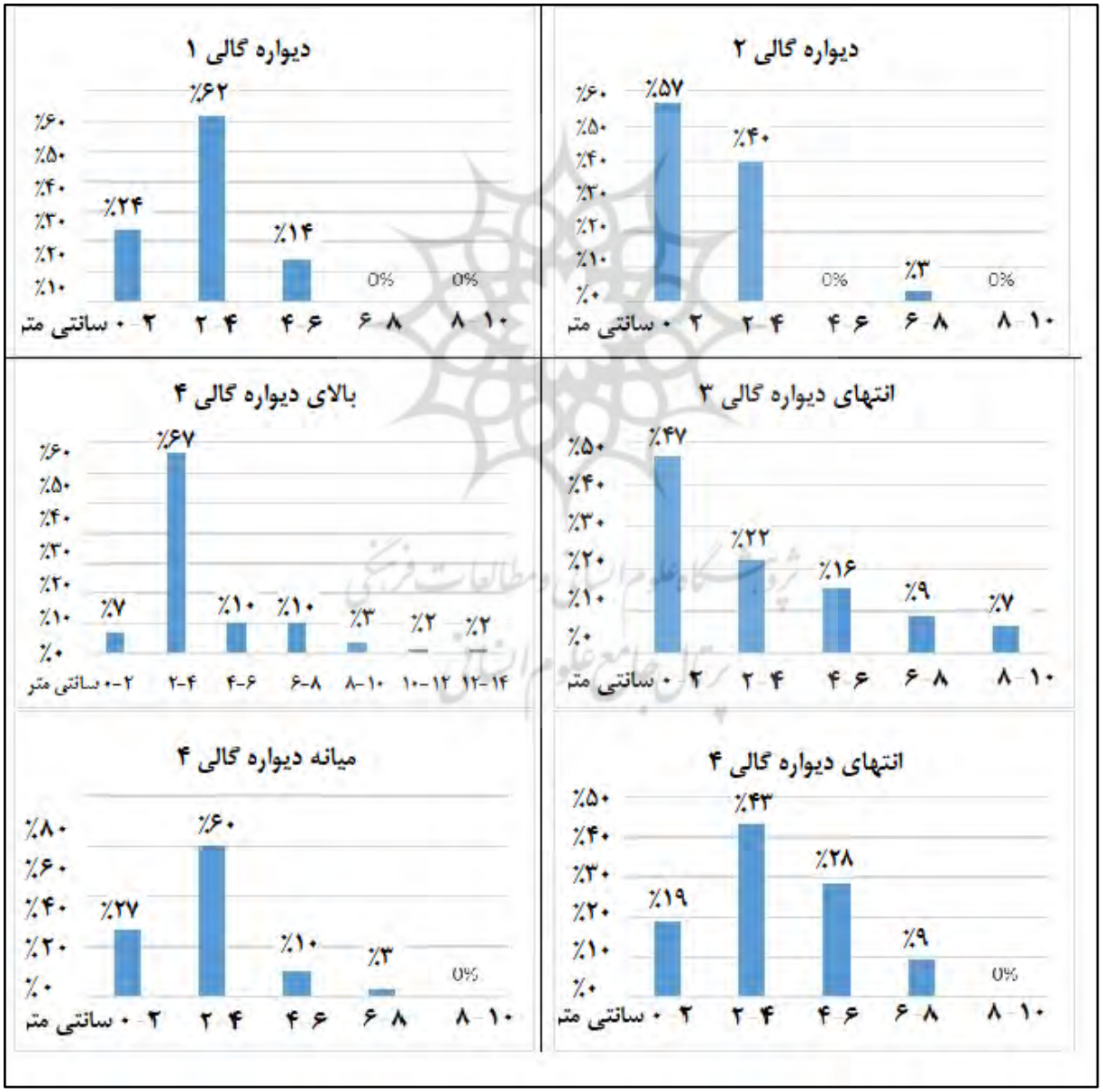
همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود: در ابتدا و میانه سطحی سایت یک، سایش و پهن‌شدگی کمتری در رسوبات گالی نسبت به انتهای همان گالی مشاهده می‌گردد. و همان‌طور که می‌دانیم، هر چه شاخص پهن‌شدگی به یک نزدیکتر باشد، پهن‌شدگی و سایش در رسوب بیشتر است. در انتهای گالی سایت یک، ۵۶٪ رسوبات دارای سایش و پهن‌شدگی هستند که نسبت به همه سایت‌ها بیشتر است و شاید آن هم به دلیل وجود رسوبات حوضه بزرگ بالایی آن باشد که بعد توسط نئوتکتونیک بالا آمده‌اند.



شکل ۹ : شاخص پهن‌شدگی در رسوب سطحی گالی‌های مطالعه شده

پس از آن ابتدای گالی سایت دو با ۴۴٪، پهن شدگی و سایش بیشتری را تجربه کرده است. و همان‌طور که در بررسی‌های میدانی نیز مشاهده شد، رسوبات سایت دو از دو حوضه مجزا نشأت میگیرند. یک حوضه بزرگ و یک حوضه کوچک. رسوباتی که از حوضه بزرگ نشأت گرفته‌اند و فاصله بیشتری حمل شده‌اند، سایش و پهن‌شدگی بیشتری را متحمل گشته‌اند و این مورد کاملا در مورفومتری و تحلیل رسوبات قابل مشاهده‌است.

پس از آن هم رسوبات میانه و انتهای سایت دو پهن‌شده‌تر هستند که دلیل آن نیز همان دو حوضه‌ای بودن این سایت است. رسوبات ابتدا و میانه سطحی گالی ۳ و همچنین رسوبات میانه سطحی گالی ۴، بسیار ریزدانه بودند و رسوبات درشت‌تر در آن به حدی کم بود که نیاز به مرفومتری نبود. در بقیه سایت‌ها نیز پهن شدگی به نسبت کمتر محاسبه شده‌است (شکل ۹).

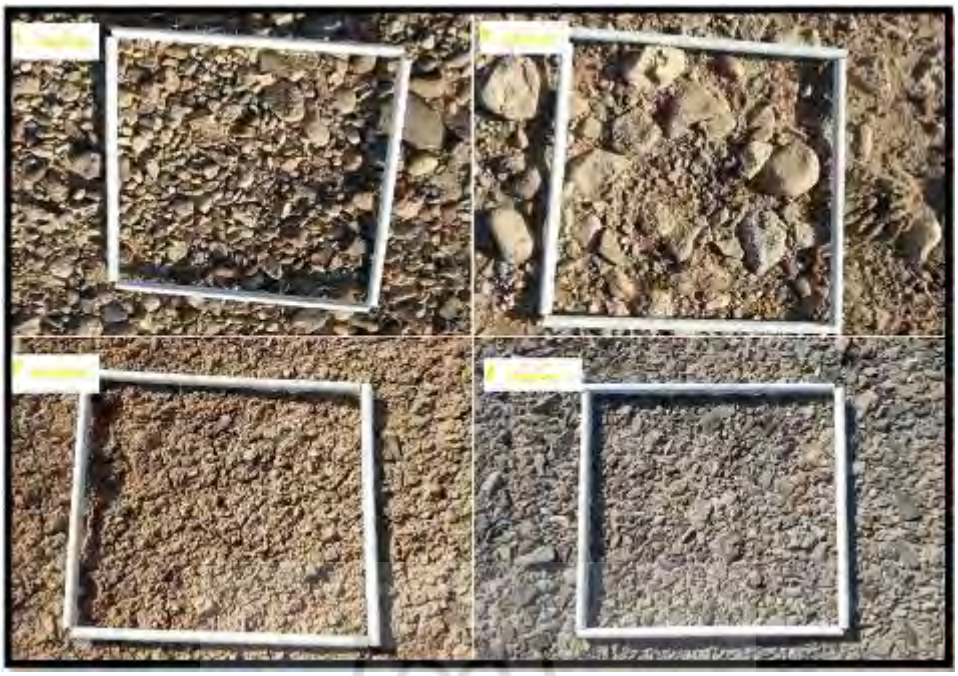


شکل ۱۰: شاخص پهن‌شدگی در رسوب دیواره گالی‌های مطالعه شده

بیشترین پهن‌شدگی و سایش در دیواره گالی‌ها، مربوط به دیواره گالی ۲ با ۵۷٪ است که آن هم به دلیل دو حوضه‌ای بودن این سایت، رسوباتی که از حوضه بزرگ منتقل شده‌اند، سایش و پهن‌شدگی بیشتری را تجربه‌کرده‌اند.
پس از آن رسوبات انتهای دیواره گالی ۳ با ۴۷٪، سایش بیشتری داشته‌است و پهن شده‌ترند. در ابتدا و میانه دیواره گالی ۳، همان‌گونه که در مشاهدات میدانی نیز بررسی شد، رسوبات کاملا گلی و ریزدانه بودند. در بقیه سایت‌ها، رسوبات تقریبا پهن‌شدگی و سایش کمتری را متحمل شده‌اند که نشان از جریان‌های پر انرژی و پر رسوب در منطقه دارند (شکل ۹).

ارتباط بافت رسوبات و توسعه یافتگی گالی‌ها

همان‌طور که در محاسبات قسمت‌هایی قبلی ذکر شد و در بررسی‌های میدانی نیز مشاهده گردید: در سایت ۱، رسوبات قلوه‌سنگی متوسط، در سطح منطقه به‌صورت سنگفرش قرارگرفته‌است و رسوبات آن در سطح از جورشدگی خوبی برخوردار است (شکل ۱۱). در دیواره این گالی‌ها نیز رسوبات تقریبا درشت هستند که با مقدار اندکی رسوبات ریزتر همراهند. همه این شرایط در ابتدای سایت، شرایط مساعدی را برای تشکیل گالی‌ها فراهم نکرده‌است. در این سایت با توجه به اندازه‌گیری و مورفومتری عمق و طول گالی‌ها در مقطع‌های مختلف، مشاهده گردید که در ابتدای سایت تا میانه آن، گالی‌ها بسیار کم‌عمق و کم‌عرض هستند، ولی در انتهای سایت، به طور ناگهانی گالی‌ها عمیق و عریض گشته‌اند و وجود دیواره قائم در انتهای این گالی‌ها که رسوبات را به صورت عمودی بریده‌است، فعالیت گسل در منطقه را تأیید می‌کند. پس در این سایت توسعه‌یافتگی گالی‌ها به‌هیچ‌عنوان با قطر رسوبات منطقه ارتباط خاصی ندارد. زیرا اگر ارتباط داشت باید در ابتدا تا میانه سایت نیز تغییری در عمق و عرض گالی‌ها مشاهده می‌شد.
در سایت ۲، شرایط رسوب سطحی تقریبا شبیه به سایت ۱ است، رسوبات درشت و متوسط قلوه‌سنگی با جورشدگی متوسط (شکل ۱۱)، با این تفاوت که در بررسی‌های میدانی این نتیجه حاصل گردید که این رسوبات از دو حوضه متفاوت منشأ گرفته‌اند. یک حوضه بزرگ و دورتر که رسوبات بسیار درشت‌دانه در اندازه قلوه‌سنگ‌های بسیار بزرگ تا تخته‌سنگ‌ها را به منطقه حمل کرده‌است و حوضه‌ای کوچکتر و نزدیک که رسوبات قلوه‌سنگی ریزتری را به منطقه آورده‌اند (این حوضه های کوچک از بالاآمدگی رسوبات مخروط‌افکنه‌ای بالادستی در اثر گسل ایجاد شده‌اند و رسوبات آن قلوه‌سنگ‌های متوسط را تشکیل می‌دهند ولی حوضه بزرگتر و دورتر رسوبات درشت حاصل از فرسایش فیزیکی سازندهای البرز را به منطقه منتقل نموده‌است). این رسوبات بسیار درشت و متوسط سراسر منطقه را پوشش داده‌اند، به طوری که هرزآبها در مقایسه با سایر عوامل نتوانسته‌اند بر این عامل غلبه کرده و عمق و عرض خاصی پیدا کنند. در زیر این رسوبات ضخیم و درشت سطحی، رسوبات ریزدانه پلایای گذشته مشاهده‌گردید ولی به دلیل پوشش درشت رسوبات سطحی، این رسوبات ریزدانه در گسترش گالی‌ها تأثیری نداشته‌اند و گالی‌ها بسیار کم‌عمق و کم‌عرض باقی‌مانده‌اند. بیشترین عمق آنها 1 متر و بیشترین عرض آنها ۳/۵ متر اندازه‌گیری شد.



شکل ۱۱: رسوب سطحی در ۴ سایت مورد مطالعه

شکل ۱۲: نمونه‌ای از گالی‌ها

در سایت ۳، شرایط کاملا متفاوت است. در این سایت، در سطح منطقه مورد مطالعه، پوشش سنگفرشی یکدستی مشاهده نشد بلکه رسوبات سطحی بسیار ریزدانه به همراه مقدار اندکی قلوه‌سنگ بودند (میزان قلوه‌سنگ در هر باکس ۰/۵ در ۰/۵ متری در سطح منطقه، حدود ۱۰–۱۲ قلوه ریز با قطر زیر ۲ سانتی متر محاسبه شد). و همان‌طور که در نتایج گرادی‌استات در قسمت‌های قبل آمده‌است، پوشش سطحی این سایت ماسه قلوه‌سنگی است (شکل ۱۱) با جورشدگی ضعیف رسوب سطحی و همچنین جورشدگی ضعیف در دیواره گالی‌ها. ولی در بقیه سایت‌ها، رسوب سطحی، قلوه‌سنگ ماسه‌ای است. در سایت ۳، میزان رسوب ریزدانه و گلی در دیواره گالی بیشتر از سایر سایت‌ها بود و این عوامل با هم شرایط را برای توسعه یافتگی شدید گالی‌ها فراهم کرده‌است. در اندازه‌گیری‌های میدانی، گالی‌های این سایت، بیشترین عرض و عمق نسبت به همه چهار سایت مشاهده و اندازه‌گیری گردید (عمق ۲۴ متر و عرض ۹۵/۵ متر). پس در سایت ۳، قطر و اندازه رسوبات با توسعه‌یافتگی گالی‌ها در ارتباط بود. در این سایت علاوه‌بر تأثیر رسوب، به‌نظر می‌رسد عوامل تکتونیکی در توسعه‌یافتگی گالی‌ها بسیار موثر بوده‌است، زیرا گالی‌های سایت ۳ نسبت به کل منطقه مورد مطالعه به طرز عجیبی عمیق و عریض گشته‌اند و وجود دیواره گسلی در قسمت پایینی سایت موردنظر نیز می‌تواند موید همین امر است که باید به‌طور جداگانه در پژوهش‌های بعدی مورد بررسی قرار گیرد.

در سایت ۴، رسوبات سطحی کاملا پوشیده از قلوه‌سنگ‌های متوسط تا ریزدانه است و همان‌طور که در نتایج نرم‌افزار گرادی‌استات نیز آمد، نوع رسوب سطحی آن قلوه‌سنگ ماسه‌ای است و منطقه کاملا پوشیده از این سنگفرش قلوه‌سنگی است (شکل ۱۱). در زیر این پوشش سطحی، رسوبات بسیار ریزدانه پلایای گذشته وجود دارد که هر جا به خاطر هرزآبها یا عوامل انسانی، سنگفرش قلوه‌سنگی از بین رفته است، به راحتی رسوبات ریزدانه زیرین فرسایش داده شده و گالی‌ها گسترش یافته‌اند. در سایت ۴، در قسمت شرقی سایت، به دلیل وجود عوامل انسانی از جمله پساب کارخانه‌ها و معادن و احداث جاده، گالی‌ها بسیار عمیق شده‌اند ولی در بقیه قسمت‌های منطقه، گالی‌ها به نسبت مشخص و شبیه به هم عمق و عرض یافته‌اند. در این سایت نیز توسعه‌یافتگی گالی‌ها با رسوب منطقه ارتباط نزدیکی دارد. با توجه به بررسی‌ها نوع و اندازه رسوب سطحی و عمقی گالی‌ها نتوانسته در همه سایت‌ها به طور مشخص در توسعه‌یافتگی گالی‌ها موثر باشد و توسعه یافتگی گالی ها را باید به یک عامل ثانویه که همان نئوتکتونیک است مرتبط دانست. بنابراین با توجه به تکتونیک فعال در منطقه و وجود گسل‌های فعال نظیر گسل شمالی گرمسار و ارتباط ساز وکار آن نشان می‌دهد که عوامل تغییر سطح اساس بیش از خصوصیات فیزیکی رسوبات در این مسئله تاثیرگذار بوده‌اند.

نتیجه‌گیری

از آنجا که فرسایش خندقی یکی از فرایندهای مهم و تهدیدکننده تعادل منابع زیست محیطی و پایداری آن به شمار می‌رود، در این تحقیق که در چهار سایت مطالعاتی در منطقه گرمسار تا سیدآباد انجام گرفت به مطالعه آنها پرداخته‌شد، ۲۴ نمونه از گالی‌های منطقه برداشت شد و در آزمایشگاه وزن گردید و سپس توسط دستگاه شیکر الک شد و نتایج آن به نرم‌افزار گرادی‌استات منتقل گردید و نتایج حاصل گردید. بافت رسوب سطحی در اغلب سایت‌ها مشتمل بر قلوه‌سنگ بود بغییر از سایت ۳ که رسوبات ریزدانه بیشتری را در برداشت. سایت ۱ و ۴ که دارای دو منشأ می‌باشند، همانطور که در منطقه نیز مشاهده گردید: سایت ۱ شامل رسوبات مخروط‌افکنه‌ای هستند. سایت ۴ نیز شامل رسوبات درشت‌تر در رو و رسوبات کاملا ریزدانه در زیر است. در سایت ۲، رسوبات به طور واضح از دو حوضه مختلف نشأت گرفته‌اند. یک حوضه کوچک و نزدیک که رسوبات متوسط‌دانه را آورده و یک حوضه بزرگ و دورتر که رسوبات بسیار درشت‌دانه را به منطقه منتقل کرده‌است. و در زیر این رسوبات نیز، رسوبات ریزدانه کاملا مشهود است و اینها دلیل ۳ منشأ بودن رسوب سایت ۲ است. سایت ۳ نیز همانطور که در منطقه بررسی گردید، از یک نوع رسوب ریزدانه با مقدار بسیار اندکی ریگ‌های ریز که همه از یک منشأ هستند تشکیل شده است.

همه سایت‌ها دارای کج‌شدگی رسوب به سمت ذرات ریزدانه یا بسیار ریزدانه هستند که نشان از تغییر ناگهانی در شیب منطقه دارد و ضریب کرومبابن نیز نشان از سایش شدید رسوب در سایت یک و دو و چهار دارد ولی سایت ۳ با سایش بسیار کم محاسبه شده است. جورشدگی در رسوب سطحی سایت ۱، خوب محاسبه شده که نشان از یکدست بودن رسوب سطحی منطقه که رسوب مخروط‌افکنه‌ای است، دارد ولی در بقیه سایت‌ها، جورشدگی یا ضعیف است یا متوسط. در دیواره گالی‌ها نیز اغلب جورشدگی ضعیف برآورد شده است. کشیدگی در رسوب سطحی سایت ۱ و۲، بسیار کشیده، در سایت ۳، متوسط و در سایت ۴ پهن محاسبه شده است. کشیدگی در دیواره گالی‌های ۲ و ۳ و ۴ بسیار پهن ولی در دیواره سایت ۱، بسیار کشیده محاسبه‌شده‌است. در مورد شاخص پهن‌شدگی نیز انتهای گالی سایت یک، بیشترین سایش و پهن‌شدگی را در رسوب سطحی نسبت به همه سایت‌ها دارد و شاید آن هم به دلیل وجود رسوبات حوضه بزرگ بالایی آن باشد که بعدها توسط تکتونیک بالا آمده‌اند. بعد از آن هم سایت دو قرار دارد. بیشترین پهن‌شدگی و سایش در دیواره گالی‌ها هم، مربوط به دیواره گالی ۲ است که آن هم به دلیل دو حوضه‌ای بودن این سایت، رسوباتی که از حوضه بزرگ منتقل شده‌اند، سایش و پهن‌شدگی بیشتری را تجربه‌کرده‌اند.

همه این تفاوت‌ها و ناهماهنگی در جورشدگی، کج‌شدگی و کشیدگی را می‌توان نشان از جریان‌های نامنظم و پراکنده و پرانرژی و کم‌انرژی دانست که در منطقه، در طول دوره‌های مختلف بر روی پلایای ریزدانه زیرین، جریان داشته‌است و همچنین تأثیر تکتونیک و بالاآمدگی‌های مقطعی یا دائمی در منطقه که شواهد آن به خوبی در سایت‌های مختلف نمایان بود. در انتهای سایت ۱، پرتگاه گسلی به ارتفاع ۱۰ متر اندازه‌گیری شد و درسایت ۳ نیز تنها قسمت میانی مخروط‌افکنه در اثر تکتونیک بالا آمده و باعث ایجاد گال‌هایی در سطح این مخروط و تنها در قسمتی از آن شده‌است. جریانهای پرانرژی، رسوبات مختلط درشت و ریز را برجا گذاشته و جریان‌های کم‌انرژی، رسوبات ریز دانه را. و همه این شواهد در دیواره گالی‌ها قابل بررسی است. در زیر رسوبات سطحی نیز، رسوبات دریاچه‌ای بسیار ریزدانه پلایای گذشته وجود دارد که در برخی سایت‌ها از جمله سایت ۳، به خوبی مشاهده می‌شود.

بیشتر پژوهش‌هایی که راجع به خندق انجام شده‌است بیشتر با بررسی عوامل خاکی یا غیرخاکی خندق‌ها، فاکتورهای موثر در ایجاد خندق‌ها را بررسی و طبقه‌بندی کرده‌اند، به طور مثال: عیسایی (۱۳۸۲) بخش اعظم فرسایش خندقی در استان گلستان بر روی خاک‌هایی با بافت لومی تا سیلتی لؤم می‌داند که با حذف جریان آب سطحی و تقویت پوشش گیاهی قابل‌کنترل هستند. حسین زاده و همکاران (۱۳۸۹) طبقه‌بندی گالی‌های منطقه فیروز کلا نوشهر را بر مبنای ویژگی‌های مورفومتریک و با استفاده از تکنیک آماری چند متغیره انجام دادند. و در پژوهشی دیگر محمدابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) ارتباط عوامل مؤثر خاکی و غیرخاکی در ایجاد فرسایش خندقی خطی در حوزه آبخیز آق امام (۲) را بررسی و فاکتورهای مؤثر آن را دسته‌بندی و کاوش نمودند. ولی در پژوهش حاضر که در منطقه گرمسار تا سیدآباد بر روی خندق‌ها انجام گرفت، سعی شد به صورت تحلیلی ارتباط بافت رسوبات و توسعه یافتگی خندق‌ها را بررسی و تحلیل نماید و فقط به بررسی داده‌ها و دسته‌بندی آنها اکتفا نگردید. و این نتایج حاصل‌شد که، نوع و اندازه رسوب سطحی و عمقی گالی‌ها نتوانسته در همه سایت‌ها به طور کامل در توسعه‌یافتگی گالی‌ها موثر باشد. شاید در سایت ۴، توسعه‌یافتگی را فقط به عامل قطر رسوب منطقه و در سایت ۲، عدم توسعه‌یافتگی گالی‌ها را بتوان به این عامل نسبت داد ولی در دو سایت دیگر یعنی سایت ۱ و ۳، به‌هیچ‌عنوان نمی‌توان توسعه‌یافتگی گالی‌ها را تنها به بافت و قطر رسوب منطقه نسبت داد بنابراین با توجه به تکتونیک فعال منطقه و وجود گسل‌های فعال نظیر گسل شمالی گرمسار و ارتباط ساز وکار آن نشان می‌دهد که عوامل تغییر سطح اساس بیش از خصوصیات فیزیکی رسوبات در این مسئله تاثیرگذار بوده‌اند که باید در این راستا بررسی‌های بیشتری صورت گیرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- احمدی، حسن،۱۳۷۴، ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱(فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- پی. جی. فوکس. ای. ام، لی. ام. جیمزاس. گریفیتس. ژئومورفولوژی و مهندسی محیط: تئوری و کاربردها. مترجمان: مجتبی یمانی، ابوالقاسم گورابی، ۱۳۹۶، تهران، نشر رصد علم دانشگاه علم و فرهنگ.
- حسین زاده، محمدمهدی؛ اسماعیلی، رضا؛ جوری، حسن؛ پورکلهر، سامانه، ۱۳۸۹، طبقه‌بندی گالی‌ها بر مبنای ویژگی‌های مورفومتریک با استفاده از تکنیک آماری چند متغیره (مطالعه موردی: فیروز کلاً – نوشهر)، پژوهش‌های دانش زمین، سال اول، شماره ۳، صص ۲۹-۴۰.
- خطیبی، مریم؛ بیاتی رجبی، معصومه؛ کرمی، فریبا، ۱۳۹۰، بررسی آستانه‌های توپوگرافیکی و تحلیل نقش نوع سازندهای سطحی در توسعه خندق‌ها در دامنه‌های کوهستان‌های نواحی نیمه‌خشک مطالعه موردی: حوضه شورچای، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۱، شماره ۱، صص ۱۵- ۳۴.
- رفاهی، حسینقلی، ۱۳۸۲، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

- راهی، غلامرضا، ۱۳۸۲، بررسی ویژگی‌های مورفوکلیماتیک آبکندهای استان بوشهر، سومین گردهمایی مجریان استانی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.
- زنجانی جم، مجید؛ صوفی، مجید؛ بیات، رضا؛ رسولی، مسعود،۱۳۹۲، بررسی خصوصیات شکل – اقلیم‌شناسی خندق‌ها به‌منظور طبقه‌بندی مناطق خندقی شده در استان زنجان، پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، شماره ۹۹، صص ۲-۱۰.
- صوفی، مجید، ۱۳۸۳، بررسی ویژگی‌های مورفوکلیماتیک خندق‌های استان فارس، گزارش طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری،۱۳۰ ص.
- صوفی، مجید، ۱۳۸۲، بررسی ویژگی‌های مورفوکلیماتیک آبکندهای استان فارس، سومین گردهمایی مجریان استانی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.
- طباطبایی، محمدرضا، ۱۳۸۴، بررسی تغییرات فرسایش خندقی در استان خوزستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجموعه مقالات دومین همایش فرسایش و رسوب، تهران.
- عیسایی، حسین، ۱۳۸۲، بررسی ویژگی‌های مورفوکلیماتیک آبکندهای استان گلستان، سومین گردهمایی مجریان استانی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.
- فیض نیا، سادات؛ حشمتی، م؛ احمدی، حسن؛ قدوسی، جمال، ۱۳۸۶، بررسی فرسایش آبکندی سازند مارنی آغاجاری در منطقه قصر شیرین، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۴ : صص۴۰-۳۲.
- فیض نیا، سادات،۱۳۷۸، سازندهای دوره کواترنر (مبانی نظری و کاربردی آن در منابع طبیعی)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- قدوسی، جمال؛ داوری، مسعود، ۱۳۸۴، تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رخداد فرسایش خندقی و مرفولوژی خندق‌ها. سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، صفحه ۸.
- گورابی، ابوالقاسم، ۱۳۹۵، تکتونیک فعال (زمین‌لرزه‌ها، بالاآمدگی، و چشم‌انداز)، انتشارات انتخاب، تهران.
- مقصودی، مهران؛ شادفر، صمد؛ عباسی، محمد، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی در حوضه‌ی زواریان استان قم، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره‌ی ۲، صص ۳۵-۵۲.
- محمدابراهیمی، مریم؛ جوادی، محمدرضا؛ وفاخواه، مهدی، ۱۳۹۴، بررسی ارتباط عوامل مؤثر خاکی و غیرخاکی در ایجاد فرسایش خندقی خطی در حوزه آبخیز آق امام (۲)، نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۹، شماره ۴.
- موسوی حرمی، رضا، ۱۳۷۷، رسوب‌شناسی، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- یمانی، مجتبی؛ عرب عامری، علیرضا، ۱۳۹۷، کاربرد آنالیز کمی پارامترهای ژئومورفومتریک حوضه آبخیز در شناسایی مناطق حساس به فرسایش (مطالعه موردی: حوضه منج)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال۷، شماره ۲۶.

- *Achten, W. M. J. Dondeyne, S. Mugogo, S. Kafiriti, E. Poesen, J. Deckers, J. and Muys, B., 2008. Gully Erosion in South Eastern Tanzania: Spatial Distribution and Topographic Thresholds, Zeitschrift für Geomorphologie, 52(2), PP. 225-235.*
- *Folk, R. L., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks, Austin, Hemphill, Texas.*
- *Folk R. L., Ward, M.C., ۱۹۵۷. Brazos River Bar (Texas): A Study in the Significance of Grain Size Parameters, Journal of Sedimentary Research, ۲۷(۱), PP. ۳-۲۷.*
- *Folk, R.L., ۱۹۵۴. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rocks. Journal of Geology, ۶۲, ۳۴۴-۳۵۹.*

- *Guang, h., 2004. A quantitative analysis on the sources of dune sand in the Hulun Buir Sandy Land:application of stepwise discriminant analysis (SDA) to the granulometric data. Journal of Geographical Sciences 2004. 14(2): 177-186.*
- *J. Fernandes, C.Bateira, L. Soares, A. Faria, A. Oliveira, C. Hermenegildo, R. Moura, J. Goncalves,. 2017. SIMWE model application on susceptibility analysis to bank gully erosion in Alto Douro Wine Region agricultural terraces, catena, 153, pp. 39-49.*
- *Menéndez-Duarte, R. Marquínez, J. Fernández-Menéndez, S. Santos, R., 2007. Incised Channels and Gully Erosion in Northern Iberian Peninsula: Controls and Geomorphic Setting, Catena, 71(2), PP. 267-278.*
- *Poesen, J. Nachtergaele, J. Verstraeten, G. and Valentin C., 2003. Gully Erosion and Environment Change: Importance and Research Needs, Catena, 50, pp 91-133.*
- *TA. bean, PD. Sumner, R. boojhawon, V. Tatayah, A. K. Khadun, DW. Hedding, SDDV. Rughooputh, W.Nel., 2017. Bedrock- incised gully erosion phenomena on Round Island, Mauritius, catena, 151, pp. 107-117.*
- *Valentine, C. Poesen, J. and Yong, Li., 2005. Gully erosion: impact, factors and measures for its control on cultivated lands. Agricultural Paper. 81. FAO,Rome.*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی