بررسی نقش مستقیم و غیر مستقیم عوامل زمین‌ساختی و نوزمین‌ساختی در وقوع لغزشها
مطالعه موردی: دامنه‌های شمالی قوشه‌داغ و دامنه‌های شمال غربی سبلان

مریم بیاتی خطیبی، استادیار دانشگاه تبریز

۱ـ چکیده

فعالیتهای زمین‌ساختی و پیامدهای ناشی از آن، از جمله عوامل بی‌ثباتی دامنه‌هاست. در بیشتر موارد، در بخشهای مختلف دنیا پراکندگی اشکال ژئومورفولوژیکی ناشی از بی‌ثباتی دامنه‌ها در کنار خطوط گسل و در اطراف بخشهای فعال از نظر زمین‌ساخت بیشتر است. محققین با عنایت به این مسأله، سعی نموده‌اند نقش زمین‌ساخت و نوزمین‌ساخت را در وقوع این پدیده‌ها با کاربرد روشهای مختلف مطالعه نمایند. در منطقه مورد مطالعه (موقعیت جغرافیایی ۱۵p,°۳۸ تا ۳۹p,°۳۸ عرض شمالی و ۰۹p,°۴۷ تا ۳۰p,°۴۷ طول شرقی، واقع بین اهر و مشکین‌شهر) که پراکندگی لغزشهای بزرگ و کوچک قابل‌ملاحظه است، فعالیتهای زمین‌ساختی و نو زمین‌ساختی در پدیدارشدن بسیاری از اشکال ژئومورفولوژیکی نقش اساسی ایفا می‌نماید؛ لذا در این مقاله، سعی شده‌است با استفاده از روشهای رقومی و ترسیمی، میزان سهم عوامل مذکور (به‌طور مستقیم و غیرمستقیم) در وقوع لغزشها تعیین شود. نتایج بررسیهایی که با اطلاعات حاصل از پایشهای مکانی نیز همراه شده‌است، مبیّن آن است که لغزشهای منطقه، معلول عوامل متعددی است که زمین‌ساخت یکی از آنهاست.

کلید واژه‌ها: زمین‌ساخت، نوزمین‌ساخت، لغزش، سیستم زهکشی، قوشه داغ، سبلان

۲ـ مقدمه

حرکات توده‌ای به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم، در بیشتر موارد معلول فشارهای زمین‌ساختی، بویژه اعمال فشارهای افقی در سازندهای سطحی می‌باشند [۱]. در بخشهایی از جهان، حضور گسلها و یا درزه‌های بزرگ، در وقوع حرکات توده‌ای بسیار مؤثرند؛ چراکه لغزشها اغلب موارد در طول گسلها تمرکز می‌یابند. یکی از دلایل این تمرکز، زمینه مساعد برای هوازدگی و جابه‌جایی مواد برای جابه‌جایی بر روی سطوح شیبدار است. تشدید هوازدگی در طول این گسلها باعث تعریض درزها می‌گردد و در نهایت بر نفوذپذیری سنگها می‌افزاید [۲]. در نتیجه، باعث ناپایداری دامنه‌ها، بویژه در طول خطوط گسل می‌گردد. در واقع ریزشها، لغزشها، جریان خاکها و سنگها در سراشیبی‌های کوهستانها نتیجه عمل هوازدگی و تخریب مصالح طبیعی، افزایش شیب دامنه‌ها بر اثر فرسایش و فعالیتهای زمین‌ساختی و نقش عوامل دیگری چون

زمین‌لرزه‌ها و بارندگی و ذوب برفهاست؛ بنابراین به‌طور کلی می‌توان گفت وقوع این حوادث در دامنه‌ها و در کناره دیواره دره‌ها، در واقع عمدتاً به وضعیت توپوگرافی، زمین‌شناسی و اقلیمی منطقه بستگی دارد.

حضور گسلها در هر ناحیه حاکی از حضور محلهای ضعف و محدوده‌هایی با پتانسیل زیاد به بروز مخاطرات است؛ زیرا، در آینده احتمال حرکت زمین و یا وقوع زمین‌لرزه در طول چنین شکستگی‌هایی بسیار زیاد می‌باشد. در نتیجه، احتمال حرکت توده زمین در این محلها نیز بیشتر است. به‌همین دلیل، معمولاً در پهنه‌بندی مناطق خطر، بویژه از دیدگاه وقوع لغزشهای بزرگ، چنین مناطقی به‌عنوان مناطقی با احتمال خطر زیاد در نظر گرفته می‌شوند [۳].

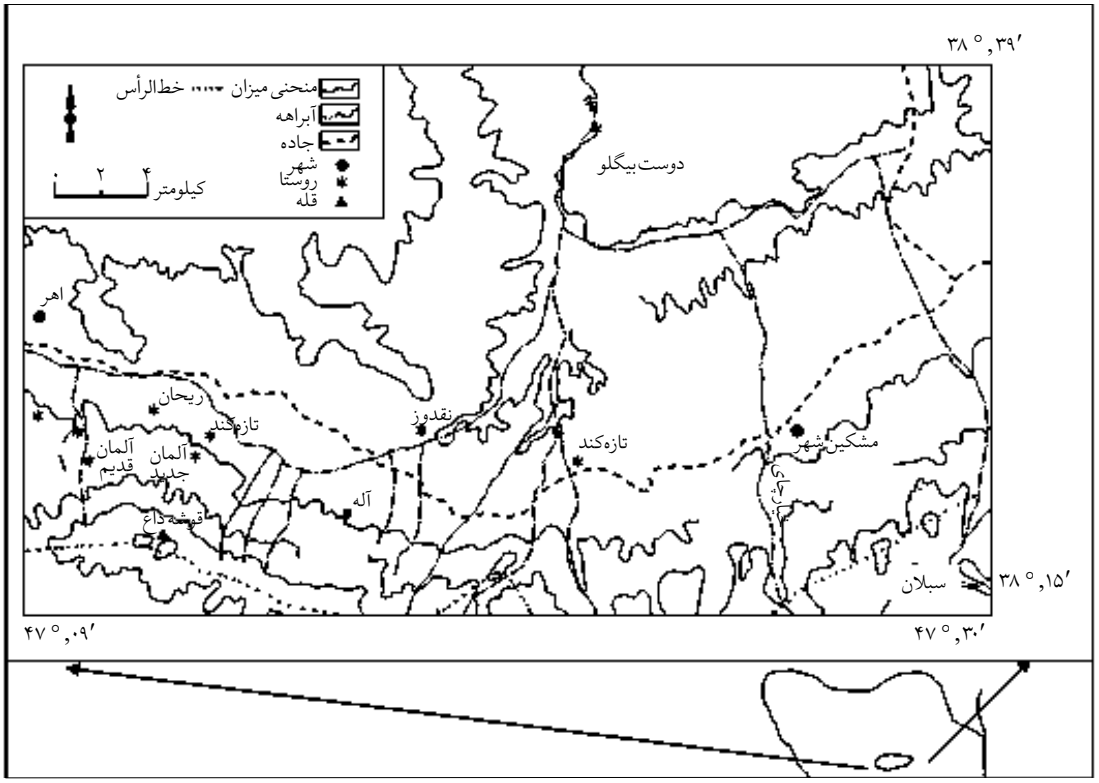
در محدوده‌های گسلها، آبها امکان نفوذ می‌یابند و با خیس نمودن مواد سطحی، احتمال لغزشها را افزایش می‌دهند. از طرف دیگر با نفوذ آب، امکان تجزیه و تشکیل مواد منفصل در روی سطوح شیب‌دار و در نتیجه در صورت وجود شرایط لازم دیگر، احتمال لغزش مواد حاصل از تجزیه فراهم می‌گردد [۴، ۵ و ۶]. محل گسلها، محلهایی با احتمال لرزش زیاد و لغزش زیاد نیز محسوب می‌شوند [۷، ۸، ۹ و ۱۰].

در منطقه مورد مطالعه، پراکندگی لغزشها و گسلها قابل ملاحظه و زمین‌ساخت منطقه نیز بسیار فعال است. در نظر گرفتن این نکته که بعضی از لغزشهای منطقه در کنار گسل و در محدوده‌هایی با زمین‌ساخت فعال رخ داده‌اند، بررسی میزان نقش احتمالی گسلها و فعالیتهای زمین‌ساختی در بروز لغزشهای منطقه را توجیه‌پذیر می‌نماید. با این توجیه، ابتدا میزان سهم گسلها در جهت‌دهی آبراهه‌ها و در نتیجه در وقوع حرکات توده‌ای، سپس نقش مستقیم حضور گسلها و فعالیتهای زمین‌ساختی بررسی شده است. با توجه به اینکه علت بخش بزرگی از لغزشهای برش پای دامنه‌ها توسط آبهای جاری و یا ایجاد خندقهاست، در مرحله نخست ویژگیهای زهکشی منطقه باید مورد مطالعه قرار گیرد. در این راستا، ابتدا، خصوصیات زهکشی منطقه، با استفاده از روش هورتون و استراهلر و میزان تأثیرپذیری جهت آبراهه‌ها با استفاده از نمودارهای گل سرخی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. سپس نقش عوامل مختلف در وقوع لغزشها (در کنار نقش گسلها) با استفاده از روشهای آماری و محاسبه باقی‌مانده‌ها و یا محاسبه تراکم لغزشها در ارتباط با سایر عوامل، تحلیل و بررسی شده‌است. درنهایت، با اتکا به نتیجه حاصل از تحلیل‌های آماری و اطلاعات حاصل از پایش‌های مکانی، رابطه لغزشها با حضور گسلها و یا رابطه حضور گسلها با وقوع لغزشها مورد مطالعه قرار گرفته و نتیجه‌گیریهای نهایی با در نظر گرفتن کلیه موارد صورت گرفته‌است.

۳ ـ موقعیت جغرافیایی، ویژگیهای زمین‌شناسی و خاک شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران و در محدوده جغرافیایی ۳۸°,۱۵p تا ۳۸°,۳۹p عرض شمالی و ۴۷°,۰۹p تا ۴۷°,۳۰p طول شرقی، بین اهر و مشکین‌شهر گسترده شده‌است (شکل۱). این منطقه، توسط رودخانه اهر و قره‌سو زهکشی می‌شود و از نظر اقلیمی نیز با متوسط بارندگی ۳۵۰ میلیمتر در سال در زمرهٔ نواحی نیمه‌خشک، محسوب می‌شود. نزدیک به ۵۰ درصد نزول بارندگی منطقه در فصل بهار می‌باشد. رگبارهای بهاری در سایش سطوح شیبدار و در تشکیل و توسعه خندقها نقش اساسی دارند.

توپوگرافی منطقه تنوع خاصی دارد. این تنوع مربوط به ساختار زمین‌شناسی، فعالیتهای زمین‌ساختی و سپری شدن



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی و ویژگیهای توپوگرافی محدوده مورد مطالعه

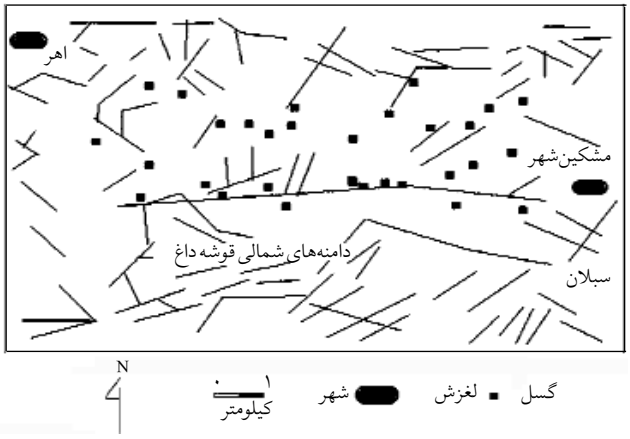
دوره‌های مختلف اقلیمی است. برونزدهای سنگی منطقه، شامل سنگهای آذرین و رسوبات دوره پالئوسن می‌باشد که در بخشهای مختلف دیده‌می‌شوند. واحدهای آهکی که در غرب منطقه برونزد نموده، از ضخامت قابل‌ملاحظه‌ای برخوردارند (۲۰۰ متر) و از واحدهای رسوبی مربوط به کرتاسه محسوب می‌شوند. در بخش فوقانی واحدهای یادشده، مارن‌ها و شیل‌هایی وجود دارد که حاصل فعالیت شدید فرآیندهای فرسایشی در دوره‌های گذشته هستند. در شرایط کنونی به لحاظ وجود بستر مساعد، وقوع پدیده‌های مختلفی از جمله لغزشهای بزرگ و کوچک و تشکیل خندقهای متعدد بر روی این سازندها بیشتر مشاهده می‌شود. رسوبات اوایل کواترنر، که عمدتاً متشکل از کنگلومراها می‌باشند، به‌سهولت توسط چینه‌بندی ناجور و شکل هموار قابل تشخیص هستند و اغلب در دره‌ها و فرورفتگیها رسوب نموده‌اند. در کف خندقهای عمیق منطقه، که اغلب در روی تراس‌های قدیمی تشکیل شده‌اند، می‌توان شاهد رخنمون رسوبات مذکور بود. آبرفتهای قدیمی منطقه که با تغییرات اقلیمی بعد از پلیستوسن در رابطه‌اند، ضخامت قابل ملاحظه‌ای دارند (در حدود ۱۰۰ متر) و تاکناره دامنه‌ها و گاه تا ارتفاعات بالاگسترده شده‌اند. آبرفتهای مذکور به لحاظ ویژگیهایی که دارند و به دلیل اینکه هنوز هم به استحکام کامل نرسیده‌اند، زمینه مساعدی را برای وقوع لغزشها و تشکیل خندقها در منطقه فراهم ساخته‌اند.

۴ ـ بررسی ویژگیهای زمین‌ساختی منطقه و اهمیت توجه به نقش زمین‌ساخت در وقوع لغزشها

به لحاظ اهمیت رخدادهای زمین‌ساختی در ایجاد گسل و اینکه گسلها جهت‌دهنده مسیر آبهای سطحی، زیرقشری و خروج آبها از مکانهای ویژه مستعد به لغزش می‌باشند، باید نقش آنها از ابعاد مختلف در بروز ناپایداری دامنه‌ها مورد مطالعه قرارگیرد. در محدوده مورد مطالعه، اطلاعات حاصل از پایشهای

میدانی و بررسی عکسهای هوایی نیز مبیّن آن است که پراکندگی لغزشها در اطراف چنین خطوطی بیشتر است.

در منطقه مورد مطالعه، پراکندگی گسلهای متعدد، قابل توجه است (شکل ۲). این گسلها که حاصل رخدادهای زمین ساختی در گذشته است، در بعضی از مناطق به سختی قابل تشخیص است؛ امّا در بخشهایی که آبراهه‌ها عمیق و یا ترانشه‌هایی با اهداف مختلف در مواد سطحی ایجاد شده است، به سهولت قابل تشخیص هستند. در محدوده‌هایی از منطقه که سازندهای سطحی، اشکال ناشی از فعالیتهای زمین ساختی را پوشانده‌اند، تشخیص و پی‌گیری گسلها از نقشه‌های زمین‌شناسی صورت گرفته است.



شکل(۲): پراکندگی خطوط گسل و لغزشها در دامنه‌های شمال غربی سبلان و دامنه‌های شمالی قوشه‌داغ (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر و عکسهای هوایی ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ منطقه)

نظر به اینکه در بعضی از موارد خطوط زهکشی از خطوط گسل پیروی می‌کند و در واقع در بعضی از مناطق، خطوط و تراکم گسلها، تراکم و جهت‌گیری سیستم زهکشی منطقه را تعیین می‌کند، بررسی خطوط زهکشی در چنین مناطقی و میزان انطباق آن با خطوط گسل می‌تواند اطلاعات مهمی در رابطه با نقش گسلها در وقوع لغزشها ارائه دهد. با این نگرش، گسلهای منطقه مورد بررسی قرارگرفته‌اند (جدولهای ۱ و ۲). در این مطالعه، به‌منظور بررسی ویژگیهای خطوط گسل، تأثیر آنها بر سیستم زهکشی منطقه و در نهایت در امر نتیجه‌گیری در مورد نحوه تأثیر سیستم‌های گسل در وقوع لغزشهای منطقه، با هدف بررسی پراکندگی گسلها، طول گسلها و جهت‌گیری آنها، از نمودارهای گل سرخی استفاده شده است (شکلهای ۳ و ۴).

جدول (۱): جهت‌گیری، تعداد گسلها (N)، میانگین طول گسلها (X)، مجموع طول گسل (ΣX) و انحراف معیار کل گسلهای منطقه (σ)

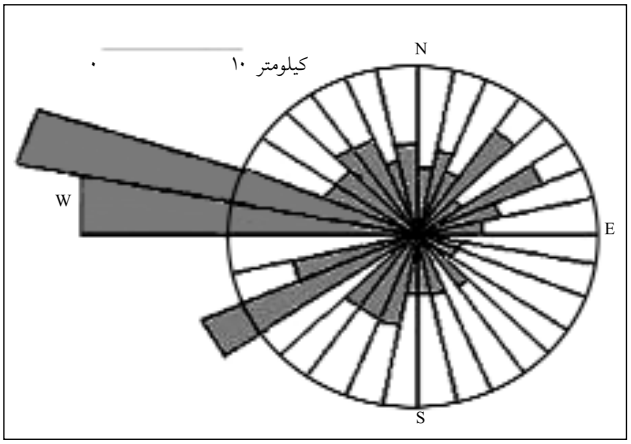
جهتهای جغرافیایی	X	N	ΣX	σ
N015 E N035 E	۵/۵۸	۴۳	۲۳۹	۲/۶۸
N035 E N075 E	۶/۱۳	۵۱	۳۱۳	۴/۷
W 075 E W090 E	۷/۴	۱۶	۱۱۸/۵	۵/۵۱
N035 W W075 E	۶/۶۹	۴۳	۲۸۸	۱۳/۲
N000 W N015 W	۴/۳۶	۳۰	۱۳۱	۲/۸۷
N000 E N015 E	۵	۵	۲۵	۲/۴۲
		ΣN=۱۸۸	ΣX=۱۱۱۴/۵	

جدول (۲): جهت، متوسط طول و مجموع طول و انحراف معیار گسلهای دامنه‌های شمالی قوشه داغ

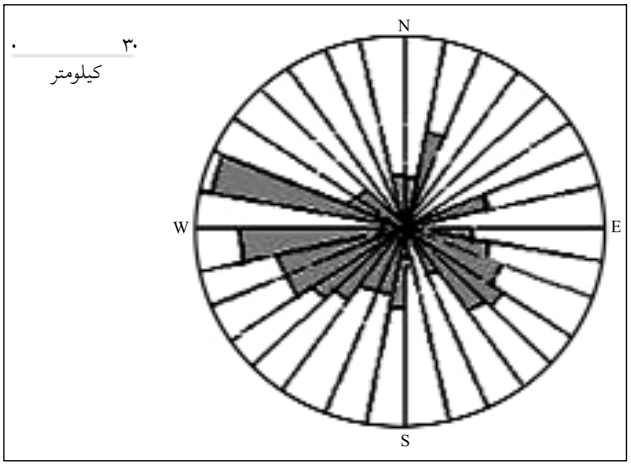
جهتهای جغرافیایی	N	ΣX	X	σ
N 000 E , N 025 E N 180 E , N 215 E	۱۲	۶۳/۵	۵/۳۹	۲/۶۴
N 025 E , N 055 E N 215 E , N 245 E	۲۰	۹۶	۴/۸	۲/۶۷
N 055 E , N 090 E N 245 E , N 270 E	۲۰	۱۰۹/۵	۵/۴۷	۲/۵۵
N 090 E , N 125 E N 270 E , N 305 E	۲۶	۱۳۹	۵/۳۶	۳/۱۴
N 125 E , N 155 E N 305 E , N 335 E	۱۶	۸۷/۵	۵/۴	۲/۶۷
N 155 E , N 180 E N 335 E , N 360 E	۸	۴۳	۵/۳۷	۱/۹۳
	ΣN=۱۰۲		ΣX=۳۱/۷۹	

بررسی این نمودارها مبیّن آن است که بیشترین پراکندگی گسلها در جهت جنوب و شمال غربی و امتداد بزرگترین و طویل‌ترین خطوط گسلها در جهت شمال غربی است. از تعداد ۱۸۸ مورد از گسلها، بیشترین فرکانس توزیع (با ۵۱ مورد) در

جهت شمال و شمال‌غربی امتداد یافته‌اند؛ اما طویل‌ترین گسلهای منطقه (با متوسط طول ۲۸۸) درجهت شمال‌غربی کشیده شده‌اند.



شکل (۳): نمودارگل سرخی از کل گسلهای منطقه



شکل(۴): نمودار گل سرخی گسلهای دامنه‌های شمالی قوشه داغ

۵- بررسی ویژگیهای زهکشی منطقه

در این مطالعه، ابتدا ویژگیهای سیستم زهکشی منطقه از نظر نحوه پراکنش آبراهه‌ها و طبیعی و غیرطبیعی بودن سیستم زهکشی، که می‌تواند معرف تأثیرپذیری و یا عدم‌تأثیرپذیری سیستم زهکشی منطقه از سیستم گسلها باشد، بررسی گردید (جدول ۳). در این مورد، رتبه‌بندی آبراهه‌ها در منطقه، که می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد ویژگیهای شبکه زهکشی ارائه دهد و بررسی تفاوت میان نسبت تعداد شاخه‌های رود و تغییرات اتفاقی در هر شبکه از رود که می‌تواند ناشی از عوامل زمین‌ساختی و یا لیتولوژیکی باشد، اولویت دارد. در واقع، با توجه به رتبه‌های رود و ضریب انشعاب، می‌توان در مورد تغییرات احتمالی در بعضی از قسمتهای شبکه زهکشی، که ممکن است متأثر از گسل باشد، قضاوت نمود.

جدول(۳): ویژگیهای سیستم زهکشی منطقه

رتبه آبراهه	تعداد آبراهه	درصد (تعداد)	طول (به کیلومتر)	درصد طول	میانگین طول	نسبت انشعاب
۱	۱۴۰۴	۷۶/۶	۱۵۱۱/۲۵	۵۱/۸۴	۱/۰۷	–
۲	۳۳۹	۱۸/۳۶	۷۱۰/۵	۲۴/۳۷	۲۰/۹	۴/۱۴
۳	۸۰	۴/۴۳	۴۲۲/۷۵	۱۴/۵	۵/۲۸	۴/۲۳
۴	۱۸	۰/۹۸	۱۶۴/۲۵	۵/۶۳	۹/۱۲۵	۴/۴۴
۵	۴	۰/۲۳	۹۳/۷۵	۳/۲۲	۲۳/۴۳	۴/۵
۶	۱	/۰۵	۱۲/۵	۰/۴۳	۱۲/۵	۴
کل	۱۸۴۶	۱۰۰	۴۹۱۵	۱۰۰	۱/۵۷	–

در هر محدوده هیدرولوژیکی، میزان نسبت انشعاب شاخه‌های رود معمولاً از ۳ تا ۵ متفاوت است و اگر سیستم زهکشی منطقه در بین این دو دامنه قرارگیرد، می‌توان گفت از ویژگیهای طبیعی برخوردار است. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول (۳)، ضریب انشعاب رودهای منطقه مورد مطالعه، از ۴/۱۴ تا ۴/۵ متفاوت است و ضریب انشعاب بین رتبه‌های مختلف تغییرات محسوسی را نشان نمی‌دهد؛ بنابراین با توجه به عدم‌تغییر در ضریب انشعاب و قرارگرفتن این ضریب در بین دو دامنه ۳تا۵ و تا حدی ثابت بودن میزان آن، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که سیستم زهکشی منطقه طبیعی است و تغییراتی که حاکی از تأثیرگذاری سیستم گسل در کلیه قسمتهای زهکشی منطقه باشد از آن استنباط نمی‌گردد. در مرحله بعد، لازم است جهت‌گیری آبراهه‌ها در ارتباط با جهت‌گیری گسلهای منطقه نیز مورد بررسی قرار گیرد.

۶- بررسی ارتباط جهت‌گیری آبراهه‌ها با جهت‌گیری گسلهای منطقه

جریان آبها و برش پای دامنه‌ها توسط آنها از علل اصلی وقـوع لغـزش درمناطـق کوهستانـی است [۱۱]. در بعضـی از موارد، در مناطقی که پراکندگی گسلها زیاد است، جـریان آبها از مسیر گسلهـا پیـروی می‌کنـد و در بستـر مساعـد، موجبات وقـوع حرکات توده‌ای را فراهـم می‌سازد [۱۲]؛ بنابراین با توجه به نکاتی که ذکر شد، پس از بررسی نوع سیستم زهکشی منطقه، آنچه که از نظر وقوع لغزشها اهمیت دارد، بررسی جهت‌گیری آبراهه‌ها و گسلهـاست. بـرای بـررسی انطبـاق جهت گسلهـا و جـهت آبراهه‌ها از نمودارهای گل سرخی استفاده شده‌است.

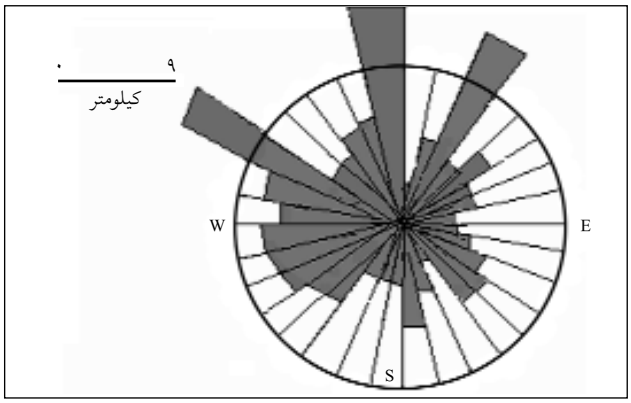
آبـراهـه‌های رتبـه اول از نظـر ناپایداری دامنـه‌ها بـه دلیل شکل‌گیری بر روی شیبهای تند و نسبتاً تند در درجه اول اهمیت قراردارند؛ بنابراین از پتاسیل زیادی برای تحریک دامنه‌ها و تخریب توده‌ای آنها برخوردارند. با توجه به این پتانسیل، این آبراهه‌ها درمرحله نخست مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (جدول ۴). برای مشخص نمودن میزان تأثیرپذیری خطوط زهکشی، جهت‌گیری گسلها، جهات جریان و طول کلیه آبراهه‌ها اندازه‌گیری و بر روی نمودارهای گل سرخی اجرا شده‌اند. نمودارهای مربوط به آبراهه‌های درجـه یک نشان می‌دهـد که اغلب آبهای جاری و طویل‌ترین آبراهه‌های منطقـه، در جهت شمالی و جنوبی جـریان دارند (شکل۵)؛ بنابراین با توجه به جهت‌گیری دامنه‌ها می‌توان گفت که سیستم زهکشی منطقه طبیعی است.

بـررسی نمودارهای گل سرخـی مربوط به کلیه آبراهـه‌های

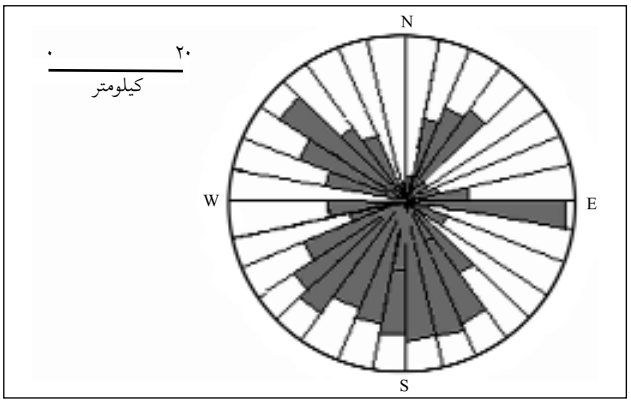
جدول(۴): تعداد(N)، طول(X) و انحراف معیار (σ) رده‌های مختلف آبراهه‌ها در دامنه‌های شمالی قوشه‌داغ

رده آبراهه / جهت	رده یک		رده دو		رده سه		رده چهار		رده پنج		رده شش	
انحراف معیار	N	X	N	X	N	X	N	X	N	X	N	X
NNW,SSE	۷۰۵	۲۵۹	۵۸	۲۸۱	۱۰	۱۲۹	۵	۱۰۰	۱	۲۷	=	=
σ	۲/۲۲	۷/۲۲	۴/۸۴	۳/۸۳	۱۲/۹	۹/۱	=	۹/۰۶	=	=	=	=
E-W	۱۸۱	۱۰۱	۲۴	۴۸/۵	۲	۹/۵	=	=	۱	۱۱۱	=	=
σ	۱/۲۷	۱/۷۹	۲/۰۲	۲/۲۶	۴/۷۵	۳/۸۸	=	=	=	=	=	=
N-S	۶۸۷	۲۴۶	۵۵	۲۰۶	۱۶	۱۹۵	۴	۹۸	=	=	۲۵	۱
σ	۲/۴۷	۲/۷۹	۳/۷۴	۴/۰۶	۱۲/۲	۹/۲۶	۲۴/۵	۲۱/۸	=	=	=	=
NNE,SSW	۷۹۵	۲۷۰	۶۴	۳۲۱	۲۰	۲۶۲	۲	۲۲/۵	۲	۴۹	=	=
σ	۲/۵۸	۲/۹۴	۵/۰۲	۴/۸۸	۱۳/۱	۷/۷۴	۱۱/۲	۸/۸۳	۲۴/۵	۶/۳۶	=	=
NE,SW	۶۲۰	۲۱۸	۵۶	۲۴۶	۱۳	۹۲	۳	۱۳	=	=	=	=
σ	۲/۲۵	۲/۸۴	۴/۴	۴/۷۵	۷/۰۷	۶/۳۱	۴/۳۳	۳/۵۴	=	=	=	=
ESE,WNW	۱۴۵	۷۱	۱۶	۵۱/۵	۷	۵۱/۵	۱	۴۷	=	=	=	=
σ	۱/۸۴	۲/۰۴	۳/۲۱	۳/۲	۷/۳۵	۵/۱۳	=	=	=	=	=	=
NW,SE	۳۲۸	۱۵۸	۴۴	۱۷۶	۸	۵۸/۵	۲	۱۹	=	=	=	=
σ	۱/۷۴	۲/۰۷	۴	۴/۶۵	۷/۳۱	۵/۴۳	۹/۵	۳/۵۳	=	=	=	=
WSW,ENE	۱۶۰	۸۱	۲۲	۹۰	۴	۴۶/۵	۱	۲۹	=	=	=	=
σ	۱/۹۸	۱/۹۷	۴/۰۹	۲/۷۷	۱۱/۶	۹/۰۴	=	=	=	=	=	=
Σx	۳۰۲۲/۵			۱۴۲۱		۸۴۵/۵		۳۲۸/۵	=	۱۸۷/۵	۲۵	=
N		۱۴۰۴		۳۳۹		۸۰		۱۸	۴		=	۱

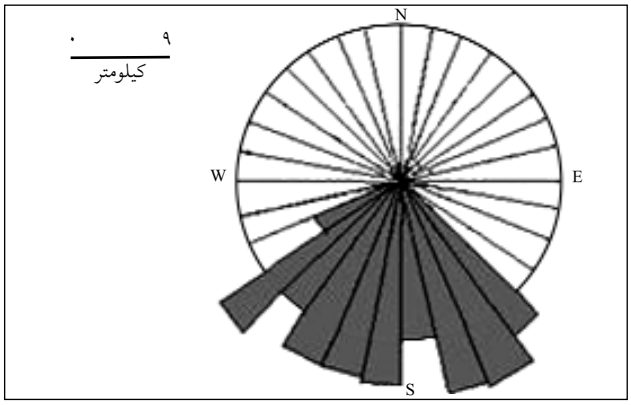
منطقـه و انطباق آنها با جهت گیـری گسلها، حاکـی از ایـن است که جهت گیری آبراهه‌ها، با توجه به جهت گیری دامنه‌ها مانند آبراهه‌های رده یک (با توجه به جهت گیری دامنه‌ها) طبیعی است (شکلهای ۵ و ۶)؛ بنابراین می‌توان چنین نتیجه گیری نمود که از نظر جهت گیری آبراهه‌ها، سیستم زهکشی منطقه طبیعی است و از سیستم گسلها تبعیت نمی‌کند؛ بنابراین، با توجه به دلایل ذکرشده، فرض مطرح شده در مورد نقش گسلهای منطقه در جهت‌دهی آبهای سطحی و تحریک مواد دامنه‌ای به جابه‌جایی



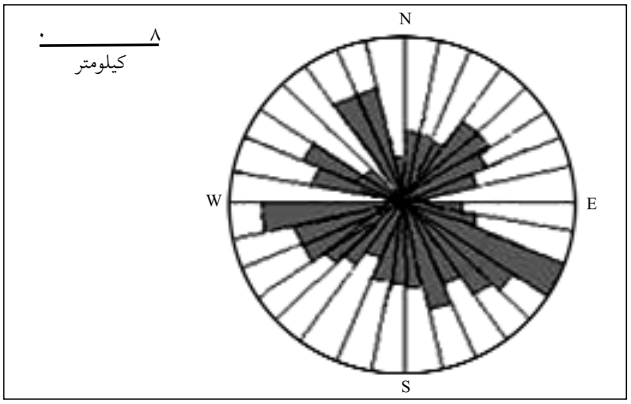
الف: آبراهه‌های رده ۱



ب: آبراهه‌های رده ۲

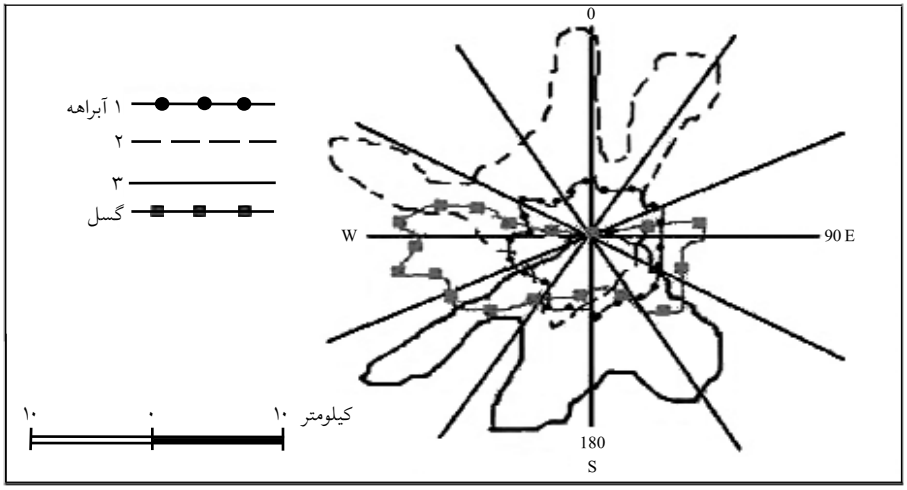


پ: آبراهه‌های رده ۳و۴



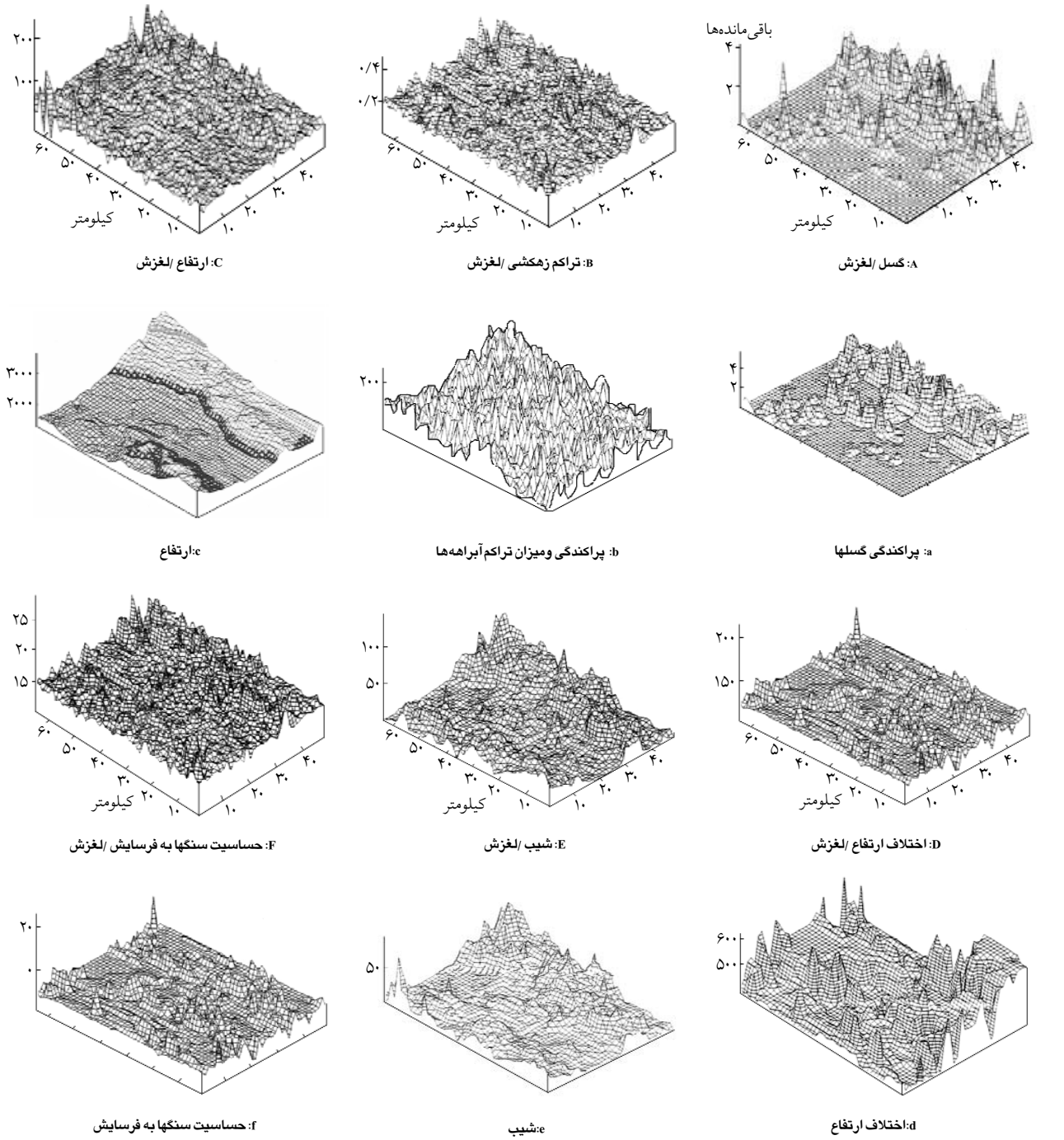
ت: کل آبراهه‌های دامنه‌های قوشه‌داغ

شکل (۵) نمودارهای گل سرخی از آبراهه‌های منطقه



شکل (۶): انطباق جهت‌گیری آبراهه‌های درجه ۱، درجه ۲ و آبراهه‌های درجه ۳ و ۴ و انطباق آنها با جهت‌گیری گسلها

تـوده‌ای، کنار گذاشتـه می‌شود؛ اما هنـوز ایـن سؤال به‌قـوت خـود باقی است که چرا بعضی از لغزشهای منطقه در نزدیکی گسلهـای فعال پراکنـده شده‌اند؟ با توجـه به طبیعـی بـودن سیستم زهکشی منطقه و عدم‌انطباق جهت‌گیـری آبراهـه‌ها با جهت‌گیری گسلها و برای اطمینان از عدم تأثیرپذیری سیستم زهکشی منطقه از عـوامل زمین‌ساختـی، از بعـدی دیگر به ایـن مسأله پرداختـه‌شده و نقش تراکم گسلها به‌عنوان مؤلفه دیگـر زمین‌ساختی مؤثـر در تراکم لغـزشها به همـراه سایـر عـوامل، ماننـد عـوامل توپوگرافـی، تـوأمان مورد تجـزیه و تحلیل قـرار گرفته‌است (شکل ۷).



A: گسل /لغزش
B: تراکم زهکشی /لغزش
C: ارتفاع /لغزش
a: پراکندگی گسلها
b: پراکندگی ومیزان تراکم آبراهه‌ها
c:ارتفاع
D: اختلاف ارتفاع /لغزش
E: شیب /لغزش
F: حساسیت سنگها به فرسایش /لغزش
d:اختلاف ارتفاع
e:شیب
f: حساسیت سنگها به فرسایش

شکل (۷): بلوک نمودارهای مربـوط به باقی‌مانده‌ها (در ردیف اول محورهای افقی مربوط به مسافت طولـی و محور عمودی مربـوط به باقی مانده‌ها است و در ردیف دوم محورهای افقی مربوط به مسافت طولی و محور عمودی مربوط به پراکندگی پارامترهای انتخابی است)

۷- بررسی نقش عوامل توپوگرافی، لیتولوژی و تراکم گسلها در رخداد لغزشهای منطقه

لغزشها بر اثر عوامل متعددی رخ می‌دهند که گاه با بررسی جداگانه عوامل نمی‌توان به ارتباط آنها دست‌یافت؛ لذا لازم است که نقش کلیه عوامل مؤثر در وقوع لغزشها در کنار نقش عوامل زمین‌ساختی مورد بررسی قرارگیرند. در این قسمت، ابتدا این نقش به‌صورت جداگانه و سپس نقش ترکیبی آنها، مورد مطالعه قرارگرفته است. بر این اساس، ابتدا متغیرهای مورد نیاز (اختلاف ارتفاع، شیب و لیتولوژی) از نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰)، عکسهای هوایی (۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰) و نقشه‌های توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰) استخراج و توسط نرم‌افزار Surfer پس از محاسبات لازم، استاندارد نمودن داده‌ها و محاسبه باقی‌مانده‌ها و کسر متغیرها در رابطه با تراکم گسلها به‌صورت بلوک نمودار نشان داده شده‌است (شکل ۷). مشاهده می‌شود که در بلوک نمودارهای مربوط به توزیع متغیرها (شکل ۷) از نظر تراکم و توزیع متغیرها در سراسر منطقه یکنواختی وجود ندارد. در واقع، ثقل نقاط و تراکم متغیرها، به‌جای یک نقش ویژه، در بخشهای مختلف منطقه پراکنده شده‌اند و ناهماهنگی‌ها در پراکندگی برجستگی‌ها حاکی از این عدم توزیع یکسان متغیرها در منطقه است.

با توجه به بلوک نمودارهای مربوط به باقی‌مانده‌ها (شکل ۷) می‌توان گفت که تأثیر سایر عوامل ناشناخته با توجه به کسر نقش عوامل مورد نظر در رخداد لغزشهای منطقه زیاد است. به عبارت دیگر، هر قدر حاصل کسر عامل ویژه و لغزش (به‌عنوان مثال، حاصل لغزش/گسل) بزرگتر باشد، نقش غالب عامل ویژه در وقوع لغزشها بیشتر است. لازم به ذکر است که در بلوک نمودارهای مربوط به باقی‌مانده‌ها، نواحی برجسته، نشان‌دهنده نقش عوامل ناشناخته و نواحی هموار نشان‌دهنده نقش عامل مورد نظر است. به این ترتیب، مشخص می‌شود که نقش تراکم گسلها در تراکم لغزشها به غیر از بخشهای مشخصی از منطقه، در کل منطقه ضعیف می‌باشد. این امر در رابطه (۱) مشخص شده‌است:

$$y = -1.364 + 0.498\ x_1 + 0.058\ x_2 + 0.50\ x_3 \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، x_1 تراکم گسلها، x_2 لیتولوژی و x_3 شیب گسل می‌باشد. به این ترتیب، با تحلیل رگرسیونی (روش مرحله‌ای) مشخص می‌شود که در وقوع لغزشها، گسلها با ضریب تبیین ۰/۲۱، عامل لیتولوژی با ضریب تبیین ۰/۳۴ و شیب ۰/۵۶ با توجه به ورود به مدل، از عوامل تأثیرگذار محسوب می‌شوند. با توجه به عدم ورود متغیرهای مربوط به تراکم زهکشی، اختلاف ارتفاع و ارتفاع دامنه در رابطه ۱، می‌توان گفت که متغیرهای مذکور در وقوع لغزشهای منطقه تأثیری نداشته‌است. با توجه به تعدد وقوع لغزشها و تعدد عوامل مؤثر در وقوع آنها، چنین به نظر می‌رسد که بعضی از لغزشهایی که احتمالاً بر اثر عوامل زمین‌ساختی پدید آمده‌اند، در میان انبوهی از عوامل و لغزشها محو شده‌اند. به عبارت دیگر، تأثیر عوامل زمین‌ساختی تحت تأثیر سایر عوامل قرارگرفته‌است؛ بنابراین با عنایت به چنین نتیجه‌ای به‌نظر می‌رسد که باید رابطه لغزشهایی که در کنار گسلها واقع شده‌اند، از دیدگاه تأثیر نقش گسلها در هدایت آبهای زیرقشری و در نتیجه تحریک مواد دامنه‌ای به جابه‌جایی در سطح لغزش، مورد مطالعه قرار گیرد. این مطالعه نیز از طریق پایشهای مکانی امکانپذیر می‌گردد.

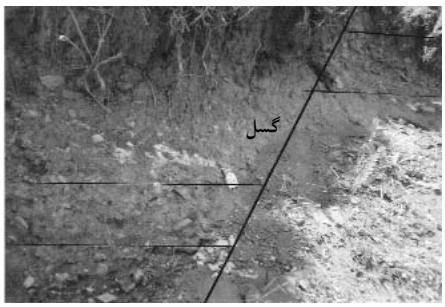
۸- بررسی نقش خطوط گسل در هدایت آبهای زیرقشری وقوع لغزشهای منطقه

در دامنه‌های محدوده مورد مطالعه بویژه در حوالی روستاهای افیل و بهل که لغزشهای متعدد به‌وقوع پیوسته‌اند، شکافها و گسلهای پدید آمده به‌عنوان مکانهای جمع‌آوری

آبهای سطحی و تراوش آنها به‌صورت چشمه‌های کوچک طبیعی عمل می‌کنند. در دامنه‌های مذکور که عمدتاً متشکل از مارن و رس بوده و در روی زیرساخت گرانیتی قرارگرفته‌اند، آبهای سطحی حاصل از ذوب برف و بارندگیها با نفوذ از گسل و شکافهای ایجاد شده، مواد دامنه‌ای را اشباع می‌نماید و با خیس شدن این مواد، چسبندگی بین گرانیت‌های زیرین و مواد دامنه‌ای کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، با نفوذ آب، اشباع شدن رسها و تجمع آبهای نفوذی، سطح ایستابی موقت تشکیل می‌شود و در نتیجه، فشار منفذی افزایش می‌یابد. این امر باعث می‌شود که زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت برشی کاهش یابد و در نهایت مواد دامنه‌ای در جهت شیب و به طرف پایین دامنه‌ها جابه‌جا گردند. تداوم چنین مکانیزمی در محل یادشده، در طول زمان باعث شده‌است که سطح دامنه‌های مذکور در محلهای یادشده به‌صورت پله‌ای درآید (تصویر ۱).

به لحاظ مشخصات لیتولوژیکی و ساختار زمین‌شناسی، در منطقه، آبهای زیرزمینی ممتدی وجود ندارد؛ اما گسلها و مساعدت بعضی از واحدهای لیتولوژیکی باعث تشکیل آبخوانهای کوچک شده‌است. درچنین مکانهایی، گسلها و درزه‌ها در پر نمودن آبخوانهای مذکور و تراوش آبها به‌صورت چشمه‌های طبیعی اولین و مهمترین نقش را دارد. در منطقه مورد مطالعه، این آبخوانها در فصل بهار از آبهای حاصل از ذوب برف و بارندگیها پر می‌شوند و به‌صورت چشمه‌های کوچک طبیعی، از پایین و یا سطح دامنه‌ها به بیرون تراوش می‌کنند. دامنه‌های منطقه را در حالت بی‌ثباتی قرار می‌دهند و بر اثر خروج این آبها لغزشهای متعددی نیز رخ می‌دهد. یکی از لغزشهایی که با چنین مکانیزمی تشکیل شده‌است، لغزش کوتلر می‌باشد که در چند متری گسل بالای دامنه رخ داده‌است (تصویر ۱).

الف: وقوع لغزش سطحی در بالای روستاهای افیل و بهل



ب: وقوع لغزش کوتلر در پایین گسل

پ: گسل بالای لغزش کوتلر

تصویر (۱): نشانه‌هایی از حضور گسلها در بخشهای مختلف منطقه، حاکی از فعال بودن زمین ساخت در منطقه و تأثیر آنها در وقوع لغزشها

۹ - بررسی نقش حرکات نوزمین‌ساختی در وقوع لغزشهای منطقه

اگرچه در حالت کلی در تمامی قسمتهای منطقه عوامل زمین‌ساختی در وقوع اکثر لغزشها نقش نداشته‌است، امّا با بررسیهای موردی و موضعی از محل وقوع لغزشها مشخص

شده‌است کـه نقش عـامل نوزمیـن‌ساخت در وقـوع بعضی از این لغـزشها نسبت به نقش سایر عوامل، برجسته‌تر بوده‌است.

بررسیهای میدانی از محل وقوع چندین لغزش در نزدیکی روستاهای افیل، بهل و سیدلر نشان می‌دهد که در مکانهایی که لغزش به‌وقوع پیوسته، نشانه‌هایی از وقوع حرکات نوزمین‌ساختی مشاهده می‌شود. این حرکات، بسیار جدید و نشان‌دهنده فعال بودن منطقه از نظر حرکات زمین‌ساختی است.

با تکیـــه بـر مطالعـات صورت گـرفتـه، مشخص شده که بخشهایی از منطقه، بویژه حوالی نقدوز، از دوران کواترنر به‌طور مداوم تحت بالا آمدگیهای زمین‌ساختی قرار گرفته‌است و این بالا آمدگیها موجب پدیـد آمدن گسیختگـی‌های ممتدی در دامنـه‌ها شده‌انـد. تشکیل تـراس‌های رودخانـه‌ای در طرفیـن رودخانه اهـر و چیـن‌خوردگی آبرفتهای قدیمی، تداوم چنیـن حرکاتی را در طول کواترنر تأیید می‌کند (تصویر ۲). گسیختگی‌های جدیدی که در این تحقیق در دامنه‌ها شناسایی شده‌انـد نشان می‌دهد که چنین حرکاتی هنوز هم در منطقه تداوم دارد.

حرکات نوزمین‌ساختی در دامنه‌های منطقه نه تنها موجب حرکت دامنـه‌ها و جابه‌جایی مواد دامنـه‌ای شده‌است، بلکه با بالا آمدگی بخشی از دامنه و ایجاد مانع در جهت جریانات سطحی و نفوذ دادن آبها به شکافها به‌عنوان عامل ثانویه و تشدیدکننده جابه‌جایی مواد دامنه‌ای عمل نموده‌است و در شرایط کنونی نیز چنین نقشی را در بی‌ثباتی دامنه‌ها ایفا می‌کند (تصویر ۲).

لغزشهای رخ‌داده در بخشهـای فعال از نظر زمین‌ساختی، عمدتاً سطحی هستند که دلیل ایـن امر را می‌تـوان به عمق کم سازنـدهای سطحی در ارتفاعات قوشه‌داغ، بویـژه در مناطـق رخداد لغزشهای قدیمی، نسبت داد. با توجه به شواهدی که در منطقه وجـوددارد تصـور می‌رود که لغـزشهای مذکـور بر اثـر

الف: جابه‌جایی و وقوع گسیختگی در دامنه‌های منطقه

ب: وقوع چین‌خوردگی در آبرفتهای قدیمی در اطراف رودخانه اهر

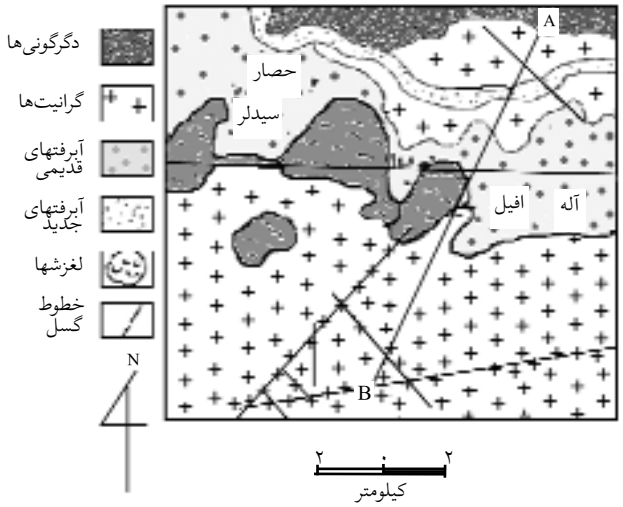
تصویر (۲): فعال بودن زمین‌ساخت در منطقه

حضور گسلها و حرکات زمین‌ساختی رخ‌داده‌باشند.

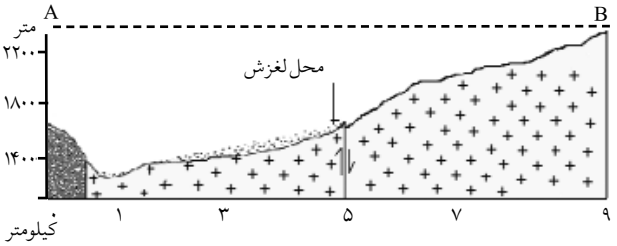
در نزدیکـی آبادی سیدلر و افیل، که سازنـدهای سطحی بر روی گرانیت‌های الیگوسن قرارگرفته‌اند، ازکناره دره‌ها می‌توان گسلهایـی را در سنگهای گرانیتـی مشاهده نمود که بر اثـر جریان و حضور آب، عریض و به مرور نفوذپذیر شده‌اند. این خطوط در هدایت آبهای زیر قشری به بخشهایی که عمدتاً از مارن و رس تشکیل شده‌انـد، نقش اولیـه ایفاکرده‌انـد.

به‌مرور بر اثر خیس شدن چنین موادی در دامنه‌های پرشیب منطقه، حرکت مواد دامنه‌ای بر روی شیبهای تند و نسبتاً تند ممکن شده و در نهایت موجب تشکیل لغزشهای لوپی (لغزشهای سطحی

موجدار) و یا لغزشهای چرخشی بر روی زیرساخت گرانیت‌ها شده‌اند (تصویر ۱ و شکل ۸)؛ بنابراین، با توجه به اطلاعات حاصل از پایشهای مکانی، می‌توان گفت که در وقوع بعضی از لغزشهای منطقه، حرکات زمین‌ساختی و پدیده‌های ناشی از آن نقش داشته و به‌طور مؤثری چهره دامنه‌های منطقه را تغییر داده‌اند.



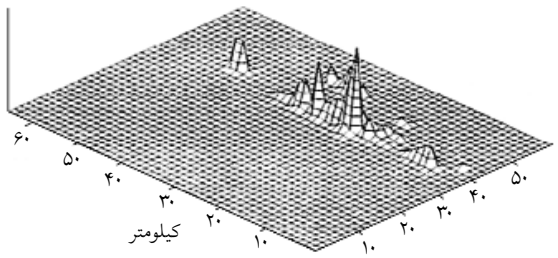
الف: وقوع لغزش در دامنه‌های شمالی قوشه‌داغ



ب: نیمرخی از محل وقوع لغزشها

شکل(۸): نقش زمین‌ساخت در وقوع لغزشهای بزرگ و موضعی

با توجه به تفاوت در وسعت منطقه (که در مطالعات مدنظر بوده‌است) و کوچکی وسعت محدوده تحت پراکندگی لغزشهای عمده (شکل ۹)، به‌نظر می‌رسد که وسعت منطقه نتایج روابط آماری را تحت تأثیر قرار داده‌است.



شکل(۹): پراکندگی لغزشهای منطقه

۱۰- نتیجه‌گیری

اهم نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:

- فعالیتهای زمین‌ساختی و حضور گسل، چه به صورت مستقیم و چه به‌طور غیرمستقیم در بی‌ثباتی دامنه‌ها مؤثر است.
- تأثیر عوامل مذکور به‌صورت لغزشها و ریزشهای سنگی از دامنه‌ها و یا با جهت‌دهی مسیر جریانات سطحی و زیرسطحی و مستعد نمودن دامنه‌ها به لغزش و یا ریزش، جلوه‌گر می‌شود؛ بنابراین در بررسی علل بی‌ثباتی دامنه‌ها، باید به نقش چنین عواملی توجه شود و نحوه تأثیرآنها مورد مطالعه قرارگیرد. بویژه، در محدوده‌ای که از پیشینه فعالیتهای شدید زمین‌ساختی نیز برخوردار است.
- محدوده مورد مطالعه با داشتن پیشینه وقوع حوادثی مانند وقوع لغزشهای متعدد و فعالیتهای زمین‌ساختی شدید، لزوم توجه به نقش عوامل زمین‌ساختی را در بی‌ثباتی دامنه‌ها ایجاب می‌کند. با توجه به اینکه بعضی از لغزشهای بزرگ منطقه (لغزش واقع بین روستای افیل و بهل، در نزدیکی مشکین‌شهر) که تلفات جانی نیز به همراه داشته‌است، در کنار گسلها رخ داده‌اند.
- سیستم زهکشی در کل منطقه با توجه به ضرایب انشعاب محاسبه شده، عادی است و گسلها در جهت‌دهی آبهای سطحی و یا در بروز تغییرات غیرعادی در آنها تأثیری ندارند؛ امّا بررسی لغزشها به‌طور موضعی نشان داد که در وقوع برخی از لغزشهای بزرگ منطقه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیر زمین‌ساخت انکارناپذیر است؛ ولی این نقش در مورد تمامی لغزشهای منطقه، قابل تعمیم نیست.
- بررسیهای آماری و محاسبه باقی‌مانده‌ها مبیّن آن است که گسلها در وقوع لغزشهای منطقه سهیم هستند.

ـ شیب و بستر مساعد لیتولوژیکی، عامل اصلی در وقوع لغزشها محسوب می‌شوند و پراکندگی گسلها در مرحله بعدی اهمیت قرار دارند.

ـ هر لغزش شرایط خاص خود را دارد و برای پی‌گیری علت وقوع، بایدبه‌طور مجزا مورد مطالعه قرارگیرد.

ـ خطوط گسل در جهت دهی آبهای سطحی نقش اساسی ندارد و اصولاً نقش چنین عواملی در وقوع کلیه لغزشها در گستره منطقه بزرگی مانند محدوده مورد مطالعه، ضعیف است.

ـ در بعد موضعی و در وقوع بعضی از لغزشهای بزرگ، نقش گسل و فعالیتهای نوزمین ساختی تعیین کننده است.

۱۱ـ مراجع

1.Scheidegger, A. E. (1984). *The oritical geomorphology.* UK: Springer-Verlag.

2.Hencher, S. R. (1987). The implication of joints and structures for slope stability. *Slope stability* (pp. 45-185). England: John Wiley and Sons. Ltd.

3.Cote, V., Hia, C. (1987). *Earthquake - prone environments. Slope instability* (pp. 287-329). England: John Wiley and Sons.

4.Matsukuras, Y., Mizuno, K. (1986). The influence of weathering on the geo - technical properties and slope angles of mudstone in the Mineoka earth–slide area. *Earth surface processes and landforms, vol. 1,* 1:263-273. England: John Wiley and Sons.

5.Fan, H., Chen, K., Robert, J. (1996). Weathering effect on the geothechnical properties of argillaceous sediments in tropical environments and their geomorphological implications. *Earth surface processes and landforms,vol. 21,* 49-59. England: John Wiley and Sons.

6.Crescenti, U., Dramis, F., Prestininz, A. (1994). Deep-seated gravitational slope deformations and large– scale landslides. Diparimento di scienzo, storia dell, Architttura e Restaaro, IAEG. pp, 23-27.

7.Li, Y., Yang, J., Xia, Z., Mo, D. (1998). Tectonic geomorphology in Shanxi graben system, northern China . *Geomorphology. Elsevier. 23,* 77-89. New York, U.S.A.

8.Conte, E., Dente, G., Guerricchio. (1991). Landslide movements in complex geological formations at verbicaro. *Land slides* (pp. 47-53). Balkema. London, UK.

9.Morisawa, M., Hack, J. (1984). *Tectonic geomorphology.U.S.A.:* Hyman publication.

10.Menges, C. (1993). Soil and geomorphic evolution of bedrock facets on tectonically active mountain front, western sanger de Cristo mountain. *Geomorphology. Elsevier. Vol: 3,* 301-332. New York, U.S.A.

11.Oguchi, T. (1997). Drainage density and relative relief in humid steep mountains with frequent slope failure. *Earth Surface Processes and Landforms,* Vol. 22: 122, 107-120. England: John Wiley and Sons.

12.Focardi, P., Gazonio, C., Sedda, E., Vannocci, P. (1991). Relationship between morphometric parameters and lithological and geotechnical charactetistics of unstable slope in the upper valdarno basin. *Landslides* (pp. 943-951). Balkema. London, UK.