تحلیل لرزه زمین ساختی سیستم گسلهٔ درونه و بررسی زلزله های زمستان ۱۳۷۸ - بهار ۱۳۷۹ کاشمر

مهدی زارع، استادیار پژوهشکده زلزله شناسی پژوهشگاه

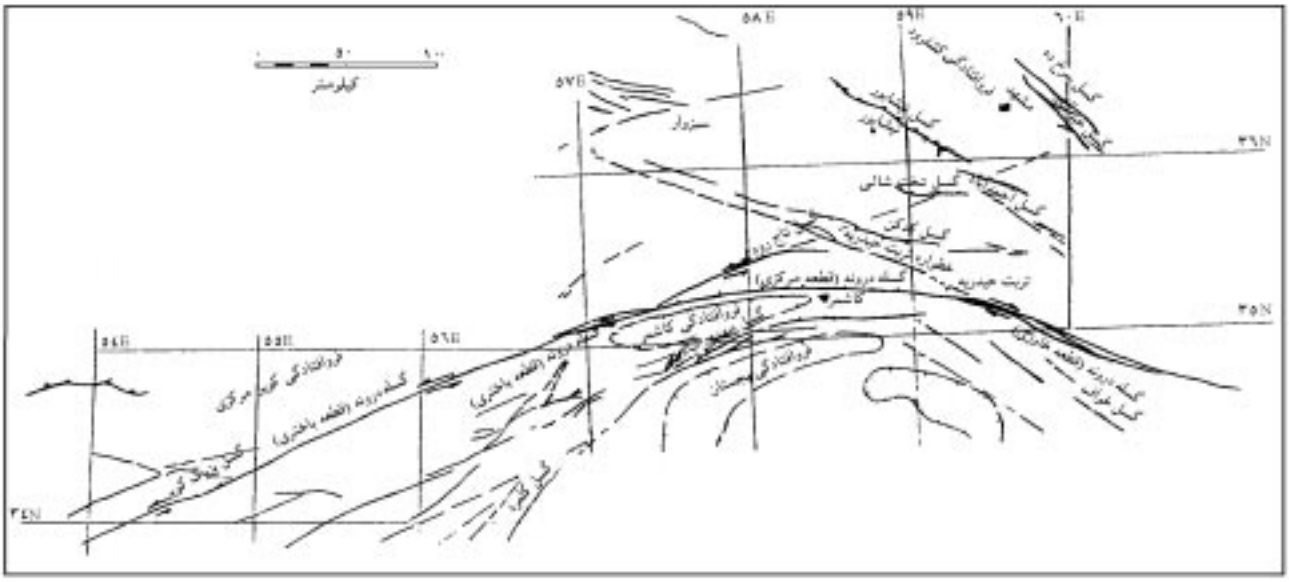
۱- چکیده

زلزله نهم فروردین ۱۳۷۹ کاشمر ($m_b = 5.0$) ششمین زلزله از زلزله های فوج گونه ای (*Swarm*) می باشد که از بهمن ماه ۱۳۷۸ آغاز شده و تا بهار ۱۳۷۹ ادامه یافته است. در این مقاله، ضمن بررسی تاریخچه لرزه خیزی سیستم گسله درونه، تحلیلی ساختاری از این گسل با توجه به روندهای ساختاری اصلی و سازوکارهای ژرفی و ریخت آبراهه ها انجام شده است. این بررسی نشان می دهد که علاوه بر سازوکار فشاری و راستالغز چپگرد که برای بخش باختری و مرکزی این سیستم گسله از قبل شناخته شده بود، سازوکار راستالغز راستگرد را می توان به بخش خاوری آن منتسب نمود. داده های سازوکار ژرفی زمین لرزه های این بخش از سیستم گسله هنوز در دسترس نیست. از سوی دیگر، مشخص شده که روند فوج گونه رخداد زمین لرزه در راستای سیستم گسلهٔ درونه احتمالاً ویژگی چنین سیستمی است.

کلید واژه: لرزه زمین ساخت، گسله درونه، کاشمر، زمستان ۷۸ وبهار ۷۹.

۲- مقدمه

وقوع زلزله های پیاپی در پهنه گسله درونهٔ نزدیک شهر کاشمر در استان خراسان موجب خسارتهایی در زمستان ۱۳۷۸ و ابتدای بهار ۱۳۷۹ گردید. از بهمن ماه ۱۳۷۸ تا وقوع زلزله نهم فروردین ۱۳۷۹، شش رویداد با بزرگای ۳/٤ تا ٥/٤ در این ناحیه رخ داد که مهمترین آنها زلزله ۱۳۷۸/۱۱/۱۳ در ناحیه کاشمر- بردسکن بود (یک کشته و ۱۵ مجروح). پهنهٔ گسلهٔ درونه در شمال ناحیه لوت اهمیت فراوانی در تعیین ساختار پوسته در این قسمت از فلات ایران دارد (شکل ۱). این رویدادها با بزرگای متوسط به صورت پیاپی و فوج گونه در این ناحیه رخ داده اند. در این مقاله تاریخچه لرزه خیزی منطقه و وضعیت لرزه زمین ساختی این پهنه از کشور بررسی و تحلیل شده است. به این منظور، از شواهد ریخت زمین ساختی نیز بهره گیری می شود.



شکل (۱): سیستم گسله درونه در شمال ناحیه لوت نقل با اصلاح از [۱]

جدول (۱): فهرست زمین لرزه های با بزرگای بیش از M>۵ در پیرامون سیستم گسله درونه

ردیف	تاریخ	زمان وقوع	مختصات رومرکز مهلرزه ای		ژرفای کانونی (کیلومتر)	بزرگا M_w^*	گسل زمین لرزه ای	پهنه رومرکزی	مرجع
۱	۸٤۰/۰۷/		٦۰/٤۰۰E	۳٥/۲۰۰N		٦/٥			Amb
۲	۱۲۳۸/ /		٥۸/۷۰۰E	۳٤/۳۰۰N		٥/۳		گناباد	Amb
۳	۱۳۳٦/۱۰/۲۱	۰٦:۰۰:۰۰	٥۹/۷۰۰E	۳٤/۷۰۰N		۷/٦	*	خواف	Amb
٤	۱٦۱۹/۰٥/	۱۲:۰۰:۰۰	٥۸/۹۰۰E	۳٥/۱۰۰N		٦/٥		دوغ آباد	Amb
٥	۱٦۷۸/ /	۲٤:۰۰:۰۰	٥۸/۷۰۰E	۳٤/۳۰۰N		٦/٥		گناباد	Amb
٦	۱۷۸۰/ /		٥۹/۰۰۰E	۳٦/۰۰۰N		٦/٥		خراسان	Am?
۷	۱۹۰۳/۰۳/ ۲۲	۱٤:۳٥:۰۰	٦۰/۰۰۰E	۳٥/۰۰۰N		٦/۲		درخش	Amb
۸	۱۹۰۳/۰۹/۲٥	۰۱:۲۰:۰۰	٥۸/۰۰۰E	۳٤/۰۰۰N		٥/۹	*	ترشیز	Amb
۹	۱۹۱۸/۰۳/۲٤	۲۳:۱٤:۰۰	٥۷/۱۰۰E	۳٤/٥۰۰N		٦/۳			Amb
۱۰	۱۹۲۳/۰٥/۲٥	۲۲:۲۱:۰۰	٥۹/۱۱ E	۳٥/۱۹ N		٥/۸		کاج درخت (جنوب تربت حیدریه)	Amb
۱۱	۱۹۳۳/۱۰/۰٥	۱۳:۲۹:۰۰	٥۷/۳۱۰E	۳٤/٥۸۰N		٦/۲			Amb
۱۲	۱۹٤۰/۰٥/۰٤	۲۱:۰۱:۰۰	٥۸/٥۱۰E	۳٥/۹۱۰N		٦/٤			Amb
۱۳	۱۹٥۰/۰۹/۲٤	۲۲:٥٦:٤۰	٦۰/۷۰۰E	۳٤/٥۰۰N		٥/۹			NAB
۱٤	۱۹٥٥/۰٦/۱۸	۲۰:۲۱:۰٤	٥۸/٥۰۰E	۳٤/۰۰۰N		٥/۰			NAB
۱٥	۱۹٥٦/۰٦/۳۰	۱۱:۳۷:۰۷	٥۷/۱۰۰E	۳٥/٤٥۰N	۱٦	٥/۰			NAB
۱٦	۱۹٥۸/۰۹/۱٦	۱٤:۲۲:۲۹	٥۹/٥۲۰E	۳٤/۳۷۰N		٥/۰			NAB
۱۷	۱۹٦۲/۱۰/۰٥	۲۰:۰۲:۲۰	٥۸/۷٦۰E	۳٥/۱۹۰N	۳۳	٥/۳		جنوب غربی تربت حیدریه	NOW
۱۸	۱۹٦٥/۰۲/۲٦	۰۱:۳۷:۰۸	٥۷/٥٤۰E	۳٥/۲٤۰N	۳۳	٥/۱			ISC
۱۹	۱۹٦۸/۰۸/۳۱	۱۰:٤۷:۳۰	٥۹/۰۲۰E	۳٤/۰٤۰N	۱۳	۷/٤	*	دشت بیاض	Amb
۲۰	۱۹٦۸/۰۸/۳۱	۱٤:۰٦:۳۰	٥۹/٤۳۳E	۳٤/۰٥٤N	۱۸	٥/۰			NEIC
۲۱	۱۹٦۸/۰۹/۰۱	۰۷:۲۷:۱۰	٥۸/۲۸۰E	۳٤/۱۰۰N	۱٥	٦/٤	*	فردوس	Amb
۲۲	۱۹٦۸/۰۹/۰۱	۱۹:۱٦:٤۰	٥۸/۲۱۰E	۳٤/۱٦۰N	۲۳	٥/۰			NEIC
۲۳	۱۹٦۸/۰۹/۰٤	۰۸:۰۸:٤۰	٥۹/۲۰۰E	۳٤/۱۸۰N	۲٤	٥/۰			NEIC

۲٤	۱۹٦۸/۰۹/۰٤	۲۳:۲٤:۵۰	۳٤/۰۵۰N	۵۸/۳۲۰E	۱۵	۵/٤			NEIC
۲۵	۱۹٦۸/۰۹/۱۱	۱۹:۱۷:۲۰	۳٤/۰۱۰N	۵۹/۵۳۰E	۳۳	۵/٤			NEIC
۲٦	۱۹۷۱/۰۵/۲٦	۰۲:٤۱:٤۰	۳۵/۵٦۰N	۵۸/۱٤۰E	۲٦	۵/۸	کاشمر		Amb
۲۷	۱۹۷۲/۱۲/۰۱	۱۱:۳۸:۵۰	۳۵/٤۱۵N	۵۷/۹۰۸E	۲۵	۵/٤			NEIC
۲۸	۱۹۷۹/۱۲/۰۷	۰۹:۲٤:۰۰	۳٤/۰۳۳N	۵۹/۸۱۷E	۳۱	٦/۰			NEIC
۲۹	۱۹۷۹/۱۲/۰۹	۰۹:۱۲:۱۰	۳۵/۰۵٤N	۵٦/۸۱۷E	٤۸	۵/۳			NEIC
۳۰	۱۹۹٤/۱۲/۱٤	۲۰:٤۳:۵۳	۳۵/۱۰٤N	۵۸/٦۳۳E	۳۳	۵/۳			NEIC
۳۱	۱۹۹٦/۰۲/۲۵	۱٦:۱٤:۱۱	۳۵/۷۲۵N	۵٦/۹۹۰E	۳۳	۵/٤			NEIC
۳۲	۱۹۹٦/۰۲/۲۵	۱۷:٤۲:۰٤	۳۵/٦۸۵N	۵۷/۰۳۸E	۳۳	۵/۳			NEIC
۳۳	۲۰۰۰/۰۲/۰۲	۲۲:۵۸:۰۱	۳۵/۲۸۸N	۵۸/۲۱۸E	۳۳	۵/٤	کاشمر		NEIC
۳٤	۲۰۰۰/۰۳/۲۸	۱۷:۵۵:٤۹	۳۵/۲۸۰N	۵۸/۱۹۰E	۳۳	۵/۰	کاشمر		NEIC

* استفاده از M_w در صورت دسترسی به بزرگای M_w و معادل با M_s برای بزرگای بیش از شش و معادل با m_b برای بزرگای کمتر از شش در صورت عدم دسترسی به M_w

۳- تاریخچه لرزه خیزی کاشمر

ناحیه زلزله زدهٔ کاشمر (در زمان تاریخی ترشیز نامیده شده است) در سده بیستم محل رویداد زلزله های متعددی بوده است که عمدتاً با ناحیه گزارشی از زلزله های پیش از سده بیستم در دست نیست [۲] و تنها اشاره به مسأله زلزله در پیش از سده بیستم به مستوفی باز می گردد که از درخت سروی در کشمر (نزدیک کاشمر کنونی) یاد می کند که بر پایه افسانه ای موجب مصونیت لرزه ای این منطقه بوده است و با افتادن آن در سده نهم میلادی این مصونیت پایان یافته است؛ ولی، حتی در فاصله سده نهم تا سده نوزدهم نیز گزارشی از رویداد یک زلزله مخرب در دسترس نیست. این مسأله را می توان از دو نظر مورد توجه قرار داد:

- در گزارشهای تاریخی بیشتر زلزله های مخرب ثبت می شوند؛ بنابراین، شاید زلزله های با بزرگای کم تا متوسط روی داده باشد ولی چون مخرب نبوده اند ذکری از آنها نشده است (اساساً در فرهنگ عامه مردم ایران، کلمه زلزله به رویدادی مخرب و ویرانگر اطلاق می شود) و یا شاید هم رویدادهای با بزرگای بیشتر در فاصله ای دور از شهرها و آبادیها اتفاق افتاده باشد.
- عدم اشاره به فعالیت لرزه ای گسله درونه شاید به بی لرزه یا کم لرزه بودن آن در طی چندین سده باشد.

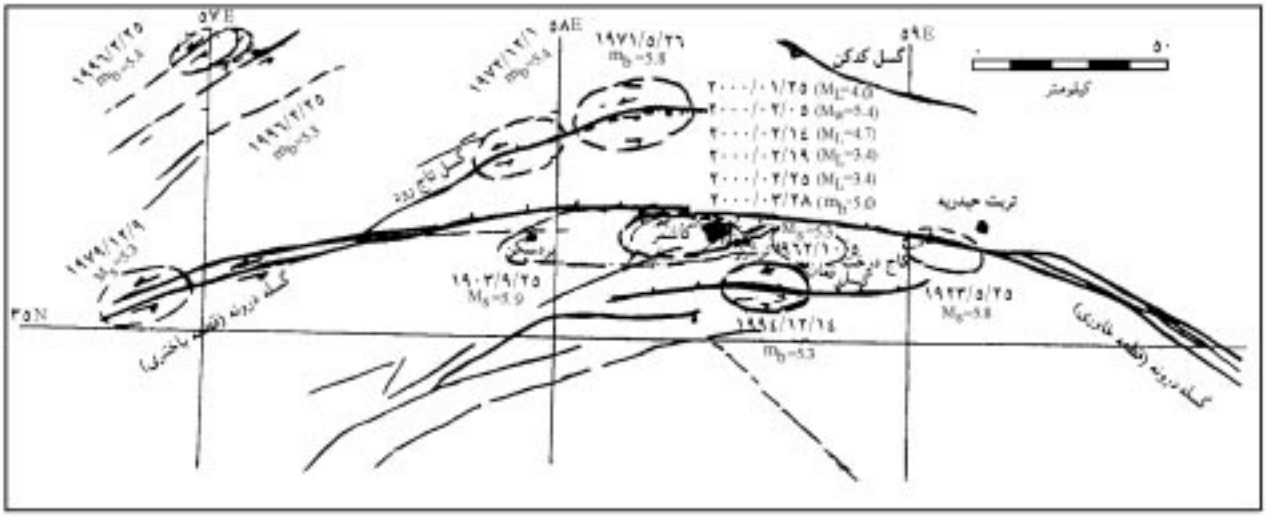
از این دو نظر هر کدام به حقیقت نزدیک باشد بیشتر فعالیت گسله درونه بدون لرزه *(Aseismic)* است و بیشتر جا به جایی در راستای آن (بر اساس شواهد نو زمین ساختی و ریخت زمین ساختی مسلم می باشد) به صورت خزش *(Creep)* و فعالیت لرزه ای آن اکثراً فوج گونه می باشد.

پس از آغاز سده بیستم و با وجود دستگاههای لرزه نگاری در این منطقه وقوع چندین زلزله گزارش شده است. این رویدادها عمدتاً در راستا یا در نزدیکی پهنه گسلهٔ درونه (قطعه های مرکزی و باختری) رخ داده اند.

بزرگای متوسط رخ داده اند (جدول ۱). مهمترین این زلزله ها، رویداد زلزله ۱۹۰۳/۹/۲۵ (۱۲۸۲/۷/۳ شمسی) در کاشمر می باشد. از این تنها یک رویداد (۱۹۲۳/۵/۲۵ کاج درخت- جنوب تربت حیدریه) را می توان به محل برخورد بخش مرکزی و بخش خاوری این سیستم گسله مرتبط دانست (شکل ۲). این رویدادها که در شکل (۲) تلاش شده- است تا حتی الامکان به گسلهای منطقه منتسب گردند عبارتند از:

- رویداد زلزله ۱۹۰۳/۹/۲۵ (۱۲۸۲/۷/۳) ترشیز با $M_S = 5.9$ که بر اثر آن ۳۵۰ نفر در ناحیه مذکور کشته شدند و پس لرزه های آن تا دو ماه بعد ادامه داشت. گزارشی از گسیختگی پهنه گسلهٔ درونه در مورد این رویداد در دسترس نیست؛ ولی، پهنهٔ رومرکز مهلرزه ای آن را می توان کاملاً به بخش مرکزی سیستم گسله درونه نسبت داد. از سوی دیگر، با وجود اینکه بزرگای M_S این زلزله توسط آمبرسیز و ملویل [۲]، ۵/۹ تخمین زده شده است و بر اساس گزارش همین مؤلفین به برج کشمر با قطر ۱۳/٤ متر و ارتفاع ۱۸ متر (مربوط به سده ۱۳ میلادی) هیچ آسیبی نرسید؛ اما، خرابیهای فراوانی بر اثر این زلزله گزارش شده است.
- زلزله ۱۹۲۳/۵/۲۵ (۱۳۰۲/۳/۵) کاج درخت (جنوب تربت حیدریه) با $M_S = 5.8$ که بر اثر آن ۷۷۰ نفر (٤۰ نفر از آنها در روستاهای پیرامون تربت حیدریه و هفت یا هشت نفر در همین شهر) کشته شدند. این زلزله تا سه ماه با پس لرزه همراه بوده، ولی هیچ شاهدی از گسلش در راستای گسله درونه (علی رغم قرارگیری پهنه رومرکز مهلرزه ای روی این گسل) گزارش نشده است [۲]. بازار تربت حیدریه نیز که در زمان قاجار (سال ۱۸٦۰ میلادی) ساخته شده بود آسیبی ندید.

- زلزله ۱۹۶۲/۱۰/۵ (۱۳٤۱/۷/۱۳) در خاور کاشمر با بزرگای $M_S = 5.3$ که گزارشی از میزان خسارات وارده در دسترس نیست.



شکل (۲): پهنه های رومرکز مهلرزه ای زلزله های مهم سده بیستم و زلزله های ژانویه تا مارس ۲۰۰۰ (زمستان ۱۳۷۸-بهار ۱۳۷۹) در پیرامون و بر روی سیستم گسله درونه

علاوه بر این سه زلزله، زلزله‌های سالهای ۱۹۷۱و ۱۹۷۲ شمال کاشمر، ۱۹۹٤ جنوب کاشمر و ۱۹۹٦ باختر- شمال باختر کاشمر را نیز می‌توان به این پهنهٔ گسله نسبت داد که در قسمت سازوکارهای ژرفی بررسی خواهد شد.

٤- تحلیل ساختاری پهنه گسلهٔ درونه

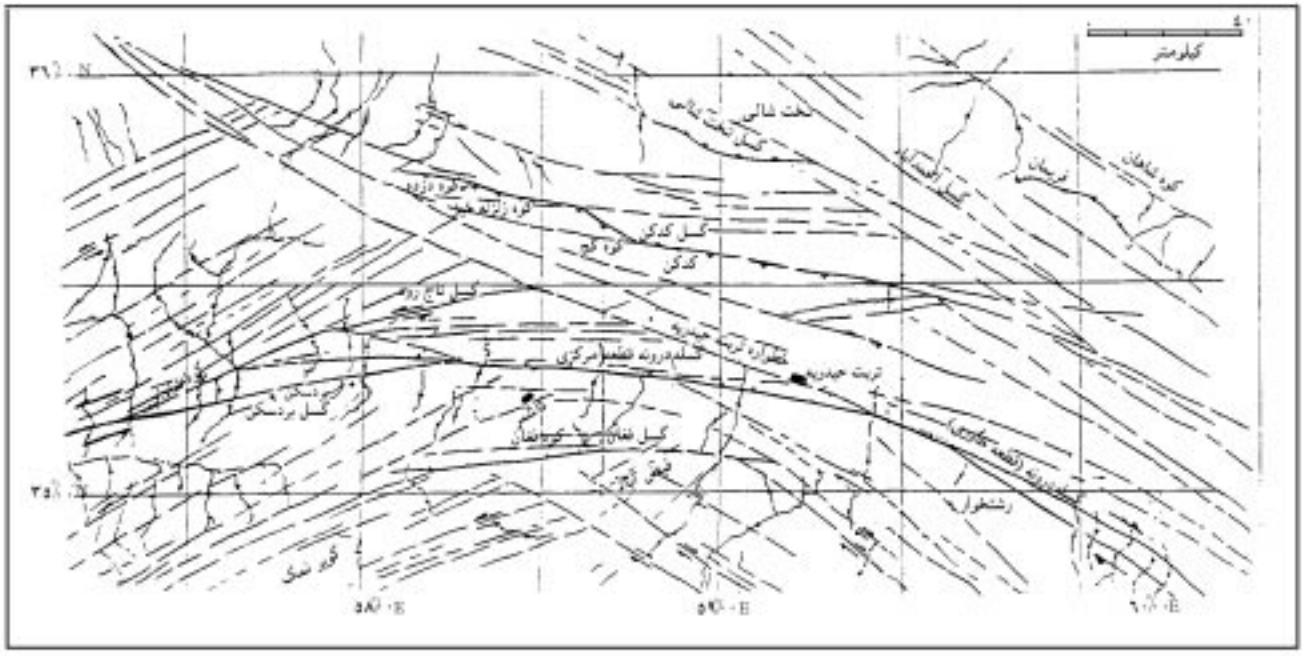
در این مقاله با تمرکز بر روی بخش مرکزی سیستم گسلهٔ درونه که محل وقوع بیشترین زلزله های سده بیستم و زلزله های اخیر بوده- است، نحوهٔ قرارگیری روندهای بنیادی در پیرامون این سیستم بررسی می‌گردد. در مقاله حاضر و بر اساس بررسی عکسهای ماهواره ای، نقشه های رقمی شده پستی و بلندی و بررسیهای صحرایی، روندهای بنیادی گسله، خطواره ها، آبراهه ها و ریخت تغییر مسیر آنها مشخص شده است (شکل ۳). بر اساس مطالعه مهاجر اشجعی [۳] روندهای قطعه باختری گسله درونه با سازوکار راستالغز چپگرد و قطعه مرکزی با سازوکار معکوس (جا به جایی قائم، با بالا آمدن بخش شمالی نسبت به بخش جنوبی) معرفی شده اند. مهاجر اشجعی و همکاران [٤] به سازوکار راستالغز چپگرد و معکوس برای قطعه خاوری این گسل نیز اشاره می‌کنند. از سوی دیگر، چالنکو و همکاران [۵] به حرکت قائم (معکوس) در بخش مرکزی گسله درونه اشاره نموده اند. در بررسیهای صحرایی نگارنده بر روی این گسل در شمال کاشمر (جاده نیشابور- کاشمر در سه کیلومتری شمال کاشمر) یک افتگاه مهم پستی و بلندی در مرز بین کوه و دشت مشاهده شده است (تصویر ۱ و ۲). در مقالهٔ حاضر با توجه به سازوکار ژرفی زمین لرزه ها و شواهد ریخت زمین‌ساختی، سازوکار روندهای عمدهٔ ساختاری بررسی می‌گردد.

٤-۱- گسلهای بنیادی

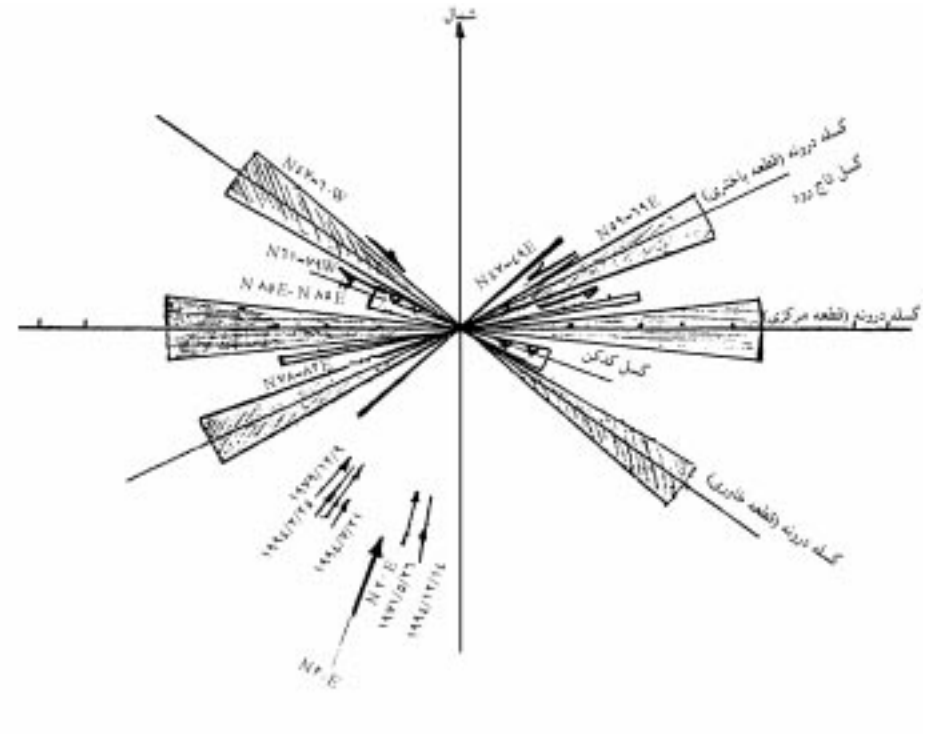
روند گسلهای بنیادی در این منطقه به سه راستای عمدهٔ خاوری- باختری (روند گسله درونه- بخش مرکزی و گسل فغان)، شمال خاور- جنوب باختر (روند گسله درونه- بخش باختری، گسل بردسکن و گسل تاج رود) و شمال باختر- جنوب خاور (روند گسله درونه- بخش خاوری، گسل احمدآباد، خطواره تربت حیدریه و گسل تخت شمالی) تقسیم می‌شود (شکل ۳). این سه روند عمده به همراه روندهای فرعی(رده دوم) در شکل (٤) مشاهده می‌شوند. در این شکل سازوکار گسلها بر اساس شواهد موجود روی زمین و سازوکارهای ژرفی و ریخت آبراهه ها مشخص شده اند.

تصویر (۱): گسله درونه در شمال کاشمر که حداقل دو سطح مشخص گسل مشاهده می شود.
ریخت زمین ساختی در مرز بین کوه و دشت در محل افتگاه

تصویر (۲): افتگاه گسله درونه (بخش مرکزی) در شمال شهر کاشمر که افت پستی و بلندی در راستای دید تصویر مشخص می باشد.



شکل (۳): گسلهای عمده، خطواره ها و ریخت آبراهه ها در پیرامون سیستم گسله درونه (بر اساس داده های ماهواره ای رقمی شده در مقیاس ۱:۵۰۰,۰۰۰)



شکل (٤): نمودار تحلیل ساختارهای عمده پیرامون سیستم گسله درونه

٤-٢- بررسی ریخت آبراهه ها

ریخت آبـــراهه های موجود در منطقه بـویـــژه در بخش خاوری و باختری سیستم گسلهٔ درونه، شکلهای سیگموئیدال کـه بـه صـورت S و Z ایجاد شده اند در شکل (۳) مشاهده می‌شوند. نگارنده در سال ۱۹۹۱ [٦] نشان داد که ایـــن ریخت آبـــراهه ها در سیستم هـای گسلهٔ برشی با سازوکارهای راستالغز به ترتیب چپگرد و راستگرد با تاقدیسـهای ذهاب و کرند (در ناحیه سرپل ذهاب در زاگرس) مرتبط مـی‌باشند. در آن بررسی با استفاده از این ویژگیهای ریخت زمین ساختی گسل عمقی ذهاب معرفی گردید.

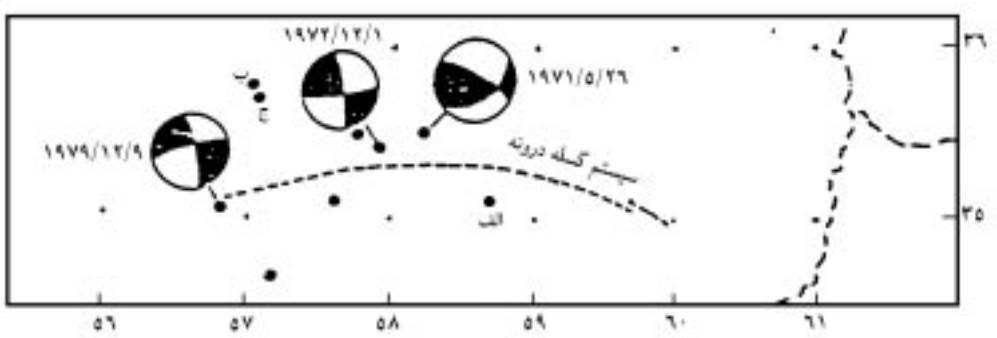
در مطالعه حاضر با توجه به روند شـناخته شـدهٔ قطعـه باختری گسله درونـه کـه بـا شـواهد مختلف سازوکار ژرفی و بررسیهای صحرایی سازوکاری چپگرد نشان می‌دهد، ریخت آبراهه ها که به شکل S می باشد در پیرامون پهنهٔ گسیخته شدهٔ گسله شایان توجه است. از سوی دیگر، در بخش خاوری سیستم گسلهٔ درونه، ریخت آبراهه مشخصاً به صورت Z است که بـا بهره گیری از سیستم برشی ریدل [٦] بـا سـازوکار راسـتالغز راستگرد همراه است (این نوع سازوکار برای اولین بـار بـا چنـین شـواهد ریخت زمین سـاختی در ایـن مقالـه بـه اثبات مـی‌رسد). شـاهد دیگر ریخت شناختی برای سازوکار راستالغز راستگرد در باختر رشـتخوار و جنوب فیض آباد مشخص است (شکل ۳). با جا به جایی کامل آبراهه ها به صـورت راسـتالغز راسـتگرد، جنبا بـودن سیسـتم گسـله در ایـن پهنـه به صورت راستالغز راستگرد در زمان کواترنر و عهد حاضر نمایانگر است.

جکسون در سال ۱۹۹۹ [۷] نشان داد که گسـله درونـه (کـل سیسـتم را به عنـوان یـک گسـل در نظر گرفتـه اسـت) دارای سـازوکار راسـتالغز چپگرد است. این سازوکار با توجه به سازوکار ژرفی زلزلـه هـا و شـواهد صحرایی برای بخشهای باختری این سیستم گسله مورد تأییـد مـی‌باشـد؛ ولی، در این بررسی مشـخص گـردید کـه بخشـهای خـاوری ایـن سیسـتم گسله، دارای سازوکار راستالغز راستگرد و فشاری (معکوس) می‌باشند.

٤-٣- سازوکارهای ژرفی

سازوکارهای ژرفی موجود از زلزله های ایـن ناحیـه، بـه زلزلـه هـای ۱۹۷۱/۵/۲٦، ۱۹۷۲/۱۲/۱، ۱۹۷۹/۱۲/۹ (شـکل ۵) [۸]، رویـــداد زلزلـهٔ ۱۹۹٤/۱۲/۱٤ و دو زلزلـه در ۱۹۹٦/۲/۲۵ مـربوط مـی‌باشـد (شکل ٦). وابستگی سـازوکارهای مشـخصاً راسـتالغز چپگـرد بـا بخـش باختری سیستم گسله درونـه قطعـی بـه نظر مـی‌رسـد (شـکل ۲). لازم بـه ذکر- است که دو سـازوکار ژرفی ۱۹۷۱/۵/۲٦ و ۱۹۷۲/۱۲/۱ را مـی توان به جنبا شدن گسل تـاج رود منتسـب نمـود و رویـداد ۱۹۷۹/۱۲/۹ نیز به طور واضح با بخش باختری گسله درونه وابستگی نشان می دهـد.

دو رویداد ۱۹۹۶/۲/۲۵ با سازوکار راستالغز چپگرد به روندهای موازی با بخش باختری گسله درونه مرتبط است. در این مورد نکتهٔ شایان توجه آن است که با نزدیک شدن به سمت بخش مرکزی گسله درونه، سازوکار غالب به صورت فشاری (معکوس) در می‌آید. در سازوکار دو زلزلهٔ ۱۹۹٤/۱۲/۱٤ و ۱۹۷۱/۵/۲٦ مؤلفه راستالغز چپگرد نیز قابل مشاهده- می‌باشد. البته با توجه به داده های موجود تاکنون سازوکار ژرفی از بخشهای خاوری سیستم گسله درونه در دسترس نبوده است تا بتوان سازوکار روندهای راستالغز راستگرد (قابل مشاهده بر روی زمین و بر اساس ریخت شناسی آبراهه ها) در زمین‌لرزه ها را نیز مشاهده- نمود. این نکته که جا به جایی و ریخت آبراهه ها با روندهای گسله راستالغز راستگرد کنترل شده اند، خود گویای چنین سازوکار برشی کواترنری می‌باشد.



شکل (۵): سازوکار ژرفی زمین لرزه های ۱۹۷۱/۵/۲٦، ۱۹۷۲/۱۲/۱ و ۱۹۷۹/۱۲/۹ در پیرامون سیستم گسله درونه [۸]

شکل (٦): سازوکار ژرفی زمین لرزه ۱۹۹٤/۱۲/۱٤ (الف) و دو زلزله ۱۹۹٦/۲/۲۵ (ب و ج) [NEIC, PDE] (رومرکز این زلزله ها در شکل (۵) مشخص شده است)

۵- رویداد زلزله های زمستان ۱۳۷۸- بهار ۷۹ ۱۳ در ناحیه کاشمر

رویداد زلزله های پیاپی در پهنهٔ کاشمر که رومرکز مهلرزه ای همهٔ آنها منطبق با ناحیه کاشمر به سمت باختر می‌باشد، از زمستان ۱۳۷۸ تا بهار ۱۳۷۹ موجب خسارتهای متوسط و کشته شدن یک نفر در یکی از این رویدادها گردید. این زلزله ها (شکل ۲) عبارتند از:

- زلزله ۱۳۷۸/۱۱/۵ (۲۰۰۰/۱/۲۵) با $M_L = 4.0$ که در ۱۵۰ کیلومتری جنوب پایگاه مشهد گزارش گردید اولین زلزلهٔ مهمی بود که در سال ۱۳۷۸ ناحیه کاشمر را به لرزه درآورد.
- زلزله ۱۳۷۸/۱۱/۱۳ (۲۰۰۰/۲/۵) با $M_w = 5.4$ ، $m_b = 5.1$ و $M_L = 5.4$ مهمترین رویداد از این گروه زلزله‌هاست که پایگاه لرزه نگاری مشهد آن را در ۲۰۰ کیلومتری جنوب باختری در حوالی کاشمر و بردسکن گزارش نمود. بنابر گزارش خبرگزاری ایرنا بر اثر این رویداد یک نفر در روستای جابوز کشته و ۱۵ نفر در کندر مجروح شدند و به ۵۰۰ واحد مسکونی بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد خسارت وارد شد.
- زلزله ۱۳۷۸/۱۱/۲٤ (۲۰۰۰/۲/۱٤) با $M_L = 4.7$ و $m_b = 4.9$ در ۲۲۰ کیلومتری جنوب باختری پایگاه مشهد در حوالی کاشمر روی داد. بر اساس گزارش ایرنا به صد خانه بین ۳۰ تا ٦۰ درصد خسارت وارد آمد.
- زلزله ۱۳۷۸/۱۱/۳۰ (۲۰۰۰/۲/۱۹) با $M_L = 3.4$ در ۱۸۰ کیلومتری جنوب باختری پایگاه مشهد در حوالی کاشمر گزارش- گردید.
- زلزله ۱۳۷۸/۱۲/٦ (۲۰۰۰/۲/۲۵) با $M_L = 3.4$ در ۱۹۰

کیلومتری جنوب باختری پایگاه مشهد در حوالی کاشمر احساس شد.

- زلزله ۱۳۷۹/۱/۹ (۲۰۰۰/۳/۲۸) با $m_b = 5.0$ و $M_L = 4.8$ در ۱۹۰ کیلومتری پایگاه مشهد در ناحیه کاشمر ثبت شد. این زلزله که در بردسکن نیز احساس گردید در جابوز، کندُر و چند روستای بخش خلیل آباد کاشمر بیشترین شدت را داشت ولی خسارت یا تلفاتی از آن گزارش نشد.

۶- راستای تنش

در بررسی حاضر روند سیستم گسلهٔ درونه بر اساس مطالعه روند ساختارهای مهم و با بهره گیری از شواهد مختلف ریخت زمین ساختی و سازوکارهای ژرفی در شکل (۳) مشاهده می شود. در این شکل راستای تنش اصلی فشاری در این منطقه بر اساس گسلهای بنیادی منطقه *N20E* یافت شده است. یادآور می‌شود که جکسون در سال ۱۹۹۹ برای این ناحیه از کشور راستاهای *N15E* تا *N23E* را نشان داده‌است [۷]. مهاجر اشجعی نیز روند *N35E* را برای کل ناحیه لوت با استفاده از روند ساختارهای اصلی مشخص کرده است [۳]. راستای تنش اصلی براساس سازوکارهای ژرفی نیز در این شکل مشاهده می شود که بین *N9E* تا *N39E* (بیشتر در بخشهای باختری برای روندهای راستالغز) متغیر است. با توجه به روندهای تنش و وضعیت قرارگیری گسلهای منطقه می توان انتظار داشت در صورت بروز زمین لرزه در بخشهای خاوری سیستم گسلهٔ درونه، سازوکار آن به صورت فشاری تا راستالغز راستگرد باشد.

۷- جمع بندی

وقوع زلزله های با بزرگای متوسط *(M=6-4)* در راستای سیستم گسله درونه که گسیختگی سطحی (تا فروردین ماه ۱۳۷۹) از آنها گزارش نشده است و همچنین وقوع تعدادی زمین لرزه با بزرگای حداکثر $M_w = 5.4$ *(M=3-5.5)* در فاصله زمانی حدود سه ماه (به صورت یک فوج زمین لرزه ای) در ناحیه کاشمر در این مقاله مورد بررسی واقع گردید و مشخص شد که وقوع چنین زلزله هایی در پهنهٔ درونه در سده بیستم تجربه شده است. علی رغم زلزله های دیگر در بخشهای جنوبی این گسل (مانند طبس، دشت بیاض، قائنات، کولی، بنیاباد و ...) که با گسیختگی سطحی در یک زلزله با بزرگای بیش از *M=7* همراه بوده اند، زلزله های روی داده در پهنهٔ سیستم گسلهٔ درونه (خاوری- مرکزی و باختری) عمدتاً بزرگاهای متوسط داشته و تاکنون با گسیختگی سطحی همراه نبوده اند. این حالت را احتمالاً می توان به عنوان ویژگی سیستم گسله درونه در نظر گرفت؛ به گونه ای که، احتمالاً بخش زیادی از جا به جایی در راستای این سیستم گسله بدون لرزه است و به صورت خزش انجام می شود. از سوی دیگر، آزاد شدن انرژی با رویداد زلزله های متوسط در یک محدودهٔ زمانی چند ماهه (نظیر زلزله های اخیر) می باشد.

سازوکار و راستاهای تنش در پیرامون این سیستم گسله نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که روندهای برشی متفاوتی را می‌توان در بخشهای خاوری و باختری این سیستم گسله مشاهده نمود. سازوکار برشی راستالغز چپگرد در بخش باختری این سیستم در مشاهدات صحرایی، سازوکار ژرفی و در جا به جایی روندهای آبراهه ها کاملاً مشخص است. این سازوکار با نزدیک شدن به سمت منطقه میانی سیستم گسله درونه به سازوکار فشاری نزدیک می‌شود. سازوکارهای ژرفی نیز در بخشهای مرکزی این سیستم گسله، ترکیبی از هر دو سازوکار فشاری و راستالغز چپگرد را نشان می‌دهند. در بخشهای خاوری سیستم گسلهٔ درونه هنوز شاهدی از سازوکار ژرفی در دسترس نیست و علی رغم وقوع زلزله ۱۹۲۳ کاج درخت (جنوب تربت حیدریه) گزارشی از نوع جا به جایی گسله و گسیختگی سطحی در دسترس نیست؛ ولی، با توجه به ریخت آبراهه ها که به شکل سیگموئیدال به صورت *Z* جا به جا شده اند و جا به جایی آبراهه ها در نزدیکی رشتخوار و فیض آباد، سازوکار راستالغز راستگرد برای این بخش از سیستم گسله درونه (بخش خاوری در سمت خاور و جنوب خاور تربت حیدریه) معرفی می گردد. علاوه بر این، چنین سازوکاری را می‌توان با بررسیهای بیشتر در سمتهای باختر- شمال باختری تربت حیدریه و در راستای خطواره تربت حیدریه نیز مشاهده نمود (شکل ۳). در صورت بروز یک زلزله بزرگ در راستای بخش خاوری سیستم گسلهٔ درونه (در راستای خطواره تربت حیدریه) می‌توان انتظار داشت که سازوکار فشاری تا راستالغز راستگرد (با توجه به راستای تنش اصلی *N20E* که در این مقاله معرفی گردید) مشاهده گردد. با توجه به بررسی انجام شده و ارائه نتایج، برای ادامه تحقیقات این موارد پیشنهاد می گردد:

- نصب یک شبکه بسته لرزه نگاری محلی در پیرامون کاشمر که حداقل از باختر بردسکن تا خاور تربت حیدریه (رشتخوار) در راستای خاوری- باختری و از فیض آباد تا کدکن (در راستای شمالی- جنوبی) را در بر گیرد. از چنین شبکه ای می‌توان داده های بسیار مفیدی برای تحلیلهای مفصلتر از وضعیت تنش و

گسلش فعال و لرزه زمین ساخت (سازوکار ژرفی) در این منطقه به دست آورد.

- بررسیهای دیرینه لرزه شناسی مفصلی از سوی خاور تربت حیدریه تا باختر بردسکن بر روی این پهنهٔ گسله به عمل آید. این بررسیها که در سالهای گذشته در قالب پژوهش آغاز گشته‌بود، می‌تواند داده های با ارزشی از نحوه فعالیت این سیستم و دورهٔ بازگشت زلزله های بزرگ حداقل در ۱۰,۰۰۰ سال گذشته در دسترس قرار دهد.
- بررسیهای زمین ریخت شناختی و ریخت زمین ساختی بر روی این سیستم گسله با بهره گیری از عکسهای ماهواره ای جدید به عمل آید تا وضعیت گسلهای پنهان و پوشیده مشخص و سازوکارهای مختلف با دقت بیشتری انجام شود.

۸- مراجع

1-Nogol-Sadat, M. A. A., Seismotectonic Map of Iran, Teritise on the Geology of Iran, 1:1000,000 Scale, 1994 .

2-Ambraseys, N.N., and Melville, C.P. A History of Persian Earthquakes, Cambridge Earth Sci. Ser. 1982.

3-Mohajer-Ashjai, A., Recent and Contemporary Crustal Movements in Eastern Iran, Ph. D. Thesis, Imperial College, London, 1975.

4-Mohajer-Ashjai, A., Behzadi, H., and Berberian, M. Reflections on the Rigidity of the Lut Block and Recent Crustal Deformation in Eastern Iran, Tectonophysics, Vol. 28, P. 281-301, 1975.

5-Tchalenko J., Berberian, M. and Behzadi, H. Geomorphic and Seismic Evidance for Recent Activity ot the Doruneh Fault (Iran), Tectonophysics, Vol. 19, pp. 333-341, 1973.

6-Zare, M., Introducing the Basement Fault of Zahab, Proc. 1 st. Int. Conf. on Seismology and Earthquake Eng. (SEE-1), Vol 1., pp. 77-84, 1991.

7-Jackson, J., Seismology and the Active Tectonics of Iran, Proc. 3rd Int. Conf. Seis. and Earthquake Eng. (SEE3), Vol.1, pp. 3-13, 1999.

8-Jackson, J. and Mckenzie, D. Active Tectonics of Alpine-Himalayan Belt Between Western Turkey and Pakistan, Geophy. J. R. Astr. Soc., Vol. 77., pp. 185-264, 1984.◄