

تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در شمال شرقی ایران

دکتر شهرام روستایی
استادیار جغرافیا دانشگاه تبریز

دکتر معصومه رجبی
استادیار جغرافیا دانشگاه تبریز

غلامرضا مقامی مقیم
دانشجوی دکتری جغرافیا دانشگاه تبریز

چکیده

ارتفاعات آلاداغ به عنوان یک واحد تکتونیکي بخش وسیعی از استان خراسان شمالی را می‌پوشاند. این رشته‌کوه در شمال شرقی ایران قرار داشته و از نظر زمین‌شناسی جزئی از ارتفاعات آلاداغ - بینالود محسوب می‌شود. این منطقه در دوران‌های مختلف زمین‌شناسی یکی از مناطق فعال تکتونیکي ایران بوده و در شرایط کنونی نیز فعالیت‌های شدید تکتونیکي را تجربه می‌کند. فعالیت‌های تکتونیکي در این منطقه از طریق دلایل و شواهدی قابل اثبات می‌باشد. از مهمترین این شواهد می‌توان به گسل‌های فعال منطقه اشاره نمود. وجود چندین گسل فعال از جمله گسل‌های عادل آباد، کی‌کی، قره‌جه رباط و مقصودآباد در منطقه می‌تواند به عنوان شواهدی جهت اثبات این فعالیت‌ها محسوب شود. دلیل دیگر برای اثبات این فعالیت‌ها مقایسه‌ی نیمرخ طولی و مرجع دره‌های منطقه می‌باشد مقایسه‌ی نیمرخ طولی و مرجع دره‌های منطقه نشان می‌دهد این منطقه از نظر تکتونیکي شرایط فعالی را طی می‌کند. نسبت بین عرض دره‌های منطقه به متوسط ارتفاع آنها روش دیگری برای مطالعات تکتونیکي می‌باشد این نسبت برای دره‌های منطقه عدد $1/8$ به دست آمد بنابراین ارتفاعات منطقه را در ردیف مناطق متوسط تکتونیکي قرار می‌گیرد. تضاریس جبهه‌ی کوهستان به عنوان شاخص کمی دیگر مبین این فعالیت‌ها می‌باشد. متوسط این شاخص برای دره‌های منطقه عدد $1/51$ به دست آمد بنابراین بر اساس طبقه‌بندی بول¹ و مک فادن² منطقه در ردیف مناطق فعال تکتونیکي قرار می‌گیرد. وقوع زلزله‌های متعدد از نشانه‌های فعالیت تکتونیکي منطقه در زمان حاضر می‌باشد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد، سالانه چندین زلزله با بزرگی بالاتر از ۴ ریشتر در منطقه به وقوع می‌پیوندد. این زمین‌لرزه‌ها می‌تواند به عنوان یکی از مظاهر اصلی فعالیت‌های نئوتکتونیکي منطقه به حساب آید.

کلیدواژه‌ها: ارتفاعات آلاداغ، پرتگاه گسل، جبهه کوهستان، نئوتکتونیک، نیمرخ طولی، نیمرخ مرجع.

مقدمه

امروزه زلزله یکی از مخرب‌ترین حوادث طبیعی محسوب می‌شود، که هر ساله جان هزاران نفر از مردم ایران را گرفته، خسارات جانی و مالی زیادی به کشور ما وارد می‌کند. عامل اصلی وقوع زمین‌لرزه‌ها، حرکات نئوتکتونیک است که می‌تواند در رخداد سایر بلایای طبیعی نظیر حرکات دامنه‌ای نیز مؤثر باشد.

نئوتکتونیک به حرکات جدید تکتونیکي اطلاق می‌شود که عمدتاً در گسل‌ها نمود پیدا می‌کنند علاوه بر گسل‌ها آثار این حرکات را می‌توان در مخروط افکنه و دشت‌های آبرفتی نیز مشاهده نمود. در کشور ایران در این زمینه مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است که می‌توان به مطالعات انجام شده توسط اشتوکلین^۱ (۱۳۵۰)، درویش‌زاده-محمدی (۱۳۷۴: ۱۱۰) ایران پناه (۱۳۴۷) و نبوی (۱۳۵۰) اشاره نمود. از مهمترین این موارد می‌توان به تهیه نقشه‌ی زمین ساخت ایران در سال ۱۹۶۷ توسط روتنر^۲ و اشتوکلین اشاره نمود (معمد، ۱۳۷۴: ۴۱۰).

مطالعه‌ی فعالیت‌های نئوتکتونیکي در دامنه‌های جنوبی آلاداغ محدود به مطالعات اکتشافی است که سازمان زمین‌شناسی ایران انجام داده و نتایج آن‌را به صورت نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ منتشر نموده است. به غیر از موارد فوق مطالعات قابل ذکری در این زمینه در منطقه صورت نگرفته است. البته مطالعات مشابهی در سایر کشورها در سال‌های اخیر صورت گرفته است، از جمله مطالعات انجام شده توسط آندری کورچنکوف^۳ (۱۹۸۸: ۶۴)؛ (۲۰۰۴: ۶) در ارتفاعات تین‌شان در قیرقیزستان در این زمینه قابل تحسین می‌باشد. آگاهی از شرایط نئوتکتونیکي منطقه می‌تواند تا حدود زیادی از خسارات جانی و مالی زمین‌لرزه‌ها کاسته و در کاهش خسارات ناشی از بلایای طبیعی دیگر نظیر حرکات دامنه‌ای مؤثر واقع شود هدف از این مقاله مطالعه و شناسایی فعالیت‌های نئوتکتونیکي در دامنه‌های جنوبی آلاداغ برای مقابله با تاثیرات احتمالی این حرکات می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه‌ی فعالیت‌های نئوتکتونیکي در دامنه‌های جنوبی آلاداغ ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰، ۱:۵۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، موقعیت منطقه مشخص و مرزبندی گردید. سپس با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ گسل‌های منطقه مورد مطالعه قرار گرفت. در مرحله‌ی بعدی بر اساس نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ نیمرخ طولی و مرجع برای برخی از دره‌های منطقه تهیه شد. همچنین به فواصل منظم ۱۰۰۰ متری از جبهه کوهستان در بیش از ۱۰۰ نقطه از دره‌های منطقه نسبت بین پهنای دره‌ها به عمق آنها مشخص

1-Eshtoklin

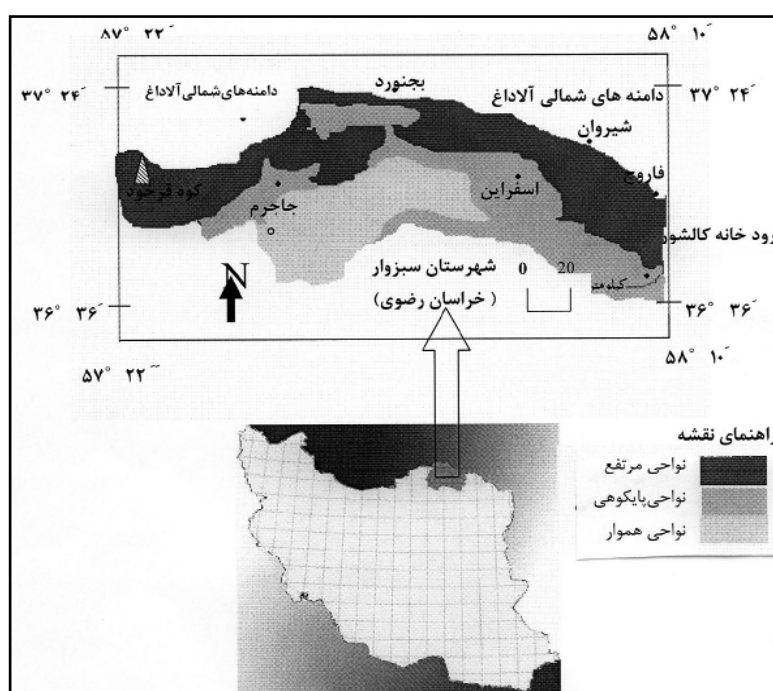
2-Rotner

3-Andrey korjenkov

گردید. به علت قدیمی بودن نقشه‌های توپوگرافی جهت حصول اطمینان از ارتفاع منطقه، ارتفاع چند نقطه از منطقه با استفاده از GPS اندازه‌گیری شد. علاوه بر این جهت شناسایی و مطالعه‌ی دقیق گسل‌های منطقه مطالعات میدانی در منطقه انجام پذیرفت.

موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در شمال شرقی ایران و در قسمت جنوبی ارتفاعات آلاداغ از رشته‌کوه آلاداغ- بینالود قرار دارد. این منطقه قسمتی از زون آلاداغ - بینالود می‌باشد و از نظر موقعیت جغرافیایی بین عرض 36° و 37° تا 24° و 37° شمالی و طول 22° و 57° درجه تا 10° و 58° شرقی واقع شده است. جاده‌ی قوچان به سبزوار این منطقه را از ارتفاعات بینالود و کوه قرخود آن را از کوه‌های البرز شرقی جدا می‌کند. شهرهای اسفراین، صفی‌آباد، جاجرم و سنخواست و چندین روستای پرجمعیت در قسمت جنوبی این منطقه قرار دارند. منطقه‌ی مورد مطالعه از طرف شمال به دامنه‌های شمالی آلاداغ و از طرف جنوب به دشت جاجرم، دشت اسفراین و رودخانه‌های قره‌سو و کال شور که جزئی از حوضه آبریز کویر شمالی محسوب می‌شوند، محدود می‌گردد. مساحت تقریبی منطقه حدود 5000 کیلومتر مربع می‌باشد (شکل شماره ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت و محدوده منطقه مورد مطالعه در ایران

بحث نظری

درباره‌ی ساختمان زمین‌شناسی ارتفاعات آلاداغ دو نظریه وجود دارد. گروهی از زمین‌شناسان این ارتفاعات را جزو ارتفاعات ایران مرکزی و گروهی دیگر آن را ادامه‌ی ارتفاعات البرز می‌دانند. از نظر زمان شکل‌گیری، پایه‌ی اولیه شکل‌گیری این کوه‌ها را به فاز کوه‌زایی لارامید در اواخر کرتاسه نسبت می‌دهند. در این فاز کوه‌زایی، در اثر برخورد خرده صفحات گوناگون و متصل شدن آنها به یکدیگر این ارتفاعات شکل گرفته است. به عقیده‌ی بسیاری از زمین‌شناسان، منطقه‌ی مورد مطالعه تا اواخر ژرواسیک حالت پلیت فرمی داشته و از نظر تکتونیکی وضعیت آرامی را سپری می‌نمود، حرکات اواخر کرتاسه که از شدت بیشتری برخوردار بود و چین‌های بزرگی در مناطق مختلف ایران به وجود آورده بود (جداری‌عیوضی، ۱۳۷۶: ۳۰)، توانست این قسمت از ایران را تحت تأثیر قرار دهد.

اگر ما این عقیده را بپذیریم باید بگوییم در اواخر کرتاسه در آخرین فازهای کوه‌زایی لارامید یعنی در حدود ۷۰ میلیون سال پیش فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه آغاز و در شرایط کنونی نیز ادامه دارد. فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه مورد مطالعه بر اساس دلایل و شواهد زیر قابل بررسی و اثبات می‌باشد.

گسل‌های منطقه

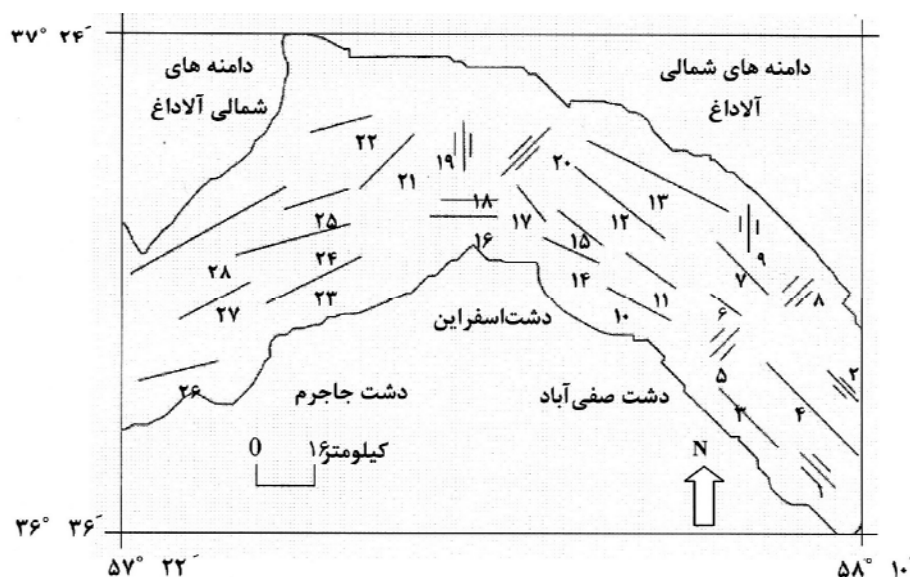
با آغاز فعالیت‌های تکتونیکی منطقه، در طی کوه‌زایی لارامید، گسل‌های آن نیز شکل گرفته فعالیت خود را آغاز نمودند. این گسل‌ها جبهه‌ی شمالی این ارتفاعات را با یک سری پرتگاه به دره‌ی رودخانه‌ی اترک و جبهه‌ی جنوبی آن را به دشت جاجرم مرتبط می‌کنند (علایی طالقانی، ۱۳۸۲: ۱۸۹). به علت عدم تجانس پوسته‌ی زمین در منطقه‌ی مورد مطالعه و فشارهای وارده بر آن، اکثر گسل‌های منطقه فعال و یا بالقوه فعال می‌باشند. فعالیت گسل‌های منطقه از جهات زیر قابل بررسی می‌باشد

الف - جهت گسل‌ها

بر اساس مطالعات انجام شده روند کلی گسل‌های منطقه شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد. البته این روند فقط برای گسل‌های شرقی منطقه صادق بوده و گسل‌های دیگر منطقه جهاتی متفاوت از این روند دارند. به عنوان مثال درحالی‌که جهت گسل‌های غربی منطقه، جنوب غربی - شمال شرقی است. جهت گسل‌های مرکزی منطقه تقریباً غربی شرقی می‌باشد. جهت شمال غربی جنوب شرقی فقط در مورد گسل‌های شرقی و جنوب شرقی منطقه صدق می‌نماید (شکل شماره ۲). جهات متفاوت گسل‌های منطقه مبین این مطلب می‌باشد که منطقه از نظر تکتونیکی تحت تأثیر نیروهای گوناگونی قرار دارد و این نیروها از جهات گوناگون بر منطقه وارد

گردیده است. روند شمال غربی - جنوب شرقی گسل‌ها بیشتر در گسل‌های قدیمی منطقه که از نوع راندگی می‌باشند دیده می‌شود. این روند برای گسل‌های قدیمی نشانه‌ی وارد آمدن نیرو از طریق شبه جزیره‌ی عربستان بر جنوب ایران می‌باشد که جهتی مشابه با جهت گسل‌های زاگرس به گسل‌های منطقه داده است. در حالی که گسل‌های امتداد لغز منطقه که نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در حرکات نئوتکتونیک منطقه دارند، جهتی متفاوت با جهت گسل‌های راندگی منطقه دارند. جهت متفاوت این گسل‌ها با گسل‌های راندگی ممکن است ناشی از تنش‌های ایجاد شده توسط پلیت توران باشد.

گسل‌های مرکزی منطقه نیز جهاتی متفاوت از گسل‌های شرقی و غربی منطقه دارند. روند تقریباً غربی شرقی گسل‌های راندگی در قسمت مرکزی منطقه تا حدود زیادی از جهت گسل‌های البرز تبعیت می‌کند. جهات متفاوت گسل‌های منطقه مانند بسیاری از ارتفاعات دیگر ایران نشان‌دهنده‌ی این مطلب است که نیروهای متفاوت و از جهات مختلفی بر این منطقه وارد شده و حرکات تکتونیک متفاوتی را به دنبال داشته است. مورفولوژی ظاهری و جهت متفاوت گسل‌های منطقه این فرض را در ذهن هر محقق تداعی می‌کند که به احتمال زیاد در جنوب شرقی و شمال غربی منطقه پایه‌ها و تکیه‌گاه‌هایی وجود دارد که سبب یک پایداری نسبی تکتونیک در قسمت جنوب شرقی و شمال غربی منطقه شده و فعالیت‌های تکتونیک را در این دو قسمت کاهش داده است. برعکس فعالیت‌های تکتونیک را در قسمت مرکزی به حداکثر رسانده است. فشار وارده از سمت جنوب به این ارتفاعات باعث شکستگی در قسمت مرکزی آنها شده و این ارتفاعات را به سمت شمال سوق داده است. نتیجه‌ی آن تغییر جهت این ارتفاعات از جهت غربی شرقی به جهت شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد، وگرنه به تبعیت از ارتفاعات البرز بایستی جهت این ارتفاعات نیز غربی شرقی می‌بود. در صورتی که این روند ادامه داشته باشد ضمن اینکه منطقه به‌عنوان یکی از مناطق فعال تکتونیک ایران باقی خواهد ماند، جهت این ارتفاعات نیز در دوران‌های بعد زمین‌شناسی به احتمال زیاد به جهت شمالی - جنوبی تغییر پیدا خواهد نمود.



شکل ۲: نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه

راهنمای نقشه گسل‌ها: گسل‌های امتداد لغز = گسل‌های راندگی
 ۱- گسل امتداد لغز عادل آباد-۲ امتداد لغز زرد بلند پایین-۳ راندگی مقصودآباد-۴ گسل راندگی دهنود
 ۵- امتداد لغز زرد بلند بالا-۶ راندگی زنفت-۷ راندگی عنبرآباد-۸ امتداد لغز جوزغه-۹ امتداد لغز نوده
 ۱۰- راندگی صفی آباد-۱۱ راندگی عباس آباد-۱۲ راندگی حصار-۱۳ راندگی جهان-۱۴ راندگی پشت بهرام
 ۱۵- راندگی خوراب-۱۶ راندگی سارمران-۱۷ راندگی باغی-۱۸ راندگی شیرویه-۱۹ امتداد لغز شیرویه-۲۰ امتداد
 لغز کی کی-۲۱ راندگی قرجه رباط-۲۲ راندگی سالوک-۲۳ راندگی سیاه چون-۲۴ راندگی بهار-۲۵ راندگی
 کمرسفيد-۲۶ راندگی سنگ تراش-۲۷ راندگی چهارچوبه-۲۸ راندگی شوقان

ب- فعالیت گسل‌های منطقه

از شواهد عمده‌ی فعالیت تکتونیکی در یک منطقه، فعالیت یا عدم فعالیت گسل‌های آن منطقه می‌باشد. گسل‌ها را از نظر فعالیت به صورت ذیل تقسیم‌بندی می‌نمایند.

۱- گسل فعال: آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده در سال ۱۹۸۱، گسلی را که در ۱۰,۰۰۰ سال اخیر حداقل یک حرکت از خود نشان داده باشد، فعال می‌نامد.

۲- گسل بالقوه فعال: چنانچه شواهد گسلش قابل تشخیص باشد، ولی عدم ثبت زلزله در گسل، مربوط به کمبود اطلاعات باشد. در این صورت گسل بالقوه فعال نامیده می‌شود.

۳- گسل دارای فعالیت نامشخص: چنانچه به علت کمبود اطلاعات، به فعال بودن یا فعال نبودن گسل مشکوک باشیم. این گسل را واجد فعالیت نامشخص می‌نامند.

۴- گسل غیرفعال: چنانچه عدم فعالیت گسل محرز باشد گسل غیرفعال نامیده می‌شود (سایت اینترنتی پژوهشکده بین‌المللی زلزله‌شناسی ایران به نقل از آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده امریکا).

جدول (شماره ۱) نام و مشخصات گسل‌های منطقه را مشخص می‌کند همانطور که در ستون انتهایی جدول مشاهده می‌شود، بیشتر گسل‌های منطقه در ردیف گسل‌های فعال قرار دارند. البته بر اساس نظریه‌ی تکتونیک صفحه‌ای به دلیل برخورد شبه‌جزیره عربستان به جنوب ایران اکثر گسل‌های ایران در ردیف گسل‌های فعال قرار می‌گیرند. اما به دلیل اینکه برای برخی از گسل‌ها نمی‌توان شواهد و دلایل کافی برای فعالیت پیدا نمود، از این رو این گسل‌ها در ردیف گسل‌های بالقوه فعال قرار می‌گیرند. بنابراین گسل‌های منطقه از نظر فعالیت به دو دسته فعال و بالقوه فعال تقسیم می‌شوند، معیار فعالیت یا عدم فعالیت گسل‌های منطقه در ستون انتهایی جدول (شماره ۱) مشخص شده است همانطوری که در این جدول مشاهده می‌شود. بهترین دلیل برای اثبات فعالیت این گسل‌ها وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد در منطقه می‌باشد. در بیشتر گسل‌های منطقه از سال ۱۹۰۰ تاکنون یک یا چند زلزله ثبت شده است بنابراین طبق تعریف به دلیل وقوع زمین‌لرزه در بیشتر گسل‌های منطقه می‌توان گسل‌های منطقه را در ردیف گسل‌های فعال قرار داد.

نشانه‌ی دیگر فعالیت گسل‌های منطقه جابجایی‌های سازنده‌های مختلف زمین‌شناسی است که در منطقه رخ داده است. این جابجایی‌ها عمدتاً در اثر گسل‌ها اتفاق افتاده و گسل‌های منطقه با جابجایی سازنده‌های قدیمی بر روی سازنده‌های جدید، فعالیت خود را آشکار نموده‌اند. برخی از این گسل‌ها چندین هزار متر رسوب را در دوران‌های مختلف زمین‌شناسی جابجا نموده‌اند که از آن جمله می‌توان به جابجایی در حدود ۷ کیلومتر رسوبات قدیمی بر روی رسوبات جدید توسط گسل کی‌کی اشاره نمود. گسل‌های دیگر نیز مانند گسل‌های شیرویه، نوده‌بام، مقصودآباد هر کدام چندین متر رسوب را جابجا نموده‌اند. جابجایی این رسوبات بهترین دلیل فعالیت گسل‌های منطقه محسوب می‌شود. پرتگاه‌ها و سرایشی‌های تند ایجاد شده توسط گسل‌های منطقه نیز می‌تواند نشانه‌ی فعالیت گسل‌های منطقه به حساب آید. هر چه این سرایشی‌ها تندتر باشد نشان‌دهنده‌ی جدید بودن فعالیت‌های تکتونیک منطقه می‌باشد. گسل‌های سالوک، جهان، سارمران، قرجه‌رباط و چندین گسل دیگر منطقه، پرتگاه‌های پریشیبی را در منطقه به وجود آورده‌اند. پدیده‌ی انحراف رودخانه‌ها و شاخه‌های آنها از مسیر اصلی نیز دلیلی است که می‌تواند بیانگر فعالیت گسل‌های منطقه باشد. این پدیده در محل بیشتر گسل‌های منطقه مشاهده می‌شود. از آن جمله می‌توان به انحراف چندشاخه از رودخانه‌ی روئین در اثر فعالیت گسل شیرویه و انحراف چند شاخه از رودخانه کال‌شور در محل گسل مقصودآباد و عنبرآباد و چندین مورد دیگر اشاره نمود (جدول ۱).

جدول ۱: مشخصات گسل‌های منطقه و عملکرد آنها

نام گسل	طول گسل (کیلومتر)	جهت گسل	جهت زمین لرزه	جهت زمین لرزه	شواهد و نشانه های فعالیت
مقصود آباد	۲۵	fo	NW-SE	پلیوسن	زلزله سال ۱۹۵۰، پدیده انحراف رودخانه در روستای مقصودآباد،
دهنود	۲۰	fo	NW-SE	پلیوسن	زمین لرزه سال ۱۹۸۴، پدیده انحراف رودخانه‌ای در روستای عادل آباد،
گلبین	۱۰	fo	NW-SE	میوسن	زمین لرزه سال ۱۹۳۳
زنف	۱۰	fo	NW-SE	میوسن	زمین لرزه سال ۱۹۶۹
عنبر آباد	۱۵	fo	NW-SE	پلیوسن	عدم ثبت زمین لرزه
پشت بهرام	۱۱	fo	NW-SE	سیلورین	انحراف سر شاخه‌های کال شور، رانده شدن نهشته‌های قدیمی بر روی نهشته‌های جدید
صفی آباد	۲۰	fo	NW-SE	میوسن	عدم ثبت زلزله،
خوراب	۱۵	fo	NW-SE	دوین	انحراف رودخانه، جابجایی در رسوبات جدید در محل روستای خوراب، وجود پرتگاه
حصاری	۲۰	fo	NW-SE	پالئوسن	عدم ثبت زلزله، پوشیده شدن توسط نهشته‌های کواترن
جهان	۲۵	fo	NW-SE	پلیوسن	زمین لرزه سال ۱۹۸۱، جابجایی رسوبات قدیمی بر روی رسوبات جدید در روستای بانی در
عباس آباد	۲۰	fo	NW-SE	میوسن	عدم ثبت زلزله، پوشیده شدن توسط نهشته‌های جوان
سالوک	۱۵	fo	E-W	ژوراسیک	زمین لرزه سال ۱۹۸۴ وجود پرتگاه‌های متعدد.
قرجه رباط	۱۷	fo	NE-SW	ژوراسیک	زمین لرزه‌های سال ۱۹۵۳ و ۱۹۵۱
سارمران	۱۵	fo	E-W	پلیوسن	زمین لرزه سال ۱۹۵۳
شوقان	۴۰	fo	E-W	ائوسن	زمین لرزه ۱۹۵۶
سنگ تراش	۲۰	fo	W-E	الیگوسن	وقوع زمین لرزه‌های ۱۹۲۵
سیاه چون	۲۸	fo	E-W	پلیوسن	زمین لرزه سال ۱۹۵۷
چهار چوبه	۱۷	fo	E-W	ائوسن	عدم ثبت زمین لرزه
بهار	۲۸	fo	SW-NE	ائوسن	عدم ثبت زمین لرزه و مدفون شدن برخی از قسمت‌های این گسل در زیر رسوبات جدید
کمر سفید	۱۰	fo	E-W	ائوسن	عدم ثبت زمین لرزه
کی کی	۱۵	fs	NE-SW	کرتاسه	زمین لرزه سال ۱۹۸۴
شیرویه	۵	fs	NE-SW	ژوراسیک	زمین لرزه ۱۹۵۱ انحراف رودخانه روئین
بیمندی	۵	fs	NW-SE	ژوراسیک	عدم ثبت زلزله
غریب کوه	۴	fs	NW-SE	کرتاسه	عدم ثبت زلزله
عادل آباد	۵	fs	NW-SE	ائوسن	زلزله ۱۹۵۶
جوزاقه	۲	fs	NE-NW	کواترن	وقوع زمین لرزه ۱۹۱۲
زردبند بالا	۵	fs	N-S	ائوسن	زمین لرزه سال ۱۹۶۹
بهار بالا	۶	fs	NE-SW	ائوسن	عدم ثبت زلزله
نوده	۱۰	fs	NW-SE	پلیوسن	زمین لرزه ۱۹۲۹، جابجایی حدود ۱ کیلومتر از رسوبات در روستای آفج و نوده

راهنمای جدول (شماره ۱): ۱- نوع گسل: fo=گسل راندگی، fol=گسل راندگی بزرگ زاویه، fs گسل امتداد لغز-
 ۲- وضعیت گسل از نظر فعالیت: A=گسل فعال، AP=بالقوه فعال

وقوع زمین لرزه‌های متعدد

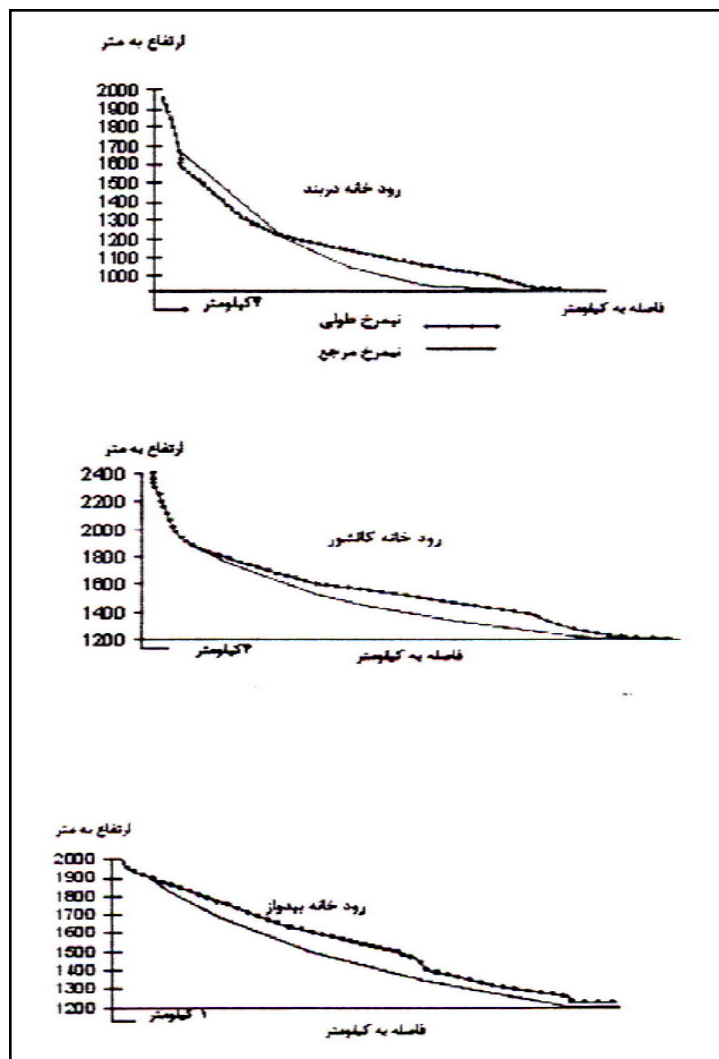
شاهد دیگر فعالیت‌های نئوتکتونیک منطقه، به صورت زمین لرزه‌های متعدد تظاهر پیدا می‌کند. طبق آمار پژوهشگردهی زلزله‌شناسی ایران از سال ۱۹۰۰ تاکنون بیش از ۱۲۰ زمین‌لرزه بالای ۴ ریشتر در منطقه به وقوع پیوسته است (پژوهشگردهی زلزله‌شناسی ایران سال ۲۰۰۵) که از جمله می‌توان به زمین لرزه سال ۱۳۳۴ دهنه اجاق و زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد اشاره نمود. اگرچه به جز دو زمین‌لرزه‌ی نام برده سایر زمین‌لرزه‌های منطقه از شدت و قدرت کمتری برخوردار می‌باشند، ولی وقوع همین تعداد زمین‌لرزه در هر سال نشان از فعالیت‌های شدید تکتونیک در منطقه دارد. تکرار این زلزله‌ها در دوره‌های مختلف مبین فعالیت‌های شدید تکتونیک منطقه بوده و ضمناً شاخصی برای وقوع زمین‌لرزه‌های آتی است.

مطالعات کمی

روش‌های کمی می‌تواند در مطالعه‌ی فعالیت‌های نئوتکتونیک یک منطقه کمک زیادی به یک محقق نماید. روش‌های کمی زیادی در این زمینه وجود دارد. در این پژوهش از روش‌هایی استفاده شد که با منطقه مورد مطالعه همخوانی و تناسب لازمه را دارا بودند. روش‌های زیر بیشترین تناسب را با منطقه‌ی مورد مطالعه داشتند.

الف- بررسی و مقایسه‌ی نیمرخ طولی رودخانه‌های منطقه

از طریق مقایسه نیمرخ طولی و مرجع رودخانه‌های یک منطقه می‌توان به حرکات تکتونیک جوان پی برد. ویلمن^۱ و نیوپفر^۲ (۱۹۹۴: ۸) جهت مطالعه حرکات تکتونیک در قسمت شرقی ارتفاعات مرکزی تایوان از این روش استفاده نمودند. مطالعات انجام شده در ارتفاعات آلاداغ و مقایسه‌ی منطقه با منطقه‌ی مورد مطالعه در تایوان نشان داد که این روش، روش مناسبی جهت مطالعه حرکات نئوتکتونیک در این ارتفاعات می‌باشد. بر اساس این روش ابتدا برای رودخانه‌های مهم منطقه مانند رودخانه‌های بیدواز، روئین، کال شور، سرولایت و چند رودخانه‌ی دیگر منطقه نیمرخ طولی و مرجع تهیه شد. در شرایط عادی بایستی نیمرخ مرجع و طولی در یک راستا باشند، اختلاف این دو نیمرخ نشان‌دهنده‌ی فعالیت‌های تکتونیک منطقه می‌باشد.



شکل ۴: مقایسه نیمرخ طولی و مرجع رودخانه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

نیمرخ طولی تهیه شده برای تمامی رودخانه‌ها در بیشتر قسمت‌ها بالاتر از نیمرخ مرجع قرار گرفته و این امر نشان‌دهنده‌ی بالا رفتن این حوضه‌ها در اثر فعالیت‌های جدید تکتونیکی می‌باشد. بالا آمدگی نیمرخ طولی نسبت به نیمرخ مرجع در مورد تمامی رودخانه‌های منطقه یکسان نیست این بالا آمدگی در رودخانه‌ی کال‌شور و دربند در مناطق شرقی و غربی منطقه کمتر و در رودخانه روئین و بیدوزا بیشتر می‌باشد.

شکل ۴ مقایسه‌ی نیمرخ طولی و مرجع برای رودخانه‌های نام برده را مشخص می‌کند. مطابق این شکل فعالیت‌های اندک تکتونیک در قسمت شرقی و غربی منطقه به رودخانه‌ها فرصت لازم جهت حفر بستر را داده و این رودخانه‌ها توانسته‌اند تا حدود زیادی بستر خود را فرسایش داده و به نیمرخ تعادل خود نزدیک شوند. در حالی که بیشترین اختلاف بین نیمرخ طولی و مرجع مربوط به رودخانه‌ی مرکزی منطقه یعنی رودخانه‌ی بیدواز می‌باشد و این نشان‌دهنده‌ی این مطلب می‌باشد که فعالیت‌های نئوتکتونیک در قسمت‌های مرکزی منطقه بیشتر از سایر قسمت‌های آن است.

ب- نسبت عرض دره‌های منطقه به ارتفاع آنها

روش دیگر جهت اثبات فعالیت‌های تکتونیک، شاخص Vf یا نسبت بین عرض دره به متوسط ارتفاع آن می‌باشد. با این شاخص می‌توان فعالیت‌های نئوتکتونیک را در یک منطقه مشخص نموده و متوجه شد که آیا رودخانه فرصت لازم جهت عریض نمودن بستر خود را پیدا کرده یا این که حرکات جوان تکتونیک مانع این عملکرد شده‌اند. بول^۱ و مک فادن^۲ در سال ۱۹۷۷ فعالیت‌های نئوتکتونیک را از طریق شاخص Vf مورد بررسی قرار دادند. آنها در مطالعه‌ی خود از فرمول زیر استفاده نمودند.

$$Vf = \frac{2 Vfw}{(Eld - Esd) + (Erd - Esc)}$$

در این فرمول

=Vf عبارت است از نسبت پهناى دره به ارتفاع آن

=Vfw پهناى کف دره بر حسب متر

=Eld ارتفاع خط تقسیم آب بین دو دره در سمت چپ از سطح دریا بر حسب متر

=Erd ارتفاع خط تقسیم آب بین دو دره در سمت راست از سطح دریا بر حسب متر

=Esc ارتفاع کف دره از دریای آزاد

طبق این مطالعات اگر نسبت Vf کمتر از ۱ باشد نشان‌دهنده‌ی فعالیت‌های شدید تکتونیک، اگر بین ۱ تا ۲ باشد نشان‌دهنده‌ی فعالیت کم یا متوسط تکتونیک و اگر بزرگتر از ۲ باشد دلالت بر عدم فعالیت‌های تکتونیک در منطقه خواهد داشت (رضایی‌مقدم به نقل از بول و مک-فادن ۱۳۷۴). برای مطالعه‌ی فعالیت‌های نئوتکتونیک در منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از

1- Bull

2- Mcfadeen

شاخص Vf مقدار این شاخص در دره‌های منطقه به فواصل منظم ۱۰۰۰ متری از جبهه‌ی کوهستان مشخص گردید (جدول شماره ۲).

میانگین Vf برای دره‌های منطقه عدد ۱/۸۰ به دست آمد. با توجه به نتایج حاصله، طبق رده‌بندی بول و مک فادن منطقه از نظر شدت فعالیت‌های تکتونیکی در ردیف مناطق با تحرک متوسط قرار می‌گیرد. البته مقدار Vf در تمامی قسمت‌های منطقه یکسان نبوده و در نواحی مختلف این ارتفاعات متفاوت می‌باشد. این شاخص برای رودخانه‌ی کال‌شور که در قسمت شرقی منطقه جریان دارد عدد ۲/۹۰ به دست آمد. این مقدار شاخص Vf برای رودخانه‌ی کال‌شور مبین این مطلب است که شرق منطقه دوران نسبتاً آرامی را سپری می‌نماید. به همین خاطر این رودخانه فرصت لازم جهت عریض نمودن بستر خود را داشته و در خیلی از قسمت‌های این رودخانه دره‌ها حالت V شکل خود را از دست داده در حال تبدیل شدن به دره‌های U شکل می‌باشند. دره‌های غربی منطقه حالت مشابه با دره‌های شرقی منطقه دارد. با این تفاوت که بارندگی بیشتر در قسمت‌های غربی سبب شده تا رودخانه‌های این قسمت بستر خود را بیشتر عریض نمایند. شاخص Vf در این قسمت عدد ۴ به دست آمد. این امر نشان‌دهنده‌ی آرام بودن جنوب غربی منطقه نسبت به قسمت‌های دیگر آن می‌باشد و مشخص می‌نماید که فعالیت‌های تکتونیکی فرصت لازم را جهت فرسایش در اختیار رودخانه‌های منطقه گذاشته‌اند. برخلاف نواحی شرقی و غربی شاخص Vf در نواحی مرکزی کمتر می‌باشد. این شاخص برای رودخانه‌های بیدواز و روئین که در قسمت مرکزی منطقه جریان دارند ۰/۷۶ و ۰/۹۹ به دست آمد که این نشان‌دهنده‌ی بالا بودن فعالیت‌های جدید تکتونیکی در قسمت مرکزی منطقه می‌باشد.

ج - پیچ و خم جبهه‌ی کوهستان

یکی دیگر از روش‌های کمی بررسی فعالیت‌های نفوتکتونیکی ویژگی‌های پیچ و خم جبهه‌ی کوهستان است. در این روش با اندازه‌گیری پیچ و خم‌های ایجاد شده توسط آبراهه‌ها در جبهه‌ی کوهستان منطقه و تقسیم آن بر طول افقی در راستای گسل و جبهه‌ی کوهستان می‌توان فعال بودن منطقه را از نظر تکتونیکی مشخص نمود. این روش نخستین بار توسط بول و مک‌فادن (۱۹۷۷: ۱۲) مورد استفاده قرار گرفت. آنها جهت تکمیل مطالعات خود از فرمول زیر استفاده نمودند.

$$Smf = lmf / ls$$

در این فرمول:

Smf- عبارت است از شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان

LS- طول پیچ و خم جبهه کوهستان

Lmf - طول افقی در راستای گسل و جبهه کوهستان‌های منطقه در این روش هر چه مقدار Smf کمتر باشد نشانه‌ی فعالیت شدید و هر چه بیشتر باشد نشانه‌ی آرامش منطقه از نظر تکتونیک خواهد بود. به منظور تکمیل ارزیابی وضعیت تکتونیک منطقه، پیچ و خم جبهه‌ی کوهستان در چند گسل منطقه اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در جدول شماره‌ی ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: مقادیر شاخص‌های Smf, VF برای رودخانه‌های منطقه

نام حوضه	میانگین شاخص vf	انحراف استاندارد vf	میانگین شاخص Smf
کال شور	۲/۹۷	۲/۵۷	۱/۹۴
سر ولایت	۱/۲۷	۰/۶۲	۱/۶۲
بیدواز	۰/۷۶	۰/۶۱	۱/۳۵
روئین	۰/۹۹	۰/۸۵	۱/۲۵
دربند	۴/۰۱	۳/۱۷	۱/۴۹
کال تنگ‌گزی	۰/۸۵	۰/۲۷	۱/۵۵

همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، مقدار پیچ و خم کوهستان برای گسل‌های منطقه در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد. این شاخص برای مناطق شرقی بیشتر از مناطق غربی و مناطق غربی بیشتر از مناطق مرکزی می‌باشد. نتایج حاصله بیانگر این مطلب می‌باشد که فعالیت‌های تکتونیک در شرق و غرب منطقه نسبت به قسمت مرکزی منطقه فرصت بیشتری را در اختیار شبکه آبراهه‌ها قرار داده و این آبراهه‌ها توانسته‌اند بر تضاریس جبهه‌ی کوهستان‌های منطقه بیافزایند.

نتیجه‌گیری

- از مطالعه‌ی فعالیت‌های تکتونیک در دامنه‌های جنوبی آلاداغ نتایج زیر حاصل گردید:
- ۱- فعالیت‌های تکتونیک منطقه از حدود ۷۰ میلیون سال پیش یعنی اواخر دوره‌ی کرتاسه شروع و در شرایط کنونی نیز ادامه دارد. تا ۷۰ میلیون سال پیش منطقه حالت پلیت فرمی داشته و با آغاز کوهزایی لارامید منطقه‌ی تحت تأثیر نیروهای گوناگون قرار گرفته و این نیروها آغازگر فعالیت‌های تکتونیک منطقه شده‌اند.
 - ۲- وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد در منطقه بیانگر ادامه فعالیت‌های تکتونیک در منطقه می‌باشد. وقوع بیش از ۱۲۰ زمین‌لرزه بالای ۴ ریشتر در منطقه از سال ۱۹۰۰ تاکنون نشان‌دهنده‌ی فعالیت‌های جدید تکتونیک منطقه می‌باشد.

- ۳- مطالعه جهت گسل‌های منطقه نشان داد این گسل‌ها جهات متفاوتی دارند. جهات متفاوت گسل‌ها ناشی از عملکرد نیروهای درونی از جهات مختلف می‌باشد. ورود نیرو از جهات گوناگون می‌تواند یکی از مظاهر فعالیت‌های تکتونیکی باشد.
- ۴- از نظر فعالیت، گسل‌های منطقه به دو دسته گسل‌های فعال و بالقوه فعال تقسیم می‌شوند. از تعداد ۳۰ گسل اصلی منطقه، ۲۰ گسل آن فعال و ۱۰ گسل آن بالقوه فعال می‌باشند. تعدادی از گسل‌های منطقه نیز آثاری از فعالیت ندارند اما نمی‌توان آنها را در ردیف غیر فعال قرار داد زیرا ورود نیرو از چند جهت به منطقه به احتمال زیاد زلزله‌هایی در منطقه به دنبال داشته اما این زمین‌لرزه‌ها ثبت نشده است.
- ۵- میانگین نسبت بین عرض دره‌های منطقه به ارتفاع آنها عدد $1/8$ به دست آمد. بنابراین منطقه از نظر حرکات تکتونیکی در وضعیت متوسطی قرار می‌گیرد. این عدد برای مناطق غربی و شرقی بالاتر از میانگین و برای قسمت مرکزی کمتر از میانگین می‌باشد بنابراین فعالیت‌های تکتونیکی در قسمت مرکزی بیشتر از مناطق غربی و شرقی می‌باشد.
- ۶- نیمرخ طولی در بیشتر دره‌های منطقه بالاتر از نیمرخ مرجع قرار می‌گیرند و این اختلاف فعال بودن منطقه را از نظر تکتونیکی اثبات می‌نماید.
- ۷- در حالت کلی می‌توان گفت در فعالیت‌های تکتونیکی منطقه علاوه بر فشار صفحه‌ی عربستان در جنوب و توران در شمال، نیروهای دیگری نیز دخالت دارند. مورفولوژی ظاهری و جهت متفاوت گسل‌های منطقه این فرض را در ذهن هر محقق تداعی می‌کند که به احتمال زیاد در جنوب شرقی و شمال غربی منطقه پایه‌ها و تکیه‌گاه‌هایی وجود دارد که سبب یک پایداری نسبی تکتونیکی در این قسمت‌ها شده و فعالیت‌های تکتونیکی را در این دو قسمت کاهش داده است. برعکس فعالیت‌های تکتونیکی را در قسمت مرکزی به حد اکثر رسانده است. فشار وارده از سمت جنوب به این ارتفاعات باعث شکستگی در قسمت مرکزی این ارتفاعات شده است و این ارتفاعات را به سمت شمال سوق داده و سبب تغییر جهت این ارتفاعات از جهت غربی- شرقی به جهت شمال غربی- جنوب شرقی شده است و اگر این روند ادامه داشته باشد ضمن اینکه منطقه به عنوان یکی از مناطق فعال تکتونیکی ایران باقی خواهد ماند، جهت این ارتفاعات نیز در دوره‌های بعد زمین‌شناسی ممکن است به جهت شمالی جنوبی تغییر یابد.

منابع و مأخذ

- ۱- اشتوکلین- نبوی (۱۳۵۰): نقشه تکتونیک/ایران. انتشارات زمین‌شناسی ایران.
- ۲- ایران‌پناه، اسدالله (۱۳۴۷): زمین‌ساخت (تکتونیک). انتشارات دانشگاه تهران
- ۳- پژوهشکده بین‌المللی زلزله‌شناسی ایران سایت اینترنتی <http://www.iiees.ac.ir>
- ۴- جداری عیوضی، جمشید (۱۳۷۴): ژئومورفولوژی/ایران. تهران. انتشارات دانشگاه پیام نور.
- ۵- جعفریان، م (۱۳۸۸): نقشه زمین‌شناسی منطقه. مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ۶- درویش‌زاده، علی و محمدی، مهین (۱۳۷۴): زمین‌شناسی ایران برای رشته جغرافیا. انتشارات دانشگاه پیام نور. تهران.
- ۷- رضایی‌مقدم، محمدحسین (۱۳۷۴): پژوهشی در تشکیل کوهپایه‌ها و دشت‌های انباشتی دامنه جنوبی میشوداغ. پایان‌نامه دکتری. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز
- ۸- علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۲): ژئومورفولوژی/ایران. نشر قومس. تهران
- ۹- عکس‌های هوایی منطقه با مقیاس تقریبی ۱:۱۰۰۰۰۰ شماره‌های ۳۲۸۱، ۳۲۸۳، ۳۲۸۷
- ۱۰- معتمد، احمد (۱۳۷۴): زمین‌شناسی عمومی. انتشارات دانشگاه تهران
- ۱۱- نبوی، محمدحسن (۱۳۵۵): دیباچه/ای بر زمین‌شناسی/ایران. تهران. انتشارات زمین‌شناسی کشور.
- ۱۲- نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه (برگ‌های ۷۵۶۳، ۷۳۶۴، ۷۲۶۴، ۷۵۶۴، ۷۴۶۴)
- ۱۳- نقشه توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (برگ‌های ۴۰-۱۰ NJ ۴۰-۱۱ NJ ۴۰-۱۱ NJ ۴۰-۱۱ NJ)
- ۱۴- نقشه توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (برگ‌های I، ۷۵۶۳ IV، ۷۵۶۳ II، ۷۵۶۴ II)
- ۱۵- نقشه زمین‌شناسی منطقه مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ شامل نقشه‌های بجنورد. صفی‌آباد. شیروان. مشکان. جاجرم. شیروان. سنخواست.
- ۱۶- نقشه زمین‌شناسی منطقه مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ شامل نقشه‌های بجنورد و سبزوار.
- 17- Andrey Korjenkov (2004) Morphological response through competing of thrusting and erosion, at basin foothills, the northern Tien Shan, Kyrgyzstan.
- 18- Andrey Korjenkov (1988) common feature of neotectonic structures in the northeastern Tien Shan Tien Shan, Kyrgyzstan.
- 19- Bull W.B. and L.D. Mcfaden (1977) Tectonic geomorphology of north fault, California in Doehring, geomorphology of arid regions.
- 20- Willimin J. H. and Peter L. K. Knuepfer (1994) Kinematics of arc-continent collision in the Eastern central range of Taiwan. Geophysical Research.

