پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۱، بهار
صص ۲۰-۱

مورفوتکتونیک ناحیه دهشیر با استفاده از تکنیک‌های ژئومورفومتری

مجتبی یمانی* ـ دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
محمدرضا قاسمی ـ استادیار پژوهشکده سازمان زمین شناسی
سیدکاظم علوی پناه ـ استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
ابوالقاسم گورابی ـ دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۷/۹/۳۰ تأیید نهایی: ۱۳۸۸/۱۱/۲۵

چکیده

در این بررسی با بهره گیری از SRTM مورفوتکتونیک ناحیهٔ دهشیر تفسیر و تبیین شده است. جهت دستیابی به این امر، تجزیه و تحلیل شبکهٔ زهکشی رقومی، ژئومورفومتری رقومی، پردازشِ تصویر رادار، استخراجِ خطواره‌ها و تجزیه و تحلیل آنها، تجزیه و تحلیل فضایی و آماری داده‌ها صورت پذیرفته است. مدل برجسته سایه‌دار، نیمرخ‌ها، مدل سه‌بعدی، همچنین مدل‌ها و اشکال توپوگرافی، از جمله مدل‌های رقومی خاصی می‌باشند که با بکارگیری الگوریتم‌های خاص از SRTM استخراج و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. داده‌های ساختمانی از منابع دیگر مانند؛ نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات میدانی همراه با تکنیک GIS مکمل روش‌ها و تکنیک‌های فوق بوده‌اند. نتایج این بررسی نشان می‌دهند که؛ روش‌های تجزیه و تحلیل عوارض بصورت رقومی بر روی SRTM که روش پیشنهادی و کاربردی در این مطالعه می‌باشند، توانسته‌اند، با استخراجِ اشکال و مدل‌های توپوگرافی، شیب و الگوی جهات دامنه (نمودار گلبرگی آنها، ارتفاع و طبقات ارتفاعی (نحوهٔ پراکنش آنها)، الگوی شبکهٔ زهکشی و تجزیه و تحلیل ارتباط بین آنها و همچنین انجامِ محاسبات آماری یک متغیره، چند متغیره، سطح واریوگرامِ و سمی واریوگرام ساختارِ مورفوتکتونیکی پیرامون گسل دهشیر را شناسایی و شواهد مورفوتکتونیک موجود در لندفرم‌های آن را از دیدگاه تکتونیکی تفسیر نماید. براساس شواهد نوزمین‌ساخت استخراج شده از SRTM ناحیه پیرامون گسل دهشیر، از قبیل؛ پرتگاه و اثر گسل، شبکهٔ زهکشی منحرف و جابجاشده، الگوی مئاندری شبکه آب، سطوح فرسایشی ارتفاع یافته و فرسایش قهقرایی شبکه زهکشی، بدلیل موقعیت استقرار آنها (در لندفرم‌های کواترنری)همگی از جمله شواهد نوزمین ساخت گسل دهشیرند که دلالت بر فعالیت این گسل در طی کواترنری می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: مورفوتکتونیک،گسل دهشیر، SRTM

مقدمه

روش‌های سطحی همچون؛ تجزیه و تحلیل‌های مورفولوژیکی و سنجش از دور، اطلاعات نسبتاً ارزان و سریعی را که مکمل بررسی‌های زمین‌شناسی میدانی و زمین‌شناسی زیرسطحی می‌باشند، فراهم می‌آورند. تجزیه و تحلیل اشکال توپوگرافی، بویژه خطواره‌ها و عناصر خطی به کمک عکس‌های هوایی و تصاویر سنجش از دور در مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی قدمتی دیرین داشته (Hobbs,1912;Frisch,1997-p118) و ابزاری اساسی در تجزیه و تحلیل‌های تکتونیکی می‌باشند (Siegal and Gillespie, 1980,pp118-121; Drury, 1987,pp17-90; Salvi, 1995,53,pp153-163). اگر چه تفسیر مورفولوژی سطحی برحسب ساختمان زمین شناسی بخوبی شناخته شده است (Prost, 1994,23; Keller and Pinter, 1996,112)، ولی هنوز مطالعات موردی مستندِ چندانی در بررسی‌ها و مطالعات مرتبط با کاربرد روش‌های تجزیه

* E-mail: myamani@ut.ac.ir
نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۲۳۱۹۷۶۸۲

و تحلیل رقومی جهت مورفوتکتونیک وجود ندارد.

در بیشتر مطالعات تکتونیکی انجام شده به کمک مدل‌های رقومی، از مدل‌های برجستگی ارتفاع[1] به‌تنهایی Byrd) et al., 1994-p99; Collet et al., 2000, pp447-457) یا ترکیب با تصاویر رقومی و سنجش از دور در مقیاس ناحیه‌ای استفاده شده است (Florinsky,1996, pp 103–119; Florinsky,1998,pp 33-60; Florinsky.2000,pp 87-100; Chorowicz et al., 1999,p15,pp103-119). نمایش سه‌بعدی نقشه‌ها و تصاویر و تهیه مقاطع عرضی و طولی در بررسی‌های مورفوتکتونیکی، بدلیل ارتقاء دید ترکیبی جایگاه خاصی دارند. کروایز[2] و دیگران (۱۹۹۱،۲۹۵و۳۶۷–۳۵۱) از مدل رقومی ارتفاع[3] جهت تعیین شیب و امتداد در نقشه‌های زمین شناسی استفاده نمودند. کوئیک[4] و دیگران (۱۹۹۸، ۲۴ و ۵۸۳ ـ۵۷۳) ویژگی‌های هندسی سطحِ گسل را از مدل رقومی ارتفاع محاسبه نمودند. اُناری و همکاران (۱۹۹۲، ۱۹ و ۱۷۸ـ۱۴۷) با محاسبهٔ شیب و جهت به تفسیر مورفوتکتونیک ناحیه‌ای پرداختند. فلورین اسکای (۱۹۹۶، ۱۶و۱۱۹) در بررسی نوع ارتباط بین گسل و لندفرم‌های حاصل، از نقشه‌های خمیدگی[5] برای تشخیص و توصیف خطوط گسل استفاده کرد. کروایز و دیگران (۱۹۹۹،۲۱و۵۳۲–۵۱۱) با بررسی امتداد ژئومورفولوژیکی خط‌الرأس‌ها و شکل هندسی پروفیل‌هایِ طولیِ عوارضِ گوناگون که از مدل رقومی ارتفاع استخراج نمودند، به تفسیر لندفرم‌ها و ساختار تکتونیک همت گماشتند. زمانی و حسامی (۲۰۰۴، ۵) با بهره گیری از روشِ آماری چند متغیره و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، ایران را به مناطقِ تکتونیکیِ مشابه از نظر زمین‌ساختی طبقه‌بندی نموده‌اند. واکر (Richard Thomas Walker,2005,1) با بهره‌گیری از تصاویر SRTM[6]، Aster و SPOT وتکنیک سنجش از دور، ایران مرکزی (کرمان، زرند، بم، ...) را از دیدگاه مورفوتکتونیکی و لرزه‌ای مورد مطالعه قرار داده است. رایلی و مور (۱۹۹۳،۴–۱) از هیستوگرامِ نقشه‌یِ ارتفاع برای تشخیص پدیمنت‌های اُفقی واقع بر دامنه‌ای کوهستانی که در اثر عملکرد گسل‌های عادی بوجود آمده‌اند، استفاده کردند. با تجزیه و تحلیل روند ارتفاعات استخراجی از داده‌های سنجش از دور می‌توان نحوهٔ عملکردِ نیروها را در پیدایش اشکالِ تکتونیکی مشخص نمود (Guth, 1997, pp247-281;Doornkamp, 1972; Fraser et al., 1995, 134-137). امروزه با بهرمندی از تکنیک سنجش از دور و تجزیه و تحلیل‌های طیفی تصاویر، شناسایی و بازیابی تحولات تکتونیکی و چگونگی تکامل لندفرم‌ها در زمانی کم ممکن می‌باشد (Harrison and Lo, 1996,419-424).

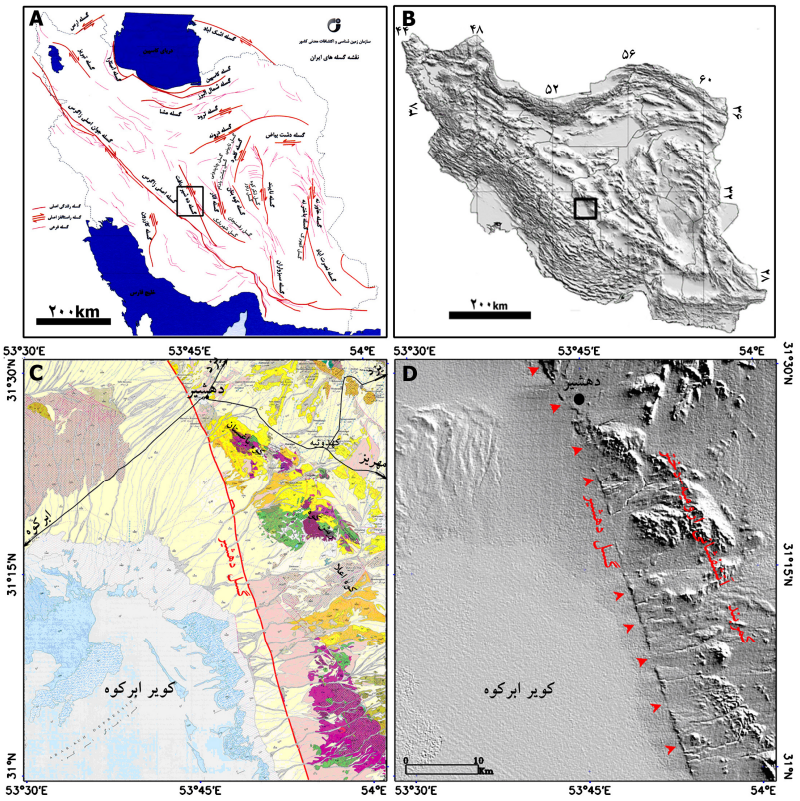
تجزیه و تحلیل‌های رقومی مورد نیاز جهت دستیابی به اهداف این تحقیق (تکتونیک ژئومورفولوژی رقومی[7]) نیازمندِ یک سیستمِ جامعِ اطلاعاتی و نرم‌افزاری چند تحلیلی می‌باشد، که در واقع اجتماعی از اجزای سه گانه؛ زمین شناسی ساختمانی، ژئومورفولوژی، استخراج و آنالیز عوارض رقومی[8] است (Jordan and Csillag, 2001,p163, 2003,p520). در این راستا روش‌های استخراجِ اشکالِ مورفوتکتونیک از SRTM جهتِ تجزیه و تحلیلِ عوارضِ مورفوتکتونیکی ارائه شده‌اند. در بحث این مقاله بیشتر بر تجزیه و تحلیلِ شواهد استخراج شده از SRTM مربوط به بخش میانی گسل دهشیر می‌باشد. نظر به تنوع اشکال مورفوتکتونیکِ گسلی(Keller and Pinter, 1996,33; Burbank and Anderson, 2001,65) در منطقه مورد بررسی، فقط بعضی از لندفرم‌های مرتبط با گسل مورد بررسی و بحث قرار گرفته‌اند. در این راستا سعی شده با انتخاب موقعیت‌های نمونه از پیرامون گسل دهشیر با تأکیدی بیشتر بر جزئیات، به تفصیل بر نقش SRTM در مطالعات مورفوتکتونیکی پرداخته شود.

1- Shaded Relief
2- Chorowicz et al
3- DEMs
4- Koike
5- Curvature Maps
6- The release of Shuttle Radar Topography Mission(SRTM)
7- Digital Tectonic Geomorphology
8- Digital Terrain Analysis(DTA)

ناحیه مورد مطالعه

جهت استخراج اشکال مورفوتکتونیک از SRTM، ناحیه پیرامون گسل دهشیر و کویر ابرقو انتخاب شده است. این ناحیه از نظر مورفوتکتونیکی در غرب ایران مرکزی و در امتداد گسل دهشیر گسترده شده است(بربریان، ۱۹۷۹، ۵۶). نوع عوارضِ مورفولوژیکی و ساختمانِ زمین‌شناسی و همبری مناسبِ واحدهای زمین‌شناسی، موقعیت مناسبی جهت بررسی‌های مورفوتکتونیکی در این ناحیه فراهم آورده است. جهت مقایسه نتایج حاصلSRTM بخشی از ناحیه که دقیقاً منطبق بر چهارگوش نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دهشیر می‌باشد انتخاب شده است(شکل ۱).

گسل دهشیر در شرق کفه ابرقو که جزئی از فروافتادگی بزرگ دریاچه ارومیه ـ توزلوگل ـ گاوخونی ـ سیرجان می‌باشد کشیده شده است (بربریان،۵۶،۱۹۷۹). بخش شمالشرقی گسل با بخش جنوبغربی از نظر ریخت‌شناسی بکلی متفاوت بوده و بصورت فلاتی کم شیب با شیبِ ملایمی به سمتِ زونِ گسلی دهشیر گسترده شده است. در این محدوده کوه‌های اعلا، ریش‌کوه و باغستان و دشت‌های سیلابی آبرفتی واقع بین آنها، تخت کوه‌ها[1] و سیل‌ها و تراورتن‌های کواترنری واقع بر مارن‌های سست که بصورت حفاظی عمل نموده‌اند و همچنین سرپانتین‌های آمیزه رنگین قرار دارند که مجموعاً توپوگرافی بسیار ناهموار و خشنی را پدیدار نموده‌اند (نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دهشیر، قمشه‌ای و حدادادان، ۱۹۹۷). محدوده مورد مطالعه از نظر زمین‌ساختی در بخش شمال شرقی کمربند کوهزایی زاگرس قرار دارد. گسل امتداد لغزِ دهشیر مهمترین عارضه ساختاری محدوده موردمطالعه می‌باشدکه تنها بخشی ازطول ۳۸۰(آقانباتی،۱۳۸۳) کیلومتری آن دراین قسمت‌گسترده شده است.



شکل ۱. ناحیه مورد مطالعه

(A) نقشه گسل‌های ایران(قاسمی،۱۳۸۷) و موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی آن ، (B) تصویر برجسته سایه دار ایران و موقعیت ناحیه مورد مطالعه، (C) نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دهشیر ، (D) مدل برجستگی ارتفاع ناحیه مورد مطالعه

1- Mesa

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق از SRTM ۹۰ متر استفاده شده است. SRTM یک پروژه مشترک بین ناسا و آژانس اطلاعاتی ـ فضایی ملی امریکا (NGA) برای تهیه تصاویر سه بعدی در دو باند X و C در محدود باند طیفی رادار تهیه می‌گردد. این ماهواره در ۱۱ فوریه ۲۰۰۰ در طی ۱۱ روز ماموریت خود بوسیله شاتل Endeavour بطور موفقیت‌آمیزی به فضا پرتاپ شد. تصاویر تهیه شده از این ماهواره حدود ۸۰٪ سطح زمین بین مدارهای ۶۰ درجه شمالی تا ۵۶ درجه جنوبی را پوشش می‌دهند. SRTM در دو فرمت تکمیل شده (Finshed) و ناتمام (Unfinshed) توسط ناسا ارائه شده است. SRTM قادر به تولید DEMs با قدرت تفکیک یک ثانیه قوسی (تقریباً حدود ۳۰ متر) در جهات X-Y و تفکیک ۱۰-۶ متر در راستای Z (ارتفاعی) می‌باشد. امکان دسترسی به SRTM با قدرت تفکیک کامل (۳۰متر در راستایX-Y و۱۰-۶ متر در راستای Z) در حال حاضر فقط در محدوده کشور امریکا ممکن می‌باشد و برای سایر نواحی(۶۰-۰ درجه N,S) امکان دسترسی به SRTM با قدرت تفکیک ۹۰ متر ممکن می‌باشد[1]. علاوه بر SRTM جهت تدقیق نتایج حاصل از تصاویر Aster، +ETM، TM و نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، و توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰(رقومی) و DEM سازمان نقشه‌برداری ناحیه، مورد بهره برداری قرار گرفته‌اند. مدل‌های رقومی ارتفاعی(DEM) سازمان نقشه برداری کشور در قطع شیت‌های ۱:۲۵۰۰۰ و با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و دقت ارتفاعی بیش از ۶ متر می‌باشند. روش بکار گرفته شده در این تحقیق بطور کلی به دو دسته زیر تقسیم شده است:

ـ تجزیه و تحلیل هندسی و فضایی اشکال مورفولوژیکی مرتبط با شکستگی‌ها

ـ شناخت عوارض زمین و استخراج پارامترهای آنها از مدل رقومی ارتفاعی جهت بررسی‌های تکتونیک ژئومورفولوژی

ـ روش‌تجزیه وتحلیل هندسی وفضایی‌اشکال مورفولوژیکی مرتبط باشکستگی‌هادرناحیه دهشیر

اثر گسستگی‌های ساختمانی در سنگ‌ها، اغلب بصورت اشکال مورفولوژیکی خطی در امتداد فصل مشترک صفحهٔ شکست و سطح زمین پدیدار می‌گردند. از دیدگاه مورفولوژیکی، سیمای خطی یک شکست شامل: ۱) دره‌ها، ۲) خط الرأس‌ها و ۳) شکست‌های شیب می‌باشند. ویژگی‌های هندسی اصلی یک عنصر خطی منفرد در حالت مستقیم، جهت و طول (پیوستگی) و در حالت خط خمیده، خمیدگی[2] آن می‌باشند (شکل۱) (Jordan and Csillag, 2003,145).

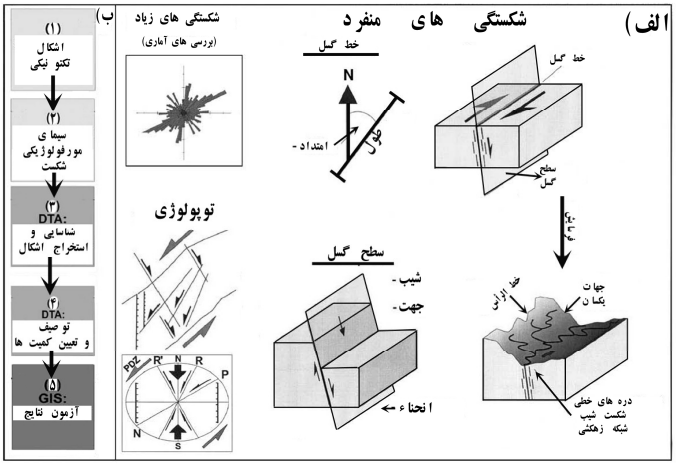
اشکالِ مورفوتکتونیکی متنوعی در امتداد گسل دهشیر شکل گرفته‌اند. به عنوان مثال؛ درّه‌ها، خط‌الرأس‌های نامتقارن، فرونشست‌ها، برآمدگی‌ها و انحنای محور چین‌خورگی از جمله تأثیرات تکتونیکی گسل دهشیر بر مورفولوژی لندفرم‌های ناحیه می‌باشند.

ارتباط فضایی و مکانی بین شکستگی و خطواره‌های ناحیه دهشیر می‌تواند، هم بصورتِ ترسیمی(شکل۲) و هم بصورت آماری با تجزیه و تحلیل فضاییِ فراوانیِ پارامترهایِ اشکالِ خطی توصیف گردد.

گسل دهشیر با توجه به ماهیت خود باعث جابجایی سطوح ژئومورفیک، سطوح فرسایشی، دشت‌ها و مخروط-افکنه‌های آبرفتی شده است. بر این اساس به کمک روش ارائه شده در این تحقیق (جدول ۱) که بر روی SRTM اعمال شده، موقعیت مکانی و فضایی اشکال مورفوتکتونیکی مشخص شده‌اند. علاوه بر این، آن دسته از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی که در شناسایی و ارزیابی تأثیر تکتونیکی مفید واقع می‌شوند، مورد محاسبه قرار گرفته‌اند.

شبکه آبها مرسوم‌ترین شاخص و شناساگر جهت بررسی نقش تکتونیک و تاثیر آن در تحول لندفرم‌ها می‌باشند (گورابی، ۱۳۸۶،۵). در این بررسی شبکه زهکشی ناحیه از SRTM استخراج شده است. از شبکه‌های زهکشی ناحیه جهت بررسی جابجاشدگی بلوک‌های ساختمانی ناحیه استفاده شده است.

1- http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml
2- Curvature



شکل ۲. الف) عناصرمورفولوژیکی گسل در شکستگی‌های منفرد و مجتمع؛ ب) مراحل روش تجزیه و تحلیل تکتونیک ژئومورفولوژی رقومی

جدول ۱. فلوچارت روش مطالعه و آنالیز رقومی عوارض زمینی در بررسی مورفوتکتونیک ناحیه دهشیر با استفاده از SRTM

روش	خروجی	کاربرد ژئومورفولوژیکی و تفسیر
۱- آنالیز ارتفاعی		
نمایش	نقشه منحنی تراز	تفسیر بصری کنترل طبقه‌بندی، نمایش عملکرد گسل‌ها، آزمون و کنترل الگوریتم‌ها و تعیین بهترین آنها
	تصویر بصورت تن سیاه و سفید	
	نمایش سه بعدی	
	نقشه برجستگی‌ها	
نیمرخ	نیمرخ (دو بعدی)	تفسیر بصری تغییرات؛ شیب ، خمیدگی، برآمدگی
	منحنی سطوح ارتفاعی (سه بعدی)	
برجستگی	نقشه برجستگی‌ها	تفکیک و تعیین حدود واحدهای ژئومورفولوژی
۲- انجام محاسبات، ژئومورفومتری		
طبقه بندی اشکال نقطه‌ای موجود در سطوح	نقاط ویژه موجود در سطح (قلل، چاله‌ها، گودال‌ها، گردنه‌ها)	کمک به تفسیر بصری عوارض درک توزیع فضایی، تعیین روند و امتداد غالب
شیب	نقشه شیب	طبقه‌بندی و تفسیر توزیع جهات و ارتباط آنها با نیروهای تکتونیکی
جهت شیب	نقشه جهت	
خمیدگی	پروفیل، نقشه خمیدگی	طبقه‌بندی (تعیین حدود) تعیین مرز تغییر جهت کشف الگوی غالب
	نقشه منتج از جهات شیب و جریان	
	نقشه شکست شیب	
	نقشه تحدب شیب	
۳- آنالیز شبکه زهکشی رقومی		
گودال‌ها (سطوح صاف)	موقعیتِ چاله‌ها(گودال‌ها)/ سطوح صاف	تفسیر بصری (کاربرد بسیار زیادی دارد) الگو جهت، اندازه تراکم زهکشی
استخراج شبکه زهکشی	خطوط دره‌ها	
استخراج خط تقسیم آب	خط تقسیم آب	

۴- ژئومورفومتری رقومی		
آنالیز یک متغیره	موارد ۳-۱	توزیع فضایی و مکانی شیب ، ارتفاع و...
آنالیز دو متغیره	ارتفاع ـ شیب جهت ـ شیب	
آنالیز روند	تابع روند	روند شیب ناحیه ای اشکال محلی
آنالیز خود تصحیحی به کمک واریوگرام	خود تصحیحی و عامل واریوگرام	سطح واریوگرام ـ سمی واریانس همگونی و ناهمگونی پریودیسیتی (آیا الگوهای تکراری در داده‌ها مشاهده می‌شود؟)
آنالیز باندی	پریودوگرام	
۵- آنالیز چند متغیره بوسیله GIS		
نمایش سه بعدی تصاویر در قالب مدل رقومی منطقه	همپوشانی داده‌ها	کمک بسیار زیادی در تفسیر بصری می‌نماید. تصدیق روش (کشف ارتباط توپوگرافی و تکتونیک)
همپوشانی GIS: همپوشانی داده‌های ارتفاعی با سایر لایه‌های استخراجی		

ـ روش شناخت عوارض زمین و استخراج پارامترهای آنها از مدل رقومی ارتفاعی جهت بررسی‌های تکتونیک ژئومورفولوژی ناحیه دهشیر

به منظور استخراج داده‌های تکتونیک ژئومورفولوژی ناحیه دهشیر از SRTM، از روشی منسجم که مبتنی بر چندین مرحلهٔ متوالی می‌باشد، استفاده شده است (جدول ۱). در روش مذکور ملاحظات زیر مورد توجه قرار گرفته است:

۱) تعیین خصائص هندسیِ کمی لندفرم‌های ناحیه دهشیر(مورفولوژی کمی)

۲) فراهم آوردن خروجی‌های تجدیدپذیر و قابل استفاده در مراحل بعدی(انجام تجزیه و تحلیل‌ها از روش‌های ساده به مشکل می‌باشند)

۳) استفاده از داده‌های چند منبعی در پایگاه داده‌ها و قابل دسترس بودن سلسله وسیعی از روش‌ها بصورت یکپارچه

۴) تجزیه و تحلیل عوارض رقومی(DTA) در محیط GIS

برای بررسی مؤلفه‌ها و اجزاءِ تکتونیک ژئومورفولوژی رقومی در ناحیه دهشیر کارهای انجام شده عبارتند از: ۱) مورفولوژی رقومی ۲) تجزیه و تحلیل شبکه زهکشی رقومی ۳) ژئومورفومتری رقومی ۴) پردازش تصاویر رقومی ۵) استخراج خطواره‌ها و تجزیه و تحلیل آنها ۶) تجزیه و تحلیل آماری و فضایی- مکانی. علاوه بر این، روش‌های رقومی خاص و ویژه پردازش مدل رقومی ارتفاع، مانند؛ مدل‌های برجستگی سایه‌دار[1]، نیمرخ عرضی[2] و مدل نمایش سه بعدی نیز بر روی SRTM استفاده شده است. جداول ۱ و ۲ و شکل ۲ روش و طرز عمل شناسایی و استخراج لندفرم‌های مرتبط با گسل و تفسیر تکتونیکی مرتبط با آنها را نشان می‌دهد.

روش تجزیه و تحلیل داده‌های ارتفاعی ناحیه دهشیر

ویژگی‌های عوارض زمینی ناحیه دهشیر که از سایر مدل‌های رقومی محاسبه شده‌اند، تحت تأثیر؛ منابع داده، روشِ درون‌یابی[3] و نوع الگوریتمِ محاسبه کننده (بعنوان مثال الگوریتم محاسبه کننده شیب[4]) قراردارند. از جمله روش‌های درون یابی، درون یابی شبکه‌یی قاعده مثلثی[5](TIN) می‌باشد. این روش می‌تواند تغییرات غیر منتظره‌ای در توپوگرافی، که در بررسی تکتونیک ژئومورفولوژی مفید است، بوجود آورد(McCullagh,1988,p12,pp747-779). در SRTM مورد استفاده

1- Shaded Relief Models
2- Digital Cross-Sections
3- Interpolation
4- Gradient Calculation Algorithm
5- Triangular Irregular Network(TIN)

این نقیصه وجود ندارد.

ساده‌ترین تجزیه و تحلیل‌های مورفولوژیکی، داده‌های ارتفاعی را مورد مطالعه قرار می‌دهند. در روش بکـار گرفتـه شـده جهت آنالیز ارتفاعی ناحیه دهشیر، از SRTM برای بازبینی و بازدید بصری، و بصورت نقشه‌های خطوط تراز[1]، تصـاویر بـا تـن خاکستری[2]، نمایش‌های سه بعدی عوارض سطحی[3]، مدل برجستگی سایه دار[4]و... و یا ترکیبی از آنها استفاده شده‌اند.

جدول ۲. روش‌های پردازش تصاویر در مدل زمینی جهت مطالعه اشکال مورفوتکتونیکی به استفاده از SRTM

پردازش تصاویر		
	روش	خروجی – کاربرد
هیستوگرام	بسط تصویر	تصویر با تن خاکستری با کیفیت بالا– تفکیـک مرزهـا، کشـف الگوهـا ، کمـک در شناسایی واحدهای مورفولوژیکی
	طبقه‌بندی	نقشه داده‌های طبقه‌بندی شده – جهت مقایسه با نقشه‌های پایه، تصـحیح الگـوریتم مورد استفاده در صورت لزوم و...
	محاسباتی	فراوانی، ترسیم هیستوگرام ، پارامترهای آماری(میانگین ، انحراف معیـار، ...)– ارتقـاء طبقه بندی رقومی، تحلیل ارتفاعی، تجزیه و تحلیل پیکسلی پیرامون گسل، برقـرای تناظر یک به یک بین تصاویر و مدل رقومی ارتفاع و کشف ارتباط بین آنها و...
فیلیترینگ تصویر	نرم کننده، بافت، مورفولوژی	تولید تصاویر با کیفیت بالا– کمک در طبقه‌بندی داده‌ها، کشف الگوها، استخراج عوارض مورفولوژیکی انتخابی، برجسته نمودن بعضی از پارامترهای مورفولوژی یا انتخاب پارامتر مورد نظر و ...
	حداکثر، الگو، خطی،جهت(جهات ۸ گانه)	
	گذر بالا، گذر پائین،	
	شیب(۳*۳)،(۵*۵)– درجهات (تا ۷*۷)	پردازش ژئومتریک – دید بصری

برای بالا بردن درک و عمق بصری در مطالعه اشکال کوچک و ظریف مورفولوژیکی ناحیه دهشـیر بـویژه در نـواحی حوضه‌های هموار (محدوده هموار گسل دهشیر) اغراق عمودی[5] ارتفاع مورد اسـتفاده قـرار گرفتـه اسـت. ترسـیم نیمـرخ عرضی در امتداد مقاطع زمین‌شناسی، جهت مطالعه شیب (شرائط منفی و مثبت) بعنوان مکمل (این روش)، نقـش مهمـی در شناسایی و تجزیه و تحلیل‌ها داشته است (شیب، تغییرات شیب و تحدب شیب، جدول۱و۲).

ـ روش انجام محاسبات مورفومتری(هندسی تشخیص دهنده عددی)در ناحیه دهشیر

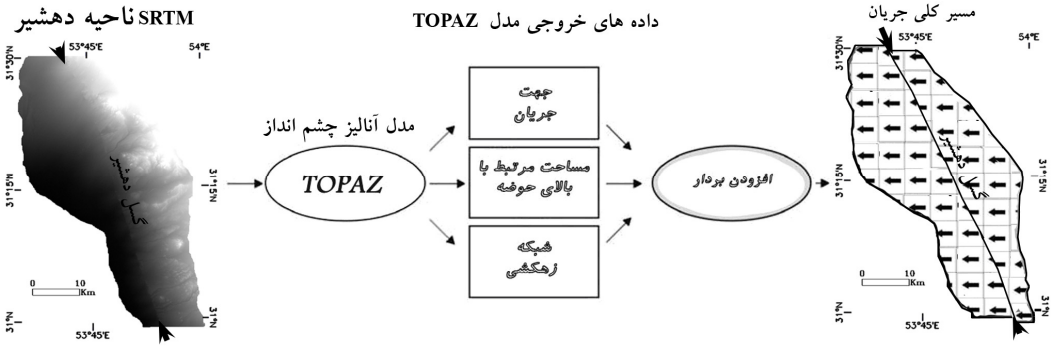
تعیین موقعیت نقاط خاصِ سطوح مانند؛ مرتفع‌ترین(قلل)، پست‌ترین(گودال‌ها)، گردنه‌هـا و گـذرگاهها، شکسـت‌هـای شیب و خطالرأس‌ها در تجزیه و تحلیل‌های ژئوموفولوژیکی رقـومی امـری بنیـادین مـی‌باشـد (Peucker and Douglas, 1975). قلل و گودال‌های ناحیه دهشیر با بکارگیری الگوریتم «مرتفع‌ترین[6]» محاسبه شده‌اند. در این مطالعه، مرتفـع‌تـرین موقعیت‌ها (قلل ـ خطالرأس‌ها) جهت تجزیه و تحلیل روند مورفولوژیکی عوارض ناحیـه‌ای بـا اتصـال و پیونـد دادن آنهـا مورد استفاده قرار گرفته است. موقعیت گذرگاه‌ها با در نظر گرفتن کمترین ارتفاع محلی در امتداد خطالـراس‌هـا و بوسـیله تجزیه و تحلیل شبکه زهکشی رقومی تعیین شده است. شکست‌های شیب با توجـه بـه تغییـراتِ شـیبِ منحنـیِ پروفیـلِ طولی ترسیم شده در جهتِ عمود بر منحنی‌های تراز و با در نظر گرفتن آستانه تغییر شیب مشـخص شـده اسـت. خطـوط دره‌ها و خطالرأس‌ها نیز بوسیله روش تجزیه و تحلیل شبکه زهکشی رقومی استخراج شده‌اند.

1- contour maps
2- grey-scale images
3- 3-D surface views
4- shaded relief models
5- Vertical Exaggeration
6-'Higher Than' Algorithms

در این مطالعه جهتِ عوارض و مقادیرِخمیدگی، بعنوان پارامترهای جهت دار مأخوذ از SRTM محاسبه شده‌اند. جهت عوارض بر اساس تابع تعریف شده در نرم افزارهای Ilwis3.3 وENVI4.2 محاسبه شده است (آزیموت زاویه بر حسب درجه و در جهت عقربه‌های ساعت از جهت شمال اندازه‌گیری شده است). همچنین برای محاسبه خمیدگی (خمیدگی مقطع سطح نرمال در جهت شیب) و خمیدگی تانژانتی (اندازه‌گیری شده در سطح نرمال در جهت عمودی بر شیب) از توابع موجود در بخش کمک[1] نرم افزارENVI4.2 استفاده شده است. اِنحناء پروفیل، تغییرات در زاویه شیب را نشان می‌دهد و جهت تشخیص شکست‌های شیب در تفسیر مورفوتکتونیکی ناحیه بکار برده شده است. منحنی تانژانتیال در جهت عمود بر شیب اندازه‌گیری شده و بنابر این خطوط خطالرأس و دره‌ها اغلب با مقادیر بالای انحنای تانژانتیال مشخص می‌گردند. دومین پارامتر مأخوذ در جهات محوری (fxx وfyy) و ترکیبی از دو مشتق ثانوی(fxy) برای شناسایی و تشخیص شکست‌های شیب در جهات اصلی بکار رفته است. پس از محاسبه اولین پارامتر از تابع پریوایت[2]، برای هموارسازی[3]مقادیر و نتیجه مطلوب‌تر، از فیلترهای میانگین استفاده شده است و همچنین برای محاسبه پارامتر دوم از نرم افزار ILWIS 3.4 کمک گرفته شده است.

ـ روش تجزیه و تحلیل شبکه زهکشی رقومی ناحیه دهشیر

تجزیه و تحلیل شبکه زهکشی نقشی اساسی در تکتونیک ژئومورفولوژی دارد (Deffontaines and Chorowicz, 1991, p194, pp237-263). درزها و شکستگی‌ها جزء قلمروهای سست و ضعیف سنگ‌ها بوده و برای فرسایش مستعد می‌باشند. بنابراین اغلب دره‌ها و خطوط زهکشی در امتداد گسل‌ها و مناطق شکستگی‌ها شکل می‌گیرند. در نتیجه، با مسیریابی جریان آبها و بکارگیری الگوریتم شبکه زهکشی در مدل‌های هیدرولوژیکی می‌توان با تجزیه و تحلیل شبکه زهکشی به ردیابی شکست‌های مورفوتکتونیکی پرداخت (جداول۱ و۲- بخش۳). استخراج شبکه زهکشی در این مطالعه براساس مدلTOPAZ (TOographic PArameteriZation) که مدلی جهت پارامتری نمودن توپوگرافی می‌باشد و توسط مارتز و گاربریچ[4] (۱۹۹۲، ۱۸و ۷۶۱-۷۴۷) ارائه و تکمیل شده ، انجام گرفته است. استخراج کانال‌ها بطور خودکار و در محیط نرم افزار Ilwis3.4 بر روی SRTM اجرا شده است. از تغییر الگوی شبکه زهکشی در رسوبات کواترنری در دو طرف بلوک گسلی نیز جهت تفسیر مکانسیم گسل در طی کواترنری استفاده شده است (شکل شماره ۳).



شکل ۳ . مدل توپاز (TOographic PArameteriZation) **جهت استخراج شبکه زهکشی** ناحیه دهشیر

ـ روش تجزیه و تحلیل ژئومورفومتری رقومی ناحیه دهشیر

بطور کلی پارامترهای ارتفاعی مورد استفاده در این مطالعه را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم نمود(جدول ۳).

1- Help of Software(Ilwis3.3&ENVI4.2)
2- Prewitt operators
3- smoothing effect
4- Garbrecht

جدول ۳ . پارامترهای ارتفاعی مورد استفاده در تجزیه و تحلیل مورفوتکتونک ناحیه دهشیر

الف) اشکال توپوگرافی	ب) مدل‌های توپوگرافی	
۱- قله‌ها	۱- شیب	۷- تحدب نیمرخ
۲- خط الرأس‌ها	۲- جهت	۸-انحنای حداقل
۳- گذرگاهها و گردنه‌ها	۳- برجستگی سایه دار	۸-انحنای حداکثر
۴- سطوح صاف	۴- تحدب پروفیل	۹- خطای RMS
۵- کانال‌ها و آبراهه‌ها	۵- تحدب سطح	
۶- گودالها	۶- تحدب در جهت طول جغرافیایی	

در این مرحله با تجزیه و تحلیل یک متغیره (مطالعه آماری و توزیع فضایی و مکانی، تهیه هیستوگرام نقشه پارامترها، ترسیم نمودار گلبرگی[1]) و تجزیه و تحلیل روابط دو متغیره و چند متغیره بین متغیرها (نقشه‌های شیب، جهات دامنه و برجستگی) و بالاخره بافت عوارض زمینی به‌وسیله روش‌های آماری فضایی- مکانی و تکنیک‌های تجزیه و تحلیل شبکه و همچنین تجزیه و تحلیل روند و خود همبستگی صورت پذیرفته است (جدول۱).

ـ روش پردازش تصاویر رقومی داده‌های ناحیه دهشیر

از آنجائیکه SRTM و هر تصویر گرفته شده از آن می‌تواند بصورت تصاویر رستری نمایش داده شوند، بنابراین می‌توان از روش‌های پردازش تصاویر رقومی که جهت افزایش تشخیص و تمیزِ آشکار بین اشکال در یک چشم انداز بر روی تصاویر رستری صورت می‌گیرند، بر روی مدل رقومی ارتفاع نیز استفاده کرد (جدول۲).

استفاده ار فیلترهای مختلف یکی از تکنیک‌های موثر جهت ارتقاء دید بصری و شناسایی مرز واحدهای مورفوتکتونیکی بوده است (جدول۲). اندازه هسته فیلتر[2] که برای نرم کردن انتخاب شده بر اساس مقیاس و نوع اشکالی که مورد مطالعه قرار می‌گیرند متفاوت می‌باشد. دقت استخراجِ کمی ویژگی‌ها از تصاویر (بعنوان مثال، زاویه، جهت) با بکار بستن فیلترهای اکثریت[3]بالا برده شده است (جدول۲). روش‌های سایه‌زدن تپه‌ها به منظور تولید نقشه‌های برجستگی تکنیکی خاص و ویژه بوده که بر روی مدل رقومی ارتفاع صورت می‌گیرد. این نقشه‌ها کمک بسیار زیادی در تجزیه و تحلیل‌های مورفوتکتونیکی ناحیه داشته است. سایه‌زدن تپه‌ها موجب افزایش تباین اشکال خیلی ظریف در یک تصویرشده و تشخیص و تفکیک عوارض را سهل‌تر نموده است.

ـ روش تجزیه و تحلیل فضایی ـ مکانی خطواره‌های ناحیه دهشیر

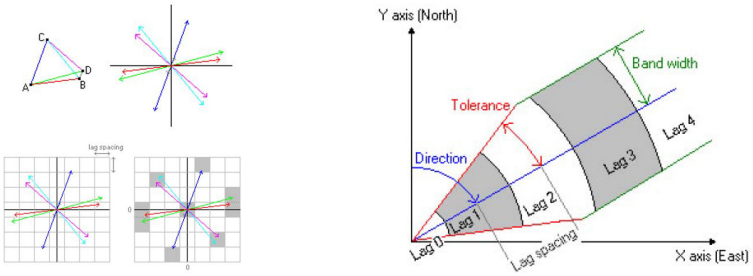
خطواره‌ها بعنوان عناصر خطی مستقیم، قابل مشاهده در سطح زمین که بیانگر پدیده‌های زمین‌شناسی یا ژئومورفولوژیکی می‌باشند، تعریف شده‌اند (Clark and Wilson, 1994,p20,pp1237-1258). در تجزیه و تحلیل‌های ژئومورفومتری، یک شکل خطی ممکن است، مانند؛ دره‌ها، خطالرأس‌ها، شکست شیب یا خطوط منحنی فقط منشأ هندسی داشته و بیانگر تغییرات ارتفاع در سطح زمین باشند (شکل۱). بر حسب ساختمان مدل رقومی، هر خطواره سری متداوم و پشت سرهمی از پیکسل‌های هم ارزش در سطح زمین می‌باشد (Koikeet al., 1998,p24). دو روش استخراج خطواره‌ها که در این مطالعه بکار برده شده شامل؛ (۱) روش خودکار استخراج شبکه زهکشی رقومی برای شناسایی دره‌ها و خطالراس‌ها و(۲) تفسیر خطواره‌های دارای تاثیر بر یکدیگر در مدل‌های زمینی بوده است. در این مطالعه، ماهیت خطواره براساس مشاهدات میدانی و تصاویر با قدرت تفکیک بالا مورد ارزیابی و کنترل قرار گرفته است.

1- Rose Diagram
2- Kernel Size
3- Majority Filters

ـ سطح واریوگرام[1]، سمی واریانس و مدل سمی واریوگرام[2]

نقشه‌های رستری بعنوان ورودی جهت تولید نقشهٔ سطحِ واریوگرام و محاسبهٔ سمی واریوگرام ناحیه دهشیراستفاده شده‌اند. نقشه واریوگرام، نوعی نقشه رستری با ژئورفرنسی خاص، برای به تصویر کشیدن احتمالی ناهمگنی (آنیزوتروپی) و همگنی (ایزوتروپی) داده‌ها و تعیین محور آنیزوتروپی می‌باشد.

خروجی تابع سطح واریوگرام از یک نقشه رستری، بشکل یک نقشه رستری با مبدأ ای در مرکز و پیکسل‌های در پیرامون آن می‌باشد (اندازه تعریف شده[3] هر پیکسل بوسیله کاربر تعیین می‌گردد). تعداد پیکسل‌ها در سطح خروجی (از پیکسل مرکزی در مبدأ بطرف محورهای مثبت و منفی X و Y) بستگی به فاصلهٔ لاگِ تعریف شده توسط کاربر دارد، همچنین تعداد و توزیع کلاس‌های پیرامون مبدأ علاوه بر عامل مذکور با کیفیت داده‌ها ارتباط نزدیکی دارد. بنابراین هر پیکسل در واریوگرام بیانگر جهت طبقه(کلاس) بوده و مقدار مرتبط با خود را در بر دارد(شکل۴).



شکل ۴. نحوی تعیین موقعیت نقاط در سطح واریوگرام و فواصل بین پیکسل‌ها

جهت نمایش مختصات و موقعیت مبدأ در واریوگرام و درک توزیع داده‌ها و کشف الگوی فضایی و همچنین تعیین جهت غالب، خطوطِ شبکه[4]با فواصل مساوی با لاگ‌های واریوگرام، بدان اضافه می‌گردد. این عامل در تعیین مبداء واریوگرام اهمیت زیادی دارد. عموماً انتظار می‌رود مقادیر واریوگرام نزدیک به مبدأ در نقشه واریوگرام مقادیری کوچک(با رنگ آبی در حالت نمایشی پزودوکالر) و در فواصل دورتر از آن بزرگتر باشد.

وقتی هیچ ناهمگنی و اَنیزوتروپی (یعنی حالت ایزوتروپ) وجود نداشته باشد، مقادیر واریوگرام از مبدأ بطرف همه جهات بتدریج افزایش می‌یابند. در این صورت اشکال شبه دایره‌ای از مبدأ بطرف خارج بصورت تغییرات رنگ بترتیب از رنگ آبی به سبز و سپس قرمز در اطراف مشخص می‌گردد. چنانچه داده‌ها انیزوتروپ باشند (مثلاً در اثر تاثیر تکتونیک)، در این صورت شکلی شبیه به بیضی که در راستای قطر کوچک آن مقادیر واریوگرام کم و در نتیجه تغییرات رنگ کم (آبی) و در بعد دیگر ـ عمود بر آن ـ افزایش چشمگیری (آبی در مبدأ و سبز و قرمز بترتیب بطرف اطراف) در مقادیر واریوگرام دیده می‌شود.

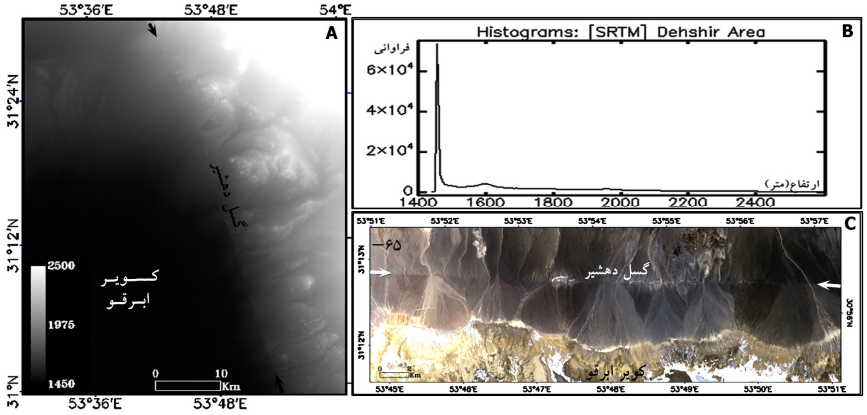
پس از تولید واریوگرام از نقشه‌های استخراج شده از SRTM ناحیه دهشیر (ارتفاع، جهت، شبکه زهکشی) تغییرات سمی ـ واریوگرام‌های آنها در جهات X و Y و همچنین میزان همبستگی بین آنها در این جهات محاسبه شده‌اند. جهت محاسبه میزان خود همبستگی[5] و مقادیر سمی واریوگرامِ نقشه‌های مذکور از مدل خود همبستگی سمی واریوگرام[6] استفاده شده است. در مطالعات مورفوتکتونیکی جهت تعیین الگوی مورفوتکتونیکی غالب و همچنین تعیین جهت استرس موجود و استرین حاصل و همچنین الگوی تکراری داده‌ها می‌توان از واریوگرام و مدل سمی واریوگرام استفاده و با استخراج مدل ناحیه‌ای حاصل از نقشه‌ها کمک شایانی به بررسی‌های ساختمانی نمود.

1- Variogram surface
2- Semi-variogram Model
3- Lag Spacing
4- Grid Lines
5- AutoCorrelation
6- Autocorrelation - Semivariance Model

یافته‌های تحقیق

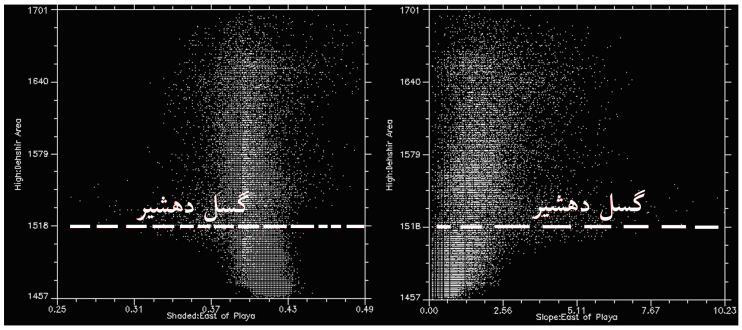
آنالیز عوارض رقومی

آنالیزارتفاع: هیستوگرام مدل رقومی ارتفاع، فراوانی وقوع نقاط ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. شکست در هیپسوگراف می‌تواند بیانگر وجود گسل در یک ناحیه باشد(شکل۵-A).



شکل ۵. A)تصویر SRTM ناحیه دهشیر B) هیستوگرام استخراج شده از SRTM ناحیه دهشیر، C) تصویر Aster123 گسل دهشیر (محدودهٔ A)

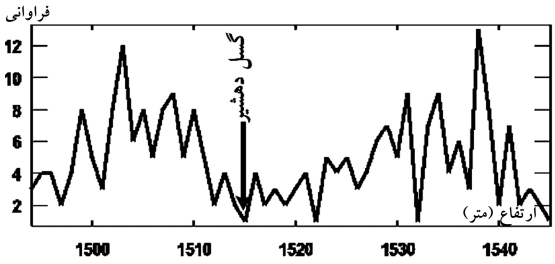
همانطور که در هیستوگرام ناحیه دهشیر نشان داده شده است ارتفاع۳۰-۱۵۲۵ بیشترین فراوانی در ناحیه مورد بررسی را دارند. تصویر SRTM ناحیه، بیانگر افزایش ارتفاع از جنوب غرب به سمت شمال شرق را نشان می‌دهد (شکل۵- A). در بین تغییرات ارتفاع در برابر سایر پارامترهای مدل‌های توپوگرافی(شیب، جهت، برجستگی، تحدب‌های پروفیل، ...)، تغییر ارتفاع در برابر شیب و برجستگی ارتفاع نمود ظاهری بیشتری در نمایش موقعیت گسل دهشیر داشته است (شکل ۶).



شکل ۶ . رابطه شیب- ارتفاع(راست) و برجستگی- ارتفاع (چپ) در راستای گسل دهشیر در شرق کویر ابرقو

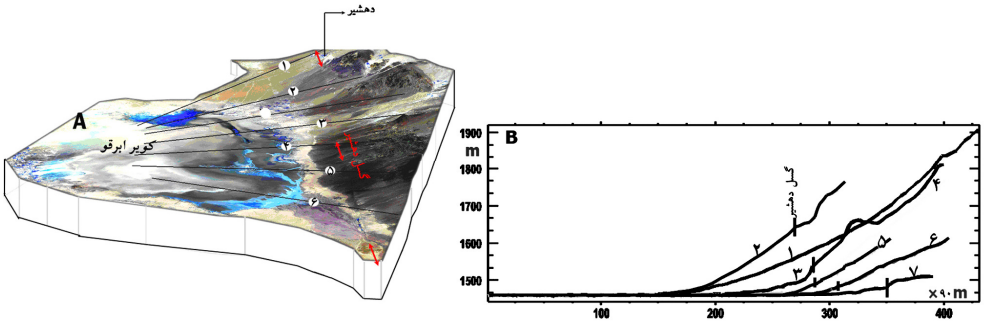
از هیپسوگراف و هیپسومتری سطوح مجاور گسل دهشیر جهت تمایز سطوح شکستگی و همچنین میزان اختلاف سطح ایجاد شده در دو بلوک گسلی استفاده شده است (شکل ۷). استفاده از روش هیپسومتری و ترسیم هیپسوگراف میزان دقت اندازه‌گیری شده در ارزیابی حرکات عمودی فرادیواره و فرودیواره گسل دهشیر را افزایش داده است.

در روش‌های مرسوم و متداول ارزیابی تغییرات ارتفاع در برابر مسافت، از ترسیم پروفیل‌های عمود بر امتداد گسل استفاده می‌شود که بدلیل انتخاب فقط یک پیکسل (کوچکترین واحد نقشه) در راستای خط، احتمال خطا و ارزیابی ارتفاع شکست زیاد می‌باشد. ولی در تکنیک هیپسومتری و ترسیم هیپسوگراف خط جای خود را به سطح داده و نواحی بیشتری نسبت به یکدیگر مقایسه می‌گردند این امر علاوه بر افزایش دقت در ارزیابی موقعیت ارتفاع شکست، می‌تواند مورفولوژی محل تماس سطوح فرادیواره و فرودیواره (پرتگاه گسل) را نیز بهتر مشخص نماید (شکل۷).



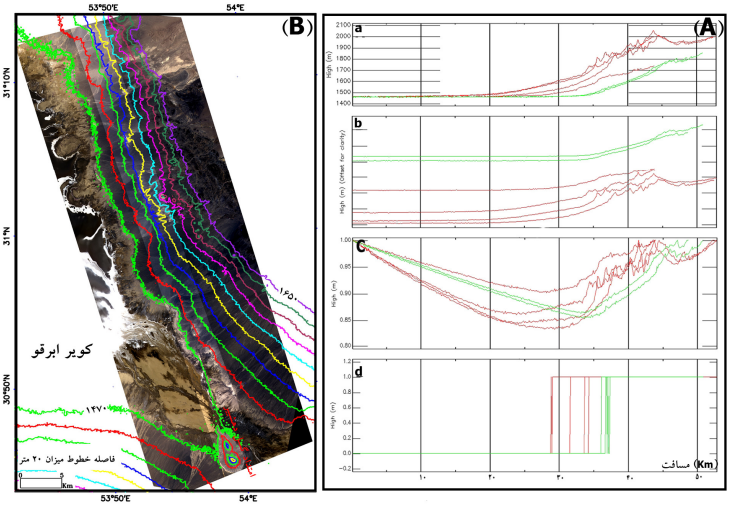
شکل ۷ . تاثیر گسل دهشیر بر هیپسوگراف فرادیواره و فرودیواره گسل دهشیر در شرق کویر ابرقو

یکی از محاسن کاربرد SRTM، ارتقاء دید بصری انواع تصاویر می‌باشد. تکنیک کار بدین صورت است که، پیکسل‌های هر تصویر به اندازه مقادیر پیکسل‌های متناظر درSRTM ناحیه آن تصویر مرتفع می‌گردد (شکل ۸ـA).



شکل ۸ . مدل سه بعدی تصویر ETM⁺ ناحیه دهشیر با درجه اغراق ۸× عمودی(A) و نیمرخ‌های طولی عمود بر امتداد گسل دهشیر(B) (نک A)

تغییرات ارتفاعی و نقش گسل دهشیر در فروافتادگی کفه ابرقو بوسیله مقطع عرضی در راستای شمال شرقی – جنوب غربی در اشکال ۸B و ۹A نشان داده شده‌اند.

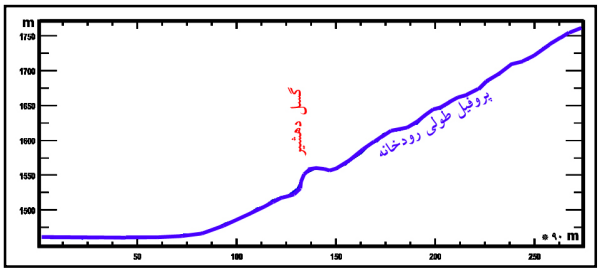


شکل ۹. (A)تکنیک‌های مختلف ترسیم پروفیل: a) نرمال b) طبقه‌بندی بدون همپوشانی[1] c)طبقه‌بندی زنجیروار[2] d)طبقه‌بندی دوگانه[3] ، (B) منحنی‌های میزان استخراج شده از SRTM که بر روی تصویر Aster123 گسل دهشیر همپوشانی شده‌اند،

1- Plot Stack Offset Classification
2- Continuum Removed Classification
3- Binary Encoding Classification

منحنی‌های تراز اثرگسل را تعقیب می‌کنند.

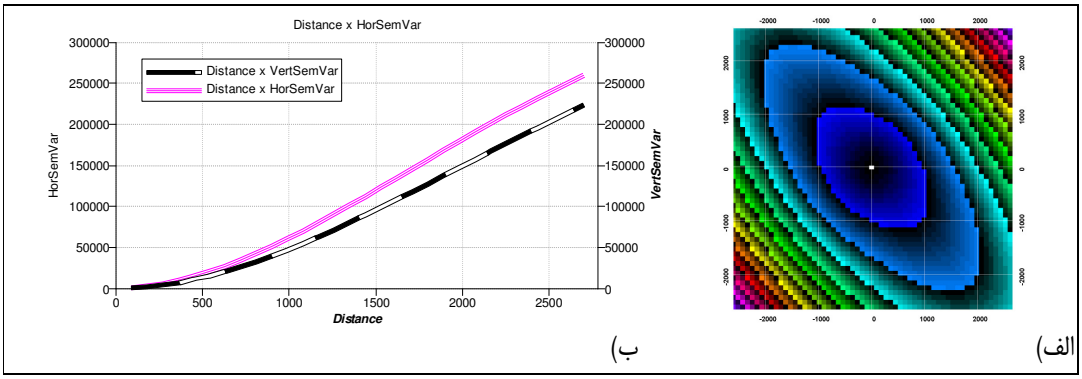
با استفاده از تکنیک‌های مختلف ترسیم پروفیل در جهت عمود بر گسل دهشیر موقعیت این گسل و میزان فروافتادگی و کارآیی آنها مشخص شده است (شکل۹-A). با تکنیک ترسیم نیمرخ‌های سوپرایمپوزه در جهت عمود بر امتدادِ گسل دهشیر تغییر موقعیت گسل و میزان اختلاف ارتفاع ایجاد شده (پرتگاه گسل) مشخص شده است (شکل ۸-B و۹-A) . این تکنیک جهت ترسیم «پروفیل‌های عرضی و طولی مسیل‌ها» نیز مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰ . مورفولوژی گسل دهشیر در پروفیل طولی مسیل شرق کویر ابرقو

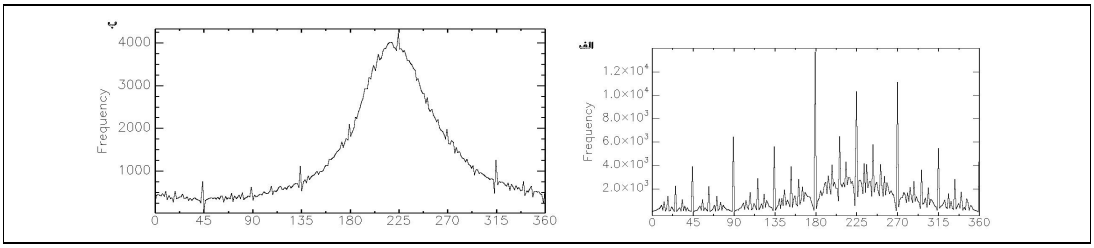
الگوی خطوط تراز استخراج شده از SRTM ناحیه دهشیر موقعیت گسل دهشیر را بخوبی نشان می‌دهند. در گسل‌های عادی خطوط تراز پرتگاه گسل را تعقیب نموده و بموازات آن کشیده می‌شوند. براین اساس گسل دهشیر گسلی نرمال می‌باشد. الگوی خطوط تراز ناحیه دهشیر همچنین الگوی مورفولوژیکی مخروط افکنه‌های ناحیه را نشان می‌دهند. براین اساس رأس مخروطها در فرادیواره به شمالغرب و قاعده آنها بطرف جنوبشرق کشیدگی پیدا نموده است. همچنین الگوی شبکه آبها بطور غیر مستقیم از الگوی خطوط تراز تبعیت می‌کند. در ناحیه دهشیر خطوط تراز در محل گسل دهشیر و در حدفاصل فرادیواره و فرودیواره الگوی مئاندری پیدا نموده‌اند. با توجه به دو مورد اخیر بخش فرادیواره گسل دهشیر بطرف جنوبشرق و فرودیواره بطرف شمالغرب حرکت نموده است (گسل امتدادی راستالغز عادی).

با اعمال دوبار متوالی فیلتر میانگین بر روی SRTM، واریوگرام منطقه مورد مطالعه استخراج شده است (شکل۱۱-الف). همانطور که در واریوگرام بخوبی مشخص شده است بیضوی واریوگرام در جهت شمالغربی- جنوبشرقی کشیدگی دارد. واریوگرام حاصل جهت الگوی مورفوتکتونیکی ناحیه را مشخص می‌نماید. با انجام خود همبستگی سمی واریانس، بر روی SRTM نتایج مشابهی حاصل آمده است. نتایج این امر در جهات X (افقی) و Y (عمودی) در شکل شماره ۱۱-ب آورده شده است.



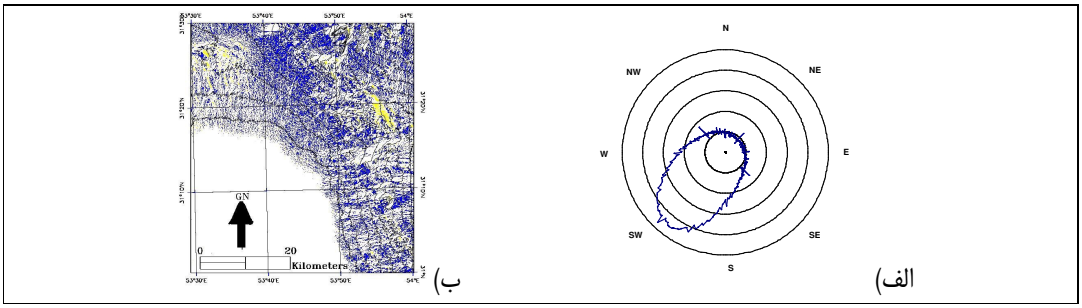
شکل ۱۱. الف) واریوگرام ناحیه دهشیر، ب) نمودار اتوکورلیشن سمی واریانس داده‌های نقشه واریوگرام(بدون تکرار همراه با افزایش تدریجی)

آنالیز جهت: جهت شمال غربی ـ جنوب شرقی در تصویر برجستگی سایه‌دار دیده شده است (شکل۱-D). در محاسبه جهات دامنه‌ها خطای سیستماتیکی بصورت حداکثرهایی در هیستوگرام نقشه جهات در مقادیر مضاربی از آزیموت ۴۵ درجه بدلیل استخراج عددی روی شبکه مستطیلی بوجود می‌آید(شکل۱۲- الف)، با اعمال فیلتر میانگین ۵×۵ بر روی نقشه جهات این خطا رفع و تا حد ممکن کاهش یافته است(شکل۱۲- ب). نمودار گلبرگی(شکل۱۳- الف) جهات ناحیه، که برای شیب‌های بیشتر از یک درجه محاسبه شده است، را نشان می‌دهد و بیانگر جهت اصلی رو به جنوب غربی (۲۲۵ـ ۲۰۲/۵درجه) می‌باشد. بالطبع نقاط متقابل آنها (۵۰-۲۲/۵ درجه) شمال شرقی می‌باشد که دامنه‌های مقابل را پوشش می‌دهند.



شکل ۱۲. توزیع جهات قبل(الف) و بعد(ب) از اعمال فیلتر

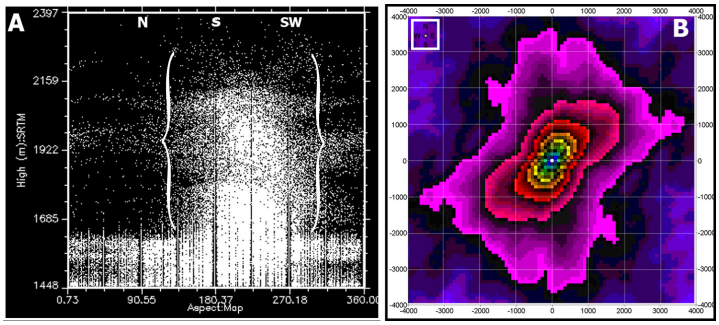
فقدان یا کمی سطوحی عوارض رو به شمال غربی و جنوب شرقی در روز دیاگرام (شکل۱۳-الف) اشاره بر این دارد که اشکال مورفولوژیکی جهت دار شمالغربی- جنوبشرقی (بعبارتی در امتداد NE-SW) در منطقه از ویژگی‌های ناحیه مورد مطالعه نمی‌باشد (مقایسه کنید با شکل شماره۱۴). براساس روزدیاگرام (شکل۱۳- الف) جهات به دو کلاس بین ۵۰ـ ۲۲/۱۵ (دامنه‌های قرینه) و ۲۲۵ـ۲۰۲/۵ تقسیم شده‌اند. قله در نمودار توزیع جهات (شکل۱۲ - ب، آزیموت ۲۲۵ درجه) مربوط به فراوانی دامنه‌های جنوبغربی سلسله رشته ارتفاعات کشیده شده در جهت شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشند. حاشیه نواحی مذکور بوسیله حواشی خطی کشیده نیز محدود شده‌اند(شکل۱D). دامنه‌های جهات یکسان بطور عادی حاشیه‌های خطی NNW-SSE و یا NW-SE دارند، و اشاره بر تأثیر تکتونیک بر مورفولوژی را دارد.



شکل ۱۳. نمودار گلبرگی جهات(الف)، و نقشه جهات ناحیه دهشیر

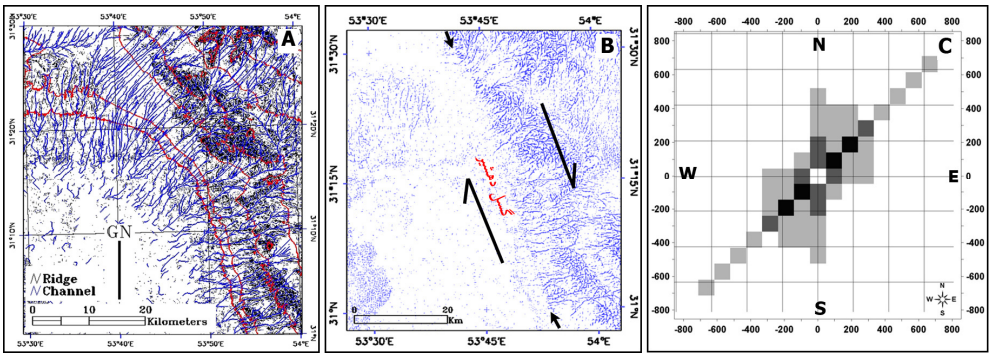
محاسبه واریوگرام سطح حاصل از نقشه جهت (شکل۱۴B) نتایج مشابهی را در برداشته و می‌تواند بعنوان مکمل محاسبات پیشین محسوب گردد و بیانگر توزیع NE-SW جهات در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

ارزیابی رابطه جهت ـ ارتفاع بیانگر جهات جنوب ـ جنوبغرب ناحیه کوهستانی(>۱۶۸۵m) در ناحیه دهشیر و عمود بر زون همگرایی عربستان ـ توران می‌باشند.



شکل ۱۴ . (A) جهت غالب ارتفاعات بیش از ۱۶۸۵ متری ناحیه کوهستانی دهشیر در جهت جنوب- جنوبغربی می‌باشد(ژئومورفومتری رقومی)، (B) واریوگرام سطح حاصل از نقشه جهت در ناحیه کویر ابرقو(دهشیر)جهات غالب(جنوب- جنوبغربی) را نشان می‌دهند.

آنالیزشبکه زهکشی: نتیجه استخراج شبکه زهکشی براساس مدل TOPAZ و به کمک نرم افزار ILWIS 3.3 و ENVI 4.2 بیانگر گسترش شبکه زهکشی در راستای SW–NE را دارد (شکل A ۱۶). الگوی شبکه زهکشی در نواحی پست ناحیه الگویی موازی است. بررسی شبکه زهکشی در محل اثر گسل دهشیر الگوی مئاندری ناشی از جابجاشدگی راستالغز امتدادی گسل دهشیر را آشکار می‌نماید (شکل۱۶B).

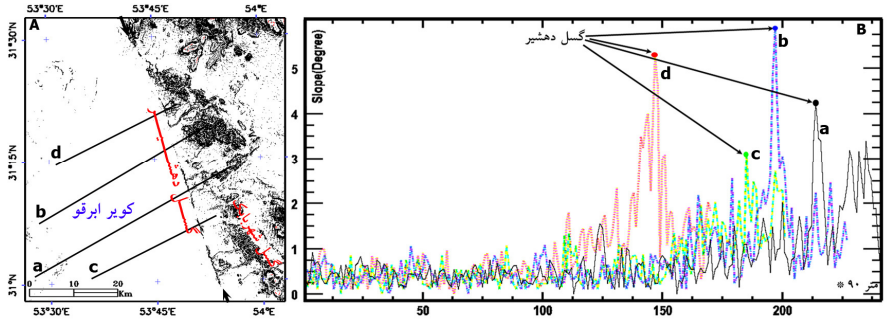


شکل۱۵. تجزیه و تحلیل شبکه زهکشی در ناحیه دهشیر

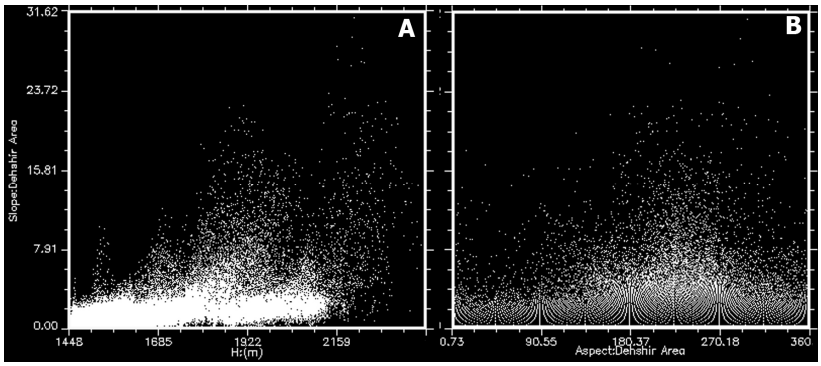
(A)شبکه زهکشی استخراج شده از SRTM – خطوط ممتد منحنی تراز را نشان می‌دهند، (B) تاثیر تکتونیک گسل دهشیر بر شبکه زهکشی(قطع، جابجاشدگی، انحراف) در امتداد گسل دهشیر، (C)سطح واریوگرام نقشه شبکه زهکشی استخراج شده از SRTM بیانگر غلبه شبکه‌های زهکشی در جهات NE-SW در ناحیه دهشیر می‌باشد.

آنالیزشیب: شیبِ یکسان در نقشه‌های توپوگرافی در جاهائیکه خطوط تراز اصلی دارای فواصل یکسان می‌باشند مورد انتظار است(شکل۱۶). براساس درصد تجمعی منحنی مساحت ـ شیب (Jordan،۲۰۰۳) نواحی را می‌توان به دشت (°۱-۰)، نیمه هموار(شیب °۴/۵-۱/۵)، پشته مانند(شیب °۹-۴/۵)، تپه ماهور(شیب °۱۶/۷-۹) و کوهستانی(°۱۶/۷<) طبقه بندی نمود (فائو، ۱۹۹۰) (شکل۱۶A).

نمایش نقشه شیب این کلاس‌ها، حواشی تیز و تند گسل دهشیر در امتداد NW- SE و مرز واحد کوهستان(گسل جبهۀ کوهستان، گسل شهربابک) و دشت(کویر ابرقو) در همین امتداد را نشان می‌دهد(شکل شماره۱۶). شیب‌های بیش از ۱ درجه در ارتفاع بالاتر از ۱۶۸۵m گسترده شده‌اند(شکل۱۷A)، و جهات رو به جنوب- جنوب غربی شیب بیشتری دارند (شکل۱۷B).

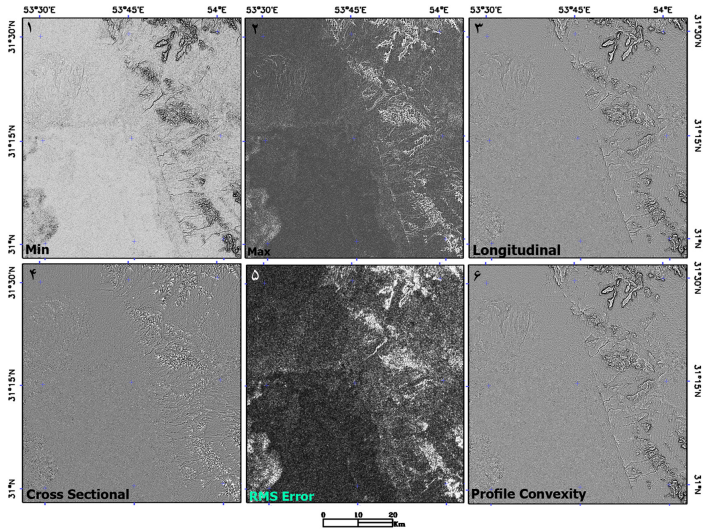


شکل ۱۶. تجزیه و تحلیل شیب : (A) نقشه شیب ، به تغییرات شیب در راستای گسل دهشیر توجه شود، (B) پروفیل‌های سوپرایمپوزه تغییرات ناگهانی شیب در جهت عمود بر گسل دهشیر و محل اثر گسل دهشیر را نشان می‌دهند.



شکل ۱۷. تجزیه و تحلیل شیب : رابطه شیب- ارتفاع(A) و شیب- جهت(B) در ناحیه دهشیر(ژئومورفومتری رقومی)

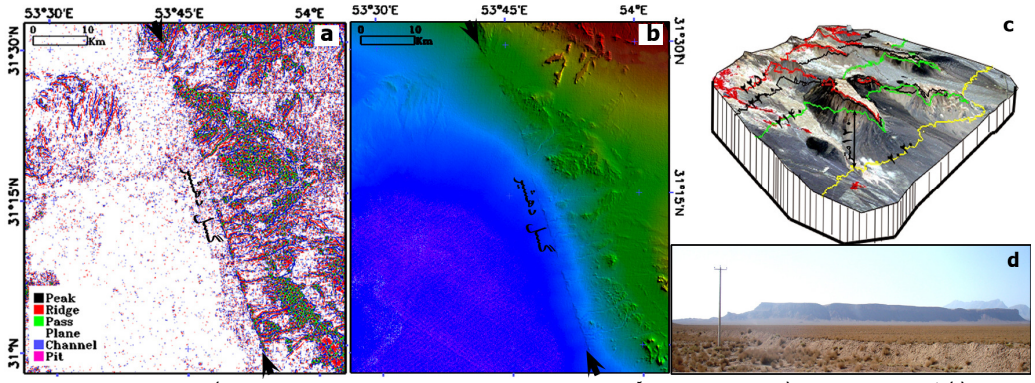
مدل‌های توپوگرافی : با اعمال دوبار متوالی فیلتر میانگین متحرک ۳×۳ بر روی SRTM و نرم شدن آن، مدل‌های توپوگرافی هشتگانه استخراج شده‌اند. از آنجائیکه مدل‌های شیب، جهت و برجستگی سایه‌دار در بخش‌های قبل بدان پرداخته شده در اینجا (شکل۱۸) سایر مدل‌ها (۱- انحنای حداقل، ۲- انحنای حداکثر، ۳- تحدب در جهت طول جغرافیایی، ۴- تحدب نیمرخ، ۵- خطایRMS، ۶- تحدب پروفیل) محاسبه شده‌اند.



شکل۱۸. مدل‌های توپوگرافی ناحیه دهشیر (استخراج شده از SRTM) و نقش آنها در بازیابی عناصر خطی و خطواره‌ها ناحیه دهشیر

همانطور که در شکل ۱۸(۶-۱) بخوبی نشان داده شده است، این مدل‌ها می‌توانند مناطقی را که تحت تاثیر تکتونیک واقع شده‌اند را بخوبی نشان دهند. مقایسه مدل‌های فوق کارآیی ۴ مدل؛ تحدب پروفیل، تحدب در جهت طول جغرافیایی، انحنای حداقل و انحنای حداکثر در شناسایی موقعیت گسل دهشیر را بخوبی نشان داد است. نتایج تحدب سطح، تحدب پروفیل و خطای RMS در ارزیابی موقعیت خطواره‌های گسلی ناحیه یکسان بوده است.

اشکال توپوگرافی: با اعمال فیلتر میانگین متحرک ۵×۵ بر روی SRTM و با احتساب ۵ برای تلورانس شیب[1] و ۰/۰۸ برای منحنی‌ها[2] اشکال توپوگرافی(قله‌ها، خط الرأس‌ها، گذرگاه‌ها و گردنه‌ها، سطوح صاف، کانال‌ها و آبراهه‌ها، گودال‌ها) موثر در تجزیه و تحلیل‌های مورفوتکتونیک استخراج شده‌اند (شکل ۱۹a و جدول۴).



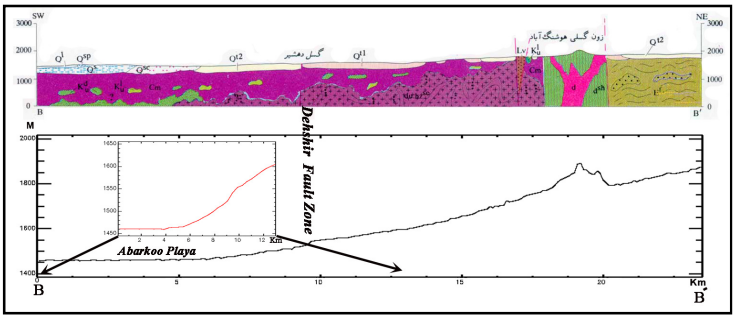
شکل ۱۹. (a)**اشکال توپوگرافیک (قلل،پشته‌ها و میان‌آبها، گردنه‌ها، سطوح هموار، بستر زهکش‌ها، گودال‌ها)در ناحیه دهشیر استخراج شده از** SRTM (b) **تصویر سایه‌دار استخراج شده از** SRTM **ناحیه دهشیر و موقع اثرگسل دهشیر،** (d) **تصویر ۱۲۳** Aster **همپوشانی شده برروی** SRTM**، سطوح فرسایشی شرق دهشیر را نشان می‌دهند، عکس صحرایی یکی از سطوح فرسایشی در شرق دهشیر**

جدول ۴. توزیع آماری کلاس‌های اشکال توپوگرافیک در ناحیه دهشیر

نام کلاس	بدون طبقه بندی	قلل	خط الراس	گردنه	سطح صاف	کانال	گودال	مجموع
درصد	۰/۰	۰/۸۲۱	۷/۴۸۸	۲/۴۳۰	۷۹/۷۷۶	۹/۱۱۶	۰/۳۶۹	۱۰۰

مقایسه موردی نیمرخ زمین شناسی و نیمرخ ارتفاعی مستخرج ازSRTM

مقایسه نتایج حاصل از از روش DTA (جدول۱ و۲)، با داده‌های موجود (نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه (شکلC ۱) و توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ و سایر اطلاعات بانک داده‌ها) همپوشانی خطواره‌ها، خطوط تراز و سایر داده‌های استخراج شده از SRTM را با آنها نشان می‌دهد. ترسیم نیمرخ طولی(Profile length) در راستای نیمرخ زمین‌شناسی موجود در نقشه زمین‌شناسی۱/۱۰۰۰۰۰ دهشیر بیانگر تطابق شکلی دو نیمرخ می‌باشد (شکل۲۰).



1- Slope Tolerances
2- Curvature Tolerance

شکل ۲۰. مقایسه موقعیت گسل دهشیر بر روی پروفیل زمین‌شناسی و SRTM(۲*)

تمام خطواره‌های استخراجی؛ اثر گسل، شبکه زهکشی و خطاالرأس‌ها و ... دقیقاً بر نقشه زمین‌شناسی، توپوگرافی و همچنین تصاویر TM و +ETM و Quikbreed و IRS ناحیه منطبق می‌باشند. دقت پارامترهای اشکال استخراجی حاصل بیش از نقشه‌های زمین‌شناسی (۱/۱۰۰۰۰۰) و توپوگرافی(۱/۵۰۰۰۰) و در حد نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ رقومی سازمان نقشه‌برداری می‌باشد. در نتیجه نه تنها تطابق آنها با واقعیت موجود را نشان می‌دهد بلکه این روش می‌تواند در تصحیح این نقشه‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد؛ روش آنالیز عوارض رقومی ارائه شده در این تحقیق با بهره‌گیری از ابزارهای متنوع توانسته است پارامترها و اشکال مورفوتکتونیکی متنوعی را از SRTM جهت تجزیه و تحلیل‌های مورفوتکتونیکی فراهم آورد. این روش در حقیقت، روشی سلسله مراتبی جهت آماده نمودن داده‌های اولیه از SRTM و داده‌های رقومی می‌باشد. تکنیک‌های پردازش تصاویرهمچون؛ نرم‌کردن تصویر(فیلتر گذر بالا و پائین)، فیلتر نمودن تصویر و ... در این بررسی بدلایل؛ ارتقاء دید بصری، تصحیح طبقه‌بندی‌ها، تفکیک مرز واحدهای مورفولوژی (و در مواردی لیتولوژی) و مورفوتکتونیکی، آشکارسازی الگوهای غالب، تفوق پارامتر منتخب توسط کاربر و تشدید عارضه مرتبط با آن، کمک زیادی جهت تحلیل اشکال مورفوتکتونیک و مطالعات مورفوتکتونیکی داشته است.

آنالیز رقومی ارتفاع با بهره‌گیری از سطح واریوگرام نشان داد که الگوی ساختمانی ناحیه مورد بررسی در جهت شمالغربی – جنوبشرق کشیده شده است. موقعیت و ارتفاع پرتگاه گسل دهشیر به کمک تکنیک ترسیم هیپسوگراف و پروفیل طولی کاملاً مشخص گردید. تجزیه و تحلیل جهات بیانگر جهات غالب رو به جنوب غربی و عمود بر بردارهای همگرایی صفحه ایران ـ عربستان می‌باشد. با بهره‌گیری از روش DTA مشخص شده که الگوی غالب شبکه زهکشی ناحیه جهت جنوبغربی را نشان می‌دهد. تکنیک‌های مختلف پروفیل همچنین موقعیت مکانی و فضایی گسل دهشیر را بهتر مشخص نموده‌اند. ترکیب نتایج تجزیه و تحلیل شبکه زهکشی و ارتفاعی نشان داد که گسلِ دهشیر گسلی نرمال، راستالغز و امتدادی بوده و در طی کواترنر فعال می‌باشد (جابجایی لندفرم‌های کواترنر). این گسل باعث فرورفت تقریباً ۵۰ متری کفه ابرقو و تشدید فرسایش قهقرایی شبکه آبها و پیدایش سطوح فلاتی شکل بر روی فرادیواره شده است.

از مدل‌ها توپوگرافی بکاربرده شده جهت تعیین ساختار مورفوتکتونیک ناحیه تحدب پروفیل، تحدب در جهت طول جغرافیایی، انحنای حداقل و انحنای حداکثر در شناسایی مرز واحدهای مورفوتکتونیک ناحیه کارآیی بیشتری دارند. همچنین از میان اشکال توپوگرافی استخراج شده شبکه آبها در شناسایی موقعیت گسل دهشیر شاخص‌تر بوده و علاوه بر آن الگوی راستالغز آن را آشکار نموده است.

براساس شواهد مورفوتکتونیک فعال استخراج شده از SRTM ، ناحیه دهشیر از نظر تکتونیکی ناحیه‌ای فعال محسوب شده و با بهره‌گیری از سایر منابع داده سنجش از دور(از قبیل؛ تصاویر Aster، +ETM، TM، IRS ، Quickbreed) می‌توان اطلاعات کاملتری از تکتونیک فعال ناحیه بدست آورد. بالطبع بررسی‌های صحرایی در مطالعات مورفوتکتونیکی نتایج سودمندی داشته و باید اطلاعات حاصل در میدان کنترل گردد.

این تحقیق نشان داد که استفاده از تکنیک سنجش از دور و SRTM می‌توانند اطلاعات نسبتاً کاملی از الگوها و ساختارهای مورفولوژی هر ناحیه را در کمترین زمان و هزینه فراهم آورد. نتایج نشان می‌دهند؛جهت استخراج نقشه‌ها خاص موضوعی، مدل‌ها و اشکال توپوگرافی باید دقت بسیار نمود و در انتخاب نوع الگوریتم مورد استفاده متناسب با مقیاس عارضه اقدام نمود.

محققین این تحقیق پیشنهاد می‌کنند که؛ در بکارگیری الگوریتم‌های مختلف باید دقت لازم را بعمل آورد و جهت جلوگیری از خطای نرم افزاری باید نتایج حاصل بوسیله سایر تصاویر انعکاسی(از قبیل؛ تصاویر Aster، +ETM، TM، IRS ،

Quickbreed)کنترل گردد. علاوه بر آن باید مقیاس هر لندفرم در بکارگیری نوع الگوریتم و منابع داده مورد توجه قرار گیرد.

منابع

Aghanabati, S.A., 2005. **Geology of Iran**, Geological Survey Of Iran, Tehran

Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2001. **Tectonic Geomorphology**. Blackwell Science, Malden.

Frisch, W. (Ed.), 1997. **Tectonic Geomorphology**. In Proceeding of the Fourth Int'l. Conf. on Geomorphology, Z. Geomorphol. N.F., Supplementary Band, 118.

Keller, E.A., Pinter, N., 1996. **Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landforms**. Prentice Hall, New Jersey.

Byrd, J.O.D., Smith, R.B., Geissman, J.W., 1994. **The Teton fault, Wyoming: neotectonics, and mechanisms of deformation**. J. Geophys. Res. 99 (B10), 20095–20122.

Chorowicz, J., Breard, J., Guillande, R., Morasse, C., Prudon, D., Chorowicz, J., Parrot, J., Taud, H., 1995. **Automated patter-recognition of geomorphic features from DEMs and satellite images**. Z.Geomorpholy. Supplementary Band 101, 69–84.

Chorowicz, J., Collet, B., Bonavia, F.F., Mohr, P., Parrot, J.F., Korme, T., 1998. **The Tana basin, Ethiopia: intra-plateau uplift**, rifting and subsidence. Tectonophysics 295, 351–367.

Chorowicz, J., Dhont, D., Gundogdu, N., 1999. **Neotectonics in the eastern North Anatolian fault region (Turkey) advocates crustal extension: mapping from SAR ERS imagery and Digital Elevation Model**. J. Struct. Geol. 21, 511–532.

Chorowicz, J., Kim, J., Manoussis, S., Rudant, J., Foin, P., Veillet, I., 1989. **A new techniqe for recognition of geological and geomorphological patterns in digital terrain models**. Remote Sens. Environ. 29, 229–239.

Clark, C.D., Wilson, C., 1994. **Spatial analysis of lineaments. Comput**. Geosci. 20, 1237–1258.

Collet, B., Taud, H., Parrot, J.F., Bonavia, F., Chorowicz, J., 2000. **A new kinematic approach for the Danakil blocks using a Digital Elevation Model representation**. Tectonophysics 316, 343–357.

Deffontaines, B., Chorowicz, J., 1991. **Principles of drainage basin analysis from multi-source data: application to the structural analysis of the Zaire Basin**. Tectonophysics 194, 237–263.

Doornkamp, J.C., 1972. **Trend-surface analysis of planation surfaces, with an East-African case study. In: Chorley**, R.J. (Ed.), Spatial Analysis in Geomorphology, Methuen, London, pp. 247–281.

Drury, S.A., 1987. **Image Interpretation in Geology. Allen and Unwin**, London.

Evans, I.S., 1972. **General Geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: Chorley**, R.J. (Ed.), Spatial Analysis in Geomorphology, Methuen, London, pp. 17–90.

Florinsky, I.V., 1996. **Quantitative topographic method of fault morphology recognition. Geomorphology 16**, 103–119.

Florinsky, I.V., 1998. **Combined analysis of digital terrain models and remotely sensed data in landscape investigations**. Prog. Phys. Geogr. 22, 33–60.

Florinsky, I.V., 2000. **Relationship between topographically expressed zones of flow accumulation and sites of faults intersection: analysis by means of digital terrain modelling. Environ.Modell**. Software 15, 87–100.

Fraser, A.J., Huggins, P., Cleverley, P., Rees, J.L., 1995. **A satellite remote-sensing technique for geological horizon structure mapping.SEG Annual Meeting**, Expanded Technical Program Abstracts with Biographies.In: Society of Exploration Geophysicists. Tulsa, OK, United States pp. 65, 134–137.

Garbrecht, J., Martz, L.W., 1995. **Agricultural Research ServicePublication NAWQL 95-3, in: TOPAZ: An Automated Digital Landscape Analysis Tool For Topographic Evaluation**, Drainage Identification, Watershed Segmentation and Subcatchment Parametrisation: TOPAZ User Manual. U.S. Department of Agriculture, 95-3, Washington, DC.

Ghasemmi, M., 2008. **Fundamentals of Structural Geology**, Geological Survey Of Iran, Tehran

Goorabi, Abolghasem, 2009. **Effect of Neotectonics on Evolution of Quaternary Landforms in Central Iran (Case Study on Dehshir and Anar Faults)**. University of Tehran

Goorabi. A., Nohegar. A.,2007. **Geomorphic Indices of Active Tectonics in Darakeh Basin**, Physical Geography Research, No.60,pp177-196

Harrison, J.M., Lo, C., 1996. **PC-based two-dimensional discrete spectral transform programs for terrain analysis**. Comput.Geosci. 22, 419–424.

Jordan, G., Csillag, G., 2001. **Digital terrain modelling for morphotectonic analysis: a GIS framework. In: Ohmori**, H. (Ed.),G. Jordan et al. / International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 7 (2005) 163–182 181

Jordan, G., Csillag, G., 2003. **A GIS framework for morphotectonic analysis—cases study**. Proceedings of Fourth European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, 17–20 June 2003. Bologna, Italy. Proceedings, vol. 2. Regione Emilia-Romana, Servizio Geologico, Bologna, pp. 516–519.

Jordan, G., Csillag, G., Szucs, A., Qvarfort, U., 2003. **Application of digital terrain modelling and GIS methods for the morphotectonic investigation of the Kali Basin, Hungary**. Z. Geomorphol.47, 145–169.

Koike, K., Nagano, S., Kawaba, K., 1998. **Construction and analysis of interpreted fracture planes through combination of satelliteimage derived lineaments and digital elevation model data**.Comput. Geosci. 24, 573–583.

Martz, L.W., Garbrecht, J., 1992. **Numerical definition of drainage networks and subcarchment areas from digital elevation models. Comput**. Geosci. 18, 747–761.

McCullagh, M.J., 1988. **Terrain and surface modelling systems: theory and practice**. Photogrammetric Rec. 12, 747–779.

Onorati, G., Poscolieri, M., Ventura, R., Chiarini, V., Crucilla´, U., 1992. **The digital elevation model of Italy for geomorphology and structural geology**. Catena 19, 147–178.

Prost, G.L., 1994. **Remote sensing for geologists. In: A Guide to Image Interpretation, Gordon and Breach Science Publishers**, Amsterdam. Ramsay, J.G., Huber, M.I., 1987. The Techniques of Modern Structural Geology. Vol. 2. Folds and Fractures. Academic Press, London.

Sabzehei, M., 1987. **Dictionary Of Geology And Related Sciences**, Second Edition, University of Kerman, Kerman

Salvi, S., 1995. **Analysis and interpretation of Landsat synthetic stereo pair for the detection of active fault zones in the Abruzzi Region (Central Italy)**. Remote Sens. Environ. 53, 153–163.

Siegal, B.S., Gillespie, A.R., 1980. **Remote Sensing in Geology.John Wiley and Sons**, New York.Simpson, D.W., Anders, M.H., 1992. Tectonics and topography of the - Western United States - an application of digital mapping.GSA Today 2, 118–121.

Software: ILWIS, 1997. **The Integrated Land and Water Information System. Reference Guide**. ILWIS Department, ITC, Enschede.

WEB: http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml