# شناسایی شکل‌های ژئومورفولوژیک به منظور مدیریت محیط، مطالعه موردی؛ ورقه تخت‌سلیمان

**بهرام آزادبخت[۱] و مژگان زارعی نژاد[۲]***

[۱] دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری، تهران، ایران
[۲] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۴/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۱/۱۱

**چکیده**

منطقهٔ تخت‌سلیمان، از نظر تنوع و گوناگونی واحدهای مورفولوژی بسیار غنی است این تنوع مورفولوژی، بیشتر به دلیل عوامل اقلیمی و ویژگی‌های سنگ‌شناختی، فرایندهای فرسایش، هوازدگی و حرکات زمین‌ساختی است. ویژگی‌های مورفولوژیکی منطقهٔ تخت‌سلیمان تحت تأثیر دو عامل مورفودینامیک درونی و بیرونی است. این پژوهش به عنوان یک دستاورد ژئومورفولوژیکی به بررسی عوامل بیرونی پرداخته است. شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در محدوده مورد بررسی به سه دسته کلی، واحدهای مورفودینامیک، مورفوتکتونیک و مورفوژنتیک و در قالب یک نقشه ژئومورفولوژی ارائه شده است. برای این منظور با استفاده از نقشه‌های پایه و بررسی‌های میدانی، چندین لایه اطلاعاتی جدید از منطقه در محیط GIS تولید شد و در پایان با استفاده تصاویر ماهواره‌ای $ETM^+$ و ASTER اشکال مورد ارزیابی قرار گرفتند.

**کلیدواژه‌ها:** ژئومورفولوژی، تصویر ماهواره‌ای، تخت‌سلیمان، فرسایش، لندفرم

***نویسنده مسئول:** مژگان زارعی‌نژاد
E-mail: mojgan_zarei@yahoo.com

## ۱– مقدمه

ژئومورفولوژی، بررسی زمین شکل‌ها و بویژه بررسی ماهیت، منشأ، فرایندهای ظهور و توسعه و ترکیب مواد زمین است (Cook & Doornkamp, 1998). ژئومورفولوژی کاربردی بیانگر انتظام و کنترل پیاپی کلیه پستی و بلندی‌ها است. ژئومورفولوژی تشخیص و توصیف شکل‌های سطحی زمین است و هدف از کاربرد آن؛ بررسی، دسته‌بندی و پیش‌بینی تحول آینده و فعلی این شکل‌ها است. این بررسی ممکن است توصیف ساده کمیت‌های رودخانه یا ویژگی‌های یک حوضه زهکشی و ارتباط آن با متغیرهای زمین‌شناسی، آب‌شناسی، شرایط آب و هوایی، چگونگی دخالت انسان و ... باشد (Motamed & Moghimi, 1999).

یکی از اساسی‌ترین خط مشی‌ها در برنامه‌ریزی ژئومورفولوژیک، تعیین محل‌های پایدار شکل‌های سطحی زمین است که در آنها احتمال وقوع فرایندهای خطرزای ژئومورفولوژی وجود ندارد. این وقایع عبارتند از تغییر طبیعی یا مصنوعی پدیده‌های ناشی از عدم ثبات ژئومورفولوژی محل که گاهی باعث ضرر و زیان می‌شود. شناسایی شکل‌های ژئومورفولوژیک می‌تواند در راستای تعیین محل‌های خطرزا و یا پایدار یک ناحیه باشد.

در بررسی نظامند ژئومورفیک، واحد، بزرگ‌ترین سطح همگنی است که با رده‌های کوچک‌تر از خود تفاوت‌هایی دارد و محدوده بسیار پهناوری را در بر می‌گیرد.(Maksud Kamal & Midorikawa, 2004) مبنای اصلی تعیین این معیار ، داده‌های ساختمانی (زمین‌ساختی) است. داده‌های اقلیمی و زیستی، از جمله انسان به عنوان شاخص‌های ثانویه در این واحد در نظر گرفته می‌شود. مدیریت بهینه محیط، مستلزم شناخت، شناسایی و طبقه‌بندی واحدهای ژئومورفیک است.

در ژئومورفولوژی بزرگ‌ترین واحد فرمی چشم‌انداز (Landscape) است و هر چشم‌انداز شامل چندمنظر (Land view) می‌شود. واحد سوم در طبقه‌بندی فرمیک، زمین‌نما (Land feature) است. این واحد رابطهٔ میان مواد مادری و فرم‌های اراضی را مشخص می‌کند. کوچک‌ترین واحد تقسیمی در ژئومورفولوژی فرم اراضی (Land form) است. در این واحد پدیده‌های ژئومورفولوژی شناسایی و بر حسب فرایند شکل‌گیری طبقه‌بندی می‌شود (Ramesht, 2004). با توجه به طبقه‌بندی یادشده، منطقه تخت‌سلیمان به علت شرایط محیطی خاص، تحت تأثیر فرایندهای طبیعی و انسانی دستخوش تحول شده است. همچنین این ناحیه به دلیل داشتن توان معدنی مناسب برای استخراج طلا، سرب و روی، موقعیتی استراتژیک دارد و بنابراین شناخت منطقه به منظور مدیریت محیط از مهم‌ترین اهداف این پژوهش است.

منطقهٔ تخت‌سلیمان با داشتن پتانسیل معدنی و همچنین وجود آثار باستانی و طبیعی منحصر به فرد خود، از دیرباز مورد توجه متخصصان ایرانی و خارجی با تخصص‌های گوناگون بوده است. بررسی‌های انجام شده در طی سه دهه گذشته، که در قالب پروژه‌های اکتشافی و زمین‌شناسی به اجرا درآمده است توسط متخصصینی چون Alavi Naeeni (1985), Qimiya Ghalam (1986), Momenzadeh and Rashidnejad (1988), Babakhani & Ghalamghash (1990), Ralf (1997), Ghorbani (2000), Hashemi, (2001), Madani Givi (2002), Mokhtari (2005), Mashkani et al. (2005) و... انجام شده است اما بررسی‌های دقیق و منسجمی برای شناسایی شکل‌های مورفودینامیک، مورفوژنتیک و مورفوتکتونیک تخت‌سلیمان با نگرشی بر مدیریت محیط صورت نگرفته است.

با توجه به مطالب یادشده، به منظور شناسایی شکل‌های ژئومورفولوژیکی منطقه تخت‌سلیمان و مدیریت آن در قالب یک فعالیت پژوهشی، سه هدف اصلی زیر در دستور کار قرارگرفت که نتایج آن در این مقاله تشریح می‌شود:

الف) گردآوری، تولید، ساماندهی و ذخیره‌سازی اطلاعات پایه و نیز فراهم‌آوری نقشه‌های مشتق شده از منطقه؛

ب) شناسایی فرم‌ها و واحدهای ژئومورفولوژیک که تحت عملکرد عناصر و فرایندهای اقلیمی و انسانی در منطقه تخت‌سلیمان شکل گرفته است.

ج) بررسی عوامل و فرایندهای مؤثر در تغییر مورفولوژی منطقه. در اختیار داشتن داده‌های مناسب و امکان تحلیل و پردازش از محیط، لازمه هرگونه فعالیت مدیریتی است (Bellinger et. al., 2004).

## ۲– موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد بررسی بین طول خاوری °۴۷ تا '۳۰ °۴۷ و عرض شمالی '۳۰ °۳۶ تا °۳۷ واقع شده است. این منطقه یکی از برگه‌های ۱:۱۰۰،۰۰۰ چهارگوش تکاب – شاهین دژ است، از نظر تقسیمات کشوری منطقه مورد نظر بین استان‌های زنجان (در خاور)،

آذربایجان شرقی (در شمال و شمال باختر) و آذربایجان غربی (در جنوب و باختر) واقع شده است (شکل ۱).

## ۳- روش‌ها و مواد

از آن جایی که ماهیت روش‌های به کارگیری روش‌های رقومی در پردازش و تحلیل اطلاعات، استفاده از محیط‌های نرم‌افزاری است در مرحله نخست باید اطلاعات غیر رقومی (Analog) به اطلاعات رقومی (Digital) تبدیل شود (Moghimi et al., 2008).

با توجه به اهداف بیان شده در این پژوهش نیز، عملیات گردآوری، تولید، تکمیل و GIS-Ready کردن لایه‌های اطلاعات با بهره‌گیری از نقشه زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه برداری کشور، تصاویر ماهواره‌ای ETM$^+$، ASTER و بررسی‌های میدانی در محیط GIS انجام شد. برای تهیه لایه‌ها، از منابع اطلاعاتی و روش‌های زیر استفاده شد:

- **نقشه‌های کاغذی موجود:** رقومی‌سازی و GIS-Ready کردن نقشه زمین‌شناسی تخت‌سلیمان در مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ و جنرالیزه کردن واحدها بر اساس نوع سازندها در منطقه (لازم به بیان است تنها نقشه زمین‌شناسی موجود از منطقه مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ دارد بنابراین تنها به جدایش نوع سازندها از روی این نقشه اکتفا شد).
- **نقشه‌های رقومی موجود:** برای یکپارچه‌سازی (Seamless) و GIS-Ready کردن نقشه‌های توپوگرافی رقومی موجود سازمان نقشه‌برداری کشور در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و تهیه نقشه‌های مشتق شده از آن. برای شناسایی بهتر شکل‌های مورفولوژیک ترجیح داده شد از نقشه‌های پایه با بیشترین دقت موجود استفاده شود.
- **تصاویر ماهواره‌ای:** پس ازانجام تصحیحات هندسی، تصحیحات رادیومتری و متعامدسازی (Orthorectification)، این داده‌ها برای تولید لایه‌های اطلاعاتی جدید، اصلاح نقشه‌های موجود و به روز رسانی نقشه‌های قدیمی مورد استفاده قرار گرفتند. در این پژوهش از دو نوع داده ماهواره‌ای سنجنده ETM$^+$ و ASTER استفاده شد.

طی چندین مرحله عملیات میدانی در نواحی مختلف منطقه بررسی شده، شکل‌های متنوعی که بر اثر فرایندهای مختلف شکل گرفته‌اند شناسایی و معرفی شد. شکل‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه زمین‌شناسی و نقشه توپوگرافی شناسایی و در نقشه توپوگرافی و DEM منطقه با دقت ۱:۲۵،۰۰۰ موقع‌یابی شدند. در مرحله بازدید میدانی، شکل‌ها بررسی و نتیجه کلیه مشاهده‌ها و بررسی‌ها، به صورت یک نقشه ژئومورفولوژی ارائه شد.

## ۳- بحث و تحلیل

منطقه تخت‌سلیمان، از نقطه نظر تنوع و گوناگونی واحدهای مورفولوژی بسیار غنی است. به طوری که واحدهای کاملاً متفاوت با یکدیگر را می‌توان در فاصله نزدیکی از یکدیگر دید. این تنوع مورفولوژی ، بیشتر معلول عوامل اقلیمی و ویژگی‌های سنگ‌شناختی، فرایندهای فرسایش، هوازدگی و حرکات زمین‌ساخت است.

اقلیم این منطقه تا حدود زیادی متأثر از موقعیت جغرافیایی آن و به دنبال آن عوامل اقلیمی منطقه‌ای خود است. در این ناحیه عامل دوری از دریا مطرح است. نزدیک‌ترین پهنه آبی به منطقه تخت‌سلیمان دریاچه ارومیه است که به علت وسعت کم، تأثیر چندانی بر اقلیم منطقه ندارد. بنابراین دریای مدیترانه در بیشتر اوقات سال منطقه را تحت تأثیر عوامل جوی خود قرار می‌دهد. همچنین وجود کوه‌های باختر منطقه با سوی شمالی - جنوبی، باعث ریزش باران‌های کوهستانی و افزایش مقدار بارش نسبت به ارتفاع، در نواحی مرکزی و شمالی منطقه می‌شود.

منطقه مورد مطالعه از نظر ساختمانی در زون خوی مهاباد و محل تلاقی زون‌های ساختمانی البرز - آذربایجان، ایران مرکزی و سنندج - سیرجان بوده و ویژگی‌های زون‌های یادشده را دارد. منطقه به طور عمده از سنگ‌های دگرگونی شیست، مرمر، گنایس و آمفیبولیت تشکیل شده است که با روند شمال باختر - جنوب خاور در بخش میانی ورقه بلندترین ارتفاعات کوه بلقیس با ارتفاع ۳۳۳۰ متر و کوه قله داغ با ارتفاع ۳۲۰۸ متر را شکل می‌دهند. به‌طور کلی توالی چینه‌ای سنگ‌ها در منطقهٔ مورد بررسی به ترتیب از پایین به بالا شامل سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین، سنگ‌های رسوبی پرکامبرین -کامبرین زیرین و کامبرین- اردوویسین، سنگ‌های دگرگونی پالئوزوییک، توده‌های نفوذی دیوریتی، گرانودیوریتی و گرانیتی، سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی الیگومیوسن و نهشته‌های جوان پلیوسن و کواترنری است (Babakhani & Ghalamghash, 1990).

ویژگی‌های زمین شناسی، نقش بسیار مهمی در شکل‌گیری واحدهای ژئومورفولوژی دارند. بنابراین استفاده از نقشه زمین‌شناسی، به عنوان زمینه و بستر نقشه ژئومورفولوژی ضروری است. به این ترتیب، از نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰،۰۰۰ تخت‌سلیمان (Babakhani & Ghalamghash, 1990) استفاده شد. با این تفاوت که نقشه یاد شده در قالب پنج پهنه شامل کمربند دگرگونی (دگرگونه‌های پرکامبرین، پالئوزوییک بالا)، بلوک‌های نفوذی، سنگ‌های آهکی کارستی شده، پهنه‌های تراورتنی و نهشته‌های رسوبی و آتشفشانی (سازند سرخ بالایی، سنگ آتشفشانی الیگومیوسن، کنگلومرا) خلاصه شد (شکل ۲ ).

به‌طور کلی در ایجاد سیمای مورفولوژی منطقه تخت‌سلیمان سه عامل، رسوبگذاری، فرسایش و حرکات زمین‌ساختی، چه به‌صورت منفرد و مجزا و چه به‌صورت همزمان نقش داشته‌اند و همان‌گونه که خواهیم دید مجموعه فرایندهای هوازدگی، فرسایش و آب‌شستگی، بیش از دیگر پدیده‌ها در منطقه مورد بررسی، عمل کرده‌اند.

دامنه‌های پرشیب، قله‌های نوک تیز و مرتفع ، دره‌های باریک و ژرف و بسیاری از شواهد دیگر گویای این است که محدوده مورد بررسی از دیدگاه ژئومورفولوژی در مراحل جوانی به سر می‌برد. به همین دلیل و با توجه به مورفولوژی کوهستانی، شرایط اقلیمی و نیز فعالیت‌های انسانی از جمله معدن‌کاری و آماده‌سازی زمین برای طرح‌های عمرانی یا کشاورزی در منطقه، انواع حرکات دامنه‌ای تند و کند، سطحی و ژرفی به فراوانی شکل گرفته است.

ارتفاع زیاد منطقه و موقعیت جغرافیایی محدوده مورد بررسی باعث شده تا در ارتفاعات، بویژه در مکان‌هایی که از تابش اشعه خورشید محروم است (دامنه‌های شمالی، شمال خاور، خاور) پدیده یخ زدگی باعث ایجاد شکل‌های خاصی چون سیرک‌های یخچالی- فرسایشی شده است. این سیرک‌های یخچالی در حال حاضر غیرفعال هستند و گاه در بلندی‌های کوه بلقیس با ارتفاع حدود ۳۰۰۰ متر دیده می‌شود.

به واسطه عملکرد فرایندهای مختلف، شکل‌های خاصی پدید آمده است. برای ارائه مناسب‌تر این شکل‌ها به صورت واحدهای مورفولوژیک، اقدام به طبقه‌بندی آنها در یک نقشه ژئومورفولوژی شد. این طبقه بندی بر پای مهم‌ترین ویژگی شکل‌گیری واحدهای مورفولوژیکی، یعنی " منشأ و فرایند تشکیل " آنها صورت پذیرفته است. به این ترتیب، شکل‌های موجود در محدوده مورد بررسی به سه دسته کلی قابل جدایش هستند.

- واحدهای مورفودینامیک و مجاور یخچالی
- واحدهای مورفوتکتونیک و تکتونیک
- واحدهای مورفوژنتیک و مورفوژنتیک کارستی

بیان این نکته ضروری است که در بسیاری از واحدهای مورفولوژیکی طبقه‌بندی شده، ترکیبی از دو یا هر سه عامل نقش آفرین بوده‌اند. با این وجود، در تقسیم‌بندی فعلی، عاملی که بیش از دو عامل دیگر در تشکیل واحدهای یادشده دخالت داشته به عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شده است.

### ۳-۱. واحدهای مورفودینامیک و مجاور یخچالی

واحدهای مورفودینامیک در نتیجه عملکرد عناصر و فرایندهای پویا شکل می‌گیرند. شدت و ضعف پدیده فرسایش، موجب شکل‌گیری واحدهای مورفودینامیک متنوعی در محدوده مورد بررسی شده است که به طور کامل در نقشه طبقه‌بندی و

ارائه شده است و در مقاله به دلیل محدودیت، تنها به معرفی بخشی از آنها می‌پردازیم:

– **بدلندها یا هزار دره:** این واحد مورفولوژی در انتهای شمال خاور منطقه و عموماً در نهشته‌های مارنی ایجاد شده است. سیمای این واحد با شبکه‌ای متراکم از زهکشی‌های طبیعی کوچک ، باریک و کم ژرفا مشخص شده است. یکی دیگر از ویژگی‌های این واحد، نبود پوشش گیاهی در سطح آن است. مهم‌ترین عاملی که در شکل‌گیری این بدلندها مؤثر بوده است، ویژگی‌های سنگ‌شناختی (Lithology) آنها است. به این معنا که نهشته‌هایی از مارن و مارن‌های سیلتی و رسی که سخت شدگی زیادی ندارند، مناسب‌ترین بستر برای ایجاد بدلندها هستند. وجود مصالح قابل حلی همچون ژیپس در نهشته‌های مارنی، شکل‌گیری این واحد مورفولوژی را سرعت داده است. از جمله مهم‌ترین عوامل ایجاد کنندهٔ بدلندها، عملکرد رواناب‌ها (Running Water) و فرسایش است. هر چه تراکم شبکه زهکشی طبیعی بیشتر شود، بدلند، به مراحل پیشرفتگی خود نزدیک می‌شود. به همین دلیل در بخش‌هایی از بدلندها که شبکهٔ زهکشی هنوز به بیشترین تراکم خود نرسیده، واحد بدلندهای ابتدایی (Poorly developed Bad Lands) شکل می‌گیرد که به عنوان یک واحد جداگانه معرفی شده است. (شکل۳)

– **فرسایش آبکندی، خندقی (Gully erosion):** این واحد به صورت دره‌هایی منفرد در بخش غیر هم شیب دامنه (Scarp slope) ایجاد شده و در سرتاسر محدوده مورد بررسی دیده می‌شود. دره‌های آبکندی باریک و طویل بوده و درست شبیه شیارهای جویباری است. با این تفاوت که عرض آبکند بیشتر است.

شیارهای آبکندی معمولاً در خلال بارندگی‌ها و یا بلافاصله پس از آن در منطقه، وظیفه تخلیه رواناب‌ها را به عهده دارند. سرعت آب، سبب حفر بستر آبکند و افزایش ژرفای آن می‌شود. حرکات زمین‌ساختی فرایشی (Uplifting) در شکل‌گیری آبکندها، بویژه در مراحل تشکیل آنها نقش به سزایی دارد.

– **فرسایش شیاری (Rill erosion):** این واحد مورفولوژی به صورت مجموعه‌ای از شیارهای مجاور هم در بخش‌های جنوبی محدوده مورد بررسی دیده می‌شود. شیارهای یادشده باریک و کم ژرفا هستند و دیواره آنها شیب متوسط دارد. پیدایش شیارهای فرسایشی حاصل عمل رواناب‌ها است که با سرعت مناسب و قدرت حمل زیاد باعث جابه‌جایی مصالح دامنه‌ای از راه شیارهای فرسایش می‌شود. در بخش‌هایی از محدوده مورد بررسی که فعالیت‌های زمین‌ساختی به صورت فرایش در حال عمل است، این شیارها بیشتر به چشم می‌خورند. در واقع یکی از دلایل فعالیت زمین‌ساختی جوان، وجود شیارهای یادشده بر روی دامنه‌های با پوشش رسوبی جوان است. در ایجاد فرسایش شیاری به عنوان واحد حدواسط میان فرسایش صفحه‌ای و فرسایش آبکندی، اگرچه فعالیت‌های زمین‌ساختی هم مؤثر هستند، اما این واحد را در واحدهای مورفودینامیک طبقه‌بندی کرده‌ایم.

– **فرسایش صفحه‌ای (Sheet erosion):** این پدیده در هر دو بخش دامنه یعنی دامنه هم شیب با لایه‌بندی و دامنه غیر هم‌شیب با لایه‌بندی ایجاد می‌شود. اما در محدوده ورقه تخت‌سلیمان، تمام این واحد به کل در دامنه غیر هم شیب تشکیل شده است.

– **زمین‌های میزمانند (Table Land):** این واحد مورفولوژی که در بخش شمال منطقه مورد بررسی در نهشته‌های مارنی و ماسه‌سنگی تشکیل شده است، شامل زمین‌های گسترده و طویلی است که از دو سو ناگهان به دره‌هایی با دیواره پرشیب منتهی می‌شود. در دیوارهٔ این دره‌ها سنگ کف رخنمون پیدا کرده و سیمای بدلندهای تشکیل نشده را نشان می‌دهد. سطح این واحد مورفولوژیکی هموار و مسطح بوده و سنگ کف توسط پوشش خاک‌های سطحی برجا (Regolith) مشخص شده است. عامل اصلی ایجاد این واحد، فرسایش و هوازدگی است.

– **گودال برفی (Nivation cirque):** در تشکیل گودال‌های برف، دو عامل بیش از همه مؤثر است: یخ‌زدگی و فرایندهای فرسایشی. این پدیده در بخش‌های مرتفع کوهستانی (معمولاً بیش از ۱۸۰۰ متر بلندی از سطح دریا) و رو به سوی شمال خاور – شمال و خاور شکل گرفته است. وجود این حفره‌ها در سمت شمال – شمال خاور و خاور، به دلیل نبود آفتاب پس از ظهر در این دامنه‌ها است. در نتیجه شرایط، برای ماندگاری آب و یخ زدن آن، بویژه در فصل زمستان آماده می‌شود. در نقاطی که سیرک‌های یخچالی به صورت حفرات فرسایشی طولی وجود داشته‌اند، به عنوان گودال‌های برف‌سابی (Nivation Nitch) معرفی شده‌اند.

– **فروافتادگی (Deqression):** در بخش شمال خاور و خاور ورقه تخت‌سلیمان چندین فروافتادگی به چشم می‌خورد که پیش از این محل جمع‌آوری آب‌های سطحی بوده است. به دلیل پوشش گیاهی و ایجاد زمین‌های کشاورزی، منشأ تشکیل این فروافتادگی‌ها مشخص نیست، اما به دلیل نقشی که آب و فرسایش در شکل‌گیری این واحدهای مورفولوژیکی داشته‌اند، آن را به عنوان واحدهای مورفودینامیکی معرفی شده‌اند.

– **اشکال کارستی:** در بخش جنوب باختری ورقه مورد بررسی، نهشته‌های آهکی با سن الیگومیوسن رخنمون پیدا کرده‌اند. تناوب دوره‌های یخبندان، وجود بارش جوی مناسب و وجود بیش از ۶۰ درصد کربنات کلسیم در سنگ آهک‌های یادشده باعث شده است تا شکل‌های کارست گوناگونی در این واحد سنگی شکل بگیرد. شکل‌های کارستی در این واحد سنگی شامل شیارها، شکاف‌ها، حفرات و غارها است که با ابعاد کوچک و بزرگ در این واحد سنگی ظاهر شده‌اند. با توجه به این که مقیاس نقشه اجازه نمایش تمامی شکل‌های کارستی را به صورت جداگانه نمی‌دهد، بنابراین مجموعه واحد سنگی را به عنوان واحدهای دارای شکل‌های کارستی جدا شده است (شکل ۴).

– **حرکات دامنه‌ای (Mass Movement):** شرایط کوهستانی، ویژگی‌های زمین‌ساختی و سنگ‌شناختی به همراه ویژگی‌های جغرافیایی و آب و هوایی، باعث شده تا در ورقه مورد بررسی، انواع حرکات دامنه‌ای با ویژگی‌های هندسی، فیزیکی و مکانیکی گوناگون به وقوع بپیوندد. فراوانی و گستردگی ناپایداری‌های دامنه‌ای موجب شده تا این پدیده‌ها به عنوان مهم‌ترین عناصر ژئومورفولوژی در محدوده مورد بررسی خودنمایی کنند.

– **خاک‌روانه (Earth Flow):** پدیده خاک‌روانه در مصالح سطحی دامنه‌های متشکل از رس و سیلت اتفاق افتاده است و سرعت آن تابعی از شیب دامنه و مقدار آب موجود در مصالح دامنه‌ای است.در منطقه تخت‌سلیمان خاک‌روانه‌های موجود بیشتر در مرحله تکامل و تثبیت خود قرار دارند.

– **خاکروانه گلروانه یا جریان‌های گلی (Mud Flow):** جریان گلی نیز در مصالح سطحی دامنه‌ای متشکل از رس – سیلت با بین لایه‌ها یا عدسی‌هایی از ماسه صورت می گیرد. در طبقه‌بندی سرعت، جریان گلروانه به عنوان حرکات دامنه‌ای سریع به‌شمار می‌رود و افزایش سرعت آن بستگی به مقدار آب دارد.

در منطقه تخت‌سلیمان به دلیل ژرفای هوازدگی در نهشته‌های سطحی و بارندگی مناسب، چندین جریان گلی طویل شناسایی شده است. جریان‌های گلی اگر چه در دامنه‌هایی با بیشترین مقدار شیب ۱۵ درجه رخ می‌دهد، اما در تخت‌سلیمان جریان گلی حتی در دامنه‌های با شیب حدود ۲۵ درجه نیز تشکیل شده است.

– **جریان‌های واریزه‌ای (Debris Flow):** در منطقه مورد بررسی دو جریان واریزه‌ای شناسایی شده،این پدیده بیشتر در مصالح درشت‌دانه دامنه‌ای (به‌صورت تالوس) که بدون پوشش گیاهی بوده،شکل گرفته است.سرعت جریان واریزه‌ای از کند تا تند تغییر می کند.

– **سنگ‌افت (Rock Fall):** مهم‌ترین عامل در ایجاد سنگ‌افت‌ها، ترانشه‌زنی، خاک‌برداری و آب‌شستگی توسط رودخانه‌ها است. در محدوده ورقه تخت‌سلیمان بیشتر سنگ‌افت‌ها به دلیل برداشت سنگ‌های تراورتنی ایجاد شده‌اند. در طبقه‌بندی ناپایداری‌های دامنه‌ای، سنگ‌افت‌ها، به‌عنوان پدیده‌ای با سرعت زیاد به شمار می‌روند (شکل ۵).

### ۳-۲. واحدهای مورفوتکتونیک

واحدهای مورفوتکتونیک در منطقه، عموماً تحت تأثیر حرکات زمین‌ساختی بویژه پدیده بالاآمدگی شکل گرفته‌اند. اگر چه عوامل دیگری چون رسوبگذاری و فرسایش نیز در این زمینه نقش داشته‌اند اما در طبقه‌بندی صورت گرفته در این پژوهش، به عامل زمین‌ساخت نسبت به دیگر پدیده‌ها اولویت داده شده است. همان‌گونه که در نقشه ژئومورفولوژی دیده می‌شود واحدهای ساختاری شامل تاقدیس‌ها، ناودیس‌ها، گسل‌ها و شیب و امتداد شیب‌ها از جمله عوامل زمین‌ساختی در نقشه قابل مشاهده است. و از جمله فرم‌های مورفوتکتونیکی می‌توان به شکل‌های زیر اشاره نمود.

– **سکوهای فرسایشی:** سکوهای فرسایشی نشانه‌ای روشن از نقش حرکات زمین‌ساختی در شکل‌گیری واحدهای مورفولوژی است. در منطقه مورد بررسی، سکوهای فرسایشی در دو سطح تراز با اختلاف بلندای حدود ۱۲-۱۰ متر ایجاد شده‌اند. جنس این سکوها از رخنمون‌های سنگی متفاوت هستند که پوششی نازک از خاک‌های برجا سطح آنها را پوشانیده است. سکوهای فرسایشی، یکی از شکل‌های مورفوتکتونیکی مهم در ردیابی حرکات زمین‌ساختی کواترنر است. این سکوها همچنین در چینه‌شناسی نهشته‌های کواترنر نیز نقش مهمی بازی می‌کنند.

### ۳-۳. واحدهای مورفوژنتیک و مورفوژنتیک کارستی

این نوع واحدهای مورفولوژی که عموماً در نتیجه فرایندهای رسوبگذاری و تا حدودی فرسایشی ایجاد شده‌اند، گسترش اندکی در سطح ورقه مورد بررسی دارد:

– **پادگانه‌های آبرفتی (Alluvial Terraces):** تغییرات آب و هوایی یکی از مهم‌ترین عوامل پیدایش پادگانه‌های آبرفتی در منطقه به شمار می‌رود. زیرا بر اساس شواهد دیده شده در منطقه، در دوره‌های خشک که قدرت رودخانه‌ها کم بوده است، جلگه‌های آبرفتی تشکیل و در دوران مرطوب به علت زیادی آب و شدت یافتن عمل تخریبی رودخانه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی منطقه به وجود آمده‌اند.

– **دامنه‌های تالوس (Talus):** شیب مخروط‌های واریزه‌ای بستگی به اندازه، تراکم و شکل مواد دارد که بیشتر مخروط‌های واریزه‌ای در منطقه شیبی حدود ۳۰ تا ۳۵ درجه دارند.

– **مخروط‌های نیمه ژرف (Subvolcanic dome):** شکل‌های یادشده که به صورت مخروط‌هایی متعدد در سطح منطقه پراکنده‌شده‌اند، حاصل انجماد و تفریق ماگما در بخش‌های نه چندان ژرف پوسته زمین هستند. این واحد مورفولوژیکی اگر چه در حال حاضر دامنه‌های پرشیبی را از خود نشان می‌دهد، اما فرایندهای فرسایشی به‌تدریج آن را به صورت کم‌شیب و شبیه تپه ماهور تبدیل می‌سازند. گسترش این واحد بیشتر در بخش شمال ورقه تخت‌سلیمان است (شکل۵).

– **مخروط‌های تراورتنی (Travertine cone):** این شکل‌ها، نمونه‌ای برجسته از واحدهای مورفوژنتیک در منطقه هستند. این نهشته‌ها در امتداد گسل چهار طاق قرار گرفته و در نتیجه فعالیت‌های چشمه‌های تراورتنی فعال یا غیرفعال به‌وجود آمده‌اند که به خوبی در تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی هستند. گسترش این شکل‌ها بیشتر در بخش جنوبی و در پهنه‌های تراورتنی دیده می‌شوند. از مهم‌ترین چشمه‌های غیرفعال قدیمی، مخروط‌های تراورتنی تخت سلیمان و زندان برنجه و زندان نبی‌کندی را می‌توان نام برد (شکل‌های ۶ و ۷).

– **برجستگی‌های زین اسبی (Saddle):** عموماً این پدیده در ارتفاعات و از تغییر شکل ستیغ‌ها سنگی ایجاد می‌شود. هنگام ورود به محدوده ورقه تخت‌سلیمان از بخش جنوب بلندی‌های بلقیس، چندین برجستگی زین اسبی دیده می‌شود.

## ۴– نتیجه‌گیری

ژئومورفولوژی، یعنی بررسی زمین‌شکل‌ها، مواد و فرایندهای وابسته که با بسیاری از جنبه‌های مدیریت محیط مرتبط است. در مراحل اصلی برنامه‌ریزی، اجرا و ارزیابی امور مدیریت محیط، ژئومورفولوژی می‌تواند در تقویم مخاطرات، بررسی محیط، ارزیابی منابع، تقویم صدمات و تحولات و تأثیر آنها و سیاست ارزیابی پس از توسعه، مشارکت داشته باشد. این مشارکت‌ها در بیشتر محیط‌های طبیعی بویژه در نواحی شهری و توسعه ناحیه‌ای مفید هستند. مشارکت‌های ژئومورفولوژیک بیشتر به تهیه نقشه، ثبت و ضبط فرم‌های سطحی زمین (به گونه‌ای که برای مراجعه کنندگان غیر ژئومورفولوژیست مفهوم باشد) مربوط می‌شود.

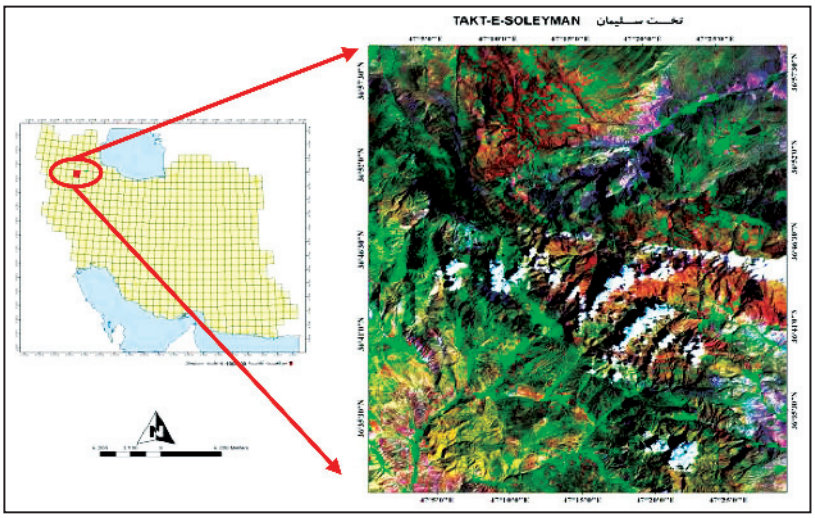
بنابراین حاصل بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش به‌عنوان یک دستاورد ژئومورفولوژیکی و بر اساس اهداف بیان شده، شناسایی وضعیت و شکل‌های مورفولوژی از منطقه و در پایان تهیه نقشه ژئومورفولوژی در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ از منطقه تخت‌سلیمان است (شکل‌های ۸ و۹). همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، شکل‌های موجود در محدوده مورد بررسی به سه دسته کلی، واحدهای مورفودینامیک، مورفوتکتونیک و مورفوژنتیک جدا و در قالب یک نقشه ارائه شده است.

واحدهای مورفودینامیک در منطقه، که در نتیجه عملکرد عناصر و فرایندهای پویا شکل گرفته‌اند سبب پیدایش لندفرم‌هایی چون؛ بدلندها، مناطق فرسایشی با شکل‌ها و سطوح متفاوت، زمین‌های مسطح و هموار، سیرک‌ها و شیارهای یخچالی، فروافتادگی‌ها، شکل‌های کارستی و حرکات دامنه‌ای شده‌اند. واحدهای مورفوتکتونیک در منطقه، عموماً تحت تأثیر حرکات زمین‌ساختی، بویژه پدیده بالاآمدگی شکل گرفته‌اند. مهم‌ترین این واحدها در ورقه تخت‌سلیمان شامل؛ سکوهای فرسایشی، پادگانه‌های رودخانه‌ای و آبرفتی، تالوس‌ها و دامنه‌های یخ‌شکستگی هستند. و واحدهای مورفوژنتیک که در نتیجه فرایندهای رسوبگذاری و تا حدودی فرسایشی ایجاد شده‌اند، از گسترش اندکی در سطح ورقه مورد بررسی دارند. این واحدها شکل‌هایی چون مخروط‌های تراورتنی، گنبدهای نفوذی کم‌ژرفا، برجستگی‌های زین‌اسبی و دره‌های پر شده را پدید آورده است.

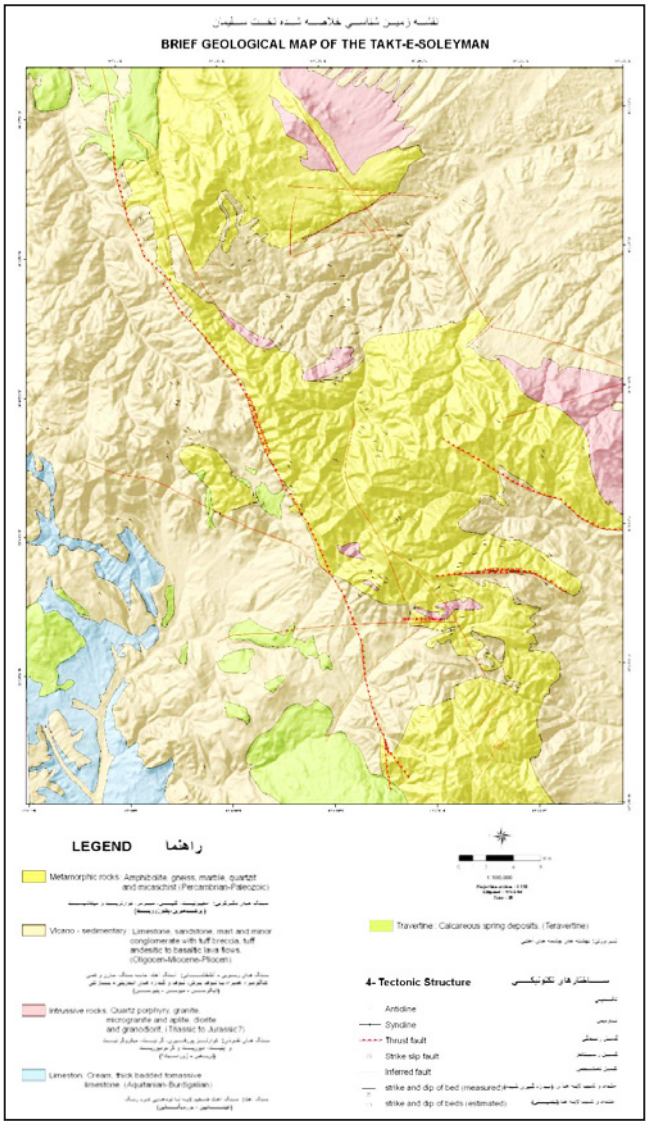
پژوهش حاضر تلاشی است برای شناسایی و معرفی لندفرم‌های پیچیده و زیبای ورقه تخت‌سلیمان، برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های عمرانی، آمایش سرزمین و مدیریت محیط به لحاظ مسائل زیست محیطی. به منظور کنترل، هدایت و نظارت بر تغییرات مورفولوژیکی و زیست محیطی، تنها با شناخت محیط اطراف است که به یک درک واقعی برای برنامه‌ریزی آن محیط خواهیم رسید. با برنامه‌ریزی ژئومورفولوژیک طی دوره‌های کوتاه و بلند مدت از وقوع حوادث ژئومورفولوژیکی ناشی از تغییرات طبیعی و مصنوعی پدیده‌ها، می‌توان جلوگیری کرد (Motamed & Moghimi,1999).

## سپاسگزاری

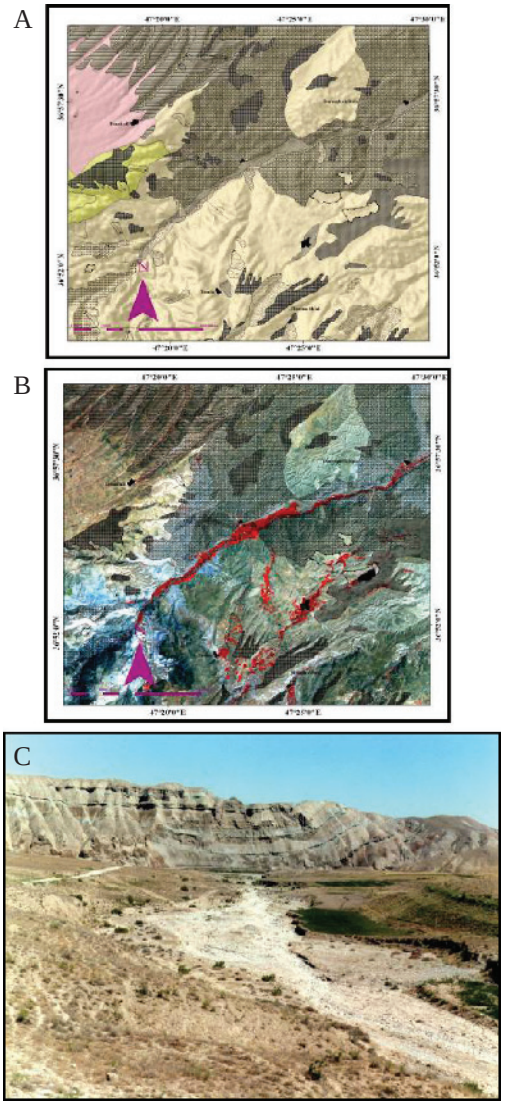
لازم است که از راهنمایی و همکاری صمیمانه جناب آقای مهندس خان‌ناظر در مورد تهیه نقشه زمین‌ریخت‌شناسی حاضر و از سرکار خانم باقری در GIS Ready کردن آن، تشکر و قدردانی شود.



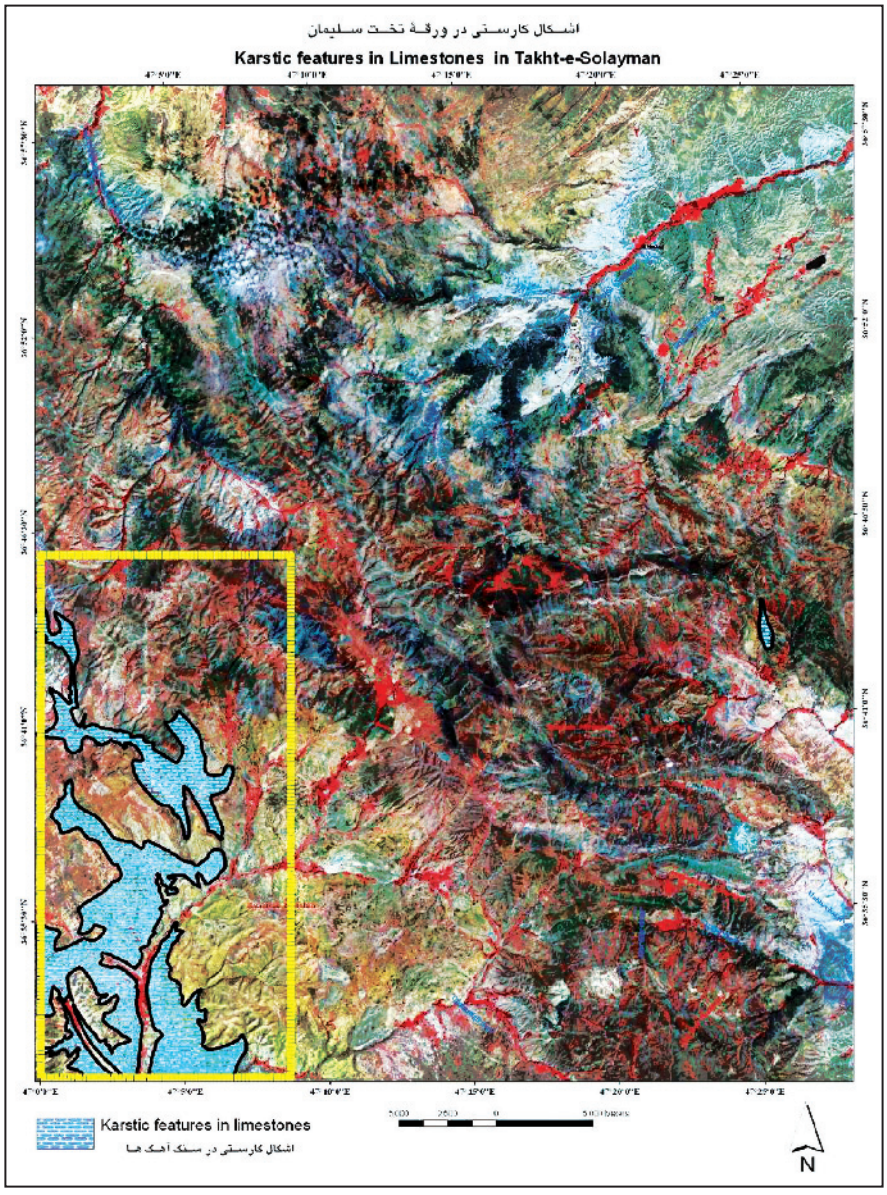

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ورقهٔ تخت‌سلیمان، تصویر ماهواره‌ای $ETM^{+}$



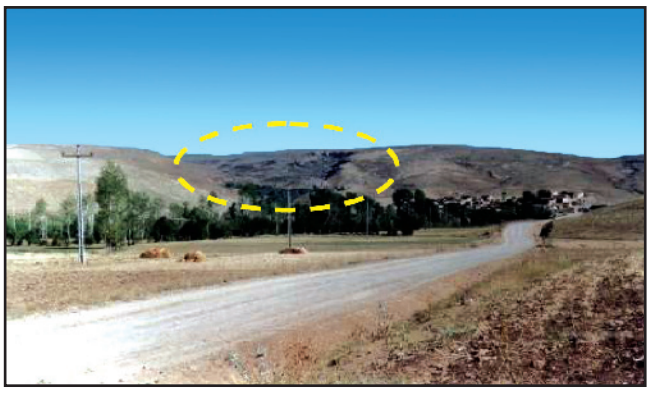

شکل ۲- نقشهٔ زمین‌شناسی خلاصه شده ورقهٔ تخت‌سلیمان




شکل ۳- A) نمایش محدودهٔ بدلند یا هزار دره بر روی نقشهٔ زمین‌شناسی B) نمایش محدوده بدلند بر روی تصویر ماهواره‌ای ASTER C) بدلند، شمال روستای پری در رسوبات نئوژن، دید به سمت شمال خاور

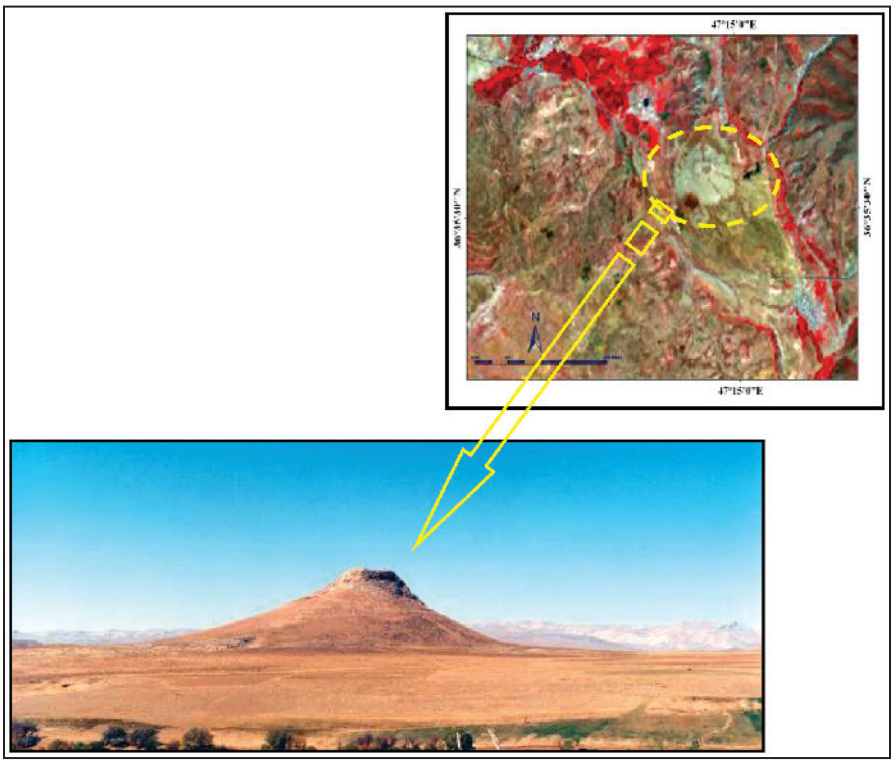



شکل ۴- گسترش شکل‌های کارستی در تصویر ماهواره‌ای ASTER ، با ترکیب باندی ۱، ۲، ۳

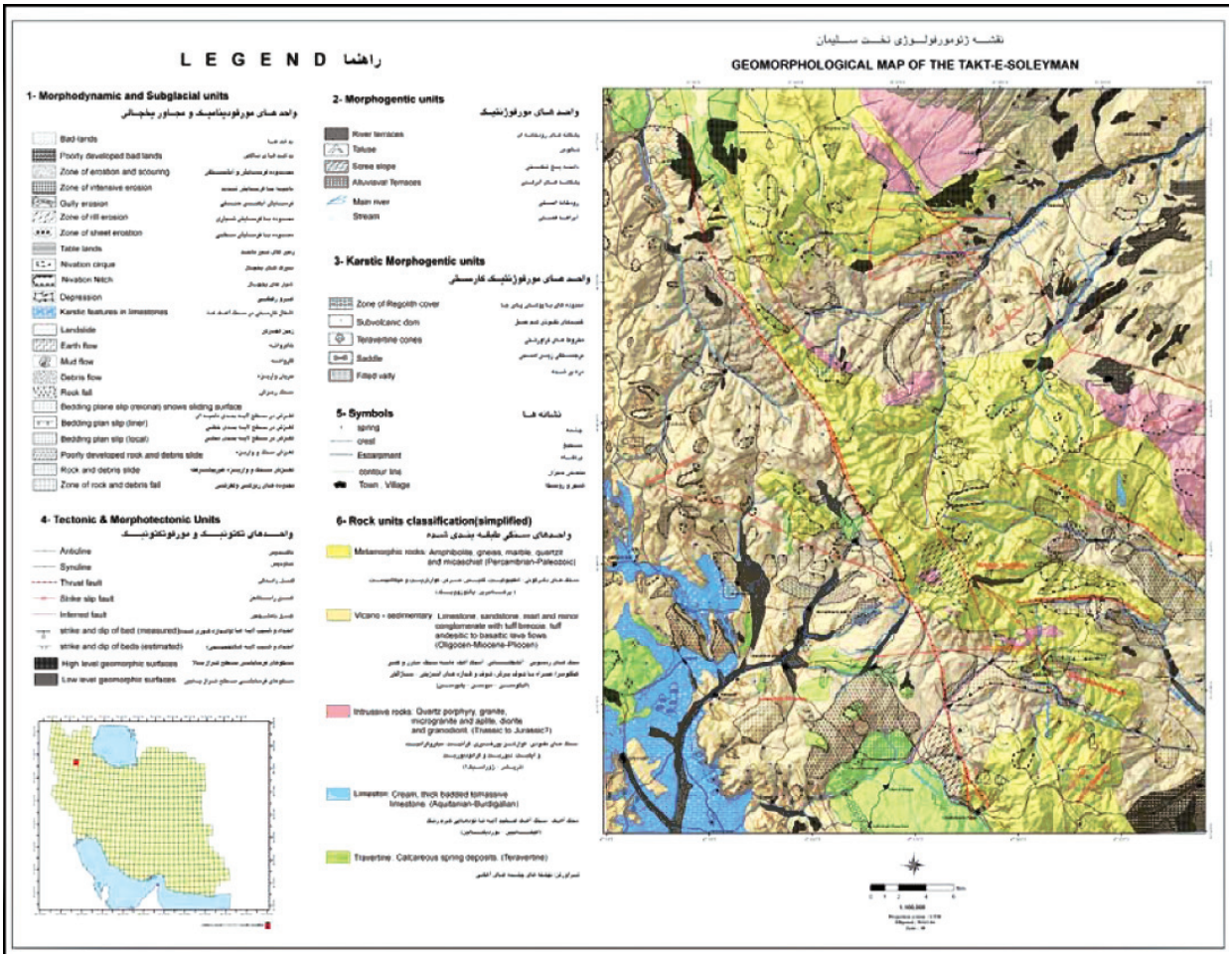


شکل ۵- سنگ افت، در باختر روستای نبی کندی، دید به سمت شمال باختر

شکل ۶- نمایی از توده‌های نفوذی کم ژرفا




شکل ۷ – مخروط تراورتنی زندان تخت سلیمان در تصویر ماهواره‌ای ASTER و نمایی از این مخروط عظیم در منطقه




شکل ۸ – نقشهٔ ژئومورفولوژی ورقه تخت‌سلیمان با دقت ۱:۱۰۰,۰۰۰

شکل ۹ - بخش‌هایی از راهنمای نقشه ژئومورفولوژی ورقه تخت‌سلیمان

**References**


Alavi Naeeni, M., 1985 - Chemical Exploration in Zarshoran of Takht-e-Solayman- Geological Survey of Iran.

Babakhani, A. R. & Ghalamghash, J., 1990- Geological map of Takht-e-Soleyman, 1:100.000 . Geological Survey of Iran, Tehran.

Bellinger, G., Castro, D. & Mills, A., 2004- Data, Information, Knowledge, and Wisdom, Available http://www.system-thinking.org/ dikw/ dikw.htm

Cook, R. U. and Doornkamp, J. C., 1998 - Geomorphology in Environment Management, V. 1, translated by Shapur Gudarzinejad, SAMT Publishing House, P 9.

Develop Earth Science Company, 1997- Chemical Systematic Exploration report in Takht-e-Solayman- Geological Survey of Iran.

Ghorbani, M., 2000- Petrological study of Cenozoic–Quaternary magmatic rocks and metallogeny of Takab area. Ph.D. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran.

Hashemi, A., 2001- Process and interpretation Air born Geophysics data by using Magnetometer method report in Takab- Geological Survey of Iran.

Madani Givi, M., 2002- Remote sensing indagates for recognize of mineral potential in Takab- Geological Survey of Iran.

Maksud Kamal, A. & Midorikawa, S., 2004- GIS-based geomorphological mapping using remote sensing data and supplementary geoinformation A case study of the Dhaka city area, Bangladesh, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation- ELSEVIER- 6 , 111–125.

Mashkani, A., Karimi, A., Mehri, B., Rahmani, Sh., Mokhtari, A., Gholipour, M., Sepehrirad, R. & Ghauori, N., 2005- Visiting report of Ore Deposit of Zarshoran, Angouran and Aghdareh- Geological Survey of Iran.

Moghimi, E., Mansourian, A. & Zareinejad, M., 2008- Utilization of distributed architecture based on Internet GIS for management of Iran's Geomorphologic and Environmental data: A Case Study of Damavand Volcano, American Journal of Applied Sciences 5(10): 1300-1307.

Mokhtari, A., 2005- Visiting report of Gold and Arsenic Ore Deposit of Zarshoran- Geological Survey of Iran.

Momenzadeh, M. & Rashidnejad, N., 1988- Indagation mine's facilities report in Iran, Geological Survey of Iran.

Motamed, A. & Moghimi, E., 1999- Application of Geomorphology in Planning, Tehran, SAMT Publishing House, P. 32.

Qimiya Ghalam, J., 1986- Geophisical Exploration of Antimoan in Dashkasan of Ghorveh- Geological Survey of Iran.

Ralf, R., 1997 - Program of Exploration agendum in Takab, Geological Survey of Iran.

Ramesht, M., 2004- Geomorphology Maps, Tehran, SAMT Publishing House, P.14.d Beheshti University, Tehran.