

# بررسی تأثیر زمین‌ریخت‌شناسی بر روی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌های آبرفتی شهر مشهد

اعظم قزی<sup>۱</sup>، ناصر حافظی مقدس<sup>۲</sup>، حسین صادقی<sup>۳</sup>، محمد غنوری<sup>۲</sup>، غلامرضا لشکری پور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین‌شناسی، مشهد، ایران

<sup>۲</sup> استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین‌شناسی، مشهد، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین‌شناسی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۱

## چکیده

در این مطالعه زمین‌ریخت‌شناسی مهندسی محدوده شهر مشهد براساس مطالعه عکس‌های هوایی، اطلاعات ۱۸۰ چاه پمپاژ آب آشامیدنی و نیز اطلاعات ۱۵۰۰ گمانه ژئوتکنیکی در سطح شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفته است. براساس داده‌های یاد شده، شهر مشهد به ۷ پهنه زمین‌ریخت‌شناسی شامل رخنمون سنگی، کوه‌پایه، مخروط افکنه رودخانه گلستان، مخروط افکنه رودخانه‌های جنوبی، مخروط افکنه رودخانه طرق، دشت هموار و آبرفت‌های جوان تقسیم شده است. بر اساس اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی و ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی حاکم بر هر محیط تا ژرفای ۱۰ متری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بافت خاک غالب در پهنه کوه‌پایه‌ای و مخروط افکنه‌های جنوبی شنی بوده و در پهنه مخروط افکنه گلستان ماسه و شن غالب هستند در حالی که پهنه مخروط افکنه طرق و دشت هموار، خاک‌های ماسه‌ای و رسی بافت غالب را تشکیل می‌دهند. نتایج آزمون عدد نفوذ استاندارد حاکی از مقاومت بیشتر خاک‌های پهنه کوه‌پایه‌ای است. از جمله ویژگی‌های مهم تأثیر پذیر از فرایندهای زمین‌ریخت‌شناسی، نوع کانی رسی غالب می‌باشد. در این مطالعه شناسایی کانی رسی بر مبنای نمودار فعالیت انجام گرفت. در واحد کوه‌پایه، اسمکتیت کانی رسی غالب بوده و در دشت هموار، کانولینیت غالب است.

**کلیدواژه‌ها:** زمین‌ریخت‌شناسی، ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی، پهنه‌بندی، کانی‌های رسی، مشهد

\*نویسنده مسئول: اعظم قزی

E-mail: azam.ghazi@stu-mail.um.ac.ir

## ۱- پیش‌گفتار

ایران را مطالعه نمود و واحدهای ریخت‌شناسی مختلف را بر اساس ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی و اندازه رسوبات تفکیک نمود. چنین مطالعاتی برای درک خاک و فرایندهای زمین‌ریختی بسیار مهم است.

وحیدی و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر زمین‌ریخت‌شناسی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مینرالوژیکی خاک‌های جنوب شهرستان اهر را مورد بررسی قرار دادند. (2011) Truong et al. ویژگی‌های رخساره‌های رسوبی مختلف دلتای رودخانه Mekong را بررسی نمودند، ویژگی‌های ژئوتکنیکی آنها را تعیین و تأثیر محیط رسوبی بر روی ویژگی‌های ژئوتکنیکی را مورد ارزیابی قرار دادند.

کاربری‌های مختلف شهری، آرایش طبیعی آبراه‌ها را تغییر داده و یکی از مسائل اساسی مخاطره‌آمیز در شهر را به وجود خواهد آورد. بسیاری از فعالیت‌های انسانی در تشدید طغیان‌ها و خسارات وارده دخالت دارند (مقیمی و صفاری، ۱۳۸۹). هدف از مطالعه حاضر، ابتدا تفکیک واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی در محدوده شهر مشهد و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌های منطقه به تفکیک واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی است.

## ۲- موقعیت منطقه مطالعاتی

شهر مشهد در دامنه جنوبی ارتفاعات بینالود، در موقعیت زمین‌دorz پالئوتتیس و بر روی نهشته‌های آبرفتی قرار گرفته است. رسوبات یاد شده متأثر از فرایندهای رسوب‌گذاری و سنگ مادرهای متفاوت می‌باشد. قرارگیری شهر در دامنه رشته کوه‌های بینالود با نرخ فرایش ۲/۴ میلی‌متر در سال، وجود ۳ گسل فعال کوتاه‌تری احاطه‌کننده شهر، وجود رخنمون‌های سنگی متفاوت در حاشیه جنوبی و جنوب باختری شهر، رودخانه‌های سرچشمه گرفته از ارتفاعات جنوبی و باختری و همچنین عبور رودخانه کشف‌رود از حاشیه شمال خاور شهر، همگی بر روی جنس رسوبات و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن تأثیر گذار هستند.

یکی از اهداف بررسی‌های زمین‌شناسی شهری، شناخت ویژگی‌های رسوبات طبیعی و سنگ‌های منطقه برای طرح‌های توسعه شهری است. در راستای توسعه صنعتی و ساختمان‌سازی‌های بلندمرتبه، به‌روز کردن اطلاعات زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی و توپوگرافی منطقه، لازم به نظر می‌رسد. مناطق شهری عموماً در مناطق پست و آبرفتی توسعه می‌یابند از طرفی زمین‌ریخت‌شناسی تأثیر زیادی بر روی ویژگی‌های خاک‌ها دارد که در شاخه زمین‌ریخت‌شناسی مهندسی به آن پرداخته می‌شود. تهیه نقشه زمین‌ریخت‌شناسی با جزئیات مناسب از یک منطقه، اطلاعات با ارزشی را برای طراحی، ساخت و اجرای سازه‌ها در اختیار قرار می‌دهد. مسائل و مشکلات ژئوتکنیکی غالباً آمیخته با محیط زمین‌ریختی و فیزیوگرافی یک ناحیه است. زمانی که طراحی و اجرای سازه‌ها بر مبنای اطلاعات زمین‌شناسی محدود از منطقه باشد، مشکلات متعددی رخ خواهد داد و هزینه عملیات افزایش می‌یابد. به این منظور بایستی مطالعات دقیق‌تری برای شناسایی ساختگاه مورد نظر انجام گیرد. تهیه مدل محیط زمین‌شناسی کمک بسیاری در درک شرایط زمین‌شناسی، پیش‌بینی مشکلات بالقوه و برآورد واقعی از ویژگی‌های مواد خواهد نمود. تلاش‌های زیادی تاکنون برای بررسی ارتباط زمین‌ریخت‌شناسی و ویژگی‌های مهندسی واحدهای زمین‌شناسی صورت گرفته است که از جمله آنها به مطالعات (1993) Mollah, (2003) Delgado et al., امیری نژاد و باقرنژاد (۱۳۷۶) می‌توان اشاره نمود.

گروهی از پژوهشگران تأثیر زمین‌ریخت‌شناسی بر روی تکامل خاک‌ها را مورد بررسی قرار دارند، وحیدی و همکاران (۱۳۹۰) میزان فراوانی کانی‌های رسی را در طول پروفیل‌های توپوگرافی مختلف مورد بررسی قرار دادند. (2003) Khormali & Abtahi و (2002) Salehi et al. نوع کانی رسی غالب در محیط‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. (2012) Farpoor et al. ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی، کانی‌شناسی رسی و ریزریخت‌شناسی خاک‌ها را در ارتباط با موقعیت‌های زمین‌ریختی در دشت سیرجان بررسی نمودند. (1970) Krinsley پلاپای

### ۳- مواد و روش‌ها

پارامترهای توپوگرافیکی و مدل رقومی ارتفاعی زمین اطلاعات با ارزشی را در مورد ویژگی‌های سطحی زمین فراهم می‌کنند. استفاده از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی، امکان مدل‌سازی فضایی فرم و فرایندهای زمین‌ریخت‌شناسی را فراهم می‌آورد. به طوری که مدل رقومی ارتفاعی زمین در شناخت و درک فرایندهای شکل‌دهنده زمین بسیار مؤثر است. از جمله پارامترهای توپوگرافیکی مهم در مدل‌سازی فضایی می‌توان به ارتفاع، شیب دامنه و جهت دامنه اشاره نمود (کرم، ۱۳۸۸). مطالعات سنجش از دور، از مطالعه عکس‌های هوایی تا تصاویر ماهواره‌ای ابزار قدرتمندی در بررسی‌های زمین‌ریخت‌شناسی است. سنجش از دور قادر به تهیه اطلاعاتی در مورد موقعیت و توزیع عارضه‌های زمین‌ریختی، و ویژگی‌های ارتفاعی می‌باشد. (Yousif (1987) از تکنیک‌های سنجش از دور و تفسیر عکس‌های هوایی در بررسی تأثیر نوزمین‌ساخت بر روی توسعه زمین‌ریختی ناحیه Waipara استفاده نمود. طبقه‌بندی اشکال زمین‌ریخت‌شناسی به طور سنتی از طریق بررسی‌های میدانی و یا با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی انجام می‌شود. در مطالعه حاضر، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۵۴ شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفتند. از طرفی گسترش شهر در سال ۱۳۵۴ حدود ۷۸ کیلومتر مربع (یک سوم گسترش کنونی شهر) بوده است (دولتی، ۱۳۸۹) و تفکیک واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی در مناطقی که توسط شهر پوشیده شده است با استفاده از عکس‌های هوایی امکان‌پذیر نیست. از این رو، از اطلاعات بافت خاک و مدل رقومی ارتفاعی به این منظور استفاده شده است.

برای بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی پهنه‌های زمین‌ریخت‌شناسی، بانک اطلاعاتی شامل ۱۵۰۰ گمانه برگرفته از بانک داده شرکت زمین فیزیک پویا مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور اطلاعات فیزیکی و مکانیکی شامل وزن مخصوص، رطوبت، چگالی ویژه، حدود آتربرگ، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی تا ژرفای ۱۰ متری بررسی شدند.

### ۴- نتایج و بحث

#### ۴-۱. مطالعات توپوگرافیک

شهر مشهد دارای گستره‌ای برابر با ۳۲۰ کیلومتر مربع است و بیشینه ارتفاع منطقه شهری در پهنه کوهستانی ۱۳۸۰ متر و کمینه ارتفاع در پهنه دشت ۹۲۰ متر می‌باشد. شیب عمومی منطقه شهری به سمت شمال خاور است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیش از ۹۰ درصد شهر مشهد در کلاس ارتفاعی کمتر از ۱۱۰۰ متر قرار می‌گیرند و رقم‌های بالاتر درصد ناچیزی از شهر را به خود اختصاص داده‌اند. از نقطه نظر شیب، حدود ۶۵ درصد شهر دارای شیب ۰-۱ و ۱-۲ درصد هستند، ۱۹ درصد در کلاس ۲-۴ درصد قرار دارند و درصد کمی از محدوده شهری در کلاس‌های شیبی بالاتر قرار گرفته‌اند (شکل ۲).

#### ۴-۲. تفکیک واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی

بر اساس مطالعه تصاویر هوایی و گمانه‌های ژرف آب آشامیدنی موجود در شهر، ۵ واحد زمین‌ریخت‌شناسی کوهستان، کوهپایه‌ای، مخروط‌افکنه‌های آبرفتی و دشت هموار و آبرفت‌های جوان در محدوده شهر مشهد مشخص شد. قابل ذکر است که واحد مخروط‌افکنه‌ها بر مبنای زهکش اصلی به ۳ پهنه تفکیک شدند. در ابتدا چاه‌های بهره‌برداری با ژرفای حدود ۲۵۰ متر بررسی شدند و نوع خاک در پروفیل این چاه‌ها با توجه به سیستم یونیفاید تعیین گردید. در مورد خاک‌های ریزدانه به دلیل موجود نبودن اطلاعات حدود آتربرگ تنها به ریزدانه بودن خاک بسنده شد. در مرحله بعد پروفیل‌های شاخص با توجه به نوع و سبزی خاک مشخص شدند. تمامی گمانه‌ها بر اساس این پروفیل‌ها دسته‌بندی شده و در نهایت با توجه به توزیع این پروفیل‌ها و با کمک عکس‌های هوایی، واحدهای رسوب‌گذاری تعیین گردیدند. در شکل ۳ نقشه واحدهای رسوب‌گذاری نشان داده شده است. در ادامه اختصاصات

هر یک از واحدها به جز واحد آبرفت‌های جوان به سبب نبود اطلاعات ژئوتکنیکی بیان شده است.

— **واحد کوهستان:** واحد کوهستانی جنوب شهر جزئی از رشته کوه بینالود می‌باشد. بخش کوهستانی محدوده شهری، محدوده ارتفاعی از ۱۳۰۳ متری در محدوده رخنمون‌های کوهسنگی تا ۱۳۸۰ متری در بخش جنوب باختری شهر و شیبی بیش از ۲۵ درصد دارد. در سال‌های اخیر ساخت وسازهایی بر روی این واحد صورت گرفته و ضمن تخریب سیمای زمین‌ریخت‌شناسی منطقه، باعث رخداد لغزش‌های متعدد همراه با خسارات مالی شده است. از آن جمله می‌توان به لغزش سال ۱۳۸۵ در پی یک باران شدید اشاره نمود (حافظی مقدس و قزی، ۱۳۸۶).

رخنمون‌های سنگی منطقه شامل توده‌های سنگی گرانودیوریت، اولترابازیک و دگرگونی (اسلیت، فیلیت و شیست) هستند. سنگ‌های آذرین بسته به اینکه اسیدی باشند یا بازیک، در تصاویر هوایی با تن متفاوت مشاهده می‌شوند به طوری که سنگ‌های اسیدی با تن روشن و سنگ‌های بازیک با تن تیره مشخص می‌شوند. اما رخنمون‌های دگرگونی در تصاویر ماهواره‌ای و هوایی دارای نشانه شاخصی نیستند. در شکل ۴ رخنمون گرانودیوریتی کوهسنگی با تن روشن و سیمای هوازگی پوسته پیازی مشاهده می‌شود. رخنمون اولترابازیک در شکل ۵ با تن تیره قابل تفکیک است. در قسمت جنوبی این تصوی تناوب اولترابازیک و شیست و فیلیت مشخص است.

— **واحد کوهپایه:** کوهپایه‌ها سطوح توسعه یافته در امتداد کوهستان هستند که ممکن است توسط لایه نازکی از رسوبات و یا سنگ هوازده پوشانده شده باشد (Cook et al., 1993). کوهپایه‌ها در واقع سطوح فرسایش یافته انتقالی بین کوهستان و دشت آبرفتی هستند و در اثر عوامل مختلف زمین‌ساختی، آب و هوایی، سنگ‌شناسی و ساختاری تشکیل می‌شوند. از نقطه نظر شیب، کوهپایه‌ها شیب طولی بین ۱۱ تا ۵/۵ درجه دارند (Tator, 1952; Cooke & Mason, 1973) و نقش قابل توجهی را در ساختار پدیده‌های زمین‌ریختی نواحی خشک و نیمه خشک بازی می‌کنند (Ufimtsev, 2010). البته گروهی نیز معتقدند که کوهپایه‌ها مختص منطقه آب و هوایی خاصی نیستند و گسترده‌ترین عارضه طبیعی روی زمین هستند (King, 1949; Whitaker, 1979). بالاآمدگی رشته کوه‌های بینالود و همچنین گسل جنوب مشهد در گسترش کوهپایه‌ها در پای رخنمون‌های جنوبی نقش بسزایی داشته‌اند (شکل ۶).

— **واحد مخروط‌افکنه:** به اشکال نیمه‌مخروطی در امتداد کوهپایه، مخروط‌افکنه‌های آبرفتی کوهستان گفته می‌شود. (Blissenbach (1954) مخروط‌های آبرفتی مناطق نیمه‌خشک را به سه گروه پرشیب (<۵)، ملایم (۲-۵) و مسطح (>۲) تقسیم‌بندی نمود. فرایندهای ته‌نشینی، ریخت‌شناسی، ریخت‌سنجی و توسعه مخروط‌افکنه‌ها توسط فاکتورهای بسیاری کنترل می‌شوند که از آن جمله می‌توان به فعالیت‌های زمین‌ساختی، آب و هوایی، سنگ‌شناختی، تغییرات سطح اساس و ویژگی‌های ریخت‌سنجی حوضه‌ها اشاره نمود (Whipple & Trayler, 1996; Li et al., 1999; Crosta & Frattini, 2004; Harvey, 2005; Goswami et al., 2009; Harvey, 2012; Waters et al., 2010; Pepin et al., 2010; Salcher et al., 2010; Bahrami, 2013). تأثیر زمین‌ساخت بر روی تشکیل و تخریب رسوبات مخروط‌افکنه‌ای توسط پژوهشگران زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. (Harvey (2005) بیان نمود که زمین‌ریخت‌شناسی مخروط‌افکنه متأثر از اثر متقابل زمین‌ساخت، اقلیم کوتاه‌تری و تغییرات سطح اساس است. ایجاد و توسعه فضای رسوب‌گذاری مخروط‌افکنه‌ها ارتباط نزدیکی با بالاآمدگی منطقه منشأ رسوبات دارد. در نواحی فعال زمین‌ساختی، مناطقی که نسبت به حوضه مجاور در حال فرایش است، مخروط‌افکنه‌ها سبب تجمع عمودی رسوبات و فضای انباشتگی عمودی زیادی می‌شود (Ferrill et al., 1996; Harvey, 2012).

همکاران، ۱۳۸۶). از طرفی هر چه اندازه دانه‌ها در مخروط افکنه بزرگ‌تر باشد، شیب آن بیشتر است.

نیمرخ عرضی مخروط افکنه‌ها محدب می‌باشد، این تحدب در بالادست مخروط افکنه‌ها بارزتر است. نیمرخ عرضی مخروط افکنه رودخانه گلستان، شکل نامتقارن و متمایل به باختر دارد. در برخی از نیمرخ‌های مخروط افکنه‌های جنوبی نیز این حالت مشاهده می‌شود. یکی از دلایل تمایل نیمرخ‌های مخروط افکنه گلستان به یک سمت، عملکرد گسل جنوب مشهد است.

– **دشت آبرفتی:** دشت آبرفتی هموار از دو قسمت دشت سیلابی رودخانه کشف رود و بخش انتهایی مخروط افکنه‌های یاد شده تشکیل شده است. این پهنه کم‌ارتفاع‌ترین واحد محدوده شهری بوده و دارای ارتفاعی بین ۹۲۰ تا ۱۰۱۰ متر می‌باشد. میزان شیب سطح زمین در این پهنه کمتر از ۲ درصد است. در حدود ۲۵ درصد از مساحت شهر شامل بخش‌های مرکزی و شمال خاوری در این بخش قرار می‌گیرند.

در بخش انتهایی مخروط افکنه‌ها اندازه ذرات کاهش می‌یابد، به طوری که اندازه ذرات در این قسمت در حد سیلت و رس است. دشت سیلابی رودخانه کشف رود در شمال خاور شهر مشهد نیز دارای ترکیب ریزدانه با میزان رس بالا می‌باشد. به طور کلی اندازه ذرات تشکیل دهنده دشت سیلابی رودخانه و بخش انتهایی مخروط افکنه در حد ماسه ریز، سیلت و رس بوده و از ذرات معلق در آب تشکیل شده‌اند.

#### ۴-۳. ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی

بانک اطلاعات ژئوتکنیکی مورد بررسی شامل اطلاعات ۱۵۰۰ گمانه اکتشافی است. اطلاعات مستخرج از هر گمانه شامل وزن مخصوص طبیعی ( $\gamma$ )، وزن مخصوص خشک ( $\gamma_d$ )، درصد رطوبت ( $w$ )، چگالی ویژه ( $G_s$ )، حد روانی ( $LL$ )، شاخص خمیری ( $PI$ )، درصد ریزدانه ( $F$ )، فعالیت خاک ( $A$ ) و عدد نفوذ استاندارد ( $SPT$ ) و پارامترهای مقاومتی چسبندگی ( $C$ ) و زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) می‌باشد. به منظور تعیین ویژگی‌های زمین‌شناسی واحدهای اصلی زمین‌ریخت‌شناسی گمانه‌های مربوط به هر واحد تفکیک شده و تحلیل آماری بر روی آنها صورت گرفته است.

– **بافت خاک:** از جمله ویژگی‌هایی که در پهنه‌های زمین‌ریخت‌شناسی به طور آشکار تغییر می‌کند، بافت خاک است. انتظار می‌رود بافت خاک در بخش‌های نزدیک به کوهستان درشت‌دانه بوده و به سمت پایین‌دست از اندازه آنها کاسته شود. در شکل ۱۱ هیستوگرام فراوانی نوع خاک بر حسب درصد مربوط به هر یک از واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی نشان داده شده است. در بخش کوهپایه، همانطور که انتظار می‌رود خاک‌های شنی، چیره هستند و بقیه انواع خاک‌ها به صورت میان‌لایه قرار دارند. در پهنه مخروط افکنه گلستان ۵۴ درصد خاک‌ها ماسه‌ای و حدود ۳۰ درصد شنی بوده و درصد کمی از خاک‌های این پهنه سیلتی رسی می‌باشد. سطح غالب این پهنه توسط خاک‌های شنی و ماسه‌ای پوشیده شده است و تنها در بخش انتهایی مخروط افکنه جدید گلستان، در مسطح‌ترین بخش، در مرکز شهر، از خاک‌های ریزدانه تشکیل شده است.

مخروط افکنه طرق غالباً از تناوب میان‌لایه‌های ماسه و رس تشکیل شده است و به ندرت می‌توان گمانه‌ای را یافت که ستبرای لایه‌ها بیش از ۵ متر باشد. این مسئله نشان‌دهنده نبود شرایط باثبات در این پهنه است.

در پهنه مخروط افکنه‌های جنوبی خاک‌های شنی و سپس خاک‌های رسی بیشترین فراوانی را دارند. گسترش میان‌لایه‌های رسی در تمام پهنه مشاهده می‌گردد اما نیمرخ‌های با لایه‌های ستبرتر رس در نیمه خاوری این پهنه مشاهده شده که می‌تواند مرتبط با تکامل بیشتر خاک و نوع سنگ مادر باشد.

واحد دشت هموار غالباً از خاک‌های رسی و ماسه‌ای پوشیده شده است. بر اساس ستبرای خاک‌های ماسه‌ای و رسی می‌توان این واحد را به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم نمود. بخش جنوبی در مجاورت واحدهای مخروط افکنه‌ای بوده و ستبرای خاک‌های ماسه‌ای بیشتر می‌باشد. در حالی که در بخش شمالی و با دور

از نظر شکل و اندازه مخروط افکنه‌ها متأثر از اندازه زهکش اصلی هستند. به طوری که با افزایش اندازه زهکش، اندازه مخروط افکنه افزایش می‌یابد در حالی که شیب مخروط افکنه رابطه معکوس با مساحت مخروط افکنه و حوضه زهکش دارد. همچنین وسعت مخروط افکنه با ارتفاعی که از آن منشأ گرفته رابطه مستقیم دارد (Guzzetti et al., 1997).

بررسی تصاویر هوایی و ماهواره‌ای شهر مشهد نشان می‌دهد که قسمت اعظم شهر مشهد بر روی رسوبات مخروط افکنه‌ای قرار می‌گیرند. رسوبات مخروط افکنه‌ای شهر مشهد در اثر جریان‌های رودخانه‌ای رسوب نموده‌اند. این رسوبات دارای گرانروی (ویسکوزیته) کم بوده و توسط رودخانه‌هایی که از کوهستان سرازیر می‌شوند حمل شده و رسوب می‌نمایند.

مخروط افکنه‌های شهر مشهد را می‌توان به سه گروه مخروط افکنه‌های حاشیه جنوبی شهر، مخروط افکنه رودخانه گلستان و مخروط افکنه رودخانه طرق تقسیم‌بندی نمود. مخروط افکنه‌های حاشیه جنوبی شهر از ارتفاعات اولترامافیکی و دگرگونی سرچشمه می‌گیرند. این مخروط افکنه‌ها دارای ریخت‌شناسی نیم دایره‌ای با زاویه رأس به طور متوسط ۵۵ درجه هستند. مخروط افکنه‌های جنوب باختری دارای گسترش طولی حدود ۱/۵ کیلومتر می‌باشد. در قسمت جنوبی به گسترش مخروط افکنه‌ها افزوده می‌گردد و به حدود ۲/۵ کیلومتر می‌رسند و در قسمت جنوب خاوری دارای گسترش طولی حدود ۳/۷ کیلومتر می‌باشند (شکل ۶).

در مخروط افکنه منطقه کوهسنگی مقادیر معتدلی گچ وجود دارد که آثار آن را به صورت انحلال موضعی در عکس‌های هوایی می‌توان مشاهده نمود (شکل ۷). در محدوده جنوب شهر مشهد و در محدوده تپه‌سلاطین ۳ نوع گرانیت مختلف و مارن‌های سرخ گچی می‌وسن وجود دارد که این گرانیت‌ها می‌توانند منشأ کانی رسی پالئوسکیت باشند. کربیمی و همکاران (۱۳۸۷) وجود رس و گچ در بخش جنوبی شهر مشهد را در نتیجه حمل محصولات هوازدگی نهشته‌های مارنی و گرانیت‌های جنوب مشهد توسط فرایندهای بادی می‌دانند.

مخروط افکنه رودخانه گلستان از ارتفاعات اسلیت و فیلیتی باختر شهر مشهد سرچشمه می‌گیرد و قسمت عظیمی از شهر بر روی رسوبات این مخروط افکنه قرار گرفته‌اند. رودخانه گلستان تحت تأثیر گسلش فعال قرار گرفته است و انحراف در مسیر رودخانه باعث بر جای گذاری نهشته‌های مخروط افکنه‌ای در راستای خاوری شده است. از این‌رو می‌توان رسوبات مخروط افکنه رودخانه گلستان را به دو قسمت قدیم و جدید تقسیم نمود. در شکل ۸ عملکرد گسل جنوب مشهد بر روی رودخانه گلستان مشاهده می‌شود. مخروط افکنه قدیمی دارای گسترش طولی و دارای ریخت‌شناسی نیم‌دایره‌ای با زاویه رأس ۵۰ درجه است که گسترش طولی آن ۷ کیلومتر است در صورتی که مخروط افکنه جدید دارای ریخت‌شناسی کشیده با زاویه رأس ۳۵ درجه و گسترش طولی ۱۳ کیلومتر می‌باشد.

در حدود ۲/۵ کیلومتر اول رودخانه گلستان سدهای طولی تشکیل شده که نشان از انرژی بالای رودخانه دارد. بعد از این فاصله با کاهش انرژی رودخانه، تغییر حالت رودخانه از بریده بریده به مانداری رخ داده است.

رودخانه طرق از ارتفاعات مافیکی جنوب خاوری سرچشمه گرفته و در ادامه مسیر خود مخروط افکنه‌ای با گسترش ۱۰ کیلومتر تشکیل داده است. این رودخانه از نوع مستقیم بوده و از رسوبات درشت دانه شنی و ماسه‌ای تشکیل شده است (شکل ۹). در شکل ۱۰ نیمرخ طولی مخروط افکنه‌های مورد بحث در امتداد شعاعی آنها ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نیمرخ سطح مخروط افکنه‌ها مقعر است. در مخروط افکنه رودخانه گلستان تفرع نیمرخ در بالادست مخروط افکنه به کمترین میزان می‌رسد. در حالیکه در مخروط افکنه طرق و مخروط افکنه‌های جنوبی تفرع تا بالادست مخروط افکنه ادامه می‌یابد. کاهش تفرع در بالادست مخروط افکنه نشانه‌ای از فعال بودن مخروط افکنه در این قسمت تحت تأثیر زمین‌ساخت است (مختاری و

ذکر است که بالاترین مقادیر وزن مخصوص در خاک‌های درشت دانه و ریزدانه مربوط به پهنه مخروط افکنه طرق است که علت آن را می‌توان در سنگ مادری این رسوبات جستجو نمود. به طور کلی خاک‌های ریز دانه دارای وزن مخصوص کمتری هستند. خاک‌های ریز دانه در پهنه مخروط افکنه‌های جنوبی کمترین وزن مخصوص خشک را دارند، خاک‌های رسی و سیلتی این محدوده به ترتیب دارای میانگین وزن مخصوص خشک ۱/۵۸ و ۱/۵۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند.

نوع و فراوانی کانی‌های رسی از جمله پارامترهایی هستند که ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی تأثیر زیادی بر روی آنها دارند. در شکل ۱۲ نمودار خمیری نشان داده شده است. در نمودار خمیری مربوط به پهنه کوهپایه مشاهده می‌شود که به‌رغم فراوانی کم، پراکندگی داده‌ها زیاد است. البته گفتنی است که بیشتر داده‌ها در امتداد خط A (حد پایینی محدوده خاک رسی) متمرکز شده‌اند. در این نمودار تعدادی از داده‌ها دارای حد روانی بیش از ۵۰ درصد و به عبارتی دارای خاصیت خمیری بالا هستند. در پهنه‌های مخروط افکنه‌ای، داده‌ها تقریباً در حدواسط خط A و U (حد بالایی خاک رسی) و البته متمایل به خط A قرار دارند و غالباً در گروه رسی واقع شده‌اند. در پهنه مخروط افکنه گلستان و طرق حد روانی داده‌ها غالباً کمتر از ۳۰ است، در حالیکه در مخروط افکنه‌های جنوبی چنین تمرکزی قابل مشاهده نیست. در پهنه مخروط افکنه‌های جنوبی پراکندگی کلی داده‌ها بیشتر است و ۲۵ درصد داده‌ها در زیر خط A قرار دارند. در این پهنه گاه نمونه‌هایی با خاصیت خمیری بالا مشاهده می‌شود. در نمودار خمیری پهنه دشت هموار مشاهده می‌شود که به جز تعداد معدودی، داده‌ها از نوع رسی بوده و دارای حد روانی کمتر از ۳۰ می‌باشند.

در این مطالعه برای تعیین نوع کانی رسی غالب از نمودار فعالیت خاک استفاده شد. این نمودار برای هر یک از پهنه‌های زمین‌ریخت‌شناسی به طور جداگانه رسم شد و در شکل ۱۳ قابل مشاهده است. بر اساس این نمودار و خطوط فعالیت ۱/۵، ۰/۹ و ۰/۳۸، نوع کانی رسی در ۳ گروه کائولینیت، ایلیت و اسمکتیت دسته‌بندی می‌شوند. کانی رسی اسمکتیت در پهنه کوهپایه و مخروط افکنه‌های جنوبی و به میزان کم در مخروط افکنه گلستان قابل مشاهده است. این مسئله آشکارا اثر زمین‌ریخت‌شناسی و رقوم ارتفاعی بر نوع کانی رسی را نشان می‌دهد. در حالی که در دو پهنه مخروط افکنه طرق و دشت هموار، کانی رسی غالب، کانی کائولینیت است. با این تفاسیر می‌توان انتظار داشت که دامنه خمیری در پهنه‌های مرتفع‌تر بیشتر باشد و این موضوع در جدول ۱ قابل تأیید است، و در پهنه کوهپایه‌ای، دامنه خمیری بیشتر از بقیه پهنه‌ها می‌باشد.

کانی اسمکتیت در اقلیم خشک در اثر تشکیل درجا و نوتشکیلی و در منطقه نیمه مرطوب از هوازدگی میکا به وجود می‌آید (امینی جهرمی و همکاران، ۱۳۸۷). بارندگی و دما از فاکتورهای مؤثر بر تشکیل خاک بوده و گونه رسی نیز تحت تأثیر اقلیم هستند. معمولاً رسی اسمکتیت در اقلیم‌های خشک و کائولینیت در اقلیم‌های گرم و مرطوب‌تر یافت می‌شود (Hagh Nia, 1991). از این رو، در حاشیه ارتفاعات شهر مشهد اسمکتیت فراوانی بیشتری دارد، در حالی که در دشت، که منشأ رسوبات از نواحی مرطوب‌تر باختر و شمال باختر می‌باشد، کائولینیت فراوان‌تر است.

بررسی مقادیر چسبندگی در خاک‌های ریزدانه گویای آن است که کمترین مقدار چسبندگی مربوط به پهنه مخروط افکنه گلستان بوده و بیشترین مقادیر مربوط به پهنه کوهپایه می‌باشد. با توجه به اینکه خاصیت خمیری در این پهنه از سایر پهنه‌ها بیشتر است و همینطور به دلیل حضور کانی اسمکتیت در این پهنه، می‌توان نتیجه گرفت که چسبندگی خاک در این پهنه تابع نوع کانی رسی و خصوصیت زمین‌ریخت‌شناسی است.

زاویه اصطکاک داخلی در خاک‌های درشت دانه محدوده‌ای بین ۳۱ درجه در دشت هموار تا ۳۸ درجه در پهنه مخروط افکنه طرق دارد. از آنجا که زاویه اصطکاک داخلی در تمامی پهنه‌ها به غیر از پهنه مخروط افکنه طرق بسیار نزدیک

شدن از مخروط افکنه و نزدیک شدن به رودخانه کشف‌رود رسوبات رسی و سیلتی ستبرای بیشتری دارند.

– **مقاومت نفوذ استاندارد:** مقادیر N-SPT نشان‌دهنده میزان مقاومت خاک‌ها بوده و میزان سختی و سفتی خاک‌های غیرچسبنده و چسبنده را بیان می‌نماید. این آزمون به‌رغم سادگی از جمله آزمون‌های متداولی است که به منظور برآورد ویژگی‌های دینامیکی خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بررسی مقادیر SPT در سطح شهر حاکی از افزایش آنها با ژرفا است.

در واحد کوهپایه مقادیر عددی SPT به طور میانگین دارای محدوده‌ای بین ۳۷ در خاک‌های ماسه‌ای تا ۴۷ برای خاک‌های شنی می‌باشد. خاک‌های این پهنه را می‌توان جزو خاک‌های سخت و متراکم دسته‌بندی نمود. در پهنه مخروط افکنه گلستان محدوده‌ی عددی نفوذ استاندارد بیشتر است و از میانگین ۲۱ برای خاک‌های رسی و سیلتی با انحراف معیار ۹ تا ۴۰ برای خاک‌های شنی گسترده است. بر اساس طبقه‌بندی‌های ارائه شده برای تعیین میزان تراکم و سفتی خاک‌های درشت‌دانه و ریزدانه با توجه به مقادیر SPT (حافظی مقدس، ۱۳۹۰)، خاک‌های ریزدانه در این پهنه در گروه متوسط تا سخت و خاک‌های درشت دانه و غیرچسبنده در گروه متراکم دسته‌بندی می‌شوند. در پهنه مخروط افکنه طرق مقادیر عددی SPT نسبت به دو پهنه مخروط افکنه گلستان و مخروط افکنه‌های جنوبی کمتر است و محدوده عددی آن از ۱۶ در خاک‌های سیلتی تا ۳۴ در خاک‌های شنی متغیر است. در این پهنه نیز خاک‌های ریزدانه در گروه متوسط تا سفت و خاک‌های درشت دانه در گروه خاک‌های با تراکم متوسط و متراکم قرار دارند. مقادیر میانگین عدد SPT در خاک‌های رسی و ماسه‌ای پهنه مخروط افکنه‌های جنوبی افزایش پیدا کرده و در گروه خاک‌های با سفتی متوسط تا سفت و تراکم متوسط تا متراکم قرار دارند. وضعیت مقاومت نفوذ استاندارد در پهنه دشت هموار نیز مشابه پهنه‌های مخروط افکنه است به‌جز اینکه کاهش کوچکی در مقادیر عددی SPT در خاک‌های ماسه‌ای قابل مشاهده است. مقادیر میانگین و انحراف معیار اعداد SPT در جدول ۱ ارائه شده است.

– **ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی:** محدوده ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها به تفکیک جنس در پهنه‌های رسوب‌گذاری متفاوت در جدول ۱ نشان داده شده است. از آنجا که تراکم آبراهه‌ها در مناطق مرتفع‌تر جنوبی بیشتر است و همچنین میزان تبخیر در این مناطق کمتر است، در صد رطوبت در این مناطق بیشتر می‌باشد. افزون بر ریخت‌شناسی، میزان رطوبت تابعی از نوع خاک است. به طوری که خاک‌های ریزدانه زمان ماندگاری رطوبت بیشتری نسبت به خاک‌های درشت دانه دارند. همان طور که در جدول ۱ ارائه شده است، درصد رطوبت خاک‌های درشت‌دانه در دو پهنه کوهپایه و مخروط افکنه‌های جنوبی بیشتر از سایر پهنه‌ها می‌باشد. در حالیکه میزان رطوبت در خاک‌های ریزدانه به ویژه در دو دشت هموار و مخروط افکنه طرق که در بخش خروجی حوضه واقع شدند، بیشتر می‌باشد. به طور کلی در مطالعه حاضر، مقادیر درصد رطوبت در خاک‌های درشت دانه شنی و ماسه‌ای در تمامی پهنه‌ها نسبت به خاک‌های ریز دانه از میانگین کمتری برخوردار هستند و پهنه کوهپایه و مخروط افکنه‌های جنوبی مقادیر رطوبت خاک‌های درشت‌دانه نسبت به دیگر پهنه‌ها بیشتر است.

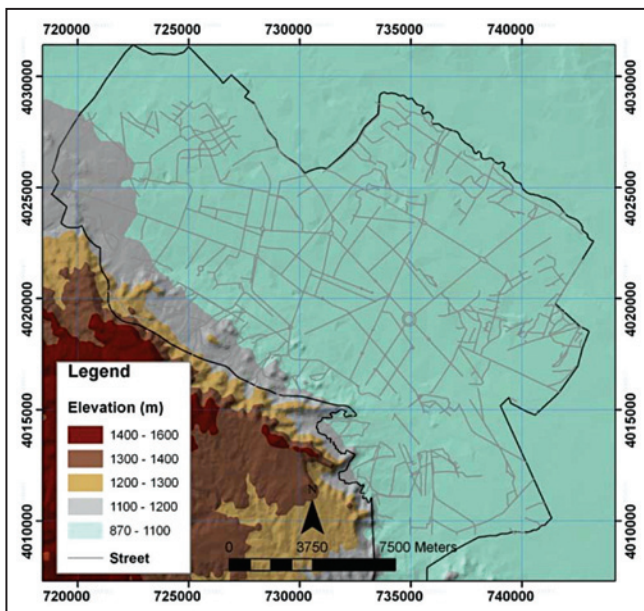
وزن مخصوص خشک خاک تابعی از نوع خاک می‌باشد، به طوری که خاک‌های ریزدانه دارای وزن مخصوص خشک کمتری نسبت به خاک‌های درشت دانه است. این مطلب در جدول ۱ و در تمامی پهنه‌ها آشکارا قابل مشاهده می‌باشد. بررسی وزن مخصوص طبیعی، خشک و چگالی ویژه پهنه‌ها نشان می‌دهد که خاک‌های سیلتی از میانگین کمتری برخوردار هستند. بررسی وزن مخصوص خاک‌های درشت‌دانه حاکی از تأثیر زمین‌ریخت‌شناسی بر روی آن است. به طوری که خاک‌های درشت‌دانه دو پهنه کوهپایه و مخروط افکنه‌های جنوبی، که در بخش‌های مرتفع‌تر واقع شده‌اند، دارای وزن مخصوص بالاتری هستند. قابل



می‌گردد. همان طور که در تمامی پهنه‌ها مشاهده می‌شود، تأثیر درصد ریزدانه بر روی زاویه اصطکاک داخلی به صورت معکوس است و با افزایش درصد ریزدانه میزان زاویه اصطکاک داخلی کاسته می‌شود. همبستگی بین این دو پارامتر در تمامی پهنه‌ها در حد متوسط و به طور میانگین برابر با ۰/۵۵ می‌باشد.

## ۵- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر یک مدل ساده از محیط رسوبی حاکم در شهر مشهد را نشان می‌دهد. برای تهیه این مدل از تصاویر هوایی و پارامترهای توپوگرافیک و زمین‌ریخت‌شناسی و چاه‌های ژرف آب آشامیدنی استفاده شده است. بر اساس اطلاعات موجود، محدوده شهری به ۷ واحد کوهستانی، کوهپایه، مخروط افکنه‌های جنوبی، مخروط افکنه طرق، مخروط افکنه گلستان، دشت هموار و آبرفت‌های جوان تقسیم شدند. بررسی تأثیر عوامل محیط رسوبی بر روی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نشان می‌دهد که در واحد کوهپایه مقادیر عدد نفوذ استاندارد بیشتر از دیگر نقاط بوده، ضمن اینکه بافت خاک در این پهنه به طور غالب شنی می‌باشد. بررسی کانی‌های رسی منطقه با استفاده از نمودار فعالیت نشان‌دهنده حضور کانی اسمکتیت در پهنه کوهپایه‌ای، مخروط افکنه‌های جنوبی و مخروط افکنه گلستان می‌باشد. کانی اسمکتیت در پهنه کوهپایه‌ای و کانی کائولینیت در پهنه دشت هموار غالب می‌باشند. کمترین مقدار چسبندگی مربوط به پهنه مخروط افکنه گلستان بوده و بیشترین مقادیر مربوط به پهنه کوهپایه می‌باشد که تأییدی بر تأثیر نوع کانی رسی می‌باشد که خود متأثر از محیط زمین‌ریخت‌شناسی است. بیشترین زاویه اصطکاک داخلی در پهنه مخروط افکنه طرق مشاهده می‌شود که گویای تأثیر سنگ مادری رسوبات است.



شکل ۱- نقشه ارتفاعی محدوده مطالعاتی.

به هم است، می‌توان اختلاف مقادیر عددی این پارامتر در پهنه مخروط افکنه طرق را به سنگ مادری مرتبط دانست. رودخانه طرق از لکو گرانیتهای جنوب مشهد سرچشمه می‌گیرد و می‌تواند دلیلی بر بالابودن پارامتر یاد شده باشد.

در مطالعه حاضر همبستگی میان پارامترها نیز بررسی شده است. نتایج همبستگی اسپیرمن در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌گردد، حد روانی همبستگی مثبتی با رطوبت طبیعی خاک‌ها دارد. این همبستگی در پهنه مخروط افکنه گلستان و طرق از سایر پهنه‌ها بیشتر بوده و کمترین همبستگی مربوط به پهنه مخروط افکنه‌های جنوبی است. همان گونه که گفته شد، قابلیت ماندگاری رطوبت در خاک‌های ریزدانه بیشتر از درشت‌دانه است و می‌توان همبستگی مثبتی را میان درصد ریزدانه و رطوبت مشاهده کرد. هر چه درصد ریزدانه بیشتر باشد، رطوبت طبیعی خاک نیز بیشتر است. همبستگی بین این دو ویژگی در پهنه مخروط افکنه گلستان بیشترین مقدار را دارد، در حالی که در پهنه کوهپایه از همبستگی حداقل برخوردارند. البته می‌توان همبستگی پایین در این محدوده را به حضور ناچیز خاک‌های ریزدانه و پراکندگی داده‌ها در این پهنه مرتبط دانست.

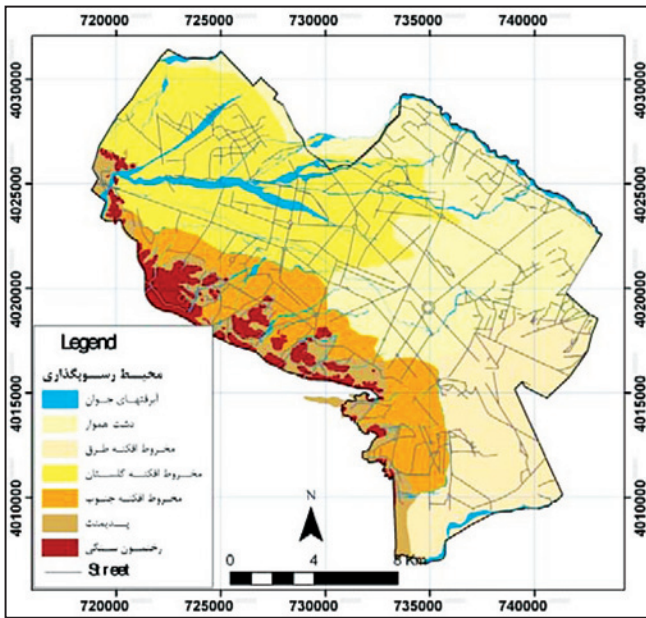
هر چه درصد ریزدانه در خاکی بیشتر باشد، وزن مخصوص آن خاک به‌ویژه وزن مخصوص خشک آن کمتر خواهد بود. همبستگی منفی بالایی میان این دو پارامتر در تمامی پهنه‌ها قابل مشاهده است. بالاترین همبستگی برابر با ۰/۸۱- مختص پهنه مخروط افکنه‌های جنوبی و پایین‌ترین همبستگی برابر با ۰/۴۵۳- مختص پهنه دشت هموار می‌باشد. همبستگی در دیگر پهنه‌ها به طور میانگین برابر با ۰/۶- می‌باشد.

ویژگی‌های خمیری و روانی خاک‌های ریزدانه تابعی از درصد ریزدانه و نوع کانی رسی است. بررسی میزان همبستگی بین این دو پارامتر، نشان‌دهنده همبستگی مثبت تقریباً بالایی در ۳ پهنه مخروط افکنه گلستان، طرق و دشت هموار است. در حالیکه دو پهنه مخروط افکنه‌های جنوبی و کوهپایه، همبستگی پایینی را بین این دو خصوصیت نشان می‌دهند. همان گونه که پیش‌تر نیز گفته شد، خاصیت خمیری کانی‌های رسی در این دو پهنه بالاست و می‌توان نتیجه گرفت که حضور کانی‌های رسی با خاصیت خمیری بالا عامل آن باشد.

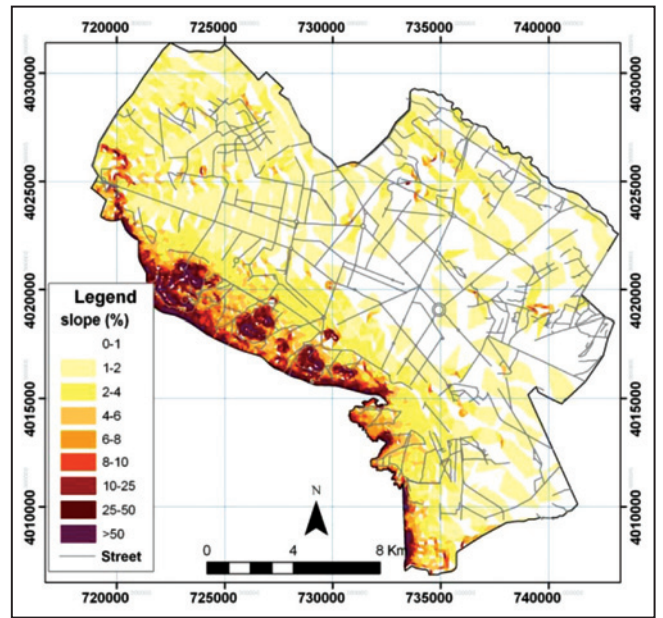
بر اساس تعریف، فعالیت خاک تابع مستقیم از PI و معکوس از درصد ذرات رسی است. این موضوع در جدول ۲ نیز برای تمامی پهنه‌ها قابل مشاهده است. البته مشاهده می‌شود که فعالیت خاک در کوهپایه‌ها با درصد ریزدانه همبستگی ضعیف منفی دارد، در حالیکه همبستگی نسبتاً بالایی با PI دارد. این موضوع را می‌توان اینگونه تفسیر نمود که حضور کانی‌های رسی متفاوت در این پهنه عامل همبستگی متفاوت باشد.

همبستگی بین پارامتر عدد نفوذ استاندارد و دیگر ویژگی‌ها نشان می‌دهد که به‌رغم تأثیر مثبت چگالی (دانسیته) خاک بر مقادیر عددی نفوذ استاندارد، اما به دلیل پراکندگی داده‌ها، همبستگی چندان قوی بین چگالی خشک خاک و عدد نفوذ استاندارد وجود دارد. به طور میانگین به جز پهنه کوهپایه، همبستگی مثبتی در حدود ۰/۳۴ بین این دو ویژگی حاکم است. همبستگی مثبت متوسطی میان عدد نفوذ استاندارد و فعالیت خاک در دو پهنه کوهپایه و مخروط افکنه‌های جنوبی وجود دارد، در حالیکه در سایر پهنه‌ها این همبستگی بسیار ضعیف است.

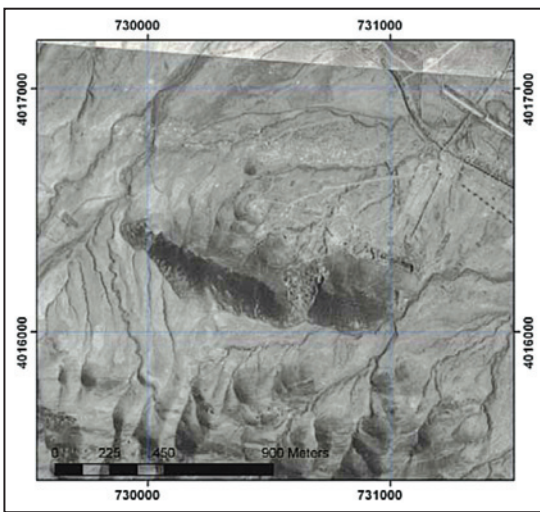
بین پارامترهای مقاومتی خاک‌ها و رطوبت همبستگی غالباً ضعیفی مشاهده می‌شود. این همبستگی رطوبت با چسبندگی به صورت مثبت می‌باشد، در حالی که با زاویه اصطکاک داخلی به صورت منفی همبسته می‌باشد. بین پارامترهای مقاومتی و رطوبت در پهنه مخروط افکنه طرق و دشت هموار همبستگی بهتری مشاهده



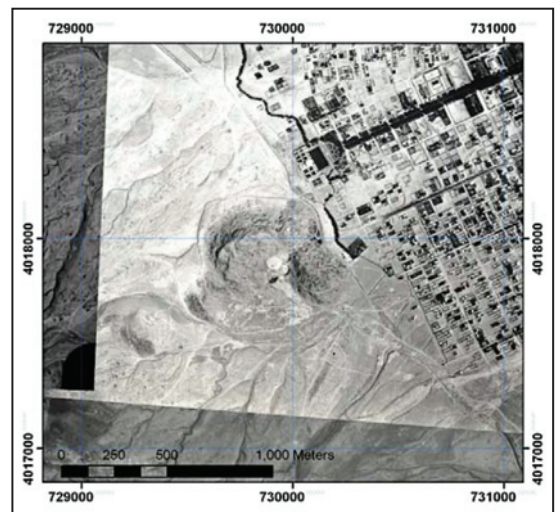
شکل ۳- نقشه محیط رسوبی شهر مشهد.



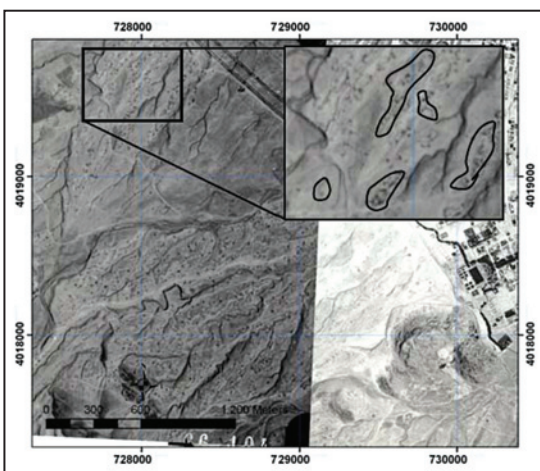
شکل ۲- نقشه شیب شهر مشهد.



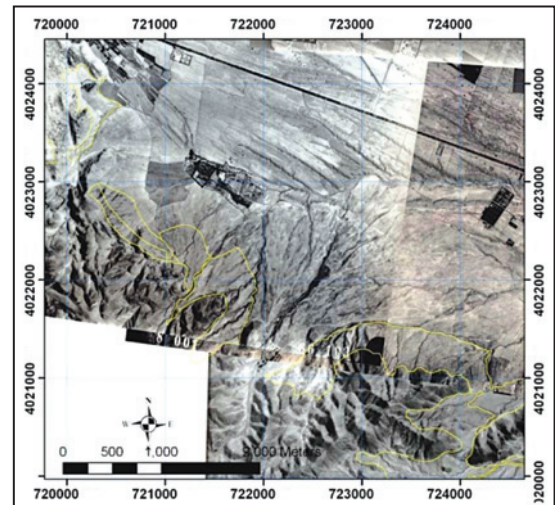
شکل ۵- رخنمون اولترابازیک منطقه پیروزی و واحدهای تفکیک نشده.



شکل ۴- رخنمون گرانوئیدی کوهسنگی.

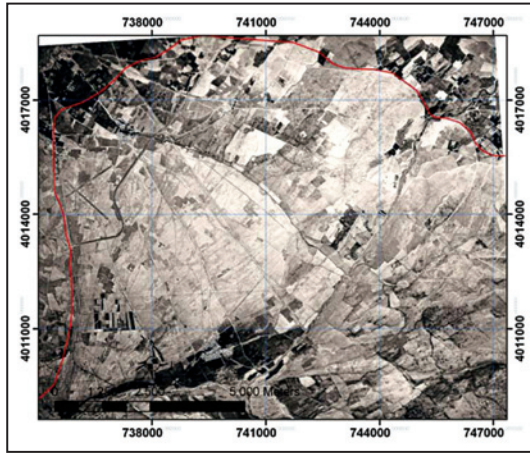


شکل ۷- مخروط افکنه منطقه کوهسنگی (در گوشه سمت راست تصویر بزرگ‌تر شده از حفرات انحلالی مشاهده می‌شود).

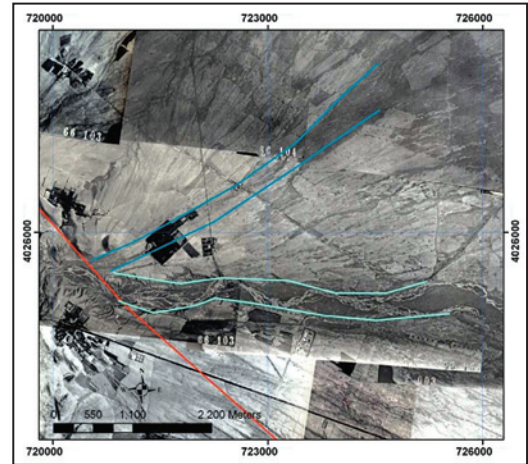


شکل ۶- کوهپایه‌های حاشیه جنوب باختری شهر (با رنگ زرد) و واحد مخروط افکنه‌ای در ادامه آن.

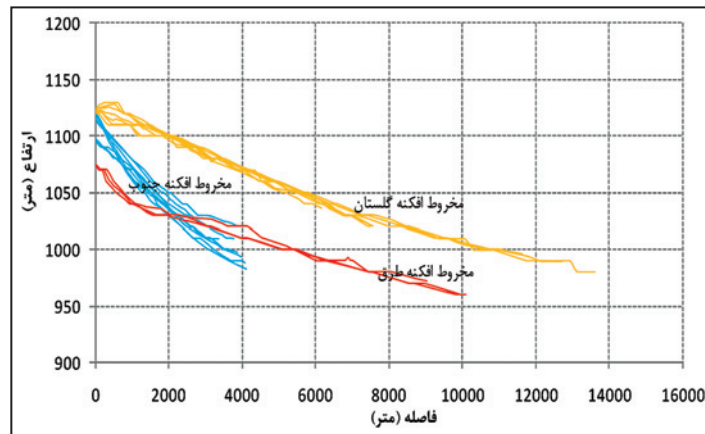




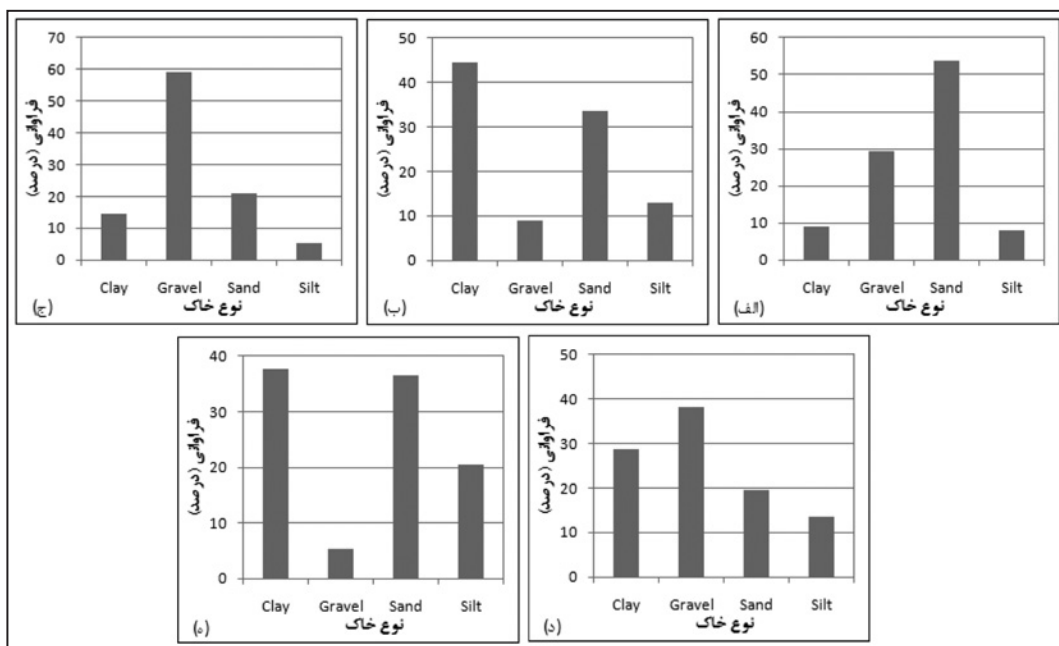
شکل ۹- مخروط افکنه رودخانه طرق.



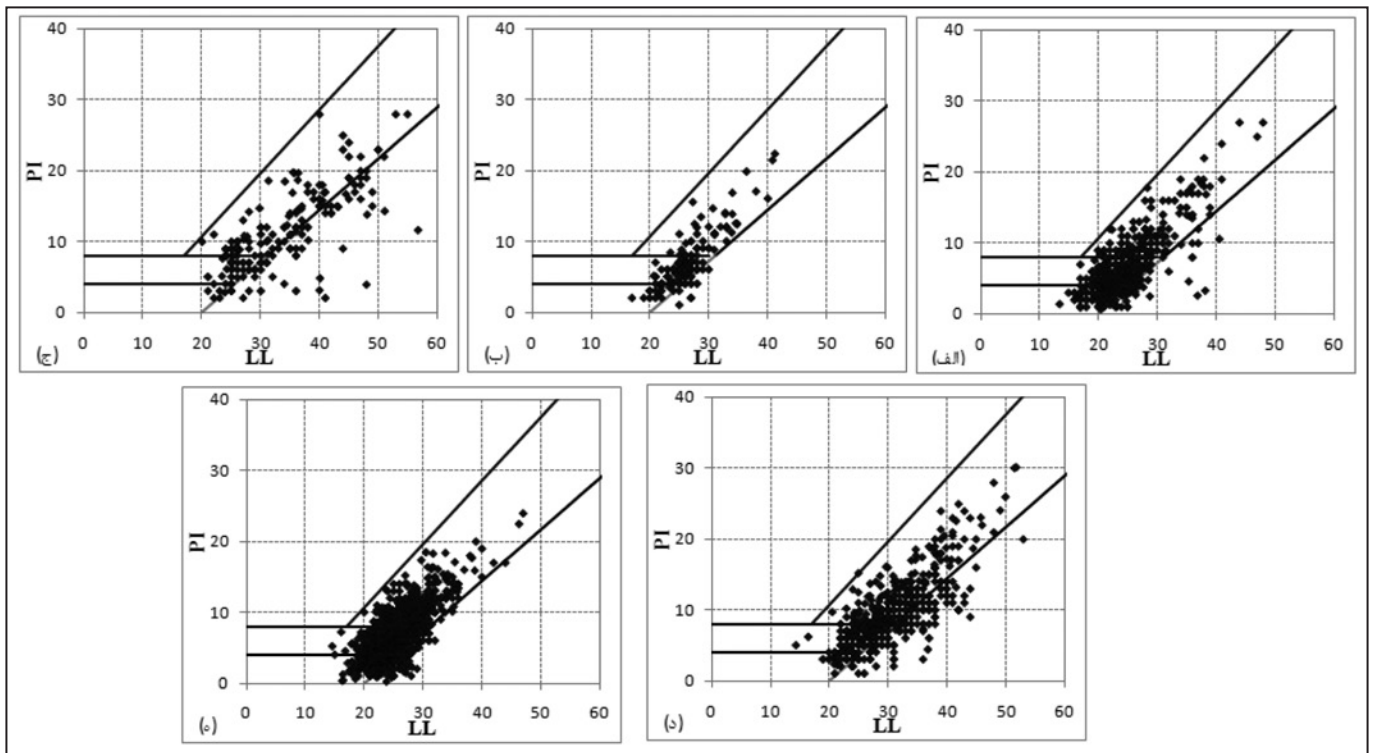
شکل ۸- مخروط افکنه رودخانه گلستان و عملکرد گسل جنوب مشهد که باعث جابه‌جایی ساعتگرد رودخانه گلستان شده است.



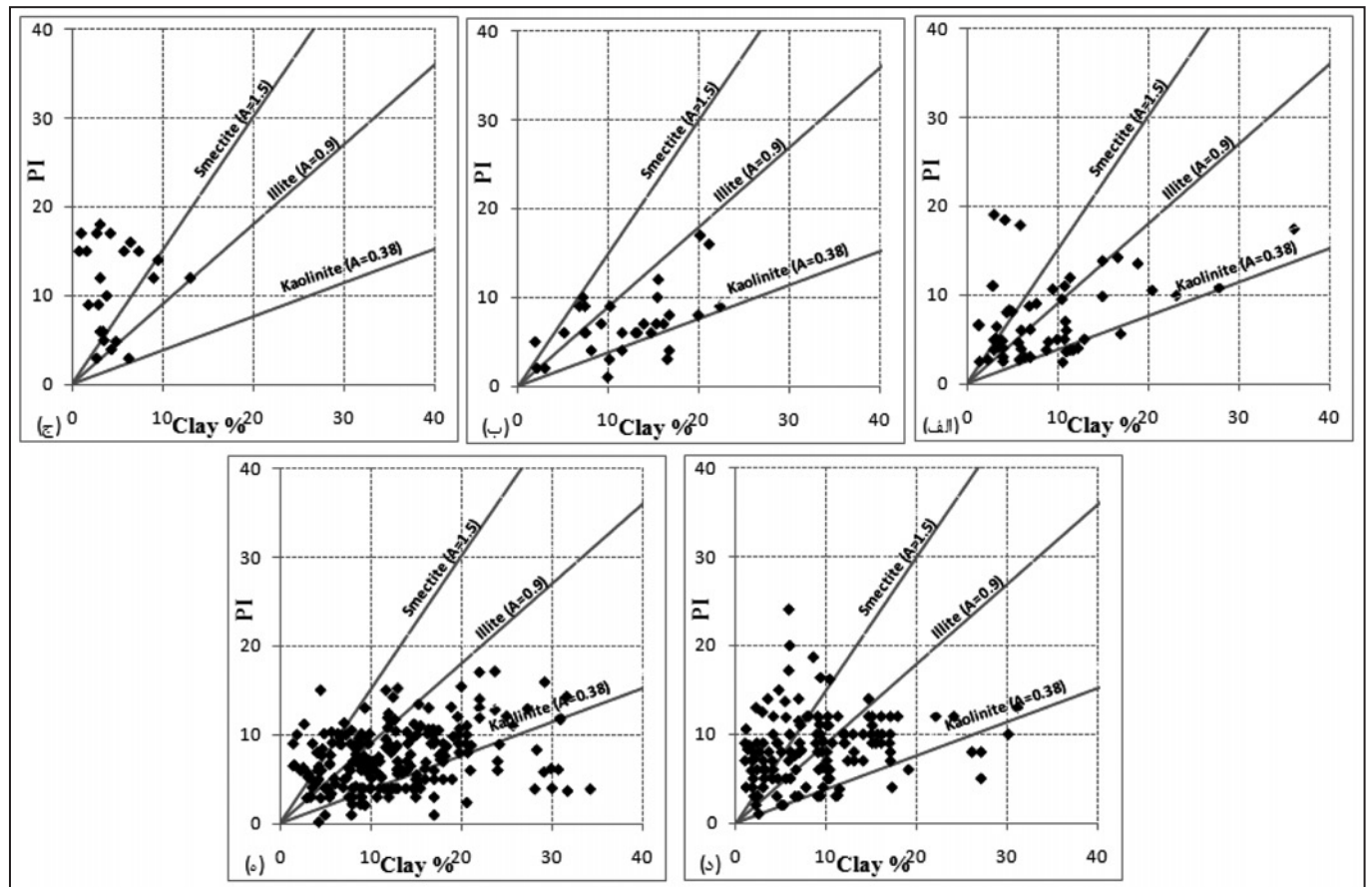
شکل ۱۰- نیمرخ طولی مخروط افکنه‌های محدوده مطالعاتی.



شکل ۱۱- فراوانی انواع خاک‌ها در پهنه‌های زمین‌ریخت‌شناسی (الف) مخروط افکنه رودخانه گلستان، (ب) مخروط افکنه طرق، (ج) کوهپایه‌های جنوب، (د) مخروط افکنه‌های جنوبی، دشت هموار، (ه) کوهپایه‌های جنوب.



شکل ۱۲- نمودار خمیری بخش ریزدانه نمونه‌ها (الف) مخروط افکنه رودخانه گلستان، (ب) مخروط افکنه طرق، (ج) کوهپایه‌های جنوب، (د) مخروط افکنه‌های جنوبی، (ه) دشت هموار.



شکل ۱۳- نمودار فعالیت ذرات ریزدانه (الف) مخروط افکنه رودخانه گلستان، (ب) مخروط افکنه طرق، (ج) کوهپایه‌های جنوب، (د) مخروط افکنه‌های جنوبی، (ه) دشت هموار.



جدول ۱- ویژگی‌های ژئوتکنیکی در پهنه‌های زمین‌ریخت‌شناسی مورد مطالعه.

| خاک رسی  |       | خاک سیلتی |       | خاک ماسه‌ای |       | خاک شنی  |       | خاک رسی                    |       | خاک سیلتی |       | خاک ماسه‌ای |       | خاک شنی  |       |            |
|--|-------|-----------|-------|-------------|-------|----------|-------|----------------------------|-------|-----------|-------|-------------|-------|----------|-------|------------|
| $\sigma$   | $\mu$ | $\sigma$  | $\mu$ | $\sigma$    | $\mu$ | $\sigma$ | $\mu$ | $\sigma$                   | $\mu$ | $\sigma$  | $\mu$ | $\sigma$    | $\mu$ | $\sigma$ | $\mu$ |            |
| مخروط افکنه طرق  |       |           |       |             |       |          |       | مخروط افکنه رودخانه گلستان |       |           |       |             |       |          |       |            |
| ۵/۱  | ۱۴/۹  | ۴/۴۶      | ۱۵/۲  | ۲/۹۴        | ۵/۸۴  | ۱/۲۹     | ۵/۲   | ۵/۴۷                       | ۱۳/۳  | ۶/۲۸      | ۱۲/۸  | ۲/۴۲        | ۵/۶۰  | ۱/۴۷     | ۴/۷   | W          |
| ۰/۱۳   | ۱/۸۸  | ۰/۱۱      | ۱/۸۳  | ۰/۰۹        | ۱/۹۲  | ۰/۰۶     | ۲/۰۳  | ۰/۱۴                       | ۱/۸۲  | ۰/۱۲      | ۱/۷۶  | ۰/۱۲        | ۱/۸۸  | ۰/۱۱     | ۱/۹۶  | $\gamma$   |
| ۰/۱  | ۱/۶۴  | ۰/۰۹      | ۱/۶۲  | ۰/۰۹        | ۱/۸۲  | ۰/۰۶     | ۱/۹۳  | ۰/۱۲                       | ۱/۶   | ۰/۰۹      | ۱/۵۶  | ۰/۱۳        | ۱/۷۸  | ۰/۱۱     | ۱/۸۷  | $\gamma_d$ |
| ۰/۰۲   | ۲/۷۱  | ۰/۰۱      | ۲/۷۱  | ۰/۰         | ۲/۷۱  |          |       | ۰/۰۳                       | ۲/۶۸  | ۰/۰۳      | ۲/۶۸  | ۰/۰۲        | ۲/۶۹  | ۰/۰۳     | ۲/۷   | Gs         |
| ۲/۵۷   | ۷/۳   | ۱/۴       | ۳/۴۸  | ۲/۶۹        | ۵/۶۳  | ۱/۷۷     | ۵/۶۳  | ۲/۷۴                       | ۷/۱۹  | ۱/۸۹      | ۳/۶۳  | ۳/۲۴        | ۵/۸۵  | ۳/۷۴     | ۶/۱۳  | PI         |
| ۲/۷۳   | ۲۶/۷  | ۲/۵۷      | ۲۴/۴  | ۳/۵۶        | ۲/۰۴  | ۲/۶۹     | ۱۹/۹  | ۳/۴۴                       | ۲۵/۱  | ۳/۱۲      | ۲۲/۷  | ۳/۸۵        | ۲/۰۸  | ۴/۶۳     | ۲/۰۶  | LL         |
| ۱۵/۳   | ۷۷/۵  | ۹/۸۲      | ۷۵/۸  | ۳/۶         | ۱۱/۷  |          |       | ۱۹/۸                       | ۷۹/۱  | ۱۸/۳      | ۷۱/۲  | ۱۷/۶        | ۱۸/۱  | ۶/۴۲     | ۹/۴۴  | Fine %     |
| ۵/۰۶   | ۱۳/۳  | ۴/۲۹      | ۹/۴۵  | ۱/۶۷        | ۲/۴۵  |          |       | ۴/۴۷                       | ۱۲/۶  | ۴/۸۰      | ۱۰/۴  | ۲/۷۳        | ۳/۷۶  | ۱/۱۴     | ۲/۷۱  | Clay%      |
| ۰/۳۳   | ۰/۷۳  | ۰/۲۴      | ۰/۳۵  | ۰/۲۲        | ۰/۸۵  |          |       | ۰/۲۷                       | ۰/۶۹  | ۰/۴۱      | ۰/۶۵  | ۰/۶۷        | ۱/۲۴  | ۱/۴۹     | ۳/۰   | A          |
| ۹  | ۲۳    | ۴         | ۱۶    | ۱۳          | ۳۲    | ۲۵       | ۳۴    | ۹                          | ۲۱    | ۹         | ۲۱    | ۱۴          | ۳۲    | ۱۴       | ۴۰    | SPT        |
| ۰/۰۳   | ۰/۲۷  |           |       | ۰/۰۹        | ۰/۰۸  | ۰/۰۸     | ۰/۰۸  | ۰/۰۸                       | ۰/۱۲  | ۰/۰۹      | ۰/۱۱  | ۰/۰۹        | ۰/۰۷  | ۰/۰۹     | ۰/۰۶  | C          |
| ۱۲/۵   | ۲۴/۵  |           |       | ۵/۴۱        | ۳۷/۸  | ۶/۰      | ۳۸/۵  | ۳/۷۴                       | ۲۹/۲  | ۶/۰       | ۲۲/۳  | ۴/۴۹        | ۳۲/۰  | ۴/۳۸     | ۳۳/۷  | $\phi$     |
| کوهپایه  |       |           |       |             |       |          |       | مخروط افکنه‌های جنوبی      |       |           |       |             |       |          |       |            |
| ۴/۱۱   | ۱۱/۷  | ۴/۳۲      | ۹/۲۸  | ۳/۸۱        | ۶/۵۲  | ۳/۰۵     | ۶/۳   | ۴/۴۴                       | ۱۲/۷  | ۴/۵       | ۱۱/۶  | ۳/۷۱        | ۸/۵۳  | ۲/۳۶     | ۶/۱۵  | W          |
| ۰/۲۱   | ۱/۸   | ۰/۱       | ۱/۶۴  | ۰/۱۷        | ۱/۸۶  | ۰/۱۲     | ۱/۹۹  | ۰/۱۶                       | ۱/۷۷  | ۰/۱۳      | ۱/۷۱  | ۰/۱۵        | ۱/۹۱  | ۰/۱۵     | ۲/۰۱  | $\gamma$   |
| ۰/۱۷   | ۱/۶   | ۰/۲۳      | ۱/۵۹  | ۰/۱۷        | ۱/۷۴  | ۰/۱۴     | ۱/۸۹  | ۰/۱۵                       | ۱/۵۸  | ۰/۰۹      | ۱/۵۲  | ۰/۱۳        | ۱/۷۶  | ۰/۱۶     | ۱/۸۹  | $\gamma_d$ |
| ۰/۰۱   | ۲/۶۸  | ۰/۰۴      | ۲/۶۵  |             |       | ۰/۰۱     | ۲/۷۷  | ۰/۰۴                       | ۲/۶۹  | ۰/۰۳      | ۲/۶۹  | ۰/۰۲        | ۲/۷   | ۰/۰۱     | ۲/۷   | Gs         |
| ۵/۰۷   | ۱۴/۲  | ۴/۹۶      | ۱۱/۳  | ۵/۴۵        | ۱/۰   | ۵/۱      | ۱۰/۱  | ۴/۱۶                       | ۱۰/۳  | ۳/۲۱      | ۷/۴۳  | ۴/۰۱        | ۸/۴۲  | ۴/۱۴     | ۸/۳۴  | PI         |
| ۶/۷  | ۳۴/۶  | ۸/۲۷      | ۳۶/۸  | ۸/۱۳        | ۲۹/۹  | ۸/۰۵     | ۳۲/۱  | ۵/۵                        | ۳۰/۶  | ۵/۱       | ۳۱/۸  | ۵/۵۷        | ۲۷/۵  | ۶/۰۷     | ۲۸/۵  | LL         |
|  |       | ۱۱/۳      | ۵۹/۹  | ۹/۶۶        | ۳۳/۴  | ۱۰/۷     | ۲۴/۵  | ۱۶/۹                       | ۷۸/۴  | ۱۱/۵      | ۸۵/۴  | ۱۴/۵        | ۳۰/۷  | ۹/۶۵     | ۱۸/۱  | Fine %     |
|  |       | ۲/۶۳      | ۶/۶   | ۰/۹۷        | ۳/۱۵  | ۲/۲۹     | ۳/۸۲  | ۴/۱۹                       | ۱۱/۱  | ۴/۹       | ۸/۶   | ۵/۵۶        | ۸/۰   | ۲/۷۲     | ۳/۶۲  | Clay%      |
|  |       | ۲/۲۵      | ۲/۴   | ۱/۲         | ۳/۳۴  | ۲/۴۳     | ۲/۶۲  | ۰/۵۵                       | ۰/۹   | ۰/۷۲      | ۰/۹۹  | ۰/۷۷        | ۱/۲۳  | ۱/۱۰     | ۲/۶۴  | A          |
| ۹  | ۴۳    | ۱۱        | ۳۹    | ۱۵          | ۳۷    | ۱۰       | ۴۷    | ۱۲                         | ۲۶    | ۹         | ۲۱    | ۱۶          | ۳۷    | ۱۷       | ۴۰    | SPT        |
| ۰/۱۴   | ۰/۵   |           |       | ۰/۱۱        | ۰/۱۵  | ۰/۱۵     | ۰/۲   | ۰/۱۶                       | ۰/۲۶  | ۰/۱       | ۰/۱۱  | ۰/۱۲        | ۰/۱۲  | ۰/۰۹     | ۰/۱   | C          |
| ۲/۰۸   | ۳۱/۳  |           |       | ۳/۷۱        | ۳۲/۴  | ۵/۶۱     | ۳۴/۶  | ۵/۷۶                       | ۲۵/۹  | ۹/۶       | ۲۷/۲  | ۴/۴         | ۳۰/۸  | ۵/۱۹     | ۳۵/۸  | $\phi$     |
| W: رطوبت (%) $\gamma$ : وزن مخصوص مرطوب ( $\text{KN/m}^3$ )<br>$\gamma_d$ : وزن مخصوص خشک ( $\text{KN/m}^3$ ) Gs: وزن مخصوص ویژه<br>PI: شاخص خمیری LL: حد روانی<br>Fine %: درصد ریزدانه کوچک‌تر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر (%)<br>Clay%: درصد ذرات رسی A: فعالیت خاک<br>SPT: عدد نفوذ استاندارد C: چسبندگی ( $\text{Kg/cm}^2$ )<br>$\phi$ : زاویه اصطکاک داخلی (درجه) $\mu$ : میانگین $\sigma$ : انحراف معیار |       |           |       |             |       |          |       | دشت هموار                  |       |           |       |             |       |          |       |            |
|  |       |           |       |             |       |          |       | ۵/۴۵                       | ۱۵/۳  | ۵/۵۵      | ۱۴/۵  | ۳/۶۵        | ۸/۲۱  | ۲/۳۷     | ۵/۷۴  | W          |
|  |       |           |       |             |       |          |       | ۰/۱۲                       | ۱/۸۶  | ۰/۱۲      | ۱/۸۲  | ۰/۱۲        | ۱/۸۸  | ۰/۰۹     | ۱/۹۴  | $\gamma$   |
|  |       |           |       |             |       |          |       | ۰/۰۹                       | ۱/۶   | ۰/۰۸      | ۱/۵۸  | ۰/۱۱        | ۱/۷۳  | ۰/۰۸     | ۱/۸۵  | $\gamma_d$ |
|  |       |           |       |             |       |          |       | ۰/۰۳                       | ۲/۶۹  | ۰/۰۲      | ۲/۶۹  | ۰/۰۳        | ۲/۶۹  | ۰/۰۳     | ۲/۶۸  | Gs         |
|  |       |           |       |             |       |          |       | ۳/۰                        | ۷/۸۲  | ۱/۷۹      | ۳/۶۱  | ۳/۰۴        | ۵/۹   | ۳/۳۶     | ۶/۷۸  | PI         |
|  |       |           |       |             |       |          |       | ۳/۴۴                       | ۲۶/۴  | ۳/۶۲      | ۲۳/۴  | ۴/۴۱        | ۲۱/۶  | ۵/۵۶     | ۲۴/۲  | LL         |
|  |       |           |       |             |       |          |       | ۱۴/۹                       | ۸۰/۸  | ۱۵/۶      | ۷۶/۳  | ۱۶/۷        | ۲۶/۱  | ۱۴/۹     | ۲۷/۵  | Fine %     |
|  |       |           |       |             |       |          |       | ۶/۴۷                       | ۱۳/۹  | ۵/۰۲      | ۸/۲۹  | ۳/۰۵        | ۴/۷۷  | ۱/۵      | ۳/۸۸  | Clay%      |
|  |       |           |       |             |       |          |       | ۰/۳۹                       | ۰/۶۸  | ۰/۲۹      | ۰/۴   | ۰/۶۱        | ۱/۱۲  | ۰/۳۶     | ۱/۱۶  | A          |
| ۱۰   | ۲۲    | ۱۰        | ۲۲    | ۱۳          | ۲۹    | ۱۹       | ۴۰    | SPT                        |       |           |       |             |       |          |       |            |
| ۰/۰۸   | ۰/۲   | ۰/۱       | ۰/۱۲  | ۰/۰۸        | ۰/۰۷  | ۰/۰۷     | ۰/۰۵  | C                          |       |           |       |             |       |          |       |            |
| ۶/۲۵   | ۲۴/۵  | ۴/۸۲      | ۲۸/۰  | ۵/۴۷        | ۳۰/۷  | ۳/۷۶     | ۳۱/۵  | $\phi$                     |       |           |       |             |       |          |       |            |

جدول ۲- میزان همبستگی بین پارامترهای ژئوتکنیکی در پهنه‌های زمین‌ریخت‌شناسی مورد مطالعه.

| مخروط افکنه رودخانه گلستان |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |                |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| φ                          | C      | SPT    | A      | Fine % | LL     | PI     | Gs     | γ      | γ      | W      | Depth  |                |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | Depth          |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۰۹۱  | W              |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | -۰/۱۵۷ | ۰/۱۷۹  | γ              |
|                            |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۸۸۶  | -۰/۵   | ۰/۱۱   | γ <sub>d</sub> |
|                            |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۱۷۷  | ۰/۲۷   | ۰/۱۴۸  | ۰/۰۷۵  | Gs             |
|                            |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۱۴   | ۰/۱۲   | ۰/۲۹۸  | ۰/۱۹۵  | ۰/۰۵۲  | PI             |
|                            |        |        |        |        | ۱      | ۰/۶۶۶  | ۰/۱۰۲  | -۰/۳۸۲ | -۰/۱۹۱ | ۰/۵۰۶  | -۰/۰۴۵ | LL             |
|                            |        |        |        | ۱      | ۰/۷۱۲  | ۰/۲۳۹  | ۰/۱۸۴  | -۰/۶۲۳ | -۰/۳۲۷ | ۰/۶۹۶  | -۰/۰۷۸ | Fine %         |
|                            |        |        | ۱      | -۰/۵۰۹ | ۰/۲۷۹  | ۰/۴۱۶  | ۰/۳۳۳  | ۰/۲۱۵  | ۰/۰۶۴  | -۰/۳۲۴ | ۰/۰۵۲  | A              |
|                            |        | ۱      | -۰/۱۹۶ | -۰/۳۱۵ | -۰/۰۸۸ | ۰/۰۸۱  | -۰/۱۷۳ | ۰/۳۴   | ۰/۲۲۷  | -۰/۳۳۲ | ۰/۱۶۹  | SPT            |
|                            | ۱      | -۰/۲۴۴ | -۰/۳۷  | -۰/۰۰۸ | ۰/۲۵۲  | ۰/۱۸۹  | ۰/۰۱   | ۰/۰۳   | ۰/۱۲۳  | ۰/۲۸۸  | ۰/۰۶۵  | C              |
| ۱                          | -۰/۰۳۲ | -۰/۰۶۲ | ۰/۲۲۶  | -۰/۴۵۶ | -۰/۴۲۴ | ۰/۳۴۳  | ۰/۰۲۱  | ۰/۳۱   | ۰/۲۷۱  | -۰/۱۶۷ | ۰/۰۶۱  | φ              |
| مخروط افکنه طرق            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |                |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | Depth          |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۲۸۱  | W              |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۰۲۸  | ۰/۱۸   | γ              |
|                            |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۷۴۸  | -۰/۵۹۹ | -۰/۰۴۳ | γ <sub>d</sub> |
|                            |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۰۰۷  | -۰/۰۸۱ | -۰/۲۲۹ | ۰/۱۱   | Gs             |
|                            |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۱۳۷  | -۰/۰۰۷ | ۰/۱۸۸  | ۰/۱۳۷  | -۰/۰۲۹ | PI             |
|                            |        |        |        |        | ۱      | ۰/۷۱۶  | -۰/۰۰۳ | -۰/۵۷۸ | -۰/۲۳۲ | ۰/۵۹۶  | -۰/۰۲۸ | LL             |
|                            |        |        |        | ۱      | ۰/۷۶   | ۰/۳۷۷  | -۰/۴۰۶ | -۰/۵۱۹ | -۰/۱۷  | ۰/۶۰۲  | -۰/۱۳۲ | Fine %         |
|                            |        |        | ۱      | -۰/۳۵۹ | ۰/۳۰۲  | ۰/۴۰۴  | ۰/۵۵۱  | ۰/۰۴۸  | ۰/۲۴۱  | -۰/۰۰۲ | -۰/۰۸۱ | A              |
|                            |        | ۱      | ۰/۰۱۴  | ۰/۱۲۸  | -۰/۰۷۴ | ۰/۱۹۳  | ۰/۰۶۷  | ۰/۳۲۴  | ۰/۰۷۴  | -۰/۴۴۷ | ۰/۲۵۷  | SPT            |
|                            | ۱      | ۰/۱۶۴  |        | ۰/۸۱۲  | ۰/۸۱۱  | ۰/۸۰۵  |        | -۰/۱۳۱ | ۰/۰۶۸  | ۰/۵۰۸  | ۰/۲۴۸  | C              |
| ۱                          | -۰/۷۰۶ | ۰/۱۶۱  | ۰/۸    | -۰/۶   | -۰/۶۱۳ | -۰/۴۷۹ |        | ۰/۵۳۴  | ۰/۳۵۸  | -۰/۵۰۵ | -۰/۰۱  | φ              |
| کوهپایه‌ها                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |                |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | Depth          |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۱۶۸  | W              |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | -۰/۱۰۴ | ۰/۲۵۶  | γ              |
|                            |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۸۹۱  | -۰/۴۷۱ | ۰/۲۲۲  | γ <sub>d</sub> |
|                            |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۵۸   | ۰/۵۹   | -۰/۴۳۴ | ۰/۲۹۲  | Gs             |
|                            |        |        |        |        |        | ۱      | -۰/۴۳۳ | -۰/۱۲۸ | -۰/۰۰۳ | ۰/۳۶۳  | ۰/۱۹۷  | PI             |
|                            |        |        |        |        | ۱      | ۰/۷۳۸  | -۰/۱۲۳ | -۰/۱۵۳ | -۰/۰۳۲ | ۰/۴۰۴  | ۰/۱۸۱  | LL             |
|                            |        |        |        | ۱      | ۰/۲۳۲  | ۰/۲۲۶  | -۰/۶۳۲ | -۰/۶۹۲ | -۰/۶۲۸ | ۰/۳۸۲  | -۰/۰۷۷ | Fine %         |
|                            |        |        | ۱      | -۰/۲۵۹ | ۰/۶۹۳  | ۰/۷۳۸  | ۰/۹۴۹  | ۰/۱۹۲  | ۰/۲۸۲  | -۰/۱۰۳ | -۰/۰۰۴ | A              |
|                            |        | ۱      | ۰/۵۳۶  | -۰/۲۱۵ | ۰/۱۲۲  | ۰/۰۰۱  | -۰/۲۰۳ | -۰/۰۱۷ | -۰/۰۳۹ | -۰/۰۵۹ | ۰/۳۳۳  | SPT            |
|                            | ۱      | ۰/۱۴   | ۰/۲۳۵  | ۰/۱۳۵  | ۰/۰۹۶  | -۰/۰۳۳ | -۰/۸۶۶ | -۰/۲۳۹ | -۰/۰۷۷ | ۰/۲۸۵  | -۰/۱۶۴ | C              |
| ۱                          | -۰/۱۲۵ | -۰/۱۷  | ۰/۲۵۷  | -۰/۵۸۸ |        | ۰/۰۰۸  |        | ۰/۳۷۵  | ۰/۲۴۷  | -۰/۲۷۷ | -۰/۱۹۸ | φ              |
| مخروط افکنه‌های جنوبی      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |                |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | Depth          |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۱۹۱  | W              |
|                            |        |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | -۰/۲۴۴ | ۰/۰۴۹  | γ              |
|                            |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۹۰۴  | -۰/۵۵۱ | -۰/۰۱۱ | γ <sub>d</sub> |
|                            |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۳۱۱  | ۰/۱۶۷  | ۰/۳۳۹  | ۰/۰۱۵  | Gs             |
|                            |        |        |        |        |        | ۱      | -۰/۲۹۵ | -۰/۱۰۹ | -۰/۰۶۸ | ۰/۲۱۷  | ۰/۰۹۵  | PI             |
|                            |        |        |        |        | ۱      | ۰/۷۶۴  | -۰/۲۷۳ | -۰/۳۱۹ | -۰/۲۳۱ | ۰/۲۷۹  | ۰/۱۲۵  | LL             |
|                            |        |        |        | ۱      | ۰/۳۷۷  | ۰/۱۲۸  | -۰/۴۵۳ | -۰/۸۱  | -۰/۷۳  | ۰/۵۴۷  | ۰/۰۲۴  | Fine %         |
|                            |        |        | ۱      | -۰/۵۱۴ | ۰/۳۳۲  | ۰/۳۳۹  | ۰/۳۰۴  | ۰/۵۶۷  | ۰/۵۴۱  | -۰/۲۸۷ | ۰/۳۳۶  | A              |
|                            |        | ۱      | ۰/۴۴۶  | -۰/۴۸۸ | ۰/۰۶۱  | ۰/۱۵۶  | ۰/۵۴   | ۰/۴۴۲  | ۰/۳۸۷  | -۰/۳۴۷ | ۰/۰۹۴  | SPT            |
|                            | ۱      | -۰/۱۶۱ | -۰/۰۴۵ | ۰/۳۵۱  | ۰/۴۱۴  | ۰/۲۷۴  | -۰/۳۰۴ | -۰/۱۰۹ | -۰/۰۹  | ۰/۱۸   | -۰/۱۰۹ | C              |
| ۱                          | -۰/۲۳  | ۰/۳۷۲  | ۰/۴۲۷  | -۰/۵۴۵ | -۰/۳۷۵ | -۰/۲۶۴ | ۰/۰۵   | ۰/۵۳۲  | ۰/۴۳   | -۰/۲۹۱ | ۰/۰۴۷  | φ              |

ادامه جدول ۲- میزان همبستگی بین پارامترهای ژئوتکنیکی در پهنه‌های مختلفی.

| دشت هموار |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |                |
|-----------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| φ         | C      | SPT    | A     | Fine % | LL     | PI     | Gs     | γ      | γ      | W      | Depth  |                |
|           |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        | ۱      | Depth          |
|           |        |        |       |        |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۰۸   | W              |
|           |        |        |       |        |        |        |        |        | ۱      | ۰/۱۹۹  | ۰/۳۶۲  | γ              |
|           |        |        |       |        |        |        |        | ۱      | ۰/۶۷۸  | -۰/۴۹۳ | ۰/۲۳   | γ <sub>d</sub> |
|           |        |        |       |        |        |        | ۱      | -۰/۰۶۲ | ۰/۰۲۳  | ۰/۱۹۴  | -۰/۰۹۱ | Gs             |
|           |        |        |       |        |        | ۱      | -۰/۱۳۳ | ۰/۰۷۲  | ۰/۱۹۸  | ۰/۱۸۶  | ۰/۰۵۹  | PI             |
|           |        |        |       |        | ۱      | ۰/۶۱۷  | -۰/۰۷۷ | -۰/۲۷۹ | -۰/۰۴۶ | ۰/۳۷۵  | ۰/۰۰۴  | LL             |
|           |        |        |       | ۱      | ۰/۶۳   | ۰/۱۶۱  | ۰/۲۶۷  | -۰/۴۵۳ | -۰/۰۶۳ | ۰/۵۶۹  | ۰/۰۸۲  | Fine %         |
|           |        |        | ۱     | -۰/۳۲۱ | ۰/۲۳۷  | ۰/۴۷۴  | -۰/۴۸۶ | ۰/۳۰۷  | ۰/۲۳۹  | -۰/۰۶۱ | -۰/۰۴  | A              |
|           |        | ۱      | ۰/۰۶۳ | -۰/۱۶  | ۰/۰۴۹  | -۰/۰۱۴ | -۰/۰۰۹ | ۰/۳۱۳  | ۰/۰۸۲  | -۰/۲۹۵ | ۰/۰۸۷  | SPT            |
|           | ۱      | -۰/۲۷۲ | ۰/۲۲۴ | ۰/۳۷   | ۰/۱۷۶  | ۰/۲۷۵  | ۰/۰۶۷  | -۰/۰۹۵ | ۰/۱۳۵  | ۰/۳۵۶  | ۰/۰۰۲  | C              |
| ۱         | -۰/۲۲۱ | -۰/۰۲۳ | ۰/۲   | -۰/۵۵۹ | -۰/۵۰۴ | ۰/۰۵۱  | ۰/۲۵   | ۰/۳۸۵  | ۰/۲۷۷  | -۰/۲۴۱ | ۰/۱۶۸  | φ              |

### کتابنگاری

- امیری نژاد، ع.ا.، و باقرنژاد، م.، ۱۳۷۶- اثرات توپوگرافی روی تشکیل و تکامل خاک‌های منطقه کرمانشاه، مجله کشاورزی ایران، جلد ۲۸، صفحه ۹۹-۱۱۰.
- امینی جهرمی، ح.، ناصری، م.ی.، خرمالی، ف.، و موحدی نائینی، س.ع.، ۱۳۸۷- کانی شناسی خاک‌های با مواد مادری لسی در دو منطقه از استان گلستان (هوتن و گرگان)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره پنجم.
- حافظی مقدس، ن.، و قزی، ا.، ۱۳۸۶- اهمیت ارزیابی خطرات لرزه‌ای در توسعه شهری (مطالعه موردی شهر مشهد)، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- حافظی مقدس، ن.، ۱۳۹۰- زمین‌شناسی مهندسی، نشر آرسس، ۴۸۸ صفحه.
- دولتی، ح.، ۱۳۸۹- بررسی اثرات زیست‌محیطی توسعه شهر مشهد بر آبخوان و منابع آب، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- کرم، ا.، ۱۳۸۸- طبقه‌بندی زمین‌منظ‌های ژئومورفولوژیکی بر اساس پارامترهای توپوگرافیکی در محیط GIS مطالعه موردی: شمال باختر شهر شیراز، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۴، صفحه ۸۳-۱۰۰.
- کریمی، ع.، خادمی، ح.، و جلالی، ا.، ۱۳۸۷- شناسایی خاک‌های لسی و تفکیک آنها از سایر خاک‌ها در جنوب شهر مشهد، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره ۴۴، صفحه ۲۰۰-۱۸۵.
- مختاری، د.، کریمی، ف.، و بیاتی خطیبی، م.، ۱۳۸۶- اشکال مختلف مخروط‌افکنه‌ای در اطراف توده کوهستانی میشو داغ (شمال باختر ایران) با تأکید بر نقش فعالیت‌های زمین‌ساختی کواترنر در ایجاد آنها، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ویژه‌نامه جغرافیا، صفحه ۲۹۲-۲۵۷.
- مقیمی، ا.، و صفاری، ا.، ۱۳۸۹- ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری در قلمروی حوضه‌های زهکشی سطحی مطالعه موردی: کلان شهر تهران، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۴، شماره ۱، صفحه ۱-۳۱.
- وحیدی، م.ج.، حعفرزاده، ع.ا.، اوستان، ش.، و شهبازی، ف.، ۱۳۹۰- تأثیر ژئومورفولوژی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مینرالوژیکی خاک‌های جنوب شهرستان اهر، مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۲، ۸۰-۶۵.

### References

- Bahrami, S., 2013- Tectonic controls on themorphometry of alluvial fans around Danekkhoshk anticline, Zagros, Iran, *Geomorphology*, v. 180-181, p. 217-230.
- Blissenbach, E., 1954- Geology of alluvial fans in semi-arid regions: *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 65, p. 175-190.
- Cook, R. U., Warren, A. & Goud, A., 1993- *Desert geomorphology*; Vcl Press. London.,
- Cooke, R. U. & Mason, P. F., 1973- Desert Knolls pediment and associated landforms in the Mojave Desert, California: *Revue de geomorphologie dynamique*, v. 22, p. 49-60.
- Crosta G. B. & Frattini P., 2004- Controls on modern alluvial fan processes in the central Alps, northern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.29, p. 267-293.
- Delgado, J., Alfaro, P., Andreu, J. M., Cuenca, A., Domenech, C., Estevez, A., Soria, J. M., Tomas, R. & Yebenes, A., 2003- Engineering-geological model of the Segura River flood plain (SE Spain): a case study for engineering planning, *Engineering Geology* v.68, p. 171-187.
- Farpoor, M. H., Neyestani, M., Eghbal, M. K. & Esfandiarpour Borujeni, I., 2012- Soil-geomorphology relationships in Sirjan playa, south central Iran, *Geomorphology*, v.138, p.223-230.



- Ferrill, D. A., Stakamatos, J. A., Jones, S. M., Rahe, B., McKague, H. L., Martin, R. H. & Morris, A. P., 1996- Quaternary slip history of the Bare Mountain fault (Nevada) from the morphology and distribution of alluvial fan deposits. *Geology*, v.24, p.559–562.
- Goswami, P. K., Pant, C. C. & Pandey, S., 2009- Tectonic controls on the geomorphic evolution of alluvial fans in the Piedmont Zone of the Ganga Plain, Uttarakhand, India. *Journal Earth System Science*, v.118, p.245–259.
- Guzzetti, F., Marchetti, M. & Reichenbach, P., 1997- Large alluvial fans in the north-central PO Plain ( Northern Italy), *Geomorphology*, v.18, p.119-136
- Hagh Nia, Gh., 1991- *Peodology*. (Translated) Ferdowsi University.
- Harvey, A. M., 2005- Differential effects of base-level tectonic setting and climatic change on Quaternary alluvial fans in the northern Great Basin, Nevada, USA. *Journal of the Geological Society of London*, v. 251, p.117–131.
- Harvey, A. M., 2012- The coupling status of alluvial fans and debris cones: a review and synthesis. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.37, p.64–76.
- Khormali, F. & Abtahi, A., 2003- Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay Minerals*, v.38, p.511–527.
- King, L. C., 1949- The pediment landform: some current problems, *Geol. Mag.*, 86, 245–250.
- Krinsley, D. B., 1970- A geomorphological and paleoclimatological study of the playas of Iran. Geological Survey U.S. Department of Interior, Washington D.C. 486 p.
- Li, Y. L., Yang, J. C., Tan, L. H. & Duan, F. J., 1999- Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi Corridor, Northwest China. *Geomorphology*, v.28, p.229–308.
- Mollah, M. A., 1993- Geotechnical conditions of the deltaic alluvial plains of Bangladesh and associated problems, *Engineering Geology*, v.36, p.125-140.
- Pepin, E., Carretier, S. & Herail, G., 2010- Erosion dynamics modelling in a coupled catchment–fan system with constant external forcing. *Geomorphology*, v.122, p.78–90.
- Salcher, B. S., Faber, R. & Wagreich, M., 2010- Climate as main factor controlling the sequence development of two Pleistocene alluvial fans in the Vienna Basin (eastern Austria) — a numerical modelling approach. *Geomorphology*, v.115, p.215–227.
- Salehi, M. H., Khademi, H. & Eghbal, M. K., 2002- Genesis of clay minerals in soils from Chaharmahal Bakhtiari Province, Iran. *Book of Abstracts of the Conference on Sustainable Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Region*. Cartagena, Spain, p. 47–48.
- Tator, B. A., 1952–Pediment characteristics and terminology, *Assoc. Am. Geogr. Ann.*, 42, 295–317; 43, 37–53.
- Truong, M. H., Nguyen, V. L., Oanh Ta, T. K. & Takemura, J., 2011- Changes in late Pleistocene–Holocene sedimentary facies of the Mekong River Delta and the influence of sedimentary environment on geotechnical engineering properties, *Engineering Geology*, v.122, p.146-159.
- Ufimtsev, G. F., 2010- Pediments of Asia, *Russian Journal of Pacific Geology*, v. 4, No. 3, pp. 250–259.
- Waters, J. V., Jones, S. J. & Armstrong, H. A., 2010- Climatic controls on late Pleistocene alluvial fans, Cyprus. *Geomorphology*, v.115, p.228–251.
- Whipple, K. X. & Trayler, C. R., 1996- Tectonic control of fan size: The importance of spatially variable subsidence rates, *Basin Res.*, v.8, p.351 366.
- Whitaker, C. R., 1979- The use of the term ‘peiment’ and related terminology. *Z. Geomorphology*, v.23, p.427-439.
- Yousif, H. M. S., 1987- The applications of remote sensing to geomorphological neotectonic mapping in North Canterbury Ph.D. thesis, Univ. of Canterbury, Canterbury, N.Z.

# The Effect of Geomorphology on Engineering Geology Properties of Alluvial Deposits in Mashhad City

A. Ghazi<sup>1</sup>, N. Hafezi Moghadas<sup>2</sup>, H. Sadeghi<sup>3</sup>, M. Ghafouri<sup>2</sup>, G. Lashkaripour<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 2013 February 23

Accepted: 2014 January 21

## Abstract

In this study, engineering geomorphology of Mashhad City is evaluated. For this purpose, aerial photos of the city, 180 drinking water wells and 1500 scattered geotechnical boreholes have been studied. Based on this information, the city divided into 6 geomorphologic units including rock outcrop, pediment, Golestan fan, Torough fan, southern fans and flat plain. Then, engineering geology properties of these units were investigated based on the geotechnical data sets. The geotechnical properties were evaluated just for the upper 10m of deposits. The results show predominant soil in the pediment and southern fans units is gravel, sandy and gravely soils are predominant in the Golestan fan unit, whereas clay and sand are predominant soils in the Torough fan and flat plain. In this study, earth evaluation was carried out based on the standard penetration test that shows the pediment unit has more resistance than other units. The clay minerals were determined based on the activity chart. Smectite and kaolinite are predominant clay minerals in the pediment and flat plain units, respectively.

**Keywords:** Geomorphology, Engineering geology properties, Zoning, Clay mineral, Mashhad

For Persian Version see pages 17 to 28

\*Corresponding author: A. Ghazi; E-mail: [azam.ghazi@stu-mail.um.ac.ir](mailto:azam.ghazi@stu-mail.um.ac.ir)