

ارزیابی نشست حاصل از تراکم خاک‌های دستی در غرب شهر مشهد

* ناصر حافظی مقدس: گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

محمدرضا نیکودل: گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

اعظم قزی: گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

پذیرش ۹۱/۶/۲۸

تاریخ دریافت ۹۰/۶/۶

چکیده

در این مقاله دلایل فرونشست زمین در خیابان اندیشه واقع در شمال غرب شهر مشهد بررسی شده است. نشست در این منطقه هم‌زمان با بهره‌برداری از ساختمان‌های مسکونی در سال ۱۳۸۷ شروع شد و باعث نشستی حدود ۱/۵ متر و تخریب کامل ۴ واحد مسکونی و آسیب دیدن بیش از ۱۵ واحد مسکونی دیگر گردید. بررسی عکس‌های هوایی قدیمی منطقه نشان داد که این منطقه بخشی از مخروط‌افکنه کال جهل بازه است و مسیل‌های این محدوده در گذشته محل تخلیه نخاله ساختمانی بوده است. برای ارزیابی ضخامت و خصوصیات خاک دستی ۴۶ گمانه دستی حفر گردید و ۹ سونداژ ژئوالکترونیک با آرایش شلومبرگر برداشت گردید. براساس بررسی فوق‌نقشه هم‌ضخامت ابرفت در منطقه تعیین گردید. نتایج این بررسی نشان داد که ضخامت خاک دستی در برخی نقاط به بیش از ۹ متر می‌رسد. نتایج آزمایش‌های صحرایی حاکی از وجود تفاوت مشخصی بین دانسیته خاک دستی و بکر است. به طوری که متوسط دانسیته خاک‌های دستی ۱/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و متوسط دانسیته خاک‌های برجا بیش از ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد. آزمایش‌های رهمندگی حاکی از پتانسیل بالای رهمندگی خاک‌های دستی در منطقه است. هم‌چنین رابطه خطی و معکوسی بین دانسیته و درصد نشست خاک وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: شهر مشهد، خیابان اندیشه، نشست زمین، خاک دستی

*نویسنده مسئول h_moghads@yahoo.com

مقدمه

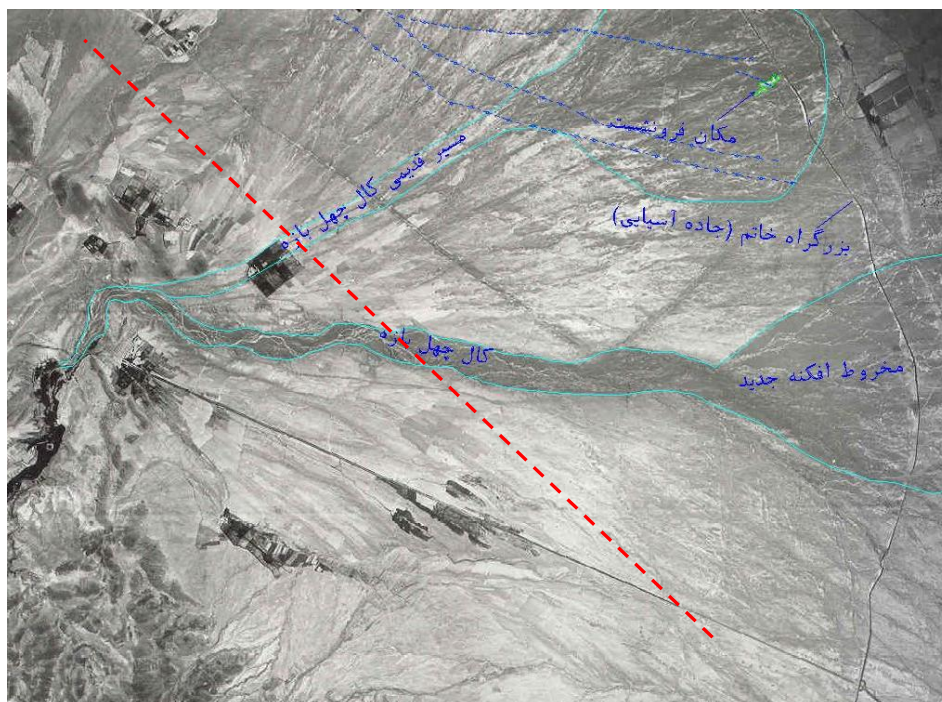
خاک‌برداری و خاک‌ریزی بخش اجتناب‌ناپذیر شهرسازی و توسعه شهری است. برای ساخت و ساز شهری از منابع خاک ریزدانه، شن و ماسه اطراف شهر برداشت صورت می‌گیرد و سپس این فروچاله‌ها با خاک‌دستی شامل نخاله ساختمانی و خاک به صورت کنترل نشده پر می‌شود. بعدها زمین‌های فوق‌مسطح شده و در زیرساخت و ساز شهری قرار می‌گیرد [۱]، [۲]. خاک‌های دستی مشابه خاک‌های رمبنده دارای ساختار سست و متخلخل است و در اثر اشباع شدن، ساختار آن‌ها فرو ریخته و دچار رمبش می‌شوند. تخلخل زیاد در خاک‌های رمبنده مربوط به ساختار داربستی خاک است [۳]، [۴]. اما در خاک‌های دستی و نخاله ساختمانی علاوه بر پدیده فوق وجود مواد آلی و زائدات گیاهی و نیز وجود قطعات بزرگ بتن، فلزات و غیره نیز سبب ایجاد فضاهای خالی بزرگ در خاک می‌گردد. در حالت وجود کانی‌های رسی بین ذرات یا به صورت پوششی بر روی ذرات خاک سبب ایجاد چسبندگی و افزایش مقاومت این خاک‌ها می‌گردد اما به مجرد مرطوب شدن ساختار خاک فرو می‌ریزد و موجب نشست زمین حتی بدون اعمال بار می‌شود. در خاک‌های نیمه اشباع نیز پایداری خاک به علت کشش موئینه بوده و با اشباع شدن خاک، این پدیده از بین می‌رود [۵]، [۶]. در مناطق شهری مرطوب شدن ممکن است به طرق مختلفی هم‌چون آبیاری فضاهای سبز، نشت از لوله‌های آب یا فاضلاب، نفوذ رواناب سطحی و غیره صورت گیرد. از نظر دانه‌بندی مقادیر زیاد ذرات ماسه‌ای در خاک‌های فروریزنده احتمال تشکیل روزه‌های داربستی را کاهش می‌دهند و با افزایش ذرات ماسه‌ای احتمال رمبندگی کم‌تر می‌گردد. تأثیر وجود رس در این خاک‌ها به این صورت است که در مقادیر اندک رس رمبندگی با افزایش میزان رس افزایش می‌یابد. اما در مقادیر زیاد رس با افزایش رس رمبندگی کاهش می‌یابد. در مقادیر اندک، رس همانند یک غشای نازک در بین ذرات سیلت و ماسه قرار دارد و در حضور آب همانند یک روان‌کننده برای جابه‌جایی ذرات عمل می‌کند اما در مقادیر بیشتر، رس همانند سیمان بین ذرات را پر می‌کند و اگر مرطوب شود تنها لایه بیرونی تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۳]، [۴]، [۷].

منطقه پرتراکم غرب مشهد در گذشته نه جندان دور در حاشیه شهر قرار داشته و محل دپوی خاک و نخاله بنایی بوده است. خاک و نخاله ساختمانی عموماً در حاشیه مسیل‌ها، چاله‌های حاصل از برداشت شن و ماسه و نیز میل چاه قنوات متروکه بدون هیچ‌گونه تمهیداتی تخلیه شده‌اند [۱]، [۸]. خاک‌های دستی به مرور زمان تحکیم یافته و متحمل نشست می‌شوند، پدیده‌هایی نظیر اشباع‌شدگی در اثر فاضلاب شهری و بارگذاری زیاد با احداث ساختمان‌ها مرتفع پدیده تحکیم و خطر فرونشست زمین در این منطقه را افزایش داده است؛ در غرب مشهد این پدیده موجب شکستگی زیاد شبکه آب و فاضلاب و گاز شهری شده است [۱]. هم‌چنین در مواردی فرونشست زمین سبب تخریب واحدهای مسکونی شده است. از جمله در محدوده خیابان اندیشه فرونشست زمین موجب تخریب چندین واحد مسکونی در سال ۱۳۷۸ گردیده است. در این مقاله نتایج بررسی‌های تفصیلی نشست زمین در منطقه اندیشه ارائه شده و بروز شرایط مشابه در غرب مشهد مورد بحث قرار گرفته است.

زمین‌شناسی غرب مشهد

شهر مشهد از نظر تکتونیکی در حد فاصل دو پهنه فشاری البرز و کپه داغ قرار گرفته است و دشت پست مشهد با روند شمال‌غرب- جنوب شرق حاصل عمل کرد گسل‌هایی است که حد بین کوه و دشت در شمال و جنوب شهر را تشکیل داده است. در بخش جنوبی شهر مشهد گسل جنوب مشهد قرار دارد و در بخش شمالی گسل توس و کشف رود در مرز بین کوه و دشت قرار دارد. هر دو گسل شمال و جنوب مشهد از نظر تکتونیکی فعال هستند و آثار حرکت جوان در آن‌ها مشاهده می‌گردد. مکانیسم گسلش گسل‌های مشهد و بینالود در اواخر کوآترنری منجر به بالا آمدگی رشته کوه‌های جنوب مشهد و بینالود با میزان ۲/۴ میلی‌متر در سال می‌شود [۹] که آثار آن‌را به صورت انحراف در مخروط افکنه رودخانه چهل بازه و جدا شدن آن از کوهستان می‌توان مشاهده کرد. محدوده غرب مشهد از نظر زمین‌شناسی بر روی مخروط افکنه کال چهل بازه قرار گرفته است. مسیل مزبور از ارتفاعات دگرگونی غرب و جنوب غرب مشهد سرچشمه گرفته و نهایتاً به رودخانه کشف‌رود می‌ریزد. بافت خاک در این

محدوده تناوب شن و ماسه است که به صورت بین‌انگشتی بهم تبدیل می‌شوند. در زمان‌های سیلابی که قدرت رودخانه بیش‌تر بوده است نهشته‌های درشت‌دانه تا فاصله دورتر حمل شده‌اند و در زمان‌هایی دیگر نهشته‌های درشت‌دانه تنها محدود به کف مسیل‌های اصلی بوده است. این شرایط که در محیط‌های مخروط افکنه‌ای معمول است منجر به تشکیل عدسی‌های شنی در بین نهشته‌های ماسه‌ای و بالعکس خواهد شد (شکل ۱).

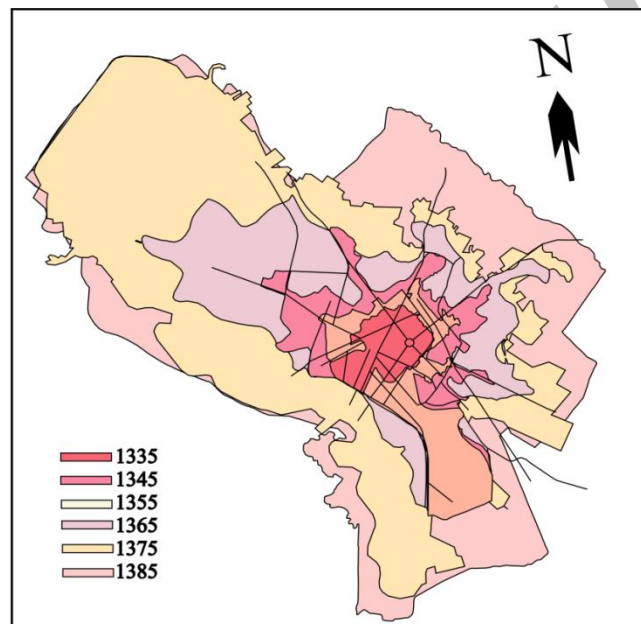


شکل ۱. کال چهل بازه قدیم و جدید در غرب شهر مشهد همراه با موقعیت تقریبی گسل جنوب مشهد

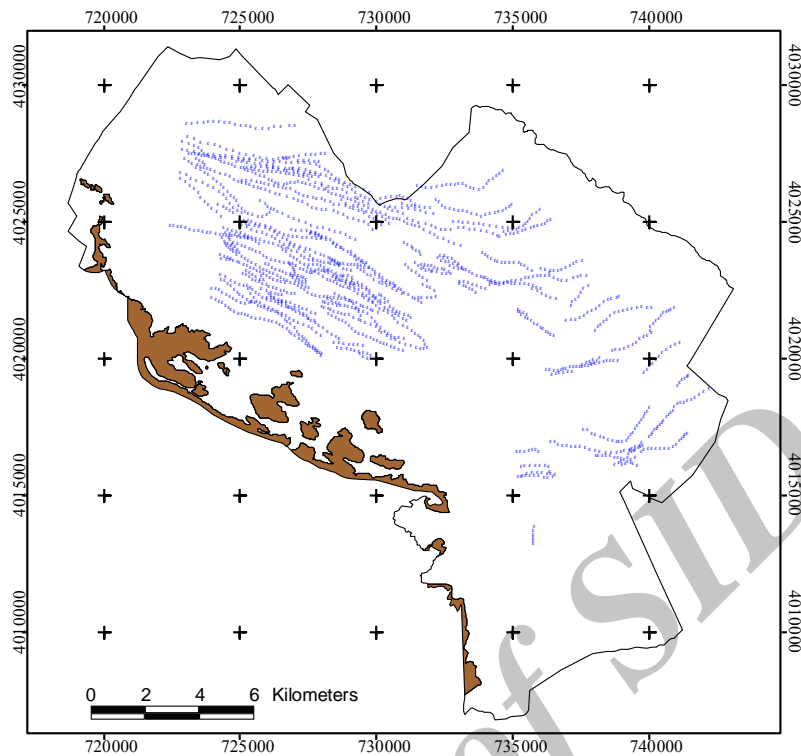
خاک دستی و نخاله بنایی در غرب مشهد

در حدود ۴۰ سال قبل حد غربی شهر مشهد محدود به بلوار آزادی بود و بعد از آن زمین‌های بایر بود که به صورت محدود مزارع و باغ‌هایی در آنها احداث شده بود و در

راستای سیاست واگذاری زمین در سال‌های ابتدایی انقلاب این مناطق مسطح گردید و به مردم واگذار شد. در شکل ۲ روند توسعه شهر مشهد در دهه‌های اخیر نشان داده شده است. قبل از توسعه شهر به سمت غرب بخشی از شن و ماسه مورد نیاز شهری و نیز مخلوط مورد نیاز جاده‌سازی از مسیل‌های این مناطق برداشت می‌گردید و از طرف دیگر خاک و نخاله ساختمانی و کارگاهی و بعضاً زباله شهری در داخل این مسیل‌ها و نیز میل چاه‌های قنوات متروکه تخلیه می‌شدند. لذا ضخامت خاک دستی در این مناطق متغیر و بعضاً چشم‌گیر است. متأسفانه هیچ‌گونه کروکی و نقشه‌ای از موقعیت و حجم دپوی نخاله در غرب مشهد در دسترس نیست. اما محدوده مسیل‌های قدیمی و نیز میل چاه قنوات را می‌توان به‌عنوان نقاط مشکوک در نظر گرفت. در شکل ۳ موقعیت مسیل‌ها و میل قنوات در محدوده غرب مشهد نشان داده شده است.



شکل ۲. روند توسعه شهر مشهد در دهه‌های اخیر، چنان‌که مشاهده می‌شود غرب مشهد در سال ۱۳۷۵ به محدوده شهری پیوسته است.



شکل ۳. موقعیت قنوات در محدوده شهر مشهد که از جمله مکان‌های تخلیه نخاله و خاک دستی محسوب می‌شوند.

فرونشست زمین در خیابان اندیشه در غرب مشهد

موارد متعددی از فرونشست زمین در اثر تراکم خاک دستی در غرب مشهد گزارش شده است که مهم‌ترین مورد نشست زمین در خیابان اندیشه است. این محدوده در مجاورت جاده اصلی مشهد- قوچان قرار گرفته است. نشست زمین در این منطقه هم‌زمان با بهره‌برداری از واحدهای مسکونی در ۱۳۸۵ شروع شد و به مرور زمان در برخی بخش‌ها به ۱/۵ متر نیز رسید. نشست زمین موجب قطع لوله‌های آب و فاضلاب گردید که خود عاملی برای تشدید نشست بود. در این محدوده ۴ واحد مسکونی دو و سه طبقه تخریب و غیرقابل استفاده گردید و به ۱۵ واحد مسکونی نیز خسارات جزئی وارد شد (شکل ۴).



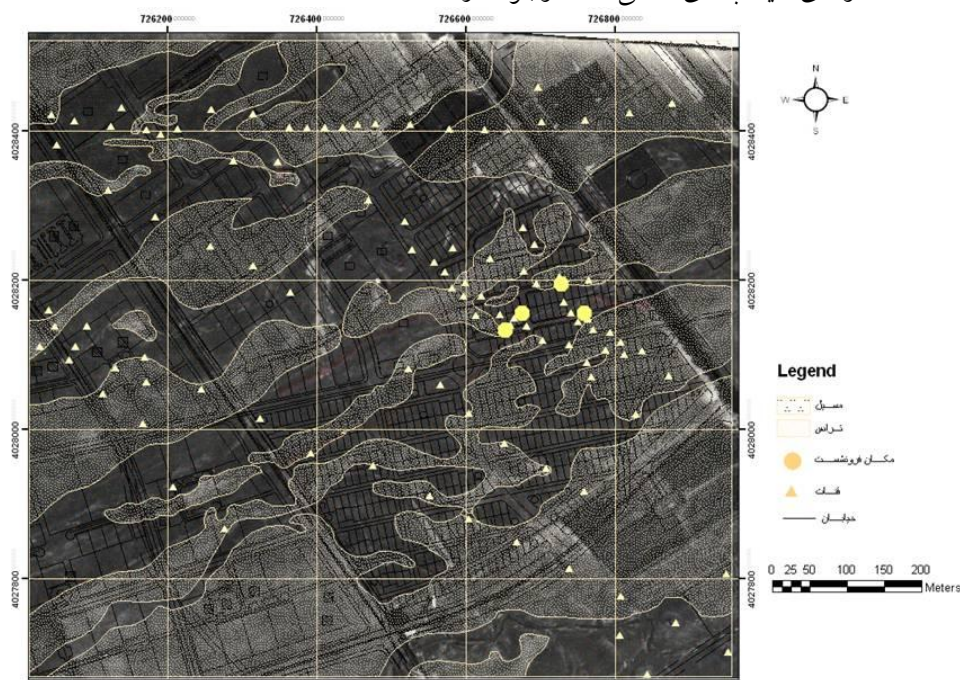
شکل ۴. نشست ساختمان و انحراف دیوار به علت مشکلات نشست زمین در منطقه خاک دستی در شکل ۵ موقعیت میله قنات‌ها، مسیل‌ها و تراس‌های آبرفتی در منطقه فرونشست زمین با استفاده از عکس‌های هوایی ۱۳۴۳ نشان داده شده است. بر روی تصویر لکه‌های تیره‌رنگ نشان‌دهنده مسیل‌های قدیمی هستند که به علت درصد ریزدانه بیش‌تر و رطوبت بیش‌تر در سطح زمین در عکس با تن تیره ظاهر می‌شود.

به منظور تعیین ضخامت خاک دستی در محدوده مورد نظر و نیز ارزیابی از خصوصیات خاک‌های بکر و دستی منطقه به خصوص میزان نشست‌پذیری آن‌ها، ۴۶ چاهک دستی با عمق حداکثر ۱۰ متر حفر گردید. در داخل چاهک‌ها آزمایش چگالی در محل در فواصل دو متری به روش مخروط ماسه انجام گردید. از همین اعماق ۲۹ نمونه دست‌خورده برای آزمایش‌های آزمایشگاهی شامل دانه‌بندی، برش مستقیم و نشست‌پذیری برداشت گردید. در زمان حفر چاهک‌های دستی مرز بین خاک دستی و خاک بکر توسط کارشناس خبره زمین‌شناسی کنترل شد. برخی از شواهدی که به کمک آن خاک دستی در این منطقه شناسایی شد عبارت بود از:

- در برخی از گمانه‌ها مصالح ساختمانی هم‌چون آجر، سنگ‌های ساختمانی و موادی مانند پلاستیک، پارچه، فلز و ... کاملاً مشخص است.
- مصالح طبیعی منطقه عمدتاً افقی و متشکل از ذرات پولکی و شیستی هستند درحالی‌که در خاک‌های دستی ذرات به صورت بهم‌ریخته و زاویه‌دار نسبت به هم قرار گرفته‌اند.

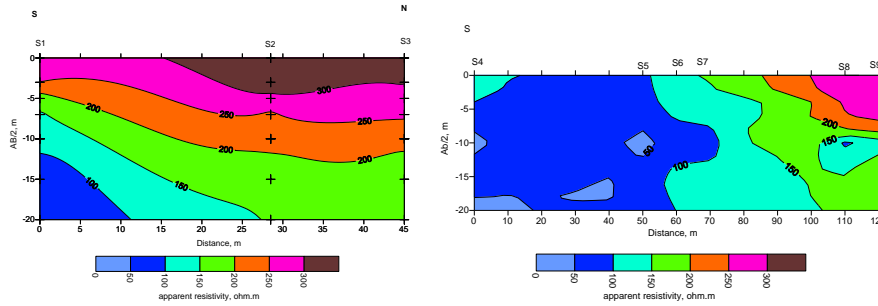
- در مصالح طبیعی و بکر منطقه فرآیند تبلور مجدد بین ذرات پولکی رخ داده است درحالی‌که در خاک‌های دستی منطقه به دلیل نفوذپذیری زیاد و شسته شدن ذرات شاهد تبلور مجدد نیستیم.

- با توجه به مخروط افکنه‌ای بودن منطقه مصالح عمدتاً شنی هستند؛ اما در برخی چاهک‌ها در مرز خاک بکر و دستی یک لایه سیلتی-رسی که محصول ته نشست گل و لای سیلاب‌های فصلی است وجود دارد.



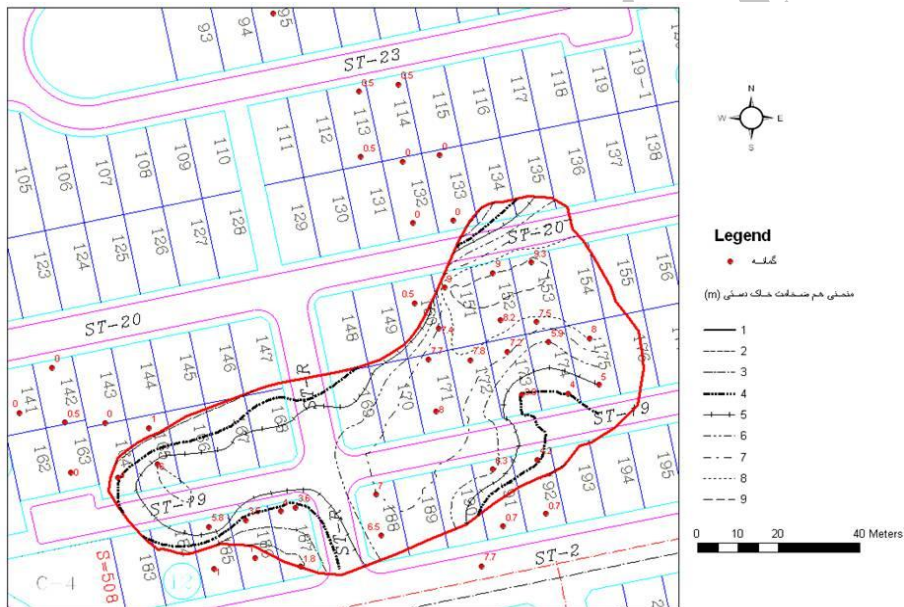
شکل ۵. مسیل و تراس‌های آبرفتی و همچنین موقعیت میله‌های فنوآت در محدوده خیابان اندیشه برای شناسایی وضعیت لایه‌ها و مرز بین خاک‌های دستی و برج‌ها بررسی‌های ژئوفیزیک (روش ژئوالکترونیک) نیز انجام گرفت. در شکل ۶ مقاطع هم‌مقاومت ظاهری مربوط به ۹ سونداژ نشان داده شده است. مقاومت الکتریکی در محدوده خاک دستی کم‌تر از زمین بکر است که دلیل آن را می‌توان قابلیت نفوذ زیاد خاک دستی دانست.

ارزیابی نشست حاصل از تراکم خاک‌های دستی در غرب شهر مشهد



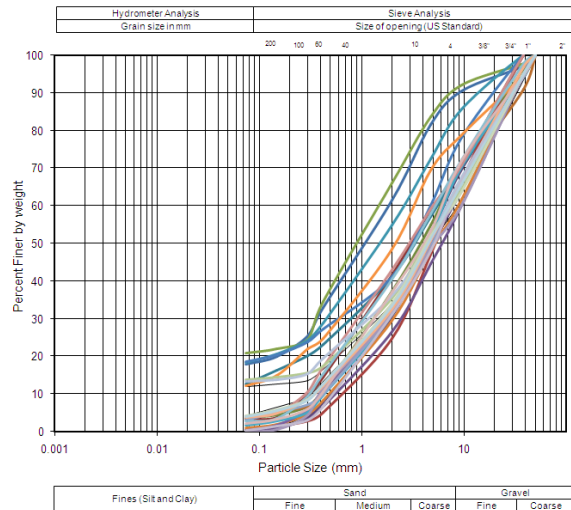
شکل ۶. مقاطع هم مقاومت ظاهری مربوط به ۹ سونداژ الکتریکی در محدوده نشست زمین در خیابان اندیشه

در شکل ۷ منحنی هم ضخامت خاک دستی بر روی نقشه بزرگ مقیاس منطقه همراه با شماره بلوک زمین‌ها براساس پژوهش‌های ژئوتکنیک و نیز انجام ۴ پروفیل ژئوالکتریک تعیین شده نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که بیش از ۵۰ قطعه زمین بر روی خاک دستی قرار دارند که تعدادی از آن‌ها ساخته شده‌اند و با خطر نشست زمین مواجه هستند.



شکل ۷. منحنی هم ضخامت خاک دستی در محدوده بررسی شده

در شکل ۸ منحنی دانه‌بندی و در جدول ۱ چکیده نتایج پژوهش‌های صحرایی و آزمایشگاهی نمونه‌های بررسی شده آمده است. پارامترهای مقاومتی خاک براساس آزمون برش مستقیم بر روی ۳۰ نمونه تعیین گردید که ۱۰ نمونه مربوط به خاک‌های بکر و ۲۰ نمونه از خاک‌های دستی منطقه هستند.



شکل ۸. منحنی دانه‌بندی خاک محدوده بررسی شده

چنان‌که مشاهده می‌شود تمام خاک‌های منطقه اعم از بکر و دستی دارای چسبندگی ناچیز در حد صفر هستند و حداقل مقدار زاویه اصطکاک در خاک‌های دستی ۳۰ درجه و برای خاک‌های بکر ۳۲ درجه است. مقادیر دانسیته خشک در خاک‌های دستی منطقه از ۱/۳ تا ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر است. برای ارزیابی پتانسیل رمبندگی خاک ابتدا نمونه‌های خاک دست‌خورده براساس دانسیته برجا در قالب تراکم بازسازی شده و میزان نشست نمونه بعد از اشباع شدن تحت بار مختلف ۰/۳۵، ۰/۷ و ۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شده است. با توجه به رابطه (۱) ضریب رمبندگی و نشست محاسبه گردیده است.

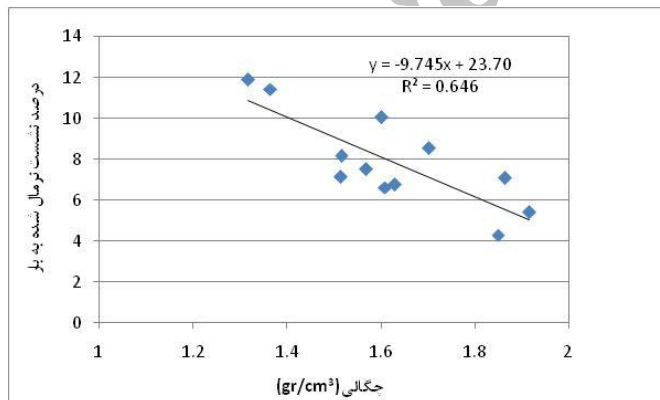
$$C_{col} = \frac{\Delta h}{h} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه Δh تغییر ارتفاع نمونه پس از غرقاب کردن و آزمون نشست و h ارتفاع نمونه قبل از غرقاب کردن است.

در شکل ۹ رابطه بین چگالی در محل و مقادیر متوسط به‌هنگار شده نشست برای خاک‌های دستی ارائه شده است. برای نرمال کردن مقدار نشست بر بار وارده و تقسیم شده است. رابطه این دو پارامتر بدین صورت به‌دست است:

$$\frac{C_{col}}{P} = -9.745\rho + 23.70 \quad \text{رابطه (۲)}$$

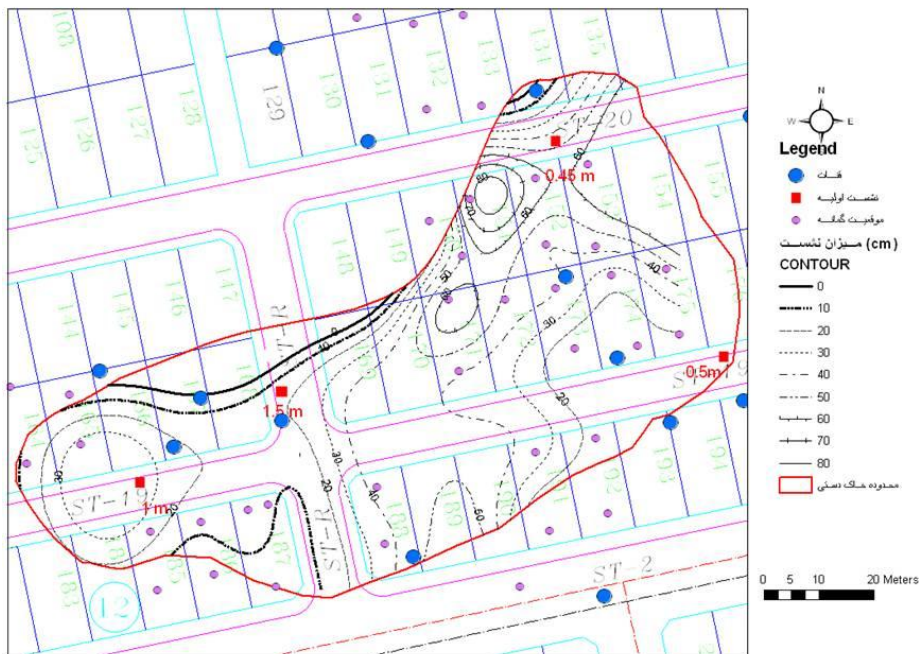
چنان‌که انتظار می‌رود با کاهش دانسیته در محل و افزایش فشار، میزان نشست خاک‌های دستی افزایش می‌یابد. میزان نشست در خاک‌های برجا نیز تابع چگالی در محل است اما پراکندگی داده‌ها خیلی بیشتر از خاک‌های دستی است و مقدار متوسط به‌هنگار نشست ۳/۵ و ۵/۵ سانتی‌متر به‌ترتیب برای خاک‌های بکر با دانسیته بیشتر و کمتر از ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌دست آمده است. با توجه به رابطه بین نشست‌پذیری خاک‌ها و دانسیته و با استفاده از لاگ گمانه‌ها و نتایج آزمایش‌های دانسیته در محل میزان نشست زمین در محل هر یک از گمانه‌ها تعیین شده و منحنی‌های هم نشست در شکل ۱۰ ترسیم شده است. برای این منظور وضعیت لایه‌بندی خاک در محل هر یک از گمانه‌ها مشخص شده سپس بار وارده در مرکز هر لایه با فرض اشباع شدن محاسبه گردید و درصد نشست برآورد شده است. ماکزیمم میزان نشست بالقوه در منطقه برابر با ۷۵ سانتی‌متر است که در محدوده بلوک ۱۵۱ و ۱۵۲ امکان وقوع دارد.



شکل ۹. رابطه بین درصد نشست نرمال شده به بار و دانسیته

جدول ۱. نتایج پژوهش‌های صحرایی و آزمایشگاهی

شماره گمانه	عمق نمونه برداری	رده بندی خاک	شرایط خاک	دانشیه برجا (gr/cm ³)	C (kg/cm ²)	φ (°)	نشست (درصد)		
							0.35 kg/cm ²	0.7 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²
۴	۲	SP	برجا	۱/۶۱	۰/۰۳	۳۲	۰/۳۴	۵/۵	۵/۷
۶	۲	SM	دستی	۱/۵۲	۰/۰۱	۳۴	۲	۶/۸	۹
۶	۶	GP	برجا	۱/۸۴	۰	۳۶/۵	۰/۳	۲/۶	۵
۱۱	۲	SC	دستی	۱/۷	۰	۳۳/۵	۳	۶	۸/۵
۱۱	۶	GP	برجا	۱/۷۲	۰/۰۷	۳۲	۱/۳۵	۷/۴۵	۸
۹	۲	SC	دستی	۱/۶۳	۰	۳۴	۲/۲	۳/۶	۴/۸
۹	۴	GP	دستی	۱/۵۲	۰/۰۱	۳۰	۱	۴/۵	۹/۳
۱۶	۴	SM	دستی	۱/۶۱	۰/۰۳	۳۱	۰/۱۹	۶/۹	۱۰
۱۶	۸	GP	برجا	۱/۶۵	۰	۳۷/۵	۳	۴/۵	۵/۱
۲۲	۹	SW	برجا	۱/۹۹	۰/۰۱	۳۵	۱/۸	۳/۶	۵/۲
۲۴	۶	GP	برجا	۱/۸۱	۰/۰۱	۳۶	۱/۳۵	۲/۵۵	۶/۴
۲۶	۲/۵	SC	دستی	۱/۸۵	۰/۰۳	۳۲	۰/۱۵	۳/۷۵	۵/۵۵
۲۷	۵	GP	دستی	۱/۵۷	۰/۰۱	۳۲	۱/۵	۶/۵	۹
۲۹	۱/۵	SP	دستی	۱/۷۸	۰/۰۳	۳۶	-	-	-
۲۹	۶	GP	دستی	۱/۹۳	۰/۰۲	۳۷	-	-	-
۳۰	۶	GM	دستی	۱/۶۵	۰/۰۱	۳۰	-	-	-
۳۱	۲	SM	دستی	۱/۶	۰	۳۴	۴/۵	۵/۸	۹
۳۱	۴	GP	دستی	۱/۳۲	۰	۳۴	۵	۸/۴	۹/۴
۳۱	۶	SP	دستی	۱/۳۶	۰/۰۱	۳۰	۵/۱	۷/۵	۹
۳۲	۲	GC	دستی	۱/۵۱	۰/۰۳	۳۰	-	-	-
۳۲	۶	SP	دستی	۱/۴۷	۰/۰۱	۳۴	-	-	-
۳۳	۲	GP	دستی	۱/۷۷	۰	۳۴	-	-	-
۳۴	۲	SP	دستی	۱/۸۶	۰	۳۶	۱/۵	۶	۸/۴
۳۵	۶	GM	دستی	۱/۹۲	۰	۳۶	۱/۱	۳/۳	۸/۳
۳۵	۱۰	SW	برجا	۱/۹۸	۰	۳۳	۰/۴	۰/۸	۱/۱
۳۶	۶/۷	GP	دستی	۱/۷۲	۰/۰۱	۳۴	-	-	-
۳۷	۱۰	GW	برجا	۱/۶۸	۰/۰۱	۳۵	۰/۵	۳/۵	۱/۴
۳۹	۲	GP	دستی	۱/۶۷	۰/۰۱	۳۳/۵	-	-	-
۴۱	۲	GW	دستی	۱/۸۹	۰/۰۳	۳۴	-	-	-



شکل ۱۰. منحنی میزان نشست در محدوده خاک دستی در منطقه اندیشه شهر مشهد

نتیجه‌گیری

بررسی حاضر نشان داد که دلیل نشست زیاد زمین در خیابان اندیشه تراکم آبی خاک‌های دستی در اثر ورود فاضلاب خانگی بوده است. براساس پژوهش‌های ژئوتکنیک و ژئوالکترونیک مشخص شود که حداکثر ضخامت خاک دستی ۹ متر است و میزان نشست احتمالی آن با توجه به آزمایش‌های رهمبندگی ۷۵ سانتی‌متر تعیین گردید. میزان خاک دستی و نشست زمین در محل میل قنوات بیش از این مقدار خواهد بود. بررسی عکس‌های هوایی نشان می‌دهد که تمامی محدوده غرب مشهد از جمله امامت، قاسم‌آباد، الهیه در گذشته محل دپوی خاک و نخاله بوده و میل قنات‌های متعددی در آن‌ها وجود دارد لذا مشابه خیابان اندیشه واجد پتانسیل نشست هستند. با توجه به رواج بلند مرتبه‌سازی در غرب شهر مشهد در صورت عدم بررسی دقیق خاک‌های دستی خطر نشست زمین تشدید خواهد شد.

منابع

۱. صالحی ف.، ارزیابی خطر فروریزش قنوات متروکه منطقه ۱۱ شهرداری مشهد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۹).
۲. حافظی مقدس، ن.، گزارش مطالعات زمین‌شناسی مهندسی و نشست منطقه خیابان اندیشه شهر مشهد، سازمان مسکن و شهرسازی خراسان رضوی (۱۳۸۸).
۳. شفیع‌ی، ع.، مطالعه ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک‌های رمنده در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بوعلی سینا، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی (۱۳۸۱).
4. Jennings J. E., Kinght k., "A guide to construction or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain structure", 6th regional conference for Africa on soil mechanics and foundation engineering, Durban, South Africa, September (1975) 99-105.
5. Shelley E. O., Ossa A., Romo M. P., "The sinking of Mexico city: its effects on soil properties and seismic response", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 27 (2007) 333-343.
6. Stramondo S., Bozzano F., Marra F., Wegmuller U., Cinti F. R., Moro M., Saroli M., "Subsidence induced by urbanisation in the city of Rome detected by advanced InSAR technique and geotechnical investigations", Remote Sensing of Environment Vol. 112 (2008) 3160-3172.
7. Rafie B. M. A, Ziaie Moayed R., Esmaeli M., "Evaluation of soil collapsibility potential: A Case Study of semnan Railway Station", EJGE. Vol. 13 (2008) bund.G.
۸. حافظی مقدس ناصر، گزارش طرح پژوهشی احداث تپه مصنوعی با نخاله ساختمانی در شهر مشهد، سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری مشهد (۱۳۸۵).
9. Shabanian E., Bellier O., Siame L. L., Abbassi M. R., Leanni L., Braucher R., Farbod Y., Bourlès D. L., "Active tectonics of the Binalud Mountains, a key puzzle segment to describe Quaternary deformations at the northeastern boundary of the Arabia-Eurasia collision", Geophysical Research Abstracts Vol. 12 (2010).