

ارزیابی و پهنه‌بندی خاک‌های رمبنده شهر سمنان

عبدالحسین حداد^{۱*}، محسن عظیمی^۲، سید محمد حسین خاتمی^۳

- ۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
- ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
- ۳- گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

Email: ahadad@semnan.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۱۲/۰۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۱۲/۲۰]

چکیده

خاک‌های رمبنده دارای ساختار نیمه‌پایدار، نامتراکم و به نسبت پوک هستند. این نوع خاک‌ها ممکن است بر اثر افزایش رطوبت یا اعمال بار بیش‌ازحد معین، تخریب و دچار تغییرشکل یا نشست ناگهانی قابل‌ملاحظه شوند. این خاک‌ها از جمله خاک‌های مشکل‌آفرین‌اند که اگر در زیر سازه‌ها یا در درون سازه‌های خاکی واقع گردند، با ازدیاد رطوبت می‌توانند مشکلات متعددی را به لحاظ پایداری و بهره‌برداری ایجاد نموده، سبب آسیب‌های مالی و جانی گردند. در این مقاله با شناسایی برخی نقاط دارای خاک رمبنده در شهر سمنان و حومه آن اقدام به پهنه‌بندی رمبندگی این منطقه شده است. نقاط مورد مطالعه دارای خاک رمبنده، ابتدا ضمن بازدید و بهره‌گیری از نتایج آزمایش‌های صحرایی مورد شناسایی اولیه قرار گرفته و سپس با انجام آزمایش تحکیم بر روی نمونه‌های دست‌نخورده مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفته‌اند. همچنین ارزیابی پتانسیل رمبندگی نقاط مورد مطالعه تحت معیارهای «جنینگز و نایت» و ASTM D5333 انجام شده است. در مجموع ۱۴۱ نقطه در سطح شهر سمنان و حومه آن مورد مطالعه قرار گرفت که ۲۴ نقطه دارای لایه‌های خاک با پتانسیل رمبندگی شناسایی گردید. از نتایج مقاله حاضر می‌توان در جهت پیش‌بینی و کاهش خطرات مرتبط با ساخت‌وساز در ساختگاه‌های دارای پتانسیل رمبندگی در شهر سمنان بهره جست.

کلمات کلیدی: خاکهای رمبنده، معیار رمبندگی، خاکهای سمنان، پهنه‌بندی

۱- مقدمه

می‌شوند. این پدیده به علت ساختار متخلخل و نیمه پایدار این خاک‌ها است و حاوی ذرات با ابعاد ماسه و لای تا رس باشد. ساختار این نوع خاک‌ها بر اثر افزایش رطوبت تحت اعمال بار ثابت، تخریب و دچار تغییرشکل یا نشست ناگهانی گسترده می‌شوند. خاک‌های رمبنده در صورت قرار گرفتن در زیر سازه یا

خاک‌های رمبنده از جمله خاک‌های مساله‌داری هستند که در حالت خشک از مقاومت و استحکام خوبی برخوردارند اما با افزایش رطوبت و رسیدن به حالت اشباع، دچار فروریزش

شکل ۱. خرابی کانال آب در اثر افزایش رطوبت خاک رمنده [7]



Fig. 1. Water channel failure due to increased soil moisture in collapsible soil [7]

تاکنون پژوهش‌هایی پیرامون پهنه‌بندی خاک‌های رمنده در سطح جهان و ایران انجام شده است. پهنه‌بندی لس‌ها و ارزیابی خواص خاک‌های مناطقی از چین در سال ۱۹۸۱ انجام گردید [8]. در شکل ۲ گستره خاک‌های رمنده ایران نشان داده شده است. مطابق پژوهش امیرسلیمانی (۱۹۸۸) مناطق یزد تا زاهدان، سرخس، زنجان تا قم و دشت سمنان از نقاط محتمل رمندگی در ایران هستند [9]. همچنین در مطالعه جعفرزاده (۲۰۱۴) بر خاک‌های مسئله‌دار شهر بیرجند، رمندگی خاک‌های محدوده شهر بیرجند ارزیابی شده و اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی رمندگی برای شهر مذکور شده است [10].

شکل ۲. گستره خاک‌های رمنده در ایران [9]

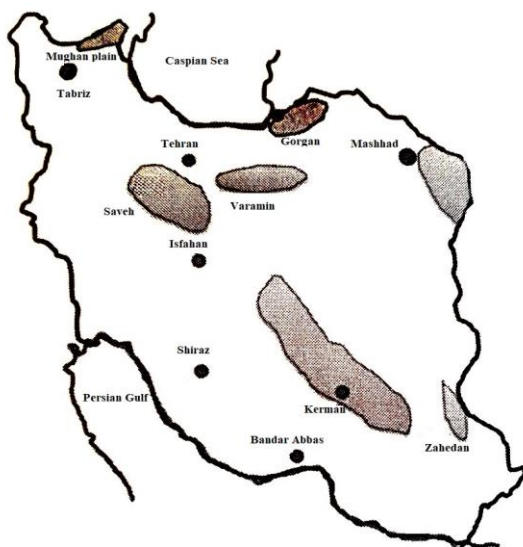


Fig. 2. Extent of collapsible soils in Iran [9]

در درون سازه‌های خاکی قادرند مشکلات متعددی را پس از ناپایداری در ساختار برای سازه‌ها ایجاد نمایند.

کاهش حجم بر اثر افزایش رطوبت در شرایط اعمال مقدار تنش ثابت در نهشته‌های طبیعی خاک‌های سست نیمه‌اشباع و یا خاک‌ریزهای مهندسی‌ساز، رمنش نامیده می‌شود. پتانسیل رمنش یک خاک معین بستگی به درجه پوکی و مقدار رطوبت آن دارد [1]. رمنش زمانی اتفاق می‌افتد که پس از افزایش رطوبت، نیروی تماسی بین ذرات رس یا دانه‌های خاک‌های درشت‌دانه‌تر کاهش پیدا کرده تا حدی که این امر منجر به شکست برشی گردد [2].

زمین‌شناسی منطقه، فرآیندهای رسوب‌گذاری و داده‌های آب‌وهوایی برای شناسایی منطقه دارای خاک‌های رمنده حائز اهمیت است. در صورت وجود جاده‌های محلی، صدمات رسیده به این جاده‌ها نیز به‌عنوان نشانه‌های ژئومورفولوژیک منطقه، کمک زیادی به شناسایی خاک‌های رمنده می‌کند. همچنین در مواردی داشتن اطلاعاتی در مورد تراکم خاک (رطوبت و چگالی خشک خاک حین تراکم) به شناسایی مسئله کمک می‌کند؛ بنابراین اطلاعات جغرافیایی و زمین‌شناسی از یک طرف در تعیین احتمال رمندگی و پتانسیل رمنش بسیار مفید بوده و از سوی دیگر تجربه مهندسی و آشنایی با نحوه ساخت سازه‌ها و شرایط زمین‌شناسی در تعیین ویژگی‌های منطقه، به لحاظ ارزیابی پتانسیل وقوع پدیده رمندگی بسیار ضروری محسوب می‌شوند [3].

نشست ناشی از رمندگی سبب کاهش ظرفیت باربری خاک و ایجاد خسارت‌های متعدد به سازه‌های خاکی یا سازه‌های احداث شده بر روی خاک‌های رمنده می‌گردد. به‌عنوان مثال پدیده رمندگی سبب کاهش ظرفیت باربری خاک‌های نیمه‌خشک ایران گردیده است [4]. همچنین رمنش تأثیر زیادی در تخریب چندین سد خاکی در برزیل، کانادا و آمریکا داشته است [5]. همچنین وقوع نشست خاک‌های رمنده دشت سمنان سبب بروز مشکلات عمده‌ای برای ایمنی راه‌آهن سراسری تهران - مشهد گردیده است [6]. در شکل ۱ نمونه‌ای از خرابی یک کانال انتقال آب بر اثر افزایش رطوبت خاک‌های رمنده زیر و پیرامون آن ارائه شده است [7].

۲- شناسایی خاک های رمنده

بر اساس تحقیقات انجام شده توسط محققان مختلف، برخی از مشخصه های فیزیکی خاک به طور مستقیم با پتانسیل رمنده گی خاک مرتبط بوده و اندازه گیری آن ها ارزیابی پتانسیل رمنده گی را میسر می سازد. این مشخصات فیزیکی شامل موارد زیر هستند [17-19]:

- ۱- دانسیته یا چگالی خشک خاک
- ۲- حدود آتربرگ
- ۳- درصد رطوبت
- ۴- نسبت پوکی
- ۵- درصد مقدار رس
- ۶- درجه تخلخل

تجربیات و تحقیقات مختلف نشان داده اند که دانسیته خشک خاک درجا با پتانسیل رمنده گی آن رابطه معکوس دارد. به گونه ای که هرچه دانسیته خشک کمتر باشد، خاک دارای پتانسیل رمنده گی بیشتر و هر چه دانسیته آن بیشتر باشد، پتانسیل رمنده گی کمتری خواهد داشت [20]. همچنین اکثر خاک های رمنده دارای حد روانی کمتر از ۴۵٪ و دامنه خمیری کمتر از ۲۵٪ هستند [21].

تاکنون روش ها و معیارهای متعددی به منظور شناسایی خاک های فروریزشی توسط محققین ارائه گردیده است [20-17, 22-28]. از بین معیارهای ارائه شده، دو معیار جنینگز و نایت و معیار ASTM D5333 بیشتر مورد توجه و استفاده قرار گرفته اند. دلیل این امر نیز امکان اندازه گیری پتانسیل و یا شاخص رمنده گی خاک مورد مطالعه بطور مستقیم و از طریق انجام آزمایش بر روی نمونه خاک دست نخورده و یا دست خورده معرف می باشد [25]. در ادامه این بخش دو معیار مورد بحث به طور مشروح بیان گردیده است.

۲-۱- معیار جنینگز و نایت

جنینگز و نایت (۱۹۷۸) روشی برای تعیین پتانسیل رمنده گی یک خاک معرفی کردند. پتانسیل رمنده گی را می توان با انجام آزمایش تحکیم بر روی یک نمونه دست نخورده خاک در رطوبت طبیعی تعیین کرد. برای این کار نمونه در حلقه آزمایش

مقابله با خاکهای رمنده محدوده شمال شرق مشهد توسط معروف و بلوری بزاز بررسی شده است. با توجه به محدوده مورد مطالعه بهسازی خاک با آهک بهترین روش پیشنهاد شده است. افزودن آهک به خاک علاوه بر بهبود خواص مقاومتی خاک در کوتاه مدت و بلندمدت، سبب کاهش تورم و کاهش نفوذپذیری می شود [11]. برخی از محققین به بررسی اثر نمک بر رفتار هیدرومکانیکی خاک های رمنده غیر اشباع پرداختند [12]. گاور به بررسی ارتباط پتانسیل رمنده گی با رطوبت اولیه خاک پرداخت و همچنین اثر تراکم رو بر خصوصیات ژئوتکنیکی خاک های رمنده بررسی کرد. یک همبستگی تجربی بین نسبت باربری کالیفرنیا خاک های رمنده و حد روانی ارائه شد [13]. در طی تحقیقاتی اثر pH شیرابه بر میزان فروریزش خاک های رمنده منطقه کلاله استان گلستان دیده شد. نتایج آزمایش های فروریزش نشان می دهند که شیرابه با pH اسیدی باعث افزایش پتانسیل رمنده گی خاک شده و شیرابه با pH بالا رمنده گی کمتری را ایجاد می کنند [14]. باقریه و فارسی جانی رفتار تحکیمی خاک های رسی رمنده در شرایط اشباع و غیر اشباع مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق نمونه های خاک غیر اشباع با توجه به منحنی تراکم، با شرایط اولیه متفاوتی ساخته شدند و تحت بارگذاری در شرایط اذئومتریکی قرار گرفتند و در تنش های اعمالی متفاوتی اشباع شدند. نتایج نشان می دهد که افزایش رطوبت و وزن مخصوص خشک اولیه باعث کاهش پتانسیل رمنده گی در خاک های غیر اشباع می شود [15]. آقا ملایی و همکاران با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی ۵۰ نقطه در شهر کرمان به پهنه بندی پتانسیل رمنده گی خاک های ساختگاه شهر کرمان بر اساس معیار ASTM پرداختند. طبق این مطالعات بر اساس معیار ASTM در بخش های مرکزی شهر خاک ها میزان رمنده گی کم تا متوسطی نشان می دهند. اما در برخی مناطق شهر مانند شهرک مطهری و هفت باغ خاک ها کاملاً حالت رمنده گی از خود نشان می دهند [16]. با توجه به مطالب فوق اهمیت کسب آگاهی از پدیده رمبش، ضرورت شناسایی مناطق دارای پتانسیل رمنده گی و پهنه بندی شدت رمنده گی مناطق خشک و نیمه خشک بیش از پیش نمایان می شود.

تحکیم قرار می‌گیرد و بار با افزایش پله‌ای تا فشار ۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و یا فشار مدنظر بر آن اعمال می‌شود. نمونه به حالت اشباع در آمده و به مدت ۲۴ ساعت به حال خود گذاشته می‌شود. در این آزمایش نسبت‌های تخلخل قبل و بعد از اشباع شدن به دست می‌آیند. حال می‌توان پتانسیل رمندگی (C_p) را به صورت ذیل تعیین نمود.

$$C_p = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_0} = \frac{\Delta e_c}{1 + e_0} \quad (1)$$

که در آن Δe_c تغییرات نسبت تخلخل ایجاد شده تحت اثر غرقاب کردن نمونه و e_0 نسبت تخلخل طبیعی خاک است. همچنین جنینگز و نایت (۱۹۷۵) شدت مشکلات وارده بر پی‌ها در ارتباط با خاک‌های رمنده را به شاخص آن یعنی C_p مرتبط کرده‌اند. کلمنس و فینبار (۱۹۸۱) این موضوع را خلاصه کرده و در جدول ۱ ارائه نموده‌اند. با استناد به جدول مذکور خاک‌هایی با بیش از ۱٪ پتانسیل رمندگی را می‌توان به عنوان خاک نیمه پایدار در نظر گرفت. در صورتی که پی سازه‌ها روی این نوع خاک‌ها قرار گیرند، بروز پدیده رمندگی می‌تواند سبب آسیب‌رساندن به سازه گردد.

جدول ۱. رابطه امکان فروریزی با شدت مشکلات پی [25]

Severity of problem	Collapse potential (%)
No problem	0-1
Moderate problems	1-5
Many problems	5-10
Severe problems	10-20
Very severe problems	Over 20

Table 1. The correlation between the possibility of collapse and the foundation problems [25]

۲-۲- معیار ASTM D5355

روش استاندارد ASTM D5333 برای تعیین شاخص رمندگی (I_e) در تنش ۲۰۰ کیلوپاسکال و یا تعیین پتانسیل رمندگی (I_c) یک خاک تحت تنش مشخص استفاده می‌شود. نحوه عمل این‌گونه است که ابتدا نمونه در حلقه آزمایش تحکیم قرار می‌گیرد. سپس بار نشاننده (اولیه) به مقدار ۵ کیلوپاسکال برای مدت زمان ۵ دقیقه روی نمونه اعمال می‌گردد. در ادامه گیج اندازه‌گیری تغییر شکل نمونه روی صفر تنظیم شده و ادامه

آزمایش مطابق با روش جنینگز و نایت می‌باشد. اگر هدف از انجام آزمایش تعیین (I_e) باشد، باید عمل غرقاب کردن نمونه با استفاده از آب مقطر انجام شود و چنانچه تعیین (I_c) مورد نظر باشد، بر حسب شرایط پروژه یا تغییرات محتمل در مشخصات آب زیرزمینی می‌توان از محلولی غیر از آب مقطر استفاده کرد. حال نمونه به حالت اشباع در می‌آید. مدت زمان لازم برای اعمال بار حدود یک روز یا تا زمانی که تحکیم اولیه به پایان برسد (مطابق با استاندارد D2435) می‌باشد. در صورت لزوم برای تعیین شیب منحنی تغییر شکل بر حسب تنش مطابق با استاندارد D2435 گام‌های بارگذاری ادامه پیدا می‌کند. مقدار تغییر شکل نمونه در فواصل زمانی یادشده قرائت می‌شود. هر گام بارگذاری به مدت یک روز یا تا زمانی که تحکیم اولیه به پایان برسد [29]. در این آزمایش نسبت‌های تخلخل قبل و بعد از اشباع شدن به دست می‌آیند. پتانسیل رمندگی که در روش ASTM D5333 با نماد (I_c) و همچنین شاخص روانی که با نماد (I_e) نشان داده می‌شوند؛ با استفاده از رابطه (۲) تعیین می‌گردد.

$$I_c = I_e = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه Δe تغییرات نسبت تخلخل ایجاد شده تحت اثر غرقاب کردن نمونه و e_0 نسبت تخلخل طبیعی خاک است. با توجه به یک‌بعدی بودن آزمایش می‌توان رابطه ۲ را به شکل زیر نوشت:

$$I_c = I_e = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 \quad (3)$$

در این رابطه Δh تغییر در ارتفاع نمونه ناشی از جذب آب بر حسب میلی‌متر، تغییرات نسبت تخلخل ایجاد شده تحت اثر غرقاب کردن نمونه و h_0 ارتفاع اولیه نمونه بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

لازم به ذکر است در معیار ASTM D5333 شاخص رمندگی (I_e) برای برآورد ویژگی‌های شاخص خاک و یا توصیف درجه رمندگی محتمل خاک تحت شرایط مشخصی به کار می‌رود. از این رو شاخص مذکور قادر به تعیین تاثیر سایر عوامل موثر بر

رمبنده این شهرستان و حومه آن شده است. نقاط دارای لایه‌های خاک رمبنده تحت معیارهای جنینگز و نایت و ASTM D5333 مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

۳- روش تحقیق

در مجموع ۱۴۱ نقطه در محدوده شهر سمنان و حومه آن با انجام آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت. ارزیابی این نقاط منجر به شناسایی مناطق رمبنده محدوده شهر سمنان گردید.

۳-۱- زمین شناسی عمومی سمنان

در شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه سمنان که در آن محدوده شهر سمنان و همچنین نقاط مورد مطالعه نشان داده شده، ارائه شده است. اطلاعات موجود بر نقشه حاکی از تعدد نقاط مورد مطالعه و توزیع متناسب این نقاط است. نقاط رمبنده با شماره مشخص در شکل ۳ نشان داده شده‌اند که در ادامه مقاله خواص این نقاط تشریح گردیده است.

شکل ۳. زمین‌شناسی عمومی شهر سمنان [34]

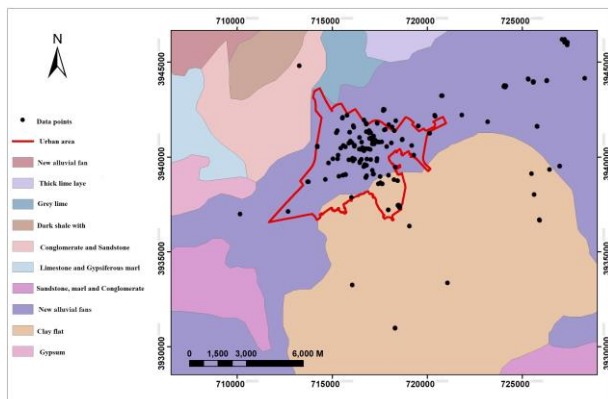


Fig. 3. General geology of Semnan city

همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است حوزه شهر سمنان و حومه آن غالباً بر روی مخروط افکنه‌های جدید و پهنه لومی و رسی قرار گرفته‌اند. لوم یک خاک نباتی است که دارای مقادیر متفاوتی ماسه، سیلت و رس است. در برخی موارد نیز نهشته‌های شهر سمنان را بادرفتها و مخروط افکنه‌ها تشکیل داده‌اند. بادرفتها خاک‌های حمل و رسوب داده شده توسط

پدیده رمبندگی نظیر شرایط ساختگاه، نوع بارگذاری و یا تاثیر خواص شیمیایی آب و خاک نیست. رابطه رده‌بندی شاخص رمبندگی خاک‌ها بر مبنای استاندارد ASTM D5333 در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. رده‌بندی شاخص فروریزش [۲۹]

Degree of collapse	Collapse potential- i_c (%)
None	0
Slight	0.1 to 0.2
Moderate	2.1 to 6
Moderately severe	6.1 to 10
Severe	>10

Table 2. Classification of the collapse index

قابل ذکر است اساس کار و روش انجام آزمایش در هر دو معیار مذکور یکسان می‌باشد، با این تفاوت که هر یک از این معیارها به منظور بررسی شدت مشکلات پی‌ها بر روی خاک رمبنده و به عبارتی به منظور ارزیابی پارامترهای پتانسیل رمبندگی و یا شاخص رمبندگی با امکان فروریزی خاک، جدول مستقل (جدول ۱ و ۲) و مربوط به خود ارائه نموده‌اند. بررسی و مقایسه جداول ارائه شده نشانگر این است که معیار ASTM D5333 در ایجاد همبستگی بین نتایج آزمایش و ویژگی‌های شاخص رفتاری خاک، قدری محتاطانه‌تر برخورد نموده است. امروزه این معیار به دلیل برخورداری از یک روش استاندارد معتبر بین‌المللی جهت اندازه‌گیری پتانسیل رمبندگی خاک‌ها، مورد توجه و استفاده بیشتر محققین و دانش‌پژوهان قرار گرفته است.

شناسایی و پهنه‌بندی مناطق دارای خاک رمبنده، مقابله با مشکل‌آفرینی این نوع خاک‌ها را در ساخت‌وسازها میسر می‌سازد. با توجه به اهمیت پروژه‌ها، شدت رمبندگی و منابع مالی در دسترس می‌توان با استفاده از روش‌های متعددی خاک‌های رمبنده را اصلاح نمود. روش آب‌اندازی [30, 3]، به‌کارگیری ژئوستنتیک‌ها [31]، تراکم [32, 30] و روش‌های جدیدی چون استفاده از نانومواد [33] از جمله روش‌های کنترل و اصلاح خاک‌های رمبنده هستند. در مقاله حاضر با ارزیابی ۱۴۱ نقطه در منطقه سمنان اقدام به شناسایی و پهنه‌بندی مناطق

بیش‌تر از قطعات سنگ درشت‌دانه، قلوه‌سنگ‌های بزرگ تشکیل شده و به تدریج به سمت قاعده شامل دانه‌های شن، ماسه، لای و رس است. مخروط‌افکنه در نواحی خشک و نیمه‌خشک که پوشش گیاهی بیش‌تر به صورت پراکنده است، گسترش زیادی دارد. مخروط‌افکنه‌ها معمولاً در محل خروجی دره به دشت پدید می‌آیند. اگر چند مخروط‌افکنه مجاور با همدیگر به یک دامنه شیب‌دار بریزند تشکیل یک دشت آبرفتی می‌دهند. با توجه به ماهیت تشکیل این خاک‌ها، که عمدتاً در لایه‌های سطحی یافت می‌شود، به این دلیل شناسایی لایه‌های سطحی دارای پتانسیل رمندگی، حائز اهمیت می‌باشد.

۳-۲- ویژگی‌های نقاط مورد مطالعه

از مجموع ۱۴۱ نقطه مورد مطالعه در منطقه سمنان، ۲۴ نقطه دارای لایه‌های خاک با پتانسیل رمندگی شناسایی گردیده است. مختصات و ویژگی‌های نقاط رمنده منطقه سمنان در جدول ۳ ارائه شده است. موقعیت جغرافیایی نقاط مورد مطالعه که در جدول ۳ معرفی شده‌اند، در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول مذکور جنس خاک‌های رمنده در منطقه سمنان عمدتاً از نوع رس و لای و بعضاً از نوع ماسه‌ای می‌باشد. در این مطالعات عمق گمانه‌ها ۱۵ می‌باشد که تا عمق ۸/۵ متری خاک رمنده شناسایی شده است. قابل ذکر است از مجموع ۱۴۱ نقطه مورد مطالعه، اطلاعات ۱۳۶ نقطه توسط آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان سمنان ارائه گردیده و اطلاعات ۵ نقطه دیگر مربوط به پژوهش‌های دانشجویی است [33].

جدول ۳. مختصات و ویژگی‌های نقاط دارای لایه‌های خاک رمنده

Row	Coordinates		Depth of sampling (m)	Soil Classification (uscs)	Layer description
	X(utm)	Y(utm)			
1	716050	3933240	0.5	ML	Silt with sand
2	716019	3937856	3.5	ML	Silt with sand
3	718249	3938790	6	ML	Silt with sand
4	717957	3937195	2	CL	Lean clay with sand
5	720140	3941242	1	ML	Silt with sand
6	720112	3941236	6	ML	Silt
7	719190	3940597	2	ML	Silt with sand

باد می‌باشند، نظیر ماسه‌بادی و نهشته‌های خاکسترهای آتشفشانی. این نهشته‌ها دارای نسبت تخلخل زیاد و وزن مخصوص کم هستند و چسبندگی آن‌ها صفر و یا ناچیز است. چسبندگی ماسه‌بادی به علت ذرات رسی احاطه‌کننده دانه‌های با اندازه لای است که آن‌ها را در حالت غیراشباع در وضعیت تقریباً پایداری نگه می‌دارد. عامل انتقال در این‌گونه رسوبات، باد است. در سواحل اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها، رودخانه‌های بزرگ و بیابان‌ها این رسوبات بر جای گذاشته می‌شود. تپه‌های ماسه‌ای ساحلی و تپه‌های ماسه‌ای صحرایی و بیابانی از جمله این رسوبات هستند. خصوصیات عمومی این رسوبات به شرح زیر است:

- ۱- سنگ‌دانه‌ها ریز هستند.
- ۲- از نظر تراکم، توده خاک سست است.
- ۳- دانه‌ها در اثر حمل و سایش، گرد گوشه شده‌اند.
- ۴- در هر مکان قطر سنگ‌دانه‌ها به هم نزدیک است و تقریباً بافت خاک یکنواخت است.
- ۵- در بسیاری از نقاط بیابانی، این رسوبات به نحوی ته‌نشین می‌شوند که تشکیل خاک‌های رمنده و "مسئله‌ساز" را می‌دهد که در مطالعات ژئوتکنیک و بررسی توانمندی زمین از نظر تحمل بار، باید مورد توجه خاص قرار گیرد و در صورت نیاز و اجبار به استفاده از چنین زمین‌هایی لازم است با روش‌های مهندسی زمین اصلاح و بهینه گردد سپس بارگذاری روی آن صورت گیرد.

با توجه به نقشه زمین‌شناسی شهر سمنان می‌توان گفت نهشته‌های حوزه شهر سمنان نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای هستند که به رسوبات دشت سمنان نیز معروف است. این نهشته‌ها در واقع ته‌نشست‌های بادبزی‌شکلی هستند که به وسیله رودخانه‌ها در محل‌هایی که شیب آن‌ها به‌طور ناگهانی کم می‌شود پدید می‌آیند. هنگامی که آبراهه‌ها از دره‌های پرشیب کوهستان وارد منطقه کم‌شیب و دشت شوند، به دلیل کاهش سرعت آب رسوبات خود را به صورت مخروط‌باز شده‌ای به جا می‌گذارند که مخروط‌افکنه یا مخروط آبرفتی نامیده می‌شود. رأس مخروط‌افکنه به سمت بالادست آبراهه و قاعده آن در پایین دست است. رسوبات مخروط‌افکنه در نزدیک رأس آن‌ها

متعاقب آن طبقه‌بندی نمونه‌های مورد آزمایش بر اساس سیستم طبقه‌بندی یونیفاید انجام شده است. علاوه بر این با استفاده از روابط نسبی، مقدار متوسط چگالی ذرات جامد خاک و دیگر پارامترهای نمونه‌های مورد آزمایش از قبیل نسبت تخلخل، پوکی، درجه اشباع و وزن مخصوص اشباع خاک محاسبه گردیده است.

جدول ۴. آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده برای لایه‌های خاک

رمنده

Test type	Title of test	Number of tests	Reference
Field	Density of Soil in Place	24	ASTM D1556
	Standard Penetration Test	16	ASTM D1586
Laboratory	Sieve analysis	24	ASTM D2478
	Hydrometer analysis	24	ASTM D422
	Liquid limit and Plastic limit	24	ASTM D4318
	Water content	24	ASTM D2216
	Consolidation (Measurement of Collapse Potential of Soils)	24	ASTM D5333
	Specific gravity	24	AASHTO T100

Table 4. In-situ and laboratory tests performed for collapsible soil layers

در پژوهش حاضر، برای تعیین میزان فروریزش خاک از روش استاندارد ASTM D5333 استفاده گردیده است. اساس کار در این استاندارد بر پایه آزمایش تحکیم مضاعف است. برای اندازه‌گیری پتانسیل رمنده‌گی (Ic) خاک معمولاً از نمونه‌های دست‌نخورده استفاده می‌شود. از طرفی با توجه به این‌که خاک‌های رمنده نسبت به روش‌های نمونه‌گیری با آب حساس هستند، نمونه‌گیری لزوماً باید به روش خشک انجام شود. برای تهیه نمونه دست‌نخورده به منظور تعیین وزن مخصوص خشک و امکان فروریزی بسیار باید دقت کرد. در این راستا ارجح این است که از نمونه‌های برش داده شده با دست یا بلوکی (کلوخ) استفاده گردد. دلیل این امر آن است که نمونه‌های به‌دست‌آمده

8	719529	3941625	8.5	ML	Silt with sand
9	719303	3940081	4	ML	Silt
10	713268	3944799	2	ML	Silt with sand
11	725802	3941599	1	CL	Lean clay with sand
12	725786	3941608	2	CL-ML	Silty clay with sand
13	726991	3939505	1.5	CL	Lean clay with sand
14	726991	3939505	1	CL	Lean clay with sand
15	719062	3936352	1	CL-ML	silty clay with sand
16	719529	3941625	8.5	ML	Silt with sand
17	718450	3938740	1	CL-ML	Silty clay
18	721078	3933353	4	CL	Lean clay
19	706589	3935428	3.8	ML	Sandy silt
20	717957	3937195	2	CL	Lean clay with sand
21	726443	3939325	0.8	CL	Lean clay
22	723188	3941844	0.8	CL	Lean clay with sand
23	725631	3938018	0.8	CL-ML	Silty clay with sand
24	725497	3939105	0.8	SC	Clayey sand

Table 3. Coordinates and characteristics of points with layers of collapsible soil

۳-۳- روش ارزیابی نقاط

برای انجام آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی از استانداردهای ASTM و AASHTO استفاده گردیده است. در جدول ۴ انواع آزمایش‌های انجام شده با ذکر شماره استاندارد موردنظر به تفکیک در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی ارائه گردیده است. تعداد آزمایش‌های ارائه شده در جدول مذکور صرفاً مربوط به لایه‌های رمنده می‌باشد.

ابتدا محل‌های مورد مطالعه مورد بازدید اولیه قرار گرفته و پس از آن به‌طور موضعی و دقیق مورد شناسایی قرار گرفته‌اند. در ادامه حفر گمانه و به‌طور هم‌زمان آزمایش‌های درجا توأم با نمونه‌برداری‌های لازم به‌منظور شناسایی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک صورت پذیرفته است.

در بررسی‌های اولیه به منظور کسب اطلاع از مشخصات خاک، آزمایش دانسیته در محل به روش مخروط ماسه انجام شده است. همچنین به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی خاک، آزمایش‌های متداول دانه‌بندی، هیدرومتری، حدود روانی و خمیری خاک بر روی نمونه‌های دست‌خورده انجام گرفته و

شکل ۷. انتقال نمونه دست‌نخورده به داخل حلقه دستگاه تثکیم



Fig 7. Transferring the intact specimen into the ring of the consolidation apparatus.

۴- نتایج و بحث

شماره نقاط یا محل‌های مورد بررسی به منظور ارزیابی پتانسیل رمبندگی در منطقه سمنان توأم با ارائه برخی ویژگی‌ها از لایه‌های خاک رمبنده (نتایج آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی) و همچنین جزئیات نتایج ارزیابی پتانسیل رمبندگی نقاط که تحت دو معیار «جنینگز و نایت» و ASTM D5333 انجام شده، در جدول ۵ ارائه گردیده است. قابل ذکر است امکان سیمان‌تاسیون در بین ذرات خاک وجود دارد. سیمان‌تاسیون می‌تواند از طریق نمک قابل‌حل در آب مثل سیلیکا و آلومینا و کربنات و اکسیدهای آهن ایجاد شود. نمک محلول از طریق لیچینگ آب‌های زیرزمینی در آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک حاصل می‌شود. اشباع شدن نمک‌های چسبنده بین ذرات را حل می‌کند و یا زمانی که ذرات رسی به عنوان چسباننده بین ذرات در اثر اشباع شدن باز می‌شود، چسبندگی تخریب می‌گردد. در این زمان ساختار خاک تحت اثر وزن خود یا سربار در هم فرو می‌ریزد [35].

در شکل ۸ پهنه‌بندی پتانسیل رمبندگی شهر سمنان طبق معیار ASTM D5333 ارائه شده است. همان‌طور که از شکل مذکور استنباط می‌گردد؛ اکثر نقاط سمنان در محدوده عدم وقوع رمبندگی واقع شده‌اند اما نقاطی در شرق و جنوب شهر در محدوده کم تا نسبتاً شدید دارای پتانسیل رمبندگی هستند که لزوم توجه به پدیده رمبندگی در ساخت‌وسازهای این مناطق را پدیدار می‌نماید.

از لوله‌های جدار نازک و یا کرکاتر ممکن است در زمان عملیات نمونه‌گیری فشرده‌تر شوند. بدیهی است در صورت عدم وجود محدودیت خاص، شیوه حفاری دستی مناسب‌ترین روش برای حفر گمانه و اخذ نمونه دست‌نخورده از خاک رمبنده خواهد بود. در شکل‌های ۴ تا ۷ تصاویری از نحوه نمونه‌گیری بلوکی از لایه خاک رمبنده در محل و همچنین اخذ نمونه دست‌نخورده از نمونه بلوکی برش داده شده در آزمایشگاه جهت انجام آزمایش تثکیم مضاعف، نشان داده شده است.

شکل ۴. نمونه دست‌نخورده بلوکی (کلوخ) تهیه‌شده در محل



Fig. 4. In-site intact block sample

شکل ۵. قطعه برش داده شده از بلوک و حلقه نمونه‌گیر جهت اخذ نمونه دست‌نخورده



Fig. 5. Cut piece from obtained in-situ intact sample

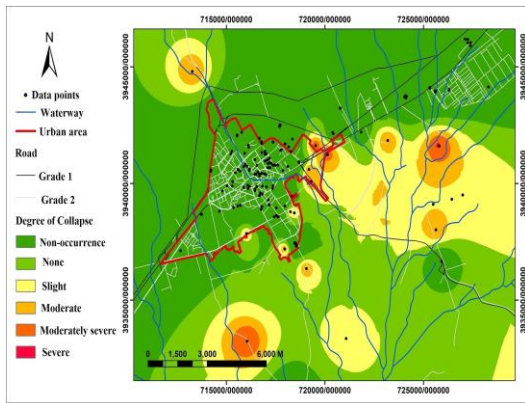
شکل ۶. اخذ نمونه دست‌نخورده با نمونه‌گیر از کلوخ



Fig. 6. Taking an intact sample with a sampler

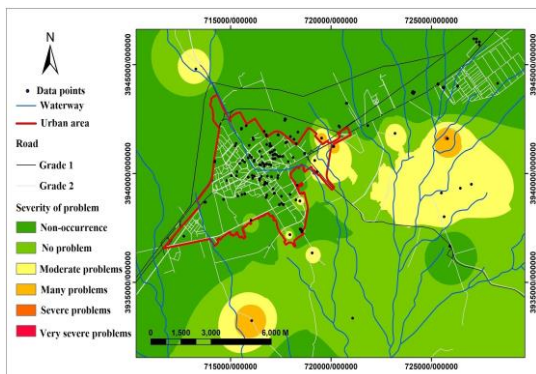
یک از دو معیار ASTM D5333 و جنینگز و نایت نقشه‌های پهنه‌بندی دیگری در مقیاس وسیع‌تر تهیه شده که به ترتیب در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ ارائه گردیده است. همان‌طور که از دو نقشه مذکور برداشت می‌گردد نواحی شرقی، جنوب و جنوب شرقی سمنان که محل عبور راه‌آهن سراسری نیز می‌باشد، در محدوده خطرآفرین زلزله پدیده ریمبندگی واقع شده است؛ بنابراین می‌تواند که در بخش توسعه شهری به اهمیت وجود خاک‌های ریمبند در منطقه سمنان پرداخته شده و روش‌های مقابله با آن و همچنین مشکل آفرینی احتمالی ناشی از احداث پی بر روی چنین خاک‌های مسئله‌داری مدنظر قرار گیرد.

شکل ۱۰. پهنه‌بندی پتانسیل ریمبندگی سمنان و حومه طبق معیار ASTM D5333



شکل ۱۱. Classification of Semnan and suburbs collapsible potential according to ASTM D5333

شکل ۱۱. پهنه‌بندی پتانسیل ریمبندگی سمنان و حومه طبق معیار جنینگز و نایت



شکل ۱۱. Classification of Semnan and suburbs collapsible potential according to J. Jennings, K. Knight

به منظور جمع‌آوری اطلاعات آماری از وسعت و گستره خاک‌های ریمبند از درجات مختلف در سطح منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده (اشکال ۸ الی ۱۱)

شکل ۸. پهنه‌بندی پتانسیل ریمبندگی سمنان طبق معیار ASTM D5333

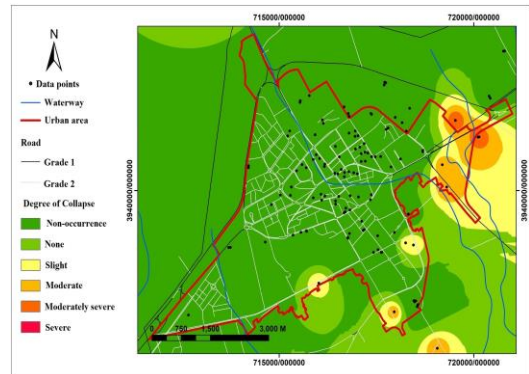


Fig. 8. Classification of Semnan collapsible potential according to ASTM D5333

در شکل ۹ پهنه‌بندی پتانسیل ریمبندگی شهر سمنان طبق معیار جنینگز و نایت ارائه شده است. اطلاعات حاصل‌شده از این نقشه نیز حاکی از وجود لایه‌های خاک ریمبند از درجات مختلف در بخش‌های جنوب و جنوب شرقی شهر سمنان است. مطابق نقشه پهنه‌بندی مذکور محدوده شرق شهر سمنان دارای مشکلات متوسط تا زیاد از لحاظ پی‌سازی بر روی خاک ریمبند است.

شکل ۹. پهنه‌بندی پتانسیل ریمبندگی سمنان طبق معیار جنینگز و نایت

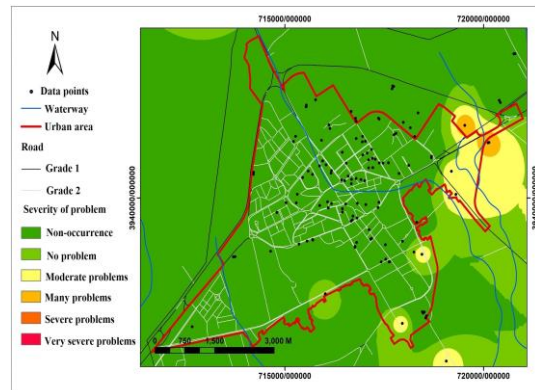


Fig. 9. Classification of Semnan collapsible potential according to J. Jennings, K. Knight

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده مبنی بر پیشروی و وسعت لایه‌های خاک ریمبند در منطقه جنوب شرقی سمنان، همچنین وجود اطلاعات بیشتر از لایه‌های خاک ریمبند در برخی محدوده‌های خارج از شهر سمنان و از طرفی احتمال توسعه شهر در سال‌های آتی و نیز اهمیت عبور خط آهن سراسری تهران- مشهد از محدوده خاک‌های ریمبند در منطقه جنوب و جنوب شرق سمنان، برای شهر سمنان و حومه آن بر طبق هر

مورد بررسی قرار داده شده است. در این راستا مساحت کلیه بخش‌های دارای خاک رمبنده و غیر رمبنده تعیین شده و همچنین درصدگیری (درصد مساحت هر بخش نسبت به مساحت کل منطقه) به شرح ارائه شده در جداول ۶ و ۷ صورت پذیرفته است.

جدول ۵. مشخصات، ویژگی‌ها و ارزیابی پتانسیل رمبندگی نقاط رمبنده منطقه سمنان

Point	Dry density g/cm ³	Water content (%)	Liquid limit (%)	Plasticity Index (%)	S.P.T N	Specific gravity -	Primary void ratio -	Collapse potential (%)	Criterion Jennings & Knight Severity of problem	Criterion ASTM D5333 Degree of collapse
1	1.28	6.0	22	NP	-	2.663	1.082	7.95	Many problems	Moderately severe
2	1.48	6.7	20	NP	11	2.674	0.801	0.67	No problem	Slight
3	1.56	15.1	17	NP	14	2.671	0.712	0.46	No problem	Slight
4	1.49	13.6	24	9	12	2.721	0.825	2.19	Moderate problems	Moderate
5	1.47	3.1	16	NP	-	2.723	0.855	6.52	Many problems	Moderately severe
6	1.51	5.9	18	NP	39	2.696	0.786	4.87	Moderate problems	Moderate
7	1.44	11.1	*	NP	7	2.673	0.856	2.70	Moderate problems	Moderate
8	1.37	13.8	19	NP	15	2.697	0.962	8.66	Many problems	Moderately severe
9	1.44	14.4	*	NP	20	2.687	0.866	2.15	Moderate problems	Moderate
10	1.54	8.6	*	NP	11	2.693	0.748	2.85	Moderate problems	Moderate
11	1.47	6.8	26	10	17	2.711	0.843	4.02	Moderate problems	Moderate
12	1.41	7.1	20	6	16	2.709	0.915	10.65	Severe problems	Severe
13	1.50	12.1	27	11	-	2.668	0.784	1.56	Moderate problems	Slight
14	1.45	12.3	29	13	-	2.675	0.849	1.74	Moderate problems	Slight
15	1.42	11.1	25	9	34	2.663	0.873	2.88	Moderate problems	Moderate
16	1.37	13.8	19	NP	14	2.697	0.962	8.66	Many problems	Moderately severe
17	1.50	16.7	25	7	17	2.694	0.794	1.09	Moderate problems	Slight
18	1.55	16.8	28	10	12	2.666	0.718	0.41	No problem	Slight
19	1.40	7.9	16	NP	25	2.582	0.845	5.12	Many problems	Moderate
20	1.49	13.6	24	9	12	2.721	0.825	2.19	Moderate problems	Moderate
21	1.41	4.2	27	8	-	2.720	0.929	1.80	Moderate problems	Slight
22	1.41	3.8	24	9	-	2.580	0.830	4.92	Moderate problems	Moderate
23	1.40	4.4	28	7	-	5.590	0.850	2.60	Moderate problems	Moderate
24	1.59	3.0	26	10	-	2.60	0.635	0.73	No problem	Slight

*Indeterminable

Table. 5. Characteristics, characteristics and evaluation of the potential collapsible soil in Semnan region

با استفاده از نتایج جدول ۵ می توان نقاط رمنده در شهر سمنان را از حیث رمنندگی با معیار هولتز نیز ارزیابی نمود. معیار هولتز یک معیار ساده است که مهندسان را جهت شناسایی خاک‌های رمنده راهنمایی می‌نماید. طبق این معیار اگر وزن مخصوص خشک به زیر خط حدی کاهش یابد احتمال رمنندگی خاک وجود دارد. به عبارت دیگر با کاهش وزن مخصوص و حد روانی خاک، احتمال وقوع رمنندگی افزایش می‌یابد.

نقاط مورد مطالعه جهت بررسی رمنندگی تحت معیار هولتز ارزیابی گردیده و نتیجه آن در شکل زیر ارائه شده است.

شکل ۱۲. ارزیابی رمنندگی نقاط مورد مطالعه با معیار هولتز

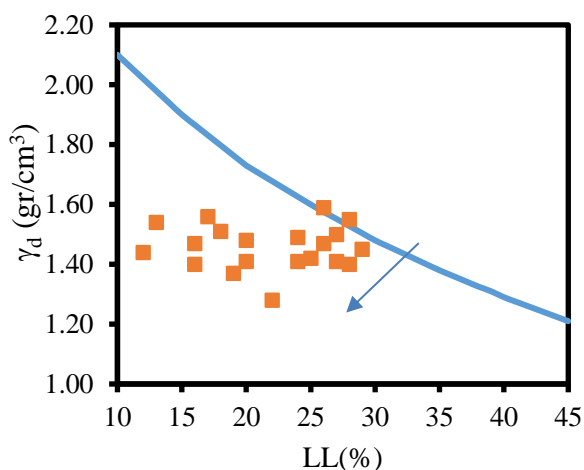


Fig.12. Evaluating the collapsibility of the studied points with the Holtz criterion

همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده است؛ اکثر نقاط در زیر نمودار حدی معیار هولتز قرار گرفته‌اند. بر این اساس برای نقاط مذکور احتمال بروز پدیده رمنندگی (تحت اثر ازدیاد رطوبت و یا اشباع شدن) وجود دارد.

در انتها با استفاده از داده‌های جدول ۵ خواص و ویژگی‌های مختلف لایه‌های دارای خاک رمنده در منطقه سمنان ارزیابی شده است. مطابق نتایج ارائه‌شده در جدول ذیل اعداد SPT مقادیری از حداقل ۷ تا حداکثر ۳۹ را شامل می‌گردد. همچنین لایه‌های خاک رمنده شهر سمنان دارای دانسیته خشک حداقل ۱/۲۸ تا حداکثر ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب و نسبت تخلخل در محدوده ۰/۶۳۵ تا ۱/۰۸۲ نیز از دیگر ویژگی‌های عمومی

بر این اساس وجود خاک‌های رمنده از رده‌های متفاوت در سطح منطقه مورد مطالعه به ویژه در مناطق جنوب، شرق و جنوب شرق شهر سمنان ضرورت توجه به مشکلات ناشی از ساخت‌وساز بر روی خاک‌های رمنده را در برنامه‌ریزی‌های آتی برای توسعه این شهر مشخص می‌نماید.

جدول ۶. مساحت و درصد نواحی سمنان به تفکیک شدت رمنندگی

Degree of collapse/ Severity of problem	Area(km ²)		Percentage	
	ASTM D5333	Jennings & Knight	ASTM D5333	Jennings & Knight
Non- occurrence	70.4	76.8	63.7	69.5
None / No problem	19.7	22.5	17.9	20.3
Slight / Moderate problems	16.3	10.8	14.7	9.8
Moderate / Many problems	3.7	0.4	3.4	0.4
Moderately severe / Severe problems	0.3	0.0	0.3	0.0
Severe / Very severe problems	0.0	0.0	0.0	0.0
	110.5		100.0	

Table 6. Area of Semnan region with collapsible soils

جدول ۷. مساحت و درصد نواحی سمنان و حومه به تفکیک شدت رمنندگی

Degree of collapse/ Severity of problem	Area(km ²)		Percentage	
	ASTM D5333	Jennings & Knight	ASTM D5333	Jennings & Knight
Non- occurrence	142.1	161.1	45.2	51.3
None / No problem	100.3	115.3	31.9	36.7
Slight / Moderate problems	57.0	34.0	18.1	10.8
Moderate / Many problems	12.1	3.8	3.8	1.2
Moderately severe / Severe problems	2.8	0.0	0.9	0.0
Severe / Very severe problems	0.0	0.0	0.0	0.0
	314.3		100.0	

Table 7. Area of Semnan and suburbs region with collapsible soils

۶- تشکر و قدردانی

در خاتمه از همکاری آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان سمنان که با ارائه اطلاعات و برخی کمک‌های آزمایشگاهی ما را در تهیه این مقاله یاری نمودند، صمیمانه سپاسگزاریم.

مراجع

- [1] Y. Reznik, 2000. Engineering approach to interpretation of oedometer tests performed on collapsible soils. *Engineering geology*, 57(3), 205-213.
- [2] J.H. Pereira, D.G. Fredlund, 2000. Volume change behavior of collapsible compacted gneiss soil. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 126(10), 907-916.
- [3] S. Houston, W. Houston, C. Lawrence, 2002. Collapsible soil engineering in highway infrastructure development. *Journal of transportation engineering*, 128(3), 295-300.
- [4] H. Rahimi, 2000. Limitation of irrigation canal construction on problematic soils, in: Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, Workshop on Limitations and Approaches of Irrigation Canals Construction, Report.
- [5] E.C. Lawton, R.J. Fragaszy, J.H. Hardcastle, 1991. Stress ratio effects on collapse of compacted clayey sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(5), 714-730.
- [6] B. Rafie, R.Z. Moayed, M. Esmaeli, 2008. Evaluation of soil collapsibility potential: A case study of Semnan railway station. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 13, 1-7.
- [7] M. Ramdzan, 2009. Effect of moisture content on collapsibility rate at Gambang Residual Soil. University Malaysia Pahang. (Thesis)
- [8] Z. Lin, W. Liang, 1982. Engineering properties and zoning of loess and loess-like soils in China. *Canadian Geotechnical Journal*, 19(1), 76-91.
- [9] T. Amirsoleymani, 1988. A fundamental approach to evaluate the behavior of collapsible soil. *International conference on engineering problem of regional soils*, Beijing, China.
- [10] G. Jafarzadeh-maivan, 2014. Geotechnical Zoning and Analysis of Problematic Soils of Birjand, Islamic Azad, Zahedan. (In Persian)

لایه‌های خاک رمنده خاک منطقه سمنان هستند. محدوده‌های ارائه‌شده برای ویژگی‌های مختلف خاک خصوصاً دانسیته کم، درصد رطوبت کم و N_{SPT} پایین که در جدول زیر ارائه شده در کنار دیگر تجارب کارشناسان برای تشخیص لایه‌های بادرقتی، از جمله عوامل اولیه تشخیص و محتمل بودن بروز پتانسیل رمنندگی در خاک تحت اثر ازدیاد رطوبت می‌باشد.

احتمال رمننده بودن بادرقت

جدول ۸. برخی ویژگی‌های خاک‌های رمننده منطقه سمنان

Maximum	Minimum	Property
29	NP	Liquid Limit(%)
13	NP	Plasticity Index(%)
39	7	N_{SPT}
1.70	1.28	Dry density (g/cm ³)
16.8	3.1	Water content(%)
2.72	2.58	Specific gravity
1.082	0.635	Primary void ratio

Tablev8. Some properties of collapsible soils in Semnan region

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با ارزیابی ۱۴۱ نقطه در محدوده شهر سمنان، ۲۴ نقطه دارای پتانسیل رمنندگی شناسایی شد. ارائه نقشه‌های پهنه‌بندی رمنندگی می‌تواند راهنمای خوبی برای شناسایی موقعیت خاک‌های رمننده بوده و همچنین از منظر چگونگی مقابله با خاک‌های رمننده توسط طراحان سازه‌ها و مجریان دست‌اندرکار در امر ساخت‌وساز، مورد بهره‌برداری قرار گیرد. لذا در این مقاله اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی برای شهر سمنان شد. ارزیابی پتانسیل رمنندگی نقاط مورد مطالعه سمنان منجر به نتایج ذیل گردید:

نواحی شرقی شهر سمنان دارای نقاطی با مشکلات شدید از لحاظ پتانسیل رمنندگی است. نواحی جنوب شرقی حومه این شهر در پهنه وسیعی دارای لایه‌های خاک رمننده است. از همین رو ضروری است که در توسعه احتمالی شهر در سال‌های آتی به این مسئله توجه ویژه‌ای شود. همچنین حدود ۲۲/۸٪ مساحت شهر سمنان و حومه آن دارای لایه‌های خاک رمننده با شدت رمنندگی به میزان کم تا متوسط و نسبتاً شدید هستند.

- [23] N. Denisov, 1951. The engineering properties of loess and loess loams, Gosstroilzdat, Moscow, 3,18-19.
- [24] B. Markin, 1969. Discussion on standard criteria of Sag in Loess soils. *Soil Mechanics and Foundations Engineering*, 137(2).
- [25] J. Jennings, K. Knight, 1975. A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to "Collapse" of grain structure.
- [26] T. Ayadat, B. Belouahri, 1996. Influence du coefficient d'uniformité sur l'amplitude et le taux d'affaissement des sols, *Revue française de géotechnique*, (76).
- [27] A. Haddad, S. Khodaian, 2002. Collapse potential of Semnan soils. in: *Third Iranian international conference on geotechnical engineering and soil mechanics*, tehran,
- [28] T. Ayadat, A. Hanna, 2007. Identification of collapsible soil using the fall cone apparatus.
- [29] ASTM, D5333," Standard Test Method for Measurement of Collapse Potential of Soils" ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [30] K.M. Rollins, G.W. Rogers, 1994. Mitigation measures for small structures on collapsible alluvial soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(9), 1533-1553.
- [31] H. Alawaji, 2001. Settlement and bearing capacity of geogrid-reinforced sand over collapsible soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 19(2), 75-88.
- [32] A.D. Pengelly, D.W. Boehm, E. Rector, J.P. Welsh, 1997. Engineering experience with in-situ modification of collapsible and expansive soils. in: *Unsaturated Soil Engineering Practice, ASCE*, 277-298.
- [33] B. Iranpour, A. Haddad, 2016. The influence of nanomaterials on collapsible soil treatment, *Engineering Geology*, 205, 40-53.
- [34] M. Haddadan, A. Afsharian zade, Z. Chiachi, 1994. Semnan Geological Map, in, Geological Survey of Iran.
- [35] H. Rahimi, N. Abbasi, 2016. geotechnical engineering problematic soils, Tehran university, Tehran. (InPersian)
- [11] Marouf, M.A., Bolouri bazaz, J.,2015. Remediation and improvement of collapsible soils. *Journal of Engineering Geology*(In Persian)
- [12] AkbariGarakani, A, S.Haeri, M., YazdaniCherati, D., AhmadiGivi, F., KabiriTadi, M., Hashemi, A.H., Chiti, N., Qahremani, F., 2018. Effect of road salts on the hydro-mechanical behavior of unsaturated collapsible soils. *Transportation Geotechnics*, 17(A), 77-90.
- [13] Khaled E. Gaaver, 2012. Geotechnical properties of Egyptian collapsible soils. *Alexandria Engineering Journal*, 51, 205-210.
- [14] M.A. Khodabandeh M. Keramati S.M. Hosseini S. Nokandeh, 2019. Effect of Leachate pH on the Collapse Potential and Shear Strength Parameters of Collapsible Soils. *Amirkabir J. Civil Eng.*, 51(1), 15-18. (In Persian)
- [15] A.R. Bagherieh, A. Farsijan I, 2015. con solidatin behavior of collapsible clayey soils in saturated and unsaturated conditions. *sharif J. Civil Eng*, 2(32), 43-54. (In Persian)
- [16] Aghamolayi, I., Lashkaripour, Gh., ghafouri, M., hafezi moghdas, N., 2019. Investigating the engineering characteristics of Kerman's soils and the factors affecting their collapsibility. *Journal of Engineering Geology*. (In Persian)
- [17] H. Gibbs, J. Bara, 1962. Predicting surface subsidence from basic soil tests, in: *Field Testing of Soils*, ASTM International.
- [18] J. Feda, Colloidal activity, 1964. shrinking and swelling of some clays. *Proceedings of soil mechanic*.
- [19] R.L. Handy, 1973. Collapsible loess in Iowa. *Soil Science Society of America Journal*, 37(2), 281-284.
- [20] W.A. Clevenger, 1958. Experiences with loess as foundation material. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 123(1), 151-169.
- [21] J.H. Dudley, 1970. Review of collapsing soils. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div*, 97(SM1).
- [22] Y. Abelev, 1948. The essentials of designing and building on microporous soils, *Stroitel'naya Promyshl'mast*, 10.

Evaluation and Zonation of Collapsible Soils in Semnan

A. Haddad¹, M. Azimi², S.M.H.Khatami³

- 1- Associate professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan 35195-363, Iran
- 2- M.Sc. of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan 35195-363, Iran
- 3- Department of Civil Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

ahadad@semnan.ac.ir

Abstract

As we all know that in engineering we have many types of soils and we consider and describe them based upon their properties and characteristics. One of these types of soils that is very important to be described and categorized is the collapsing soil. Collapsible soils are widely distributed in most parts of the world. Collapsible soil has a semi-stable, non-compacted, and relatively porous structure. Collapsible soils are particular types of unsaturated problematic soils, which possess open and meta-stable structure, low dry density (less than 16 kN/m³), low initial degree of saturation and high initial void ratio. Generally, collapsible soil is usually associated with any change that might take place in the groundwater or surface water. In contrast to consolidation, where the reduction in void ratio is the result of the time-dependent expulsion of pore water, the settlement of a collapsing soil is more or less immediate and occurs upon the intake of moisture by the soil. These types of soils become damaged and experience noticeable deformation or sudden settlement due to increased moisture or excessive loading. The strength and stress-strain parameters, and in general, the behavior of collapsible soils are deeply dependent on the water content of the soil. The collapsible behavior of these types of problematic soils has caused numerous damages to transportation infrastructures (e.g., roads, pavements, railways, airports...). This type of soils is categorized as problematic soils that, if they are placed under structures or inside the earth structures, can cause many problems in terms of stability and operation and cause financial and life losses. The risk of constructing structures on collapsible soils presents significant challenges to geotechnical engineers due to sudden reduction in volume upon wetting. Identifying collapsible soils when encountered in the field and taking the needed precautions should substantially reduce the risk of such problems usually reported in buildings and highways. The greatest problem with collapsible soil arises when the existence and extent of the collapse potential are not well recognized before the construction. Therefore, the identification and evaluation of collapsible soils in the Semnan city have been evaluated in this article. Since the recognition of soil behavior in the short and long terms is an important factor for predicting the necessary measures in the stability of structures, in the present study, after collecting geotechnical data from 141 locations in different regions in cooperation with the soil mechanic and technical laboratory of Semnan province, it is attempted to evaluate and zone the collapsible soils in Semnan city. The studied points were examined using field experiments and also by the help of consolidation test. Investigation of being problematic and the collapsibility of the collapsible points have been performed using the "Jennings and Knight" and "ASTM D5333" criteria. In addition, by examining a number of points with different criteria of collapsibility, it has been possible to compare between the different evaluation criteria of the collapsibility potential. Collecting geotechnical data from 141 locations in Semnan city, 24 points with collapsibility potential were identified. The novel result of present study is an effective step to reduce the risks related to construction on the sites having collapsibility potential in the Semnan.

Keywords: Collapsible Soils, Collapsibility Criteria, Semnan Soils, Zonation