



بررسی علل گسیختگی زمین در دشت نیشابور و ارتباط آن با رمبندگی خاک

بهروز سعیدان^۱، حمید فتحی شوب^۲

۱- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، موسسه آموزش عالی صنعتی مازندران، ایران

shadmehrbond@gmail.com

hamidshoob.1987@gmail.com

خلاصه

طی دو دهه اخیر نشست و گسیختگی زمین در دشت نیشابور سبب ایجاد مشکلات عمده‌ای برای کشاورزان منطقه و نگرانی اهالی روستاهای این منطقه شده است. بزرگترین و بارزترین گسیختگی در نزدیکی روستای توننده‌جان و بازوبند در فاصله حدود ۶-۵ کیلومتری جنوب شهر فیروزه قابل رویت می‌باشد که عمق این گسیختگی در بعضی نقاط به بیش از چندین متر می‌رسد. از جمله فرضیات ایجاد این گسیختگی‌ها می‌توان به دو عامل افت سطح آب زیرزمینی و رمبندگی خاک منطقه اشاره کرد. در این تحقیق به منظور بررسی قابلیت رمبندگی خاک منطقه، دو گمانه در نزدیکی روستای بازوبند و در نزدیکی گسیختگی مذکور حفر شده و از آنها نمونه‌گیری شد. طبق آزمایش‌های انجام شده خاک منطقه بر اساس طبقه‌بندی متحد در گروه خاک‌های ML قرار گرفته و وزن واحد حجم بدست آمده برای این خاک‌ها از ۱/۶۵ تا ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر است. بررسی نتایج آزمایش‌ها و مقایسه آنها با معیارهای ارزیابی قابلیت رمبندگی نشان داد که خاک منطقه مذکور مسئله‌دار بوده و به لحاظ رمبندگی در محدوده خاک‌هایی با رمبندگی متوسط تا زیاد قرار دارد.

کلمات کلیدی: نشست زمین، گسیختگی، رمبندگی، مسئله‌دار

۱. مقدمه

خاک‌های رمبند یا فروریزی به خاک‌هایی اطلاق می‌شوند که تحت تنش یکسان و با افزایش رطوبت، کاهش حجم بسیار زیادی از خود نشان می‌دهند. پدیده رمبندگی پدیده‌ای برگشت ناپذیر است که باعث تغییر ساختار خاک می‌شود. خاک‌های رمبند از دانسیته پایین و متخلخل بالایی برخوردار هستند. اکثر خاک‌های رمبند طبیعی بادرفت هستند و نهشته‌های لسی از مهمترین خاک‌های رمبند به‌شمار می‌آیند. لس‌ها نهشته‌هایی شل با درصد ذرات سیلتی بالا، فاقد دانه‌بندی، متخلخل و نفوذپذیر هستند که کانی اصلی تشکیل دهنده‌ی آنها کوآرتز می‌باشد [۱]. رنگ لس‌ها بدلیل ذرات پراکنده لیمونیت زرد نخودی می‌باشد. از نظر ترکیب دانه‌بندی، لس‌ها را می‌توان به لس‌های حقیقی، شبه لس‌ها و لس‌های ماسه‌ای تقسیم‌بندی کرد [۲]. خاک‌های رمبند بیشتر در مناطق خشک با فصل بارش کم یافت می‌شوند، از این رو بیشتر خاک‌های مناطق بیابان مرکزی ایران مستعد رمبندگی هستند.

۲. زمین‌شناسی و موقعیت منطقه مورد مطالعه

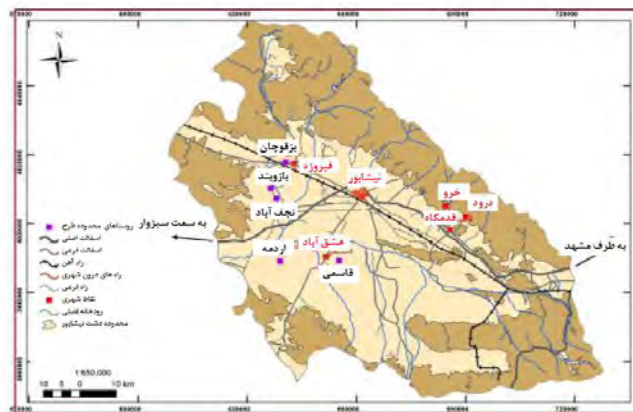
شهرستان نیشابور در حد فاصل مدار ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه و طول جغرافیای ۵۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه قرار گرفته و از شهرستان‌های شمالی استان خراسان رضوی می‌باشد. شهرستان نیشابور، از شمال با شهرستان قوچان، از شرق با چناران و مشهد و از جنوب با تربت حیدریه و کاشمر مرتبط است و در مسیر جاده ابریشم و مسیر ترانزیتی تهران-مشهد-افغانستان واقع می‌باشد.

دشت نیشابور با روند جنوب شرقی - شمال غرب بخشی از حوضه آبریز نیشابور می‌باشد. شهر تاریخی نیشابور تقریباً در مرکز حوضه و در این دشت قرار دارد. با توجه به تقسیمات زمین‌شناسی ایران، محدوده مورد مطالعه در گستره یال جنوبی ساختار زمین‌شناسی بینالود و حد شمال شرقی زون مثلثی شکل ایران مرکزی واقع شده است. چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده با رخنمون کالک شیبست و کالک فیلیت‌های منتسب به لایه‌های شورم متعلق به پرکامبرین و کوآرتزیت و آهک‌های با تبلور مجدد متعلق به پالئوژئیک واقع در شمال دشت شروع شده و به آبرفت‌های کوآرتز، پهنه‌های رسی



و شنی و رسوبات بستر ختم می‌گردد. نهشته‌های عمدتاً آبرفتی و بعضاً بادرفتی کوارتز در بخش مرکزی حوضه گسترش دارد و در مجموع با وسعت ۳۸۵۸/۲۶ کیلومتر مربع، ۵۲/۶۴ درصد مساحت آن را پوشش می‌دهد. این نهشته‌ها شامل تراس و آبرفت‌های قدیمی، مخروط افکنه‌ها و آبرفت‌های جدید، تپه‌های ماسه‌ای، پهنه‌های رسی و رسوبات بستری می‌باشد [۳].

راه دستیابی به محل گسیختگی‌ها از طریق جاده اصلی و آسفالت نیشابور - سبزوار میسر می‌باشد. سپس با طی مسافت حدود ۱۶ کیلومتر از طریق جاده قدیمی نیشابور به سبزوار به شهر فیروزه می‌رسیم. روستاهای بازوبند و توزندجان کهنه و نو نیز در فاصله ۶-۵ کیلومتری جنوب شهر فیروزه واقع شده است. در شکل ۱، نقشه راه‌های دسترسی در حوضه آبریز و دشت نیشابور و همچنین موقعیت روستاهای بازوبند، اردمه و قاسمی در نزدیک محل نشست زمین و ایجاد گسیختگی‌ها در غرب و جنوب نیشابور نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه مسیر دسترسی به منطقه مورد مطالعه

۳. طرح مسئله

طی سال‌های اخیر نشست‌ها و گسیختگی‌هایی در دشت نیشابور مشاهده شده است (شکل ۲). از جمله دلایل احتمالی ایجاد این گسیختگی‌ها می‌توان به رمبنده بودن خاک منطقه و افت سطح آب زیرزمینی اشاره کرد. در سال ۱۳۸۷ کمیته تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی ارتباط نشست زمین در دشت نیشابور بر اثر افت سطح آب زیرزمینی را بررسی کرد. نتایج حاصل از این تحقیقات افت شدید سطح آب زیرزمینی در بعضی مناطق را نشان می‌دهد. با توجه به این موضوع برای بدست آوردن اطلاعات دقیقتر و ارزیابی قابلیت رمبندگی خاک منطقه مورد نظر، بازدید صحرایی از محل صورت گرفت و دو گمانه کم عمق، یکی عمود بر امتداد گسیختگی و دیگری در کنار آن حفر گردید (شکل ۳). از هر گمانه یک نمونه دست نخورده به روش بلوکی (شکل ۳) اخذ و به آزمایشگاه منتقل شد. طی مطالعات آزمایشگاهی متعدد، نتایجی حاصل شد که در ادامه مورد بحث قرار گرفته است.



شکل ۲- گسیختگی مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه

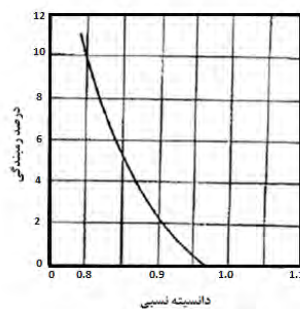


شکل ۳- نمونه گیری به روش بلوک دست نخورده

۴. عوامل موثر بر رمبندگی خاکها

الف- دانسیته نسبی خاک

بر اساس شکل ۴، هرچه میزان دانسیته نسبی خاک کمتر شود میزان رمبندگی آن بیشتر خواهد شد [۴].



شکل ۴- تاثیر دانسیته نسبی بر میزان رمبندگی [۴]

ب- دانه بندی و نوع ذرات خاک

برای خاک‌هایی با درصد معین از ذرات رس، هرچه نسبت ذرات ماسه بیشتر از ذرات سیلت باشد مقدار رمبندگی بیشتر خواهد بود [۵]. حداکثر میزان رمبندگی زمانی اتفاق می‌افتد که خاک ماسه‌ای دارای مقدار رس نسبتاً پایینی باشد [۵]. در صورتی که در خاک‌های سیلتی یا ماسه‌ای، ذرات رسی وجود نداشته باشد، خاک‌های ماسه‌ای رمبندگی کمتری نسبت به خاک‌های سیلتی خواهند داشت و در حالتی که خاک فاقد رس باشد و نسبت‌های مساوی از ماسه و سیلت داشته باشیم حداکثر رمبندگی رخ خواهد داد [۶].

پ- عامل چسبندگی خاک

عوامل چسبندگی خاک می‌توانند ذرات سیلتی، باندهای رسی، کربنات کلسیم، اکسید آهن، املاح با درجه انحلال بالا و مواد آلی باشند. در حالتی که



خاک شامل ذرات ماسه با باندهای سیلتی است مقاومت خاک ناشی از نیروی کششی حاصل از موئینگی است [۶]. طبق نظریه دمجان در سال ۱۹۵۲ اگر عامل چسبندگی ذرات از جنس کربنات کلسیم باشد بیشترین میزان رمبندگی و در حالتی که چسبندگی شیمیایی باشد کمترین میزان رمبندگی اتفاق می افتد همچنین اگر عامل چسبندگی نیروی حاصل از موئینگی باشد رمبندگی سریعتر اتفاق می افتد [۶].

ت- تاثیر دست خوردگی نمونه

بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده در دهه های گذشته، روش نمونه گیری تاثیر اساسی در رفتار خاک های رمبنده دارد. بررسی های میلوویچ در سال ۱۹۸۸ بین نمونه های لس اخذ شده توسط نمونه گیرهای پیستونی و نمونه های بلوکی دست نخورده نشان می دهد که تحت تنش یکسان نمونه اخذ شده توسط نمونه گیر پیستونی کرنش بیشتری از خود نشان می دهد و این نشانگر تاثیر دست خوردگی در رفتار خاک های رمبنده دارد [۷].

ت- عمق نمونه گیری

بر اساس مطالعات لین و یانگ در سال ۱۹۸۸ خاک های رمبنده در اعماق کم، تحت تنش ناچیز و تحت سربار خود و نیز در اثر مرطوب شدن به علل مختلف، دچار رمبندگی می شوند و بر همین اساس به ازای افزایش عمق قابلیت رمبندگی کاهش یافته و امکان رمبندگی در اعماق بیشتر تحت تنش بالاتری امکان پذیر است [۸].

ث- تاثیر تغییرات رطوبت خاک

تغییرات مداوم رطوبت خاک، قابلیت رمبندگی آن را افزایش می دهد [۹].

۵. معیارهای ارزیابی رمبندگی خاک

الف- معیار معیار ابلف، ۱۹۴۸

ابلف ضریب رمبندگی δ_s را برای ارزیابی قابلیت رمبندگی خاک ارائه کرد. بر همین اساس در صورتی که این ضریب طبق رابطه زیر بزرگتر از ۲ باشد خاک رمبنده محسوب می شود [۱۰].

$$\delta_s = \frac{\Delta e}{1 + e_t} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه فوق Δe ، کاهش نسبت تخلخل خاک بعد از اشباع شدن و e_t ، نسبت تخلخل خاک قبل از مرطوب شدن می باشد.

ب- معیار کلونجر، ۱۹۵۹

کلونجر معیاری برای ارزیابی رمبندگی خاک ها بر اساس چگالی خشک ارائه نمود که بر اساس آن اگر چگالی خشک خاک کمتر از ۱/۲۸ گرم بر سانتی متر مکعب باشد، در این صورت خاک مستعد نشست قابل ملاحظه ای است. از طرف دیگر، اگر چگالی خشک بیش از ۱/۴۴ گرم بر سانتی متر مکعب باشد، در این صورت مقدار رمبندگی باید کم باشد و در چگالی متوسط، نشست ها حالت بینابینی دارند [۷].

پ- معیار گیبس و بارا، ۱۹۶۲

گیبس و بارا در سال ۱۹۶۲ استفاده از وزن واحد حجم خشک و حد روانی را به عنوان معیاری برای تفکیک انواع خاک های رمبنده و غیر رمبنده پیشنهاد



نمودند. روش آنها بر این فرض استوار است که خاکی که میزان فضای خالی آن گنجایش درصد رطوبت حد روانی خاک را در حالت اشباع دارد مستعد رمنبندگی در اثر اشباع شدن است. معیار مذکور تنها هنگامی معتبر است که خاک سیمانی نشده باشد و نیز حد روانی بالای ۲۰ درصد باشد [۱۱].

ت- معیار دنیسف، ۱۹۶۴

دنیسف در سال ۱۹۶۴ از نسبت تخلخل e به e_{II} برای تعیین رمنبند بودن خاک استفاده کرده است. در این معیار e نسبت تخلخل خاک در حالت طبیعی و e_{II} نسبت تخلخل در حالت روانی است. هرگاه این نسبت بزرگتر از ۱ باشد خاک رمنبند محسوب می‌شود [۱۲].

ث- معیار فدا، ۱۹۶۶

فدا در سال ۱۹۶۶ شاخص رمنبندگی i_c را برای ارزیابی قابلیت رمنبندگی معرفی کرد. وی همچنین پیشنهاد کرد که خاک باید پوکی بحرانی بزرگتر مساوی ۴۰ درصد داشته باشد. پوکی بحرانی، عبارتست از مقدار پوکی که خاک به ازای مقدار پوکی بیشتر از آن مستعد رمنبندگی خواهد بود. وی همچنین پیشنهاد کرد که بار اعمال شده باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا موجب رمنبندگی ساختاری خاک به هنگام اشباع شدن باشد. همچنین وی چنین نتیجه‌گیری نموده است که هرگاه شاخص رمنبندگی i_c بزرگتر از ۰/۸۵ باشد، آنگاه خاک نیمه پایدار است [۱۳].

$$i_c = \frac{w - PL}{\frac{Sr}{PI}} \quad (2)$$

در رابطه فوق w ، درصد رطوبت طبیعی خاک، Sr ، درجه اشباع خاک، PL ، حد خمیری خاک و PI ، شاخص خمیری خاک می‌باشد.

ج- معیار هندی، ۱۹۷۳

هندی در سال ۱۹۷۳ استفاده از نسبت حد روانی به درصد رطوبت خاک در حالت اشباع را برای تعیین رمنبندگی خاک پیشنهاد نمود. خاک‌هایی که در آنها نسبت مذکور کمتر از یک باشد رمنبند و خاک‌هایی که در آنها نسبت مذکور بیش از یک باشد غیر رمنبند محسوب می‌شوند [۱۴].

چ- معیار ASTM مبتنی بر نتایج آزمایش تحکیم مضاعف

این آزمایش به روش استاندارد ASTM D5333-03 انجام می‌گیرد. یک نمونه خاک با رطوبت طبیعی در دستگاه تحکیم قرار می‌گیرد سپس تنش‌های قائم به صورت پیشرونده اعمال می‌شوند تا به ۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برسند. در انتهای این بارگذاری نمونه با آب غرقاب می‌شود و به مدت یک روز به همان صورت گذاشته می‌شود. در این مدت تغییر شکل‌های نمونه دنبال می‌شود و سپس آزمایش تحکیم تا رسیدن به بارگذاری حداکثر ادامه می‌یابد [۱۵].

طبق این معیار دو ضریب رمنبندگی I_e و I_c معرفی می‌شود و بر حسب این ضرایب می‌توان طبق جداول ۱ و ۲، قابلیت رمنبندگی خاک را ارزیابی کرد.

$$I_e = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \times 100 \quad (3)$$

$$I_c = \frac{\Delta h}{1 + h_0} \times 100 \quad (4)$$

در روابط فوق Δe ، تغییر در تخلخل ناشی از مرطوب سازی، e_0 ، نسبت تخلخل اولیه، Δh ، تغییرات در ارتفاع نمونه ناشی از مرطوب سازی و h_0 ، ارتفاع اولیه نمونه می‌باشد.

جدول ۱- دسته‌بندی درجه فروریزی بر حسب I_e

شاخص فروریزی، I_e	درجه فروریزی
۰	ندارد
۰/۱ تا ۲	اندک
۲/۱ تا ۶	متوسط
۶/۱ تا ۱۰	تا حدی شدید
>۱۰	شدید

جدول ۲- میزان رهمندگی بر اساس پتانسیل فروریزی، I_e

پتانسیل فروریزی، I_e	شدت مشکل
۰-۱	مشکلی ندارد
۱-۵	تا حدی مسئله دار
۵-۱۰	مسئله دار
۱۰-۲۰	شدیدا مسئله دار
۲۰	بسیار شدید مسئله دار

۶. نتایج مطالعات آزمایشگاهی خاک منطقه مورد مطالعه

الف- دانه بندی و نوع خاک منطقه مورد مطالعه

بر اساس آزمایش‌های دانه‌بندی با الک و هیدرومتری و با توجه به نتایج آزمایش تعیین حدود اتربرگ، خاک منطقه مورد نظر بر اساس طبقه‌بندی متحد در گروه خاک‌های ML یعنی سیلت غیر آلی با خاصیت خمیری کم قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که خاک‌های آزمایش شده نمونه اول و دوم به ترتیب حاوی ۳۰ و ۱۰ درصد ماسه دانه‌ریز و میزان قابل ملاحظه‌ای رس هستند.

ب- مشخصات فنی خاک منطقه مورد مطالعه

بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته مشخصات فنی هر دو نمونه در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- مشخصات فنی نمونه‌های اخذ شده از منطقه مورد مطالعه

شماره گمانه	w0, %	e0	Gs	$\gamma_d, \text{gr/cm}^3$	$\gamma, \text{gr/cm}^3$	LL	PL	PI
۱	۷	۰/۵۴	۲/۴۴	۱/۵۵	۱/۶۶	۲۰	۱۷	۳
۲	۶	۰/۴۴	۲/۴۵	۱/۶۷	۱/۷۷	۳۶	۲۸	۸

پ- نتایج آزمایش تحکیم مضاعف به روش ASTM

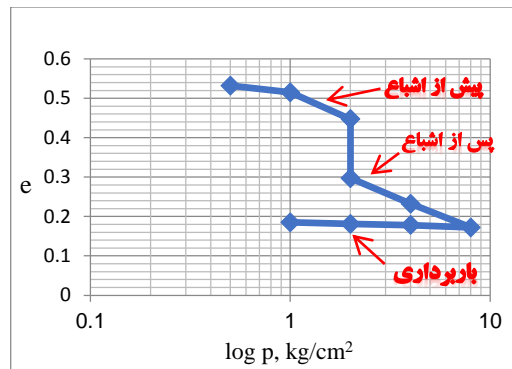
بر اساس آزمایش تحکیم مضاعف طبق استاندارد ASTM D5333-03، آزمایش تحکیم روی نمونه‌های اخذ شده از هر دو گمانه، بدین صورت انجام گرفت که ابتدا نمونه با رطوبت طبیعی در دستگاه تحکیم قرار گرفت و تحت هر کدام از تنش‌های ۰/۵، ۱ و ۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به مدت ۲۴ ساعت بارگذاری شد، سپس نمونه اشباع شده و پس از ۲۴ ساعت تحت هر کدام از تنش‌های ۰/۲، ۴ و ۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع مورد بارگذاری قرار



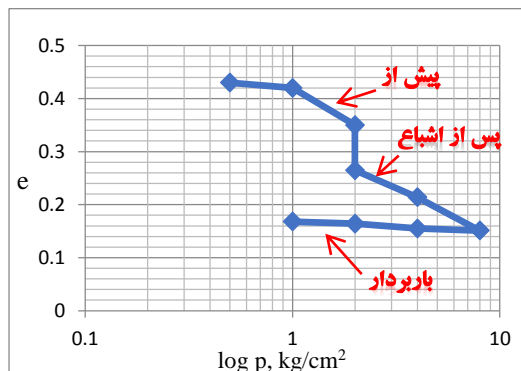
گرفت و در انتها باربرداری تا تنش ۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع انجام پذیرفت. نتایج این آزمایش برای هر دو نمونه در جدول ۴ و اشکال ۶ و ۷ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج آزمایش تحکیم مضاعف

شماره گمانه	e_0	e_f	C_c	C_s
۱	۰/۵۴	۰/۱۷۲	۰/۲۱	۰/۰۱۴
۲	۰/۴۴	۰/۱۵۱	۰/۱۹	۰/۰۱۹



شکل ۶- نمودار تحکیم مضاعف نمونه اخذ شده از گمانه اول



شکل ۷- نمودار تحکیم مضاعف نمونه اخذ شده از گمانه اول

۷. بررسی قابلیت رمبندگی خاک منطقه مورد مطالعه

نتایج ارزیابی قابلیت رمبندگی خاک منطقه مورد مطالعه بر اساس برخی از معیارهای بیان شده در جدول ۵، ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج حاصل از بررسی قابلیت رمبندگی خاک منطقه مورد مطالعه بر اساس معیارهای ارزیابی خاک‌های

رمبنده

شماره گمانه	ابلف	کلونجر	دنيسف	فدا	هندي	ASTM شاخص I_c	ASTM شاخص I_e
۱	رمبنده	رمبندگی کم	رمبنده	رمبنده	رمبنده	مسئله دار	فروریزی در حد شدید
۲	رمبنده	رمبندگی کم	رمبنده	غیر رمبنده	غیر رمبنده	مسئله دار	فروریزی در حد متوسط



۸. نتیجه‌گیری

بطور کلی طبق بررسی‌های به عمل آمده می‌توان یکی از مهمترین دلایل ایجاد شکاف و نشست زمین در دشت نیشابور را رمبنده بودن خاک منطقه دانست. طبق اطلاعات زمین‌شناسی منطقه، نهشته‌های آبرفتی و بعضاً بادرفتی از جنس کواتز در سطح وسیعی از دشت به چشم می‌خورند که در حدود ۵۲/۶۴ درصد از کل دشت را پوشش می‌دهند. نهشته‌های لسی دارای منشا آبرفتی و بادرفتی بوده و قسمت اعظم ذرات لس از جنس کواتز است. بر همین اساس به لحاظ زمین‌شناسی می‌توان چنین نتیجه گرفت که خاک قسمت اعظمی از دشت نیشابور مستعد رمبندگی می‌باشد. بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که خاک منطقه مورد نظر در اعماق کم از چسبندگی پایین و تخلخل نسبتاً بالایی برخوردار است و در صورت اشباع شدن کاهش حجم زیادی از خود نشان می‌دهد که این رفتار مبین رمبنده بودن خاک منطقه است. با توجه به رمبنده بودن خاک منطقه استفاده از روش‌های سنتی در آبیاری زمین‌های کشاورزی مثل غرقاب کردن سبب کاهش حجم خاک و در نهایت، منجر به نشست زمین خواهد شد. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از این تحقیق را نمی‌توان به تمام نشست‌ها و شکاف‌های ایجاد شده در این دشت نسبت داد. در پایان می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که رمبنده بودن خاک منطقه در کنار افت شدید سطح آب زیرزمینی در یک دهه‌ی اخیر سبب ایجاد شکاف‌های مذکور گردیده است و عدم توجه به این دو عامل ممکن است در آینده خسارات غیر قابل جبرانی بر ابنیه و زمین‌های کشاورزی این منطقه ایجاد کند.

۹. مراجع

- 1- Pye, K., 1995. The nature, origin and accumulation of Loss. Quaternary Science Review, vol. 41, pp. 653-667
- 2- Denisov, N.Y., 1964. About the the nature of high sensitivity of Quick clays. Osnov Fudam. Mekh. Grunt, 5, pp: 5-8.
- ۳- لشکری پور، غلامرضا (۱۳۸۷)، بررسی نشست زمین در دشت نیشابور و ارتباط آن با افت سطح آب زیرزمینی، دانشگاه فردوسی.
- 4- Lutenegeger, A. J., & Hallberg, G. R., 1988. Stability of loess. Engineering Geology, 25, pp: 247-261.
- 5- Sohby, M. A. El., 1987. Influence of soil constituents on collapsible soils. 9th Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering/Lagos.
- 6-Dudley, J., 1970. Review of collapsing soils. Journal of Soil Mechanics and Foundation Divisions. ASCE, Vol. 196, No. SM3.
- 7- Clevenger, W. A., 1959. Experiences with loess as a foundation material. Transactions American Society for Civil Engineers, 123, pp: 51- 80.
- Lin, Z.G., Wang, S. J., 1988. Collapsibility and deformation characteristics of deep-seated loess in China. Engineering Geology, 25 pp: 271-282.
- ۹- مخبری، مهدی (۱۳۷۴)، بررسی عوامل موثر بر تغییر شکل حجمی خاک‌های رمبنده، دانشگاه شیراز.
- 10- Abelev, Y.M., 1984. The essentials of designing and building on microporous soils. Stroitel'naya Promyshel'mast, No. 10.
- 11- Gibbs, H. J. & Bara, J. P., 1962. Predicting surface subsidence from basic soil test. A.S.T.M. Spec. Tech. Pub., 322, pp: 231-246.
- 12- Denisov, N.Y., 1964. About the the nature of high sensitivity of Quick clays. Osnov Fudam. Mekh. Grunt, 5, pp: 5-8.
- 13- Feda, J., 1966. Structural stability of subsidence loess soils from Praha- Dejvice. Engineering Geology, 1, pp: 201-219.
- 14- Handy, R. L., 1973. Collapsible loess in Iowa. Soil Sei. Amer. Proc, pp: 281-284.
- 15- American Association of State Highway and Transportation officials(1967).Manual of Foundation Investigation, National Press Building, Washington, D.C.