



دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و شش، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۳، صفحه ۱۰۷ تا ۱۱۵
Vol. 46, No. 1, Summer 2014, pp. 107-115



نشریه علمی - پژوهشی امیر کبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

مطالعه آزمایشگاهی برای شناسایی خاک‌های مسأله‌دار شهر اردکان

خدیدجه محمودی^۱، حمید مهرنهاد^{۲*}، کاظم برخوردار^۳

۱- مربی، دانشکده فنی و مهندسی، مجتمع آموزش عالی اردکان یزد

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد

(دریافت ۱۳۹۱/۷/۲۷، پذیرش ۱۳۹۱/۱۰/۲۴)

چکیده

شهر اردکان در ایران مرکزی و در منطقه کویری واقع شده است. وجود ترک خوردگی باعث وارد آوردن خسارت‌های زیادی به ساختمان‌ها و راه‌های ارتباطی منطقه شده است. نظریه‌های مختلفی راجع به علت این ترک‌ها وجود دارد. یکی از نظریات قوی که در این رابطه مطرح می‌شود وجود خاک‌های مسأله‌دار (خاک‌های تورم‌پذیر، خاک‌های واگرا و خاک‌های رمبنده) در منطقه است. برای این منظور آزمایش‌های مختلف ژئوتکنیکی روی ۵ گمانه به عمق ۱۴ متر انجام شد. برای تعیین پتانسیل تورم‌پذیری خاک منطقه روش مستقیم (روش A در استاندارد ASTM D4546) و غیرمستقیم (شامل معیارهای مختلف چن، آشتو، کالدویر و واندرمرو و آزمایش تورم آزاد نسبی) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که پتانسیل تورم‌پذیری خاک منطقه متوسط است و در بعضی موارد می‌تواند باعث ایجاد ترک در سازه‌ها شود. ولی پتانسیل واگرایی و رمبندگی خاک منطقه پایین است.

کلمات کلیدی

خاک مسأله‌دار، ترک خوردگی، شهر اردکان، تورم‌پذیری، ارزیابی مستقیم.

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: hmehrnahad@yazduni.ac.ir

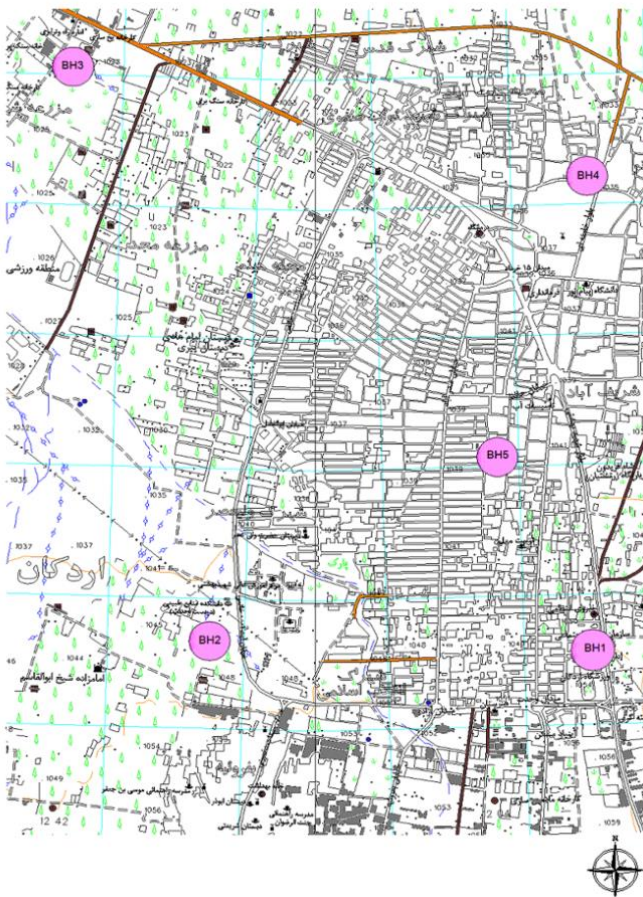
۱- مقدمه

رشته جبال البرز و رشته کوههای زاگرس را تشکیل می‌دهد که استان یزد به طور تقریب در میانه این فلات قرار دارد. کویر مرکزی و اطراف کویر لوت از شمال و شرق قسمت‌هایی از استان یزد را فرا می‌گیرند. علاوه بر این، کویرها و حوضچه‌های تبخیری دیگری نیز در میانه استان وجود دارد و به همین علت یزد را به عنوان منطقه‌ای کویری و بیابانی می‌شناسند [۴].

۳- موقعیت گمانه‌ها

محل گمانه طوری انتخاب شده است که چهار گمانه در اطراف شهر و یک گمانه تقریباً در مرکز شهر قرار گیرد. مختصات گمانه‌ها با استفاده از GPS برداشت شد و محل آن‌ها روی نقشه ۱/۲۵۰۰۰ شهر اردکان مشخص شد (شکل ۱).

گمانه‌های ۱ و ۲ و ۴ بطور متوسط به فاصله ۲ کیلومتری از گمانه ۵ واقع شده‌اند و گمانه ۳ به فاصله ۴/۵ کیلومتری گمانه ۵ قرار دارد. فاصله گمانه‌ها از یکدیگر و مساحت تحت پوشش آن‌ها به ترتیب در جداول (۱) و (۲) آورده شده‌است.



شکل (۱): پلان موقعیت گمانه‌ها

خواص مکانیکی بیش تر خاک‌ها، با افزایش درصد رطوبت و درجه اشباع‌شدگی تغییر می‌نماید. این پدیده برای بیش تر مهندسان ژئوتکنیک شناخته شده است. لیکن در برخی از خاک‌ها بر اثر افزایش درصد رطوبت، پدیده‌های ویژه‌ای روی می‌دهد که در برخی موارد منجر به خسارات بیش تر در پژوهش عمرانی می‌شود. این خاک‌ها را می‌توان بعنوان خاک‌های حساس در مقابل آب نامید. از این‌گونه خاک‌ها می‌توان به خاک‌های متورم‌شونده، خاک‌های واگرا و خاک‌های رمبنده اشاره نمود.

خاک‌های متورم‌شونده گروهی از خاک‌های مسأله‌دار هستند. این خاک‌ها جزء گروه خاک‌های رسی و غیر رسی‌اند. مشخصات ژئوتکنیکی مخلوطی از کانی‌های رسی و غیر رسی‌اند. مشخصات ژئوتکنیکی این خاک‌ها توسط بخش رسی آن‌ها کنترل می‌شود. این گروه از خاک‌ها دارای مقدار قابل توجهی کانی مونت‌موریلونیت هستند که با آگیری متورم شده و بر اثر از دست دادن آب منقبض می‌شوند [۱].

خاک‌های رمبنده حالتی شبه پایدار داشته و دارای ساختاری باز هستند به گونه‌ای که می‌توانند به حالت فشرده‌تری برسند. این خاک‌ها در اثر مرطوب‌شدگی تحت بار ثابت به شدت دچار تغییر حجم ناگهانی می‌شوند [۲].

خاک‌های واگرا خاک‌های رسی هستند که در آب‌ها با غلظت پایین نمک براحتی شسته می‌شوند. این خاک‌ها معمولاً دارای مقادیر زیادی کاتیون‌های سدیم هستند. واگرایی، یک پدیده پیشرونده است که از یک نقطه با تمرکز جریان آب شروع شده و بتدریج گسترش می‌یابد [۳].

۲- منطقه مورد مطالعه

شهر اردکان در شمال استان یزد و در محدوده مرکزی ایران واقع شده است و مساحت آن حدود ۳۰۳۳ هکتار است. آب و هوای منطقه خشک تا نیمه خشک است و ارتفاع متوسط شهر از سطح دریا ۱۲۴۵ متر است. کمی نزولات جوی، بالا بودن میزان تبخیر، پدیده بیابان‌زایی و حرکت شن‌های روان از ویژگی‌های خاص منطقه است. با نگاهی گذرا بر نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه، چند چهره سنگ‌شناسی شامل رس و مارن، تپه‌های ماسه‌ای و بادی، شیل‌های فلیشی و آهک‌ها خود نمایی می‌نمایند. در شمال یزد و جنوب اردکان دشت وسیعی با ضخامت ۱۰۰ متر از رس و رس‌های مارنی وجود دارد که مربوط به رسوبات دوره نئوژن است. فلات مرکزی ایران، مناطق مابین

[۵]. همچنین از آزمایش تورم نسبی آزاد برای تخمین تورم‌پذیری استفاده شده است [۶].

در معیار چن از مشخصات عدد SPT، شاخص خمیری و درصد ذرات عبوری از الک ۲۰۰ در تخمین تورم‌پذیری استفاده می‌شود. در معیار آشتو از مشخصات حد روانی و شاخص خمیری خاک برای تعیین تورم‌پذیری استفاده می‌شود. معیار کالدویر از شاخص خمیری خاک برای تخمین تورم‌پذیری استفاده می‌نماید. معیار واندرومو با استفاده از مشخصات درصد رس و شاخص پلاستیسیته تورم‌پذیری خاک را تعیین می‌نماید.

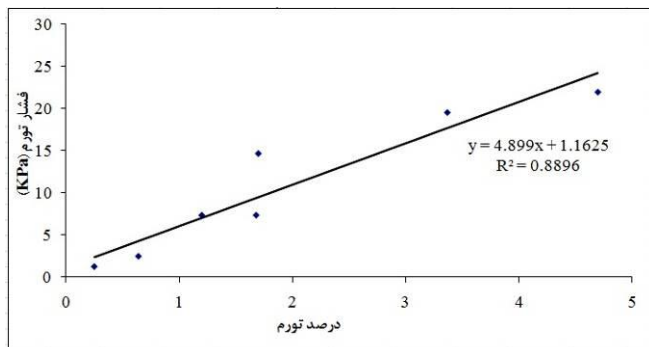
در مرحله اول برای رده‌بندی نمونه‌های خاک آزمایش‌های حد خمیری و روانی طبق استاندارد (ASTM D4318) انجام شد [۱۰]. همچنین برای دانه‌بندی، از روش استاندارد آزمایش دانه‌بندی خاک (ASTM D422) استفاده شد [۱۱].

۴- ارزیابی مستقیم پتانسیل تورم

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری مستقیم درصد و فشار تورم به روش A در استاندارد ASTM D4546 در جدول (۳) ارائه شده است [۱۲]. شکل (۲) ارتباط دو عامل فشار تورم و درصد تورم نمونه‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که این دو عامل رابطه مستقیمی با یکدیگر دارند.

جدول (۳): رابطه درصد تورم و فشار تورم

گمانه	عمق	فشار تورم (kPa)	درصد تورم	تورم‌پذیری
BH2	۴	۱۹/۵	۳/۳۷	متوسط
	۸	۲۱/۹۶	۴/۷	متوسط
BH3	۸	۲/۴۴	۰/۶۴	کم
BH4	۶	۷/۳	۱/۶۸	متوسط
	۸	۱۴/۶۴	۱/۷	متوسط
BH5	۴	۷/۳۲	۱/۲	کم
	۸	۱/۲۲	۰/۲۵	کم



شکل (۲): رابطه بین درصد تورم و فشار تورم

جدول (۱): فاصله گمانه‌ها

BH2	BH3	BH4	BH5	فاصله گمانه‌ها (m)
۳۰۴۱	۶۱۹۳	۳۸۰۶	۱۸۶۰	BH1
	۴۵۵۱	۴۵۴۲	۲۵۶۵	BH2
		۳۹۴۹	۴۳۹۸	BH3
			۲۲۶۴	BH4

جدول (۲): مساحت تقریبی تحت پوشش گمانه‌ها (مترمربع)

BH1	BH2	BH3	BH4	BH5
۴۱۰۱۸۹۰	۳۹۱۰۰۴۰	۷۴۲۲۱۱۰	۷۴۹۷۷۳۰	۷۹۹۱۲۵۰

برای تهیه نمونه، ۵ گمانه به عمق ۱۴ متر و به روش دورانی در سطح شهر اردکان حفر شد. نمونه‌گیری توام با حفاری انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله پس از حفاری داخل فویل آلومینیوم پیچیده شدند و اطراف فویل با چسب پوشانده شد تا رطوبت نمونه‌ها حفظ شود. طبق بررسی لوگ گمانه‌ها و همچنین آزمایش‌های انجام شده، خاک‌های مورد مطالعه ریزدانه بوده و بیش تر رس یا ترکیبی از رس و سیلت است. فقط در عمق ۴ متری گمانه ۱ نمونه سنگی است. در بعضی از نمونه‌ها رگه‌های کوچکی از مواد آلی به چشم می‌خورد. برای شناسایی خاک شهر اردکان از نظر مسأله‌داری، آزمایش‌های مختلف ژئوتکنیکی انجام شد.

رمبندگی خاک از روش مستقیم و غیر مستقیم محاسبه شد. در روش مستقیم از آزمایش تحکیم (ASTM D5333) استفاده شد [۷]. در روش غیر مستقیم از معیارهای هندی، زار و وایزمن، هولتز و هیلف و دنیسف استفاده شد [۲]. در معیارهای دنیسف، زار و وایزمن و هولتز و هیلف با توجه به دانسیته خشک یا درصد تخلخل خاک، به تخمین ریبندگی پرداخته می‌شود و در معیار هندی بر اساس درصد ذرات کوچکتر از ۲ میکرون میزان ریبندگی تخمین زده می‌شود.

برای تعیین واگرایی خاک از آزمایش‌های کرامب، هیدرومتری دوگانه [۸] و سوراخ‌سوزنی [۹] استفاده شد.

برای شناسایی خاک متورم‌شونده از روش مستقیم و غیرمستقیم استفاده شد. ارزیابی مستقیم پتانسیل تورم به معنی اندازه‌گیری مستقیم فشار تورم و درصد تورم خاک است.

رضایت‌بخش‌ترین و ساده‌ترین روش ارزیابی پتانسیل تورم بوسیله اندازه‌گیری مستقیم است. ارزیابی غیر مستقیم پتانسیل تورم شامل روش‌هایی است که با استفاده از خصوصیات فیزیکی خاک مانند حدود اتربرگ، درجه فعالیت و درصد رس، وزن مخصوص خاک و شرایط آب و هوایی پتانسیل تورم را بررسی می‌نماید. در این تحقیق از معیارهای چن، آشتو، کالدویر و واندرومو برای ارزیابی غیرمستقیم پتانسیل تورم خاک استفاده شده است

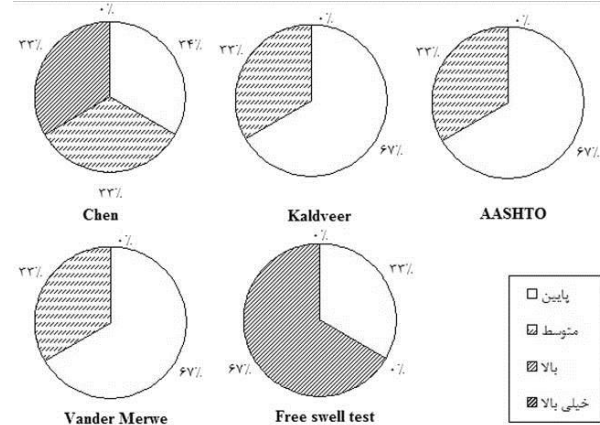
۵- ارزیابی غیرمستقیم پتانسیل تورم

گمانه ۱

مشخصات فیزیکی گمانه ۱ در جدول (۴) آورده شده است. نتایج به دست آمده از تخمین تورم‌پذیری نمونه‌های خاک مربوط به گمانه ۱ با استفاده از معیارهای مختلف تا عمق ۱۴ متری در شکل (۳) و تا عمق ۸ متری در شکل (۴) نشان داده شده‌است. با توجه به شکل (۳) دیده می‌شود که سه معیار کالدویر، آشتو و واندرمرو به طور کامل با هم هم‌خوانی دارند.

جدول (۴): مشخصات فیزیکی گمانه ۱

عمق (m)	طبقه‌بندی	LL	PI	عبوری از الک ۲۰۰	درصد ذرات کوچکتر از ۲ میکرون
۲	SP	۴۶	۱۴	۵۰	۰
۴	Rock	-	-	نمونه سنگی	نمونه سنگی
۶	CL	۳۶	۱۴	۸۳	۲۷/۴
۸	MH	۶۸	۲۷	۸/۳	۲۸/۸
۱۰-coars	SW-SM	۳۰	۱۰	۷۴/۴	۲۵/۳
۱۰-fine	CH	۵۴	۴۷	۸۲/۸	۲۵/۷
۱۲	CH	۷۹	۴۵	۹۶/۳	۳۳/۶
۱۴	MH	۵۳	۱		



شکل (۴): تخمین تورم‌پذیری گمانه ۱ با استفاده از معیارهای آشتو، کالدویر، چن، واندرمرو و تورم نسبی آزاد

گمانه ۲

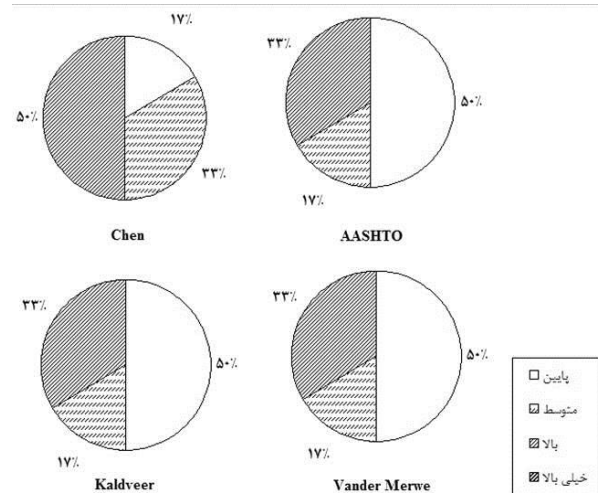
مشخصات فیزیکی گمانه ۲ در جدول (۵) آورده شده است.

جدول (۵): مشخصات فیزیکی گمانه ۲

عمق (m)	طبقه‌بندی	LL	PI	عبوری از الک ۲۰۰	درصد ذرات کوچکتر از ۲ میکرون
۲	MH	۵۸	۲۶/۵	۷۲/۱	۳۰/۹
۴	CH	۵۱/۳	۲۳/۳	۶۹/۱	۲۶/۸
۶	CH	۵۱/۳	۲۳/۳	۶۹/۱	۲۶/۸
۸	CH	۸۱/۶	۴۷/۶	۹۵/۲	۳۷/۱
۱۰	CH	۷۵	۳۶	۹۶/۵	۳۷/۲
۱۲	CH	۹۶	۴۹	۹۸/۷	۴۵/۳
۱۴	CH	۷۵	۳۶	۹۶/۵	۳۷/۲

نتایج به دست آمده از تخمین تورم‌پذیری نمونه‌های خاک مربوط به گمانه ۲ با استفاده از معیارهای مختلف تا عمق ۱۴ متری در شکل (۵) و تا عمق ۸ متری در شکل (۷) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در عمق‌های ۴ و ۸ متری، ارزیابی مستقیم پتانسیل تورم با استفاده از آزمایش تحکیم نیز انجام شده‌است که نتایج آن در شکل (۶) نشان داده شده‌است. با توجه به شکل (۷) دیده می‌شود که در گمانه ۲ تخمین تورم‌پذیری با استفاده از معیار چن و آزمایش تورم نسبی آزاد به طور کامل هم‌خوانی دارد. با مقایسه شکل (۵) با شکل (۷) دیده می‌شود که پتانسیل تورم با افزایش عمق، افزایش می‌یابد و چون عمق‌های نزدیک‌تر به سطح زمین در بروز تورم موثرترند پس نتایج شکل (۷) به واقعیت نزدیک‌تر است. همچنین شکل (۶) نشان می‌دهد که تخمین تورم‌پذیری با استفاده از معیارهای آشتو و کالدویر به نتایج ارزیابی مستقیم پتانسیل تورم نزدیک‌تر است، با توجه به

با توجه به شکل (۴) دیده می‌شود که در گمانه ۱ آزمایش تورم نسبی آزاد، تورم‌پذیری را بیش از سایر معیارها از جمله معیار چن تخمین می‌زند. همچنین با توجه به شکل‌های (۳) و (۴) دیده می‌شود که پتانسیل تورم گمانه ۱ با افزایش عمق افزایش می‌یابد. با افزایش عمق، فشار سربار وارد بر خاک زیاد شده و تورم خاک را تا حدی مستهلک می‌نماید. بنابراین عمق‌های نزدیک به سطح زمین در تعیین تورم‌پذیری خاک تاثیرگذارتر است. بنابراین نتایج شکل (۴) در تخمین تورم‌پذیری خاک به واقعیت نزدیک‌تر است. این نتایج نشان می‌دهد گمانه ۱ تورم‌پذیری کم تا متوسطی دارد.



شکل (۳): تخمین تورم‌پذیری گمانه ۱ با استفاده از معیارهای مختلف

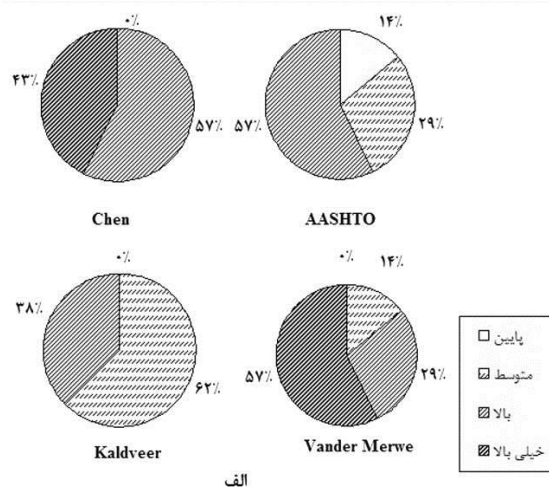
گمانه ۳

مشخصات فیزیکی گمانه ۳ در جدول (۶) آورده شده است.

جدول (۶): مشخصات فیزیکی گمانه ۳

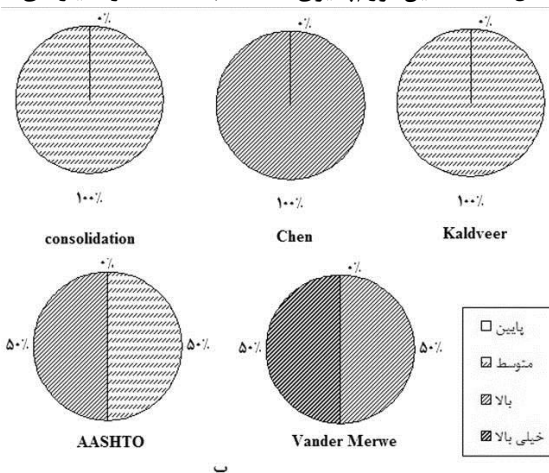
عمق (m)	طبقه‌بندی	LL	PI	عبوری از الک ۲۰۰	درصد ذرات کوچکتر از ۲ میکرون
۲	MH	۵۷/۸	۲۰/۸	۹۴/۷	۴۵/۷
۴	MH	۵۳/۳	۲۸/۳	۶۷/۵	۳۱/۶
۶	CL	۴۸	۱۹	۸۵/۳	۳۰/۸
۸	CL	۴۸	۱۹	۸۵/۳	۳۰/۸
۱۰	ML	۴۷	۱۴	۹۰/۷	۳۴/۵
۱۲	ML	۴۱	۱۸	۵۶/۲	۳۴/۱
۱۴	ML	۴۷	۱۴	۹۰/۷	۳۴/۵

مطالب گفته شده نتیجه‌گیری می‌شود که گمانه ۲ تورم‌پذیری متوسطی دارد.

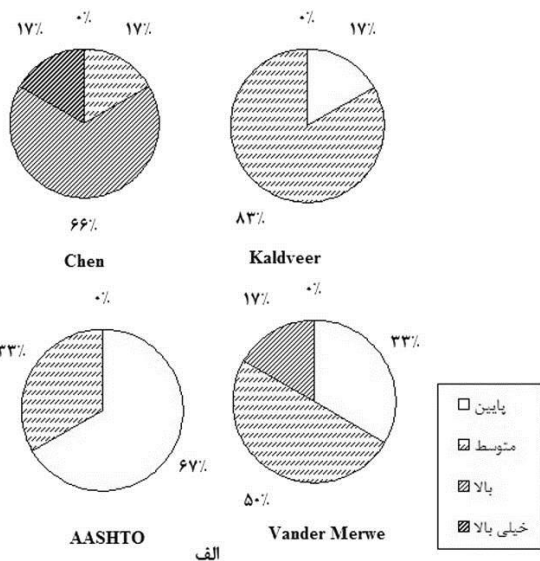


شکل (۵): تخمین تورم‌پذیری گمانه ۲ با استفاده از معیارهای مختلف

نتایج به دست آمده از تخمین تورم‌پذیری نمونه‌های خاک مربوط به گمانه ۳ با استفاده از معیارهای مختلف تا عمق ۱۴ متری در شکل (۸) و تا عمق ۸ متری در شکل (۱۰) با یکدیگر مقایسه شده‌است. در عمق‌های ۴ و ۸ متری ارزیابی مستقیم پتانسیل تورم با استفاده از آزمایش تحکیم نیز انجام شده‌است که نتایج آن در شکل (۹) نشان داده شده‌است.

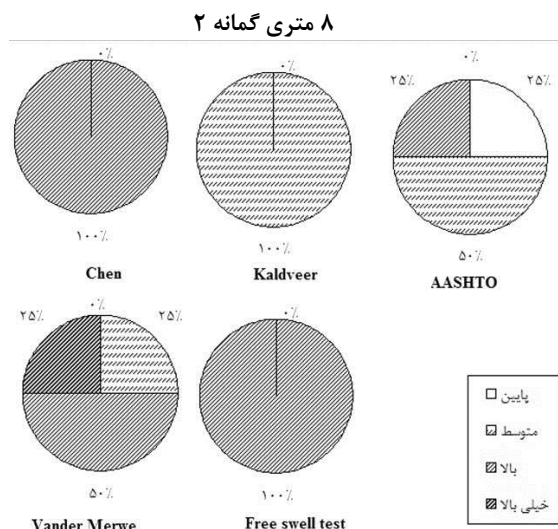


شکل (۶): مقایسه روش‌های غیرمستقیم با روش مستقیم در عمق ۴ و



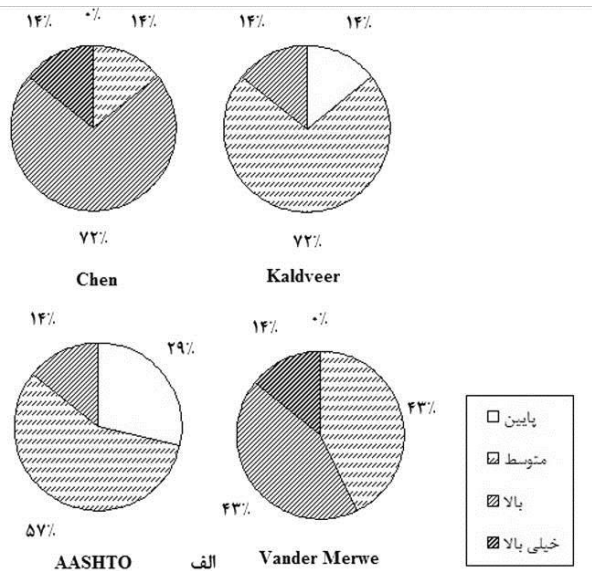
شکل (۸): تخمین تورم‌پذیری گمانه ۳ با استفاده از معیارهای مختلف

با توجه به شکل (۱۰) دیده می‌شود که در گمانه ۳ معیار چن پتانسیل تورم را بیش از آزمایش تورم نسبی آزاد تخمین می‌زند. همچنین از مقایسه شکل (۱۰) با شکل (۸) نتیجه‌گیری می‌شود که در گمانه ۳ بر خلاف دو گمانه ۱ و ۲ با افزایش عمق، پتانسیل تورم کم می‌شود. در شکل (۹) نیز دیده می‌شود که معیار آشتو نزدیک‌ترین نتیجه را به روش مستقیم ارزیابی

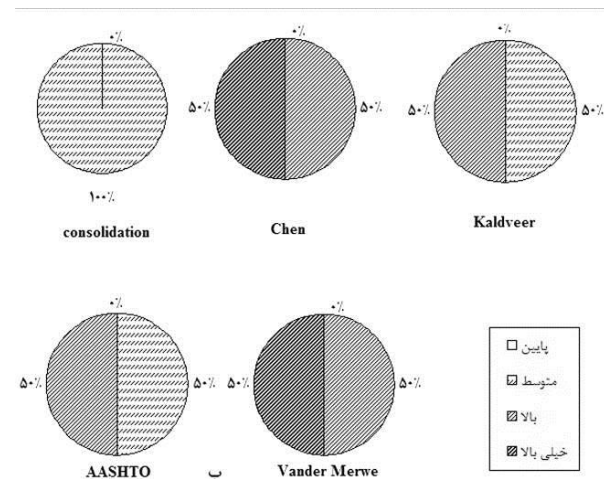


شکل (۷): تخمین تورم‌پذیری گمانه ۲ با استفاده از معیارهای آشتو، کالدویر، چن، واندرمر و تورم نسبی آزاد

نتایج به دست آمده از تخمین تورم‌پذیری نمونه‌های خاک مربوط به گمانه ۴ با استفاده از معیارهای مختلف تا عمق ۱۴ متری در شکل (۱۱) و تا عمق ۸ متری در شکل (۱۳) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در عمق‌های ۴ و ۸ متری ارزیابی مستقیم پتانسیل تورم با استفاده از آزمایش تحکیم نیز انجام شده که نتایج آن در شکل (۱۲) نشان داده شده‌است.



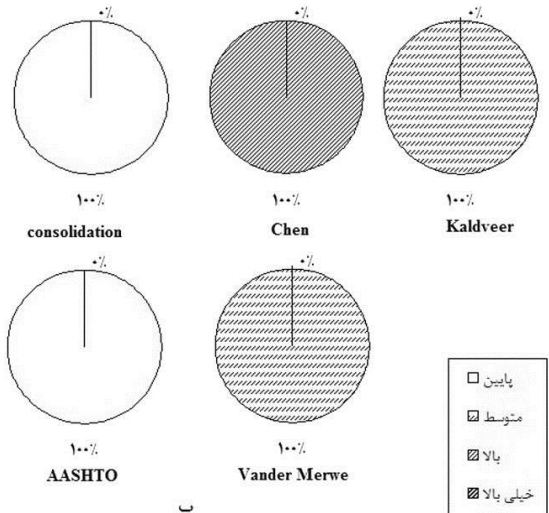
شکل (۱۱): تخمین تورم‌پذیری گمانه ۴ با استفاده از معیارهای مختلف



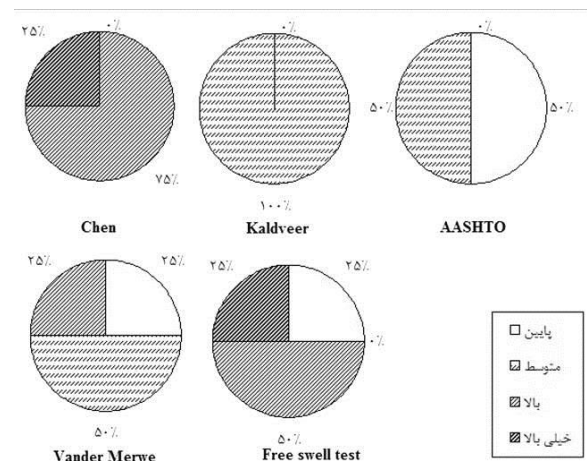
شکل (۱۲): مقایسه روش‌های غیرمستقیم با روش مستقیم در عمق ۴ و ۸ متری گمانه ۴

با توجه به شکل (۱۳) دیده می‌شود که معیار چن تورم‌پذیری را بیش از معیار تورم نسبی آزاد تخمین می‌زند. از مقایسه شکل (۱۳) با شکل (۱۱) نتیجه‌گیری می‌شود که پتانسیل تورم با افزایش عمق، کاهش می‌یابد. همچنین در این

پتانسیل تورم ارائه می‌دهد. با توجه به این نکته و با استفاده از شکل (۱۰) نتیجه‌گیری می‌شود که تورم‌پذیری گمانه ۳ متوسط رو به پایین است.



شکل (۹): مقایسه روش‌های غیرمستقیم با روش مستقیم در عمق ۸ و ۶ متری گمانه ۳



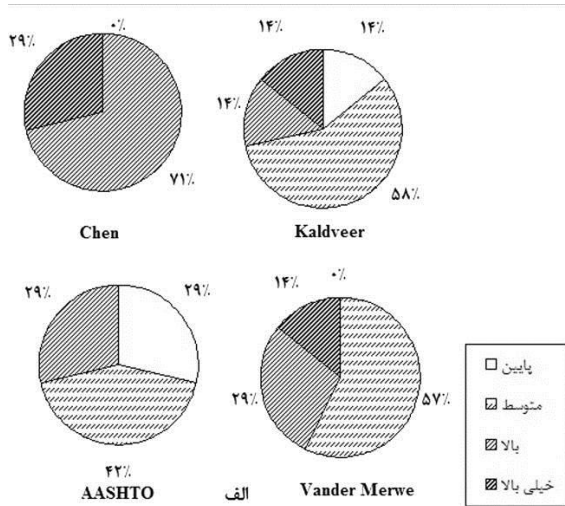
شکل (۱۰): تخمین تورم‌پذیری گمانه ۳ با استفاده از معیارهای آشتو، کالدویر، چن، واندرمر و تورم نسبی آزاد

گمانه ۴

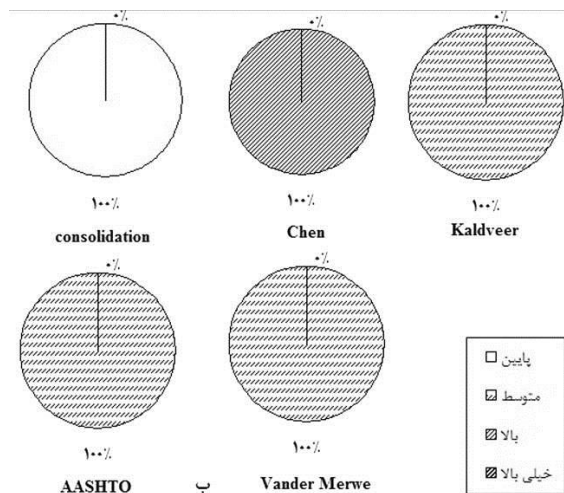
مشخصات فیزیکی گمانه ۴ در جدول (۷) آورده شده است.

جدول (۷): مشخصات فیزیکی گمانه ۴

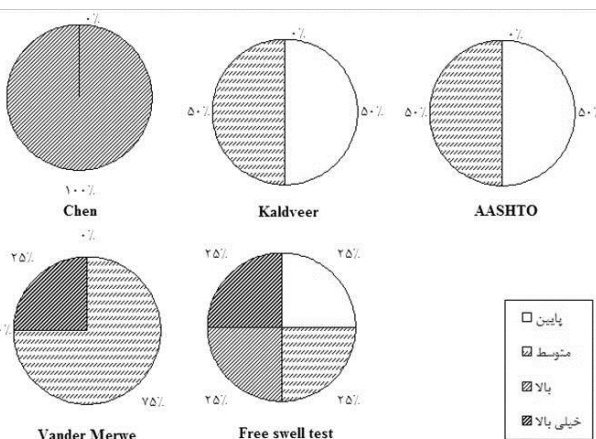
عمق (m)	طبقه‌بندی	LL	PI	عبوری از الک ۲۰۰	درصد ذرات کوچکتر از ۲ میکرون
۲	CL	۳۵/۴	۱۶/۴	۷۴/۸	۱۹/۳
۴	ML	۴۸	۲۲	۸۶/۸	۲۵/۸
۶	CH	۶۲/۵	۳۳/۵	۹۶/۲	۲۹/۶
۸	CH	۴۸/۵	۲۵/۵	۵۹/۴	۳۵
۱۰	CH	۶۱/۵	۳۰/۵	۸۷/۲	۴۱/۹
۱۲	CH	۵۷	۲۳	۹۱/۸	۳۰/۳
۱۴	MH	۶۴	۳۱	۸۸/۳	۳۰/۹



شکل (۱۴): تخمین تورم‌پذیری گمانه ۵ با استفاده از معیارهای مختلف

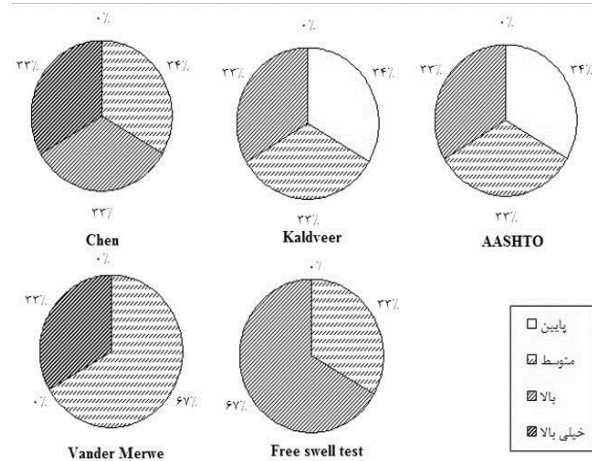


شکل (۱۵): مقایسه روش‌های غیرمستقیم با روش مستقیم در عمق ۴ و ۸ متری گمانه ۵



شکل (۱۶): تخمین تورم‌پذیری گمانه ۵ با استفاده از معیارهای آشتو، کالدویر، چن، واندرمر و تورم نسبی آزاد

گمانه نیز مشابه سایر گمانه‌ها نتایج معیارهای آشتو و کالدویر به نتایج ارزیابی مستقیم پتانسیل تورم نزدیک‌تر است. بنابراین با توجه به این نکته و با استفاده از شکل (۱۳) نتیجه‌گیری می‌شود که در این گمانه، ۳۳ درصد نمونه‌ها تورم‌پذیری بالا، ۳۳ درصد متوسط و ۳۳ درصد تورم‌پذیری پایین دارند.



شکل (۱۷): تخمین تورم‌پذیری گمانه ۴ با استفاده از معیارهای آشتو، کالدویر، چن، واندرمر و تورم نسبی آزاد

گمانه ۵

مشخصات فیزیکی گمانه ۵ در جدول (۸) آورده شده است.

جدول (۸): مشخصات فیزیکی گمانه ۵

عمق (m)	طبقه‌بندی	LL	PI	عبوری از الک ۲۰۰ میکرون	درصد ذرات کوچکتر از ۲ میکرون
۲	CL	۳۷/۳	۱۴/۳	۹۳/۳	۱۸/۵
۴	CH	۵۵	۲۹	۸۸/۱	۱۵/۵
۶	CL	۴۳	۱۶	۹۷/۲	۲۲/۳
۸	CH	۵۵	۲۹	۸۸/۱	۲۲/۳
۱۰	CH	۸۹	۵۷	۹۱/۳	۴۷/۶
۱۲	MH	۵۴	۲۴	۵۷/۵	۳۱/۹
۱۴	CH	۸۴	۴۳	۸۹/۳	۲۳/۳

با مقایسه شکل (۱۶) با شکل (۱۴) دیده می‌شود که پتانسیل تورم‌پذیری گمانه ۵، با افزایش عمق، افزایش می‌یابد. مشابه گمانه‌های قبل نتایج معیارهای آشتو و کالدویر به واقعیت نزدیک‌تر است. بنابراین با توجه به شکل (۱۶)، تورم‌پذیری گمانه ۵ برای نیمی از نمونه‌ها متوسط و برای نیم دیگر پایین است.

۶- بحث در مورد نتایج معیارهای مختلف در تخمین

تورم‌پذیری خاک

چنانچه در تدوین معیار خود خاک را از حالت به طور کامل خشک در دستگاه تحکیم به حالت اشباع رساند، ولی در روش استاندارد تعیین پتانسیل تورم یک‌بعدی خاک‌های چسبیده با استفاده از آزمایش تحکیم (ASTM D4546) نمونه از حالت رطوبت طبیعی به حالت اشباع رسانده می‌شود. بنابراین برای دو نمونه خاک مشابه، روش چنانچه پتانسیل تورم را بیش تر تخمین می‌زند. همچنین یکی از مشخصات ارزیابی میزان تورم‌پذیری خاک در این روش درصد ذرات عبوری از الک ۲۰۰ است که شامل لای و رس است، لیکن لای خاصیت تورم‌پذیری ندارد. بنابراین این پارامتر نیز می‌تواند یکی از دلایلی باشد که روش چنانچه پتانسیل تورم را بیش تر از سایر معیارها تخمین می‌زند. در روش واندرمرو نیز برای تعیین تورم‌پذیری از درصد رس و شاخص خمیری خاک استفاده شده است. ولی تعیین درصد رس به روش هیدرومتری دقت چندان بالایی ندارد. همچنین تعیین حد خمیری خاک نیز معمولاً با خطا همراه است. بنابراین با اندک اشتباه در تعیین درصد رس یا نشانه خمیری خاک، ممکن است رده‌بندی خاک از نظر تورم‌پذیری به طور کامل تغییر نماید. همچنین از مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی در شکل‌های (۶)، (۹)، (۱۲) و (۱۵) دیده می‌شود که روش مستقیم ارزیابی پتانسیل تورم نسبت به سایر روش‌ها تورم‌پذیری را کمتر تخمین می‌زند. زیرا نتایج به دست آمده از آزمایش روی نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده معمولاً متفاوت است. این تفاوت بستگی به نوع خاک دارد در برخی خاک‌ها نمونه‌های دست‌خورده نتایج مشابه نمونه‌های دست‌نخورده می‌دهد. تورم نمونه‌های دست‌خورده معمولاً بیش از نمونه‌های دست‌نخورده است. این افزایش تورم ناشی از دو عامل گسیختگی اتصال و سماتاسیون بین ذرات و تغییر بافت خاک است. در واقع نمونه‌های دست‌نخورده یا سیمانی‌شده از مقاومت بالایی در مقابل تغییر شکل برخوردارند. پس قسمت بزرگی از فشار تورم را تحمل نموده و مانع از تغییر شکل تورمی می‌شوند. در نتیجه آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های دست‌خورده نتایج دست‌بالا به بار می‌آورد [۵]. همچنین در روش غیرمستقیم ارزیابی پتانسیل تورم با استفاده از حد روانی و شاخص‌های وابسته به آن است و بدون توجه به کانی‌شناسی رس نمی‌توان تورم‌پذیری خاک‌ها را به طور رضایت بخش تعیین نمود زیرا فرایند کنترل حد روانی خاک‌های کائولینیتی و مونت‌موریلونیتی به طور کامل متفاوت است. حد روانی کائولینیت بوسیله آرایش ذرات و نیروهای جاذبه درون‌ذره‌ای کنترل می‌شود. در حالیکه حد روانی

خاک‌های مونت‌موریلونیتی بوسیله ضخامت لایه‌ای دابل کنترل می‌شود. از این رو حد روانی بالاتر الزاماً به معنی خاک مونت‌موریلونیتی متورم‌شونده نیست [۱۳].

۷- نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج معیارهای مختلف برای تخمین تورم‌پذیری خاک، نشان می‌دهد که نتایج معیارهای آشتو و کالدویر بهترین هم‌خوانی را با نتیجه روش مستقیم اندازه‌گیری پتانسیل تورم دارد. همچنین از تحلیل نتایج می‌توان دریافت که تورم‌پذیری خاک گمانه‌ها متوسط است.

ترتیب افزایش میزان تورم‌پذیری گمانه‌ها عبارت است از:

BH1 < BH5 < BH3 < BH4 < BH2

گمانه ۴ در بافت سنتی شهر قرار دارد و اکثر ساختمان‌های این منطقه خشتی است. ترک‌های موجود در ساختمان‌های این بخش از منطقه کم است. با توجه به وزن قابل ملاحظه ساختمان‌های خشتی در مقایسه با ساختمان‌های آجری، بنظر می‌رسد وزن ساختمان مانع تورم خاک و ایجاد ترک در ساختمان است.

ترک‌های موجود در ساختمان‌های اطراف گمانه ۵ که به طور تقریبی در مرکز شهر واقع شده به نسبت کم است که با نتایج به دست آمده همخوانی دارد.

گمانه‌های ۱، ۲ و ۳ به طور تقریبی در حومه شهر قرار دارند و تراکم ساختمان در این مناطق کم است. در فاصله ۲ کیلومتری گمانه ۳ در سمت شمال غرب شهر ترک‌های ایجاد شده در ساختمان‌ها بیش از سایر مناطق است و لازم است با حفر گمانه جدید پژوهش بیشتری در این منطقه صورت گیرد.

با توجه به مطالب گفته شده در بخش ۳ فاصله گمانه‌ها در جنوب و شرق منطقه از یکدیگر کم است بنابراین نتایج این پژوهش در این بخش از منطقه صدق می‌کند ولی در شمال و غرب منطقه لازم است پژوهش بیشتری انجام شود تا بتوان نقشه پتانسیل تورم‌پذیری شهر را رسم نمود.

آزمایش‌های مختلف که برای تعیین پتانسیل واگرایی و رمبندگی خاک گمانه‌ها انجام شد نشان داد که مسأله واگرایی و رمبندگی گمانه‌های مورد مطالعه ناچیز است.

۸- مراجع

- [۷] ASTM, "Standard test method for measurement of collapse potential of soils", Designation: D5333, 2000.
- [۸] ASTM, "Standard test method for dispersive characteristics of clay soil by double hydrometer", Designation: D4221, 2000.
- [۹] ASTM, "Standard test method for identification and classification of dispersive clay soils by the pinhole test", Designation: D4647, 2000.
- [۱۰] ASTM, "Test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils", Designation: D4318, 2000.
- [۱۱] ASTM, "Test method for particle-size analysis of soil", Designation: D422, 2000.
- [۱۲] ASTM, "One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils", Designation: D4546, 2000.
- [۱۳] Sridharan, K. Prakash, "Classification procedures for expansive soils", Proc. Instn Civ. Engrs Geotech. Engng, 2000.
- [۱] جانعلی‌زاده، عسگر؛ رضانیور، مهدی؛ "بررسی بهبود خاک‌های رسی استان مازندران"، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۸۶.
- [۲] راعی، الهام؛ "بررسی تاثیر تراکم روی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های سست منطقه رستاق یزد"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش خاک و پی دانشگاه یزد، ۱۳۸۸.
- [۳] وکیلی، امیرحسین، زمردیان؛ سیدمحمدعلی، مهرداد، آرام؛ "ارزیابی پتانسیل واگرایی و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک رس واگرایی تثبیت شده با آهک و پوزولان"، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، ۱۳۸۸.
- [۴] مهرنهاد، حمید؛ "بررسی نقش گسل‌های مهم و عمده محدوده دشت یزد- اردکان و تاثیر آن بر کمیت آب‌های زیرزمینی دشت، شرکت آب منطقه‌ای استان یزد"، ۱۳۸۷.
- [۵] فاخر، علی؛ عسگری، فرج‌اله؛ "تورم و واگرایی خاک‌ها از دید مهندس ژئوتکنیک"، جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران، ۱۳۷۲.
- [۶] اس- میتال، چی- پی- شوکلا، ترجمه شمسایی، ابوالفضل؛ نشاط، امین رضا؛ "آزمایش خاک برای مهندسی"، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۵.