المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء
معهد بحوث ميكانيكا التربة والهندسة الجيوتكنيكية

تقييم الخصائص الجيوتكنيكية لتكوينات بعض أنواع التربة القابلة للإنتفاخ (Swelling) المنتشرة بمصر وكيفية التعامل معها

دراسة لمعهد بحوث ميكانيكا التربة والهندسة الجيوتكنيكية

بالإشتراك مع معهد بحوث الخامات وتكنولوجيا صناعة مواد البناء

أغسطس ٢٠٢٢

تقييم الخصائص الجيوتكنيكية لتكوينات بعض أنواع التربة القابلة للإنتفاخ (Swelling) المنتشرة بمصر وكيفية التعامل معها

أسماء المشاركين فى المشروع البحثى

رئاسة الفريق البحثى

- أ.د/ هشام كمال أمين — مدير المعهد
- أ.د/ أميرة محمد عبد الرحمن — رئيس الفريق البحثى
- أ.د/ أسامة مازن — نائب رئيس الفريق البحثى

الفريق البحثى الرئيسى

- أ.د/ نادية شنودة جرجس
- أ.د/ عادل هاشم همام
- أ.د/ حسام عبد العزيز البدرى
- أ.د/ أشرف إبراهيم عبد السلام
- د/ مصطفى عبد الفضيل
- د/ عمرو نور الدين
- م/ نهلة السرسى

الفريق البحثى الفنى المعاون

- م/ محمد أحمد أبو الفتوح
- م/ موسى محمد موسى
- م/ أحمد فتحى خليفة
- م/ أحمد جمال على عبد الرحمن
- م/ أحمد حازم محمد عبد المعطى

أعضاء المعمل وإدارة السكرتارية

المحتويات

		صفحة
١-	مقدمة	١
٢-	تعريف التربة القابلة للإنتفاخ	٢
٢-١	أنواع التربة القابلة للإنتفاخ (الإنتفاش)	٢
٢-١-١	الطين زائد التضاغط	٣
٢-١-٢	شيل (طين صفحى)	٣
٢-١-٣	حجر وحلى	٣
٢-١-٤	حجر طينى	٣
٢-١-٥	حجر طمى	٤
٢-١-٦	حجر وحلى متحول	٤
٢-١-٧	مارل	٤
٣-	تصرف التربة القابلة للإنتفاخ على المستوى المجهرى	٥
٣-١	التركيب المعدنى	٥
٣-٢	الترابط بين الصفائح أو الطبقات	٥
٣-٣	ميكانيكية الإنتفاخ	٦
٣-٣-١	الإنتفاخ المبدئى	٦
٣-٣-٢	الإنتفاخ نتيجة للتركيب المعدنى	٧
٤-	الظروف الجيولوجية للتربة القابلة للإنتفاخ	٩
٤-١	جيولوجية بعض المناطق ذات التربة القابلة للإنتفاخ بمصر	٩
٤-١-١	التكوين الجيولوجى لتربة مدينة نصر	١٠
٤-١-٢	التكوين الجيولوجى لتربة أسوان	١٠
٤-١-٣	التكوين الجيولوجى لبعض مناطق الدراسة	١٠
٥-	إستكشاف الموقع	١٢

٥-١	برنامج إستكشاف الموقع	١٢
٥-١-١	الإستطلاع المبدئى	١٢
٥-١-٢	أبحاث أولية	١٣
٥-١-٣	أبحاث لمرحلة التصميم	١٤
٥-٢	إعتبارات خاصة بإستكشاف الموقع	١٥
٥-٢-١	طرق استخراج العينات	١٥
٥-٢-٢	طرق أخذ العينات	١٦
٥-٢-٢-١	الحفر الإختبارية	١٦
٥-٢-٢-٢	أخذ العينات بالتثقيب بالدوران	١٧
٥-٢-٣	الإختبارات الحقلية	١٧
٦-	التعرف على التربة القابلة للإنتفاخ	١٩
٦-١	أهم الطرق لتصنيف التربة القابلة للإنتفاخ	١٩
٦-١-١	طرق تعتمد على الخواص الطبيعية للتربة	١٩
٦-١-١-١	طرق تعتمد على اللدونة	١٩
٦-١-١-٢	حدود أتربرج ونسبة محتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون	٢٠
٦-١-١-٣	الإنتفاخ الحر (Free swell)	٢١
٦-١-١-٤	دليل الإنتفاخ الحر	٢١
٦-١-١-٥	دليل الإنتفاخ Expansion Index	٢٢
٦-٢	طرق تعيين ضغط الإنتفاخ معملياً	٢٢
٦-٢-١	الطرق التجريبية Empirical Methods	٢٣
٦-٢-٢	طرق اختبار الأودوميتر Oedometer Test Methods	٢٣
٦-٢-٢-١	طريقة الحمل المسبق	٢٣
٦-٢-٢-٢	طريقة الإجهادات المختلفة	٢٤
٦-٢-٢-٣	طريقة الإستخدام المزدوج للأودوميتر	٢٥
٦-٢-٢-٤	طريقة الحجم الثابت	٢٥

٦-٣	طرق تعيين قوة المص للتربة Soil Suction Methods	٢٦
٦-٣-١	المص الكلى Total suction	٢٦
٦-٣-٢	طرق قياس matric suction	٢٧
٦-٤	طريقة التركيب المعدنى Mineralogy	٢٧
٦-٥	الطرق الكيميائية	٢٨
٦-٥-١	السعة التبادلية الكاتيونيه (CEC)	٢٨
٦-٥-٢	المساحة السطحية النوعية	٢٨
٦-٥-٣	طريقة البوتاسيوم الكلى (TP)	٢٩
٦-٦	عرض ملخص لبعض أبحاث مستحدثة فيما يتعلق بقابلية طاقة وضغط الإنتفاخ	٢٩
٦-٦-١	طرق مبسطة للتنبؤ والتعرف على مدى القابلية للإنتفاخ	٢٩
٦-٦-٢	تقدير طاقة الإنتفاخ للطين بعد الدمك	٢٩
٦-٦-٣	تأثير القابلية للإنتفاخ من حيث درجة الإنتفاخ والإنكماش المتكرر	٣٠
٦-٦-٤	مقارنة الإنتفاخ بين السلوك الإنتفاخى لعينات التربة القابلة للإنتفاخ غير المقلقلة والعينات المجهزة بالدمك	٣٠
٧-	معالجة التربة والتحكم فى الماء	٣٢
٧-١	تربة الإحلال	٣٢
٧-١-١	بعض الإعتبارات الواجب مراعاتها عند أخذ قرار إستخدام تربة الإحلال	٣٣
٧-١-٢	عرض ملخص لبعض الإبحاث السابقة فيما يتعلق بتربة الإحلال	٣٣
٧-٢	التحكم فى الماء (منع زيادة محتوى الماء بالتربة)	٣٥
٧-٢-١	حواجز الماء الأفقية	٣٥
٧-٢-٢	حواجز الماء الرأسية	٣٧
٧-٢-٣	بعض الإعتبارات الواجب مراعاتها عند تنفيذ حواجز الماء	٣٨
٧-٢-٤	مصارف تحت سطحية	٣٨
٧-٣	الميول الأرضية والمصارف تحت السطحية	٣٨

٤-٧	المعالجة بالخلطات الكيميائية (فى أعمال الطرق)	٤٦
١-٤-٧	المعالجة بالجير	٤٦
١-١-٤-٧	حالات المعالجة	٤٦
٢-٤-٧	المعالجة بالأسمنت البورتلاندى	٤٧
٣-٤-٧	المعالجة بخبث الحديد	٤٧
٥-٧	الخلاصة	٤٨
-٨	أخذ العينات والإختبارات المعملية	٤٩
١-٨	برنامج أخذ العينات Field Work	٤٩
٢-٨	الإختبارات المعملية Laboratory work	٥٢
١-٢-٨	نتائج إختبارات التركيب المعدنى	٥٢
٢-٢-٨	إختبارات الخصائص الجيوتكنيكية	٥٧
١-٢-٢-٨	الخصائص الطبيعية	٥٧
٢-٢-٢-٨	ضغط الإنتفاخ	٦٢
٣-٢-٢-٨	قوة المص	٦٥
٣-٨	تحليل النتائج	٦٥
١-٣-٨	العلاقة بين التركيب المعدنى والخصائص الجيوتكنيكية	٦٥
٢-٣-٨	نتائج إختبارات الخصائص الجيوتكنيكية	٦٧
١-٢-٣-٨	الخصائص الطبيعية	٦٧
٢-٢-٣-٨	ضغط الإنتفاخ	٧٤
٣-٢-٣-٨	قوة المص	٧٥
٤-٨	تأثير العوامل المختلفة على ضغط الإنتفاخ بالنسبة للمجموعات الثلاثة	٧٧
١-٤-٨	تأثير التركيب المعدنى	٧٧
١-١-٤-٨	تأثير نسبة المنتموريلونايت	٧٧
٢-١-٤-٨	تأثير الأيون التبادلى	٧٨
٢-٤-٨	تأثير الخصائص الطبيعية	٧٨

٨-٤-٢-١	تأثير محتوى الطين	٧٨
٨-٤-٢-٢	تأثير الرطوبة والكثافة الجافة	٧٨
٨-٥	الخلاصة	٧٩
٩-	تقييم درجة الخطورة للتربة القابلة للإنتفاخ (الإنتفاش)	٨١
٩-١-١	تقييم درجة الخطورة والقابلية للإنتفاخ بناء على حد السيولة ودليل اللدونة	٨١
٩-١-٢	تقييم طاقة الإنتفاخ طبقاً للفاعلية ونسبة محتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون	٨٥
٩-١-٣	تقييم درجة الخطورة بناء على دليل اللدونة ونسبه محتوى الطين الأقل مـــــــن ٢ ميكرون	٨٧
٩-١-٤	تصنيف درجة القابلية للإنتفاخ إعتماداً على نسبة محتوى الطين أقل من ٢ ميكرون وحدود أتربرج ونسبة الإنتفاخ	٩٠
٩-١-٥	الخلاصة	٩٠
١٠-	كيفية التعامل مع التربة القابلة للإنتفاخ	٩٤
١٠-١	اعتبارات خاصة بإستكشاف الموقع	٩٤
١٠-١-١	مراحل دراسة الموقع	٩٤
١٠-٢	إعتبارات خاصة بالإختبارات المعملية	٩٥
١٠-٣	إعتبارات خاصة بالإختبارات الحقلية	٩٥
١٠-٤	اعتبارات خاصة بمعالجة تربة التأسيس	٩٥
١٠-٤-١	مقدمـــة	٩٥
١٠-٤-٢	اعتبارات خاصة بتربة الإحلال	٩٦
١٠-٤-٢-١	مادة تربة الإحلال	٩٦
١٠-٤-٢-٢	عمق تربة الإحلال	٩٦
١٠-٤-٣	اعتبارات خاصة بالتحكم فى محتوى الرطوبة	٩٧
١٠-٤-٤	اعتبارات خاصة بالتصميم وطرق التأسيس	٩٨
١٠-٤-٤-١	إعتبارات خاصة بالتصميم	٩٨

١٠-٤-٤-٢	اعتبارات خاصة بطرق التأسيس	٩٨
١٠-٥	اعتبارات خاصة بمحتوى تقرير أبحاث التربة	١٠٠
١١-	الخلاصة	١٠١
١١-١	عموميات	١٠١
١١-٢	ماهى التربة القابلة للإنتفاخ	١٠١
١١-٢-١	ميكانيكية الإنتفاخ	١٠٢
١١-٢-٢	العوامل المؤثرة على قابلية التربة للإنتفاخ	١٠٣
١١-٣	دراسة الموقع	١٠٣
١١-٤	التعرف على التربة القابلة للإنتفاخ	١٠٤
١١-٤-١	محتوى الطين والتركيب المعدنى	١٠٤
١١-٤-٢	حدود أتربرج	١٠٤
١١-٤-٣	الفاعلية Ac	١٠٤
١١-٥	طرق تصنيف قابلية التربة للإنتفاخ	١٠٤
١١-٦	خلاصة الإختبارات المعملية التى أجريت لعينات التربة القابلة للإنتفاخ	١٠٥
١١-٦-١	توصيف العينات المختبرة	١٠٦
١١-٦-٢	تأثير العوامل المختلفة على ضغط الإنتفاخ لعينات المجموعات الثلاثة	١٠٦
١١-٦-٣	تصنيف التربة القابلة للإنتفاخ ودرجة خطورتها	١٠٦
١١-٧	طرق المعالجة والتأسيس	١٠٧
١١-٧-١	احتياطات خاصة بالتنفيذ	١٠٨
١١-٨	الأبحاث المستقبلية المطلوبة	١٠٨
١٢-	عرض لبعض الحالات الدراسية لتصدعات مبانى بسبب التأسيس على تربة قابلة للإنتفاخ والعلاج المقترح	١١٠
	المراجع	I-XVI
	الملاحق : نتائج الإختبارات للعينات المختبرة	
	ملحق (أ) نتائج التركيب المعدنى والكاتيونات التبادلية المحتملة	

	ملحق (ب) التدرج الحبيبى للتربة	
	ملحق (ج) إختبارات ضغط الإنتفاخ	

قائمة الجداول

الفصل الثامن : **الإختبارات المعملية**

		صفحة
جدول ٨-١	ملخص التركيب المعدنى للعينات المختبره (المجموعه الاولى - العياط)	٥٤
جدول ٨-٢	ملخص التركيب المعدنى للعينات المختبره (المجموعه الثانية - الجيزة)	٥٥
جدول ٨-٣	ملخص التركيب المعدنى للعينات المختبره المجموعه الثالثة (أماكن متفرقة)	٥٦
جدول ٨-٤	الخصائص الطبيعية لعينات التربة القابلة للإنتفاخ (المجموعة الأولى - العياط)	٥٨
جدول ٨-٥	الخصائص الطبيعية لعينات التربة القابلة للإنتفاخ (المجموعة الثانية - الجيزة)	٥٩
جدول ٨-٦	الخصائص الطبيعية لعينات التربة القابلة للإنتفاخ (المجموعة الثالثة - أماكن متفرقة)	٦٠
تابع جدول ٨-٦	الخصائص الطبيعية لعينات التربة القابلة للإنتفاخ (المجموعة الثالثة - أماكن متفرقة)	٦١
جدول ٨-٧ أ	تأثير طريقة تعيين ضغط الإنتفاش (المجموعة الأولى – العياط)	٦٣
جدول ٨-٧ ب	تأثير نسبة محتوى الرطوبة على ضغط الإنتفاش (المجموعة الأولى – العياط)	٦٣
جدول ٨-٨	تأثير طريقة تعيين ضغط الإنتفاش بالإضافة إلى نسبة محتوى الرطوبة (المجموعة الثانية - الجيزة)	٦٤
جدول ٨-٩	تأثير طريقة تعيين ضغط الإنتفاش (المجموعة الثالثة – أماكن متفرقة)	٦٤
جدول ٨-١٠	نتائج اختبارات قوة المص للمجموعة الاولي (العياط)	٧٦
جدول ٨-١١	نتائج اختبارات قوة المص للمجموعة الثانية (الجيزة)	٧٦
جدول ٨-١٢	نتائج اختبارات قوة المص للمجموعة الثالثة (أماكن متفرقة)	٧٧

الفصل التاسع **تقييم درجة الخطورة للتربة القابلة للإنتفاخ (الإنتفاش)**

جدول ٩-١	مقارنة التصنيفات الثلاثة لقابلية التربة للإنتفاخ ودرجة الخطورة بناءا علي الخصائص الطبيعية	٩٢
جدول ٩-٢	تصنيف قابلية التربة للإنتفاخ ودرجة الخطورة بناءا علي الخصائص الطبيعية ونسبة الإنتفاخ	٩٣

قائمة الأشكال

الفصل الثالث تصرف التربة القابلة للإنتفاخ على المستوى المجهرى — صفحة

شكل ٣-١	التركيب البنائي لكل من الإيلايت Illite والمنتمورولونايت Montmorillonite	٦
شكل ٣-٢	امتصاص معدن الطين للمياه	٨

الفصل الخامس إستكشاف الموقع

شكل ٥-١	**برنامج استكشاف الموقع**	١٨

الفصل السادس التعرف على التربة القابلة للإنتفاخ

شكل ٦-١	خصائص اللدونة لمعادن الطين	٢٠
شكل ٦-٢	تعيين ضغط الإنتفاخ بطريقة االحمل المسبق	٢٤
شكل ٦-٣	تعيين ضغط الإنتفاخ بطريقة الإجهادات المختلفة	٢٤
شكل ٦-٤	تعيين ضغط الإنتفاخ من طريقة الإستخدام المزدوج للإيدوميتر	٢٥
شكل ٦-٥	أنواع المص	٢٧

الفصل السابع معالجة التربة والتحكم فى الماء

شكل ٧-١	تطبيق استخدام الأغشية الأفقية	٤٠
شكل ٧-٢	حواجز الرطوبة الرأسية	٤١
شكل ٧-٣	حواجز الرطوبة الرأسية والأفقية	٤٢
شكل ٧-٤	المصارف المحيطة أ) الخارجية ب) الداخلية	٤٣
شكل ٧-٥	ترنشات التصريف حول المبني من الخارج	٤٤
شكل ٧-٦	تخطيط وأماكن تدفق المياه بعيدا عن المبني	٤٥

الفصل الثامن الإختبارات المعملية

شكل ٨-١	البرنامج العملي للإختبارات المعملية	٥١
شكل ٨-٢	تصنيف التربة القابلة للإنتفاخ لعينات المجموعة الأولى - العياط	٧٠
شكل ٨-٣	تصنيف التربة القابلة للإنتفاخ لعينات المجموعة الثانية - الجيزة	٧١
شكل ٨-٤	تصنيف التربة القابلة للإنتفاخ لعينات المجموعة الثالثة - أماكن متفرقة	٧٢
تابع شكل ٨-٤	تصنيف التربة القابلة للإنتفاخ لعينات المجموعة الثالثة - أماكن متفرقة	٧٣

الفصل التاسع **تقييم درجة الخطورة للتربة القابلة للإنتفاخ (الإنتفاش)**

		صفحة
شكل ٩-١	تصنيف التربة وقابليتها للإنتفاخ بناءا علي حد السيولة ودليل اللدونة لعينات المجموعة الأولي بالعياط	٨٢
شكل ٩-٢	تصنيف التربة وقابليتها للإنتفاخ بناءا علي حد السيولة ودليل اللدونة لعينات المجموعة الثانية بالجيزة	٨٣
شكل ٩-٣	تصنيف التربة وقابليتها للإنتفاخ بناءا علي حد السيولة ودليل اللدونة لعينات أماكن متفرقة	٨٤
شكل ٩-٤	تصنيف طاقة الإنتفاخ لعينات التربة للمجموعة الأولى بالعياط بناء على نشاط التربة لعينات طينية مدموكة	٨٥
شكل ٩-٥	تصنيف طاقة الإنتفاخ لعينات التربة للمجموعة الثانية بالجيزة بناء على نشاط التربة لعينات طينية مدموكة	٨٦
شكل ٩-٦	تصنيف طاقة الإنتفاخ لعينات التربة للمجموعة الثالثة بأماكن متفرقة بناء على نشاط التربة لعينات طينية مدموكة	٨٦
تابع شكل ٩-٦	تصنيف طاقة الإنتفاخ لعينات التربة للمجموعة الثالثة – أماكن متفرقة بناء على نشاط التربة لعينات طينية مدموكة	٨٧
شكل ٩-٧	تصنيف درجة خطورة التربة القابلة للإنتفاخ بناء على دليل اللدونة و نسبة محتوى الطين لعينات التربة للمجموعة الأولى – العياط	٨٨
شكل ٩-٨	تصنيف درجة خطورة التربة القابلة للإنتفاخ بناء على دليل اللدونة و نسبة محتوى الطين لعينات المجموعة الثانية – الجيزة	٨٨
شكل ٩-٩	تصنيف درجة خطورة التربة القابلة للإنتفاخ بناء على دليل اللدونة و نسبة محتوى الطين لعينات المجموعة الثالثة – أماكن متفرقة	٨٩
تابع شكل ٩-٩	تصنيف درجة خطورة التربة القابلة للإنتفاخ بناء على دليل اللدونة و نسبة محتوى الطين لعينات المجموعة الثالثة – أماكن متفرقة	٨٩

قائمة الصور

الفصل الثامن **الإختبارات المعملية** **صفحة**

صورة ١	كتل حجرية لم نتمكن من أخذ عينات منها	٤٩
صورة ٢	مواقع الجسات	٥٠

تقييم الخصائص الجيوتكنيكية لتكوينات بعض أنواع التربة القابلة للإنتفاخ (Swelling) المنتشرة بمصر وكيفية التعامل معها

١ – المقدمة

تتواجد التربة القابله للإنتفاخ بكثرة فى المناطق الجافة وشبه الجافة فى العالم . التربة الجافة المتواجدة فى مصر بالمناطق الصحراوية تختلف فى صفاتها وتصرفها عن تلك المتواجدة فى وادى النيل والتى أعتاد المهندسون البناء عليها من أزمان بعيدة ، وبإنتقال العمران للمناطق الصحراوية كانت التربة الجافة هى التى تمثل أغلب نوعيات التربة المتواجدة فى هذه المناطق ، ومن أكثر أنواع التربة إنتشاراً فى هذه المناطق التربة القابلة للإنهيار والتربة القابلة للإنتفاخ .

والتربة القابلة للإنتفاخ موضوع هذا البحث ذات حساسية عالية للتغير فى محتوى الماء وقوة المص ، حيث أن ضغوط الإنتفاخ الناتجة عن التغير فى محتوى الماء وقوة المص للتربة غير المشبعة والقابلة للإنتفاخ هى المسئولة عن حدوث تحركات فى تربة التأسيس التحتية ، مما يؤدى إلى حدوث تصدعات مؤثرة بالمنشآت فى حالة التأسيس عليها.

كان اول ظهور للتربة القابلة للإنتفاخ فى مصر عام ١٩٥٧ عندما أكتشف الباحثون فى مصر (Youssef et al., 1957) التصدعات الكبيرة التى حدثت لمنشا تم تأسيسه على تربة ذات قابلية عالية للإنتفاخ ، وهذا المنشأ كان لمبنى مستشفى فى أسوان. ومنذ هذا الوقت زاد الوعى بوجود التربة الطينية القابلة للإنتفاخ بمصر والتى تأكد ظهورها بمعدلات أكبر.

ميكانيكا التربة الكلاسيكية تختص بالتربة المشبعة التي تم دراستها بكثافة فى المراجع منذ ١٩٢٥ ، وأما التربة غير المشبعة فى المناطق الجافة وشبة الجافة فتغطى مساحات كبيرة من القشرة الأرضية وتغطى اجزاء كبيرة من مصر . والفارق بين التربة الطينية غير المشبعة وبين التربة الطينية المشبعة غير قابلة للإنتفاخ هو أن الاولى عندما تتشبع بالماء تكون قابلة للإنتفاخ وقابلة لفقد مقاومة القص ، وعندما يمنع هذا الإنتفاخ يتولد ضغط.

وتصميم الأساسات على التربة القابلة للإنتفاخ معقد. لأن تعيين ضغط الإنتفاخ المطلوب لتصميم الأساسات يعتمد على معدل إنتشار الرطوبة خلال التربة وتحت الأساسات وماينتج من التغير الحجمى

heave بسبب حركة هذه الرطوبة. ولذلك فإن التقدير الدقيق لتصرف هذا النوع من التربة يعتمد على معرفة المعاملات المختلفة المؤثرة فى هذا السلوك والمسببة للإنتفاخ.

يعتمد المهندسون الممارسون على إستخدام طرق مختلفة فى التصميم والإنشاء وتثبيت التربة لتقليل الخسائر المصاحبة للتأسيس على هذه النوعية من التربة. ويعتمد نجاح أى من هذه الطرق على تقدير ضغط الإنتفاخ الأقرب لما يحدث فى الواقع ومدى قابلية التربة للإنتفاخ. وقد ثبت أن التعيين المؤكد لضغط الإنتفاخ من الصعب تحديده حتى الآن ، ولهذه الأسباب فإن تصميم الأساسات على التربة القابلة للإنتفاخ هو من التحديات التى يلاقيها المهندسون الجيوتكنيكيون الممارسون.

كشف إمتداد العمران إلى المناطق الصحراوية انتشار وجود هذه التربة على خريطة مصر، كما ظهر الكثير من الأبحاث العلمية فى هذا المجال التى ألقت الضوء على كثير من الظواهر، وفى نفس الوقت أثارت العديد من التساؤلات الجديدة التى تحتاج إلى المزيد من الأبحاث .

ولتحقيق التنمية المستدامة فى الإنتقال بالعمران للمناطق الصحراوية وإنشاء شبكة طرق كبيرة، يجب تزويد المهندسين بالخبرات والمعلومات اللازمة عن هذه النوعية من التربة والإعتبارات الخاصة بإستكشاف الموقع، وإعداد الدراسات اللازمة للموقع الإنشائى وكيفية التعامل مع هذه النوعية من التربة وطرق التأسيس عليها بالإضافة إلى توفير المعلومات الكافية واللازمة لمتخذى القرار عن أهمية عمل الدراسات المتكاملة (جيولوجية وجيومورفولوجية ودراسات استكشاف الموقع وأبحاث التربة) اللازمة لإختيار أنسب المواقع للإنشاء فى المناطق الصحراوية ذات الطبيعة الجافة .

ويهدف هذا البحث إلى معاونة القطاع الهندسى فى التعامل مع التربة القابلة للإنتفاخ ، من خلال التعرف عليها وتصنيفها وتحديد خصائصها الجيولوجية والمعدنية والطبيعية والميكانيكية ومدى تأثرها بالعوامل البيئية ، ثم تقدير مدى خطورتها ، وعرض الطرق المختلفة والوسائل المناسبة للتأسيس عليها والتعامل معها ، والإحتياطات الواجب اتخاذها عند الإنشاء.

٢- تعريف التربة القابلة للإنتفاخ

٢-١ أنواع التربة القابلة للإنتفاخ (الإنتفاش)

تصنف التربة القابلة للإنتفاخ بأنها تربة جافة أو مشبعة جزئياً، وتحتوى فى معظم الحالات على معادن الطين النشطة مثل معدن المونتموريلونايت montmorillonite والأنواع السائدة للتربة القابلة للإنتفاخ هى: طين زائد التضاغط، أو شيل (طين صفحى)، أو حجر وحلى، أو حجر طينى، أو حجر طميى، أو طين وحلى متحول، أو مارل. وغالباً ما تتواجد تلك المواد فى حالتها الطبيعية كمواد شديدة التحجر (hardly indurated)، إلا أنه عند تعرضها للبلل (wetting) يتناقص هذا التحجر بدرجة كبيرة.

٢-١-١ الطين زائد التضاغط Overconsolidated clay

يتواجد الطين زائد التضاغط فى الطبيعة تحت ضغط إجهاد عمودى مؤثر أقل من أقصى إجهاد عمودى تعرض له فى السابق ، والإنتفاخ فى هذه الحالة يختلف لإنه عبارة عن ارتداد للتضاغط وليس بسبب الرطوبة.

٢-١-٢ شيل (طين صفحى) Shale

يعتبر الشيل الأكثر تحجراً، كما يكون عادة تشققى أو صفائحى بفعل مكونات الميكا المترسبة فى مستويات متوازية أثناء وقت الترسيب (Underwood,L.B, 1967) .

وعموماً يتكون الشيل من طبقات (رقائق) رقيقة جداً (thinner beds) متبادلة من الطين والطمى والرمل ويمثل الطين المكون الرئيسى فيها. وللشيل ألوان متعددة مثل: رمادى، أحمر، أصفر، أخضر تبعاً للظروف الجيولوجية للترسب (Taylor,R.M.,1981) and (Gillot,J.E, 1968)).

٢-١-٣ حجر وحلى Mudstone

هو صخر غير تشققى ، شديد التحجر، من طين طميى رملى ، ليس له إتجاه محدد للتفلق أو التكسر ونواتج الكسر كتلية (Gillot,J.E., 1968).

٢-١-٤ حجر طينى Claystone

طين طميى شديد التحجر وغالباً ما يتكسر إلى كتل مخروطية غير منتظمة

.(Gillot,J.E., 1968)and (Underwood,L.B., 1967)

٢-١-٥ حجر طميى Siltstone

طمي طينى شديد التحجر ، ويمثل الطمى فيه المكون الرئيسى (Gillot,J.E., 1968).

٢-١-٦ حجر وحلى متحول (Metamorphic mudstone)Argillite

حجر وحلى متحول فى مراحل التحول الأولى، وهو أكثر تحجراً من الطين الوحلى، وليس له أى تطبق، وله تكون كتلى (massive structure).

٢-١-٧ مارل Marl

هو حجر طينى جيرى نسبة كربونات الكالسيوم به تتعدى نسبة ٣٥% من تكوينه.

وفى العموم عندما يتماسك الطين المترسب فى الماء فإنه يطلق عليه اسم حجر طينى . وعندما يتواجد معه الطمى والرمل فإن التسمية تصبح حجر وحلى.أما إذا كان الطين المترسب عبارة عن صفائح من طبقات رقيقة متتالية ومتوازية يطلق عليه اسم الشيل. وعندما يصبح الصخر الوحلى أكثر تحجراً فإنه يطلق عليه اسم أرجيلايت.

٣ – تصرف التربة القابلة للإنتفاخ على المستوى المجهرى

Role of Micro Scale Aspects of Expansive Soil Behaviour

تصرف التربة القابلة للإنتفاخ على المستوى المجهرى يأخذ فى الإعتبار التركيب المعدنى لحبيبات الطين وكيفية تفاعلها مع كيميائية الماء بالتربة . كما إنه يبين الكاتيون المنجذب لحبيبات التربة .

٣-١ التركيب المعدنى

معظم معادن الطين تتكون على هيئة صفائح Sheets أو طبقات Layers . وتتكون حبيبة الطين للتربة القابلة للإنتفاخ من صفائح ميكرسكوبية عليها شحنات سالبة على أسطح الصفائح.

وهناك ثلاث مجموعات من المعادن توصف درجة القابلية للإنتفاخ كما يلى:

١- مجموعة الكاولينايت Kaolinite : غير قابلة للإنتفاخ.

٢- مجموعة شبيهة الميكا: تشتمل على الإيلايت Illites ، والفيرميكولايت Vermiculite اللذان قد يسبباً قابلية للإنتفاخ ولكن الإنتفاخ الناتج لايسبب مشاكل.

٣- مجموعة السمكتايت : Smectite : وتشمل المونتموريلونايت Montmorillonite : وهى عالية القابلية للإنتفاخ وأكثر معادن الطين المسببة للمشاكل.

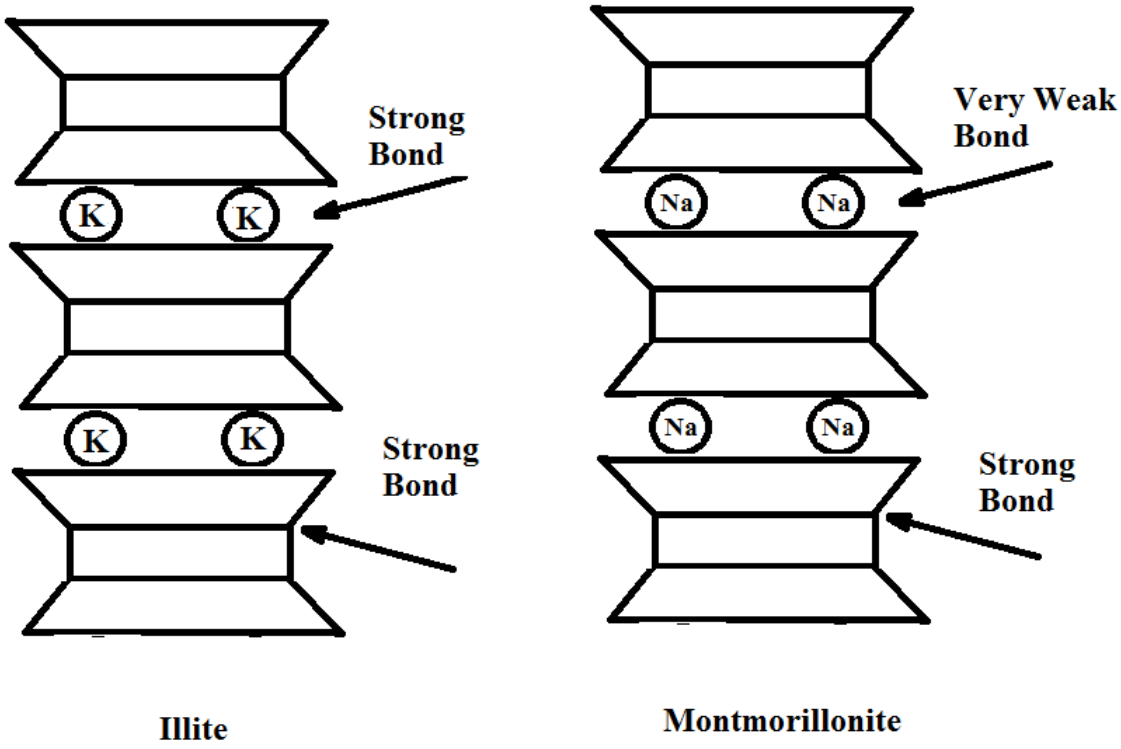
وفى الطبيعة قد تظهر هذه المجموعات منفردة أو متجمعة. وهيكل كل هذه المجموعات يتكون من كريستالات رقائقية وما يميز التركيب المعدنى للطين هو الترتيب الطبيعى للطبقات المختلفة المكونة للكريستالات وكيفية ترابطها.

والشكل(٣-١) يوضح رسم تخطيطى لشكل نموذجى لأثنين من المعادن المونتموريلونايت والإيلايت والتكوين البنائى(المكون من مجموعة من الصفائح) يلعب دور هام فى تصرف المعادن المختلفة .

٣-٢ الترابط بين الصفائح أو الطبقات

الترابط بين صفائح السليكا فـــى معـــدن المونتموريلونايت يكون عـــن طريق قوى Van der Waal الضعيفة وفى معدن الإيلايت الترابط بين صفائح السليكا يكون بواسطة أيون البوتاسيوم . فحجم أيون البوتاسيوم يملأ الفراغ بين صفائح السليكا . كما أن وجود أيون البوتاسيوم فى هذا الفراغ بين صفائح

السليكا يكون ترابط قوى بينهما (Grim ,1959). ولذلك فإن معادن الإيلايت يكون لها إنتفاخ أقل كثيراً من مايحدث فى معادن المنتموريلونايت شكل (٣-١) .



شكل (٣-١) التركيب البنائي لكل من الإيلايت Illite والمنتموريلونايت Montmorillonite
(Nelson, J.D., et al. 2015)

٣-٣ ميكانيكية الإنتفاخ

٣-٣-١ الإنتفاخ المبدئى

عند تعرض التربة للمياه وإمتصاصها للرطوبة فإن الماء يملأ الفراغات مسبباً إنتفاخ أولى يعتمد على الكثافة الجافة . وكلما زادت نسبة الفراغات بالنسبة للحجم الكلي كلما كانت الكثافة أقل وبالتالى الإنتفاخ الأولى أعلى ، وتستمر عملية الامتصاص حتى نقطة التشبع والتى عندها يصبح الإنتفاخ نتيجة التركيب المعدنى للطين.

٣-٣-٢ الإنتفاخ نتيجة للتركيب المعدنى

يتكون الطين (بالفحص الميكرسكوبى) من كريستالات ، وهذه الكريستالات عبارة عن مجموعات من الصفائح على هيئة طبقات ، تشبه صفحات الكتاب وتتميز معادن الطين عن بعضها طبقاً لكيفية تركيب وترابط هذه الصفائح مع بعضها.

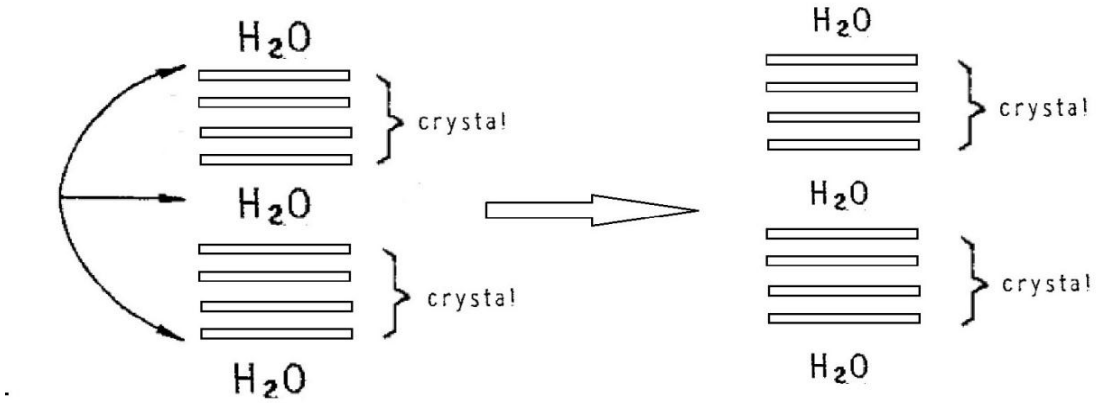
وعندما تكون المياه الممتصة مقتصرة على الأسطح الخارجية لمعادن الطين والفراغات التى بين الكريستالات فإنه يسمى إنتفاخ بين الكريستالات (inter- crystalline swelling). وكما هو موضح بشكل (٣-٢) أما عندما يتخلل الماء بين الطبقات المكونة للكريستالات فإنه يطلق علي التغير الحجمى الإنتفاخى فى هذه الحال إنتفاخ داخل الكريستالات (intra-crystalline swelling) وأفاد Gillot, (1968) أنه عندما يكون الإنتفاخ داخل الصفائح المكونة للكريستالات (intra-crystalline swelling) فإن ذلك يحدث نتيجة لأن قوة التجاذب التى تربط الصفائح معاً أقل من قوى التجاذب المسئولة عن إمتصاص الماء .

ولا يحدث الإنتفاخ لمعادن الطين نتيجة إختلاف فى طبيعة القوى المؤثرة ، ولكنها ناتجة عن الإختلاف فى مقدار هذه القوى التى تحدث نتيجة مجموعة من العوامل أهمها ما يتعلق بكيميائية كريستالات المعادن . فمثلاً التكوين السطحى للمونتوريلونايت مشابه للإيلايت غير القابل للإنتفاخ . ولكن فى الإيلايت توجد شحنات أعلى لوحدة المساحة على الأسطح عن تلك التى فى المونتوريلونايت ، لذلك فإن الترابط الداخلى القوى بين الطبقات يجعل المياه غير قادرة على التخلل بين تلك الطبقات (الصفائح).

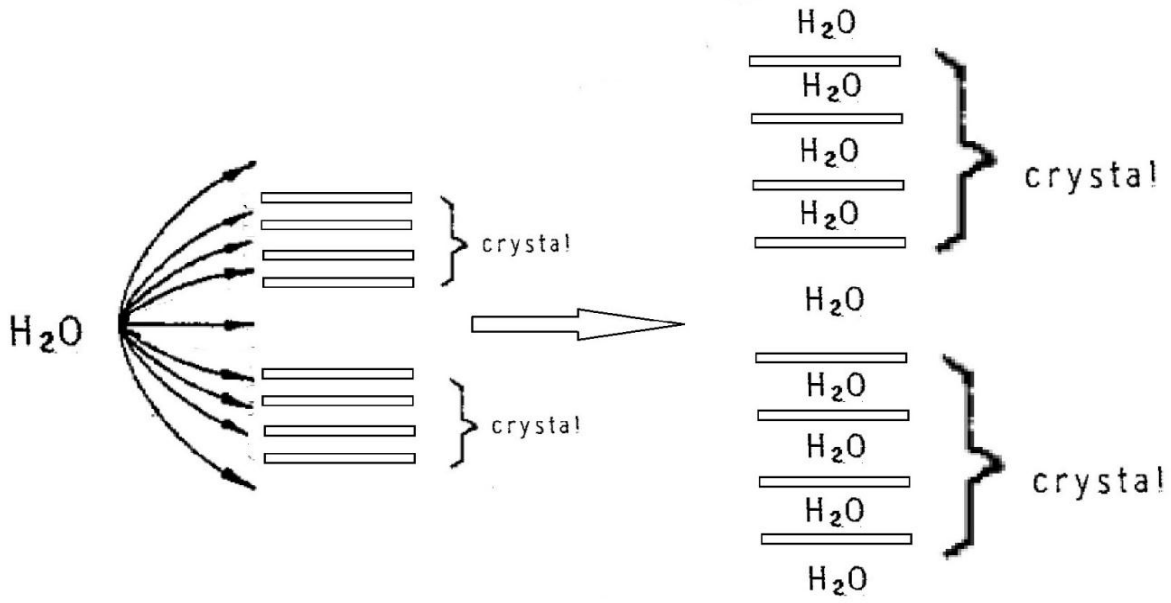
ويعتبر معدن المونتوريلونايت المشبع بأيون الصوديوم التبادلى (Smectite) من دون جميع معادن الطين لـه أكبـر قـدرة علـى الإنتفـاخ ، حيـث تنفصـل كريسـتالات هـذه المعـادن فـى الميـاه لصـفائح بعـد أن يحتل أيون الصوديوم التبادلى وجزئيات المياه الفراغ بين هذه الصفائح .

وبالإضـافة إلـى الـsmectite فـإن هنـاك بعـض المعـادن ذات صـفائح لهـا قابليـة للإنتفـاخ قـادرة علـى إمتصـاص المـاء لـداخل الكريسـتالات بـين الصـفائح الداخليـة .ومثـال لهـذه المعـادن هـو (vermiculite) و(chlorite)، و(halloysite) وبعـض المعـادن المكونـة مـن طبقـات تبادليـة، ولكـن الإنتفـاخ النـاتج فـى هـذه المعـادن أقـل كثيـراً منـه فـى حالـة الصـوديوم مونتموريلونايـت (Na-montmorillonite) . وعمومـاً عنـدما تـتمكن الميـاه مـن النفـاذ للأسـطح الداخليـة ، يصـبح

الحجم المتشبع لوحدة كتلة الطين أكبر بكثير من حدوثه فقط على الأسطح الخارجية ويكون التغير الحجمى أكبر.



Inter - Crystalline Swelling



Intra - Crystalline Swelling

شكل (٣-٢) امتصاص معدن الطين للمياه (Gillott, J.E., 1968)

٤- الظروف الجيولوجية للتربة القابلة للإنتفاخ

البيئة الأصلية لترسب التربة القابلة للإنتفاخ قد تكون إحدى البيئات التالية:

١) بيئة صحراوية Desert environment

٢) بيئة نهرية Fluvial environment

٣) بيئة المياه الضحلة Shelf environment

٤) أو بيئة مصبات الأنهار Estuarine environment

تؤثر تلك البيئات على الأيونات المختلفة اللازمة لتكون الطين القابل للإنتفاخ. والتكوين المعدنى للطين يمثل العامل الأكبر المؤثر فى خصائص الإنتفاخ ، فإذا تبين أن أحد مكونات الطين كان من معادن السمكتايت (smectite minerals) فهذا مؤشر على قابلية للإنتفاخ .

حيث أن تلك المعادن لها تكوين طبقى يدمص (adsorb) بعض الأيونات (cations) بين طبقاته. وجود هذه العناصر خاصة الليثيوم والصوديوم والماغنسيوم (Li,Na,Mg) تقوم بإدمصاص المياه بين طبقات كريستالات الطين، محدثة تغيير فى مسافات التباعد الأصلية (basal spacings) مؤدية إلى الإنتفاخ وذلك فى حالة كون الأيونات المتواجدة بين طبقات الطين قابلة للتبادل (exchangeable) بحيث يحل محلها أيونات أخرى.

والبيئات المألوف تواجد فيها تركيز عالى من تلك الأيونات القابلة للتبادل هى تلك المناطق الجافة (القاحلة) بسبب ارتفاع معدلات البخر عن معدلات الترسيب ونسبة التركيز العالية للأيونات يدعم حدوث نسب عالية من التبادل الأيونى (isomorophous substitution). كما أن ذلك التركيز العالى للأيونات القابلة للتبادل سوف يؤدى إلى تمددية عالية. تلك الأنواع من الطين قد تظل باقية فى مواقعها الطبيعية، أو قد تكون تكونت من تجوّى طبقات الصخر أثناء أو بعد الإنتقال.

بمعنى أخر فإن البيئة المساعدة علي تكون التربة القابلة للإنتفاخ عادة ما تكون البيئة الصحراوية، وفيها يلعب تغير محتوى الرطوبة دوراً هاماً فى خصائص الإنتفاخ.

ظهرت أنواع هذه التربة فى مصر فى بعض المناطق منها على سبيل المثال وليس الحصر، مدينة نصر، طريق القاهرة السويس، الفيوم، كوم أمبو، أسوان، الوادى الجديد، مدينة العاشر من رمضان، مدينة العبور، مدينة الشروق، مدينة٦ أكتوبر والشيخ زايد ومدينة السادات.

٤-١ جيولوجية بعض المناطق ذات التربة القابلة للإنتفاخ بمصر

٤-١-١ التكوين الجيولوجى لتربة مدينة نصر

تتبع تكوينات مدينة نصر عصور الأوليجوسين والبلايوسين والحديث . وتوجد أربع طبقات طينية أقربها إلى سطح الأرض يتبع عصر البلايوسين والثلاثة الأخرى تتبع عصور الأوليجوسين . وقد تكونت هذه الطبقات فى هذه الأزمنة تحت ظروف بيئية بحرية ضحلة (Shallow marine environment) هذه الظروف البيئية تساعد على زيادة أيونات الأملاح ذات خاصية التبادل الأيونى لمعادن الطين . وقد تأكد ذلك من قياس تركيز أيون الهيدروجين (PH Value). تبين من دراسة التركيب المعدنى لهذه الطبقات أن هذه الطبقات قد ترسبت بالقرب من إلتقاء مصاب الأنهار بالبحر وهى ظروف ترسيبية مضطربة(Mazen, 1978).

٤-١-٢ التكوين الجيولوجى لتربة أسوان

يجرى نهر النيل فى اتجاه الشمال بمنطقة أسوان مرسباً فيما بين شواطئه حادة الانحدار (Steep banks Cliffs) مستويات من ترسيبات الطمى النهرية (alluvial) المنحوتة بواسطته فى الصخور االرسوبية الأقدم ، مظهراً لمساحات واسعة من الصخور النارية والمتحولة التى تمتد جنوب أسوان . تتبع تلك الصخور مجموعة العصر قبل الكمبيرى (Pre-Camberian group) .
(M.S. Youssef, A.A. Sabry & M.M. Tewfik,1957)

ويظهر موقع مدينة أسوان علي شكل مثلث . فى مواجهة الجانب الجنوبى للمثلث تقع صخور العصر الكمبيرى القديم (Old pre-camberian rocks) ، وبمواجهة الجانب الشرقى تمتد وديان عصور ماقبل التاريخ (Paleolithic) والتى كانت تمد النهر بالمياه فى أزمنة قديمة قبل اتصاله بالمنابع الأفريقية (كتاب نهر النيل – رشدى سعيد ٢٠٠١).

يتكون موقع مستشفى أسوان من ترسيبات البليوستوسين (Pleistocene deposits) . وقد ذكر فى (Ball, 1908) أن أصول هذه الترسيبات ترجع إلى أزمنة ترك النيل لمجراه الشرقى خلال الوديان المذكورة مخلفاً وراءه تجمعات مياه وبحيرات مالحة قد سمحت بحدوث ترسيبات دقيقة داخل مياهها الراكدة .

٤-١-٣ التكوين الجيولوجى لبعض مناطق الدراسة

العينات المستخرجة داخل نطاق محافظة الجيزة ، وعلى سبيل المثال من موقعى "العياط" ، و"طهما" غرب

النيل وموقع "أبو صبيح" شرق النيل ، والمصنف بعضها بحجر طينى (Claystone) ، وبعضها بحجر وحلى (Mudston) ، جميعها تتبع فى تكونيها الجيولوجى إلى حقبة "الكواترنارى" (Quaternary Age) ، والتى تتمثل فى ترسيبات نيلية أقدم (Older Nile Deposits) ، وذلك طبقاً لخريطة مصر الجيولوجية (Geological Map Of Egypt ،1971). ترسبت تلك التكوينات فى مواقعها الحالية أثناء تحركات نهر النيل فى نطاق محافظة الجيزة خلال الحقبة المذكورة (Quaternary Age). ذكرت بعض هذه التحركات فى (Hazwell ،1922) ، وأيضاً فى (Nadia Sh . Guirguis ،1973).

جدير بالذكر أن التربة القابلة للإنتفاخ هى ضمن الترسيبات الصحراوية الجافة وهذه التربة قد ترسبت بالقرب من مصبات الأنهار بالبحر فى الأزمنة الجيولوجية المختلفة وهى ظروف بيئية بحرية ضحلة Shallow Marine Enviroment وهذه البيئة غنية جداً بأيونات الأملاح ذات خاصية التبادل الأيونى والتى لها تأثير كبير على القابلية للإنتفاخ.

٥ – إستكشاف الموقع

٥-١ برنامج إستكشاف الموقع

تعتمد جودة إستكشاف الموقع على خبرة وتقييم مهندس الموقع و/ أو الجيولوجى (John D Nelson. et.al.,2015) وتتم دراسة وإستكشاف الموقع على خطوات تؤدى إلى تجميع المعلومات عن تربة الموقع وتتضمن الخطوات التالية :

١- **الإستطلاع المبدئى:** مراجعة جميع المعلومات والخرائط المتاحة مع عمل زيارة أولية للموقع .

٢- **أبحاث أولية:** تشمل خرائط سطحية تفصيلية ، جسات استرشادية ، إختبارات معملية أولية وتحاليل لتوصيف التربة.

٣- **الأبحاث لمرحلة التصميم** : تشمل تنفيذ جسات لإستخراج عينات من التربة ، وإجراء إختبارات معملية وحقلية ، وإجراء تحليل كاف للبيانات لتعيين معاملات التربة المستخدمة فى تصميم الأساسات على التربة القابلة للإنتفاخ .

٥-١-١ الإستطلاع المبدئى

– يجب أن يتضمن الإستطلاع المبدئى مراجعة كل المستندات والمعلومات المتوفرة عن تاريخ الموقع، مع عمل زيارة ميدانية.

– يجب أن تشمل المعلومات والمستندات الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية ، وأى تقارير سابقة وخاصة تقارير أبحاث التربة ورسومات المنشآت المقامة.

– من المفيد وجود أى صور جوية أخذت على مدى السنين الماضية ، وقبل إجراء استطلاع للموقع ، حيث إنها توضح تاريخ الموقع وملامحه من وجود برك أو أراضى موحلة أو طرق أو أى مظاهر أخرى عن سابقة استخدامه قد تؤثر على تصرف التربة .

– تفيد الزيارة المبدئية للموقع في التعرف على مناطق المشاكل الطبوغرافية والجيولوجية والتى من الممكن أن تشير إلى تصرف التربة فى الموقع ، وتساعد فى التعرف على المناطق المعرضة للبلل أو التغير فى الرطوبة فى الموقع.

– من الممكن التأكيد علي جيولوجية الموقع والتعرف على المناطق ذات المشاكل أو طبقات التربة القابلة للإنتفاخ من المناطق التى كشفت فى حفر الطرق أو كانت طبقات بارزة من الصخور على سطح الأرض

– من أهم النقاط عند زيارة الموقع أن يتم تسجيل أماكن المنشآت القائمة ، والطبقات البارزة من الصخور على سطح الأرض ، والميول ، ومصادر المياه داخل وخارج الموقع ، ومسارات المعدات والمحركات.

– من المهم التعرف على مصادر المياه فى مواقع التربة القابلة للإنتفاخ . كما أنه يجب فحص طبيعة تصريف المياه فى الموقع وانحدارات ميول الوديان ، وأى مشاكل للميول من انزلاقات أرضية أو سيول طمييية (Mud Flows) ، أو تواجد ترع أو أنهار قريبة . مصادر التصريف للمياه سوف تحكم إتجاه سريان المياه السطحية كما يجب ملاحظة المناطق التى يكون سريان المياه فيها مقيد والذى سوف يتسبب فى حدوث برك ومناطق تجمع للمياه .

٥-١-٢ أبحاث أولية

– الغرض من الأبحاث الأولية توفير المعلومات العامة عن التربة الموجودة فى الموقع ومدى قابليتها للإنتفاخ أو الإنكماش . هذه الأبحاث تشمل بعض عينات من التربة التحتية واختبارات معملية وتحليل أولى للنتائج .

– يجب بالنسبة للمواقع الكبيرة أن ينفذ الإستكشاف على مراحل تفصيلية ، حتى تتحقق الفائدة من التمويل ، وإمكانية الحصول على أكبر كم من المعلومات ، وهذه الأبحاث الأولية يمكن الإستفادة منها فى إضافة معلومات أكثر للإستطلاعات الأولية التى تساعد فى مرحلة التصميم .

يجب أن يؤكد برنامج استكشاف التربة التحتية على أخذ العينات فى المناطق التى أكدت الإستطلاعات الأولية أن المشاكل تتواجد بها. ومن الممكن أن تشمل تنفيذ عدد أكثر من الحفر الإستكشافية خصوصاً داخل وحول موقع المبنى، وذلك للتعرف عموما على قطاع التربة وطبقات التربة المتغيرة التى سوف تؤثر على الأساسات . وتجرى الإختبارات المعملية الأولية على العينات الممثلة التى سوف تساعد فى توضيح قطاع التربة ، وعينات لتصنيف التربة مثل تعيين حدود أتربرج والكثافة النوعية والتدرج الحبيبى.

– فائدة البرنامج الأولى هو الحصول على المعلومات الأولية اللازمة للتخطيط وللإستكشاف لمرحلة التصميم والتى تساعد فى معرفة المواقع التى سوف يتم فيها تنفيذ استكشافات تفصيلية ، وتحديد الأعماق ومعدل استخراج العينات ، والإختبارات المعملية التى سوف يتم اجراؤها ، ونوع القياسات الحقلية التى ستتم.

– ستقدم الأبحاث الأولية توصيف للأجزاء الأخرى اللازمة لبرنامج الإستكشاف التفصيلى لأبحاث مرحلة التصميم . كما أنها تخدم كجزء قيم لدراسة الجدوى لمعرفة مدى إمكانية التنمية فى ذات المنطقة ، وإمداد

المخططين بالمعلومات للتنمية، وماتحتاجه من تكاليف لمزيد من التنمية، علماً بأن هذه الأبحاث الأولية غير كافية للإستخدام للمرحلة النهائية لتصميم الأساسات .

٥-١-٣ أبحاث لمرحلة التصميم

الغرض من هذه المرحلة هو إمداد المهندس الجيوتقنى بالمعلومات والبيانات الضرورية للتوصل إلى التصميم النهائى للأساسات . هذه المرحلة تحتاج لبرنامج شامل لإستخراج عينات وإجراء إختبارات أكثر مما تم إجراؤه فى الأبحاث الأولية . ويجب فى هذه المرحلة أخذ الإعتبارات الآتية :

- توزيع أماكن الجسات .
- أعماق الإستكشاف.
- تكرار إستخراج العينات والعمق .
- تتضمن الأبحاث لمرحلة التصميم توصيف مفصل لقطاع التربة ، وتعيين خواص التربة وقيم معاملات التربة وقابلية التربة للإنتفاخ .
- تحديد عدد الجسات وأعماقها المناسبة و توزيعها بطريقة مناسبة للتعرف على قطاع التربة وإستخراج العينات من التربة اللازمة للإختبارات المعملية، بالإضافة إلى العينات التى يتم استخراجها عادة فى المواقع التى ليس بها تربة قابلة للإنتفاخ .
- يجب أن تكون العينات والإختبارات للتربة القابلة للإنتفاخ كافية لإستخراج بيانات للتحليل لطاقة الإنتفاخ الكلية ، والتفاوت فيها بالنسبة لتربة التأسيس ، وكذلك قدرة التحمل والهبوط . ولذلك يتم استخراج عدد أكبر من العينات من المواقع التى بها تربة قابلة للإنتفاخ عما تم استخراجه من غيرها من المواقع التى ليس بها تربة قابلة للإنتفاخ .
- يجب التخطيط بعناية لأبحاث مرحلة التصميم ، ولكن من المهم أن تكون هناك مرونة لتعديل البرنامج للإستفادة من البيانات التى سيتم تجميعها . على سبيل المثال يتم مراجعة برنامج التثقيب واستخراج العينات وعمل التعديل الضرورى ، ويتم تغيير أماكن أخذ الجسات وأعماقها إذا كان ضرورى لتجميع عدد إضافى من العينات اللازمة لتعريف كامل للمناطق المعرضة للمشاكل .
- تعتمد كثافة الإستكشاف للموقع على طبيعة وحجم المشروع ، ومدى تعقد جيولوجية الموقع وفى أى مرحلة من التنفيذ ، فالغرض الأساسى من أى برنامج هو معرفة خصائص أى موقع . كما يجب أن يتم

الحصول على كمية كافية من المعلومات حتى تكون جميع النواحى الجيوتقنية للمشروع معرفة بالقدر الوافى.

٥-٢ إعتبارات خاصة بإستكشاف الموقع

التعرف المبكر لتواجد التربة القابلة للإنتفاخ فى مواقع الإنشاء يتيح للمهندس أن يأخذ فى الإعتبار الإستكشاف المكثف الكافى والضرورى القيام به ، حتى فى حالة المبانى الثانوية حيث انها اكثر عرضة للضرر. الإستكشافات الخاصة وخطوات الإختبار وتحليل النتائج ضرورى لتحديد تصرف التربة وأنسب الوسائل للتأسيس عليها.

عموماً أثناء برنامج الإستكشاف المتكامل يجب الإهتمام بالمعلومات الخاصة بالطبوغرافية والجيولوجية السطحية وطبيعية المبانى التى ستقام ، حتى تساعد المهندس الجيوتقنى فى تحديد عدد وأماكن الجسات الأولية التى ستنفذ فى الموقع. ويمكن تلخيص الإعتبارات الخاصة بإستكشاف الموقع كالآتى:

- الطبيعة الطبوغرافية للموقع مثل أماكن التصريف للمياه سواء كانت طبيعية أو من صنع الإنسان.
- المياه المتسربة من القنوات المستخدمة فى الزراعة والحقول الزراعية ، والتى تحمل كميات كبيرة من الماء أثناء مواسم الزراعة فتكون مصدر إمداد للرطوبة والتى من شأنها تسبب تغيير حجم التربة القابلة للإنتفاخ.
- وجود أى أعمال تكون مصدر لتسرب المياه من مواسير مياه الشرب أو حمامات السباحة أو خزانات أرضية للمياه .

وعموماً قد يكون من المفيد الإستعانة بالصور الجوية وإستخدام الطرق الجيوفيزيقية.

- التعرف على النشاطات الجيولوجية السابقة.
- قد توضح ميول المرتفعات والوديان سمك وتتابع التكوينات والتركيب الصخرى والميل (dip) وخط المضرب (Strike) للتكوينات ويجب أن يتم تحديدها وتسجيل أى ملاحظات للطبقات والتى قد تؤدى إلى مشاكل لتصريف المياه أو إمتصاص زيادة للمياه .
- يجب كذلك عمل إستكشاف للأعمال المجاورة الواقعة فى حيز الأعمال الجديدة ، والتعرف على طبيعة المنشأ ، وعمره ، ونوع أساساته وظروف تركيبات الصرف الصحى الخاص به.

٥-٢-١ طرق استخراج العينات

تستكشف طبيعة التربة بطرق مختلفة بعمل جسات وحفر إختبارية. يجب كلما أمكن أن يتم التثقيب بدون

إستخدام ماء لإستخراج عينات من التربة القابلة للإنتفاخ غير المقلقلة بمحتوى الرطوبة التى تتواجد فيه ، سواء من الحفر الإختبارية أو الجسات لإجراء الإختبارات المعملية. يعتمد إختيار عمق الجسات على حجم وطبيعة المنشأ المراد إنشاؤه. وعموماً فى جميع الحالات من الضرورى أن تخترق الجسات التربة غير الملائمة للتأسيس.

فمن الصعب التوقع الكامل لنوع الأساس الذى سيتم إختياره قبل التثقيب وإستخراج العينات ، ولذلك فى المناطق الجديدة يجب أن ينفذ التثقيب لأول جسة بعمق كاف لإعطاء صورة كاملة لتكونيات التربة لإختيار نوع الأساس. كما يجب أن يمتد عمق التثقيب لهذه الجسة بمسافة كافية كضرورة للتأكد من عدم وجود طبقة غير ملائمة على عمق أكبر، وتؤخذ العينات على مسافات لاتزيد عــن ١,٥٠ متر فيما بينها. وفى حالات التربة االقابلة للإنتفاخ موضع الدراسة حيث لا توجد مياه فإن الحفر التجريبية كافية لإستكشاف الموقع ، ومع ذلك فإنه يمكن تنفيذ الجسات بالمثقاب أو التثقيب بالدوران أو التثقيب بالدق.

٥-٢-٢ طرق أخذ العينات

أهم الخطوات فى تفاصيل الإستكشاف للتربة القابلة للإنتفاخ هو الإقلال بقدر الإمكان من قلقلة العينات والمحافظة على العينات فى حالتها الطبيعية خاصة محتوى الرطوبة والكثافة.

٥-٢-٢-١ الحفر الإختبارية

الحفر الإختبارية تسمح بفحص التربة بالتفصيل فى الإتجاه الرأسى والعرضى كما أنها تعطى فكرة عن إتجاه الترسيبات والفواصل فى التربة ، وكذلك توفر إمكانية أخذ عينات غير مقلقلة من المكان المطلوب . العينات التى تستخرج بعناية بالحفر اليدوى أنسب أنواع العينات غير المقلقلة . يتم حفر الحفرة للعمق المراد أخذ العينة منه ، وممكن أخذ العينة بجاروف مستوى إذا كانت العينة قوية وجامدة ، ثم تغلف بطبقة من البلاستيك الرفيع للحفاظ عليها قطعة واحدة ، ثم يتم نقلها إلى المعمل . لو كانت العينة ضعيفة تؤخذ إجراءات إضافية لحمايتها ، ويستعمل فى هذه الحالة صندوق ثقيل من الخشب بدون غطاء يوضع حول العينة مع ترك مسافة ٢٥مم من جميع الجوانب ، وهذا الفراغ يملأ بسائل البرافين ، يتم إخراج العينة من الصندوق بدون الغطاء والقاعدة من الحفرة ويصب البرافين أعلى وأسفل العينة ويتم وضع الغطاء والقاعدة للصندوق ويوضع فى صندوق أخر من الخشب ويحاط بنشارة الخشب لحمايته عند النقل.

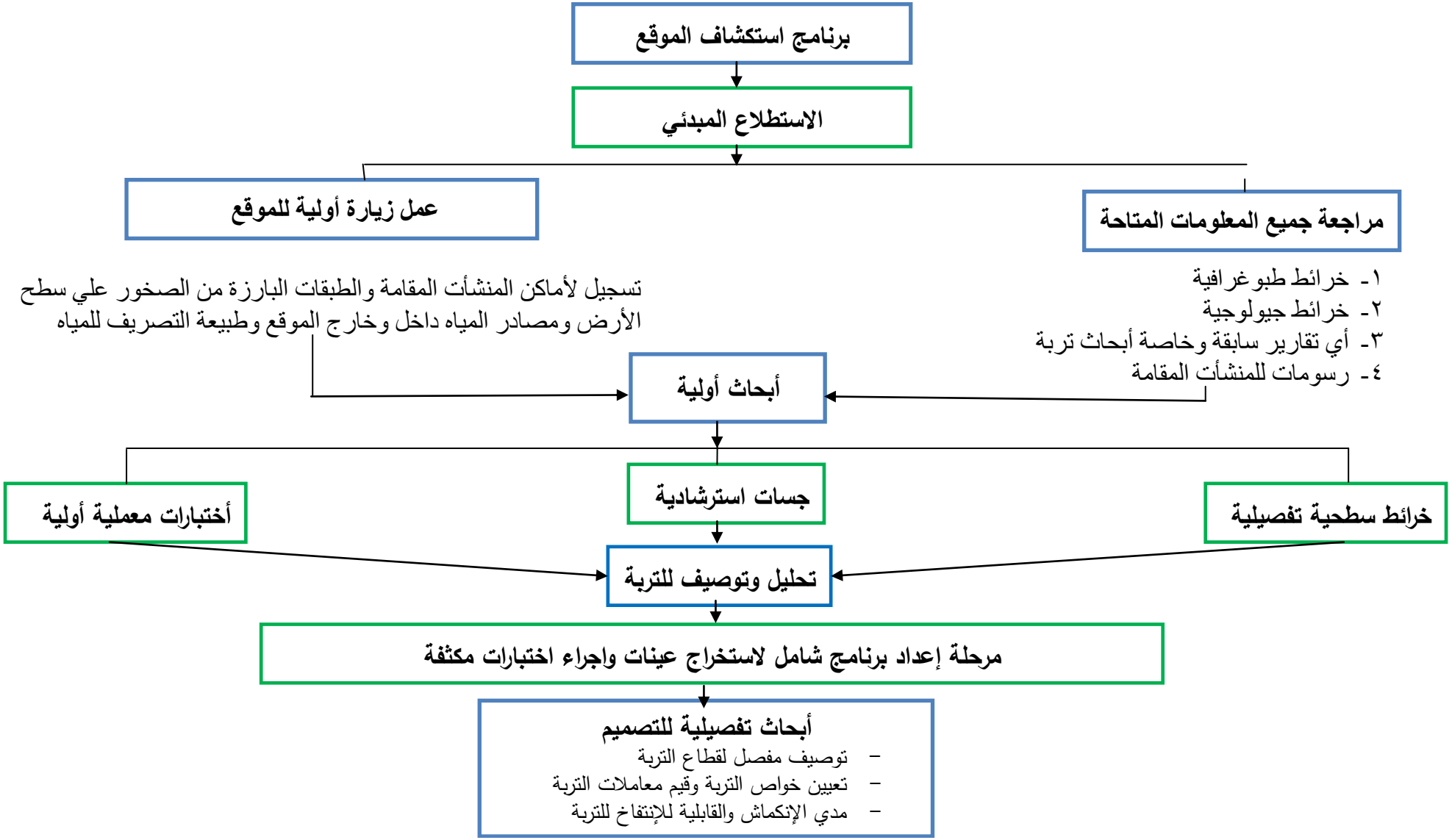
٥-٢-٢-٢ أخذ العينات بالتثقيب بالدوران

يتم الحفر ميكانيكيا بدفع ودوران قواطع للتربة بسرعة عالية مع ضخ مياه أو سوائل الحفر لإستخراج عينات وهذه الطريقة مناسبة لعينات التربة المتصلبة. ولكن المياه المستخدمة كسائل للحفر تؤثر على خواص التربة القابلة للإنتفاخ.

٥-٢-٣ الإختبارات الحقلية

يمكن إجراء إختبارات حقلية بتخصيص جزء من الموقع ذو تربة شديدة القابلية للإنتفاخ فى الموقع ومقارنته بنتائج الإنتفاخ المقدر من الإختبارات المعملية. يوضح المرجع (Johnson L.D. et al.,1973) وصف كامل لتفاصيل الأجهزة المستخدمة فى هذه الإختبارات.

ويلخص الشكل (٥-١) خطوات استكشاف الموقع .



شكل (٥-١) برنامج استكشاف الموقع

٦- التعرف على التربة القابلة للإنتفاخ

يمكن عموماً تقسيم طرق التعرف على التربة القابلة للإنتفاخ إلى مستويين ، المستوى الأول يتضمن قياس الخواص الطبيعية للتربة مثل حدود أتربرج ، الإنتفاش الحر ، والقابلية للتغير فى الحجم . والمستوى الثانى يتضمن تحديد التركيب المعدنى للتربة مثل محتوى الطين وسعة التبادل الأيونى (Cation exchange capacity)، والمساحة السطحية النوعية (Specific surface area)، والخواص الكيميائية .

عموماً يعتمد المهندسون الجيوتقنيون الممارسون فقط على القياسات للخواص الطبيعية لتعريف التربة القابلة للإنتفاخ على عكس الممارسون الزراعيون والجيولوجيين الذين يعتمدوا على قياسات التركيب المعدنى والخواص الكيميائية ، والتى يجب على المهندسين عدم اهمالها اطلاقاً فى حالة التربة الجافة .

وسوف يتم بإختصار ذكر طرق قياس الخواص الطبيعية للتربة القابلة للإنتفاخ والطرق الأخرى لتحديد التركيب المعدنى والكيميائي وغيرها .

٦-١ أهم الطرق لتصنيف التربة القابلة للإنتفاخ

١- طرق غير مباشرة تعتمد على الخواص الطبيعية مثل حدود أتربرج ، نسبة الطين ومحتوى الرطوبة الطبيعية والكثافة الطبيعية ، ومنها يمكن تقدير درجة خطورة الإنتفاخ للتربة .

٢- طرق مباشرة تعتمد على القياس المباشر لجهد الإنتفاخ فى المعمل بإستخدام الأودوميتر.

٣- طريقة (qualitative) تعتمد على تحديد التركيب المعدنى للطين ونسبة كل معدن .

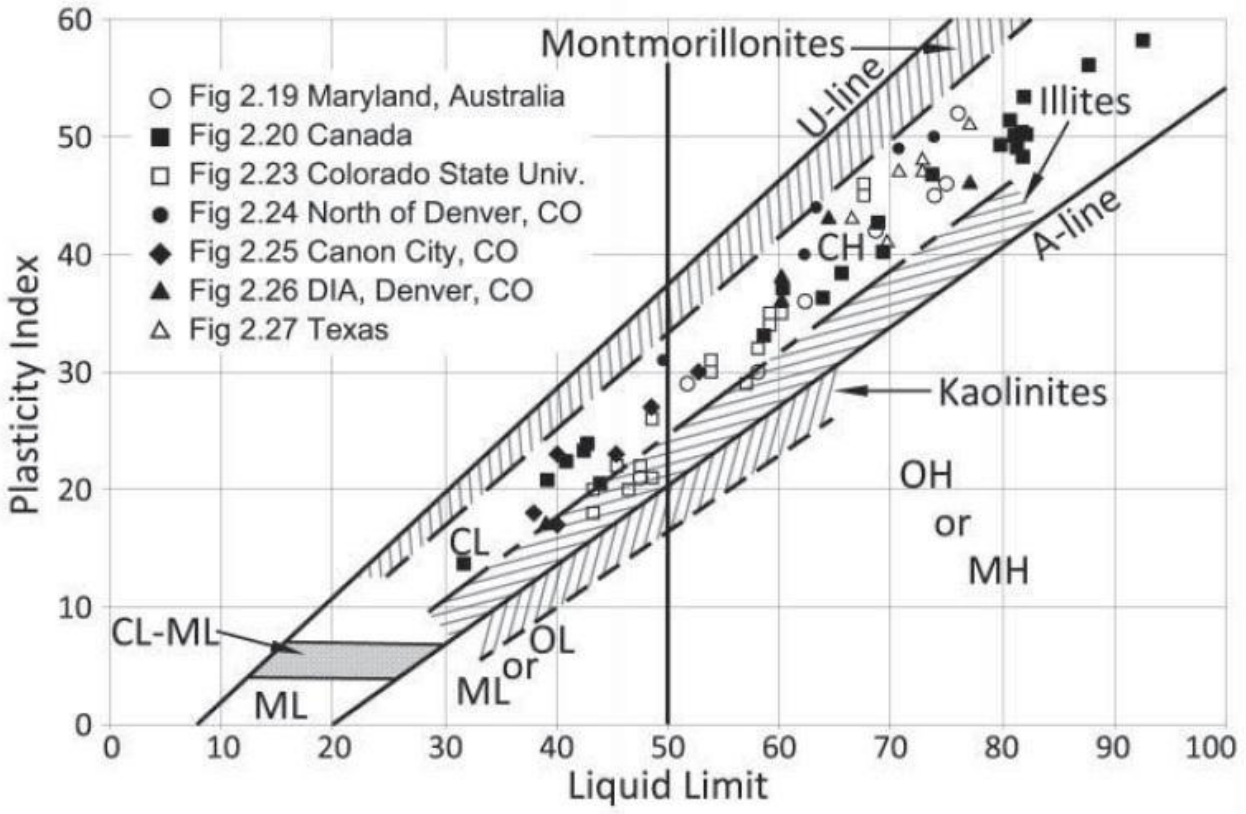
والجمع بين الثلاث طرق يؤدى إلى أفضل نتيجة ممكنة .

٦-١-١ طرق تعتمد على الخواص الطبيعية للتربة

٦-١-١-١ طرق تعتمد على اللدونة

هناك دليلين يعتمد على حدود أتربرج (w_L , w_P) هما دليل اللدونة I_P ودليل السيولة I_L. تعتمد كثير من طرق التعرف على التربة القابلة للإنتفاخ على أحد هذين الدليلين أو الأثنين معاً . والمنحنى الذى يربط دليل اللدونة وحد السيولة فى البحث (Holtz, Kovacs and Sheahan, 2011). توضح فيه مناطق المعادن المختلفة على منحنى اللدونة ، ويقع المنتموريلونايت قريباً من U-line

وبالتالى من المتوقع إن اللدونة للتربة القابلة للإنتفاخ ستقع فى الحيز الذى يمثل المنتموريلونايت . كما تلاحظ حتى لو أن التربة تم تصنيفها على إنها CL طين ذو لدونة منخفضة فإن قيمة اللدونة للتربة الأكثر قابلية للإنتفاخ تقع قريبة مـــــن U–line شكل (٦–١).



شكل (٦–١) خصائص اللدونة لمعادن الطين (Holtz, Kovacs and Sheahan, 2011)

٦–١–١–٢ حدود أتربرج ونسبة محتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون تحدد درجة القابلية للإنتفاخ طبقاً لما ورد فى (Skempton, 1953) ، وتعين من العلاقة الآتية :–

$$\text{الفاعلية (AC)} = \frac{\text{دليل اللدونة } (w_L - w_P)}{\text{نسبة الطين الأقل من ٢ ميكرون}}$$

w_L= محتوى الماء عند حد السيولة

w_p = محتوى الماء عند حد اللدونة

٦-١-١-٣ الإنتفاخ الحر (Free swell)

يتم تعيينه بوضع حجم معين من التربة الجافة المارة من منخل ٤٠ (٤٢٥ ميكرون) فى مخبار مدرج مملوء بالماء ، ويقاس الحجم المنتفش بعد ما تستقر التربة بالكامل ، ويتم تعيين الإنتفاخ الحر كالآتى :-

$$\text{الإنتفاخ الحر} = \frac{\text{حجم التربة فى الماء} - \text{حجم التربة الإبتدائى فى الحالة الجافة}}{\text{حجم التربة الإبتدائى}} \times ١٠٠$$

مع العلم إن الصوديوم مونتموريلونايت يعطى إنتفاخ من ١٢٠٠ إلى ٢٠٠٠% ، وقد أشار (Dawson, 1953) إلى تربة فى مدينة تكساس فى الولايات المتحدة كان الإنتفاش الحر لها قيمته ٥٠ % ، ومع ذلك تسببت فى تصدعات ذات قيمة نتيجة الإنتفاخ ، وكان ذلك بسبب التغير الكبير فى حالة الطقس بجانب الخصائص الأخرى للتربة القابلة للإنتفاخ . ولسهولة إختبار الإنتفاش الحر فهو يعتبر أساس كدليل للقابلية للإنتفاخ فى الصين متمثلاً فى كود المبانى الصينى .

(Chinese Technical Code for Building in Expansive Soil Areas(CMC 200))

وجدير بالذكر لنفس نوع التربة فإن هذا الإختبار يتأثر بدرجة ملحوظة بعوامل كثيرة ، منها كمية التربة المختبرة ، درجة طحن التربة ، والإرتفاع الذى منه يتم سكب المياه على عينة التربة المختبرة.(Chen et al.,2006)

٦-١-١-٤ دليل الإنتفاخ الحر

فى المواصفات الهندية (The Bureau of Indian Standards (1997) 2720 part 40) تعتبر طريقة دليل الإنتفاخ الحر (FSI) هى طريقة غير مباشرة لتقدير مدى قابلية التربة للإنتفاخ ، وفى هذا الإختبار تصب عينتين من التربة المجففة فى مخبارين مدرجين أحد المخبارين مملوء بالكيروسين والآخر مملوء بماء مقطر ، ويتم تقليب العينات وتترك بعد التقليب فى المخبار لمدة ٢٤ ساعة على الأقل حتى يتضح الحجم النهائى للتربة فى المخبارين

ويعين دليل الإنتفاخ كالآتى :

$$\text{دليل الإنتفاخ الحر (FSI)} = \frac{\text{حجم التربة فى الماء} - \text{حجم التربة فى الكيروسين}}{\text{حجم التربة فى الكيروسين}} \times ١٠٠$$

وطبقاً لقيم دليل الإنتفاخ الحر يتم تحديد درجة قابلية التربة للإنتفاخ من منخفضة إلى متوسطة ثم عالية وعالية جداً .

٦-١-١-٥ دليل الإنتفاخ Expansion Index

تم أخذه كطريقة قياسية فى عام (1997) من (Uniform Building Code standards 18-2) وهيئات كثيرة فى كاليفورنيا ، وكذلك المواصفات الأمريكية (ASTM D4829-11) . الإختبار يتكون من تحضير عينة بالدمك للتربة عند درجة تشبع ٥٠ % ± ٢% وتختبر تحت تأثير إجهاد رأسى قـــــــدره (٧ كيلوباسكال). ثم تغمر التربة بماء مقطر وتعين قيمة دليل الإنتفاخ (EI) كالآتى:

$$\text{دليل الإنتفاخ (EI)} = \frac{\text{سمك العينة النهائى} - \text{سمك العينة الإبتدائى}}{\text{سمك العينة الإبتدائى}} \times ١٠٠$$

وبناء على (John et al.,2015) فإن قيمة دليل الإنتفاخ تصنف قابلية التربة للإنتفاخ من منخفضة جداً ، منخفضة ، متوسطة ، عالية إلى عالية جداً . ولو حققت التربة الأربع البنود التالى ذكرها فسوف تعتبر تربة قابلة للإنتفاخ :

١- دليل اللدونة ١٥ أو أكبر(والمحدد طبقاً ASTM 4318).

٢- وأكثر من١٠% من الحبيبات مار من منخل ٢٠٠.

٣- وأكثر من١٠% من الحبيبات أقل من ٥ ميكرون فى الحجم (والمحددين طبقاً ASTM 422).

٤- ودليل الإنتفاش أكبر من ٢٠ (والمحدد طبقاً ASTM 4829).

٦-٢ طرق تعيين ضغط الإنتفاخ معملياً:

يمكن تقسيم التقنيات أو الطرق المستخدمة لتقدير قيمة ضغط الإنتفاخ ، وطاقة الانتفاخ ، ومقدار الانتفاخ إلى ثلاثة أقسام رئيسية وهى الطرق التجريبية (Empirical Methods) وطرق اختبار الأودوميتر (Oedometer test) وطرق قياس المص(Soil Suction Methods) . وفيما يلى شرح مختصر لهذه الطرق المختلفة.

٦-٢-١ الطرق التجريبية Empirical Methods

وتعتمد هذه الطرق على بيانات محدودة مجمعة للتربة فى مكان محدود ، وتستخدم فيها معاملات تصنيف التربة للتنبؤ بخصائص الإنتفاخ. وقد تم استنتاج العديد من المعادلات التجريبية لتقدير بعض خصائص الانتفاخ للتربة بواسطة العديد من الباحثين تم ذكرهم فى (Vanapalli S. K. and Lu Lu, 2012). كما قدم كذلك على التربة فى مصر (Mohamed A.EL-Sohby & S.Ossama Mazen, 1987) معادلات تجريبية تربط بين ضغط الإنتفاخ وبعض الخواص الطبيعية مثل الكثافة الجافة ، وحد السيولة ، ومحتوى الطين فى العينة ، وإختبار مدى تطابق نتائجها مع قيم ضغط الإنتفاخ المعين لنفس العينات والمقاس فى جهاز الأدوميتر. واقترح (Hosam Elbadry, 2015) طريقة مبسطة لتعيين التغير الحجمى للتربة القابلة للإنتفاخ من تجارب فيزيقية بسيطة ، وأخرج منحنيات تربط بين معامل القوام النسبى الذى يعتمد على حدود أتربرج وبين نسبة ضغط الإنتفاخ الحر المحورى.

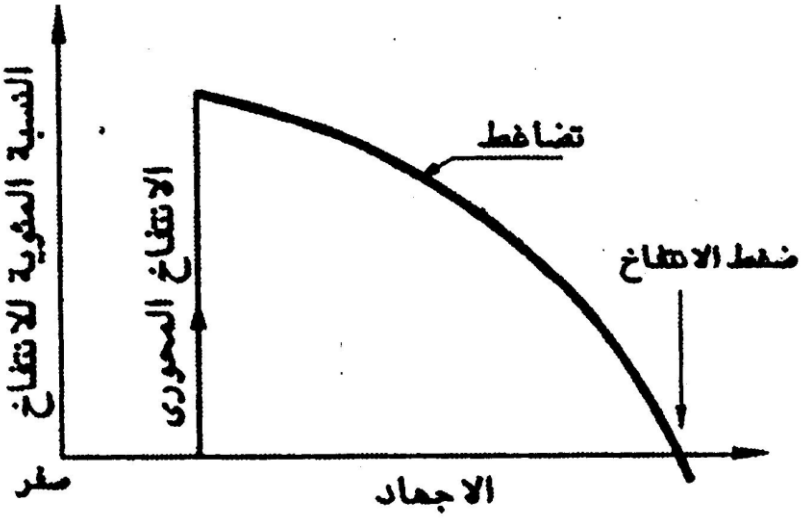
٦-٢-٢ طرق اختبار الأودوميتر Oedometer Test Methods

وهى الطرق الأوسع انتشاراً والأقرب تمثيلاً لما يحدث فى الموقع مقارنة بالطرق الأخرى. ويعد ضغط الإنتفاخ المحسوب من اختبار الأودوميتر أحد أهم المعاملات المستخدمة للتنبؤ بمقدار الإنتفاخ أحادى الإتجاه. وتبعاً لطريقة التحميل فإنه توجد عدة طرق لإجراء هذا الإختبار مثل طريقة الإنتفاخ الحر أو الإنتفاخ المسبق ، والإنتفاخ تحت تأثير الأحمال ، وطريقة الحجم الثابت. وفيما يلى شرح مبسط لهذه الطرق (الكود المصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات (٢٠٢/٥) ٢٠٠١).

٦-٢-٢-١ طريقة الحمل المسبق

فى هذه الطريقة تستخدم عينة واحدة فقط . ويتم غمرها بالمياه بعد تحميلها بإجهاد ابتدائى ذى قيمة صغيرة (٠,١٠ كجم/سم^{٢}). ويتم قياس قيمة الإنتفاخ الحادث بها حتى نهايته (الإنتفاخ المحورى) ، ثم يتم تحميلها تدريجياً حتى تعود إلى حجمها الأصلى . ويكون ضغط الإنتفاخ يساوى الإجهاد الذى تعود عنده العينة إلى حجمها الأصلى ، كما هو موضح بالشكل (٦-٢). وللوصول إلى نتائج أفضل يمكن تحميل العينة بإجهاد مساو للإجهاد الرأسى المؤثر عليها فى الموقع ، ثم يتم إزالة هذا الإجهاد مع الإبقاء على الإجهاد الإبتدائى الصغير وذلك قبل غمر العينة بالمياه(ASTM-D4546-Method-A). وكذلك يمكن غمر العينة عند هذا الإجهاد دون إزالته (ASTM-D4546-Method-B). وهذه الطريقة تعطى أحياناً قيم لضغط الإنتفاخ

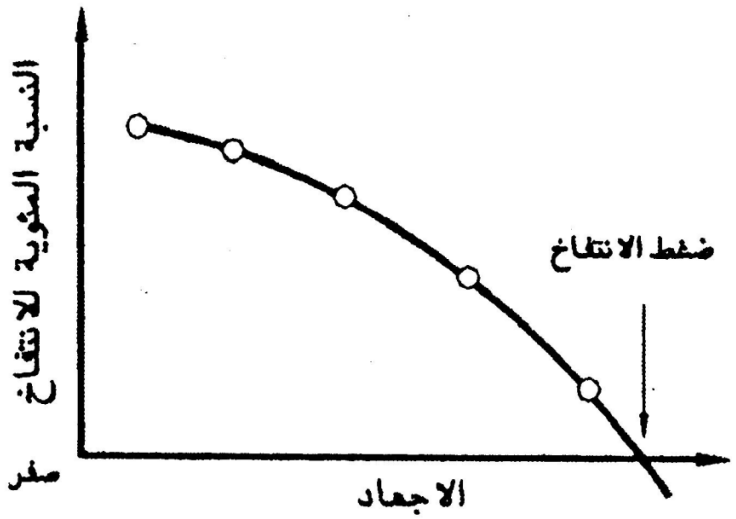
أعلى من القيم المستنتجة من الطرق الأخرى المذكورة فى هذا البحث ، فيما عدا طريقة الإستخدام المزدوج للأودوميتر.



شكل (٦-٢) تعيين ضغط الإنتفاخ بطريقة الحمل المسبق

٦-٢-٢-٢ طريقة الإجهادات المختلفة

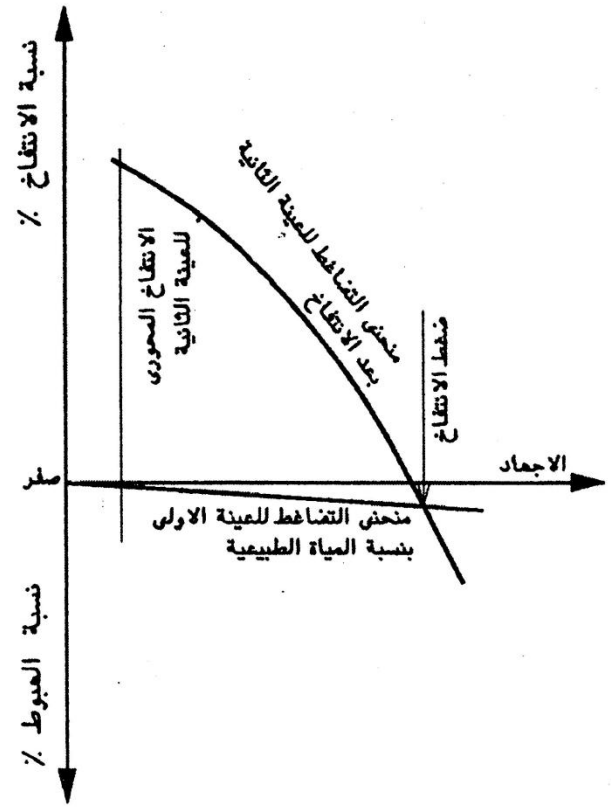
فى هذه الطريقة يتم تحميل ثلاث عينات أو أكثر بإجهادات مختلفة . ويتم غمر العينات وقياس قيمة الإنتفاخ الحادث بكل عينة . ثم ترسم العلاقة بين الإجهاد وقيمة الإنتفاخ المقابل له كما هو موضح بالشكل (٦-٣) . ويحدد ضغط الإنتفاخ عند تقاطع المنحنى مع الخط الأفقى المناظر لقيمة انتفاخ تساوى صفر . وهذه الطريقة هى المفضلة لتعيين ضغط الإنتفاخ لأنها الأقرب تمثيلاً لما يحدث فى الطبيعة.



شكل (٦-٣) تعيين ضغط الانتفاخ بطريقة الإجهادات المختلفة

٦-٢-٢-٣ طريقة الإستخدام المزدوج للأودوميتر

فى هذه الطريقة تستخدم عينتان متماثلتان ، إحداهما يتم اختبارها كما فى طريقة الإنتفاخ المسبق المذكورة بالبند (٦-٣-٢-١) ، والأخرى يتم تحميلها تدريجياً كما فى اختبار التدعيم (Consolidation) ولكن بدون غمرها بالماء ، وترسم العلاقة بين الإجهاد والتضاغط الناتج من اختبار التدعيم على نفس المنحنى الناتج من طريقة الإنتفاخ المسبق . ويحدد قيمة ضغط الإنتفاخ عند نقطة تقاطع المنحنيين كما هـــو مبين بالشكل (٦-٤) .



شكل (٦-٤) : تعيين ضغط الإنتفاخ من طريقة الإستخدام المزدوج للإيدوميتر.

٦-٢-٢-٤ طريقة الحجم الثابت

فى هذه الطريقة تستخدم عينة واحدة فقط يتم غمرها بالمياه مع المحافظة على حجمها ثابتاً عن طريقة تحميلها كلما حدث لها انتفاخ لتعود إلى حجمها الأصلى ، ويحدد ضغط الإنتفاخ من القيمة القصوى للإجهاد الذى يحافظ على حجم العينة الأصلى .

٦-٣ طرق تعيين قوة المص للتربة Soil Suction Methods

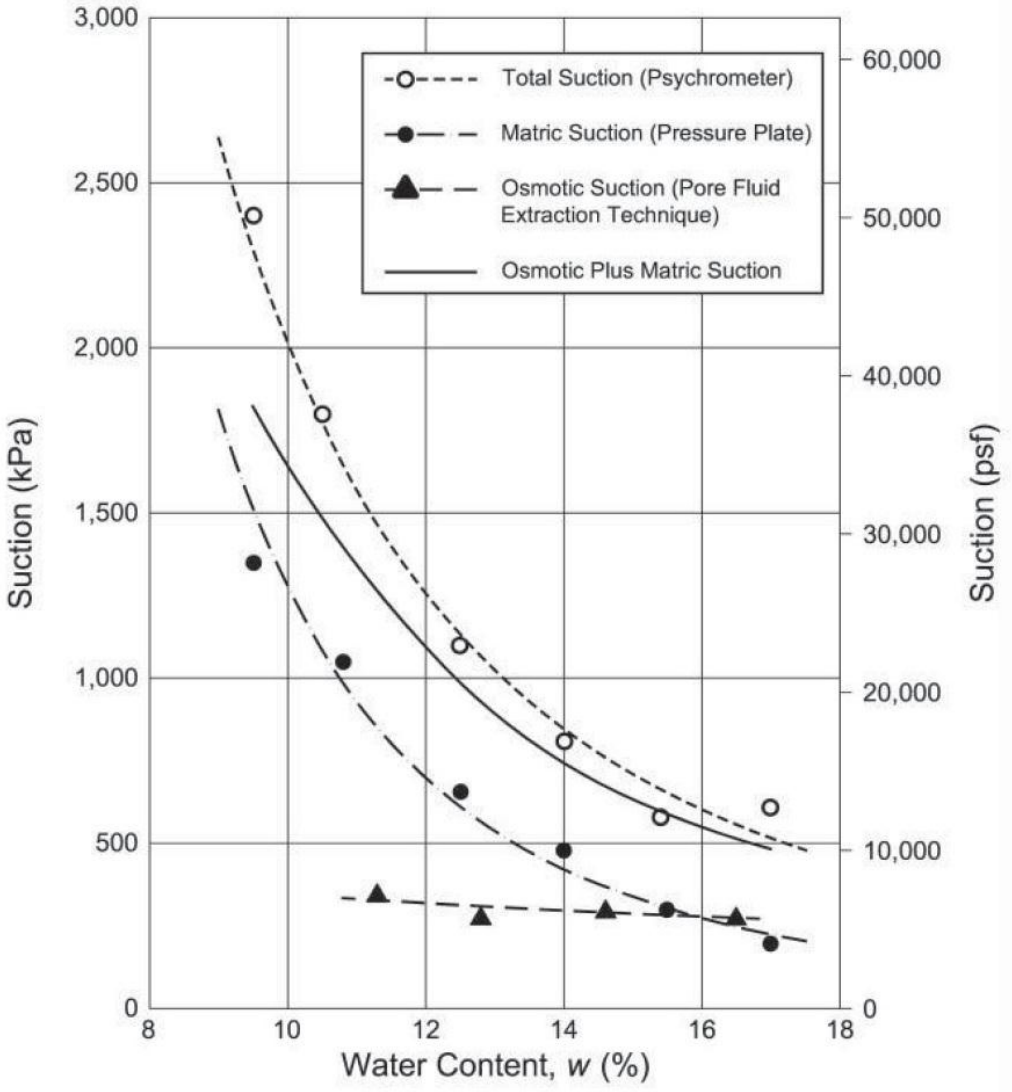
فى هذه الطريقة يؤخذ تأثير قوة المص Suction على المعاملات المختلفة المستخدمة فى حساب مقدار الإنتفاخ . المص للتربة هو إجهاد الشد Tensile Stress المقاس للماء فى التربة ، ويشتمل على مكونين . المكون الأول Matric Suction يمثل قيمة الشد فى المياه وهو عبارة عن إرتفاع المياه التى يمكن أن تمتص فى التربة غير المشبعة ، مثل ما يحدث فى الخاصية الشعرية Capiliary Rise وما تحدثه من الشد السطحى. والمكون الثانى هو أن الماء الذى ينجذب للتربة بناء على تركيز الأملاح فى الماء التى فى التربة Osmotic suction .

أيون الملح له ميل للماء ، فإذا كان تركيز الملح فى التربة أعلى من الموجود فى مصدر الماء الخارجى سوف يتم جذب الماء الخارجى لداخل التربة ، أما إذا كان الماء مقيد للدخول إلى الفراغات بين حبيبات التربة فإن قوى الجذب من أيونات الملح تتسبب فى جعل الماء تحت شد. وهذا النوع من المص مختلف عن Matric Suction . والقوى الناتجة من عدم التوازن فى تركيزات أيون الملح تمثل عملية التبادل الإسموزى.

ويكون المص الكلى Total Suction هو مجموع Osmotic Suction و Matric Suction ومن المتوقع إنهما يتغيران بتغير محتوى الماء.

٦-٣-١ المص الكلى Total Suction

المص الكلى عبارة عن مجموع Osmotic suction and matric suction ، وأوضح البحث(Krahn and Fredlund, 1972) بقياس المص الكلى وكل من osmotic suctions & Materic على حدة ، ورسم العلاقة بين محتوى الرطوبة مع كل من المص الكلى ، و matric suction ، و Osmotic suclion وجد أن Matric suction يتغير تغير واسع مع محتوى الرطوبة الإبتدائى بينما Osmotic suclion تقريباً ثابت فى مدى تغير محتوى الرطوبة من ١١ إلى ١٧ % . وتلاحظ أن المنحنى الناتج من إضافة منحنى Osmotic إلى منحنى Materic هو موازياً ومساوياً تقريباً للمنحنى الناتج من قياس المص الكلى Total suction . ولهذا يستخدم قياس Total suction بدلاً من Matric suction شكل(٦-٥).



شكل (٦-٥) أنواع المص (Krahn & Fredlund, 1972)

٦-٣-٢ طرق قياس matric suction

أكثر الطرق شيوعاً لقياس matric suction هى :-

(1)Tensiometers (2) The axis translation technique (3) Filter paper.

٦-٤ طريقة التركيب المعدنى Mineralogy

من أهم مؤشرات التعرف على التربة القابلة للإنتفاخ أو الإنتفاش هو وجود معدن المونتموريلونايت . التركيب المعدنى للطين يمكن التعرف عليه من أو عن طريق التحليل الكيميائى ولكن أكثر الطرق إنتشاراً هو حيود الأشعة السينية X-ray diffraction (XRD) ، والميكرسكوب الإلكترونى. معدن الطين السائد

فى التربة ينعكس على لدونة التربة . كما أنه يؤثر على قابلية التربة للإنتفاخ . ولهذا فإنه من المتوقع أن تكون هناك علاقة تربط بين لدونة التربة وقابليتها للإنتفاخ . شكل(٦-١) يوضح إن منطقة الطين المكون من معدن المنتموريلونايت قريباً من U-line ، وأنه من المتوقع كذلك أن لدونة التربة القابلة للإنتفاخ إنها تقع قريبة لمنطقة المنتموريلونايت حتى لو كانت مصنفة CL .

٦-٥ الطرق الكيميائية

أكثر الطرق انتشاراً فى الطرق الكيميائية لتحديد معدن الطين تتضمن قياس : طاقة الكاتيون التبادلية Cation exchange capacity (CEC) ، المساحة السطحية Specific surface area (SSA) ، البوتاسيوم الكلى Total Potassium (TP) وسيتم تلخيص هذه الطرق كالآتى :

٦-٥-١ السعة التبادلية الكاتيونية (CEC)

السعة التبادلية الكاتيونية هى عدد الكاتيونات التبادلية المطلوبةٌ لإحداث توازن مع الشحنات السالبة على سطح حبيبات الطين ، ويعبر عنها بالمللى المكافىء /١٠٠ جم من التربة الجافة للطين . والسعة التبادلية الكاتيونية تعبر عن التركيب المعدنى للطين ، فقيمة CEC عالية تشير إلى وجود معدن الطين النشط مونتموريلونايت، والقيمة CEC المنخفضه تدل على عدم وجود معدن الطين القابل للإنتفاخ مثل الكاولينايت .

عموماً تزيد القابلية للإنتفاخ كلما زادت قيمة (CEC) . وقيم (CEC) المعتادة للثلاث معادن الأساسية موضحة بواسطة (Mitchell and Soga,2005) بجدول يربط بين معدن الطين وكل من CEC، والمساحة النوعية لسطح حبيبات الطين (SSA) والبوتاسيوم الكلى (TP) .

٦-٥-٢ المساحة السطحية النوعية SSA

المساحة السطحية النوعية للتربة هى المساحة الكلية للحبيبات فى وحدة الكتلة للتربة . فهذه المساحة فى حالة المونتموريلونايت أكثر بكثير منها فى الكاولينايت ، وكلما كانت هذه المساحة عالية فى التربة الطينية كلما كانت طاقة الإحتفاظ بالماء أكبر وقابلية للإنتفاخ أعلى.

٦-٥-٣ البوتاسيوم الكلى (TP)

معدن الطين الوحيد الذى يحتوى على بوتاسيوم فى هيكل تكوينه هو الإيلايت . ولذلك كمية أيون البوتاسيوم فى التربة دليل مباشر لوجود الإيلايت (Chittoori & Puppala,2011) وبذلك فإن كمية عالية من محتوى البوتاسيوم يدل على قابلية للإنتفاخ منخفضة .

٦-٦ عرض ملخص لبعض أبحاث مستحدثة فيما يتعلق بقابلية وطاقة وضغط الإنتفاخ

٦-٦-١ طرق مبسطة للتنبؤ والتعرف على مدى القابلية للإنتفاخ

اختبار الإنكماش – طريقة محتوى الرطوبة للتنبؤ بالإنكماش والإنتفاخ (predictive)

هذه طريقة جديدة مقترحة من (Jean-louis Briaud et al., 2003) لتحديد الحركة الرأسية للتربة سواء الإنتفاخ أو الإنكماش ، نتيجة التغير فقط فى محتوى الرطوبة . حيث يتم تحديد أقصى عمق فى الموقع معرض للتغير فى محتوى الرطوبة وذلك عن طريق أخذ عينات من التربة على أعماق مختلفة. يتم إجراء اختبار الإنكماش على العينات ثم رسم علاقة بين محتوى الرطوبة والتغير الحجمى للعينات . ومن خلال هذه العلاقة يتم استنتاج بعض العلاقات مثل معامل الإنتفاش – الإنكماش ، نسبة الإنكماش . يتم اختبار الإنكماش بتجهيز عينة اسطوانية ذات قطر ٧٥ مم وارتفاع ١٥٠ مم ، ثم تترك لتجف فى المعمل ، تؤخذ قراءات القطر والإرتفاع ومحتوى الرطوبة مع الوقت لمدة ٤٨ ساعة . كما يتم رسم علاقة أخرى بين الإجهاد والإنفعال من اختبار الأودوميتر على نفس العينات . بمقارنة العلاقتين يتبين أن الدور الذى يلعبه محتوى الرطوبة فى حركة التربة مشابه تماماً للدور الذى يلعبه التغير فى الإجهادات . ومن خلال هذه الإختبارات تلاحظ أن العلاقة بين محتوى الرطوبة والإنفعال الحجمى عبارة عن خط مستقيم ، وميل الخط المستقيم يعبر عن معامل الإنتفاخ – الإنكماش . كما أن هذا المعامل لايتوقف على الإجهادات الرأسية على العينة.

٦-٦-٢ تقدير طاقة الإنتفاخ للطين بعد الدمك

يلقى بحث (Seed H.B et al.,1962) الضوء على العلاقة بين طاقة الإنتفاخ والخصائص الهندسية للطين مثل حدود أتربرج ، نسبة معادن الطين ، ونوع معدن الطين، والكثافة الطبيعية ، ومحتوى الرطوبة . كما يوضح هذا البحث الفرق بين طاقة الإنتفاخ ومقدار الإنتفاخ ، حيث أن طاقة

الإنتفاخ هى أن التربة عندها القدرة على الإنتفاخ لانها تحتوى على معادن الطين القابلة للإنتفاخ، لكن مقدار انتفاخ التربة يعتمد على عوامل كثيرة وظروف تكوينها .

وقد اعتمد البحث على اختبارات معملية بتحضير العينات عن طريق اختبار بروكتور المعدل ، حيث تم تحضير العديد من العينات ذات نسب مختلفة من معادن الطين المختلفة مثل البنتونايت والكاولينايت والإيلايت ، مع إضافة نسب مختلفة من الرمل الناعم .

وكانت النتائج عبارة عن علاقات متنوعة بين طاقة الإنتفاخ ونسبة معدن الطين، ونوع معدن الطين ، وحدود اتربرج . ومع أن هذه العوامل المختلفة للطين تعطى علاقات واضحة على قابلية الطين للإنتفاخ ، كما تعطى مقارنة واضحة بين أنواع التربة.

٦-٦-٣ تأثير القابلة للإنتفاخ من حيث درجة الإنتفاخ والإنكماش المتكرر

٦-٦-٣-١ محتوى الرطوبة – نسبة الفراغات، مسارات الإنتفاخ – الإنكماش للتربة الطينية بعد الدمك

في هذا البحث (Tripathy S. et al., 2002) تم دراسة تصرف نوعين من التربة الإنتفاخية المدموكة المعرضة لدورات من الإنتفاخ والإنكماش. وبدراسة الخواص الطبيعية تم تحديد أنهما من الطين المحتوى على المونتموريلونيت ولديهما قدرة عالية على إمتصاص المياه. تم رسم العلاقة بين نسبة الفراغات والمحتوى المائى لعينات الأودوميتر بالسماح للعينات بالإنتفاخ (لمدة ٣ أيام) ثم رفع درجة الحرارة للبدء فى عملية الإنكماش (لمدة ٦ ايام) ثم تكرر العملية حتى يحدث الإتزان (يثبت مقدار الإنتفاخ والإنكماش لكل دورة).

ومن إستنتاجات البحث أن شكل العلاقة بين نسبة الفراغات والمحتوى المائى تأخذ شكل منحنى S shape (أي علي ثلاث مراحل) وأن الإتزان بينهما لايعتمد على ظروف تجهيز العينات من حيث الكثافة الجافة أو المحتوى المائى.

٦-٦-٤ مقارنة الإنتفاخ بين السلوك الإنتفاخى لعينات التربة القابلة للإنتفاخ غير المقلقلة والعينات المجهزة بالدمك

تعتمد طاقة الإنتفاش للتربة االقابلة للإنتفاخ على عدة عوامل مثل التركيب الهيكلى والخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة الطبيعية . وقدم (Hammam A. H and Abdel-Salam A.E, 2013) بحث

بمقارنة خصائص القابلية للإنتفاخ للتربة الطينية المقلقلة وغير المقلقلة . لإجراء هذا البحث تم جمع ٧٥ عينة غير مقلقلة من ثلاثة مواقع فى مصر هى مدينة الغردقة ومدينة السويس وحى المعادى بالقاهرة . تم إخضاع جميع العينات للإختبارات الطبيعية اللازمة مثل تحديد محتوى الرطوبة وحدود اتربرج والكثافة الطبيعية والتدرج الحبيبى والانتفاخ الحر. كما تم أيضاً جمع عينات مقلقلة من نفس الأماكن التى تم منها جمع العينات غير المقلقلة ، وذلك لتحضير العينات المعاد تشكيلها وفقاً للمواصفة (ASTM(D4829 .

تم تقسيم العينات غير المقلقلة إلى أربعة مجموعات حسب محتواها الرطوبى . تمثل المجموعة الأولى محتويات الرطوبة الطبيعية بينما تعرضت المجموعات الأخرى للتجفيف فى الهواء للتحكم فى درجة تشبعها . تم إجراء مقارنة شاملة بين خصائص الإنتفاخ للعينات غير المقلقلة وتلك للعينات المعاد تشكيلها . بشكل عام تلاحظ أن سلوك الإنتفاخ للعينات المعاد تشكيلها عند درجة تشبع حوالى ٥٠ % أعلى منها للعينات غير المقلقلة والتى لها درجة تشبع أعلى بكثير من ٥٠ % حيث تراوحت النسبة بين مؤشر التمدد للعينات المعاد تشكيلها وتلك الخاصة بالعينات غير المقلقلة بين ١,٦ ، ١,٩ .

وكانت الخلاصة أن معظم العينات غير المقلقلة لها درجة تشبع تصل إلى ٩٠ % ولذلك فإن مؤشر التمدد وجهد الإنتفاخ لها منخفضين ، ويرجع ذلك إلى الجودة الضعيفة لأعمال التثقيب . كما أن قيم مؤشر التمدد وجهد الإنتفاش تتناسب عكسياً مع درجة التشبع . ويبين هذا البحث تأثير النسيج والتركيب الهيكلى للتربة Fabric & Structure على جهد الإنتفاخ .

٧ – معالجة التربة والتحكم فى الماء

تم إستخدام العديد من التقنيات لتغيير خصائص التربة لتثبيت محتوى الماء حول المبنى أو الطريق ، وأكثر الطرق المستخدمة فى هذا الشأن هى إستخدام تربة الإحلال Soil replacement، والتحكم فى محتوى الماء water content control. وهناك طرق أخرى للمعالجة بإستخدام خلطات كيميائية تقليدية منها الجير والأسمنت البورتلاندى وخبث الحديد كنوع من أنواع تغيير خواص التربة وتثبيتها .

٧-١ تربة الإحلال

تعتبر تربة الإحلال هى أكثر الطرق شيوعاً وأفضلها فى تقليل القابلية للإنتفاخ التربة أسفل الأساسات وطبقة الأساس للطرق ، وهى تتم بإستبدال التربة القابلة للإنتفاخ أسفل الأساسات بتربة معالجة أو تربة مدموكة غير قابلة للإنتفاخ . والعوامل التى يجب أن تؤخذ فى الإعتبار عند القيام بالإحلال هى عمق التربة المراد ازالتها وكميتها وموقعها وتكلفة ذلك وتكلفة تربة الإحلال . يعتمد العمق المطلوب إزالته على شكل قطاع التربة وطبيعة التربة التى سيتم إستبدالها والإنتفاخ المسموح به.

من مميزات تربة الإحلال المدموكة غير أو قليلة القابلية للإنتفاخ أنها تعمل على مساواة الفروق فى حركة التربة الناتجة من التربة الطبيعية أسفل طبقة الإحلال وبالتالى تقليل التفاوت فى حركة التربة لأعلى . كما أن التربة تتعرض للتغيير فى محتوى الماء فى المناطق المعرضة لسقوط الأمطار ، والتغيير فى محتوى الماء الموسمى للتربة سوف يحدث فى الأمتار العليا لتربة الإحلال . وقد يكون التغيير فى محتوى الماء ناتج من مصادر أخرى للمياه لايمكن التحكم فيها أو التنبؤ بها ، لذلك فعلى المهندس المصمم أن يفترض إمكانية حدوث تسرب للمياه خلال عمر المبنى ، وأن يأخذ هذا فى الإعتبار عند إتخاذ قرارات التصميم .

ومن الضرورى الإهتمام بتجنب تجمع المياه فى تربة الإحلال ، لذلك لا يوصى بإستخدام التربة الحبيبية عالية النفاذية كتربة إحلال ، فتربة الإحلال عالية النفاذية سوف تؤدى إلى تواجد ممرات لمرور المياه وتكون خزان لتجمع المياه ، مما يؤدى إلى تسرب المياه للتربة القابلة للإنتفاخ التى لم يتم إزالتها أسفل تربة الإحلال ، وإذا كان من الضرورى إستخدام تربة حبيبية فيجب أن يكون هناك تصريف للمياه إيجابى ، ويتم ذلك بإضافة حواجز دائمة لتقليل رشح المياه فى المنطقة، وأيضاً فى حالة إستخدام تربة حبيبية فإن تربة الإحلال تعتبر موصلة للمياه hydraulic conductivity أكثر من تربة الموقع أسفلها . وعموماً قد تمتد طبقة التربة القابلة للإنتفاخ إلى أعماق كبيرة بحيث لايسمح إقتصاديا بإزالتها بالكامل وإستبدالها بتربة

الإحلال ، لذلك عند تحديد عمق التربة التى سوف يتم إستبدالها فيجب الأخذ فى الإعتبار فى هذه الحالة الإنتفاخ المتوقع للتربة القابلة للإنتفاخ التى لم يتم استبدالها أسفل طبقة الإحلال.

وكمثال فقد أقترح (Thompson, 1992 a and 1992 b) إستخدام تربة إحلال بسمك ٣ إلى ٦ متر بعد تلقى شكاوى من المنفذ لمشروع بالولايات المتحدة الأمريكية بأن الإحلال بسمك ١ إلى ١,٣ متر المقترح سابقاً غير كاف لتربة عالية القابلية للإنتفاخ .

وفى حالة عدم توفر تربة إحلال غير قابلة للإنتفاخ يمكن تغيير خصائص التربة المتواجدة بالموقع بواسطة التحكم فى حالة الرطوبة ، فدمك التربة بمحتوى أقصى للماء وكثافة منخفضة سوف يقلل قابلية التربة للإنتفاخ ، كما يجب التأكد من أن هذه التربة المدموكة لها مقاومة كافية ولن تسبب هبوط غير آمن ، وفى بعض الأحيان تستخدم إضافات كيميائية عند استخدام هذه الطريقة .

٧-١-١ بعض الإعتبارات الواجب مراعاتها عند أخذ قرار إستخدام تربة الإحلال

- تكلفة تربة الإحلال هى الأفضل إقتصادياً مقارنة بالطرق الأخرى طالما لن يتم التنفيذ بإستخدام معدات خاصة .
- الإحلال لايسبب تأخر فى الإنشاء مثل الطرق الأخرى التى تحتاج وقت للمعالجة .
- فى حالة تربة الإحلال ذات النفاذية المنخفضة قد تكون التكلفة عامل مؤثر .
- إزالة تربة الموقع القابلة للإنتفاخ وإعادة دمكها قد تكون غير كافية لتقليل خطورة تحرك الأساسات إذا كانت تربة الموقع المدموكة تعطى قابلية للإنتفاخ غير آمنة .
- قد يكون سمك التربة المدموكة المطلوب كبير جداً عملياً أو إقتصادياً .
- لو كانت تربة الإحلال منفذة للمياه (رملية أو زلطية مثلاً) فالجزء المستبدل سيتصرف كأنه خزان للمياه الذى سيكون فى الأمد البعيد مصدر للمياه تتعرض له التربة أسفل الإحلال بالموقع.

٧-١-٢ عرض ملخص لبعض الإبحاث السابقة فيما يتعلق بتربة الإحلال

البحث الأول:

Effect of sand layer on swelling underlying expansive soil (Khan et al.,2001)

أهم ما توصل إليه الباحثين من نتائج الإختبارات في هذه الدراسة كالآتى:

– طبقة الرمل التى تستخدم فوق التربة القابلة للإنتفاخ لها تأثير فعال في الحد من قابلية هذه التربة للتغير الحجمى.

– ضغط الإنتفاخ يقل بدرجة ملحوظة عندما تزيد النسبة بين سمك طبقة الرمل إلى سمك التربة القابلة للإنتفاخ أسفلها.

البحث الثانى:

Optimum replacement depth to control heave of swelling clays

(Hisham Arafat & Ahmed M.Ebid , 2015).

توصل الباحثين إلى معادلات بسيطة لتقدير عمق تربة الإحلال ، وقد تم تطبيق المعادلات المقترحة على ٣ حالات دراسية بمواقع مختلفة:

– **الحالة الأولى:** إنشاء محطة رفع مياه في وادى Elsaida بإدفو بمصر في منطقة صحراوية على تربة قابلة للإنتفاخ تمتد حتى نهاية الجسة . وقد تم إستخدام المعادلات المقترحة بالبحث لتعيين عمق الإحلال اللازم للحصول على إنتفاخ أقل من ٨٠ مم كمتطلبات الأمان للمحطة لمدة ٢٥ سنة . فكان سمك تربة الإحلال الناتج من المعادلة هو ٦,٥ م وهو مقارب لل٦,٠ م التي تم التوصية بها في تقرير الإستشارى.

– **الحالة الثانية:** كانت لمصنع في كندا أنشئ بنظام إستخدام بلاطة وكمرات على التربة الطينية . ولاحظ الملك بعد سنتين من إنشاؤه بحدوث شروخ وحركة للبلاطة لأعلى ، وكذلك زيادة في إستهلاك الماء بالمصنع قدرها ٣٥٠٠٠ لتر ، وأن خط الماء الساخن أسفل البلاطة قد تصدع . وعندما إستخدمت المعادلات المقترحة في هذا البحث لتقدير حركة البلاطة لأعلى كانت ١٤٠مم مقارنة بالمقاسة والتي كانت ١٠٥ مم.

– **الحالة الثالثة** : مقارنة الإنتفاخ المقدر بإستخدام المعادلات المقترحة في هذا البحث مع نتائج الدراسة التجريبية التي قام بها (Youssef, 2010) لدراسة تأثير إستخدام وسادة من الرمل على هبوط أو إنتفاخ التربة بإستخدام النموذج غير مزدوج حيث أن تم دراسة تأثير الأحمال على مرحلتين تم تطبيق ضغط الأساس كمرحلة أولى وتغير المص للتربة كمرحلة ثانية . وبمقارنة قيم ضغط الإنتفاخ المقدرة بإستخدام المعادلات المقترحة تبين أنها متطابقة مع النتائج من الدراسة التجريبية بالنسبة لأعماق تربة الإحلال عند الأحمال الخفيفة وتزيد الفروق عند زيادة الأحمال. وفسر الباحثين في هذا البحث بأن الدراسة التي قام بها Youssef على أساس أن عرض الأساسات الشريطية ٢,٠٠ متر بينما إستخدام المعادلات المقترحة إفترض بها عرض الأساس لانهائى.

٧-٢ التحكم فى الماء (منع زيادة محتوى الماء بالتربة)

بما أن السبب الرئيسى فى إنتفاخ تربة الأساس هو زيادة محتوى الرطوبة بها ، فإن التحكم فى هذا المحتوى هو الطريق الأمثل لتقليل الإنتفاخ.

تستخدم حواجز الماء كمحاولة للتحكم فى التغير فى محتوى الماء مع مرور الزمن وجعل محتوى الماء أكثراً إنتظاماً تحت المبنى . فتأثيرها الرئيسى هو الإبتعاد بالتربة المتأثرة بالمياه بعيدة عن الأساسات وتقليل التذبذب الموسمى لمحتوى الماء مباشرة أسفل المبنى.

تستخدم حواجز الماء الأفقية أسفل اللبشة لتقليل تذبذب محتوى الماء ، وبالرغم إن هذه الحواجز لاتمنع كلية زيادة محتوى الماء للتربة أسفل اللبشة، إلا أنها تساعد أكثر فى الحصول على إنتفاخ منتظم تحت المبنى . وهذه الحواجز الأفقية عبارة عن أسطح غير منفذة للماء تمتد للخارج بمسافة كافية خارج محيط الأساسات .

وقد استخدمت الحواجز الرأسية لإستقرار محتوى الماء أسفل نوعية أساسات اللبشة . فقد وجد (Goode,1982) أنه بإستخدام الحواجز الرأسية بعمق ٢,٥ متر حول بلاطة منفذة على التربة فى الموقع ، وبقياس الإنتفاخ السطحى ومحتوى الماء خلال سنين عدة ، أشارت النتائج مثل ماأظهرته الحواجز الأفقية . أن هناك إنتفاخ منتظم ملحوظ أسفل البلاطة المستخدم معها حواجز رأسية عن تلك التى لم تستخدم معها حواجز رأسية وأن الإنتفاخ الحادث أسفل البلاطة منتظم .

وتستخدم المصارف المحيطة حول الأساسات بإعتبارها فعاله فى التحكم فى الماء لتصريف المياه على المدى البعيد.

فى حالة عدم التأكد من حدوث تصريف للمياه بالموقع ، وفى حالة الإحلال تنفذ مصارف عند قاع الحفر Subsurface drains للتربة المستبدله وذلك لتقليل القابلية لتكوين منطقة تجمع للمياه Perched water zone.

هناك العديد من المواد التى تستخدم كحواجز للمياه الأفقية . وأكثرهم إنتشاراً فى الإستخدام هى الأغشية المطاطية geomembranes . وقد قدم (Steinberg,1988) مناقشة شاملة لإستخدام هذه الأغشية معتمداً على خبرة سنوات كثيرة ، حواجز المياه المستخدمة تكون أفقية أو رأسية وبناء على تطبيقات فى الطبيعة .

٧-٢-١ حواجز الماء الأفقية

حواجز الماء الأفقية من الممكن أن تكون ذات طبيعة مرنة أو بلاطة جسيئة . وتتكون عموماً الحواجز

المرنة من أغشية غير منفذة ، مكونة من مواد مثل البوليثيلين Polyethylene وكلوريد البوليفنيل Polyvinylh clorid (PVC) والبوليبروبيلين Polypropylene عالى الكثافة ، وأنواع أخرى من الأغشية المطاطية . ومن الضرورى توافر معلومات كافية عن هذه المواد من المصنع قبل إستخدامها من ناحية الإتزان الكيميائى لها على المدى الطويل.

كما يجب الإعتناء عند وضع الأغشية التى سمكها أقل من ٢٠ مم لعدم حدوث ثقوب بها ، كما يجب العناية بتحضير الأسطح قبل وضع هذه الأغشية من خلال إزالة أى نباتات أو مواد عضوية وأى شىء حاد ، وأن يكون السطح مستوى ومدموك بإنتظام ، وأن يتم تمرير هراس بإسطوانة حديدية لتقليل وجود أى حبيبات حادة أخرى . كما يجب التأكد من حماية هذه الأغشية من أى مهاجمة من مواد كيميائية ، وملاءمة كيميائية التربة التى سيتم تغطيتها للأغشية المستخدمة ، والعناية التامة عند وضع التربة وفرشها فوق الأغشية لعدم حدوث أى تلف سواء من المعدات أو التربة التى سيتم وضعها على الأغشية .

وفى حالة إستخدام الأغشية حول المبنى يجب حمايتها من المؤثرات البيئية بوضع طبقة من الردم بسمك ١٥٠ إلى ٣٠٠ مم (Us Department of Army, 1983) ، مع ضرورة وضع هذه الأغشية على عمق كاف لعدم حدوث تلف لها من جذور النباتات .أما بالنسبة لحواف الأغشية فيجب التأكد من أنها لاتحدث تسريب للمياه بجانب الأساسات أو عند وصلات الأغشية ، ويوصى بإستخدام ألواح الخشب أو لزق عازل للمياه أو صمغ راتينجى لإحداث إلتصاق جيد للأغشية مع الأساسات . وإذا كان هناك مصدر أو سبب لتجمع المياه عند حدود الأغشية ، فيمكن تقليل حركة المياه نحو تربة الأساس بإضافة مصارف على حدود الأغشية والتى من شأنها العمل على تصريف المياه . وتصمم هذه المصارف بميل كبير لتجنب حدوث إرتجاع المياه لأعلى . كما يجب تصريف المياه من أسطح المبانى بعيداً عن حدود الحواجز الأفقية .

يجب تنفيذ الوصلات وعزلها عند إستخدام الحواجز الأفقية الجسيئة حيث أن الإنتفاخ قد يحدث عند حدود فرشة النظافة أسفل الأساسات ، فيجب أن تنفذ الوصلات المرنة المحكمة بين المنشأ والحواجز . كما يجب أن يتم تنفيذ الرصيف الجانبى وفرشة النظافة بميول كافية للخارج بعيداً عن حدود الأساسات بحيث لو حدث تغير فى إتجاه المياه فيكون تصريفها بعيداً عن حدود الأساسات . وتعتبر الحواجز الأفقية أكثر تأثيراً لو تم تنفيذ صرف سطحى للمياه ، وذلك لعدم إمكانية تكون برك من الماء.

٧-٢-٢ حواجز الماء الرأسية

التأثير الرئيسى لحواجز الرطوبة هو الإبتعاد بمنطقة الأساسات عن التأثر بالمياه السطحية التى قد تتسرب إلى أسفل المبنى ، مما يقلل من معدل الإنتفاخ ويحدث توزيع أكثر إنتظاماً للمياه أسفل المبنى .

وتعتبر الحواجز الرأسية أكثر تأثيراً من الحواجز الأفقية فى تقليل إنتقال المياه أفقياً، كما تحتفظ بإنتظام توزيع المياه فى الأمد البعيد (Chen, 1988 and 2000) ، وقد استخدمت بكفاءة فى علاج الطرق السريعة الأسفلتية المرصوفة والإنشاءات الحديثة (Steinberg, 1988).

يتكون الحاجز الرأسى عادة من ترنش محفور مبطن بأغشية غير منفذه مثل بوليثيلين ، أو الخرسانة ، أو مادة الأسفلت ، ويجب أن تكون الأغشية المستخدمة بالمتانة الكافية لمقاومة حدوث ثقوب أو تمزق عند وضعها . وهناك معدات ذات قدرات متقدمة لتنفيذ ترنشات الحواجز الرأسية ، وقد إستخدمت كثير من المواد فى ردم ترنشات الحواجز الرأسية . يجب أن تكون مادة الردم للترنشات غير منفذة بقدر الإمكان مثل الطين أو مادة محقونه ، حيث أن مادة الردم من الرمل للترنش قد تساعد على تكوين خزان للمياه (Newland, 1965) يؤدى إلى تسريب الماء خلال الأغشية لتربة الأساس. ومن جهة أخرى فإنه فى حالة عدم تواجد حالة التشبع بالمياه فقد تكون المادة الحبيبية مانعة لحدوث الخاصية الشعرية ، وسوف تتحسن كفاءة الحاجز لو كان هناك تصريف سطحى للمياه بعيداً عن المبنى . ويحدد عمق الحاجز الرأسى بناء على تقدير عمق المنطقة التى قد تتعرض لوصول المياه إليها .

أجرى (Goode,1982) إختبارات حقلية لتقييم استخدام الحواجز الرأسية فى جامعة كلورادو بالولايات المتحدة الأمريكية . أجريت الإختبارات فى ٤ قطع من الأرض بها تربة إنتفاشية بإستخدام حواجز رأسية ، و٢ قطعة بدون إستخدام حواجز . ولتمثيل وجود بلاطة على الأرض استخدم أغشية غير منفذة للماء على التربة الإنتفاشية ، وكانت عمق الحواجز الرأسية من ٤ إلى ٥ متر. وأظهرت النتائج أن الإنتفاخ للبلاطة المنفذ لها حواجز رأسية فى السنة الأولى والثانية أقل بكثير من الإنتفاخ الحادث للتربة التى لم ينفذ بها حواجز ، وبعد مرور ٤إلى ٥ سنوات وجد إن الإنتفاخ الكلى للبلاطات التى نفذ لها أولم ينفذ لها حواجز كانت متساوية ، ولكن الإنتفاخ المتفاوت للبلاطة غير المنفذ لها حواجز أكثر من الإنتفاخ المتفاوت الحادث للبلاطة المنفذ لها حواجز رأسية (Hamberg,1985) .

٧-٢-٣ بعض الإعتبارات الواجب مراعاتها عند تنفيذ حواجز الماء

الحواجز الأفقية صعب الوثوق فى إستخدامها بل قد تسبب أضراراً فى بعض الحالات . فمثلاً معروف إن الأنسجة والأغشية البلاستيكية تتدهور مع الوقت. وقد يحدث لهذه الأغشية ثقوب قد لاتكتشف أثناء التنفيذ والتى سوف تسمح للمياه بالدخول لتربة الأساس ولن تسمح لها بالخروج .

وبالنسبة للحواجز الرأسية فإن أعمال السباكة وترنشات المرافق التى تمر خلال الحواجز قد تشارك فى رطوبة التربة أسفل الأساسات. وقد يكون الحاجز الرأسى غير عملى لمنع سريان الماء أسفل قاع المنطقة الفعالة (Active Zone) لأعماق أكثر من ٢,٤ إلى ٣,٠ م .

٧-٢-٤ مصارف تحت سطحية

تعتبر نوعية المصارف المحيطة تحت السطحية شائعة الإستخدام حول الأساسات لتجنب وجود مياه بالتربة ، بالرغم من أنها لاتمنع الإنتفاخ كلياً أسفل الأساسات . وتتكون المصارف المحيطة من ترنش به ماسورة بثقوب ، وزلط نظيف خشن ، وأقمشة نسيجية مصرفة (geotextile drainage fabric) .

ومن الممكن أن تكون المصارف المحيطة خارج الأساسات أكثر تأثيراً من المصارف الداخلية، حيث أن المصارف الداخلية لن تمنع التصريف خلال منطقة الردم، وهذا يقلل من كفاءتها فى جعل المياه بعيده عن الأساسات مما يحتاج إلى طرق أخرى للمعالجة . ويرجع قرار تنفيذ مصارف داخلية أو خارجية إلى سهولة التنفيذ مع الخطة الكلية للإنشاء .

ويجب الأخذ فى الإعتبار أن التنفيذ غير السليم للمصارف قد يؤدى إلى تأثير عكسى ويجذب مياه لتربة الأساس . ولذلك فإنه من الأهمية بمكان أن يكون التصميم والتنفيذ سليم لهذه المصارف مع ضرورة تجميع المياه المصرفة من المصارف فى منطقة تصريف (Sump) ، ويجب تزويدها بمضخة للماء لتصريفها بعيداً عن الموقع أو القيام بتصريفها بقوة جاذبية مناسبة لخارج الموقع ، وقد أكد (Chen, 2000) على ضرورة الأخذ فى الإعتبار عند تصميم المصارف تحت السطحية إحتمال وجود للمياه بعد الإنشاء وخاصة للأساسات الضحلة المنفذة على تربة الإحلال.

٧-٣ الميول الأرضية والمصارف تحت السطحية

يتم تصريف المياه السطحية بنظام الميول الأرضية، أما بالنسبة للمصارف تحت السطحية، فيجب أن تكون ميول سطح الأرض كافية لتسمح بتدفق سريع للمياه بعيداً عن المبنى لتجنب أى تجمع للماء بالقرب من

المبنى والتى تنفذ لأسفل وتهاجم تربة الأساس القابلة للإنتفاخ .

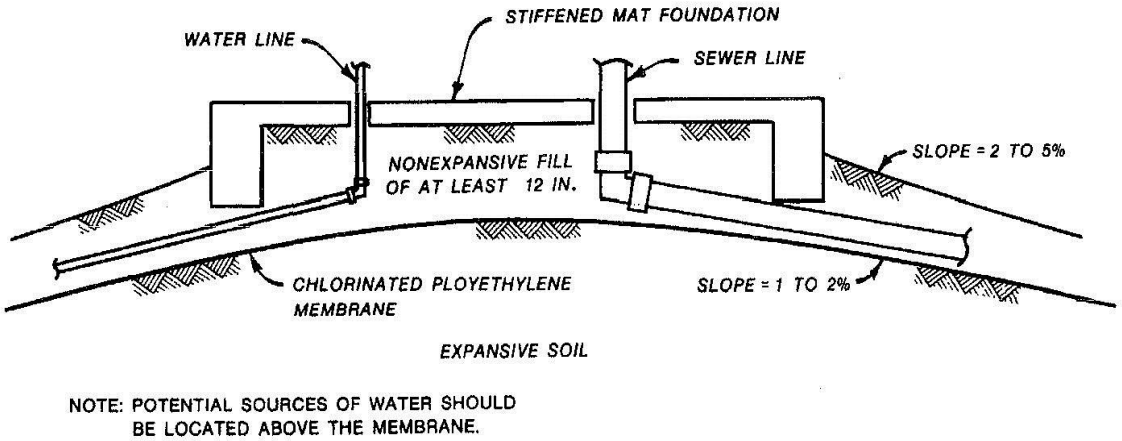
ويقترح (U.S Army Corps of Engineering, 1983) بأن الميول السطحية للأرض يجب أن تزيد عن ١% والأفضل أن تكون ٥% لمسافة حوالى ٣ متر من حدود الأساسات.

الميول فى موقع الإنشاء وخصوصاً حول محيط المبنى أكثر العوامل أهمية لتقليل تسريب المياه السطحية للتربة القابلة للإنتفاخ أسفل تربة الإحلال (Nelson et al., 2011) & (Houston et al., 2011) .

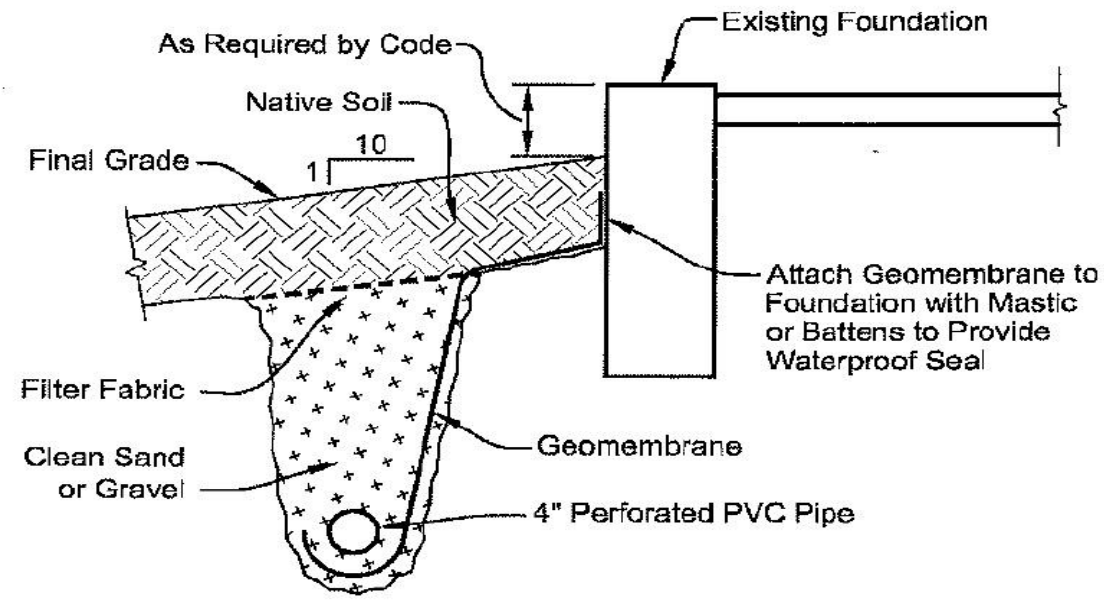
ففى غرب الولايات المتحدة هناك توصيات بعمل ميول للأرض حول المبنى ١٠% ولمسافة ٣ متر بعد نهاية حدود الأساسات ، والمتطلبات (International Building Code, 2012) بالولايات المتحدة الأمريكية على أن يكون السطح غير المنفذ للماء حول المبنى بعرض ٣ متر وتكون الميول على الأقل ٢% بعيداً عن المبنى.

ويجب الأخذ فى الإعتبار تصريف مياه الأسطح بعيداً عن محيط الأساسات بمسافة كافية لاتقل عن ٣ متر، وعموماً يجب العمل دائماً على التخلص من أى تجمعات للمياه ، وأن يتم تصريفها بعيداً بمسافة كافية عن محيط حدود تربة الأساس.

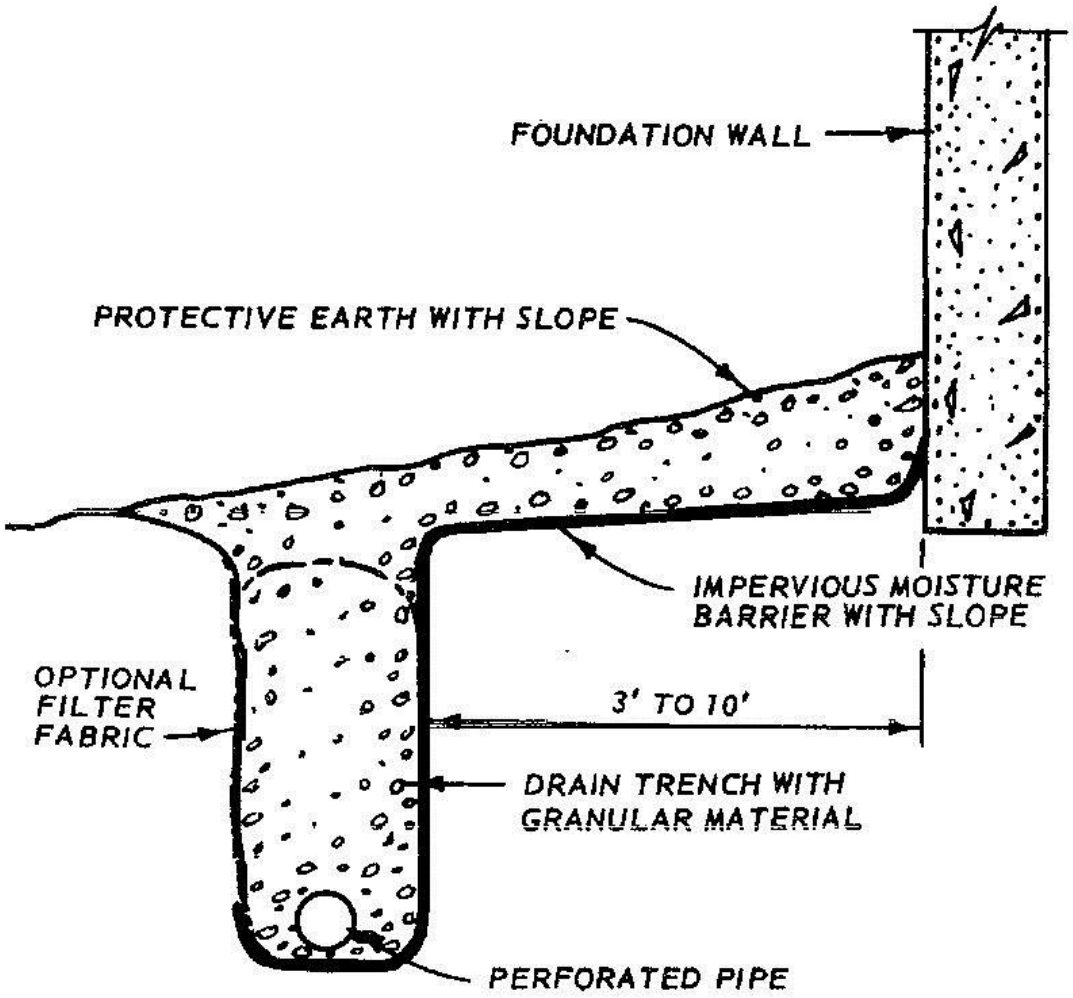
والأشكال من (٧-١) إلى (٧-٦) توضح الخبرات العالمية السابقة للتحكم فى الماء بالموقع بإستخدام حواجز الرطوبة الأفقية والرأسية ، والمصارف الداخلية والخارجية ، وترنشات تصريف المياه حول المبنى من الخارج بالإضافة إلى تخطيط أماكن تدفق المياه بعيداً عن المبنى.



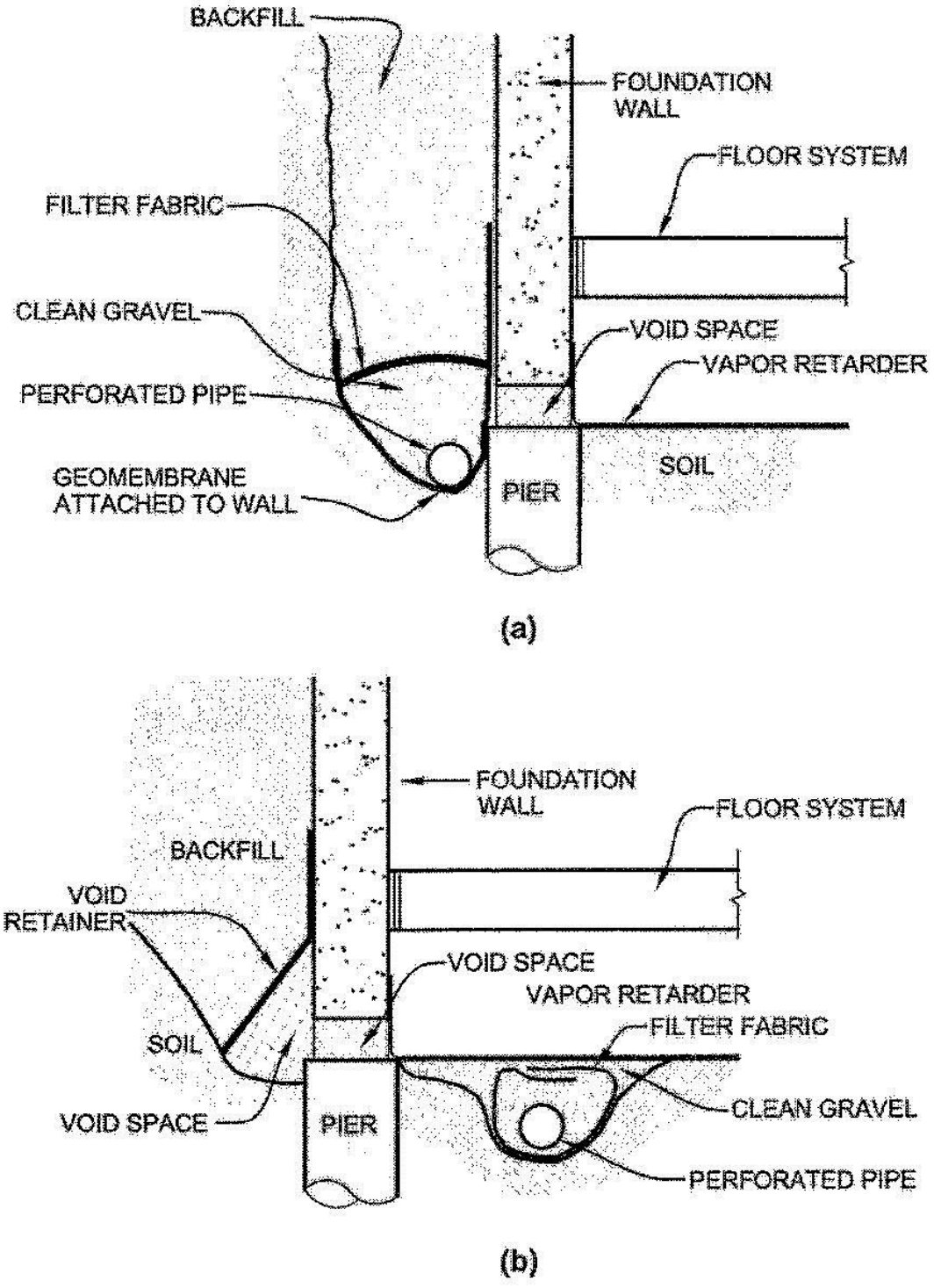
شكل (٧-١) تطبيق استخدام الأغشية الأفقية
(U.S. Army corps of Engineering, 2004)



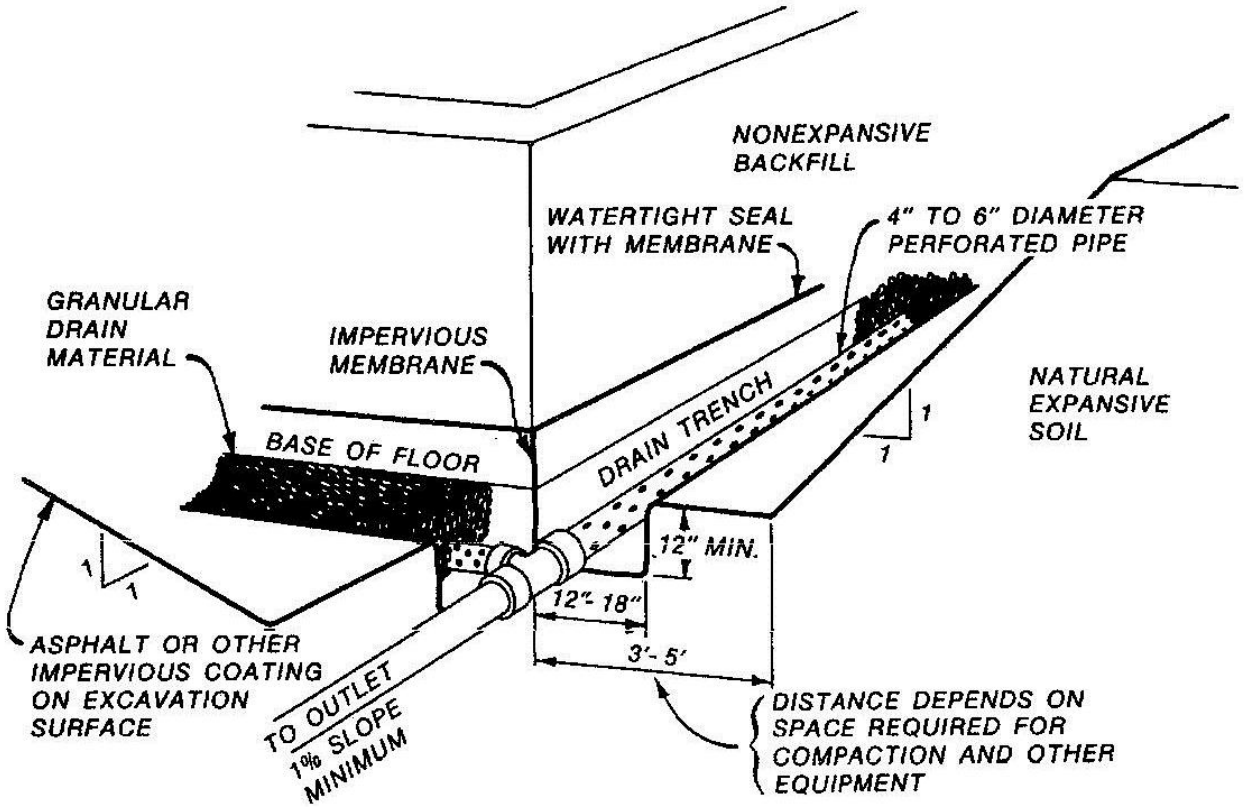
شكل (٧-٢) حواجز الرطوبة الرأسية
(John et al., 2015)



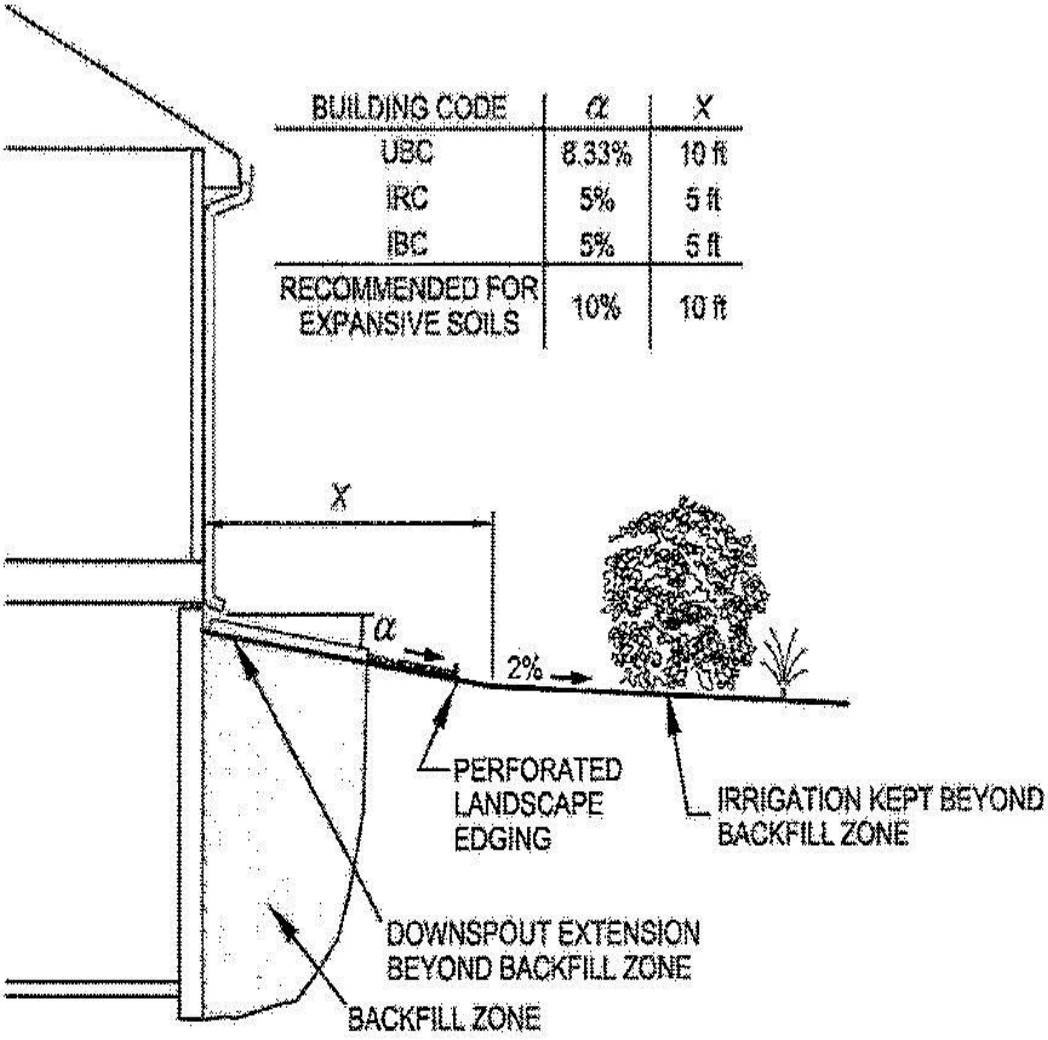
شكل (٧-٣) حواجز الرطوبة الرأسية والأفقية
(U.S. Army corps of Engineering, 2004)



شكل (٧-٤) المصارف المحيطة : أ) الخارجية ب) الداخلية
(John et al., 2015)



شكل (٧-٥) ترنشات التصريف حول المبني من الخارج
(U.S. Army corps of Engineering, 2004)



شكل (٧-٦) تخطيط وأماكن تدفق المياه بعيدا عن المبني

(U.S. Army corps of Engineering, 2004)

UBC Uniform Building Code (1997)

IRC International Residential Building Code **(2012)**

IBC International Building Code **(2012)**

٧-٤ المعالجة بالخلطات الكيميائية (فى أعمال الطرق)

الخلطات الكيميائية التقليدية المستخدمة فى معالجة التربة القابلة للإنتفاخ تشتمل على الجير المتميئ hydrated lime ، والأسمنت البورتلاندى ، وخبث الحديد .

٧-٤-١ المعالجة بالجير

أستخدم الجير لمعالجة التربة القابلة للإنتفاخ لتحسين اللدونة وتقليل الإنتفاخ فى كثير من الأبحاث التى تمت فى أقسام الطرق بالولايات المتحدة الأمريكية. وتتم المعالجة من خلال خلط التربة بالجير المتميئ بنسبة ٣ % إلى ٨ % بالوزن ، حيث أن خصائص التربة المعالجة بالجير تعتمد فى الأساس على نوع التربة ، نوع الجير ، ونسبة الجير المستخدمة ، وظروف المعالجة مثل الوقت ودرجة الحرارة . وبالنسبة للمعالجة بالجير يصعب خلط الجير بالتربة بعمق أكثر مـن ٣٠ سم ، ولذلك تستخدم المعالجة بالجير فى اغلب الأحيان لمعالجة تربة الأساس فى الطرق ، وفى حالة ما إذا كان تربة الأساس المطلوب معالجتها عميقة فتتم المعالجة على طبقات . كما تتم معالجة التربة إما بإضافة الجير الجاف أو مخلوط بالماء slurry. ويمكن حقن الجير المخلوط بالماء خلال فتحات يتم تثقيبها بالتربة ، وبالرغم من إن هذه الطريقة غير مشجعة للإستخدام لعدم إنتظام عملية الخلط إلا إنها تستخدم فى بعض الحالات قبل الإنشاء . ومع ذلك فإن المعالجة بالجير ليست مؤثرة فى كل أنواع التربة ، وهى تعتبر جيدة فى حالة التربة الطينية التى تحتوى على الأقل ٢٠ % من التربة ماره من منخل ٢٠٠ ودليل لدونه أكبر من ١٠ % . (National Lime Association NLA, 2004).

ويجب الحذر عند استخدام الجير لأن وجود الكبريتات وبعض المواد العضوية والفوسفات بمكونات التربة قد تتسبب فى حدوث تفاعل ، قد يكون له تأثير عكسى خطير. وهناك أنواع متعددة من الجير تستخدم لمعالجة التربة مثل الجير الحى quick lime والجير المتميأ hydrated lime . كما يجب أخذ الإحتياط عند إستخدام الجير الحى لإنه قد يسبب حروق خطيرة للجلد والأعين لو تعرض الشخص لملامسته ، لذا يفضل إستخدام أجهزة الرش الحديثة التى قد تقلل من خطورة إستخدامه .

٧-٤-١-١ حالات المعالجة

إن طول مدة المعالجة ودرجة الحرارة العالية تزيد من مقاومة التربة المعالجة بالجير والتأثير على قابلية الإنتفاخ. ويوصى (Currin Allen And Little, 1976) بأن يعد البرنامج الزمنى للتنفيذ بالإستفادة القصوى من درجة الحرارة العالية فى الصيف قبل حلول الجو البـــارد. وحالة توقع حالات الجو البارد

تستخدم طرق معالجة بديلة قد تؤدى إلى زيادة مدة المعالجة والتى قد تصل من ١٠إلى ١٤ يوماً على الأقل، وذلك قبل السماح بإستخدام المعدات الثقيلة على التربة المعالجة.

٧-٤-٢ المعالجة بالأسمنت البورتلاندى

وجد أن معالجة التربة بإستخدام الأسمنت البورتلاندى فعال بالنسبة لأنواع كثيرة من التربة كالتربة الحبيبية ، والطمى ، والطين. كما أن النتائج قد تكون مماثلة لمعالجة التربة بالجير، فيعمل على تقليل حد السيولة ودليل اللدونة وتقليل إمكانية التغير الحجمى ، وتزيد من حد الإنكماش ومقاومة القص وتحسن فى معامل المرونة(Petry and Little, 2002) , (Chen, 1988)، وبالرغم من ذلك فإن إستخدام الأسمنت البورتلاندى غير مؤثر عند إستخدامه فى التربة الطينية عالية اللدونة ، كما أن كمية الأسمنت اللازمة لمعالجة التربة الإنتفاشية تتراوح من ٢ % إلى ٦% بالوزن (Chen, 1988) . وهذه النسبة تنتج تربة تتصرف كأنها بلاطة شبه جسيئة (semi-rigid) ، مما يقلل من الإنتفاش المتفاوت للبلاطة.

أشار (Little et al., 2000) أن المواد المعالجة بالأسمنت قد تكون معرضة لحدوث تشققات نتيجة للتميؤ وفقدان الماء ، والتشققات الحادثة نتيجة الإنكماش قد تستمر فتؤدى إلى إتساع التشققات وتسمح أكثر للمياه بالمرور خلالها ، ولكن بإتباع خطوات مناسبة فى التنفيذ قد يقلل من التشققات الناتجة عـــن الإنكماش (Perty and little, 2002) .

وطرق التقليل من مشاكل التشققات تشتمل على الآتى:

- يجب أن تدمك التربة المعالجة بالأسمنت عند محتوى ماء أقل من محتوى الرطوبة القصوى.
- عدم وضع أحمال على التربة المدموكة قبل نهاية مدة المعالجة الكافية للتربة.
- تأخير وضع الخليط الساخن على السطح ، وتقليل نسبة محتوى الأسمنت.

٧-٤-٣ المعالجة بخبث الحديد

طبقاً لنظام التصنيف الموحد يصنف خبث الحديد على أنه طمى ناعم غير لدن . ويستخدم فى المعالجة لتقليل حد اللدونة والنفاذيه وإمكانية الإنتفاخ للتربة . كما أنه يزيد من الصلابة ومقاومة التربة ومقاومة التجمد والذوبان وهناك أنواع مختلفة من خبث الحديد ذات خواص ميكانيكية وكيميائية مختلفة . لذلك فإنه عند إختيار أحد هذه الأنواع يجب القيام بوضع برنامج إختبارات مكثف وينفذ لتحديد معايير التصميم المطلوبة للمعالجة المثالية . ومن الضرورى للوصول للفائدة القصوى من إضافة خبث الحديد تفهم تأثير كل من الدمك والتحكم فى الماء للتربة المعالجة(Little et al., 2000)

٧-٥ الخلاصة

بدائل معالجة التربة التى تم عرضها سابقاً (John et al., 2015) من الممكن استخدامها للتحكم فى درجة الإنتفاخ، وقد تستخدم على حدة أو تكون مرتبطة بطرق أخرى . والقرار الذى يتم اتخاذه بالنسبة لطريقة لتحكم فى الإنتفاخ وتقنية الإستخدام تقيم طبقاً للإعتبارات التالية :

- العوامل الإقتصادية .
- مقارنة للتحكم المتوقع فى التغير الحجمى بتطبيق البدائل المختلفة لمعالجة التربة .
- ظروف الموقع مثل قابلية التربة للتغير الحجمى ، تغير محتوى الماء ، درجة التشققات ، والنفاذية .
- طبيعة المشروع .
- مقاومة تربة الأساس المطلوبة .
- الحركة المحتملة للأساسات .
- الوقت المتاح للمعالجة .

إستكشاف الموقع الجيوتقنى وبرامج الإختبارات هامين للإختيار المناسب لطريقة المعالجة . ومن المهم أيضاً أن تكون ظروف الإختبار ممثلة لظروف الموقع .

بعض العوامل ذات اهتمام خاص تشتمل على الآتى :

- قابلية الموقع للإنتفاخ .
- درجة الشروخ والتشققات .
- تجانس وإنتظام التربة فى الموقع .
- التفاعل الكيميائى للتربة .
- وجود مركبات كيميائية غير مرغوب فيها .
- مدى إنتظام محتوى الماء والتوصيل المائى hydraulic conductivity .
- مقاومة التربة المطلوبة .

وعلى العموم فأن أفضل الطرق وأكثرها شيوعاً فى مصر لتقليل أو منع انتفاخ التربة تحت الأساسات هى استخدام تربة الإحلال . أما الطرق الأخرى المشار إليها سابقاً فهى خبرة عالمية يمكن استخدامها فى مصر مع مراعاة الإعتبارات السابق الإشارة إليها .

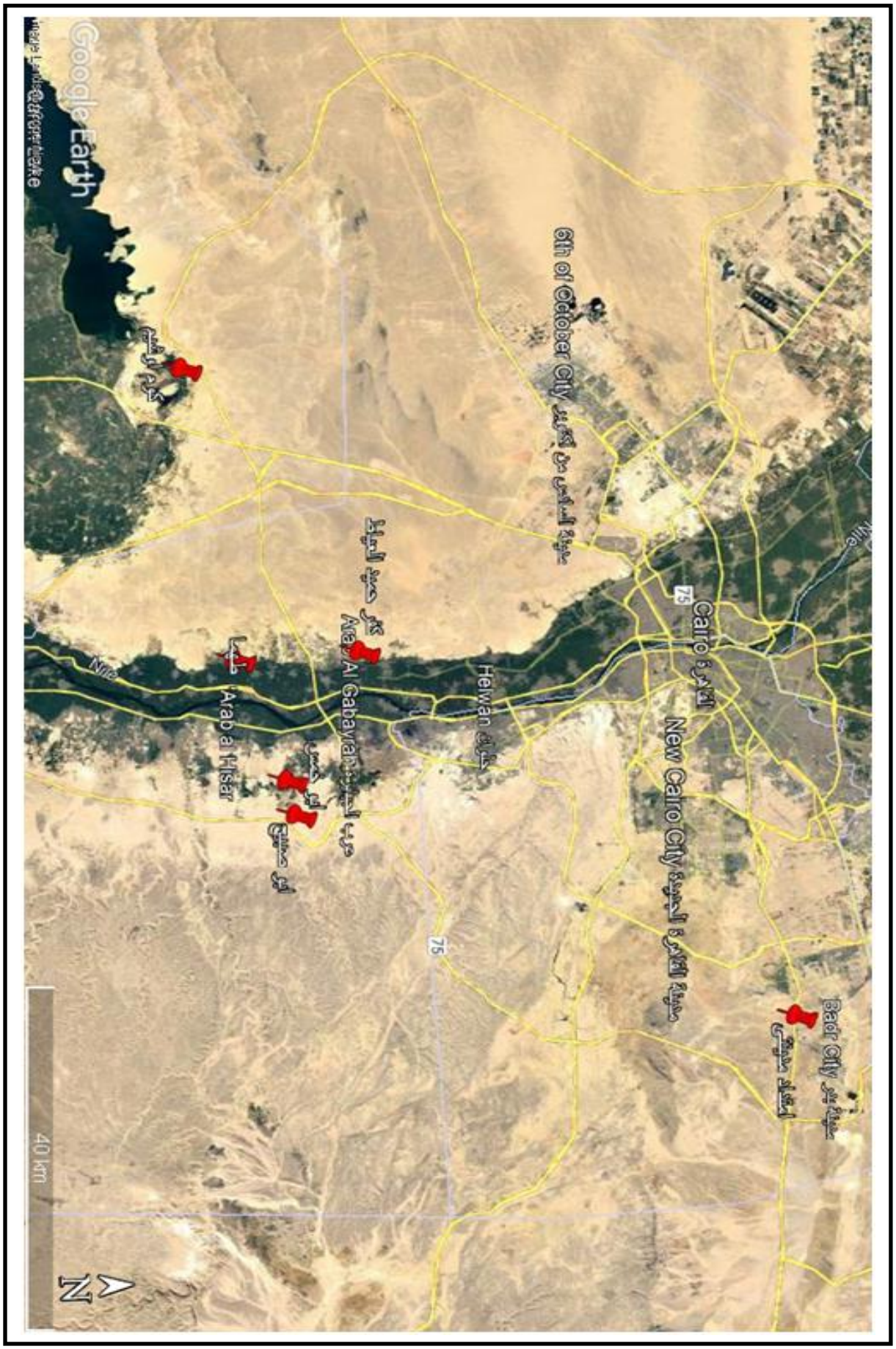
٨ – أخذ العينات والإختبارات المعملية

٨-١ برنامج أخذ العينات Field work

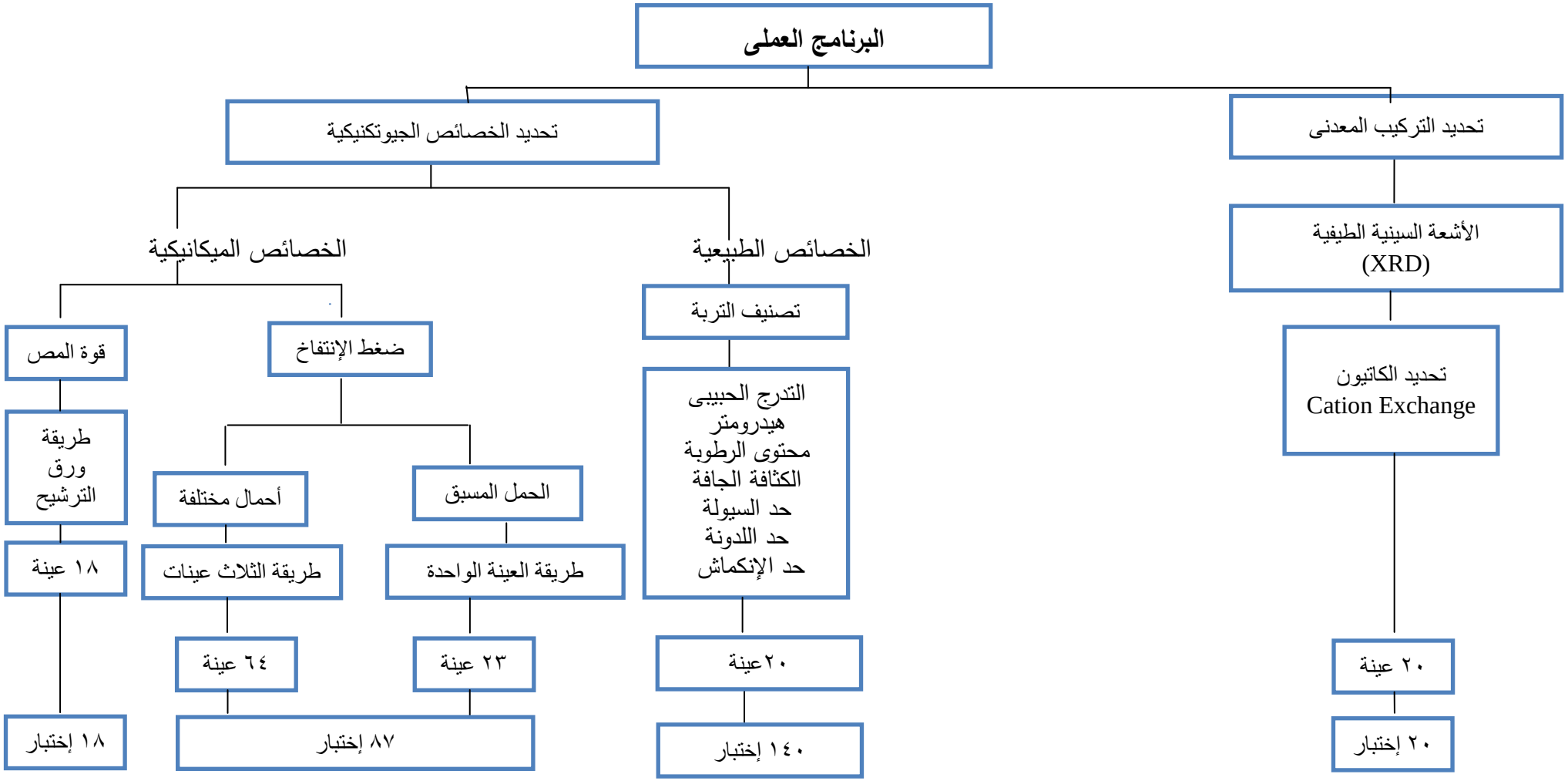
قام الفريق البحثى من معهد الخامات وصناعة مواد البناء بتحديد الأماكن التى تم احضار العينات منها وهى كتل من التربة القابلة للإنتفاخ بحالتها الطبيعية وتم تحديد إحداثياتها . وتم تقسيمها إلى ثلاث مجموعات . المجموعة الأولى من موقع العياط وعددها ٧ عينات على أعماق مختلفة ، والمجموعة الثانية تضم ٦ عينات من مواقع متفرقة فى الجيزة وعلى عمق حوالى ٣,٠٠ متر من سطح الأرض. أما المجموعة الثالثة فقد تم إحضار ٩ عينات أخرى من أماكن متفرقة من القصير، والوادى الجديد، وكوم أوشيم، وبدر، الشروق، والقطامية على أعماق من ٣,٠٠ إلى ٦,٠٠ متر تحت سطح الأرض

وقد تم استخراج عينات أخرى من أماكن مختلفة لم يتمكن من تحضير عينات غير مقلقلة منها لقياس ضغط الإنتفاخ لما بها من شروخ أو على هيئة طبقات كما موضح بالصورة رقم (١) لبعض هذه العينات . وصورة رقم (٢) توضح مواقع أخذ الجسات .الشكل رقم (٨-١) يوضح البرنامج العملى الذى تم تنفيذه فى هذه الدراسة .

صورة رقم (١) كتل حجرية بمستويات رسوبية متقاربة (شيل)



صورة رقم (٢) مواقع الجسات



شكل (٨-١) البرنامج العملى للإختبارات المعملية

٨-٢ الإختبارات المعملية Laboratory Tests

٨-٢-١ نتائج إختبارات التركيب المعدنى

قام الفريق البحثى من قسم الخامات بإستخدام تقنية حيود الأشعة السينية المتفرقة X-Ray Diffraction للتعرف على التركيب المعدنى للعينات. ، وقد اتضح أن المعادن الطينية للعينات هى المنتموريلونايت والكاولينايت والإيلايت مع درجة تبلور ونسب مختلفة أما المعادن غير الطينية فغالباً تتكون من الجبس والكالسيت والكوراتز والفلسبار والدولوميت .

تحديد النسب التقريبية للمعادن الطينية وتحديد الكاتيونات

تم تحديد النسب التقريبية للمعادن الطينية للعينات المختلفة طبقاً للطريقة الموصى بها من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية وبإستخدام بعض المعاملات الخاصة بها.

وقد تم حساب النسب التقريبية لمعادن المجموعة المكونة من السليكات Silicate group ومجموعة المعادن غير السيلكات لعينات التربة اعتماداً على نسبة المحتوى الطينى بالعينة من تجربة الهيدرومتر Hydrometer ونتائج التحليل المعدنى بإستخدام جهاز (XRD) للنمط المشبع ببخار الجلسرين جيليكول Glycolated pattern.

جدول (٨-١) ، (٨-٢) ، (٨-٣) يوضح التركيب المعدنى والأيون الموجب التبادلى (الكاتيون) ومحتوى الطين أصغر مـن ٢ ميكرون .

المجموعة الأولى : تتكون من ٧ عينات مأخوذة من موقع واحد وعلى أعماق مختلفة . تلاحظ إن العينتين (٣) ، (٥) بهما أقل نسبة من محتوى الطين ٥ % ، ٣٣% . ونسبة المنتموريلونايت بهما أقل نسبة من العينات السبعة التى تم اختبارهم ٣,٥% ، ١٩% على التوالى . وهذا النسب تدل على القابلية المنخفضه للإنتفاخ . تراوحت نسبة المنتموريلونايت من ٣٢% إلى ٤٥,٥% للخمس عينات الأخرى (١)،(٢)،(٤)،(٦)،(٧) وتراوحت نسبة محتوى الطين من ٧٢% إلى ٨١% . وهذا دليل بدرجة كبيرة على القابلية العالية للإنتفاخ للتربة المتواجدة فى هذا الموقع. والايون الموجب التبادلى اختلف من Ca/Mg إلى Ca (كالسيوم ماغنسيوم إلى كالسيوم فقط) .

المجموعة الثانية : تتكون من ٦ عينات مأخوذة من مواقع مختلفة فى الجيزة ومن على عمق حوالى مـــــــــن ٣ – ٥ متر من سطح الأرض.

تلاحظ أن العينة A تحتوى على أقل نسبة منتموريلونايت ١٧% وأقل نسبة لمحتوى الطين مقداره ٢٢% مما يدل على أن قابلية الإنتفاخ منخفضة .

وبقية عينات هذه المجموعة من (B) إلى (F) كانت نسبة المنتموريلونايت بهم تتراوح من ٣٥,٧% إلى ٦٩,٧% بينما نسبة محتوى الطين تتراوح مابين ٥٨% إلى ٩٣% . نسبة المنتموريلونايت ونسبة محتوى الطين العالية دليل على قابلية التربة العالية للإنتفاخ . وكان الايون الموجب التبادلى هو Ca/Na كالسيوم صوديوم واحد لكل العينات .

المجموعة الثالثة : تتكون من ٩ عينات تم أخذ ٢ عينة من موقعين بالقصير (G1)، (G2) وعينة (H) من كوم أوشيم على عمق ٣ متر من سطح الأرض وعينة من غرب الشروق (I) على نفس العمق . والعينة السادسة (J) من مدينة بدر وعلى عمق ٤ متر والعينة السابعة (K) من القطامية وعلى عمق كذلك ٤ متر وثلاث عينات L1،L2،L3 من مواقع مختلفة فى الوادى الجديد من اعماق تراوحت من ١ إلى ٦ متر وقد تم إجراء الإختبارات على عينة (L3) فقط لتشابة التركيب المعدنى لها مع العينات (L1) ، (L2). وتراوحت النسبة التقريبية للمنتموريلونايت فى معظم عينات هذة المجموعة من ٢٧,٥% فى عينة القصير (G2) إلى ٥٨,٣% فى عينة (K) القطامية ونسبة محتوى الطين فى هذه المجموعة تتراوح مابين ٥٤% إلى ٩٤% وكان ٣٨% لعينة (L3). ونسبة المنتموريلونايت لعينة الشروق (I) ٦,٨% ، ولعينة الوادى الجديد (L3)٢٦% ، بينما محتوى الطين للعينتين على التوالى ٣٢% ، ٣٨% .

نتائج إختبارات التركيب المعدنى للمجموعات الثلاثة فى الملحق (أ) .

جدول (٨-١) ملخص التركيب المعدنى للعينات المختبره (المجموعه الاولى - العياط)

Sample code	Clay content (particles less than 2 µm)	Clay minerals	Exchangeable cations	Non clay minerals (%)
(١) عينه عمق ٤ متر	72.0 %	(35%) Montmorillonite + (35.5%) Kaolinite + (1.5%) Illite	Ca^{2+}/Mg^{2+}	28.0
(٢) عينه عمق ٢٠ متر	77.0 %	(45.5%) Montmorillonite + (21%) Kaolinite + (10.5%) Illite	Ca^{2+}/Mg^{2+}	23.0
(٣) عينه عمق ٣٥ متر	5.0 %	(3.5%) Montmorillonite + (1%) Kaolinite + (0.5%) Illite	Ca^{2+}	95.0
(٤) عينه عمق ١٥ متر	72.0 %	(37%) Montmorillonite + (27.5%) Kaolinite + (7%) Illite	Ca^{2+}	28.0
(٥) عينه عمق ٢٧ متر	33.0 %	(19%) Montmorillonite + (11%) Kaolinite + (3%)Illite	Ca^{2+}/Mg^{2+}	67.0
(٦) عينه عمق ٣٠ متر	80.0 %	(33%) Montmorillonite + (46%) Kaolinite + (1%) Illite	Ca^{2+}	20.0
(٧) عينه عمق ٤٠ متر	81.0 %	(32%) Montmorillonite + (43%) Kaolinite + (6%) Illite	Ca^{2+}/Mg^{2+}	19.0

جدول (٨-٢) ملخص التركيب المعدنى للعينات المختبره (المجموعه الثانية - الجيزة)

Sample code	Clay content (particles less than 2um)	Clay minerals	Exchangeable cations	Non - clay minerals (%)
ابو حمص – حيبا (A)	22.0 %	Montmorillonite (17.0%) + Kaolinite (4.3%) + Illite (0.6%)	Ca^{2+} / Na^{+}	78.0
ابو داود – كفر حميد (B)	93.0 %	Montmorillonite (69.7%) + Kaolinite (22.3%) + Illite (1.2%)	Ca^{2+} / Na^{+}	7.0
طهما - العياط (C)	58.0 %	Montmorillonite (35.7%) + Kaolinite (20.8%) + Illite (1.5%)	Ca^{2+} / Na^{+}	42.0
الامتياز – أبو صبيح (D)	83.0 %	Montmorillonite (68.5%)+ Kaolinite (12.6%) + Illite (1.9%)	Ca^{2+} / Na^{+}	17.0
ابو سعدت – الصف (E)	89.0 %	Montmorillonite (57.3%) + Kaolinite (27.6%) + Illite (4.1%)	Ca^{2+} / Na^{+}	11.0
ابو خمس (F)	63.0 %	Montmorillonite (52.9%) + Kaolinite (8.1%) + Illite (2.0%)	Ca^{2+} / Na^{+}	37.0

جدول (٨-٣) ملخص التركيب المعدنى للعينات المختبره المجموعه الثالثة (أماكن متفرقة)

Sample code	Clay content (particles less than 2 µm)	Clay minerals	Exchangeable cations	Non clay minerals (%)
القصير (G1)	54.0 %	(31.6 %) Montmorillonite + (18.7 %) Kaolinite + (3.7 %) Illite	$Na^{+}/Ca^{2+}/Mg^{2+}$	46.0
القصير (G2)	66.0 %	(27.5 %) Montmorillonite + (13.6 %) Kaolinite + (24.8 %) Illite	Ca^{2+}/Mg^{2+}	34.0
كوم اوشيم (H)	63.0 %	(30.8%) Montmorillonite + (29.6%) Kaolinite + (2.6%) Illite	Ca^{2+}/Mg^{2+}	37.0
الشروق (I)	32.0 %	(6.8 %) Montmorillonite + (20.7 %) Kaolinite + (4.5 %) Illite	Na^{+}	68.0
بدر (J)	83.0 %	(35.3%) Montmorillonite) + (44.5%) Kaolinite + (3.2%) Illite	$Na^{+}/Ca^{2+}/Mg^{2+}$	17.0
القطامية (K)	94.0 %	(58.3 %) Montmorillonite + (20. 1 %) Kaolinite + (15.6 %) Illite	Ca^{2+}/Mg^{2+}	6.0
الوادي الجديد (L3)	38.0 %	(26 %) Montmorillonite + (10.5 %) Kaolinite + (1.5 %) Illite	Na^{+}	62.0

٨-٢-٢ إختبارات الخصائص الجيوتكنيكية

٨-٢-٢-١ الخصائص الطبيعية

الجداول أرقام (٨-٤) إلى (٨-٦) توضح نتائج الخصائص الطبيعية للمجموعات الثلاثة .

أ) محتوى الرطوبة والكثافة

تم إجراء إختبارات محتوى الرطوبة طبقاً للمواصفة ASTM 2216-16 لجميع عينات المجموعة الأولى والمكونة من ٧ عينات من موقع العياط ولعينات المجموعة الثانية والمكونة من ٦ عينات من أماكن متفرقة فى الجيزة وعينات المجموعة الثالثة والمكونة من ٧ عينات من اماكن متفرقة من جمهورية مصر العربية . وكذلك الكثافة الجافة تم تعيينها طبقاً للمواصفة ASTM D4546-14 .

ب) محتوى الطين

تم إجراء إختبارات التدرج الحبيبى والهيدروميتر طبقاً للكود المصرى ECP 202/2-2001 ، لتعيين نسبة محتوى الطين أصغر من ٢ ميكرون للعينات المختبرة .

ونتائج اختبارات التدرج الحبيبى للمجموعات الثلاثة فى ملحق (ب) .

ج) حدود أتربرج

تم قياس حد السيولة واللدونة لجميع العينات المختبرة فى المجموعات الثلاثة طبقاً للمواصفة ASTM D4318-17.

د) حد الإنكماش

تم إجراء حد الإنكماش لعينات التربة المختبرة فى المجموعات الثلاثة طبقاً للمواصفة ASTM D4943-18.

جدول رقم(٨ – ٤) الخصائص الطبيعية لعينات التربة القابلة للإنتفاخ (المجموعة الأولى – العياط)

كود العينة	العمق	التصنيف	Clay %	Non Clay %	L .L %	P .L %	P.I	Sh.L %	التوصيف	γ (dry) gm/cm^3	W/C %
1	٤ متر	طين طميى رمادى غامق متحجر (clay stone)	72	28	68	26	42	9.6	CH	1.71	12.9
2	٢٠ متر	طين طميى رمادى فاتح يميل الى الصفرة متحجر (clay stone)	77	23	64	24	40	6	CH	1.81	6.6
3	٣٥ متر	طين طميى رملى متحجر على هيئة طبقات اصفر ورمادى غير متجانسة (Mud stone)	5	95	39	16	23	21.1	CL	1.84	5.5
4	١٥ متر	طين طميى متحجر بنى يميل الى الرمادى (Clay Stone)	72	28	79	30	49	7	CH	1.74	10.6
5	٢٧ متر	طين طميى رملى متحجر اصفر يميل الى الرمادى(غير متجانسة)	33	67	33	16	17	17.5	CL	1.78	8.1
6	٣٠ متر	طين طميى بنى متحجر (clay stone)	80	20	72	28	44	8	CH	1.75	10
7	٤٠ متر	طين طميى متحجر رمادى يميل الى السواد (clay stone)	81	19	66	26	40	6.7	CH	1.72	12.1

جدول رقم (٨-٥) الخصائص الطبيعية لعينات التربة القابلة للإنتفاخ (المجموعة الثانية – الجيزة)

كود العينة	اسم الموقع	التصنيف	Clay %	Non Clay %	L .L %	P .L %	P.I	Sh.L %	التوصيف	γ (dry) gm/cm^3	W/C %
A	ابو حمص - حيبا	حجر طين طميى يميل الى البنى الفاتح لا يتحلل بسهولة فى الماء (clay stone)	22	78	84	33	51	8	CH	1.46	17.4
B	أبو داوود -كفر حميد	حجر طين طميى رمادى غامق لا يتحلل بسهولة فى الماء به آثار من الرمل الاصفر (clay stone)	93	8	90	35	55	11.5	CH	1.63	24.5
C	طهما - العياط	حجر طين طميى بنى يميل الى الاصفرار به آثار جير (clay stone)	58	42	55	23	32	5.5	CH	1.72	21.8
D	الامتياز -أبو صبيح	حجر طين طميى بنى يميل الى الاصفرار به آثار جير (clay stone)	83	17	78	30	48	14	CH	1.56	23.3
E	ابو سعدت - الصف	حجر طين طميى رمادى مخضر (clay stone)	89	11	80	31	49	7.5	CH	1.6	24.4
F	أبو خمس	حجر طين طميى رمادى (clay stone)	63	37	82	31	51	8	CH	1.66	21.4

جدول رقم (٨-٦) الخصائص الطبيعية لعينات التربة القابلة للإنتفاخ (المجموعة الثالثة – أماكن متفرقة)

كود العينة	اسم الموقع	العمق (متر)	التصنيف	Clay %	Non Clay %	L .L %	P .L %	P.I	Sh.L %	التوصيف	γ (dry) gm/cm^3	W/C %
G1	القصير	----	طين طميى رمادى متحجر - حجر طينى (Clay Stone)	54	46	67	27	40	15	CH	1.88	4.74
G2	القصير	----	طين طميى رمادى متحجر يتخلله رقائق من الرمل الناعم- حجر طينى (Clay Stone)	66	34	81	32	49	16	CH	1.93	4.45
H	كوم اوشيم	3.0	طين طميى رمادى متحجر يتخلله رقائق من الرمل الاصفر مع آثارمن بلورات الجبس (Shale)	63	37	125	46	79	12	CH	1.82	4.56
I	غرب الشروق	3.0	طين طميى متحجر رمادى يميل الى البنى (Clay Stone)	32	68	42	19	23	14	CL	1.74	5.38
J	بدر ١	3.0	طين طميى متحجر رمادى يميل الى الاصفرار (Clay Stone)	83	17	89	33	56	16	CH	1.87	6.65
K	القطامية ١	4.0	طين طميى متحجر رمادى غامق (Clay Stone)	94	6	74	26	48	14	CH	1.8	8.79

تابع جدول رقم (٨ – ٦) الخصائص الطبيعية لعينات التربة القابلة للإنتفاخ (المجموعة الثالثة – أماكن متفرقة)

كود العينة	اسم الموقع	العمق (متر)	التصنيف	Clay %	Non Clay %	L .L %	P .L %	P.I	Sh.L %	التوصيف	γ (dry) gm/cm^3	W/C %
L 1	**الوادى الجديد(موقع ١)**	**1.0-3.0**	طين طميى متحجر رمادى غامق يميل إلى البنى (Clay Stone)	**40**	**60**	40	17	23	13	**CL**	**----**	**----**
L 2	**الوادى الجديد(موقع ١)**	**3.0-5.0**	طين طميى متحجر رمادى غامق (Clay Stone)	**34**	**66**	35	15	20	19.5	**CL**	**----**	**----**
L 3	**الوادى الجديد(موقع ٢)**	**4.0-6.0**	طين طميى متحجر رمادى طبقى (Shale)	**38**	**62**	41	17	24	10	**CL**	1.86	3.44

٨-٢-٢-٢ ضغط الإنتفاخ

تم إجراء إختبارات قياس ضغط الإنتفاخ فى الأودوميتر طبقاً للمواصفة ASTM D4546-14 بالطريقتين طريقة الحمل المسبق والتى يتم غمر العينة فى الجهاز عند حمل صغير حوالى ٧ كيلو باسكال (٠,٠٧ كجم/سم^{٢}) وتترك لتنتفخ حتى يثبت التغير الحجمى ثم توضع الأحمال بالتدريج لإعادة العينة إلى حجمها الإبتدائى وتعيين ضغط الإنتفاخ . والطريقة الثانية يتم إجراء الإختبار بنفس الطريقة بإستخدام ٣ عينات تحت ٣ أحمال مختلفة وتعين نسبة الإنتفاخ عند كل حمل ومنه يمكن تعيين ضغط الإنتفاخ للعينة .

وقد تم إجراء إختبارات المجموعة الأولى سواء التى تم تحميلها بالطريقة الأولى والثانية فى وقت مقارب لوصول العينات بالمعمل . أما المجموعة الثانية فقد مر وقت بين إجراء الإختبارات بالطريقة الثانية والطريقة الأولى مما أدى إلى تغير فى محتوى الرطوبة للعينات التى أجريت فى الطريقة الأولى عن التى أجريت على العينات بالطريقة الثانية . ولذلك تم إعادة إختبارات ضغط الإنتفاخ لعينات المجموعة الأولى بعد تركها فترة من الوقت للتأكيد على تأثير محتوى الرطوبة فى قيم ضغط الإنتفاخ .

والجداول (٨-٧) إلى (٨-٩) توضح نتائج ضغط الإنتفاخ والكثافة الجافة ومحتوى الرطوبة لعينات المجموعات الثلاثة .

ونتائج إختبارات ضغط الإنتفاخ للمجموعات الثلاثة فى الملحق (ج) .

جدول رقم (٨-٧أ) تأثير طريقة تعيين ضغط الإنتفاخ (المجموعة الأولى – العياط)

Sample No	Ps1 kPa	Wc %	γ_d gm/cm^3	Sample No	Ps3 kPa	Wc %	γ_d gm/cm^3
1	1500	12.9	1.71	1	1906	14.3	1.85
2	1000	6.6	1.81	2	1600	6.1	2.03
4	550	10.6	1.74	4	900	12.5	1.80
6	1400	10.0	1.75	6	1700	12.3	1.90
7	1100	12.1	1.72	7	1700	18.7	1.62

جدول رقم (٨-٧ب) تأثير نسبة محتوى الرطوبة على ضغط الإنتفاخ (المجموعة الأولى – العياط)

Sample No	Ps1 kPa	Wc %	γ_d gm/cm^3	Sample No	Ps3 kPa	Wc %	γ_d gm/cm^3
1	1500	12.9	1.71	1	5000	2.3	2.02
2	1000	6.6	1.81	2	3000	3.0	1.93
4	550	10.6	1.74	4	4000	3.7	1.95
6	1400	10.0	1.75	6	4000	3.1	1.98
7	1100	12.1	1.72	7	5000	3.2	1.77

جدول رقم (٨-٨) تأثير طريقة تعيين ضغط الإنتفاخ بالإضافة إلى نسبة محتوى الرطوبة (المجموعة الثانية – الجيزة)

Sample No	Ps1 kPa	Wc %	γ_d gm/cm^3	Sample No	Ps3 kPa	Wc %	γ_d gm/cm^3
A	290	2.8	1.44	A	220	17.4	1.46
B	3900	2.1	2.03	B	790	24.5	1.63
C	1000	2.0	1.89	C	390	21.8	1.72
D	3800	2.0	1.90	D	800	23.3	1.56
E	4100	2.3	1.91	E	880	24.4	1.6
F	3200	3.0	1.99	F	540	21.4	1.66

جدول رقم (٨-٩) تأثير طريقة تعيين ضغط الإنتفاخ (المجموعة الثالثة – أماكن متفرقة)

Sample No	Ps1 kPa	Wc %	γ_d gm/cm^3	*Sample No*	Ps3 kPa	Wc %	γ_d gm/cm^3
G1	3000	4.8	1.93	G1	600	4.7	1.88
G2	5000	5.5	1.93	G2	1250	4.5	1.93
H	2100	5.5	1.93	H	820	4.6	1.82
I	160	5.5	1.93	I	300	5.4	1.74
J	4000	6.7	1.85	J	4000	6.5	1.87
K	6000	8.8	1.84	K	2000	8.8	1.80
L3	264	3.4	1.90	L3	1100	3.44	1.86

٨-٢-٢-٣ قوة المص

تم إجراء الإختبارات المعملية بإستخدام طريقة ورق الترشيح لعينات المجموعات الثلاثة لتعيين قوة المص الكلية طبقاً للمواصفة ASTM D5298-10 ، والجداول من (٨-١٠) إلى (٨-١٢) توضح نتائج هذه الإختبارات .

٨-٣ تحليل النتائج

٨-٣-١ العلاقة بين التركيب المعدنى والخصائص الجيوتكنيكية

عينات المجموعة الأولى (العياط) من موقع واحد وتم استخراجها من أعماق تتراوح بين ٤,٠٠متر إلى ٤٠,٠٠متر من سطح الأرض وإن الايون الموجب التبادلى (الكاتيون) كالسيوم / ماغنسيوم Ca/Mg أو كالسيوم Ca فقط .

- **بالنسبة للمجموعة الأولى** : يتضح من جدول (٨-١) بأن هناك تشابه بين العينتين (٣) ، (٥) من حيث إنخفاض نسبة محتوى الطين ٥ % ، ٣٣% عن نسبة الطين فى العينات الأخرى وأقل نسب للمونتموروبلونايت لهما ٣,٥% ، ١٩% ، ولم يتم إجراء إختبارات ضغط الإنتفاخ لوجود شروخ وفواصل وطبقات من الرمل وبلورات من الجبس فى الكتل الحجرية المأخوذة من الموقع وعدم إمكانية استخراج عينات غير مقلقلة منها وإختبارها فى جهاز الأودوميتر.

تأثير الكاتيون :

- وبمقارنة العينتين رقم (١) ، ورقم (٤) تلاحظ إن نسبة محتوى الطين واحدة وهى ٧٢ % واحتوائهما على نسب متقاربة من المنتموريلونايت ٣٥% ، ٣٧% على التوالى ، أما بالنسبة للكاتيون فإنه فى عينة رقم (١) هو Ca/Mg وفى عينة (٤) Ca فقط مما أدى إلى الإختلاف فى ضغط الإنتفاخ بطريقة (٣ عينات) ١٩٠٦ كيلو باسكال(١٩كجم/سم^{٢}) وكان للعينة رقم (٤) هو ٩٠٠ كيلو باسكال (٩,٠٠ كجم/سم^{٢}) هذا مع تقارب قيم محتوى الرطوبة والكثافة الجافة بين العينتين .

يتضح من ذلك إن تأثير الكاتيون Ca/Mg فى ضغط الإنتفاخ مختلف عن تأثير Ca فقط .

تأثير الكثافة الجافة ومحتوى الرطوبة

عند إختبار عينات هذه المجموعة فى الحالة الجافة كان محتوى الرطوبة يتراوح مابين ٢,٣% إلى ٣,٧% وتراوحت قيم الكثافة الجافة من ١,٧٧ جم/سم^{٣} إلى ٢,٠٢ جم/سم^{٣} كان ضغط الإنتفاخ المقاس بطريقة (العينة الواحدة) مابين ٣٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ كيلو باسكال (٣٠ إلى ٥٠ كجم/سم^{٢}). وعندما زاد محتوى الرطوبة من ٦,٦% إلى ١٢,٩% لنفس العينات مع إنخفاض قيم الكثافة الجافة من ١,٧٢ جم/سم^{٣} إلى

١,٨١ جم/سم^{٣} انخفض ضغط الإنتفاخ المقاس وتراوحت قيمته من ٥٥٠ إلى ١٥٠٠ كيلو باسكال (٥,٥ إلى ١٥كجم/سم^{٢}).

– **بالنسبة للمجموعة الثانية** : بالرجوع للجدول (٨-٢) وبتفحص النتائج تلاحظ إن عينة رقم (A) نسبة محتوى الطين بها ٢٢% وأقل نسبة ١٧% من المنتموريلونايت وتعطى هذه العينة أقل قيمة لضغط الإنتفـــــــاخ (٢,٢ كجم/سم^{٢}) المقاس للعينات .

– جميع العينات فى هذه المجموعة من أماكن متفرقة من منطقة الجيزة كلها من عمق حوالى ٣,٠٠ متر من سطح الأرض وإن الكاتيون كان كالسيوم/صوديوم Ca/Na واحد لجميع العينات وحيث أن الكاتيون واحد لعينات هذه المجموعة فسوف يتم على سبيل المثال توضيح تأثير بعض العوامل الأخرى مثل نسبة المنتمورويلونايت ومحتوى الطين على ضغط الإنتفاخ .

تأثير نسبة المنتموريلونايت

– بمقارنة العينتين(C) و(F) فإن نسبة محتوى الطين لهما متقاربة ٥٨% ، ٦٣% بينما المنتموريلونايت فى (C) هى ٣٥,٧% أقل من نسبته فى العينة (F) ٥٧,٣% وكان ضغط الإنتفاخ بطريقة (٣ عينات) للعينة (C) ٣٩٠ كيلو باسكال (٣,٩ كجم/سم^{٢}) أقل من ضغط الإنتفاخ المقاس بنفس الطريقة للعينة (F) ٥٤٠ كيلو باسكال (٥,٤ كجم/سم^{٢}) مع تقارب نسب محتوى الرطوبة والكثافة الجافة للعينتين .

هذا يوضح تأثير نسبة المنتموريلونايت على ضغط الإنتفاخ .

تأثير محتوى الطين

– عندما تختلف نسبة محتوى الطين بين العينة (E) ٨٩% والعينة (F) ٦٣% ونسبة المنتموريلونايت متقاربة ٥٧,٣% إلى ٥٢,٩% للعينتين على التوالى وكان ضغط الإنتفاخ المقاس بطريقة (٣ عينات) للعينـــــة (E) ٨٨٠ كيلو باسكال (٨,٨ كجم/سم^{٢}) أكثر من ضغط الإنتفاخ المقاس بنفس الطريقة للعينة (F) ٥٤٠ كيلو باسكال(٥,٤ كجم/سم^{٢}).

هذا يؤكد تأثير محتوى الطين على قيمة الإنتفاخ .

بالنسبة للمجموعة الثالثة : عينات هذه المجموعة مأخوذة من أماكن متفرقة كما سبق ذكره وكانت على أعماق من ٣,٠٠ متر إلى٦,٠٠ متر من سطح الأرض وأختلف الكاتيون فى هذه المجموعة إلى ٣ أنواع كالسيوم/ماغنسيوم Ca/Mg ، والثانى كان صوديوم /كالسيوم/ ماغنسيوم Na/Ca/Mg ، والثالث صوديوم Na .

تأثير التركيب المعدنى (نسبة المنتموريلونايت والكاتيون)

– إذا تم مقارنة عينة (J) ، (K) فإن نسبة محتوى الطين متقاربة فهى للعينة (J) ٨٣% والعينة (K) ٩٤% مع إختلاف نسبة المنتمور

– يلونايت من ٣٥,٣% إلى ٥٨,٣% للعينتين على التوالى وأختلف كذلك الكاتيون للعينة (J) من Na/Ca/Mg إلى Ca/Mg فى العينة (K) وضغط الإنتفاخ المقاس بطريقة (٣ عينات) للعينة (J) ٤٠ كجم/سم^{٢} بينما للعينة (K) هو ٢٠ كجم/سم^{٢} وذلك مع تقارب محتوى الرطوبة والكثافة الجافة لها .

وهذا يبين أن التركيب المعدنى (نسبة المنتموريلونايت والكاتيون) لهما تأثير واضح على قيمة ضغط الإنتفاخ .

تأثير الكاتيون

– مقارنة العينتين (G1),(G2) فإن نسبة المنتموريلونايت متقاربة منها ٣١,٦% إلى ٢٧,٥% على التوالى ونسب محتوى الطين لهما متقارب ٥٤% ، ٦٦% وكان الإختلاف فى الكاتيون فكان فى العينة الأولى (G1) هو Na/Ca/Mg وفى الثانية (G2) Ca/Mg وضغط الإنتفاخ المقاس بطريقة (٣ عينات) للعينة (G1) ٦ كجم/سم^{٢} بينما للعينة الثانية (G2) ١٢,٥ كجم/سم^{٢}.

هذا يوضح إن إختلاف الكاتيون أدى إلى إختلاف ضغط الإنتفاخ .

تأثير نسبة المنتموريلونايت ومحتوى الطين

– بمقارنة العينة (K) والعينة (G2) فنسبة المنتموريلونايت ومحتوى الطين للعينة الأولى ٥٨,٣% و ٩٤% على التوالى أعلى من نسبتهما فى العينة الثانية ٢٧,٥% ، ٦٦% والكاتيون واحد Ca/Mg لهما ومع تقارب قيم محتوى الرطوبة والكثافة الجافة كان ضغط الإنتفاخ للعينة (K) ٢٠ كجم/سم^{٢} وللعينة (G2) ١٢,٥ كجم/سم^{٢}.

وهذا يوضح إن نسبة المنتموريلونايت ومحتوى الطين لهما تأثير كبير فى قيمة ضغط الإنتفاخ المقاس .

تأثير التركيب البنائى

– نسب المنتموريلونايت فى عينتين القصير (G2) وكوم أوشيم (H) هى ٢٧,٥% , ٣٠,٨% على التوالى ونسبة محتوى الطين فى العينتين متقاربة ٦٦% ، و ٦٣% ولهما نفس نسبة محتوى الرطوبة ٥,٥% والكثافة الجافة ١,٩٣جم/سم^{٣} ولهما نفس الكاتيون Ca/Mg كان ضغط الإنتفاخ المقاس بطريقة (٣ عينات) للعينة (G2) ١٢,٥ كجم/سم^{٣} أكثر منة للعينة (H) ٨.٢ كجم/سم^{٢}.

هذا يوضح إن إختلاف التركيب البنائى فى العينتين له تأثير فى قيم ضغط الإنتفاخ .

٨–٣–٢ نتائج إختبارات الخصائص الجيوتكنيكية

٨–٣–٢–١ الخصائص الطبيعية

أ) محتوى الرطوبة والكثافة الجافة

– **بالنسبة للمجموعة الأولى:** وكما هو واضح من جدول (٨-٤) أن جميع العينات محتوى الرطوبة الإبتدائى تراوح بين(٦,٦% إلى ١٢,٩%) ولهم كثافة جافة بيـــــــن(١,٧١ إلى ١,٨٤ جم/سم^{٣}). وفى الحالة الجافة كما هو موضح بجدول (٨-٧ب) تراوحت قيم محتوى الرطوبة بين(٢,٣% إلى ٣,٧%) بينما كانت الكثافة الجافة لها بين(١,٨ إلى ٢,٠٢جم/سم^{٣}).

– **بالنسبة للمجموعة الثانية:** يتضح من جدول (٨-٥) أن معظم العينات محتوى الرطوبة الإبتدائى تراوح بين(١٧,٤% إلى ٢٤,٥%) والكثافة الجافة تتراوح بين(١,٥٦% إلى ١,٧٢ جم/سم^{٣}). وفى الحالة الجافة من جدول (٨-٨) تراوحت قيم محتوى الرطوبة لمعظم العينات بين(٢,٠٠% إلى ٣,٠٠%) والكثافة الجافة بين(١,٩% إلى ٢,٠٣ جم/سم^{٣}).

– **بالنسبة للمجموعة الثالثة:** كما هو واضح فى جدول (٨-٦) إن محتوى الرطوبة لعينات هذة المجموعة يتراوح بين(٤,٨% إلى ٨,٨%). والكثافة الجافة لعينات هذة المجموعة تتراوح بين(١,٨جم/سم^{٣} إلى١,٩٣جم/سم^{٢}). وأقل نسبة محتوى رطوبة ٣,٤ % كان لعينة (L3) الوادى الجديد ، وأقل كثافة جافة ١,٧٤جم/سم^{٣} لعينة (I) الشروق .

ب) محتوى الطين

– **بالنسبة للمجموعة الأولى:** يتضح من الجدول (٨-٤) إن فى العينات نسبة محتوى الطين الأصغر مـــــــــن ٢ ميكرون تتراوح من ٧٢% إلى ٨١% ماعدا عينة رقم (٣) ، ورقم (٥) فكانت نسبة الطين هى ٥% ، ٣٣% على التوالى .

– **بالنسبة للمجموعة الثانية:** وفى الجدول (٨-٥) نسبة محتوى الطين فى ٥ عينات (B)، (C)، (D)، (E)، (F) تتراوح من ٥٨% إلى ٩٢% وعينة (A) كانت نسبة محتوى الطين ٢٢% .

– **بالنسبة للمجموعة الثالثة** : يتبين من جدول (٨-٦) إن نسبة محتوى الطين فى ٥ عينات لهذة المجموعة تراوحت بين ٥٤ % إلى ٩٤% وسجلت ٣٢ % أقل نسبة لمحتوى الطين لعينة (I) بالشروق وتليها عينة الوادى الجديد (L3) وكانت ٣٨% .

نتائج التدرج الحبيبى للعينات المختبرة للمجموعات الثلاثة موضحة بالملحق (ب) .

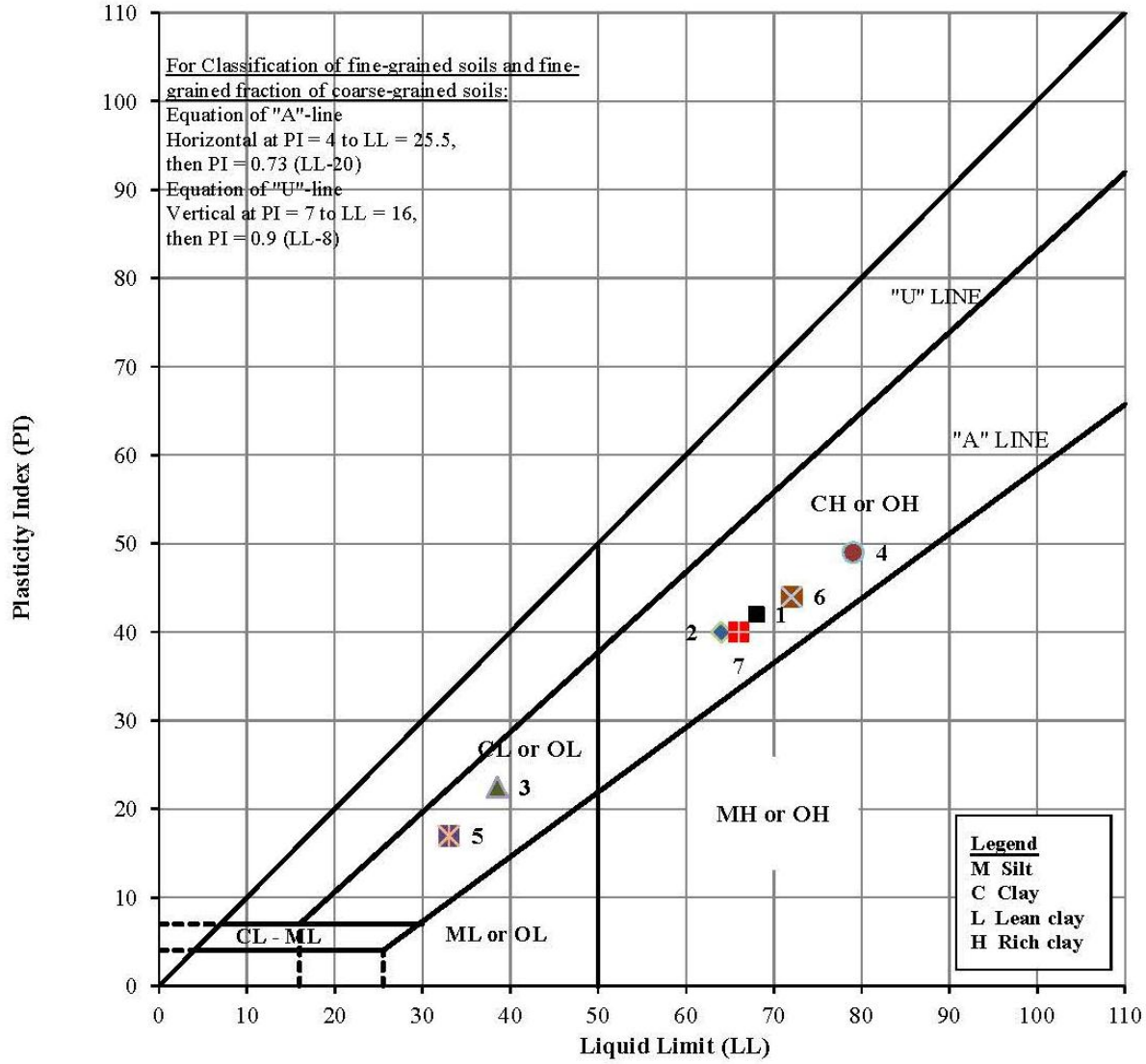
ج) حدود أتربرج

– **بالنسبة للمجموعة الأولى:** جدول (٨-٤) يوضح قيم حد السيولة وحد اللدونة وكذلك دليل اللدونه وشكل (٨-٢) يبين تصنيفهم من حيث اللدونة على A–line . وصنفت ٥ عينات بأنها طين عالى اللدونه (CH)

وعينتين رقمى (٣) ، (٥) بأنهما طين قليل اللدونة (CL) حيث تتراوح نسب حد السيولة للعينات الخمسة من ٦٤% إلى ٧٩% بينما حد اللدونة يتراوح من ٢٤% إلى ٣٠% . وبالنسبة للعينات رقم (٣) ، (٥) فإن قيم حد السيولة ٣٩% و ٣٣% على التوالى، وحد اللدونة لهما ١٦% .

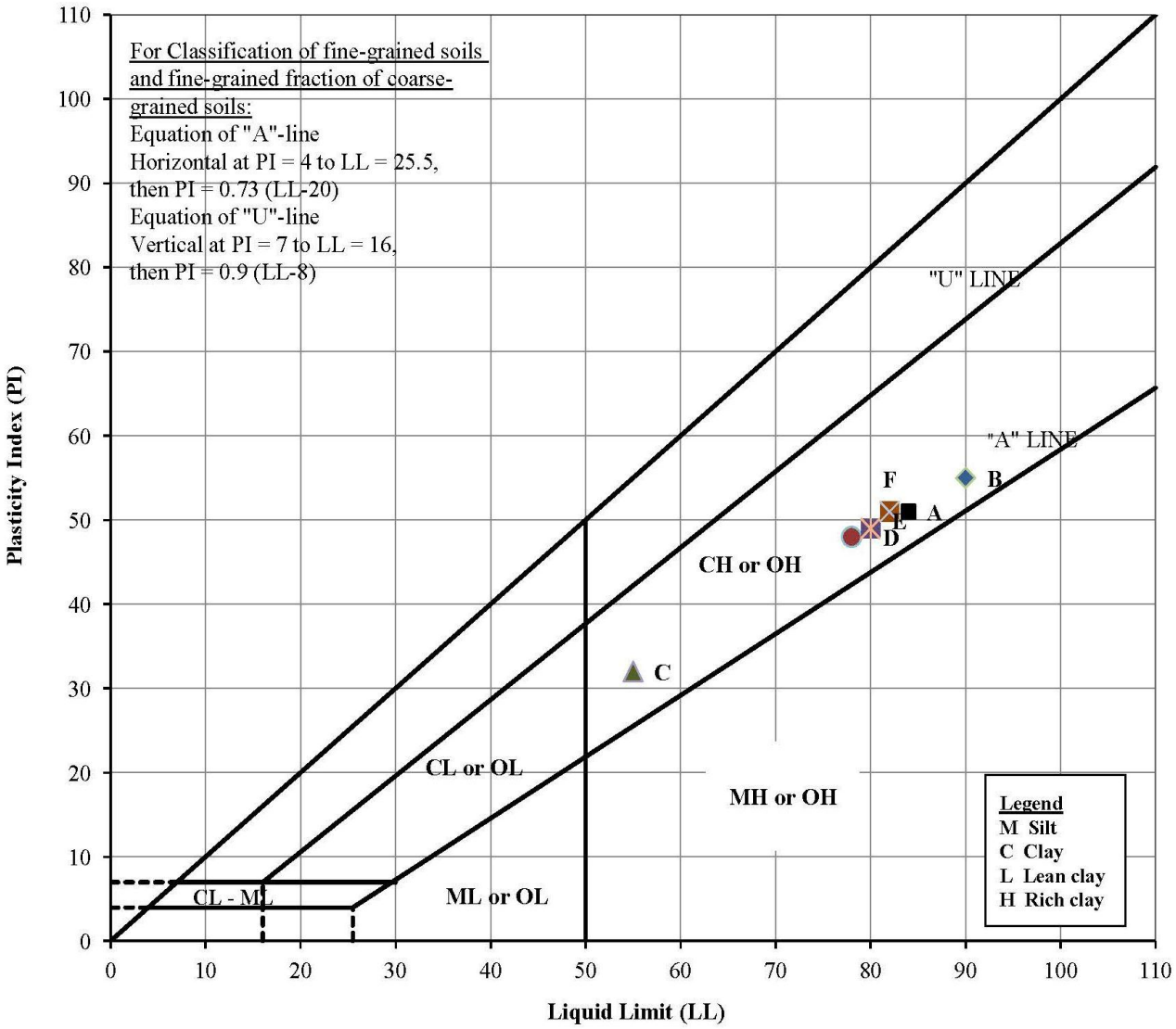
– **بالنسبة للمجموعة الثانية:** جدول (٨–٥) يوضح قيم حد السيولة وحد اللدونة وكذلك دليل اللدونة وشكل (٨–٣) يبين تصنيفهم على A–Line . وكان تصنيف العينات كلها طين عالى اللدونه (CH) حيث تراوحت قيم حد السيولة من ٥٥% إلى ٩٠% ، وحد اللدونة من ٢٣% إلى ٣٥% .

– **بالنسبة للمجموعة الثالثة:** يتضح من جدول (٨–٦) أن حد السيولة لمعظم العينات (G1),(G2),(J),(K) تراوح مابين ٦٧% إلى ٨٩% بينما عينة (H) كان حد السيولة ١٢٥% ويتراوح حد اللدونة لهذه العينات مابين ٢٧ % إلى ٤٦ % وكانت قيم حد السيولة لعينتين (I) الشروق و (L3) الوادى الجديد ٤١ ، ٤٢ % وحد اللدونة ١٩ ، ١٧ % على التوالى . وكان تصنيف الخمس عينات الأولى طبقاً A–Line كما فى شكل (٨–٤) طين عالى اللدونة CH والعينات الأخرى طين منخفض اللدونة CL .



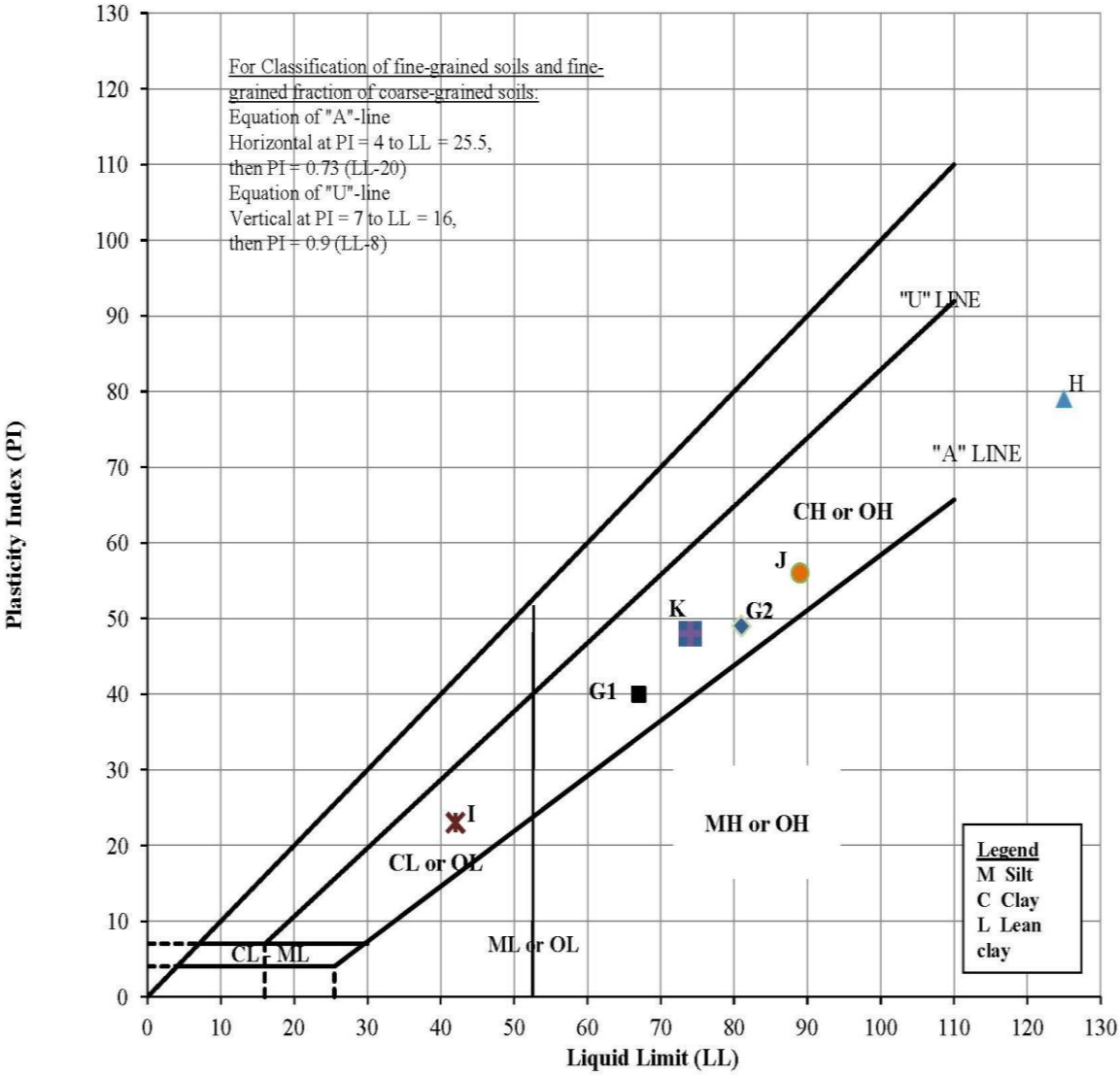
Boring No.	Symbol /Depth (m)	LL	PL	PI	Symbol of Classification (USCS)
1	4.0 m	68	26	42	CH
2	20.0m	64	24	40	CH
3	35.0 m	39	16	23	CL
4	15.0 m	79	30	49	CH
5	27.0m	33	16	17	CL
6	30.0m	72	28	44	CH
7	40.0m	66	26	40	CH

شكل رقم (٨-٢) تصنيف التربة القابلة للإنتفاخ لعينات المجموعة الأولي – العياط



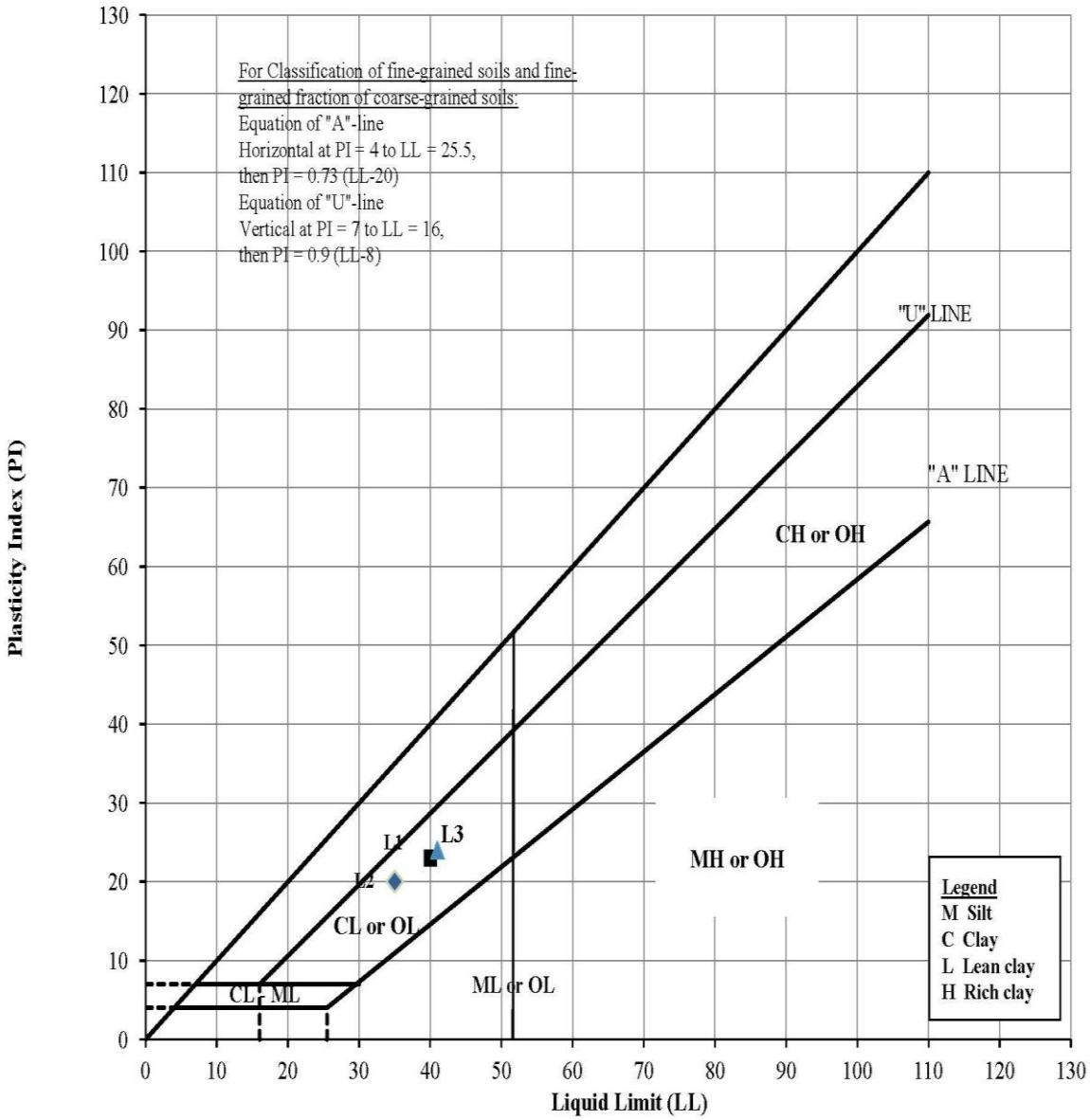
Boring No.	Symbol /Depth (m)	LL	PL	PI	Symbol of Classification (USCS)
A	■	84	33	51	CH
B	◆	90	35	55	CH
C	▲	55	23	32	CH
D	●	78	30	48	CH
E	✳	80	31	49	CH
F	⊠	82	31	51	CH

شكل رقم (٨-٣) تصنيف التربة القابلة للإنتفاخ لعينات المجموعة الثانية – الجيزة



	Boring No.	Symbol /Depth (m)	LL	PL	PI	Symbol of Classification (USCS)
G1	القصير1 G	■	67	27	40	CH
G2	القصير2 G	◆	81	32	49	CH
H	كوم اوشيم	▲	125	46	79	CH
I	غرب الشروق	✱	42	19	23	CL
J	بدر 1	●	89	33	56	CH
K	القطامية 1	+	74	26	48	CH

شكل رقم (٨-٤) تصنيف التربة القابلة للإنتفاخ لعينات المجموعة الثالثة – أماكن متفرقة



	Boring No.	Symbol /Depth (m)	LL	PL	PI	Symbol of Classification (USCS)
L1	الوادى الجديد	■	40	17	23	CL
L2	الوادى الجديد	◆	35	15	20	CL
L3	الوادى الجديد	▲	41	17	24	CL

تابع شكل رقم (٨-٤) تصنيف التربة القابلة للإنتفاخ لعينات المجموعة الثالثة – أماكن متفرقة

د) حد الإنكماش

– **بالنسبة للمجموعة الأولى:** فإن حد الإنكماش للعينات الخمسة يتراوح بين ٦% ، ١٠% أما للعينتين (٣) ، (٥) هما ٢١% ، ١٨% وكلما كان حد الإنكماش صغير كلما كانت التربة ذات قابلية للإنتفاخ .

– **بالنسبه للمجموعة الثانية:** فإن حد الإنكماش للعينات (A) ،(C)، (E)، (F) يتراوح مابين ٦% إلى ٨% وعينة (B) ، (D) حد الإنكماش لهما كان أعلى قليلاً من بقية العينات ١١,٥% ، ١٤% على التوالى .

– **بالنسبة للمجموعة الثالثة:** قيم حد الإنكماش للعينات الخمس تراوح مابين ١٢% إلى ١٦ % وأقل قيمة كانت لعينة الوادى الجديد (L3) ١٠ %.

ومما سبق يتبين أن حدود أتربرج وحد الإنكماش لهما تأثير فى القابلية للإنتفاخ .

٨-٣-٢-٢ ضغط الإنتفاخ

لقد تم إجراء اختبارات قياس ضغط الإنتفاخ بطريقتين :-

الطريقة الأولى طريقة الحمل المسبق وتستخدم فى التجربة عينة واحـــــدة ويتـــم تحميلها بحمـــل خفيف حوالى ٧ كيلو باسكال ويجرى الإختبار ، وفى الطريقة الثانية تستخدم ٣ عينات ويتم تحميلها بأحمال مختلفة ويعين ضغط الإنتفاخ فى الحالتين طبقاً للمواصفة ASTM D 4546-14 .

ونتائج القياسات للعينات المختبرة للمجموعات الثلاثة موضحة بالملحق (ج) .

– **بالنسبة للمجموعة الأولى** : فقد تلاحظ إن قيم ضغط الإنتفاخ المقاسة بإستخدام عينة واحدة اختلفت قليلاً عن تلك التى تم قياسها بإستخدام ٣ عينات حيث كان محتوى الرطوبة للعينات يتـــراوح مابيـــن (٦,١% إلى١٨,٦ %) جدول رقم (٨-٧أ).

ولدراسة تأثير محتوى الرطوبة إجريت إختبارات ضغط الإنتفاخ بإستخدام عينة واحدة على عينات هذه المجموعة بعد تركها فترة بالمعمل لتجف فكان محتوى الرطوبة للعينات مابين (٢,٣ % إلى ٣,٧%) وبمقارنة نتائج العينات التى اجريت الإختبارات لها عند وصولها للمعمل زادت قيم الإنتفاخ زيادة كبيرة جداً ، جدول (٨-٧ب) .

– **بالنسبة للمجموعة الثانية** : تبين إن قيمة ضغط الإنتفاخ فى حالة إستخدام عينة واحدة يزيد بدرجة كبيرة عن قيمته فى حالة إستخدام الثلاث عينات ، جدول رقم (٨-٨) .

وقد وجد بفحص العينات فى المجموعتين الأولى والثانية أن الزيادة والفرق الكبير فى قيم ضغط الإنتفاخ المقاسة فى الطريقتين جزء كبير منه راجع لتغير فى قيم محتوى الرطوبة فى المقام الأول ثم فى قيم الكثافة الجافة بدرجة أقل .

- **بالنسبة للمجموعة الثالثة** :من جدول (٨-٩) يتضح إن معظم العينات (G1),(G2),(H),(J),(K) أعطت ضغط إنتفاخ بطريقة استخدام (عينة واحدة)عالى جداً من ٢١ إلى ٦٠ كجم/سم^{٢} والرطوبة منخفضة من ٤,٨% إلى ٨,٨% والكثافة الجافة عالية ١,٨٤جم/سم^{٣} إلى ١,٩٣جم/سم^{٣} . وعينتين الشروق (I) والوادى الجـــديد (L3) أعطت أقل قيم لضغط إنتفـــــــاخ ١,٦كجم/سم^{٢} و ٢,٤٦ كجم/سم^{٢} على التوالى وذلك بالرغم إن محتوى الرطوبة متقارب والكثافة الجافة متساوية . وفى حالة استخدام طريقة (٣ عينات) كان ضغط الإنتفاخ لمعظم العينات مابين ٦ كجم/سم^{٢} إلى ٤٠ كجم/سم^{٢} .

وبالرجوع إلى البحث (El-Sohby and Mazen,1980) لقياس ضغط الإنتفاخ بطريقتين يتبين أنه فى حالة الطريقة الأولى (٣ عينات أو أكثر) فإن الحمل على العينة يتحكم فى قيمة الإنتفاخ حيث يحدث توازن بين قوة جذب المياه إلى داخل العينة وبين حمل الضغط الذى يحاول إخراج المياه من العينة .

أما الطريقة الثانية (العينة الواحدة) فإنه نظراً لإن الحمل على العينة أثناء غمرها بالماء بسيط جداً فإن الإنتفاخ يصل إلى أقصى مداه مع السماح للمياه أولاً بالدخول بين كريستالات الطين ثم السماح للمياه ثانياً بالدخول بين الصفائح المكونة للكريستالات .

وعند التحميل على العينة فإن الماء سيخرج أولاً من بين الكريستالات ثم من بين الصفائح المكونة للكريستالات وحسب (Grim, 1968) فإن المياه فى الحالة الأولى تحتاج إلى طاقة بسيطة لتخرج من العينة أما المياه فى الحالة الثانية فإنها تحتاج إلى طاقة كبيرة للخروج .

لذلك فإنه فى حالة العينات التى لاتسمح بدخول المياه بين صفائح الكريستالات فإن جهد الإنتفاخ فى حالة استخدام ثلاث عينات يكون مقارباً لجهد الإنتفاخ فى حالة عينة واحدة .

وأما فى حالة العينات التى تسمح بدخول المياه بين صفائح الكريستالات فإن جهد الإنتفاخ فى حالة العينة الواحدة يكون أكبر بكثير منه فى حالة الثلاث عينات .

٨-٣-٢-٣ قوة المص

نتائج إختبارات قياس المص الكلية لعينات المجموعات الثلاثة موضحة بالجداول أرقام (٨-١٠) ، (٨-١١) ، (٨-١٢) مع قيم محتوى الرطوبة الطبيعية (wc) ، ودرجة التشبع (S) . تلاحظ لعدم الإختلاف الكبير فى محتوى الرطوبة ما بين عينات كل مجموعة فإن قيم قوة المص المقاسة متقاربة بين العينات وبعضها . ويتضح كذلك أن :

١- نسبة الرطوبة فى المجموعات الثلاثة تتناسب عكسياً مع قوة المص أى أن مع زيادة نسبة الرطوبة تقل قوة المص ويتضح ذلك بالمقارنة بين المجموعة الثانية والمجموعات الأخرى .

٢- يتضح من المجموعة الثالثة أنه مع زيادة قوة المص تزيد قوة ضغط الإنتفاخ فقوة المص لعينة (K) العالية ١٢٠٠٠ كيلو باسكال تقابلها ضغط إنتفاخ ٦٠ كجم/سم^{٢} جدول (٨-٨) . وأن أقل قيمة لقوة

المص كانت لعينة (ا) ١٠٠٠ كيلو باسكال وضغط الإنتفاخ ١,٦كجم/سم^{٢} .

مما سبق يتبين أن تعيين قوة المص معملياً مؤشر لمدى قابلية التربة للإنتفاخ .

جدول(٨-١٠) نتائج اختبارات قوة المص للمجموعة الاولي (العياط)

العينة	عمق العينة (م)	محتوي الرطوبة للعينة (%)	قوة المص الكلية (KPa)	درجة التشبع
1	4	12.9	9200	68.77
2	20	6.6	11250	52.23
4	15	10.6	10210	50.34
6	30	10.0	9800	57.7
7	40	12.1	10500	45.24

جدول(٨-١١) نتائج اختبارات قوة المص للمجموعة الثانية (الجيزة)

العينة	عمق العينة (م)	محتوي الرطوبة للعينة (%)	قوة المص الكلية (KPa)	درجة التشبع
A	3.0	17.4	540	55.35
B	3.0	24.5	500	100
C	3.0	21.8	400	100
D	3.0	23.3	650	86.6
E	3.0	24.4	920	95.57
F	3.0	21.4	360	92.48

جدول(٨-١٢) نتائج اختبارات قوة المص للمجموعة الثالثة (أماكن متفرقة)

العينة	عمق العينة (م)	محتوي الرطوبة للعينة (%)	قوة المص الكلية (KPa)	درجة التشبع
G1	------	4.7	8400	34.13
G2	------	4.50	8000	31.69
H	3.0	4.6	5400	38.91
I	3.0	5.4	1000	27.30
J	3.0	6.50	9600	41.48
K	4.0	8.8	12000	49.66
L1	1.0 – 3.0	4.7	1500	30.37
L2	3.0 – 5.0	5.1	1850	33.2
L3	4.0 – 6.0	3.4	2500	22.97

٨-٤ تأثير العوامل المختلفة على ضغط الإنتفاخ بالنسبة للمجموعات الثلاثة

٨-٤-١ تأثير التركيب المعدنى

٨-٤-١-١ تأثير نسبة المنتموريلونايت

فى العينتين (C) & (F) بالمجموعة الثانية نجد إن نسبه الطين متقاربة جداً (٥٨% ، ٦٣%) والفروق بسيطه فى محتوى الرطوبة والكثافة الجافة كما أن الكاتيون واحد فى العينتين . أما الإختلاف الوحيد فهى نسبة المنتمورويلونايت فهى فى العينة (C) ٣٥,٧% بينما فى العينة (F) ٥٢,٩% وقد تسبب هذا الإختلاف فى إختلاف ضغط الإنتفاخ ٣,٩ كجم/سم^{٢} فى العينة (C) ، ٥,٤ كجم/سم^{٢} فى العينة (F) (جدول ٨-٧ ب).

٨-٤-١-٢ تأثير الايون التبادلى (الكاتيون) Effect of type of exchangeable ion

أ – بالرغم من تقارب قيم محتوى الرطوبة والكثافة الجافة فى عينات المجموعة الأولى والمجموعة الثانية فى الحالة الجافة جدول (٨-٧ب) وجدول (٨-٨) إلا إن ضغط الإنتفاخ بالمجموعة الأولى أعلى عموماً من ضغط الإنتفاخ فى المجموعة الثانية وذلك بسبب اختلاف الكاتيون فهو فى الأولى معظمة Ca/Mg بينما فى الثانية هو Ca/Na .

ب – فى العينة (G1) بالمجموعة الثالثة والعينة (C) بالمجموعة الثانية جدول (٨-٩) ، (٨-٨) نجد أن هناك تقارب بين نسب محتوى المنتموريلونايت (٣١,٦% ، ٣٥,٧%) وتقارب فى نسبة محتوى الطين (٥٤% ، ٥٨%) مع تقارب قيم محتوى الرطوبة والكثافة الجافة. وبمقارنة ضغط الإنتفاخ للعينتين نجد انهمـــــــــــا (٣٠ كجم/سم^{٢} ، ٣,٩ كجم/سم^{٢}) وذلك بسبب تغير الكاتيون فهو فى الأولى (G_1) Na/Ca/Mg وفى الثانية (C) Ca/Na .

٨-٤-٢ تأثير الخصائص الطبيعية

٨-٤-٢-١ تأثير محتوى الطين

ضغط الإنتفاخ للعينة (E) بالمجموعة الثانية ٨,٨ كجم/سم^{٢} وللعينة (F) ٥,٤٠ كجم/سم^{٢} وكانت نسبة المنتموريلونايت فى العينة (E) فى المجموعة الثانية ٥٧,٣% متقارب مع العينة (F) والتى بها نسب المنتموريلونايت ٥٢,٩% والكاتيون واحد ووجود فروق بسيطة فى محتوى الرطوبة والكثافة الجافه للعينتين ولكن نسبة محتوى الطين فى العينة (E) ٨٩% أكثر بكثير من نسبة محتوى الطين فى العينة (F) ٦٣% .

مما يفسر أن سبب الإختلاف فى ضغط الإنتفاخ هو نسبة محتوى الطين .

٨-٤-٢-٢ تأثير الرطوبة والكثافة الجافة

كان ضغط الإنتفاخ لعينات المجموعة الأولى فى الحالة الجافة تراوحت بين ٣٠ إلى ٥٠ كجم/سم^{٢} مع محتوى رطوبة منخفض مابين ٢,٣ ، ٣,٧% وتراوحت قيم الكثافة الجافة مابين ١,٧٧ إلى ٢,٠٢ جم/سم^{٣} بينما فى الحالة الرطبة كان ضغط الإنتفاخ المقاس بطريقة (العينة الواحدة) أقل بكثير من الحالة الجافة والذى تراوح مابين ٥,٥ إلى ١٥ كجم/سم^{٢} ومحتوى الرطوبة كانت قيمتها ٦,٦ ، ١٢,٩% والكثافة الجافة من ١,٧١ إلـــى ١,٨١ جم/سم^{٣} .

وهذا يؤكد أن محتوى الرطوبة والكثافة الجافة لهما تأثير واضح فى قيم ضغط الإنتفاخ المقاس

٨-٥ الخلاصـــــة

- ضغط الإنتفاخ المقاس بطريقة (٣ عينات) لعينات المجموعة الأولى (العياط) مابين ١٦ إلى ١٩ كجم/سم^{٢} لعدد ٤ عينات وكان للعينة الخامسة ٩ كجم/سم^{٢}.
- ضغط الإنتفاخ المقاس لعينات المجموعة الثانية (الجيزة) بنفس الطريقة السابق ذكرها كان عالياً لعدد ٤ عينات من ٥,٤ إلى ٨,٨٠ كجم/سم^{٢} وعدد ٢ عينة كان ضغط الإنتفاخ لهما ٢,٢ كجم/سم^{٢}، ٣,٩ كجم/سم^{٢}.
- وبالنسبة للمجموعة الثالثة (أماكن متفرقه) تراوح ضغط الإنتفاخ المقاس بطريقة (٣ عينات) ٦,٠٠كجم/سم^{٢} إلى ٤٠,٠٠ كجم/سم^{٢} لعدد ٦ عينات وعينة واحدة كان ضغط الإنتفاخ المقاس لها ٣,٠٠ كجم/سم^{٢}.

أى أن معظم ضغط الإنتفاخ المقاس لعينات المجموعات الثلاثة يعتبر عالى إلى عالى جداً .

- تراوحت نسبة المنتموريلونايت فى معظم عينات المجموعات الثلاثة مابين ٢٧,٥ % إلى ٦٩,٧ % لضغط الإنتفاخ المقاس السابق ذكره .
- أختلف الكاتيون الموجود فى عينات المجموعة الأولى من Ca/Mg إلى Ca وفى المجموعة الثانية كان لكل العينات واحد هو Ca/Na بينما فى المجموعة الثالثة كان هناك ٣ أنواع من الكاتيون موجودة بالعينات ، وهى Na/Ca/Mg ، و Ca/Mg ، و Na .
- تراوحت نسبة محتوى الطين فى معظم عينات المجموعات الثلاثة من ٥٤% إلى ٩٣% وهذا كان للعينات التى أعطت قيم لضغط الإنتفاخ المقاس بطريقة (٣عينات) من عالى إلى عالى جداً .
- أعلى قيم لمحتوى الرطوبة وجد فى معظم عينات المجموعة الثانية مابين ٢١,٤ إلى ٢٤,٥ % وتراوحت قيم محتوى الرطوبة لمعظم عينات للمجموعة الأولى مابين ٦,٦ إلى ١٢,٩% وأقل قيم كانت لقيم محتوى الرطوبة لمعظم المجموعة الثالثة مابين ٤,٨ إلى ٨,٨ % .
- أكثر قيم كثافة جافة متقاربة كانت لعينات المجموعة الثالثة هى ١,٨٢ إلى ١,٩٣ جم/سم^{٣} بينما كانت الكثافة الجافة فى عينات المجموعة الثانية أقلهم فهى مابين ١,٥٦ إلى ١,٧٢ جم/سم^{٣}. أما المجموعة الأولى فالكثافة الجافة قيمها تراوحت مابين ١,٧١ إلى ١,٨٤ جم/سم^{٣}.
- لتوضيح تأثير المعاملات التى تتضمن التركيب المعدنى (نسبة المنتموريلونايت والكاتيون) ومحتوى الطين ومحتوى الرطوبة والكثافة الجافة فى قيم ضغط الإنتفاخ المقاس لعينات التربة القابلة للإنتفاخ فسوف يتم مقارنة ٣ عينات (B).(D),(E) من المجموعة الثانية لوجود نوع واحد من الكاتيون فى هذه العينات وتقاربت قيم المعاملات الأخرى فى العينات الثلاثة .
- نسب المنتموريلونايت متقاربة فى العينات (B).(D),(E) وهى ٦٩,٧ % ،٦٨,٥%، ٥٧,٣ % على التوالى.

- نسب محتوى الطين للعينات (B).(D),(E) هى ٩٣% ، ٨٣% ، ٨٩% على التوالى .
- محتوى الرطوبة فى العينات (B).(D),(E) هو ٢,١٠ % ،٢,٠%، ٢,٣٠ % على التوالى.
- الكثافة الجافة كانت لهم على التوالى ٢,٠٣ جم/سم^{٣} ، ١,٩٠ جم/سم^{٣} ، ١,٩١ جم/سم^{٣} .

كان ضغط الإنتفاخ المقاس متقارب وهو ٧,٩٠ كجم/سم^{٢} ، ٨,٠٠ كجم/سم^{٢} ، ٨,٨ كجم/سم^{٢} .

وهذا يوضح إنه عندما تقاربت قيم المعاملات المقاسة للعينات من نسب المنتموريلونايت ومحتوى الطين ومحتوى الرطوبة والكثافة الجافة وللعينات كاتيون واحد فإن ضغط الإنتفاخ للعينات تقريباً متساوياً.

ملاحظة عامة

ومن كل ماسبق تبين أن :-

- تعيين قوة المص هو مؤشر فقط لإنتفاخ التربة (indicative)
- تعيين التركيب المعدنى هو تقييم نوعى لإنتفاخ التربة (qualitative)
- تعيين الخصائص الهندسية هو تقييم نوعى وكمى لإنتفاخ التربة (qualitative and quantitative)

وبصفة عامة تلاحظ عموماً إن هناك اختلاف فى معظم قيم الكثافة الجافة للعينات التى تم إجراء الإختبارات عليها سواء بطريقة الحمل المسبق أو بطريقة أحمال مختلفة والذى يكون غالباً راجع لعدم تجانس العينات التى يتم إعدادها من الكتل الحجرية حتى لو تم إستخراجها من على عمق واحد،

٩- تقييم درجة الخطورة للتربة القابلة للإنتفاخ (الإنتفاش)

التغير الحجمى فى التربة الطينية محكوم بمحتوى الرطوبة الإبتدائى ، والكثافة الجافة أو نسبة الفراغات والتركيب الميكرسكوبى والإجهاد الرأسى ، وبدرجة أكبر يعتمد على التركيب المعدنى ونسبة محتوى الطين . ونظراً لإختلاف الظروف البيئية للموقع فإن الإنتفاخ الذى يحدث فى الطبيعة مختلف عن الذى يتم تقديره من الإختبارات المعملية .

تقدير طاقة وضغط الإنتفاخ لايمكن إختزالها فى معادلة أو ماشابه ذلك بل يجب أخذ جميع العوامل فى الإعتبار، وقد حاول كثير من الباحثين إيجاد علاقات تجريبية لتقدير الإنتفاخ إعتماداً على الإختبارات المعملية ولكن أى من هذه المعادلات تختص بنوعية تربة الموقع الذى تم إجراء الإختبارات عليه وقد لا ينطبق على النوعيات التربة الأخرى القابلة للإنتفاخ المتواجدة فى مواقع مختلفة .

وتستخدم طرق التصنيف لتقييم خطورة التربة المبنية فقط على قيم حدود أتربرج ونسبة محتوى الطين لإختيار التصميم فى الممارسة العملية مما يؤدى إلى كثير من التحفظ فى التصميم أو تصميم غير آمن. ومن الأفضل استخدام طرق التصنيف لتقييم الخطورة إعتماداً على ضغط الإنتفاخ وحدود أتربرج ومحتوى الطين معاً .

٩-١-١ تقييم درجة الخطورة والقابلية للإنتفاخ بناء على حد السيولة ودليل اللدونة

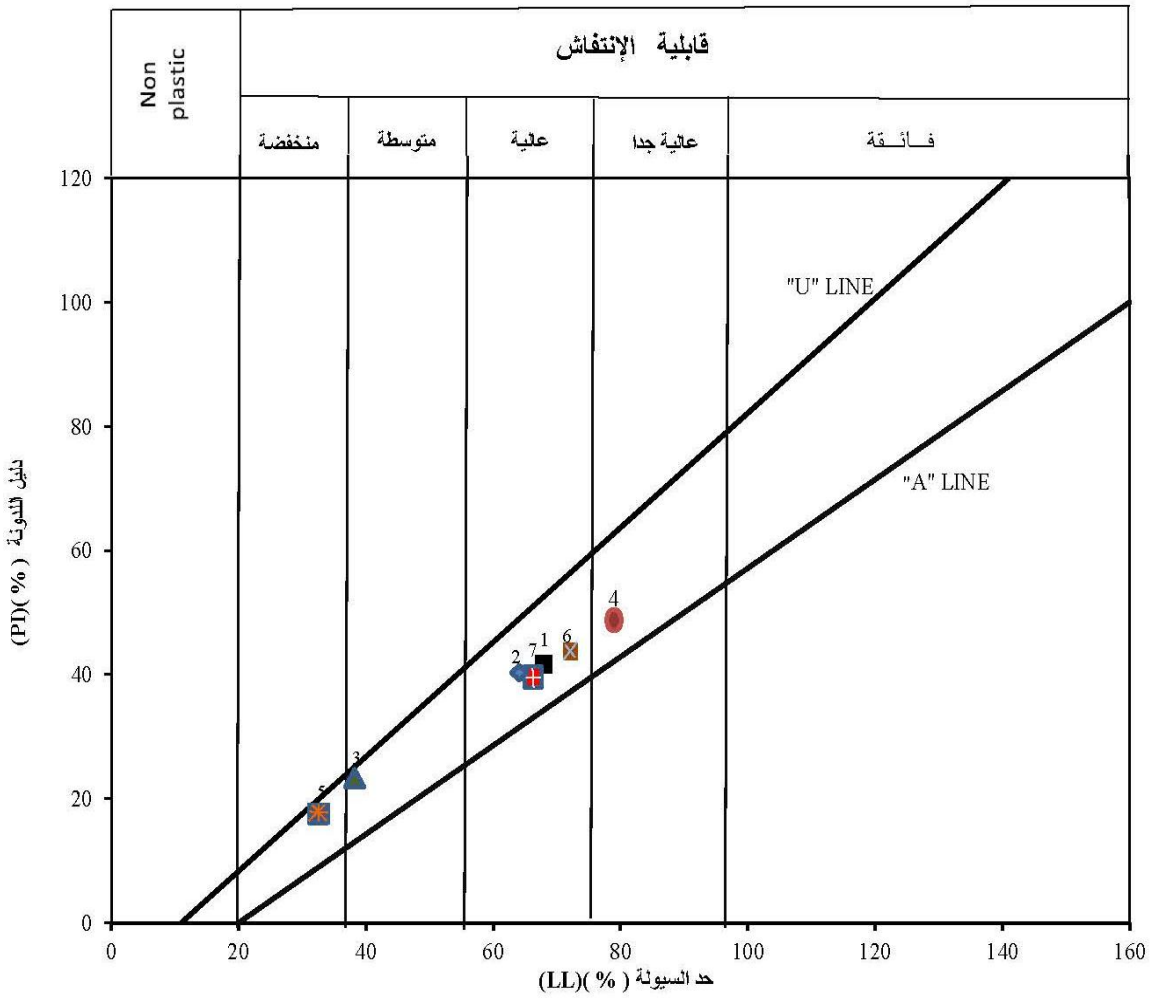
(Dakshanamurthy & Raman, 1973)

طبقاً لهذا التصنيف تم تقييم قابلية التربة للإنتفاخ لعينات المجموعات الثلاثة كالآتى :-

- **بالنسبة للمجموعة الأولى (العياط):** أظهرت العينات (1)،(2)،(6)،(7) درجة عالية للقابلية للإنتفاخ بينما عينة (4) كانت ذات قابلية عالية جداً ، وعينة (3) كانت ذات قابلية متوسطة وعينة (5) ذات قابلية منخفضة ، شكل (٩-١) .

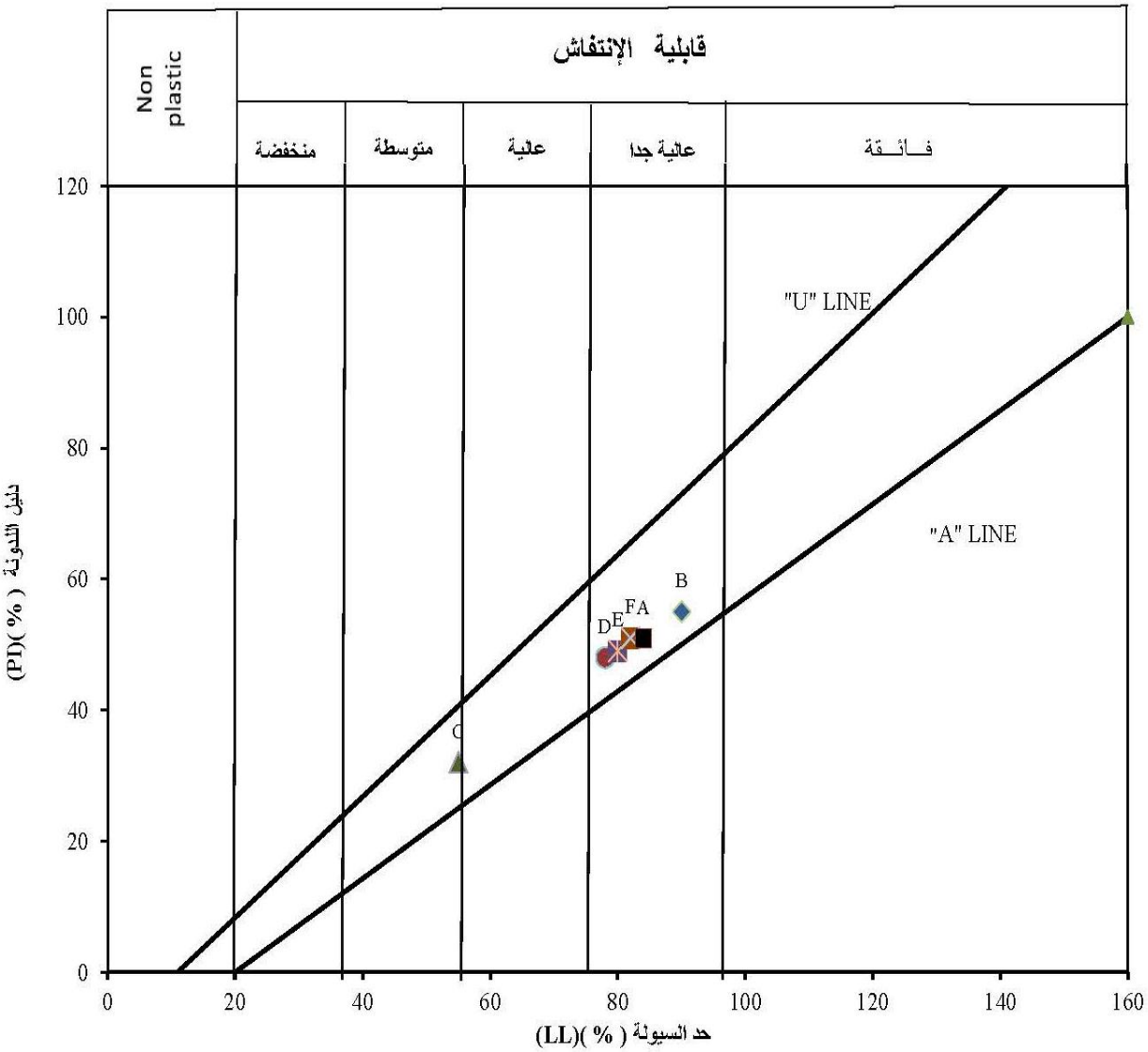
- **بالنسبة للمجموعة الثانية (الجيزة):** معظم العينات (A)،(B)،(D)،(E)،(F) أعطت قابلية عالية جداً للإنتفاخ ، بينما عينة (C) كانت ذات قابلية للإنتفاخ متوسطة شكل (٩-٢) .

- **بالنسبة للمجموعة الثالثة (أماكن متفرقة):** أظهرت عينة (H) بكوم أوشيم قابلية للإنتفاخ فائقة وعينتى (G2) القصير ، و(J) بدر أعطت قابلية عالية جداً بينما (G1) القصير ، (K) القطامية ذات قابلية عالية للإنتفاخ بينما العينات (I)،(L1)،(L3) ذات قابلية للإنتفاخ متوسطة وعينة (L2) ذات قابلية منخفضة ، شكل (٩-٣) .



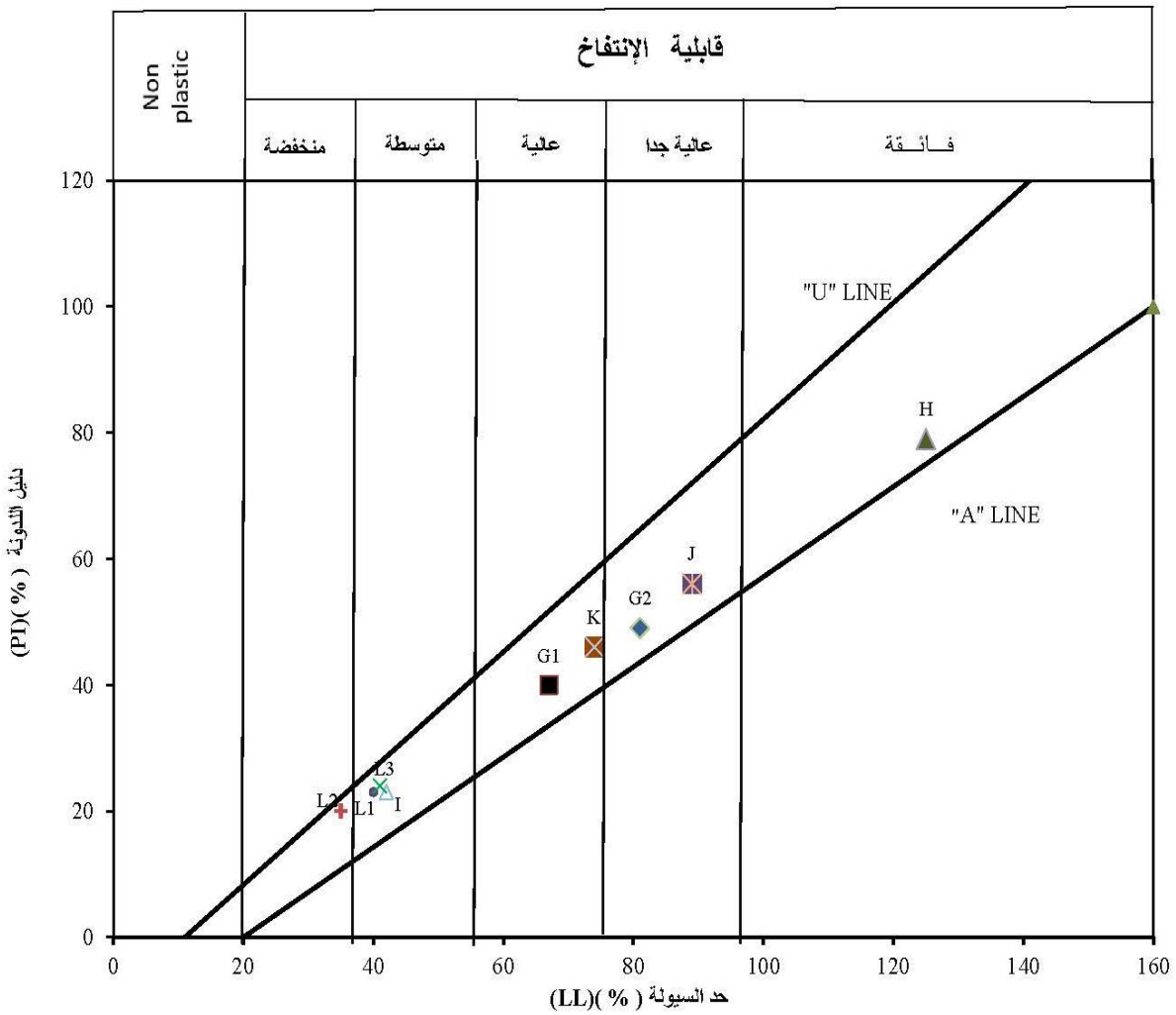
Boring No.	Symbol /Depth (m)	LL	PL	PI	Symbol of Classification (USCS)
1	4.0 m	68	26	42	CH
2	20.0m	64	24	40	CH
3	35.0 m	39	16	23	CL
4	15.0 m	79	30	49	CH
5	27.0m	33	16	17	CL
6	30.0m	72	28	44	CH
7	40.0m	66	26	40	CH

شكل رقم (٩-١) تصنيف التربة وقابليتها للإنتفاخ بناءا علي حد السيولة ودليل اللدونة لعينات المجموعة الأولي بالعياط (Dakshanamurthy & Raman, 1973)



Boring No.	Symbol /Depth (m)	LL	PL	PI	Symbol of Classification (USCS)
A	■	84	33	51	CH
B	◆	90	35	55	CH
C	▲	55	23	32	CH
D	●	78	30	48	CH
E	✳	80	31	49	CH
F	✕	82	31	51	CH

شكل رقم (٩-٢) تصنيف التربة وقابليتها للإنتفاخ بناءا علي حد السيولة ودليل اللدونة لعينات المجموعة الثانية بالجيزة (Dakshanamurthy & Raman, 1973)



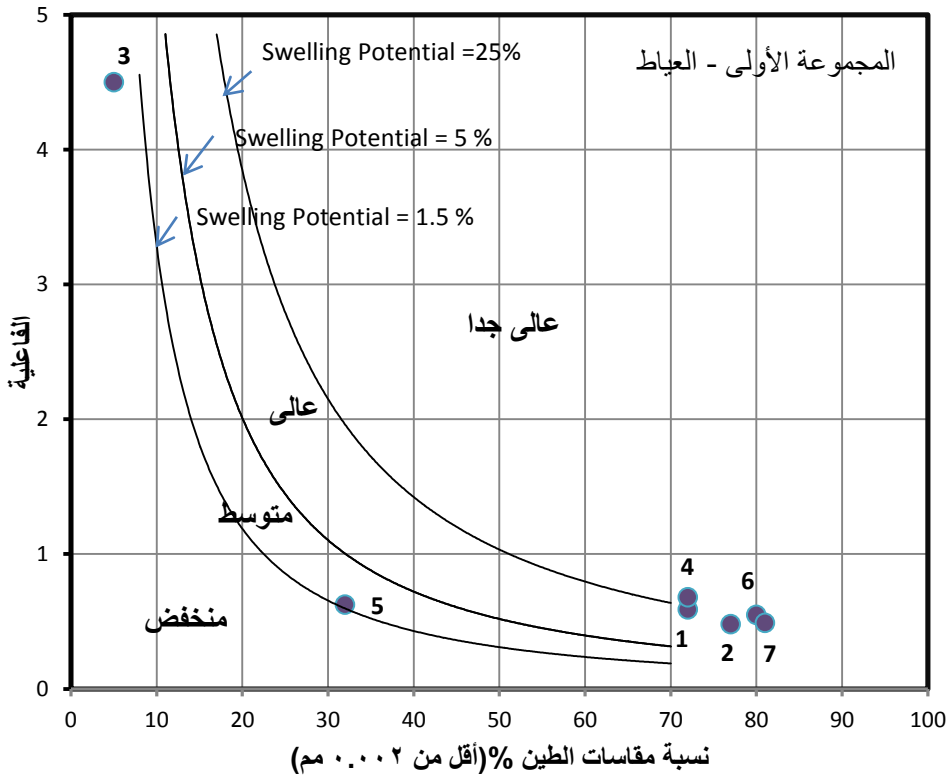
Boring No.	Symbol /Depth (m)	LL	PL	PI	Symbol of Classification (USCS)
G1	■	67	27	40	CH
G2	◆	81	32	49	CH
H	▲	125	46	79	CH
I	△	42	19	23	CH
J	✱	89	33	56	CH
K	⊠	74	28	46	CH
L1	●	40	17	23	CH
L2	+	35	15	20	CH
L3	X	41	17	24	CH

شكل رقم (٩-٣) تصنيف التربة وقابليتها للإنتفاخ بناءا علي حد السيولة ودليل اللدونة لعينات مناطق متفرقة (Dakshanamurthy & Raman, 1973)

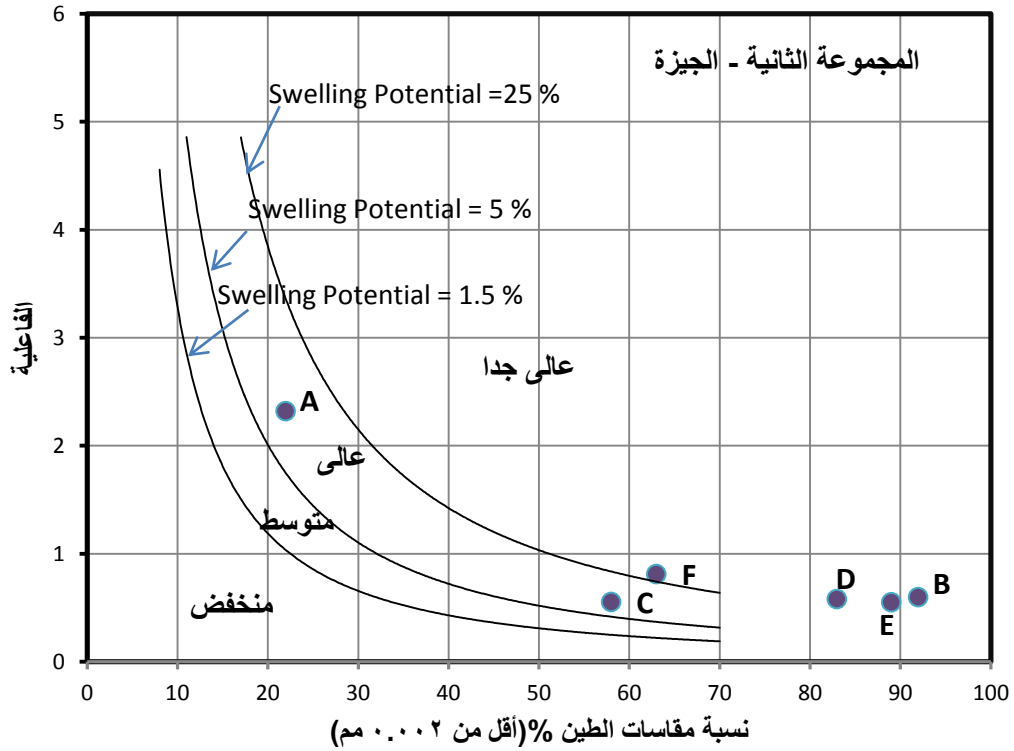
٩-١-٢ تقييم طاقة الإنتفاخ طبقاً للفاعلية ونسبة محتوى الطين الأقل من ميكرون ٢ (Seed et al.1962)

تم تقييم طاقة الإنتفاخ بناء على الفاعليه ونسبة محتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون لعينات المجموعات الثلاثة كالأتى :-

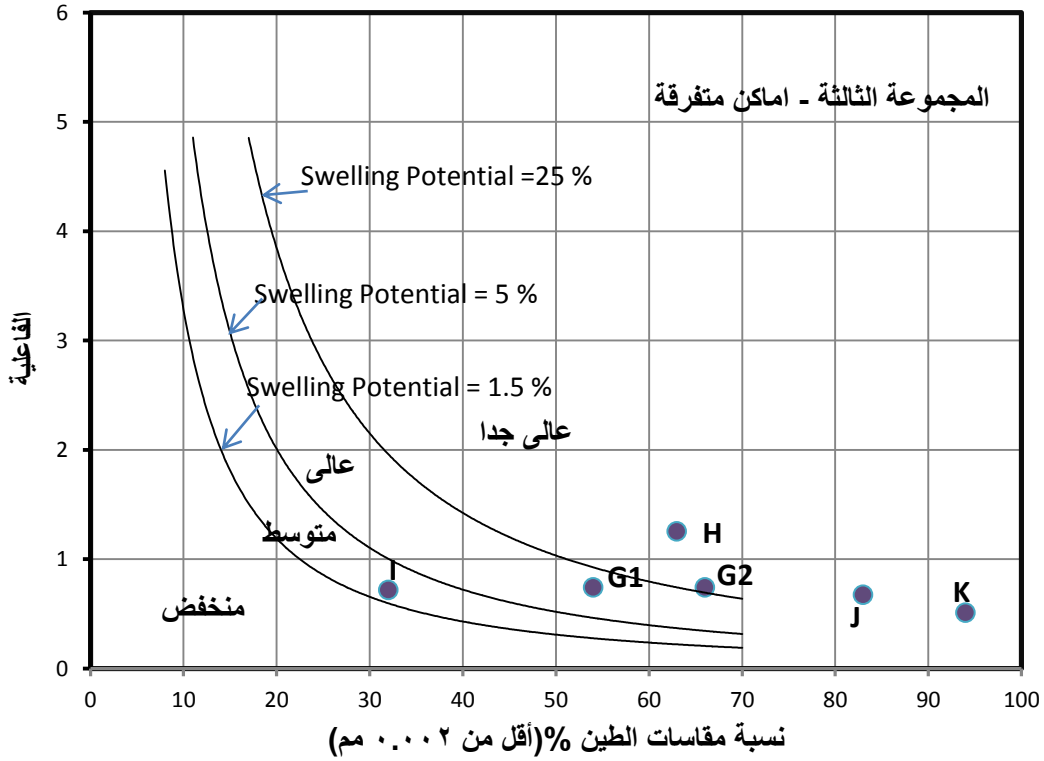
- **بالنسبة المجموعة الأولى** : أظهرت معظم عينات هذه المجموعة (1)،(2)،(4)،(6)،(7) أن لها طاقة إنتفاخ عالية جداً (٢٥%) ، بينما عينة (5) ، ذات طاقة إنتفاخ متوسطة (١,٥%) وعينة (3) ذات طاقة انتفاخ منخفضة أقل من (١,٥%) شكـل (٩-٤).
- **بالنسبة المجموعة الثانية** : كانت معظم العينات (B)،(D)،(E)،(F) ذات طاقة إنتفاخ عالية جداً (٢٥%) ، وعينتى (A),(C) ذات طاقة إنتفاخ عالية (٥%) شكل (٩-٥).
- **بالنسبة للمجموعة الثالثة** : أظهرت العينات (G2)،(H)،(J)،(K) طاقة إنتفاخ عالية جداً (٢٥%) بينما كانت طاقة الإنتفاخ للعينة (G1) عالية مابين (٥% إلى ٢٥%) وعينة (I) ,(L1),(L2),(L3) ذات طاقة إنتفاخ متوسطة (١,٥%) شكل (٩-٦) .



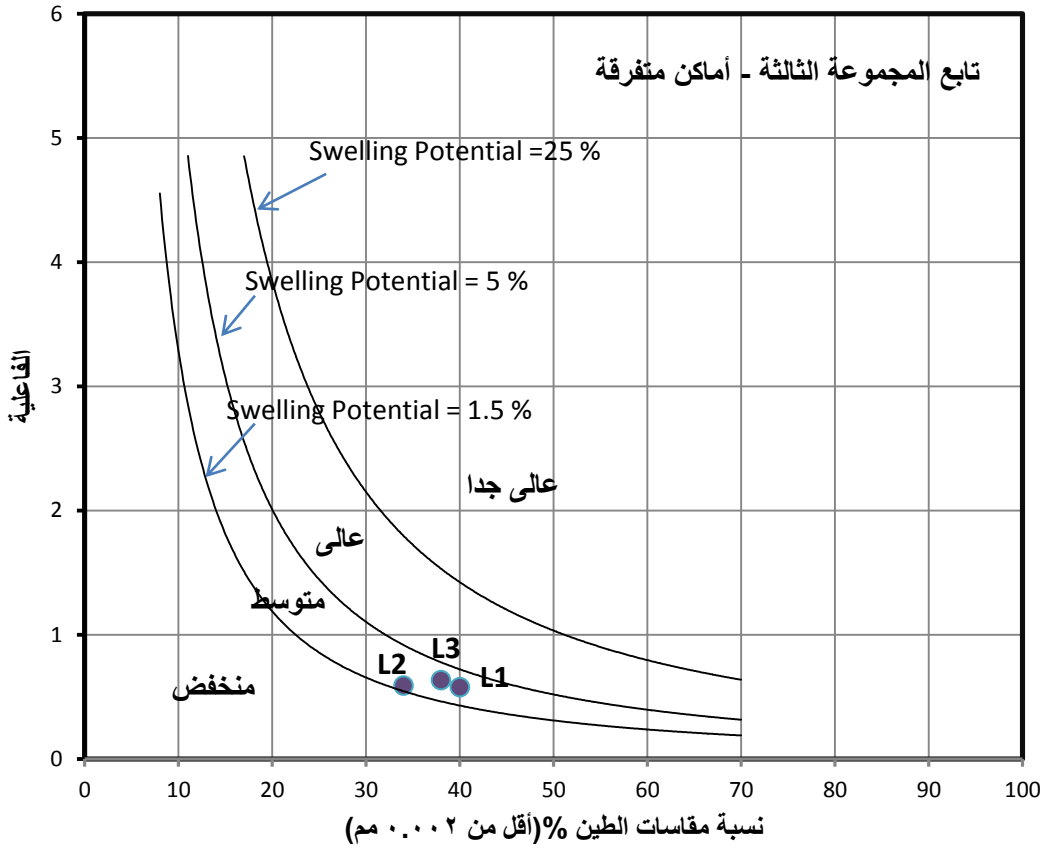
شكل رقم (٩-٤) تصنيف طاقة الإنتفاخ لعينات التربة للمجموعة الأولى بالعياط بناء على نشاط التربة لعينات طينية مدموكة (Seed et al, 1962)



شكل رقم (٩-٥) تصنيف طاقة الإنتفاخ لعينات التربة للمجموعة الثانية بالجيزة بناء على نشاط التربة لعينات طينية مدموكة (Seed et al, 1962)



شكل رقم (٩-٦) تصنيف طاقة الإنتفاخ لعينات التربة للمجموعة الثالثة بأماكن متفرقة بناء على نشاط التربة لعينات طينية مدموكة (Seed et al, 1962)



تابع شكل رقم (٩ - ٦) تصنيف طاقة الإنتفاخ لعينات التربة للمجموعة الثالثة – أماكن متفرقة بناء على نشاط التربة لعينات طينية مدموكة (Seed et al, 1962)

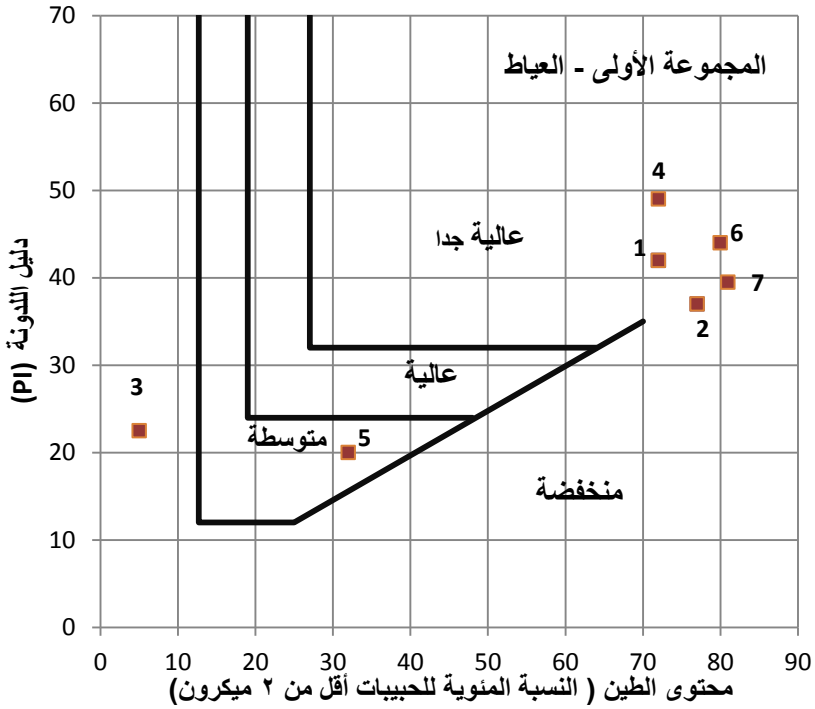
٩-١-٣ تقييم قابلية الإنتفاخ ودرجة الخطورة بناء على دليل اللدونة ونسبة محتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون (Van der Merwe,1964)

تصنيف قابلية التربة القابلة للإنتفاخ لعينات المجموعات الثلاثة كاللأتى :-

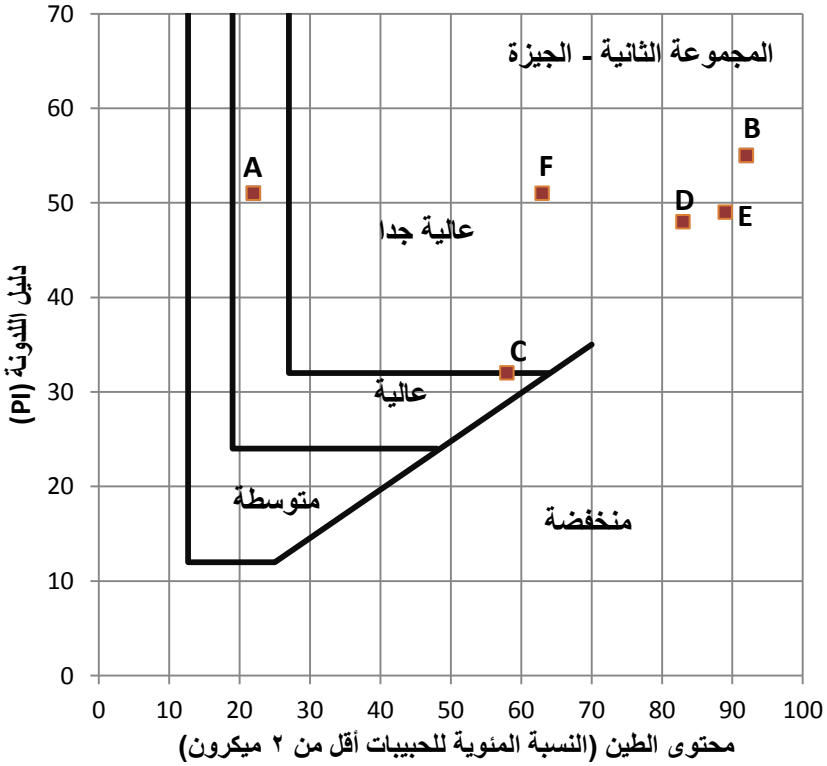
- **بالنسبة للمجموعة الأولى** : أظهرت العينات (1)،(4)،(6) قابلية عالية جداً للإنتفاخ بينما عينة (2) ، (7) قابلية للإنتفاخ من عالية إلى عالية جداً وأما عينة (٥) متوسطة وعينة (3) منخفضة القابلية للإنتفاخ شكل (٩-٧).

- **بالنسبة للمجموعة الثانية** : معظم العينات (B)،(D)،(E)،(F) ذات قابلية عالية جداً للإنتفاخ وعينتى (A) ، (C) عالية القابلية للإنتفاخ شكل (٩- ٨) .

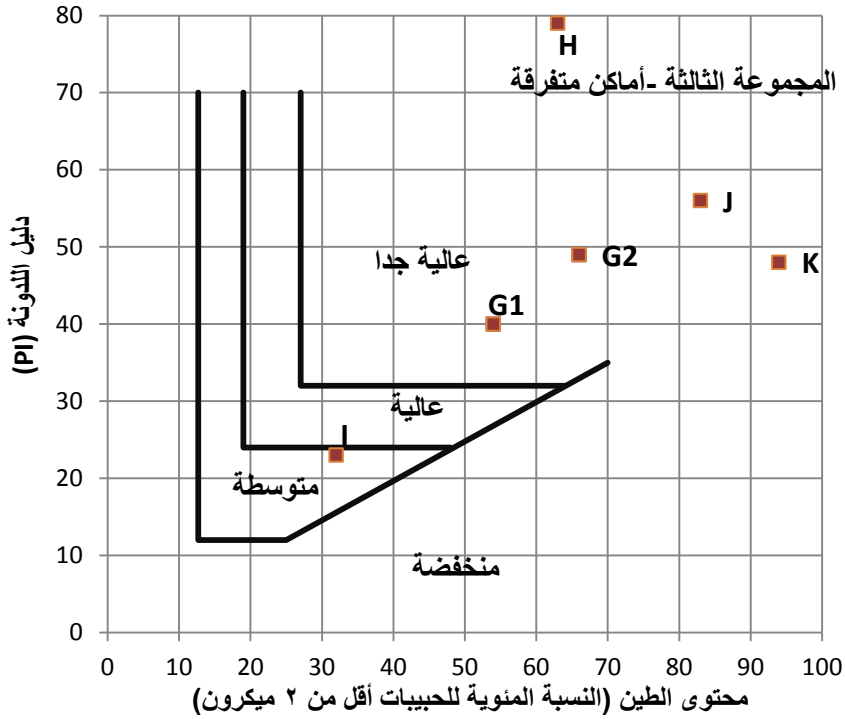
- **بالنسبة للمجموعة الثالثة** : معظم العينات (G1),(G2),(H),(J),(K) كانت ذات قابلية عالية جداً للإنتفاخ وعينة (I)،(L1)،(L2)،(L3) متوسطة القابلية للإنتفاخ .



شكل رقم (٩-٧) تصنيف درجة خطورة التربة القابلة للإنتفاخ بناء على دليل اللدونة و نسبة محتوى الطين لعينات التربة للمجموعة الأولى – العياط (van de merwe, 1964)



شكل رقم (٩-٨) تصنيف درجة خطورة التربة القابلة للإنتفاخ بناء على دليل اللدونة و نسبة محتوى الطين لعينات المجموعة الثانية – الجيزة (van de merwe, 1964)



شكل رقم (٩-٩) تصنيف درجة خطورة التربة القابلة للإنتفاخ بناء على دليل اللدونة و نسبة محتوى الطين لعينات المجموعة الثالثة – أماكن متفرقة (van de merwe, 1964)

تابع شكل رقم (٩- ٩) تصنيف درجة خطورة التربة القابلة للإنتفاخ بناء على دليل اللدونة و نسبة محتوى الطين لعينات المجموعة الثالثة – أماكن متفرقة (van de merwe, 1964)

٩-١-٤ تقييم قابلية الإنتفاخ ودرجة الخطورة بناء على محتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون ودليل اللدونة وحد الإنكماش ونسبة الإنتفاخ

(USBR, 1974 & Holtz and Kovacs, 1981)

تصنيف درجة الإنتفاخ للتربة لعينات المجموعات الثلاثة جدول (٩-٢) كالآتى :-

- **بالنسبة للمجموعة الأولى** : أظهرت معظم العينات (1)،(4)،(6)،(7) درجة الإنتفاخ عالية جداً بينما عينة (2) صنفت درجة الإنتفاخ لها من عالية إلى عاليه جداً .
- **بالنسبة للمجموعة الثانية** : كانت معظم العينات (B)،(D)،(E)،(F) لها درجة إنتفاخ عالية جداً ودرجة الإنتفاخ لعينة (C) كانت من عالية إلى عالية جداً . أما العينة (A) فكانت قابليتها للإنتفاخ من منخفضة إلى متوسطة .
- **بالنسبة للمجموعة الثالثة** : درجة الإنتفاخ كانت عالية جداً لمعظم عينات هذه المجموعة (G1),(G2),(H),(J),(K) بينما كانت للعينة (I)،(L3) لهما درجة إنتفاخ منخفضة إلى متوسطة .

٩-١-٥ الخلاصـــــة

تم تصنيف مدى قابلية التربة للإنتفاخ ودرجة خطورتها على أساس الخصائص الطبيعية بعضها يعتمد على حد السيولة ودليل اللدونة (Dakshanamurthy & Raman,1973) والثانى على الفاعلية ونسبة محتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون (Seed etal.,1962) والثالث على دليل اللدونة ومحتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون (Van de merwe,1964) وكانت الفروق قليلة بين نتائج هذه التصنيفات الثلاثة جدول (٩-١) والتى كان تصنيف معظمها من عالية إلى عالية جداً القابلية للإنتفاخ وقليل من العينات التى كان تصنيفها متوسطة أو منخفضة القابلية للإنتفاخ. وقد تم كذلك تصنيف قابلية التربة للإنتفاخ جدول (٩-٢) ودرجة خطورتها على أساس محتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون ودليل اللدونة وحد الإنكماش بالإضافة إلى نسبة الإنتفاخ (USBR, 1974 & Holtz and Kovacs,1981)المقاس من اختبار ضغط الإنتفاخ فى الإودوميتر بإستخدام العينة الواحدة . وتوافق نتائج هذا التصنيف إلى حد كبير مع التصنيفات الثلاثة السابق ذكرها .

وبمقارنة التصنيفات المعتمدة على الخصائص الطبيعية (السابق الإشارة إليها) مع قيم ضغط الإنتفاخ المقاس بالإدوميتر لمعظم عينات المجموعة الأولى تتراوح مابين ٩ إلى ١٩ كجم/سم^{٢} وتصنيفهم كان عموماً عالى إلى عالى جداً وضغط الإنتفاخ المقاس لمعظم عينات المجموعة الثانية كان مابين ٥,٤ إلى ٨,٨ كجم/سم^{٢} وكان تصنيفهم كذلك من عالى إلى عالى جداً بينما معظم عينات المجموعة الثالثة كان ضغط الإنتفاخ لهم مابين ٦ إلى ٤٠ كجم/سم^{٢} وتصنيفهم كان مابين عالى إلى عالى جداً وعدد حوالى ٣

عينات كان ضغط الإنتفاخ مـــــــن ٢,٢ كجم/سم^{٢} إلى ٣,٩ كجم/سم^{٢} اختلف تصنيفهم من منخفض إلى متوسط .

وبالمقارنة تبين التوافق بين نتائج الحالتين (التصنيف المعتمد على الخصائص الطبيعية فقط والتصنيف الذى يعتمد على درجة الإنتفاخ بالإضافة إلى الخصائص الطبيعية) مما يؤدى إلى أنه من الممكن الإعتماد على التصنيفات المبنية على الخصائص الطبيعية للتعرف على مدى قابلية التربة للإنتفاخ عندما يتعذر إستخراج عينات غير مقلقلة من التربة وإجراء إختبارات تعيين ضغط الإنتفاخ لها بإستخدام الإودوميتر وفى هذه الحالة يجب أن تتحرى الدقة عند إجراء الإختبارات لتعيين الخصائص الطبيعية .

(٩-١) جدول تقدير القابلية للإنتفاخ ودرجة الخطورة لعينات التربة المختبرة

	رقم العينة	Dakshanamurthy ،Raman(1973)	Seed et .al , (1962)	Van der Merwe (1964)
المجموعة الأولى	1	عالية	عالية إلى عالية جداً	عالية جداً
	2	عالية	عالية إلى عالية جداً	عالية عالية جداً
	3	متوسطة	منخفضة	منخفضة
	4	عالية جداً	عالية جداً	عالية جداً
	5	منخفضة	متوسطة	متوسطة
	6	عالية	عالية جداً	عالية جداً
	7	عالية	عالية جداً	عالية عالية جداً
المجموعة الثانية	A	عالية جداً	عالية	عالية
	B	عالية جداً	عالية جداً	عالية جداً
	C	متوسطة	عالية	عالية
	D	عالية جداً	عالية جداً	عالية جداً
	E	عالية جداً	عالية جداً	عالية جداً
	F	عالية جداً	عالية جداً	عالية جداً
المجموعة الثالثة	G_1	عالية	عالية	عالية جدا
	G_2	عالية جداً	عالية جداً	عالية جداً
	H	فائقة	عالية جداً	عالية جداً
	I	متوسطة	متوسطة	متوسطة
	J	عالية جداً	عالية جداً	عالية جدا
	K	عالية	عالية جداً	عالية جدا
	L_1	متوسطة	متوسطة	متوسطة
	L_2	منخفضة	متوسطة	متوسطة
	L_3	متوسطة	متوسطة	متوسطة

جدول رقم (٩-٢) تصنيف التربة على أساس دليل اللدونة و حد الإنكماش و نسبة حبيبات الطين أقل من ٢ ميكرون و نسبة الإنتفاخ (USBR ,1974 & Holtz and Kovacs ,1981)

رقم العينة	نسبة الحبيبات ذات قطر أقل من ٢ ميكرون (%)	دليل اللدونة I_p (%)	الإنكماش حد W_s (%)	نسبة الانتفاخ (%) تحت حمل ٠.٠٧ كجم / سم ٢	درجة الانتفاخ
1	72	42	9.6	47.4	عالية جدا
2	77	40	6	27.6	عالية الى عالية جدا
4	72	49	7	37.7	عالية جدا
6	80	44	8	37.7	عالية جدا
7	81	40	6.7	39.7	عالية جدا
A	22	51	8	7.4	منخفضة الى متوسطة
B	92	55	11.5	56.2	عالية جدا
C	58	32	5.5	20.6	عالية الى عالية جدا
D	83	48	14	55.2	عالية جدا
E	89	49	7.5	49.6	عالية جدا
F	63	51	8	45.00	عالية جدا
G1	54	40	15	32.6	عالية جدا
G2	66	49	16	40	عالية جدا
H	63	79	12	40	عالية جدا
I	32	23	14	3.4	منخفضة الى متوسطة
J	83	56	16	43	عالية جدا
K	94	48	14	35.5	عالية جدا
L3	38	24	10	9.4	منخفضة الى متوسطة

١٠- كيفية التعامل مع التربة القابلة للإنتفاخ

١٠-١ اعتبارات خاصة بإستكشاف الموقع

هناك ثلاثة أمور هامة يجب أخذها فى الإعتبار عند القيام بإستكشاف الموقع فى حالة التربة القابلة للإنتفاخ .

- الخصائص الطبيعية للتربة التحتية مثل محتوى الرطوبة الإبتدائى والكثافة الجافة وحدود أتربرج وحد الإنكماش ومحتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون .
- خصائص التربة القابلة للإنتفاخ مثل ضغط الإنتفاخ وقوة المص .
- الظروف البيئية التى تشارك فى تغير محتوى الرطوبة فى التربة مثل :

- الطبيعة الطبوغرافية للموقع مثل أماكن التصريف للمياه سواء كانت طبيعية أو من صنع الإنسان .
- المياه المتسربة من القنوات والحقول المستخدمة فى الزراعة والتى تحمل كميات كبيرة من الماء أثناء مواسم الزراعة فتكون مصدر إمتداد للرطوبة التى من شأنها تتسبب فى تغيير حجم التربة القابلة للإنتفاخ .
- وجود أى أعمال تكون مصدر لتسرب المياه من مواسير مياه الشرب أو حمامات السباحة أو خزانات أرضية للمياه .

١٠-١-١ مراحل دراسة الموقع

تتم دراسة الموقع على ثلاثة مراحل

المرحلة الأولى : مراجعة جميع المعلومات المتاحة

أولاً : (خرائط طبوغرافية ، خرائط جيولوجية ، أى تقارير سابقة خاصة بأبحاث التربة ، رسومات للمنشآت المقامة) .

ثانياً : عمل زيارة أولية للموقع (تسجيل للمنشآت المقامة – تسجيل الطبقات البارزه من الصخور على سطح الأرض – مصادر المياه داخل وخارج الموقع – طبيعة التصريف للتربة) مع استخدام التصوير الفوتوغرافى إذا أمكن .

المرحلة الثانية : يتم وضع برنامج لأعمال الأبحاث الأولية (خرائط سطحية تفصيلية – جسات إسترشادية – إختبارات معملية أولية – تحليل وتوصيف التربة) . ومن هذه المرحلة يمكن التحضير للمرحلة الثالثة والخاصة بالأبحاث التفصيلية للتصميم عن طريق توزيع أماكن الجسات وأعماق الإستكشاف وتكرار استخراج العينات والعمق من الجسات .

المرحلة الثالثة : أبحاث تفصيلية للتصميم (قطاع التربة مفصل – تعيين خواص التربة وقيم معاملات التربة – مدى الإنكماش والقابلية للإنتفاخ) .

١٠-٢ اعتبارات خاصة بالإختبارات المعملية

كما هو واضح فى هذه الدراسة إن هناك مجموعتين اساسيتين من الإختبارات يعتمد عليهم المهندس الجيوتكنيكى للتعرف على التربة القابلة للإنتفاخ وتصنيفها وتحديد درجة خطورتها وهى الإختبارات الجيوتكنيكية وإختبارات تعيين التركيب المعدنى .

أولاً : الإختبارات الجيوتكنيكية لتعيين الخصائص الطبيعية والميكانيكية للتربة القابلة للإنتفاخ

– يتم تعيين الخصائص الطبيعية وتشمل (نسبة محتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون – حدود أتربـــــرج – حد الإنكماش – الكثافة الجافة – نسبة محتوى الرطوبة) .

– يجب قياس محتوى الرطوبة الإبتدائى للعينات والمحافظة عليها بحالتها الطبيعية حتى يتم إجراء إختبارات ضغط الإنتفاخ عليها نظراً لتأثر ضغط الإنتفاخ بدرجة كبيرة بتغير محتوى الرطوبة .

– تعيين الخصائص الميكانيكية (ضغط الإنتفاخ) باستخدام الأودوميتر لثلاث عينات بحالتها الطبيعية .

– وفى حالة عدم إمكانية إجراء إختبار ضغط الإنتفاخ بإستخدام ثلاث عينات يمكن استخدام عينة واحدة مع الأخذ فى الإعتبار إن قيم ضغط الإنتفاخ غالباً فى هذه الحالة تعطى قيم أكبر من طريقة إستخدام ٣ عينات .

– تقييم طاقة الإنتفاخ بناء على نتائج الإختبارات المعملية وتحديد درجة خطورة التربة من عاليه جداً إلى عالية إلى متوسطة إلى منخفضة .

ثانياً : اختبارات تعيين التركيب المعدنى

– يتم إجراء إختبارات تحديد التركيب المعدنى لمعرفة المعادن المسببه للإنتفاخ . كما إنه فى كثير من الأحيان يصعب إستخراج عينات غير مقلقلة من الكتل الطينية لقياس ضغط الإنتفاخ فيكون تحديد التركيب المعدنى عاملاً مساعداً فى دقة تقييم مدى قابلية التربة للإنتفاخ .

١٠-٣ اعتبارات خاصة بالإختبارات الحقلية

– إجراء قياسات حقلية للمص (Suction) فى الموقع لتقييم قابلية التربة للإنتفاخ حيث أن بعض العينات المختبرة فى المعمل تعطى قيم متساوية لطاقة الإنتفاخ ولكنها تختلف فى تصرفها وفى قيمها فى الطبيعة .

١٠- ٤ اعتبارات خاصة بمعالجة تربة التأسيس

١٠-٤-١ مقدمـــة

هناك اختيارات عديدة أمام المهندس المصمم فى تصميم وطرق التأسيس ومعالجة التربة للتقليل أو منع

التأثيرات الضارة على الأساسات والمبانى التى يتم إنشاؤها على تربة قابلة للإنتفاخ وتتلخص هذه الإختيارات فيما يلى :

- إستبدال طبقة التربة القابلة للإنتفاخ بالكامل بتربة غير قابلة للإنتفاخ (إحلال للتربة).
- منع تسرب المياه إلى تربة الأساس .
- معالجة التربة كيميائياً بإستعمال الجير أو الأسمنت أو خبث الحديد أو غيرها .
- طرق التأسيس والتصميم للأساسات السطحية والعميقة .

وفى جميع الأحوال يتم تقييم درجة خطورة ومدى قابلية التربة للإنتفاخ قبل تحديد وسائل المعالجة والتأسيس .

١٠- ٤-٢ اعتبارات خاصة بتربة الإحلال

• أكثر الطرق المستخدمة فى التأسيس على التربة القابلة للإنتفاخ هو عمل إستبدال وإحلال للتربة القابلة للإنتفاخ بتربة غير قابلة للإنتفاخ ، وتعتبر هذه الطريقة فى مصر أكثر الطرق إستخداماً عند التأسيس على التربة القابلة للإنتفاخ .

١٠-٤-٢-١ نوعية تربة الإحلال

جميع التربة الحبيبية (زلط جيد التدرج – وخليط من الزلط والرمل مع عدم أو وجود قليل من المواد الناعمة) تعتبر مادة صالحه للإحلال مع الأخذ فى الإعتبار أن استخدام التربة الحبيبية النظيفة مثل زلط جيد التدرج ورمل ردىء التدرج يسهل من سريان الماء فى التربة مسبباً بلل للتربة القابلة للإنتفاخ أسفل تربة الإستبدال .

• يجب عدم خلط التربة الحبيبية مع التربة القابلة للإنتفاخ فى الموقع لصعوبة تكسير التربة الجافة القابلة للإنتفاخ وهى كتل طينيه إلى أحجام معقولة .

١٠-٤-٢-٢ عمق تربة الإحلال

• لايمكن تحديد عمق تربة الإستبدال قبل تقييم الحركة المنتظرة أسفل الأساسات.

• أظهرت بعض الدراسات أن الإنتفاخ ممكن أن يحدث حتى عمق ١٥,٠ متر ولكن معظم الإنتفاخ (حوالى ٦٠ % منه) يحدث حتى عمق ٧,٠ متر .

• لايقل عمق الإستبدال عن ١,٥م .

• بالنسبة للتربة متوسطة القابلية للإنتفاخ فإن إستبدال ١,٥م قد يكون مناسبا .

• إستخدام تربة إحلال سوف تؤدى إلى حركة منتظمة تحت الأساسات وبالتالى يقلل من فرق الإنتفاخ النسبى .

- درجة الدمك لتربة الإحلال تعتمد على نوع المبنى المرتكز عليها (٩٠ % من الكثافة الجافة للبروكتور القياسى لتربة الإحلال كافية فى حالة استخدام اللبشة . وعند الإرتكاز على القواعد يجب أن تصل درجة الدمك لتربة الإحلال إلى ٩٥ إلى ١٠٠ % من البروكتور القياسى) .
- يجب الإهتمام بماسبق عند تنفيذ تربة الإحلال بالإشراف الجيد لضمان عدم حدوث أضرار .

١٠-٤-٢-٣ إمتداد تربة الإحلال

- امتداد تربة الإحلال يكون مساوياً لعمقها على الأقل وأن تكون تربة الردم من نفس نوع تربة الإحلال .

١٠-٤-٣ اعتبارات خاصة بالتحكم فى محتوى الرطوبة

تنفذ معظم طرق التحكم فى محتوى الرطوبة حول محيط المبنى لمحاولة عزل الماء عن أساسات المبنى . وهذا يمكن تحقيقه عن طريق استخدام حواجز الماء الأفقية والرأسية مع عمل نظام تصريف سطحى مناسب .

أولاً : حواجز المياه الأفقية

- الحواجز الأفقية تنفذ حول المبنى على شكل أغشية مطاطيه أو رصف جسيىء أو مرن .
- تستخدم الأغشية المطاطية غير المنفذة مثل النايلون أو البوليثيلين والغرض منه منع تسرب المياه السطحية لتربة الأساس . وقد يحدث تسرب للماء من خلال المبنى عند حواف الغشاء أو الثقوب التى تظهر فى الغشاء بمرور الوقت . ولهذا فإن الميزة الحقيقية فى استخدام الأغشية حول المبنى هو زيادة الوقت لحدوث تخلل للماء وجعل توزيع محتوى الرطوبة أكثر إنتظاماً .
- وجد إن الرصف الجسيىء بإستخدام ستارة خرسانية Concrete aprons أو رصيف جانبى Side Walks فعال للتحكم فى الرطوبة (Steinberg, 1980) ، مع مراعاة وجود عزل كافى عند الوصلات .
- كما أن هذه الحواجز يجب أن تميل لأسفل وبعيداً عن المبنى . ويجب عمل تصريف مناسب لتجنب تكون برك للمياه ملاصقة للمبنى .
- يستخدم الرصف المرن المكون من أغشية اسفلتيه توضع فوق التربة القابلة للإنتفاخ .

ثانياً : حواجز المياه الرأسية

- تستخدم حواجز المياه الرأسية حول محيط المبنى لقطع مسار مصدر الماء من تسربه للتربة أسفل الأساسات .
- قد تتكون الحواجز من أغشية مطاطية أو نسيج خرسانى concrete fabric كعازل للماء أو أى مواد متينة غير منفذة .

- يقوم الردم المحيط بأساسات المبنى إذا تم تنفيذه بطريقة سليمة بنفس الدور الذى تقوم به حواجز الماء الرأسية، ذلك بالأخص فى بدرومات المبانى عندما يمنع الردم المدموك جيداً وصول أى مياه سطحية لتربة الأساس .

ثالثاً : تصريف المياه تحت السطحى

الغرض من نظام تصريف المياه تحت السطحية هو :

- العمل على إعتراض سريان المياه الأرضية .
- تخفيض المياه الأرضية أو المعلقة .
- إيقاف حركة الرطوبة الناتجة من الخاصية الشعرية .

رابعاً : تصريف المياه السطحى

- يجب عمل ميول لسطح الأرض حول المبنى بحيث يحدث تصريف للمياه السطحية بعيداً عن المبنى .

خامساً : الزراعــة

- وفى حالة زراعة أشجار أونباتات أن تكون على بعد لايقل عن ٣ متر.

سادساً : التسرب من المواسير

- يجب التأكد دائماً من عدم حدوث تسرب من مواسير المياه والصرف الصحى خصوصاً التى تحت المبنى لإنها معرضة لإجهادات من حركة التربة القابلة للإنتفاخ المحيطة .

١٠-٤-٤ اعتبارات خاصة بالتصميم وطرق التأسيس

١٠-٤-٤-١ اعتبارات خاصة بالتصميم

يتم تصميم المنشأ بحيث يسمح بإمتصاص الحركة الناشئه من الإنتفاخ أو الهبوط خلال إنكماش التربة أسفل الأساس . أو تصميم المنشأ مع الأساسات كوحدة واحدة تتحمل حركة رفع التربة للمنشأ أو هبوط المنشأ نتيجة الإنكماش .

١٠-٤-٤-٢ اعتبارات خاصة بطرق التأسيس

يتوقف مقدار الإنتفاخ فى الطبيعة على ظروف كثيرة منها نوع التربة والسمك المتوقع تشبعة تحت الأساسات والظروف البيئية المحيطة . لذلك يترك للمهندس الإستشارى إختيار طريقة التأسيس المناسبة بعد ترجمة المعلومات المتاحة من الطبيعة ومن المعمل ومن خلال التجارب التى تحدد خصائص التربة القابلة للإنتفاخ وفيما يلى عرض لبعض طرق التأسيس .

أولاً : الأساسات العميقة

- تعتبر الأساسات العميقة من أنسب الطرق للتاسيس على التربة القابلة للإنتفاخ وخصوصاً إذا كانت قابليتها للإنتفاخ عالية.
- من أهم الأنواع المستخدمة كأساسات عميقة هى الآبار أو الخوازيق موسعة النهايات Underreamed Piles .

– يجب أن تمتد الأساسات العميقة حتى الوصول للتربة غير قابلة للإنتفاخ .

– وفى حالة إمتداد التربة القابلة للإنتفاخ إلى أعماق كبيرة فيجب أن تمتد الأساسات العميقة إلى ما بعد الطبقة الفعالة (Active Zon).

– فى حالة استخدام الخوازيق يراعى تسليح الخوازيق لمقاومة إجهادات الشد المتولدة من قوى الرفع على جسم الخازوق .

– عزل الخازوق بكامل طوله عن التربة المحيطة ويتم ذلك بالتثقيب بدائرة أوسع من قطر الخازوق ثم توضع ماسورة صلب داخل الحفرة ويتم ملىء الفراغ بين الماسورة والتربة بالرمل وأثناء صب الخرسانة يتم سحب الماسورة . وهناك بدائل للرمل مثل الصوف الزجاجى والفرميكيولايت الممدد .

– وفى جميع الأحوال يجب أن تكون الميد والبلاطات وعناصر الإنشاء الأخرى غير ملامسة للتربة القابلة للإنتفاخ .

ثانياً : الأساسات السطحية

– تستخدام الأساسات السطحية (قواعد شريطية أو قواعد منفصلة أو لبشة) فى التربة قليلة القابلية للإنتفاخ (John D. Nelson،2015) .

– يحقق استخدام الأساسات السطحية نجاحاً إذا وفيت إحدى النقاط التالية :

- المبنى ذو جساءة كافية بحيث إن الإنتفاخ النسبى لن يحدث تصدعات .
- يمكن تقليل أو منع قابلية إنتفاخ تربة الأساس .

– يجب فى جميع الأحوال عدم التأسيس مباشرة على التربة القابلة للإنتفاخ إلا مع إستخدام طبقة إحلال بحيث تتحمل احمال المنشأ وبدرجة دمك تناسب طاقة الإنتفاخ المتوقع مع إجراء إختبارات حقلية للتأكد من كفاءة طبقة الإحلال. علماً بأن إستخدام وسادة من التربة الحبيبية (رملية أو زلطية) أسفل الأساسات يؤدى إلى توزيع حركة التربة أسفل الوسادة بصورة أكثر إنتظاماً وبالتالى تقليل الإنتفاخ النسبى .

أ : القواعد الشريطية

– أكثر الأنواع إستخداماً للمبانى ذات الأحمال الخفيفة فى الحالات اللآتية :

- قابلية التربة القابلة للإنتفاخ منخفضة

- منع أو تقليل القابلية للإنتفاخ لتربة الأساس .

– يفضل إستخدام القواعد الشريطية ذات العصب فى الإتجاهين ويراعى عند الإستخدام الآتى :

- يتناسب قطاع العصب مع الإنتفاخ النسبى .
- أن تكون القواعد الشريطية بعرض صغير لزيادة تركيز الإجهادات أسفلها .
- فى حالة إستخدام القواعد الشريطية فى إتجاه واحد فقط يتم ربطها فى الإتجاه العمودى بميدات عالية الجساءة .

ب : القواعد المنفصلة

– تستخدم القواعد المنفصله فى الحالات الآتية :

– إذا كانت التربة العلوية متوسطة القابلية للإنتفاخ .

– الطبقة العلوية للتربة ذات قوة إحتمال عاليه نسبياً .

وفى جميع الحالات يراعى مايلى :–

- ربط القواعد فى الإتجاهين بميد لمقاومة أى فروق فى الحركة بين القواعد .

– يجب ترك فراغ بين الميد وسطح التربة القابلة للإنتفاخ إذا لم يتم تنفيذ تربة إحلال مستمرة تحت الميد حتى لا تسبب أضرار للمنشأ.

جـ : أساس اللبشة

تستخدم اللبشة للحصول على الجساءة اللاومة لمقاومة الإنتفاش (John D. Nelson،2015) ، ويجب أن تصمم اللبشة على إفتراضات ميكانيكية التشكل المتوقع.

وبصفة عامة يجب تنفيذ الإحتياطات لمنع وصول الماء إلى التربة التحتية القابلة للإنتفاخ لعدم حدوث أى تصدعات مستقبلية بالمبنى.

١٠-٥ اعتبارات خاصة بمحتوى تقرير أبحاث التربة

١ – تحديد طبوغرافيه الموقع ومنسوب سطح الأرض بالنسبة لمنسوب سطح البحر .

٢ – معلومات جيولوجية عن الموقع .

٣ – مصادر المياه المحتمل وصولها لموقع الإنشاء (سيول – صرف صحى – صرف زراعى) .

٤ – توضيح طرق التحكم فى المياه المحتمل وصولها إلى تربة الأساس (الحواجز الأفقيه – الحواجز الرأسيه – صرف المياه السطحية صرف المياه تحت السطحيه) .

٥ – اختبارات خاصة بتحديد خصائص الإنتفاخ (اختبارات لتحديد التركيب المعدنى – اختبارات لتعيين الخصائص الطبيعية مثل حدود اتربرج ومحتوى الطين والكثافة الجافة ونسبة الرطوبة الطبيعية – واختبارات خاصة بتحديد الخصائص الميكانيكية مثل ضغط الانتفاخ والإنتفاش الحر وطاقة الانتفاخ) .

١١ – الخلاصة

بالرغم من أهمية التعرف على التربة القابلة للإنتفاخ وكيفية التعامل معها إلا أن المشكلة الكبرى هى فى تواجد هذه الأنواع من التربة فى الطبيعة حيث إنها ضمن الترسيبات الصحراوية الجافة التى تتميز بالتوزيع غير المنتظم فى المواقع المختلفة وفى كثير من الإحيان فى نفس الموقع وهذا التوزيع غير المنتظم جاء بسبب الظروف الترسيبية المضطربة التى حدثت فى الأزمنة الجيولوجية المختلفة فهى عبارة عن طبقات من رواسب غير متناسقة من الطين أو الطين والطمى على هيئة كتلية يتخللها طمى أو رمل أو زلط .

ومثل هذه الطبقات قد ترسبت بالقرب من التقاء مصبات الأنهار بالبحر فى الأزمنة الجيولوجية المختلفة وهى ظروف ترسيبية مضطربة حيث يلقى السيل بحمله وهو خليط غير متجانس فينتج عن ذلك رواسب غير متناسقة وتوزيع غير منتظم للتربة وذلك على عكس ترسيبات وادى النيل التى أخذت طريقها فى جريان نهر النيل ثم تأخذ أماكنها عندما تعجز السرعة عن حملها فالرواسب هنا متناسقة ولها نسيج يعطيها التماسك مع بعضها.

ويتزايد ظهور تكوينات التربة الجافة القابلة للإنتفاخ على خريطة مصر بتزايد تعمير المناطق الجافة وشبه الجافة والتى تبتعد عن مجرى نهر النيل . وعلى سبيل المثال فقد ظهرت هذه التكوينات بالفعل وتسببت فى تصدعات فى مدينة نصر (كلية هندسة الأزهر وغيرها) ، وفى أسوان (مستشفى الأمراض الصدرية ومستشفى الحميات) ، وفى كوم امبو (مساكن تهجير بلاد النوبة) ، وفى الفيوم ، وأسيوط ، والوادى الجديد ، والصف ، والمعادى الجديدة وغيرها.

١١-١ عموميات

التربة الطينية القابلة للإنتفاخ هى الأكثر إنتشاراً كتربة ذات مشاكل فى مصر خاصة بالمناطق الصحراوية . ويدرك المهندس الجيوتكنيكى الصعوبات التى يواجهها للتأسيس على هذا النوع من التربة ، وهذا ليس بسبب النقص فى الحلول الهندسية فقط ولكن بدرجة أكبر نتيجة عدم القدرة على التعرف على هذه التربة خلال المرحلة الأولى لأى مشروع ، والمشكلة الكامنة ، ومقدار الحركة المتوقعة . يضاف إلى ذلك عدم قابلية بعض المهندسين الممارسين للتخلى عن الطرق التقليدية المألوفة فى التعامل مع المشكلة .

الهدف من هذه الدراسة تزويد المهندسين بالخبرات والمعلومات اللازمة عن هذه النوعية من التربة ، وتوفير المعلومات الكافية واللازمة لمتخذى القرار عن أهمية الدراسات المتكاملة (جيولوجية وجيومورفولوجية ودراسات استكشاف الموقع ودراسات أبحاث التربة) اللازمة لإختيار أنسب المواقع للإنشاء فى المناطق الصحراوية ذات الطبيعة الجافة . وتوضح هذه الدراسة الخصائص الجيوتكنيكية لتكوينات بعض أنواع التربة القابلة للإنتفاخ المنتشرة بمصر، وكيفية التعرف عليها وتصنيفها وتقييم طاقة الإنتفاخ ودرجة

خطورتها، بالإضافة إلى الإعتبارات الخاصة بكيفية التعامل مع هذا النوع من التربة من بداية دراسة المعلومات المتاحة وإستطلاع الموقع ، ووضع برنامج للأعمال الحقلية للأبحاث الأولية والإختبارات الحقلية وإجراء الإختبارات المعملية للأبحاث التصميمية ، وإعداد تقرير أبحاث التربة وتوصيات التأسيس وإحتياطات الأمان لضمان سلامة المنشأ .

١١-٢ ماهى التربة القابلة للإنتفاخ

تعرف التربة القابلة للإنتفاخ بتلك التربة التى إذا تشبعت بالماء زادت فى الحجم (إذا كانت حرة الحركة). فإذا منعت من الحركة تولد ضغط خارج منها. وعند جفاف هذه التربة تنكمش محدثه شروخ نتيجة التغير فى الحجم . لذلك فإن سمات طبقات الطين القابل للإنتفاخ فى الطبيعة عادة ما يكون بها تشققات نتيجة التغيرات الموسمية فى الحجم . ويرجع هذا التغير فى الحجم أساسا إلى إمتصاص الماء الحر بواسطة معادن الطين الداخلة فى تركيبة .

وعلى العموم فإنه إذا كانت تكوينات التربة الصحراوية صلبة وذات كثافة عالية ومحتوى الرطوبة منخفض والمحتوى الطينى بها كبير نسبياً فإنها تكون على الأرجح قابلة للإنتفاخ . يعتمد التغير فى حجم التربة على عوامل طبيعية وبيئية مختلفة .

أولاً : عوامل طبيعية

١ – محتوى الطين clay content .

٢ – نوع معدن الطين type of clay mineral .

٣ – كثافة التربة الجافة dry unit weight .

٤ – نسبة الحبيبات الطينية النشطة إلى الحبيبات غير الطينية Clay mineral to non clay mineral .

٥ – محتوى الماء الإبتدائى initial moisture content .

٦ – التكوين البنائى للتربة fabric and structure .

ثانياً : عوامل بيئية مستحدثة

١– معامل سريان الماء فى التربة .

٢– التكوين العام للتربة بما فيها من شقوق وفواصل .

٣– درجة الحرارة وتغيراتها بالموقع .

٤– منسوب المياه الأرضية .

٥– الصرف الصحى ومصادر المياه .

٦- الحالة الجوية بالموقع على مدى العام بما فيها من جفاف أو تعرض للأمطار .

- وأخذ العوامل السابقة فى الإعتبار لتقدير طاقة الإنتفاخ وضغط الإنتفاخ عملية معقدة .

- كما يختلف الإنتفاخ الذى يحدث فى الطبيعة نتيجة العوامل البيئية بدرجة مؤثرة عن ذلك الذى يتم تقديره من الإختبارات المعملية .

١١-٢-١ ميكانيكية الإنتفاخ

يعتمد الإنتفاخ للتربة القابلة للإنتفاخ على امتصاص معدن الطين للماء . فعندما تكون المياه الممتصه مقيدة لأسطح كريستالات معدن الطين والفراغات بين الكريستالات يسمى الإنتفاخ Inter-Crystalline Swelling . وعندما يتخلل الماء بين الصفائح المكونه للكريستال يوصف الحجم الناتج من الإنتفاخ بأنه Intra-Crystalline Swelling . ويفيد (Gillot, 1968) أن حدوث Intra-Crystalline Swelling يكون بسبب أن قوى الجذب التى بين الصفائح تكون أقل من القوى المسئولة عن إمتصاص الماء. وأن حدوث الإنتفاخ لمعدن الطين ليس ناتج من الإختلاف فى طبيعة القوى المؤثرة ولكنه ناتج من الفرق بين قيم هذه القوى . ويرجع هذا لعدة عوامل مجمعة وأهمها كيميائية الكريستالات للمعادن . فعلى سبيل المثال فإن تركيب المنتموريلونايت مشابه لتركيب معدن الإيلايت اغير القابل للإنتفاخ . ولكن الشحنات لوحدة المساحة فى الإيلايت أعلى من التى بالمنتموريلونايت ، ولذلك فإن الترابط بين الطبقات فى الإيلايت أقوى ، لذلك يكون الماء غير قادر على التخلل بين الصفائح .

١١-٢-٢ العوامل المؤثرة على قابلية التربة للإنتفاخ

- تتحكم عدة عوامل فى التغير الحجمى للتربة الطينية القابلة للإنتفاخ وأهمها التركيب المعدنى للطين .
- تعتمد قيمة ضغط الإنتفاخ علـــى عوامـــل مختلفة مثل الترتيب الحبيبـــى والنسيج ومحتوى الرطوبة الإبتدائى ، والكثافة الجافة ونسبة الطين .
- خواص الإنتفاخ لمعادن الطين تتبع نفس سلوك خواص اللدونة للتربة ، فكلما زادت اللدونة كلما كانت القابلية للإنتفاخ .
- التربة التى تحتوى معادن قابلة للإنتفاخ فإن الأيون الموجب التبادلى Exchangeable ion له التأثير الحاكم على كمية الإنتفاخ التى تحدث عند تواجد المياه ، فعلى سبيل المثال فإن الإنتفاخ للصوديوم مونتموريلونايت يستمر بدون توقف بين الطبقات طالما كان الماء موجوداً.
- المعلومات عن تكوين معدن الطين ذات فائدة كبيرة ، حيث إنها تدل على القيمة المحتملة للخواص الإنتفاخية وتغيرها ، وعلى الرغم من أن القيم من ناحية الكم للخواص والتحليل يصعب استنتاجهما من بيانات مكونات معدن الطين ، فإنها تساعد فى تفسير التصرف غير العادى والتعرف على التربة القابلة

للإنتفاخ وتصميم برنامج الإختبارات وإختيار العينات وكيفية التعامل مع العينات ، وتساعد كذلك فى تحديد طرق التثبيت والتنبؤ بتصرف التربة مستقبلاً .

- تعتمد معدلات التغير فى الحجم على معامل سريان الماء فى التربة وعلى التكوين العام للتربة فى الطبيعة بما فيها من شقوق وفواصل .

١١-٣ دراسة الموقع

إستكشاف الموقع فى حالة التربة القابله للإنتفاخ يتم بهدف التعرف على ثلاثة أمور رئيسيه وهى :

١ – الخصائص الطبيعية للتربة مثل اللدونة ومحتوى الرطوبة والكثافة .

٢ – خصائص التربة القابلة للإنتفاخ مثل ضغط الإنتفاخ وقوة المص .

٣ – الظروف البيئية التى تؤثر على تغير محتوى الرطوبة فى التربة مثل المياه المتسربة من الزراعة أو من مواسير الصرف الصحى والمياه .

وتتم دراسة الموقع على أربعة مراحل :

١ – جمع المعلومات المتاحه عن الموقع (تقارير سابقة مثلاً).

٢ – معاينة الموقع (للتعرف على الظروف البيئة)

نظراً لأهمية تأثير التغير فى محتوى الرطوبة بالنسبة لطاقة الإنتفاخ للتربة فإنه من الضرورى معاينة الموقع لتوصيف الظروف البيئية التى تشارك فى تغير الرطوبة فى الموقع .

٣ – عمل ابحاث اولية (جسات استرشادية).

٤ – عمل ابحاث تفصيلية للتصميم (جسات تفصيلية وابحاث معملية).

يتطلب استكشاف الموقع لمرحلة التصميم برنامج أكثر شمولية عن الموجود فى الإستكشاف المبدئى المعتاد للعينات المستخرجة واتباع اختبارات متخصصة بخلاف تلك المتبعة فى المواقع التى بها تربة غير قابلة للإنتفاخ .

١١-٤ التعرف على التربة القابلة للإنتفاخ

يتم التعرف على التربة القابله للإنتفاخ من الآتى :

١١-٤-١ محتوى الطين والتركيب المعدنى

يستخدم الهيدرومتر القياسى لتعيين نسبة محتوى الطين (الحبيبات الأقل من ٢ ميكرون) وقد تكون نسبة الطين للتربة القابلة للإنتفاخ أقل من ٣٥% ويصل إلى ١٠٠% مثل البنتونايت . ولذلك يوصى بتعيين التركيب المعدنى لمحتوى الطين . وأكثر الطرق شيوعاً هى طريقة الأشعة السينية الطيفية (XRD) . ومن المهم أن يتم تحديد نسبة المونتموريلونايت (أو الإسمكتايت) فى محتوى الطين فى العينة .

١١-٤-٢ حدود أتربرج

حد السيولة وحد اللدونة وحد الإنكماش يتم قياسهم كجزء من الأبحاث الجيوتكنيكية . حيث تتراوح قيم حد السيولة من ٤٥ إلى ٧٠٠ أو أكثر . وتتراوح قيم حد اللدونة من ٣٠ إلى ٥٠ بينما تتراوح قيم حد الإنكماش من ٨ إلى ٢٨ والقيم الأعلى هى للبنتونايت.

١١-٤-٣ الفاعلية Ac

هناك علاقة بين دليل اللدونة ونسبة حبيبات الطين وطاقة الإنتفاخ . وتتراوح طاقة الإنتفاخ من منخفضة إلى عالية جدا . وطاقة الإنتفاخ تكون عالية عندما تكون التربة ذات محتوى طين عالى ودليل اللدونة عالى .وفاعلية التربة Ac(Skempton,1953) هى دليل مهم فى التربة القابله للإنتفاخ وهى عبارة عن دليل اللدونة مقسوم على نسبة محتوى الطين فى العينة ويصنف الطين على أنه غير فعال عندما تكون قيمة Ac أقل من ٠,٧٥ ومعتدله إذا كانت قيمة Ac تقع بين ٠,٧٥و ١,٢٥ وتعتبر ذات فاعلية إذا كانت أكبر من ١,٢٥ .

١١-٥ طرق تصنيف قابلية التربة للإنتفاخ

قسم الباحثون تصنيف قابلية التربة للإنتفاخ إلى :

أ) طرق مباشرة ، ب) طرق غير مباشرة ، ج) التعرف على التركيب المعدنى

أ) طرق مباشرة (تعيين ضغط الإنتفاخ)

يتغير ضغط الإنتفاخ بتغير التركيب المعدنى وكثافة التربة ومحتوى الرطوبة الإبتدائى ونسبة محتوى الطين . ويعرف ضغط الإنتفاخ بأنه الضغط المطلوب للمحافظة على حجم العينة الإبتدائى عندما تتعرض العينة لزيادة محتوى الرطوبة .

يتم قياس ضغط الإنتفاخ فى جهاز الإودوميتر الذى يجرى به إختبارات التضاغط لعينات التربة وهناك طريقتين الأولى بإستخدام أحمال مختلفة وعادة يجرى الإختبار على ٣ عينات أو أكثر بتحميلها بأحمال مختلفة . وترسم علاقة بين نسبة الإنتفاخ النهائية لكل عينة مع الضغط الرأسى المؤثر فى كل إختبار ومنها يتم تحديد ضغط الإنتفاخ المقابل لقيمة إنتفاخ صفر .

وضغط الإنتفاخ فى الطريقة الثانية هو الضغط الخارجى المطلوب لإنضغاط عينة قد تركت مسبقاً للإنتفاخ (تحت حمل صغير ٧ كيلو باسكال) لإعادتها لحجمها الإبتدائى حيث يجرى الإختبار على عينة واحدة .

وقيم ضغط الإنتفاخ المسجلة من باحثين مختلفين يتراوح بين ٠,٥ كجم/سم^{٢} أو ٥٠ كيلو باسكال إلى ٢٤ كجم/سم^{٢} أو ٢٤٠٠ كيلو باسكال . وأن الإنتفاخ لعينة محتوى الطين لها (١٠٠ %) ممكن أن يصل إلى ٥٠ كجم/سم^{٢} أو ٥٠٠٠ كيلو باسكال .

ب) طرق غير مباشرة

تعتمد على قياس معاملات للتربة تشير لمدى قابلية التربة للتغير الحجمى مثل دليل اللدونة وحد الإنكماش وكثافة التربة ومحتوى الرطوبة ونسبة محتوى الطين .

ج) التعرف على التركيب المعدنى

التركيب المعدنى يعطى فكرة أساسيه عن قابلية التربة للإنتفاخ .

٦-١١ خلاصة الإختبارات المعملية التى أجريت لعينات التربة القابلة للإنتفاخ

تم إجراء الإختبارات المعملية لتحديد الخصائص الجيوتكنيكية لعدد ٢٢ عينة من التربة القابلة للإنتفاخ . وتم إحضار معظمها من المناطق الصحراوية بمصر . وتم تقسيمها إلى ثلاثة مجموعات المجموعة الأولى هى ٧ عينات من موقع بالعياط على أعماق مختلفة من ٤,٠٠ إلى ٤٠,٠٠ متر. وعينات المجموعة الثانية وعددها ٦ من مواقع مختلفة فى الجيزة وكانت على عمق تقريبا ٣,٠٠ متر من سطح الأرض . والمجموعة الثالثة وتضم ٩ عينات منها ٣ عينات من الوادى الجديد وعينة من كوم أوشيم (بالفيوم) وعدد ٢ عينة من القصير (البحر الأحمر) وباقى العينات من بعض التجمعات العمرانية الجديدة (الشروق وبدر والقطامية) وأخذت العينات من على أعماق من ٣,٠٠ متر إلى ٦,٠٠ متر من سطح الأرض .

تم إجراء إختبارات التركيب المعدنى على ٢٠ عينة ، وتم إجراء تحديد الخصائص الجيوتكنيكية الطبيعية على العينات كلها فى جميع المجموعات . وأما إختبارات تعيين ضغط الإنتفاخ بإستخدام طريقة الأحمال المختلفة (٣ عينات) وطريقة الحمل المسبق (عينة واحدة) تم إجرائها على ١٨ عينة فقط لعدم إمكانية استخراج عينات غير مقلقلة لعينتين من الكتل الصخرية المحضرة من موقع العياط لإحتوائها على شروخ وفواصل ونسب عالية من الرمل بين الطبقات الطينية .

١-٦-١١ توصيف العينات المختبرة

كان توصيف ٥ عينات من المجموعة الأولى (العياط) عبارة عن طين طمىى متحجر واختلف اللون من الرمادى إلى البنى وعينتين طين طمىى رملى رمادى إلى أصفر. وصنفت عينات المجموعة الثانية (الجيزة) كذلك بأنها طين طمىى متحجر رمادى أو بنى . أما عينات المجموعة الثالثة (أماكن متفرقة) فبالرغم من إنها مأخوذة من أماكن متفرقة فمعظمها تم تصنيفها على إنها طين طمىى متحجر رمادى غامق

أو رمادى يميل إلى البنى أو الأصفر ويتخلله رقائق من الرمل الأصفر كما فى عينة كوم أوشيم (H) والوادى الجديد (L3) .

وعلى العموم تبين أن عينات التربة التى تم دراستها تختلف فى الموقع الواحد وفى المواقع المختلفة وعلى الأعماق المختلفة وبالرغم من ذلك فإن العينات جيمعها ذات قابلية عاليه إلى عاليه جداً للإنتفاخ.

١١-٦-٢ تأثير العوامل المختلفة على ضغط الإنتفاخ لعينات المجموعاتة الثلاثة

يتضح إنه بفحص نتائج الإختبارات المعملية لعينات المجموعات الثلاثة الآتى :-

- نسب المنتموريلونايت ونسب محتوى الطين ومحتوى الرطوبة والكثافة الجافة والكاتيون تؤثر فى قيم ضغط الإنتفاخ المقاس .
- قيم ضغط الإنتفاخ المقاس للعينات المختبرة تختلف بإختلاف طريقة القياس بإستخدام طريقة الحمل المسبق (عينة واحدة) أو بإستخدام طريقة الأحمال مختلفة (٣ عينات).
- الإعتماد فى قياس ضغط الإنتفاخ على طريقة الأحمال المختلفة بإستخدام ٣ عينات هو الأقرب لما يحدث فى الطبيعة .
- النسيج Fabric للعينات المختبرة يختلف من عينة إلى أخرى ويؤثر على النتيجة .
- وجود طبقات من الرمل والجبس تؤثر بدرجة كبيرة على قابلية التربة للإنتفاخ .

١١-٦-٣ تصنيف التربة القابلة للإنتفاخ ودرجة خطورتها

استخدمت ٤ طرق لتصنيف مدى قابلية التربة للإنتفاخ ودرجة خطورتها . ثلاثة من هذه التصنيفات تعتمد على الخصائص الطبيعية . التصنيف الأول يعتمد على حد السيولة ودليل اللدونة (Dakanamurthy & Raman, 1973) والثانى على الفاعلية ونسبة محتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون (Seed et al.,1962) . والثالث (Van de Merwe,1964) على دليل اللدونة ومحتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون. أما التصنيف الرابع بجانب إعتمادة على الخصائص الطبيعية من محتوى الطين الأقل من ٢ ميكرون ودليل اللدونة وحد الإنكماش فيأخذ كذلك فـى الإعتبار نسبة الإنتفاخ المقاس فى الإودوميتر بإستخدام العينة الواحدة (USBR, 1974 & Holtz and Kovacs,1981) . وبمقارنة نتائج التصنيفات الثلاثة التى تعتمد على الخصائص الطبيعية فقط كانت الفروق بينهم لاتكاد تذكر وتصنيف معظم العينات من حيث القابلية للإنتفاخ ومدى خطورتها من عالية إلى عالية جداً . كما توافق نتائج التصنيف الرابع إلى حد كبير مع نتائج التصنيفات الثلاثة السابق ذكرهم بعاليه .

١١-٧ طرق المعالجة والتأسيس

تنحصر فلسفة التعامل مع التربة القابلة للإنتفاخ والتأسيس عليها على المبادىء الآتية :-

أ) معالجة التربة أو استبدالها.

ب) التحكم فى رطوبة البيئة المحيطة للأساسات لعزل الماء عن طبقة التأسيس .

ج) تصميم المنشأ لتحقيق الجساءة المطلوبة لمقاومة الحركة أو فروق الحركة الناتجة من الإنتفاخ المتوقع .

د) نقل حمل المنشأ إلى طبقة أسفل التربة القابلة للإنتفاخ عن طريق استخدام الخوازيق أو الآبار .

يتم تطبيق احد الخيارات السابقة أو الجمع بين أكثر من طريقة السابق ذكرها طبقاً لدرجة خطورة التربة القابلة للإنتفاخ والناحية الإقتصادية للمشروع .

أ) معالجة التربة أو استبدالها

– إستبدال طبقة التربة القابلة للإنتفاخ السطحية كليةً بتربة حبيبية غير قابلة للإنتفاخ . أو يتم إستبدال جزء من التربة القابلة للإنتفاخ إذا كانت ممتدة إلى أعماق أكبر .

– معالجة التربة القابلة للإنتفاخ السطحية كيميائياً لتوفير طبقة للتأسيس لاتتأثر بالماء .

– عمق تربة الإحلال يعتمد على مقدار ضغط الإنتفاخ المتوقع وأظهرت بعض الدراسات أن إستبدال ١,٥ متر قد يكون مناسباً فى حالة التربة متوسطة القابلية للإنتفاخ وقد تصل تربة الإستبدال إلى ٦ متر وأكثر فى حالة التربة عالية القابلية للإنتفاخ .

– إمتداد تربة الإحلال افقياً حول المبنى يكون مساوياً لعمقها.

ب) التحكم فى رطوبة البيئة المحيطة

العمل على منع إنتقال أو تسرب المياه لأساسات المنشأ . وهذا يمكن تحقيقه عن طريق استخدام حواجز الماء الأفقية والرأسية ، مع توافر تصريف سطحى كافى وتركيب نظام تصريف تحت السطحى مناسب .

ج) التصميم الإنشائى

<u>الأساسات السطحية</u>

– التصميم الإنشائى للمبنى يكون بالجساءة الكافية لمقاومة الحركة عن طريق تصميم الأساسات والمنشأ كوحدة واحدة تتحمل جهد وفروق رفع التربة للمبنى .

– التصميم كمنشأ مرن لإمتصاص فروق الحركة لأعلى الناتج من الإنتفاخ .

وفى جميع الأحوال فإن استخدام وسادة أسفل الأساسات ضرورى حيث أنه يؤدى إلى تقليل فروق الحركة .

<u>الأساسات العميقة</u>

– نقل حمل المنشأ للطبقة غير القابلة للإنتفاخ بإستخدام الآبار أو الخوازيق موسعة النهايات .

– استخدام الآبار حيث يتم الحفر يدوياً للوصول إلى التربة غير القابلة للإنتفاخ .

– وفى حالة استخدام الخوازيق يراعى عزل الخازوق بالكامل عن التربة المحيطة ويتم ذلك بالتثقيب بدائرة أوسع من قطر الخازوق والصب داخل ماسورة محاطة بالرمل ثم سحب الماسورة .

وفى جميع الأحوال فإنه يجب عدم التأسيس مباشرة على التربة القابلة للإنتفاخ بل يجب أن يكون مصاحباً لذلك استخدام وسادة أسفل الأساسات والتحكم فى رطوبة البيئة المحيطة .

١١-٧-١ احتياطات خاصة بالتنفيذ

عمل رصف حول المبنى مع إمالته فى اتجاه بعيداً عن المبنى .

– أن تكون غرف التفتيش والجاليترابات على أساسات منفصله أو على كابولى وغير محمله على التربة القابلة للإنتفاخ .

– عدم زراعة اشجار بالقرب من المبنى وإذا استلزم الأمر زراعتها فتكون على بعد لايقل عن ثلاثة أمتار خارج محيط المبنى .

١١-٨ الأبحاث المستقبلية المطلوبة

أكثر الطرق الفعالة لتصميم وتأسيس المبانى على تربة قابلة للإنتفاخ هو أن يتم إستبدال التربة بأخرى غير قابلة للإنتفاخ .

وبالرغم من ذلك فلا يوجد مواصفات أو دليل استرشادى لتحديد عمق وإمتداد تربة الإحلال والنوعيات المختلفة لهذه التربة التى يمكن استخدامها . لذلك فإن عمق وامتداد ونوعية تربة الإحلال يعتمد على التقدير والخبرة العملية .

ولهذا فإننا فى إحتياج إلى دراسات بحثية لإيجاد :-

١ – العمق الأمثل لإستبدال التربة القابله للإنتفاخ .

٢ – خصائص طبقة الإحلال مثل جساءتها ونفاذيتها .

١٢- عرض لبعض الحالات الدراسية لتصدعات مبانى بسبب التأسيس على تربة قابلة للإنتفاخ والعلاج المقترح

١٢-١ مقدمة

لقد تم فى هذه الدراسة عرض شامل لخصائص التربة القابلة للإنتفاخ وكيفية التعامل معها بدءاً من دراسة إستكشاف الموقع ، والإختبارات اللازم إجراءها لتوصيف وتصنيف التربة ، وتحديد مدى قابليتها للإنتفاخ وإنتهاءاً بطرق العلاج التى تشمل طرق التحكم فى المياه والإحتياطات اللازمة لمنع تسرب المياه للتربة القابلة للإنتفاخ ، وطرق المعالجة لتربة التأسيس سواء إستبدالها أو معالجتها بخلطها بالأسمنت أو الجير أو صب الحديد.

أما هذا الفصل فهو عبارة عن عرض ملخص لبعض الحالات الدراسية لتصدعات مبانى تم تأسيسها على تربة قابلة للإنتفاخ نتيجة أسباب مختلفة وأكثرها شيوعاً عدم القيام بدارسة المعلومات وإستكشاف شامل للموقع وعدم إجراء الإختبارات اللازمة بتصنيف التربة وتعيين مدى قابليتها للإنتفاخ ، وعدم الإهتمام أو عدم التنفيذ الفنى السليم لمنع تسرب المياه لتربة التأسيس من أى مصادر لمياه بالموقع مثل حمامات السباحة أو خزانات المياه الأرضية أو مواسير مياه الشرب أو الصرف الصحى.

حالة دراسية (١) : حالة تصدع لمبنى مستشفى فى أسوان

المرجع: حالة تصدع لمبنى مستشفى فى أسوان بمصر تم تأسيسه على تربة قابلة للإنتفاخ . المؤتمر الدولى الرابع لميكانيكا التربة وهندسة الأساسات بلندن – أغسطس ١٩٥٧.

الملخص:

توضح الدراسة حالة تصدع مستشفى فى أسوان تم تأسيسه على تربة قابلة للإنتفاخ.

- المبنى مكون من جزئين أحدهما ثلاثة أدوار والأخر دور واحد فقط.
- التصميم الإنشائى عبارة عن حوائط حاملة والسقف من الخرسانة المسلحة.
- تم البدء فى التنفيذ بحفر الأساسات فى أغسطس ١٩٤٩ وأنتهى العمل فى أكتوبر ١٩٥١ ولم يستخدم المبنى إلا فى أكتوبر ١٩٥٢.
- وفى مارس ١٩٥٣ بدأ ظهور الشروخ بالمبنى واستمرت فى الإتساع بمعدل سريع حتى اضطرت الجهات المسئولة إلى إخلاء المبنى فى ١٩٥٣.
- بالدراسة تبين أن تربة التأسيس عبارة عن طين وأن تكوين هذا الطين من معدن المنتمورويلونايت ذو القابلية العالية للإنتفاخ عند وصول المياه إليه.
- وبمعاينة الموقع تبين أن إنتفاخ التربة تحت الأساس حدث بسبب تسرب من خزان الصرف تحت الأرض وهذه الخزانات مصممة بحيث تحجز المواد الصلبة وتسمح بمرور المياه إلى التربة المحيطة.
- ولما كان الضغط على التربة من المبنى بسيط جداً بالنسبة لضغط الإنتفاخ فإن أساسات المبنى أرتفعت إلى أعلى وتسببت فى حدوث هذه التصدعات.

حالة دراسية (٢) : مصنع اسمنت بأسيوط

1st Geotechnical Engineering Conference, Cairo University, 1991

A CASE HISTORY OF FOUNDATION HEAVE AT A CEMENT PLANT

Khadiga I. Abdel-Ghani
Professor Building Research Center

Ossama Mazen
Professor Building Research Center

Abstraot A cement plant was constructed in an arid area near the city of Assiut. It was situated on the high land bordering the Nile Valley on the left side of the river.

The construction of the plant began in 1980 and went into production at the end of 1985. After less than one Year, heavings were observed at the foundations of the rotary cooler.

Investigation of the problem indicated that heave was caused by the swelling of expansive clays underlying the foundations of the rotary cooler. Two conditions of water infiltration were revealed.

As the availability of water to the foundation soil was the primary factor causing heave, water control measures were taken. Levelling records indicated that remedial measures proved effective.

تم انشاء مصنع اسمنت في منطقة قاحلة قرب مدينة اسيوط. يقع المصنع على المرتفعات المطلة على وادي النيل وعلى الجانب الأيسر من النهر.

بدأ بناء المصنع في عام ١٩٨٠ ودخل حيز الإنتاج في نهاية عام ١٩٨٥. وبعد أقل من عام ، لوحظ ارتفاع أساسات المبرد الدوار.

تبين من فحص المشكلة إلى أن سبب هذا الارتفاع هو انتفاخ الطين تحت أساس المبرد الدوار. بالدراسة تبين وجود سببين لتسرب المياه.

نظرًا لأن وصول المياه إلي تربة الأساس كان العامل الأساسي الذي تسبب في انتفاخ التربة، فقد تم اتخاذ تدابير للتحكم في المياه. أشارت سجلات قياس المناسيب إلى أن التدابير العلاجية أثبتت فعاليتها.

حالة دراسية (٣) : دراسة الخصائص النموذجية لتربة تحت الأساس الإنتفاخية مع استخدام وسادة ومواد النسيج الأرضي

- Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (2013)

STUDY OF TYPICAL CHARACTERISTICS OF EXPANSIVE SUBGRADE WITH GEOTEXTILES AND CUSHION MATERIALS

Vaishali S. Gor
Geotechnical Engineer
Mott Macdonald Pvt. Ltd.

L. S. Thakur
Assitant Professor ITM
Universe, Baroda

Dr. K.R. Biyani
Retd. Professor
M. S. University, Baroda

ABSTRACT

Well-built and maintained roads play a major role in the development of a nation. Hence considerable attention is required towards the widening of roads, their stability and periodic repair works. Since the beginning of modern highways, engineers have strived continuously to produce better pavement at lower cost. Most state highways in the central part of India have problems of foundation due to presence of expansive soil i.e. black cotton soil. For the improvement of such problematic soil, conventional technique of soil stabilization, use of cushion, use of moisture barriers, etc. has been adopted.

The main objective of the research work was to study the typical characteristic of expansive soil and to control the swelling of expansive soil below flexible pavements. To achieve this aim work has been carried out with reinforcing geotextile overlain with cushion material. Effect of cushion material on swelling of expansive soil has been investigated along with the ability of geotextiles in locked and unlocked condition with cushion material was scrutinized. Better cushioning due to use of flyash can be attributed to pozzolanic activity forming stable compounds. It is observed that the use of flyash as cushion material provides better swelling control as compared to quarry dust. Unlocked geotextiles did not prove as effective as locked textiles with the use of either of the cushion materials. The unlocked textiles proved advantageous with quarry dust but did not prove as advantageous as only flyash. The most important two functions of geotextiles

namely separating and reinforcement have been most effectively used in the locked condition.

The study was further extended to stabilize the expansive soil with metakaolin. Swell pressure test and UCS results on samples treated using 1% metakaolin provided its effectiveness in controlling the swelling characteristics of expansive soil as well as strength improvement.

تلعب الطرق جيدة البناء والصيانة دورًا رئيسيًا في تنمية الأمة. ومن ثم فإن هناك حاجة إلى اهتمام كبير بتوسيع الطرق واستقرارها وأعمال الإصلاح الدورية. منذ بداية الطرق السريعة الحديثة ، سعى المهندسون باستمرار لإنتاج رصف أفضل بتكلفة أقل. تواجه معظم الطرق السريعة بالولاية في الجزء الأوسط من الهند مشاكل في الأساس بسبب وجود تربة إنتفاخية مثل تربة القطن السوداء. لتحسين مثل هذه التربة ذات المشاكل ، تم اعتماد التقنية التقليدية لتثبيت التربة ، واستخدام الوسادة ، واستخدام حواجز الرطوبة ، وما إلى ذلك.

كان الهدف الرئيسي من العمل البحثي هو دراسة الخصائص النموذجية للتربة الإنتفاخية والتحكم في انتفاخ التربة الممتدة تحت الأرصفة المرنة لتحقيق هذا الهدف ، تم تنفيذ عمل تكسية أرضية مقواة مغطاة بوسادة. تم التحقيق في تأثير مادة الوسادة على انتفاخ التربة الممتدة مع فحص قدرة مواد التكسية الأرضية. يمكن أن يعزى التوسيد الأفضل الناتج عن استخدام الفلاي اش إلى النشاط البوزولاني الذي يشكل مركبات مستقرة. من الملاحظ أن استخدام الفلاي اش كمواد وسادة يوفر تحكمًا أفضل في إنتفاخ التربة مقارنة بغبار المحجر. لم تثبت التكسية الأرضية فعاليتها مثل المنسوجات باستخدام أي من مواد الوسادة. أثبتت المنسوجات أنها مفيدة مع غبار المحجر. تم استخدام أهم وظيفتين من مواد التكسية الأرضية وهما الفصل والتسليح بشكل أكثر فاعلية.

تم تمديد الدراسة بشكل أكبر لتثبيت التربة القابلة للإنتفاخ بالميتاكولين. أظهر اختبار ضغط الانتفاخ ونتائج UCSعلى العينات المعالجة باستخدام ١٪ ميتاكولين فعاليته في التحكم في خصائص الانتفاخ للتربة القابلة للإنتفاخ وكذلك تحسين القوة.

حالة دراسية (٤) : تقييم طرق المعالجة المستخدمة في البناء على التربة الإنتفاخية في مصر

- Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (2013)

Evaluation of Treatment Methods Used for Construction on Expansive Soils in Egypt

Ahmed. M. Farid
Housing and Building National Research Center (HBRC), Egypt

Ihab.A. Hamid
Research Engineer, Riyadh, KSA

ABSTRACT

The soil formation in the arid area is sometimes an expansive problematic soil. Due to the lake of the construction experience on this problematic soil, many defects are appeared in the new buildings established in these arid areas. In this paper, a focusing on the treatment method using soil replacement for expansive soil formation. In the other hand, some case studies were illustrated to show the different types of problems appeared due to the different construction methods used. Finally, a conclusion about how to overcome these defects happened due to this treatment method for this problematic soil is mentioned. Some recommendations are given to civil engineers to be taken into consideration during establishing any constructions on this problematic soil.

في المناطق القاحلة وفي بعض الأحيان يكون تكوين التربة عبارة عن تربة ذات مشاكل . ولنقص الخبرات للبناء على هذه التربة ذات المشاكل ،فقد ظهرت العديد من العيوب في المباني الجديدة التي أقيمت في هذه المناطق القاحلة. وفي هذا البحث ، تم التركيز على طريقة المعالجة باستخدام استبدال التربة لمعالجة التربة الإنتفاخية . من ناحية أخرى ، تم بيان بعض دراسات الحالة لإظهار أنواع مختلفة من المشاكل التي ظهرت بسبب طرق البناء المختلفة المستخدمة. أخيرًا ، تم التوصل لاستنتاج حول كيفية التغلب على هذه العيوب بسبب طريقة العلاج هذه لهذه التربة الإنتفاخية. وتم تقديم بعض التوصيات للمهندسين المدنيين لأخذها في الاعتبار عند إنشاء أي إنشاءات على هذه التربة ذات المشاكل.

حالة دراسية (٥) : فيلا سكنية بمدينة العبور

المرجع : الأسباب الجيوتكنيكية لتصدعات المبانى وكيفية العمل على تفاديها (مشروع بحثى معهد بحوث ميكانيكا التربة والهندسة الجيوتكنيكية بالإشتراك مع معهد بحوث المنشأت الخرسانية ومعهد بحوث الإنشاءات والمنشأت المعدنية بالمركز القومى لبحوث الإسكان والبناء – سبتمبر ٢٠٠٩).

١- وصف الموقع

الموقع عبارة عن أرض صحراوية مساحتها حوالى ٣٣ ألف متر مربع يتم زراعتها، ومبنى على جزء منها فيلا سكنية بمساحة حوالى ٣٥٠ متر مربع ملحق بها حمام سباحة.

٢- وصف المنشأ

المنشأ عبارة عن فيلا سكنية مبنية بالأسلوب الهيكلى من الخرسانة المسلحة تتكون من دور أرضى ، دور أول ، غرف سطح ، الأسقف تتكون من بلاطات خرسانية مفرغة Hollow Blocks ، والأساسات عبارة عن قواعد منفصلة من الخرسانة المسلحة ترتكز على قواعد منفصلة من الخرسانة العادية تعلو طبقة إحلال من الرمل بسمك حوالى ٥٠ سم.

٣- الدراسات التى تم تنفيذها قبل الإنشاء

تم عمل تقرير أبحاث تربة فى سبتمبر ٢٠١١ وتم عمل الجسات بأسلوب الحفر الميكانيكى ، وأظهرت أن تتابع طبقات التربة بالموقع يتكون من:

- من سطح الأرض وحتى عمق حوالى ٤,٠٠ متراً طبقة من الطين الرمادى يليها طبقة من الطين البنى حتى عمق ١٠,٠٠ متراً يليها طبقات متبادلة من الطين الطميى به بعض الرمل ، والرمل الطميى حتى عمق ١٨,٠٠ متراً.
- ظهرت طبقات الرمل النظيف به بعض الزلط الرفيع من عمق حوالى ١٨,٠٠ متر وحتى عمق ٤٠,٠٠ متراً.

أوصى التقرير بعمل تربة إحلال من الرمل النظيف بسمك ١,٠٠ متر ، والتأسيس بإستخدام قواعد منفصلة من الخرسانة العادية والمسلحة.

وقد أفاد تقرير استكشاف الموقع الذى تم عمله بعدم وجود مياه حتى عمق ١٠ متر (عمق تنفيذ الجسات).

٤ – معاينة المبنى

تم معاينة المبنى بعد الإنتهاء من أعمال الإنشاء وقبل الإنتهاء من أعمال التشطيب النهائى ، وقد تلاحظ الاتى:

- يوجد شروخ مائلة قطرية بالحوائط الخارجية والداخلية للمبنى وتتركز حول الحمامات.
- تتابع ظهور الشروخ مع كل زيارة وإزدياد إتساع الشروخ القديمة.
- وجود ميل واضح فى حمام السباحة.
- مواسير التغذية لحمام السباحة جزء منها مدفون بالأرض والأخر مدفون بطول قاعدة الخزان الخرسانية.
- يوجد خزان صرف صحى يبعد عن المبنى بحوالى ٢٠,٠٠ متر من الحجر الجيرى بدون مونة لاحمة.
- يوجد خزان مياه لأعمال الرى يبعد عن المبنى بحوالى ٤٠متر.

٥- الإستكشافات لتحديد أسباب المشكلة

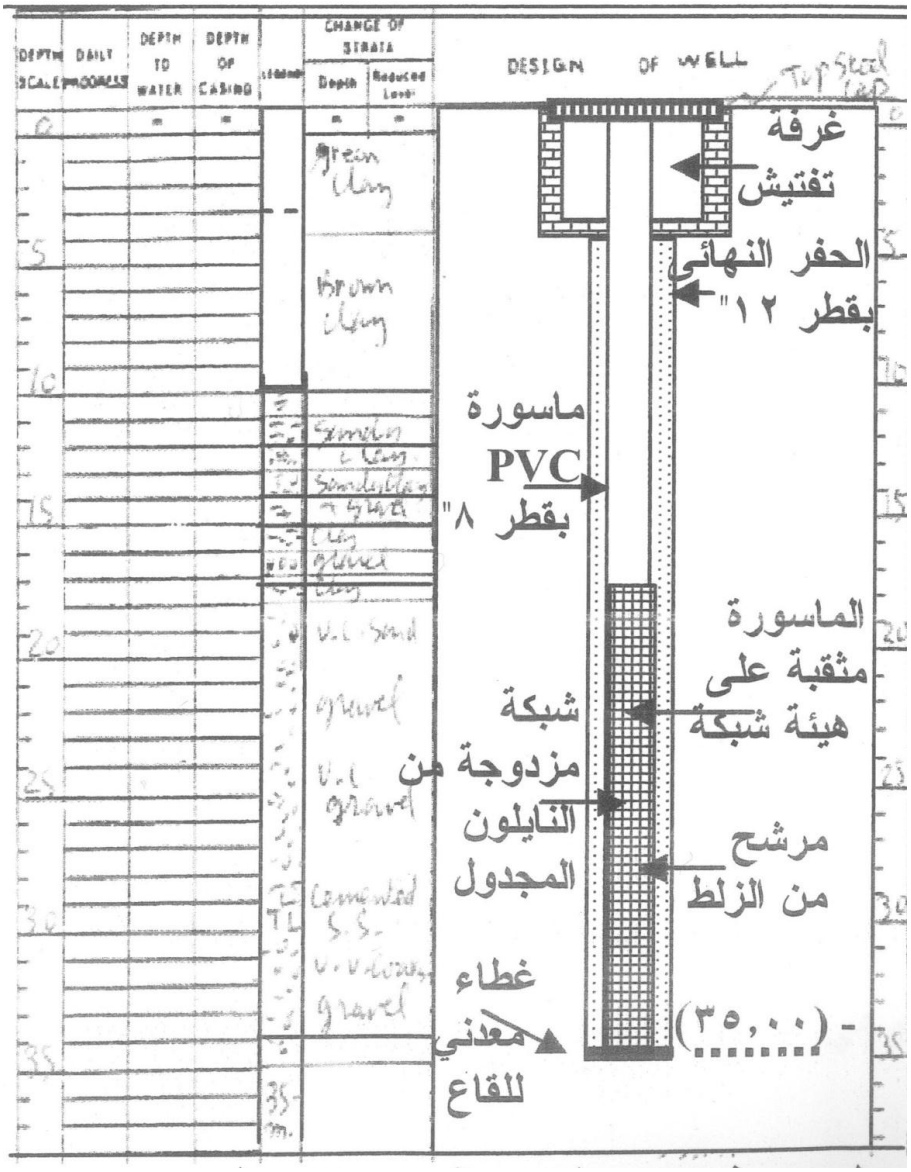
- تم عمل حفر إستكشافية حول الأساسات وتربة الإحلال ، وتبين أن سمك تربة الإحلال حوالى ٠,٥٠ متر فقط ، أبعاد القواعد العادية والمسلحة أقل من اللوحات التصميمية.
- تم عمل حفر إستكشافية على أبعاد مختلفة من الفيلا ، وتبين وجود منسوب للمياه يختلف من مكان لأخر.
- تم عمل جسة بعمق حوالى ٢٠,٠٠ متر.
- تم تثبيت بؤج جبسية ووحدات لقياس إتساع الشروخ.
- الكشف على جميع غرف التفتيش ووصلات التغذية والصرف حول المبنى.
- تم عمل آبار عميقة لدراسة حركة المياه فى الموقع.

٦- أسباب المشكلة

- لم يتم تنفيذ توصيات التأسيس كاملة.
- توصيات التأسيس غير كافية لهذا التتابع الطبقى من التربة.
- لم يتم عمل الإختبارات الكافية لتحديد خصائص التربة بالموقع.
- تم ترحيل المبنى حوالى ١٠,٠٠ متر بعد تنفيذ الجسات.
- وجود تسريب بغرف التفتيش.
- عمل خزان الصرف بأسلوب خاطئ مما يجعل تصرف المياه أفقياً وليس رأسياً.
- السبب الجوهرى للمشكلة ينحصر فى وجود طبقات من التربة الغير منفذة (نفاذيتها ضعيفة) ولها قابلية عالية للإنتفاخ مع وجود طبقات رفيعة من الرمل مما سهل حركة المياه حول هذه الطبقات فأصبح حركة المياه المتسربة أساساً من خزان الرى وحمام السباحة وخزان الصرف تتحرك أفقياً فى إتجاه المبنى وليس رأسياً.

٧- علاج المشكلة

- تم تغيير جميع غرف التفتيش والجاليترابات وعملها بشكل يمنع التسرب.
- تم تغيير جميع وصلات التغذية والصرف حول المبنى وجعلها داخل ترنشات بشكل يسهل الوصول إليها فى حالة وجود أى تسريب.
- تم تغيير غرف الطلمبات الخاصة بحمام السباحة ومراجعة جميع الوصلات.
- تم عمل ترنشات معزولة حولى المبنى Cut Off بحيث يدخل حوالى ٠,٥٠ متر فى طبقة الصماء على عمق حوالى ٤,٥٠ متر.
- تم تنفيذ عدد ٣ آبار عميقة بقطر ١٢ بوصة حول الفيلا لتصل إلى طبقة زلطية على عمق حوالى ٣٥,٠٠ متر لتصريف أى مياه سطحية حول الفيلا.



شكل يوضح قطاع طولي في نموذج للابار العميقة التي تم تنفيذها لعمق ٣٥ متر

حالة دراسية (٦) : المدرسة الثانوية الفنية لمياه الشرب والصرف الصحى الحى الثانى – مدينة العبور

المرجع : الأسباب الجيوتكنيكية لتصدعات المبانى وكيفية العمل على تفاديها (مشروع بحثى معهد بحوث ميكانيكا التربة والهندسة الجيوتكنيكية بالإشتراك مع معهد بحوث المنشأت الخرسانية ومعهد بحوث الإنشاءات والمنشأت المعدنية بالمركز القومى لبحوث الإسكان والبناء – سبتمبر ٢٠٠٩).

١- وصف مبانى المدرسة

مجموعة المبانى التى تتكون منها المدرسة هى:

١- مبنى الورش وهو مبنى دور أرضى واحد من الخرسانة المسلحة وأساساته سطحية من القواعد الشريطية.

٢- مبنى الفصول وهو مبنى مكون من دور أرضى وعدد ٢ دور متكرر وهو من الخرسانة المسلحة وأساساته شريطية.

٣- مبنى المطعم ومبنى الإدارة ومبنى الصالة متعددة الأغراض وهى مبانى عبارة عن دور أرضى واحد وذات أساسات سطحية شريطية.

٤- مبنى المصلى وهو دور أرضى واحد.

٢- معاينة المبانى

٢-١ مبنى الفصول

المبنى القائم يتكون من دور أرضى وعدد ٢ دور علوى متكرر وتم إنشاؤه بالأسلوب الهيلكى من الخرسانة المسلحة وهو مكون من أسقف بنظام البلاطات المصمته والكمرات ، ومن المعاينة تبين وجود شروخ رأسية وأفقية فى الحوائط عند مناطق إتصالها بالهيكل الخرسانى ، وكذلك وجود شروخ مائلة إلى أفقية نافذة فى بعض الحجرات بالدور الأرضى يمين السلم ، وكذلك سوء حالة فواصل التمدد الرأسية والأفقية ، ووجود صدأ بحديد تسليح الأساسات عند إتصالها بالأعمدة.

ومن رصد الميول والحركة للمبنى تبين وجود ميل فى المبنى مع رصد حركة رأسية لأعلى فى خلال فترة المعاينة وبالتالى وجود خطورة مستقبلية مع إستخدام المبنى وخصوصاً أنه لم يتم إستخدامه حتى تاريخ زيارة اللجنة.

٢-٢ مبنى الإدارة والصالة متعددة الأغراض والورش والمصلى

المبانى عبارة عن دور أرضى واحد وهى منشأة بالأسلوب الهيكلى من الخرسانة المسلحة والأساسات شريطية وكانت العيوب كما يلى:

- وجود شروخ مائلة وكذلك شروخ رأسية وأفقية فى الحوائط، وكذلك سوء حالة فواصل التمدد مع وجود إتساع ببعض فواصل التمدد وخصوصاً بمبنى الورش.
- ظهور صدأ بأسياخ تسليح الأعمدة فى أماكن إتصالها بالأساسات فى الأماكن التى تم الكشف عنها.

٣- وصف التتابع الطبقى للتربة بموقع مبانى المدرسة

٣-١ مبانى الفصول

تتكون التربة فى موقع مبانى الفصول كالآتى:

- من سطح الأرض وحتى عمق يتراوح ما بين ٢,٥ متراً و ٤,٧ متراً تتكون التربة من قطع من كسر الحجر الجيرى مع أثار زلط رفيع مختلطة بطبقة من الطين الطميى الجيرى.
- تظهر بعد ذلك طبقة من الرمل الناعم الطميى وبعض الطين حتى عمق يتراوح من ٥,٥ إلى ٦,٥ متراً.
- تتنهى الطبقات السابقة بطبقة من الطين الطميى حتى عمق ٢٠,٠٠ متراً.

٣-٢ المبنى الإدارى

تتكون التربة فى موقع المبنى الإدارى من قطع من كسر الحجر الجيرى مع آثار من الطين الطمى الجيرى والرمل وتجمعات زلط رفيع من سطح الأرض حتى عمق يصل إلى ٤,٧ متراً وتظهر بعد ذلك طبقة من الطين الطميى حتى عمق يصل إلى ٥,٥ متراً وتنتهى الطبقات بطبقة من الرمل الناعم الطميى وجيوب من الرمل حتى عمق ١٥ متراً.

٣-٣ مبنى الورش

تتكون التربة فى موقع مبنى الورش من قطع كسر الحجر الجيرى مع آثار زلط رفيع مختلفة بطبقة من الطين الطمى الجيرى من سطح الأرض حتى عمق يترواح ما بين ٢.٠ متراً إلى ٣.٠ متراً ، وتظهر بعد ذلك طبقة الطين الطميى الجيرى حتى عمق يترواح من ٨,٠ متراً إلى ١٠,٠ متراً ، ويلى هذه الطبقات طبقة من الرمل الناعم الطميى وآثار طين حتى عمق ١٢ متراً ، وتنتهى الطبقات بطبقة من الرمل الحرش حتى عمق ١٥ متراً.

٣-٤ مبانى الصالة متعددة الأغراض

تتكون التربة فى موقع الصالة من قطع من كسر الحجر الجيرى مع آثار زلط رفيع مختلطة بطبقةمن الطين الطمى الجيرى من سطح الأرض حتى عمق حوالى ٥,٠٠ متراً ، وتظهر بعد ذلك طبقة من الطين

الطميى حتى عمق حوالى ٨,٠٠ متراً يتخللها طبقة طمى رملى ثم تظهر طبقة من قطع كسر الحجر الجيرى مع تداخلات من الطين الطمى شديد التماسك حتى نهاية التثقيب عند ١٠ متراً.

٣-٥ مبنى المصلى

تتكون التربة فى موقع مبنى المصلى من قطع كسر الحجر الجيرى مع آثار زلط رفيع من سطح الأرض حتى عمق ٤ متراً ، وتظهر بعد ذلك طبقة من الطين الطميى حتة نهاية التثقيب عند ١٠ متراً.

٤- دراسات التربة التى تم إجراؤها قبل الإنشاء

- تم عمل دراسات للتربة بمعرفة مكتب إستشارى فى عام ١٩٩٠ وأوصى بعدم البناء فى هذا الموقع ، وفى حالة الإصرار على البناء بهذا الموقع فإنه يتم الحفر بكامل الموقع لعمق ٢,٥٠ متر وعمل طبقة إحلال بسمك ١,٢٥ متر من الرمل.
- وفى عام ١٩٩١ تم تعديل التوصية من نفس الإستشارى بعمل تربة إحلال فقط لجزء من مبنى الورش فقط وبقية المبانى تم التأسيس عليها بدون تربة إحلال.

٥- الإختبارات والدراسات التى تمت لتحليل أساب المشكلة

للوقوف على مدى السلامة الإنشائية للمبنى تم عمل ما يلى:

- تقرير فنى عن أبحاث التربة والأساسات: ويشمل الإختبارات الحقلية والمعملية اللازمة لتحديد خصائص التربة حيث تم تحديد طبيعة التربة بالموقع حتى منسوب ١٥,٠٠ متر أسفل منسوب الأرض الطبيعية بالموقع.
- إختبارات تقدير مقاومة الخرسانة: تم إجراء إختبارات القلب الخرسانى على بعض العناصر الإنشائية التى تم إختيارها عشوائياً من بعض مبانى المدرسة (مبى الفصول ومبنى الورش) حيث تم تقدير مقاومة الضغط للخرسانة المنفذة للأساسات بمتوسط حوالى ١٨٥ كجم/سم^{٢} وحوالى ٢٠٠ كجم/سم^{٢} لخرسانة الأعمدة ، وهى قيمة أقل من المطلوب باللوحات التنفيذية وهى ٢٥٠ كجم/سم^{٢}.
- أعمال رصد الميول والحركة: تم عمل ٨ نقاط لرصد الميل والحركة الرأسية لمبانى الفصول وتم تثبيتها أعلى المبانى ومنها تبين أن مبنى الفصول يحدث له حركة لأعلى (إنتفاخ للتربة) وذلك بالرغم من عدم إستخدام المبنى وبالتالى توجد خطورة مستقبلية فى حالة وصول المياه للتربة أسفل المبانى وخصوصاً لعدم وجود تربة إحلال أسفل المبنى.

٦- أسباب المشكلة

تبين أن العيوب بتلك المبانى كانت بسبب:

عدم إستخدام الأسلوب الهندسى المناسب للتأسيس على التربة الصحراوية ذات القابلية للإنتفاخ مما أدى لحدوث الحركة الموجودة بالمبانى والتى تظهر من الشروخ بالمبانى.

٧- طريقة العلاج المقترحة

تم إقتراح ما يلى:

٧-١ مبانى الإدارة والمصلى والمطعم والورش

- ترميم الحوائط المعيبة مع عمل حوائط خرسانية وخصوصاً لمبنى الورش فى الأماكن التى ليس بها فتحات لتقليل الحركة فى المستقبل.
- ترميم القواعد والأساسات التى بها عيوب سواء من صدأ حديد التسليح أو التى تحتاج إلى ترميم.
- إعادة إصلاح فواصل التمدد بالإسلوب الهندسى السليم.
- منع وصول المياه إلى التربة تحت الأساسات وذلك عن طريق عمل وصلات تغذية المياه والصرف الصحى فى خنادق خرسانية مع إستخدام الوصلات المرنة وعمل أرصفة حول المبانى بميول لإبعاد مياه الأمطار وخلافه عن الأساسات والتربة أسفل المبنى.
- إبعاد الزراعة عن المبانى بمسافة كبيرة مع عدم إستخدام الرى بالغمر.

٧-٢ مبانى الفصول

تبين من المعاينة أن مبانى الفصول بها حركة وهناك ميول بالمبانى وأن التربة أسفل الأساسات طينية قابلة للإنتفاخ متغيرة العمق والسمك ولم يتم وضع تربة إحلال مناسبة تحت الأساسات أو معالجة التربة بالأسلوب الهندسى المناسب ، وبالتالى فإن إسلوب الإصلاح فى هذه الحالة سيكون إسلوب عديم الجدوى لكون الحركة مستمرة وستستمر مستقبلاً ، وبالتالى فإن اللجنة أوصت بإزالة مبانى الفصول لعدم جدوى الإصلاح.

٨- التكلفة الإقتصادية للإصلاحات ومقارنتها بالتكلفة الكلية للإنشاء من جديد

١- بالنسبة لمبانى الإدارة والورش والصالة متعددة الأغراض والمصلى والتى تحتاج إلى إصلاحات وترميم تصل إلى حوالى ٢٥% من تكلفة الإنشاء.

٢- بينما فى حالة مبانى الفصول فإن تكاليف الإصلاح ستكون عالية وأنها إصلاحات وقتية لأن الحركة لازلت مستمرة وستزيد العيوب مرة أخرى بعد إستخدام المبنى وبالتالى ستكون الإزالة وإعادة البناء لهذه المبانى من الأفضل حيث أن الإصلاحات ستزيد عن تكلفة الإنشاء من جديد.

حالة دراسية (٧): مشـــروع ستـــون رزيدنـس – قطعة (٤) القطامية – القاهرة الجديدة – محافظة القاهرة

١: المعاينة

- يتكون المشروع من عمارات سكنية (٤٦٢) عمارة بالإضافة إلى مول تجاري والعديد من البحيرات الصناعية وحمامات السباحة .
- تتكون كل عمارة من أرضي + ثلاثة أدوار متكررة + غرف سطح ، تم إنشاؤها بنظام إنشائي هياكل خرسانية (أعمدة وكمرات وبلاطات مسلحة) ، والأساسات عبارة عن قواعد شريطية ذات العصب على شكل حرف T مقلوب.
- البحيرات الصناعية وحمامات السباحة مملوءة بالمياه ، وتلاحظ وجود تسريب للمياه من أحد حمامات السباحة.
- تلاحظ وجود شروخ ببعض العمارات ، بعضها شروخ شعرية بسيطة (حوالي ١.٠مم) سواء كانت أفقية أو قطرية ، وأخري شروخ خطيرة يصل اتساعها إلى ١٠مم أو أكثر. كما تلاحظ أن هناك شروخ ترمز إلى حركة المبني من أسفل إلى أعلي.
- كما تلاحظ أيضاً وجود حركة في بعض العمارات المتجاورة ، ظهر ذلك في اتساع الفاصل بينهما.
- تلاحظ أيضاً وجود هبوط في الأرضيات وفي تربة ردم التراس ، وحركة وشروخ في حوائط سند الردم بالتراس لبعض العمارات ، وانتفاخ فى الأرضية المجاورة لأحد حمامات السباحة.

٢: دراسة الموقع

– **طوبوغرافية سطح الأرض:** بدراسة مناسيب سطح الأرض الطبيعية للموقع قبل التنفيذ تلاحظ أن الموقع كان به فروق مناسيب تصل إلى حوالي ٢٠.٠م (مساحة الموقع حوالي ١٣٢ فدان) ، لذا في بعض العمارات وصل سمك الاحلال إلى ٤.٠م لرفع منسوب التأسيس.

كما أن فروق منسوب سطح الأرض الحالي حول العمارات يصل إلى ١٠.٠م بكامل مسطح الموقع ، وأن سطح الأرض بالموقع به ميل يتجه من الشمال (ناحية عمارة ١٩٠) إلى الجنوب.

– **طبيعة التربة وتوصيات التأسيس:** من خلال تقارير أبحاث التربة للمشروع تعتبر الطفلة الطينية الانتفاشية هى الطبقات المكونة لمعظم التركيب الطبقي بالموقع ، مع اختلاف في سمك وعمق هذه الطبقات بالنسبة لسطح الأرض الطبيعية. لذلك كانت توصيات التأسيس توجب تنفيذ طبقات إحلال بسمك لا يقل عن ٢.٠م ، كما تم تنفيذ الأساسات الشريطية ذات العصب على شكل حرف T مقلوب.

– **أعمال الرصد المساحي:** تم رصد بعض العمارات لمعرفة طبيعة حركة العمارات (هبوط أو انتفاخ)، وقد تمت أعمال الرصد خلال الفترة من ٢٠٢١/٢/٢٠ إلى ٢٠٢٢/١/١٧ . وقد بينت نتائج الرصد أن هناك

حركة إلى أعلي ناتجة عن انتفاش التربة في تلك العمارات ، وهذه الحركة مازالت مستمرة في بعض العمارات حتى نهاية أعمال الرصد.

– **أعمال البيزومترات:** تم تنفيذ عدد (١٣) بيزومتر موزعة على كامل مسطح الموقع لتحديد منسوب المياه الأرضية ومعرفة مصدر وحركة المياه الأرضية. وقد تم تنفيذ هذه البيزومترات خلال شهر ٢٠٢١/١٠. وتم رصد مناسيب المياه بالبيزومترات بمعرفة الشركة طالبة التقرير في الفترة من ٢٠٢١/١١/٧ إلى ٢٠٢٢/١/٣٠ .

وبدراسة نتائج البيزومترات يتضح الآتى:

– المياه الأرضية موجودة بالموقع على مناسيب مختلفة وذلك تبعاً لطوبوغرافية الموقع وطبيعة التربة. وقد حدث انخفاض في مناسيب المياه بالبيزومترات (ماعدا بيزومتر رقم ٥ ، ٩) بقيم تتراوح من ٠,٢٣م إلى ٣,٠٨م وذلك في الفترة من ٢٠٢١/١١/٧ إلى ٢٠٢٢/١/٣٠.

– وجود المياه الأرضية فوق منسوب قاع الحفر لنصف العمارات تقريباً ، وأسفل منسوب قاع الحفر للنصف الآخر من العمارات.

– تعتبر الطفلة الطينية الانتفاشية هى الطبقات المكونة لمعظم التركيب الطبقي بالموقع ، مع اختلاف في سمك وعمق هذه الطبقات بالنسبة لسطح الأرض الطبيعية.

٣: أسباب ظهور المياه الأرضية

من خلال دراسة مناسيب سطح الأرض بالموقع ، ومناسيب الأرض للأماكن المجاورة ، ومناسيب المياه بالبيزومترات وكذلك المياه السطحية بالبحيرات الصناعية وحمامات السباحة ، وأيضاً المساحات الخضراء بالموقع ، يتبين أن السبب الأساسي لظهور المياه الأرضية بالموقع هو تسرب المياه السطحية من مصادرها داخل الموقع (مثل البحيرات الصناعية وحمامات السباحة وري المساحات الخضراء) وكذلك لتسرب المياه السطحية من الأماكن المجاورة للموقع.

٤: أسباب ظهور المشاكل ببعض العمارات

تعتبر الطفلة الطينية الانتفاشية ذات حساسية عالية للمياه وذات شراهة عالية لامتصاصها ، ويظهر ذلك في اختبار الانتفاخ الحر (في تقارير أبحاث التربة) الذي وصلت قيمته في هذا الموقع إلى ١٠٠% أو أكثر. وقد ورد في كود التربة والأساسات – الجزء الخامس أن الطفلة الطينية الانتفاشية من أخطر أنواع التربة ذات المشاكل على المنشآت المختلفة ، ولذلك أوصي الكود بضرورة عمل الاحتياطات اللازمة لمنع أو التقليل بقدر المستطاع من وصول المياه إليها أسفل الأساسات.

لذلك فإن السبب الرئيسي لظهور المشاكل في بعض العمارات هو وصول المياه إلى الطفلة أسفل الأساسات. كما أن هناك أسباب ثانوية أدت إلى ظهور مشاكل في الأرضيات مثلاً أو في تربة الردم للتراس الخلفي لبعض

العمارات ، ألا وهي عدم دمك تربة الإحلال أسفل الأرضيات أو تربة الردم بالتراس أو عدم التصميم و/ أو التنفيذ السليم للحوائط الساندة لردميات تربة التراس.

٤: الخلاصة والتوصيات

مما تقدم وبناء على نتائج الدراسة والمعاينة الظاهرية وبالرجوع إلى طرق معالجة التربة الانتفاشية المنصوص عليها فى الكود المصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات – الجزء الخامس ، ونظراً لانتهاء تنفيذ الأعمال الإنشائية بالمشروع فإن طريقة معالجة المشكلة الموجودة بهذا الموقع سوف ترتكز على ثلاثة محاور رئيسية وذلك كما يلى:

المحور الأول: التوصيات الخاصة بمنع وصول المياه إلى التربة الانتفاشية فى العمارات التى لم تصل إليها المياه

١. ضرورة الكشف على البحيرات الصناعية وحمامات السباحة وشبكات الصرف الصحي ومياه الشرب والتأكد من عدم تسريبها للمياه.
٢. عمل صرف زراعى حول المناطق المزروعة لجميع العمارات بالموقع على عمق ١,٠م من منسوب الرصيف. ويتم تنفيذ حواجز أفقية لمنع وصول المياه السطحية من الأمطار أو الري إلى التربة ، وذلك بعمل طبقة عزل أسفل الأرصفة المحيطة بجميع العمارات وكذلك أسفل التراسات الخلفية.
٣. عمل مصارف تحت السطحية للمياه بعمق ١,٠م أسفل منسوب قاع الحفر للعمارات التى بها طفلة ولم تصل فيها المياه إلى التربة الموجودة فى قاع الحفر بها.
٤. ويتم تنفيذ المصارف تحت السطحية للمياه المذكورة سابقاً حول المحيط الخارجى للبحيرات الصناعية وحمامات السباحة حتى عمق ١,٠م أسفل منسوب قاع البحيرات الصناعية وحمامات السباحة وذلك لمنع وصول المياه المتسربة منها إلى التربة المجاورة.

المحور الثانى : إصلاح الشروخ وتقوية المنشآت التى ظهرت بها شروخ

يتم الرجوع إلى الاستشارى الإنشائى للمشروع لعمل التوصيات الخاصة بإصلاح الشروخ وتقوية المنشآت التى ظهرت بها شروخ وذلك كما يلي:

- تقوية الحوائط بالدور الأرضى
- علاج الفواصل بين العناصر الخرسانية والمبانى
- علاج الشروخ المائلة بالحوائط وأسفل جلسات الشبابيك وأعلى الأعتاب
- إصلاح الفواصل بين العمارات

المحور الثالث : إصلاح العيوب الموجودة بالموقع بصفة عامة

– علاج الهبوط في ردم التراسات الخلفية والحركة فى الحوائط الساندة:

- يزال الردم ويعاد دمكه على طبقات بسمك ٢٥سم للطبقة الواحدة ، مع عمل طبقات العزل اللازمة.
- يعاد تصميم الحوائط الساندة التى حدثت بها حركة وشروخ طبقاً للأصول الهندسية.

- علاج الانتفاخ فى الأرضيات المحيطة بحمامات السباحة والبحيرات

- يزال الردم ويعاد دمكه على طبقات بسمك ٢٥سم مع وضع شبكة جيوجريد كل ٢٥سم.

حالة دراسية (٨) : تصميم ناجح لأساسات على تربة إنتفاخية لمصنع أسمدة كيميائية

Third International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (1993)

Successful Design of Expansive-Soil Foundation for a Large Modern Chemical Fertilizer Plant

H. B. Qian
4th Design Institute of the Chinese Department of Chemical Industry, Wuhan, China

SYNOPSIS

Various methods of foundation treatment had been adopted in the design of different parts of the plant according to it's particular needs respectively. The adopted methods include: selecting rational depth of foundation; increasing pressure on the base of foundation; replacement of soils; sand mat; pier foundation and large diameter cast-in-place piles. In addition to the foundation treatments, measures were also taken to prevent the infiltration of water and to protect the moisture of sub-soils. The super-structure were also designed to have a greater rigidity.

الخلاصة

تم اعتماد طرق مختلفة لمعالجة الأساسات في تصميم أجزاء مختلفة من المصنع كلا وفقًا لاحتياجاته الخاصة. تشمل الأساليب المعتمدة: اختيار العمق الأمثل للأساسات ؛ زيادة الضغط على قواعد الأساسات ؛ استبدال التربة ؛ حصيرة الرمل ؛ أساس رصيفي وخوازيق مصبوبة بقطر كبير. بالإضافة إلى علاجات الأساسات . تم أيضًا اتخاذ تدابير لمنع تسرب الماء وحماية الرطوبة في التربة التحتية. تم تصميم الهيكل الإنشائي أيضًا ليكون أكثر صلابة.

حالة دراسية (٩) : دراسة حالة عن منشأت مقامة على تربة إنتفاخية

Second International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (1988)

A Case Study of Success to Structures Founded on Expansive Soils

Zhang Shixuan
Guangdong Provincial Society for Rock Mechanics and Engineering of the People's Republic of China

SYNOPSIS

Since 1979, in accordance with the design program given by the author, no more than 3 storied buildings with an area of more than 200,000 square metres have been built in the expansive soil area of Guangxi Zhuang Autonomous Region and Guangdong Province in South China. The different measures have been adopted according to specification of light, medium and heavy expansive soil. Through the test of special weather and the deformation observation for 3 to 7 years, it has been proved that the intact rate of the buildings has reached 90-98 percent .

This paper mainly expounds three cases and has summed up very effective treatment methods from the practice.

الخلاصة

منذ عام ١٩٧٩ ، وفقًا لبرنامج التصميم الذي قدمه المؤلف ، لم يتم بناء أكثر من ٣ مبانٍ طوابق بمساحة تزيد عن ٢٠٠٠٠٠ متر مربع في منطقة التربة القابلة للإنتفاخ في منطقة Guangxi Zhuang ذاتية الحكم ومقاطعة Guangdong في جنوب الصين. تم اتخاذ الإجراءات المختلفة وفقًا لمواصفات التربة قليلة ومتوسطة وعالية القابلية للإنتفاخ. من خلال اختبار الطقس الخاص ومراقبة التشوه لمدة ٣ إلى ٧ سنوات ، تم إثبات أن المعدل السليم للمباني وصل إلى ٩٠-٩٨٪.

تشرح هذه الورقة بشكل أساسي ثلاث حالات ولخصت طرق العلاج الفعالة للغاية من هذه الممارسة.

مثال لتقرير أبحاث التربة لمبنى سيتم إنشاؤها على تربة قابلة للإنتفاخ (مشروع نزهة الأندلس عدد (٢٨) عمارة سكنية بالقطعة رقم (٤٥) – منطقة الجمعيات – قطاع الأندلس مدينة القاهرة الجديدة)

١: وصف المشروع

يتكون المشروع المزمع تنفيذه من عدد (٢٨) عمارة سكنية تتكون كل منها من بدروم + دور أرضي + خمسة أدوار متكررة، سيتم إنشاؤها باستخدام الهيكل الخرساني. وكذلك مول تجارى مكون من بدروم وأرضى ودورين علويين بالإضافة إلى البوابات وغرف الأمن والكهرباء والأسوار والطرق الداخلية.

٢: التركيب الطبقي للتربة فى الموقع

وبالرجوع إلى قطاع الجسات يتبين أن التربة بالموقع تتكون في العموم من الآتي:

- من سطح الأرض الطبيعية ظهرت طبقة ردم عبارة عن رمل بني ومواد ناعمة طمية جيرية وكسر حجر جيري ، هذه الطبقة امتدت إلى عمق يتراوح بين ٣.٠م إلى ٥.٠م أسفل سطح الأرض بالموقع.
- يليها طبقات متتابعة من طفلة طينية انتفاشية (طين طميي بني مصفر ورمادي مخضر – صلد) وحجر جيري بني فاتح مصفر أو كسر حجر جيري ، وامتدت هذه الطبقات حتى نهاية التثقيب .

وقطاعات الجسات تبين تفصيلياً التتابع الطبقي للتربة بالموقع.

٣ : توصيـات التأسيس

أ- العمارات والمول التجارى

نظراً لطبيعة التربة بالموقع والتى تتركب من طبقات من الردم تليها طبقات من الطفلة الانتفاشية والحجر ، فإن التأسيس في هذا الموقع يستلزم إزالة طبقات الردم ، ثم عمل الاحتياطات اللازمة للتأسيس على التربة الانتفاشية كما ورد في الكود المصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات – الجزء الخامس. ومن هذه الاحتياطات : استبدال التربة القابلة للانتفاش بتربة رملية أو رملية زلطية ، ومنع تسرب المياه إلى التربة ، وجعل الأحمال الإنشائية على الأساسات عالية لمعادلة أو تقليل ضغط الانتفاش المتوقع ، وتصميم المنشأ مع الأساسات كوحدة واحدة تتحمل حركة رفع التربة للمنشأ. وبناء على ذلك فإننا نوصى بما يلى:

١- يتم حفر مسطح كل عمارة والمول التجارى حتى عمق ٥.٥٠ م أسفل منسوب الصفر المعمارى ، ويجب معاينة قاع الحفر للتأكد من إزالة طبقات الردم بالكامل، وإذا تطلب الأمر يتم إجراء اختبارات لقياس معامل الانضغاط للتربة باستخدام اختبار التحميل باللوح الاستاتيكى (Static plat load test) بمعدل اختبار واحد لكل ٥٠٠م٢ ، ويراعى توسيع الحفر لمسافة ١,٥م خارج حدود الخرسانة العادية للأساسات.

٢- يتم حفر ترانش على المحيط الخارجى لقاع الحفر بعرض ٠,٥م وبعمق ١,٥م داخل التربة الطفلية ، ويعزل الترانش بطبقة عازلة من الممبرين أو البولى إيثيلين على حائط مبانى بسمك ١٢سم، ويتم ملء

هذا الترانش بمونة البنتونيت والأسمنت والرمل لعمل حواجز رأسية لمنع وصول المياه إلى التربة الطفلية ، ثم تستكمل الطبقة العازلة فوق منسوب قاع الحفر بمقدار سمك تربة الإحلال ، ويجب أن تكون الخلطة المستخدمة فى تنفيذ هذه الحواجز ذات نفاذية ضعيفة (فى حدود ١ x ١٠$^{-٦}$ م/ث) ، ويمكن الاسترشاد بالخلطة التالية لعمل متر مكعب من هذه المونة: ١٥٠كجم أسمنت+٢٠٠كجم بنتونيت+١٠٠٠كجم رمل+نسبة مياه إلى وزن الأسمنت فى حدود ٢,٠إلى ٣,٠ .

٣- يتم وضع طبقة عازلة من الممبرين أو البولى إيثيلين على سطح التربة عند قاع الحفر.

٤- يتم وضع تربة إحلال من الرمل المتدرج النظيف بسمك كلي ٢.٠م ، وتدمك بالهراس الهزاز على طبقات بسمك ٢٥ سم للوصول بكثافتها الجافة إلى ٩٥% من الكثافة الجافة القصوى المحددة من اختبار بروكتور المعدل. ويجب عمل اختبارات التحميل باللوح قطر ٥٠سم لكل ١,٠م من سمك تربة الإحلال.

٥- يتم وضع طبقة عازلة من الممبرين أو البولى إيثيلين فوق تربة الإحلال.

٦- تستخدم الأساسات السطحية المكونة من لبشة مسلحة ترتكز على فرشة نظافة من الخرسانة العادية بسمك ١٠ سم.

٧- إجهاد التأسيس المسموح به فوق سطح الإحلال والناتج عن أحمال المنشا ووزن الأساسات هو ١.٥٠كجم/سم٢.

٨- يجب أن تكون حوائط البدروم من الخرسانة المسلحة غير المنفذة للمياه ، مع استخدام موانع المياه Water Stop في جميع فواصل الإنشاء أو فواصل الصب ، كما يجب عزل حوائط البدروم بطبقة عازلة من الممبرين لمنع وصول المياه إلى البدروم.

ب- الأسوار

١- يتم الحفر للأسوار طولياً حتى عمق ٢,٥م أسفل منسوب الصفر المعمارى ، ويراعى توسيع الحفر لمسافة ٠,٧٥م خارج حدود الخرسانة العادية للأساسات.

٢- يتم غمر التربة بالماء ودكها بالهراس الهزاز.

٣- يتم وضع تربة إحلال من الرمل المتدرج بسمك كلي ١.٥م ، وتدمك بالهراس الهزاز على طبقات بسمك ٢٥ سم للوصول بكثافتها الجافة إلى ٩٥% من الكثافة الجافة القصوى المحددة من اختبار بروكتور المعدل.

٤- يتم التأسيس للأسوار باستخدام الأساسات الشريطية المسلحة ذات العصب المقلوب والمرتكزة على فرشة نظافة من الخرسانة العادية بسمك ١٠سم.

٥- يتم عمل فواصل التمدد في الأسوار طبقاً للمواصفات.

ج- الطرق الداخلية

١- يتم حفر الطرق حتي عمق ١.٥٠م أسفل منسوب سطح الأرض على طول مسار الطريق.

٢- يتم غمر التربة بالماء ودكها بالهراس الهزاز وفقاً لمواصفات الطرق.

٣- يتم وضع تربة إحلال (Sub-base) حتى منسوب طبقة الأساس للطريق ، وتتكون تربة الإحلال من الرمل المتدرج وتدمك على طبقات وفقاً للمواصفات.

٤- يتم وضع طبقة كسر الحجر (Base Coarse) بالسمك المناسب وفقاً إلى تصميم الطريق.

د- خطوط الصرف الصحى

١- يتم الحفر حتي عمق ١.٠٠م أسفل منسوب الراسم السفلى للمواسير.

٢- يتم غمر التربة بالماء ودكها بالهراس الهزاز وفقاً لمواصفات الطرق.

٣- يتم وضع تربة إحلال من الرمل المتدرج بسمك كلي ١.٠م ، وتدمك بالهراس الهزاز على طبقات بسمك ٢٥ سم للوصول بكثافتها الجافة إلى ٩٥% من الكثافة الجافة القصوى المحددة من اختبار بروكتور المعدل.

٤- يتم وضع المواسير داخل دكات من الخرسانة مع عزلها جيداً.

هـ - غرف التفتيش والمطابق

١- يتم حفر موقع كل مطبق أو غرفة حتى عمق ١.٠٠م أسفل منسوب التأسيس التصميمى.

٢- يتم غمر التربة بالماء ودكها بالهراس الهزاز وفقاً لمواصفات الطرق.

٣- يتم وضع تربة إحلال من الرمل المتدرج بسمك كلي ١.٠م ، وتدمك بالهراس الهزاز على طبقات بسمك ٢٥ سم للوصول بكثافتها الجافة إلى ٩٥% من الكثافة الجافة القصوى المحددة من اختبار بروكتور المعدل.

٤- يتم عمل طبقة من الخرسانة العادية سمكها لا يقل عن ٢٥ سم أسفل قاع المطبق أو الغرفة.

٥- جهد التربة الآمن والصافى المسموح به يساوى ١,٠٠ كجم/ سم٢ عند منسوب التأسيس.

References

المراجـــــــــع

1. Abdelmoneim D., El-Taher M., Akl S.A., Mamlouk, H.H.(2018). Analysis of Replacement Layer Properties And Its Effects On A Typical Building On Swelling clay. Journal of AL-Azhar University engineering Sector . Article , VoL.13 , Issue , Summer , pp. 843-849.

2. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2008). "AASHTO 258 Standard Method of Test for Determining Expansive Soils". Washington DC.

3. ASTM D4829-11. 2011. "Standard Test Method for Expansion Index of Soils", ASTM International: West Conshohocken, PA.

4. Asuri Sridharan A., Sreepada Rao. and Puvvadiv Sivapullaiah (1986). "Swelling Pressure of Clays". Geotechnical Testing Journal by American Society for Testings and Materials.

5. Ball,s. (1908). "A description of the first of Aswan Cataract of the Nile. Ministry of Finance, Survey Dept., Egypt.

6. Bureau of Indian Standards. (1997). "Is 2720 Part 40. Derermination of Free Swell Index of Soils". New Delhi: Bureau of Indian Standards.

7. Chen F.H. (1975). "Foundation on expansive soils", Elsevier Scientific Publishing Company.

8. Chen, F.H. (1988). Foundation on Expansive Soils. New York: Elsevier Science.

9. Chen, F.H. (2000), Soil Engineering: Testing, Design, and Remediation. Boca Raton, FL: CRC Press.

10. Chen S.K., S. Song y_u, Z.G.Liu, F. y_u and X.C.Xu (2006). "Effect of Soil Sample Preparation on Free Swelling Ratio and Its Improved Measures". Rock and Soil Mechanics 27 (8): 1327-1330.

11. Chen, F.H., Currin, D.D.,J.J. Allen, and D.N. Little (1976). "Validation of Soil Stabilization Index System with Manual Development." US Air Force Technical Report SRL-TR-76-0006.

12. Chittoori B., and A.J. Puppala (2011). "Quantitative Estimation of Clay Mineralogy in Fine-Grained Soils." Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, ASCE 137 (11): 997-`008.

13. Dakshanamurthy, V. and Raman V.,(1973). "A Simple Method of Identifing an Expansive Soil". Soils and Foundation, Japanese Society, Vol.13, No.1, March, pp. 97-104.

14. Dawson, R.F., (1953). "Movement of of Small Houses Erected on an Expansive Clay Soil". Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1,346-350.

15. Dhowian A.W.(1990). "Field Performance of Expansive Shale Formation." Journal of King Abdulaziz University (Engineering Sciences), 2, 165-82.

16. Fredlund, D.G.(1983). "Prediction of ground movements in Swelling Clays." 31st Annual Soil Mechanics and Found Engineering Conference. University of Minnesota, Minneapolis.

17. "Geological Map of Egypt, "The Geological Survery of Egypt, Scale:1:2000,000,(1971).Cairo.

18. Gillot, J.E., (1968). "Clay in engineering geology", Elsevier Pub. Comp. London. N.Y.

19. Goode, J. C. (1982). "Heave Prediction and Moisture Migration beneath Slabs on Expansive Soils" Master's thesis, Colorado State University. Fort Collins, CO.

20. Hamberg, D.J. (1985). "A Simplified Method for Predicting Heave in Expansive Soils. "Master's. thesis, Colorado State University. Fort Collins, CO.

21. Hammam, A.H and Abdel-Salam, A.E (2013). "Comparisons Between behaviors of Undisturbed and Remolded Swelling Soil", Pan-Am CGS Geotechnical Conference, Montreal, Canada.

22. Hazawell C.I.R,(1922). "Cairo Origin and Development, Some Notes On The Influence of The River Nile and its Changes, Bulletin de la Socie`te` Sultaniah de Geographie d` Egypte,Cairo, Tom Xl, Decembre,1922.

23. Hisham Arafat and Ahmed M. Ebid, (2015) . "Optimum Replacement Depth To Control Heave of Swelling Clays" . International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJETI) , Vol.4, Issue9, pp. 73-81.

24. Holtz, R.D., W.D. Kovacs, and T.C. Sheahan, (2011). An Ineroduction to Geotechical Engineering (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

25. Holtz , D.H. and Kovacs W.D (1981). "An Introduction to Geotechnical Engineering practice" . Prentice-Hall Ince.,Englewood Cliffs.

26. Holtz, W.G., and T.J. Gibbs (1956). "Engineering Properties of Expansive Clays". Transaction ASCE 121, 641-663.

27. Hossam Elbadry (2015). "Simplified reliable Prediction method for determining Volume Change of Expansive Soil based on Simply Physical Tests". Housing and Building National Research Center Journal. (HBRC Journal).

28. Houston, S.L., H.B. Dye, C. E. Zapata, K.D. Walsh, and W.N. Houston (2011). "Study of Expansive Soils and Residential Foundation on Expansive Soils in Arizona." Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE 25,31-44.

29. International Residential Code (IRC).(2012). International Residential Code for One-and Two-Family Dwellings. Falls Church, VA: International Code Council.

30. International Building Code (IBC). (2012). International Building Code. Falls Church, VA: International Code Council.

31. Jean-Louis Briaud, Xiong Zhang and Sangho Moon (2003). "Shrink Test-Water Content Method for Shrink and Swell Predictions", Journal ofGeotechnical and Geo-environmental Engineering, Vol. 129, No.7, July 2003, ASCE.

32. John D. Nelson & Chieh Chao & Daniel D. Overton and Erik J. Nelson, (2015) "Foundation Engineering For Expansive Soils", Published by John Wiley & Sons. Inc,. Hoboken. New Jersey, Published Simultaneously in Canada.

33. Johnson, L.D., Sherman, W.C. Jr.and MaAnear, C.L. (1973). "Field Test Sections on Expansive clays", Proceeding Third International Conference on Expansive soils, Vol.1, 30 Aug.1, Haifa, Israel, pp. 239-248.

34. Khan A.J. Ameen S.F and Abedin M., (2001)." Effect of Sand Layer on Swelling of Underlying expansive Soil". https://www.issmge.org/publications / online - library .

35. Little D.N., E.H. Males, J.R. Prusinski, and B. Stewart. (2000). "Cementitious Stabilization. "79 Millennium Report Series. Transportation Research Board. Washington, DC.

36. Mazen, S.O. (1978). "SOME GEOTECHNICAL PROPERTIES OF NASR CITY SOIL", M.Sc. thesis, Al-Azhar University.

37. Mitchell, J.K., and K. Soga (2005). Fundamental of Soil Behavior (3^{rd}ed.). Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.

38. Mohamed A. El-Sohby and S. Ossama Mazen (1987). "On the prediction of Swelling Pressure and Deformational Behavior of Expansive soils. "9^{th} Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Lagos, September. pp. 129-133.

39. Mohamed A. El-Sohby and Ossama M. Mazen (1980). "On measuring Swelling Pressure by two Methods." Seventh Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Accra, pp. 775-783.

40. Mohan D. and Ras B.G. "Moisture Variation and Performance of Foundations in Black Cotton Soils in India." Moisture Equilibria and Moisture Change in Soils Beneath Coverd Areas, Australia, Butterworth.

41. M.S.Youssef, A.A.Sabry & M.M.Tewfik,(1957) Substantial Consolictlafion and Swelling of Clay Cause Interesting Cases of Serious Damage to Hospital Building, Egypt, Proc. Of the 4th Conf. On Soil Mechanics and Foundations, London Vol. 1, Div. 1-32.

42. Nadia Shenouda Guirguis,(1973). "A Comparative Study of The Soil Formation at Cairo ", SC. Thesis, Faculty of Engineering, Cairo University,1974.

43. Nelson, E.J.,J.D. Nelson, K. C. Chao, and J. B. Kang. (2011). "Influence of Surface Grading on Infiltration." Proceedings of the 5th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils, Dusit Thani Pattaya, Thailand, II, 785-789.

44. Nelson, J.D., Reicher, D.K. & Cumbers, J.M. (2006). "Parameters for Heave Prediction by Oedometer Tests." Proceedings of the 4th International Conference on Unsaturated Soils. Carefree, Arizona, 951-961.

45. Nelson, J.D. & Chao, K.C.,(2003). "Design of Foundations of Light Structures on Expansive Soils". California Geotechnical Engineers Association, Annual Conference, Carmel, California.

46. Newland, P.L. (1965). "The Behaviour of a House on a Reactive Soil Protected by a Plastic Film Moisture Barrier." Engineering Effects of Moisture Changes in Soils, Proceedings of International Research and Engineering Conference on Expansive Soils. College Station: Texas A&M University Press, pp. 324-329.

47. Petry, T. M., and D. N. Little. (2002). "Review of Stabilization of Clays and Expansive Soils in Pavements and Lightly Loaded Structures-History, Practice, and Future." Journal of Materials in Civil Engineering 14(6): 447-460.

48. Puppula, A.J., Punthutaecha., K., and Vanapalli, S.K., (2006) "Soil Water Characteristic Curves of Stabilized Expansive Soils". Journal of Geotechnical Engineering and Geo-environmental Engineering, American Society of Givil Enginees, 132(6): 736-751.

49. Raman, V.,(1967) . "Identification of expansive soil from plasticity index and shrinkage index data". Indian Eng., Calcutta 11 (1): 17-22.

50. Sai, K., Vanapalli and Lu tu (2012). "A stale-of- the art review of heave prediction methods of expansive soil. "International Journal of Geotechnical Engineering, 6: (15-41).

51. Seed H.B., Woodward R.J. and Lundgren R. (1962). "Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays", Journal of SMFD, ASCE, No.88, (SM3), pp. 53-84.

52. Skempton, A.W. (1953). "The Colloidal ,"Activity of Clays". "Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Switzerland, 1,57-61.

53. Steinberg, M. (1998). Geomembranes and the Control of Expansive Soils in Construction. New York: McGraw-Hill.

54. Steinberg M.L.(1980). "Deep Vertical Fabric Moisture Seals." 4th Internalional Conference on Expansive Soils, Denver, Colorado, pp. 383-399.

55. Taylor R.M., (1981). "Colour in soil and sediments". Proc. Of the 7th Int, Clay Conf., Italy, pp. 749-761.

56. Thompson, R. W. (1992a). "Swell Testing as a Predictor of Structural Performance. "Proceedings of the 6th International Conference on Expansive Soils, Dallas, TX, 1, 84-88.

57. Thompson, R. W. (1992b). "Performance of Foundations on Steeply Dipping Claystone." Proceedings of the 7th International Conference on Expansive.Soils, Dallas, TX, 1, 438-442.

58. Tripathy S., Subbo Rao K.S. and Fredlund D.G. (2002). "Water Content-Void Ratio Swell-Shrink Paths of Compacted Expansive Soils", Can. Geotech. J., Vol. 39, pp. 938-959.

59. Underwood, L.B., (1967). "Classification and identification of shales", J. of the Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol. 93 SM 6, pp. 67-116.

60. Uniform Building Code (UBC),(1997). Uniform Building Code. Volume 1. Whittier, CA: International Conference of Building Officials.

61. US Bureau of Reclamalion (USBR) (1998).Earth Manual (3rd ed.) Denver US Department of the Interior, Water Resources Technical Publication.

62. US Department of the Army (DA) (1983). "Technical Manual TM 5-818-7, Foundations in Expansive Soils." Washington, DC.

63. Vanapalli, S.K., and Lu Lu (2012). "A state of the Art Review of Heave Prediction Methods for Expansive Soils." International Journal of Geotechnical Engineering 6,15-41.

64. Van der Merwe, D.H.(1964). The Prediction of Heave from the Plasticity Index and Percent Fraction of Soils. Civil Engineerin in South Africa, Vol.6, No.6, pp.103-107.

65. Youssef Gomaa, (2010)". Numerical Modeling of Expansive Soils Using Uncoupled Approach". Ph.D, Cairo University Chaplers (2),(4),(6).

66. Youssef, M.S., Sabry A.A. and Tewfik, M.M., (1957). "Sustantial consolidation and Swelling of Clay to cause two interesting cases of serious demages to hospital buildings in Egypt". Proc. 4 th Int. Conf. on SMFE Vol.1 pp. 462.

Selected References:

67. El-Demery, M. and Mazen, S.O (1980)
"Volume Change-Time Relationship for Swelling Clayey Soils", J. of the Egyptian Society of Engineers. Vol. xix, PP.31-37 .

68. El-Sohby and Mazen (1980)
"On Measuring Swelling Pressure by two Methods , Seventh Regional Conf. for Africa for S.M.F.E., Accra (Ghana), PP. 775-783.

69. El-Sohby and Mazen (1981)
"The Role of Free Swell in Predicting Swelling Characteristics of Expansive Clayey Soils, Proc. Of 6th Polish Conf. on S.M.F.E. Vol.1, Warsaw (Poland), PP. 223-239.

70. El-Sohby and Mazen (1983)
"Mineralogy and Swelling of Expansive Clayey Soils", Geotechnical Engineering Journal of the Southeast Asian Society of Soil Engineering, Vol. 14, PP.79-87.

71. El-Sohby and Mazen (1984)
"Some Geological Aspects in The Engneering Properties of Expansive Soils" ,Proc. 8th Regional Conf . of Africa On SMFE , Vol.2 , Harare (Zimbabwe) , pp.533-537.

72. Sherif , Gergis and Mazen (1984)
"Behaviour of Expansive Soil During Shear" , Proc. First National Conf .of Science and Technology of Building , Khartoum (Sudan) , pp.557 – 562.

73. El-Sohby and Mazen (1985)

"Simple Method of Evaluating Expansiveness of Unsaturated Subtropical Soils" Proc . First International Conf . on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils , Vol2 , Brasilia (Brasil) ,pp.443-449.

74. El-Sohby , Mazen & Rabba (1985)

"Role of Mineralogical Composition in The Activity of Expansive Soils" , Transportation Research Record , Journal of the Transportation Research Board , National Research Council , Washington , No.1032 , pp.22-28 .

75. El-Sohby , Mazen and El-Leboudy (1985)

" Comparative Study of Problematic Soil in two Areas Around Cairo" , Proc . Symp. on Environmental Geotechology and Problematic Soils and Rocks , Asian Institute of Technology , Bangkok (Tailand) pp.515-52G .

76. El-Sohby , Abd El – Baky and Mazen (1987)

"Evaluation of Shear Strength Parameters of Expansive Soils" , Proc. 8th Asian Regional Conf . on S.M.E.E. , Vol 1 , Kyoto (Japan) , pp.163-166 .

77. El-Sohby and Mazen (1987)

"On the Prediction of Swelling Pressure and Deformational Behaviour of Expansive Soils" , proc. 9th African conf. on S.M.F.E. , Lagos (Nigeria) , pp . 129-133 .

78. El- Sohby , Abd El - Bakey and Mazen (1988)

"Evaluation of Free Swell Test Measurement" , Proc . Intl . Conf . on Engineering Problems on Regional Soils . , Bijing (China) pp.568-571 .

79. El-Sohby , Mazen & Abo Taha (1989)

" Effect of Apparatus Deformability on Swelling Pressure" , proc . X11 Int. Conf . on S.M.F.E. Vol . 1 , Rio de Janeiro , pp . 589 – 592 .

80. Mazen and Abd El- Ghani (1991)

" A Case History of Foundation Heave at a Cement Plant" , First Geotechnical Engineering Conf . , Cairo University , Cairo , pp 33-43 .

81. Abd El –Rahman and Mazen (1992)

"Building Failures due to Changes in Boundary Conditions of Foundation Soil" , Building Detorioration Symposium , Reyadh .

82. El-Sohby , Mazen and Aboushook (1998)

"Classification of Some Hard Soils Tafla Deposits in Egypt" , Proc . of 2nd Int . Symposium on Geotechnical Engineering of Hard soil – Soft Rocks , Naples , pp . 147-152 .

83. El – Sohby, Mazen and Tarek (1998)

"Validation of a Chart Method Prediction of Arid Soil Behavionr" , Proc . Int . Sympsium on Problematic Soils , Sendai (Japan) .

84. El – Sohby , Mazen and Abo Taha (2000)

"Effect of Mode of Wetting on the Deformational Behaviour of Undaturated Soils" , Proc . Asian conf . on Unsaturated Soils – From Theory to Practice , Singapore , pp . 645-650 .

85. Amira Abdel - Rahman , Ossama Mazen & Khaled El - Dahaby (2002)
"Geotechnical Engineering Practice of Construction in Arid regions in Egypt" , Proc. , Symposium on Urbanization in Arid Regions and Associated Problems , Riadh , vol.3 , pp.447-457 .

86. Amira Abdel – Rahman , Ossama Mazen and Abdel- Nasser Hilal (2004)
"Geotechnical , Geophysical & Geological Investigation of Characterization of a Site With Unusual Problematic Behaviour " Proc . International Conf of Geotechnical Engineering, Beirut , PP . 785-746 .

87. El – Sohby , Mazen and Aboushook (2005)
" Correlating Predictions of problematic Soils With Field Measurement" , proc. Infernational Conference on Problematic Soils , Eastern Mediterranean on University Famagnsta (Cyprus) , pp 1339-1348 .

88. El-Sohby , Mazen & Aboushook (2005)
"Advancement in Oedometer Testing of Unsaturated Soils" , proc. International Symposium on Advanced Experimental Unsaturated Soil Mechanics , Trento (Italy) .

89. El-Sohby , Mazen & Aboushook (2010)
" Differential Classification at Boundaries of Soil & Rock" , proc. Of the International Conf. Geotechnical Challenge in Mega Citien , Moscow .

90. Abbas , F.A., Elkady , T.Y., Al – Shamrani , M.A., (2015) .
"Calibrations of volume change measurements using osmotic suction control technique." Housing and Bulding National Research Center , HBRC Journal .
http:/dx.doi.org./10.1016/j.hbrcj.2015.03.003.

91. Abbas , M.F., Elkady , T.Y., AL–Shamrani , M.A , (2015) .
"Evaluation of Strain and Stress States of Compacted Highly Expansive Soil Using a thin–walled Oedometer." Engineering Geology .
http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.04.012.

92. Abbas , M.F., Elkady , T.Y., AL–Shamrani , M.A., (2016).
"Effect of stress ratio on the volume change behavior of compacted highly expansive clay." Arab J Geosci.
DOI10.1007/s12517–015–2099–6.

93. Abbas , M.F., Al–Shamrani , M.A., Elkady , T.Y., (2018).
"Influnce of Applied Boundary Condition During Wetting on Volume Change Characteristics of Compacted Highly Expansive Soil." Advances in Characterization and Analysis of Expansive Soils and Rocks.
DOi10.1007/978–3–319–61931–6–10.

94. Abbas , M.F , ElKady , T.Y., Aldrees ., A.A. , and shaker, A.A., (2021) .
"Impact of stress path on hydraulic and mechanical behavior of compacled Al–Qatif Clay ." Transportalion Geotechnics , vol .26 .
https://dol.org./10.1016/j.trgeo.2020.100417.

95. Abbas , M.F., and Almuaythir , S.A.,(2022).
"Feasibility of Using Bauxite Residue Stabalized With Cement Dust Kiln for Geotechnical Applications." 8th Int. Conf. on Structure , Engineering & Enviroment (SEE) Mie , Japan Accepted.

96. AL–Mahbashi , A.M., AL–Shamrani , M.A., Abbas , M.F., (2021) .
"Hydromechancial Behavior of Unsaturated Expansive Clay Under Repetitve loading." Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.
http://doi.org./10.1016/jrmge.2021.05.002

97. Almuaythir , S.A., and Abbas ، M.F., (2022).
"Remediation of Al–Qatif Expansive Clay Using Cement Kiln Dust , Initial Assessment." 12th Int. conf. on Geotechnique Construction Materials & Environment , Bangkok , Thailand , Accepted.

98. Arif Ali Baig Moghal , Mohamed F Abbas , Ahmed M AL–Mahbashi and Abdullah Ali Shaker , (2016).
"EFECT OF STRUCTURE ANISTROPY AND COMPACTION METHOD ON THE SWELLING BEHAVIOR OF Al–QATIF SOIL ." International Journal of GEOMATE , Vol .11 , Issue , pp.2600–2605. Geotec. Const. Mat. & Env.
ISSN 2186 – 2982 (Print) , 2186–2990 (Online) , Japan.

99. Elkady , T.Y., Abbas ، M.F., AL–Shamrani , M.A., (2015) .
"Behavior of compacted expansive soil under multi–directional stress and deformation boundary conditions." Bull Eng Geol Environ.
DOI10.1007/s10064–015–0839–1.

100. Halim A. and Baroudy A., (2014).
"Influence Addition of Fine Sawdust on Physical Properties of Expansive Soil in the Middle Nile Delta , Egypt." Journal of Soil Science and Plant Nutrition , 14 (4) , pp.483-490.

101. Moghal , A.A., Ashfaq , M., Al-Obaid , A., Abbas , M.F., Al-Mahbashi , A.M., and Shaker , A.A., (2021).
"Compaction dely and its effect on the geotechnical properties of time treated semi – arid Soils." Road Materials and Pavment Design , vol.22(11) , pp.2626-2640.
http://doi.org/10.1080/14680629.2020.1784256.

102. Mohamed F. Abbas , Tamer Y. ElKady , Mosieh A. Al – Shamrani , (2017).
"Evaluation of Laleral Stress States For a Compacted Highly Expansive Soil" Proceedings of the 19th Conference On Soil Mechanics and Geotechnical Engineering . Seoul .

103. Mohamed Farid Abbs , Abdullah Ali Shaker , Mosleh A . AL- Shamrani , (2023) .
"Hydraulic and volume change behaviors of compacled highly expansive soil under cyclic wetting and drying" Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering .
http//doi.org/10.1016/jrmge.2022.05.015.

104. Wei-Yun Liang , Rong-Tao Yan , Yong-Fu Xu , Qin Zhang , Hui-hui Tian , Chang-fu Wei , (2021).
"Swelling pressure of compacted expansive soil over suction range." Applied Clay Science (203) (2021) 106018.
https://doi.org/10.1016/j.clay.2021.106018.