

إمكانية استخدام المقاومة الأرضية في تقدير بعض المعاملات الهندسية لطبقة الأساس الترابي/ محافظة نينوى

مروان متعب احمد	محمد ياسين طه	نبراس صلاح الدين
كلية العلوم	كلية الهندسة	كلية العلوم
قسم علوم الارض	قسم الهندسة المدنية	قسم علوم الارض
جامعة الموصل	جامعة الموصل	جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2013/12/11 ، تاريخ القبول 2014/4/9)

الملخص

تضمن البحث الحالي دراسة المقاومة الكهربائية وبعض المعاملات الهندسية (دليل اللدونة ونسبة التحمل الكاليفورني والكثافة الجافة ونسبة الطين ومحتوى الرطوبة) للتربة المستخدمة كطبقة أساس للطرق. تشمل منطقة الدراسة ستة مواقع مختلفة من محافظة نينوى في شمال العراق، ثلاثة منها تقع إلى الشرق من نهر دجلة والثلاثة الأخرى في الجانب الغربي للنهر. يتضمن كل موقع أربعة مواضع ويشمل كل موضع خمسة أو ستة مسارات للقياس حيث يتألف كل مسار من خمسة نقاط جس كهربائي بخمسة فاصلات قطبية في كل نقطة جس. تم استخدام أسلوب التثبيط ثابت الفاصلة والجس العمودي وذلك لتحديد معاملات المقاومة أفقياً وعمودياً بترتيب وينر. رسمت البيانات الحقلية على هيئة مقاطع تساوي المقاومة في ستة مواقع وبينت النتائج وجود تغيرات أفقية وعمودية متباينة في المقاومة الكهربائية والتي تعكس عدم التجانس لمكونات تربة طبقة الأساس في منطقة الدراسة.

أجريت الفحوصات المختبرية اللازمة على عينات التربة للتعرف على الخصائص الفيزيائية وتصنيف التربة وإيجاد المعاملات الهندسية لها. كما حاولت الدراسة الحالية إيجاد علاقات بين المقاومة الكهربائية والمعاملات الهندسية من خلال نتائج تحليل الارتباط إحصائياً لقيمها. توصي الدراسة بإمكانية الاعتماد على مقاطع تساوي المقاومة في اختيار المواقع الصحيحة لأخذ عينات تربة طبقة الأساس للطرق لإنهاء الطريقة العشوائية في جمع العينات والمعتمدة غالباً.

الكلمات الدالة: المقاومة ، الهندسية، طبقة اساس الطريق، نينوى، نسبة التحمل الكاليفورني.

Applicability of Using the Earth Resistivity in Evaluating of Some Engineering Parameters for Road Subgrade/Naynawa Governorate

Marwan M. Ahmad

*Department of Geology
College of Science
University of Mosul*

Muhammed Y. Taha

*Department of Civil Engineering
College of Engineering
University of Mosul*

Nibras S. Shakir

*Department of Geology
College of Science
University of Mosul*

ABSTRACT

The present research includes studying the electrical resistivity and some engineering parameters (plasticity index, California Bearing Ratio, dry density, clay content, moisture content) for the Soil subgrade of the roads. Six sites were selected to conduct the study at Nineveh Governorate in Northern Iraq. Three of them are located to the east of Tigris river while the others to the west of it. Each site contains four locations, each of them includes five traverses with five sounding points in each traverse. The Constant Separation Traversing and Vertical Sounding are employed for delimitating the resistivity parameters, horizontally and vertically, with Wenner deployment. The field data were represented with six iso-resistivity sections which indicate lateral and vertical variations reflecting subgrade soil inhomogeneities in the study area.

The required laboratory tests are carried out for the recognition of the physical characteristics for soil classification and determination of the engineering parameters. As well, the present study tried determining relationships between electrical resistivity and engineering parameters through the results of the statistical correlation analysis.

The study recommended the possibility of using iso-resistivity sections in selecting for the proper sites for subgrade soil samples, and subsequently ending the random method in collecting the samples which always used.

Keywords: Resistivity, Engineering, Subgrade, Nineveh, CBR,

المقدمة

استخدمت طريقة المقاومة الكهربائية على نطاق واسع في المسوحات الجيوفيزيائية باعتبارها أداة سريعة وموثوقة في تصنيف وتنبؤ الخواص الفيزيائية للمواد مع إمكانية مضاهاة القياسات الجيوفيزيائية والجيوتكنيكية (Dafalla and Al-Fouzan, 2012)، وذلك لتحديد بعض الخواص الهندسية للأساس الترابي، منها نسبة تحميل كاليفورنيا لغرض استخدامها في تنفيذ وإنشاء الطرق (Siddiqui and Osman, 2012).

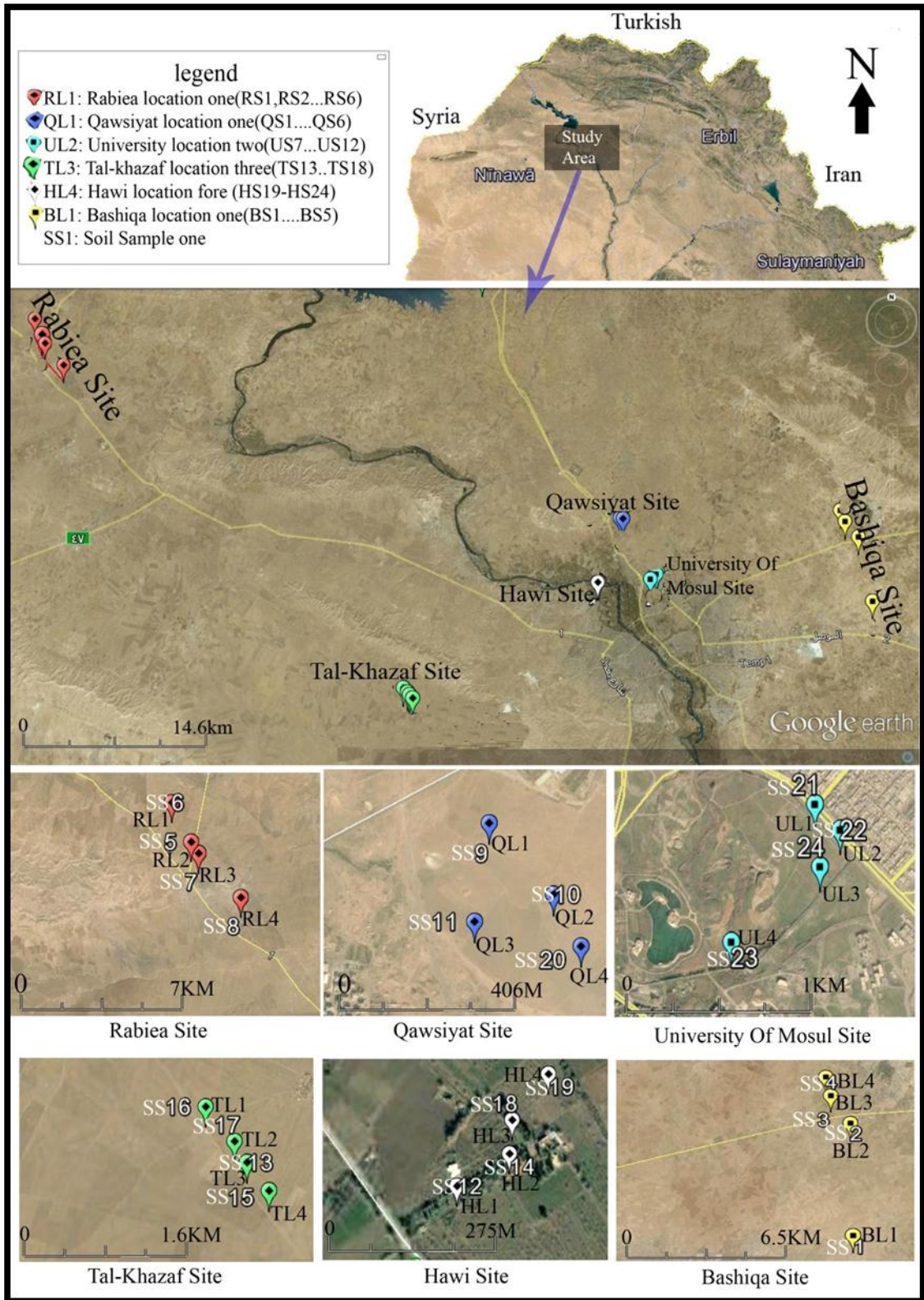
إضافة إلى ما تقدم فقد أوضح (Osinowo *et al.*, 2011) و (Bery and Saad, 2012) إلى أهمية معاملة البيانات إحصائياً لوضع علاقات مقارنة ومضاهاة بين المعاملات الهندسية المتمثلة بدليل اللدونة ونسبة التحمل الكاليفورني والكثافة الجافة ونسبة الطين ومحتوى الرطوبة المثلى مع المقاومة الكهربائية للتربة. ويعد البحث الحالي من الدراسات الريادية في العراق في المضمار أعلاه.

تغطي منطقة الدراسة ستة مواقع لطرق منشأة حديثاً تشمل أجزاء من محافظة نينوى في شمال العراق (الشكل 1)، ثلاثة منها تقع إلى الشرق من نهر دجلة حيث يمتد الموقع الأول على طول الشارع الذي يربط مدينتي بعشيقية وبازوايا في شمال شرق مدينة الموصل، أما الموقع الثاني فيقع في حي التعليم العالي بالقرب من مفرق توكيف في شمال مدينة الموصل. بينما اختير الموقع الثالث ضمن جامعة الموصل في الجزء الشمالي منها (القصور الرئاسية سابقاً). ووقعت المواقع الثلاثة الأخرى في الجانب الغربي من النهر حيث ثبت موقع حاوي الكنيسة في السهل الفيضي لغرب نهر دجلة، بينما وضع موقع ربيعة على امتداد جانب الشارع الرئيسي المنشأ حديثاً والذي يربط مفرق الكسك بمدينة ربيعة في شمال غرب الموصل. اختير موقع تل خزف في جنوب غرب مدينة الموصل على الطريق الذي يربط قريتي تل خزف والسحاجي.

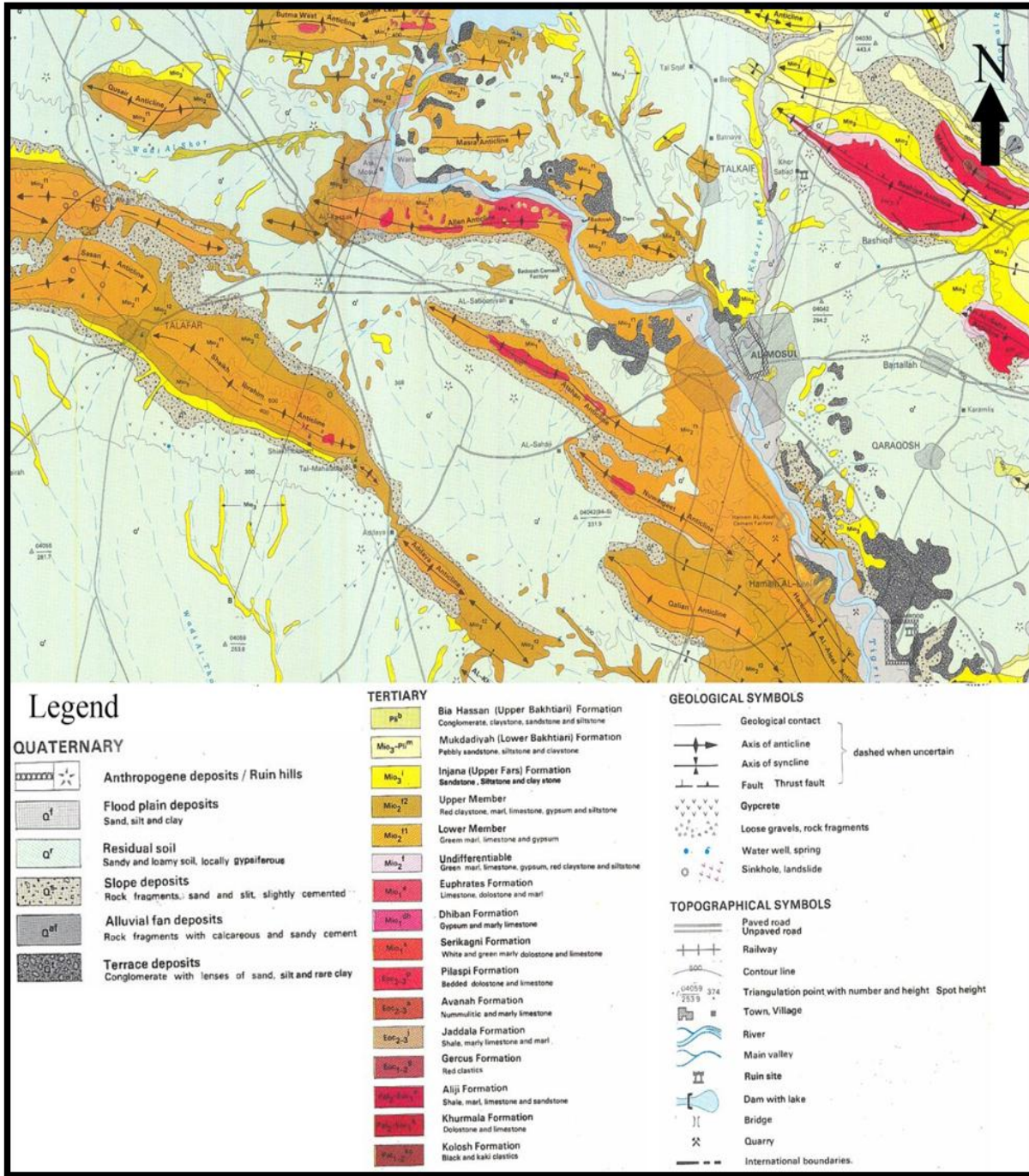
جيولوجية منطقة الدراسة

تحاط المنطقة بعدد من الطيات المحدبة الواطئة مثل طيات الفاضلية وبعشيقية ومقلوب وعين الصفرة وقدن التي تحد المنطقة من الشرق والشمال (الشكل 2)، أما إلى الغرب والشمال الغربي فتقع طيات عطشان ونويقت وشيخ إبراهيم وسنجانر وعلان والكصير واشكفت. تتكشف في المنطقة ترسبات العصر الثلاثي (Tertiary Deposits) المتمثلة بتكويني الفتحة (Fat'ha Fm) بعمر المايوسين الاوسط والذي ينتشر عبر مساحات واسعة من شمال العراق والذي يغطي معظم أجزاء غرب مدينة الموصل ويغطي بترسبات العصر الرباعي خاصة في شرق وشمال نهر دجلة. يتألف النتاج الصخري لهذا التكوين بشكل عام من تعاقبات الانهايديرايت والجبس المتداخلان مع الحجر الجيري وصخور المارل. أما تكوين انجانة (Injana Fm.) بعمر المايوسين الأعلى، فيتألف بشكل عام من المارل والحجر السلتي والرمل. يغطي التكوينين أعلاه ترسبات العصر الرباعي (Quaternary Deposits) المتمثلة بترسبات المصاطب النهرية (River Terraces) الحصوية والغرينية والطينية المتصلبة.

تشمل ترسبات التربة السطحية (Superfacial soil) نواتج تفتيت وتجوية المواد الصخرية التي تحتها أو التي تنتقل بواسطة الأنهار أو الرياح حيث تتألف من المواد الجيرية والرملية والطينية أو مزيج من الرمل والطين وبسبك قليل وتشتق مكوناتها وألوانها من الصخور التي تحتها.



الشكل 1: منطقة الدراسة الحالية ومواقع نماذج التربة.



الشكل 2: الخارطة الجيولوجية لمحافظة نينوى.

طرائق العمل وجمع المعلومات (Methodology and Collection)

هنالك عدة تقنيات لتحديد الطريقة الامثل لأخذ القياسات وهي اسلوب الخرائط (Mapping) والتحري ثابت الفاصلة (Constant separation traversing) والجس العمودي (Vertical sounding) والتصوير المقطعي للمقاومية الكهربائية (Electrical Resistivity Tomography) إذ يعتمد ذلك على طبيعة الهدف المراد مسحه (Loke, 2012). وقد تم اختيار أسلوبي التحري الافقي والجس العمودي في البحث الحالي وذلك لتحديد معاملات المقاومة (المتتملة بالسمك والمقاومية)

أفقياً وعمودياً وباستخدام ترتيب وينر في جمع البيانات وذلك لوجود ميزات عديدة لهذا النشر (Knödel et al., 2007; Abdelwahab, 2013; Reynolds, 2003).

أجري المسح الجيوفيزيائي الحقلي لتسجيل قياسات المقاومة الكهربائية للأساس الترابي والمستهدفة في الدراسة الحالية باستخدام جهاز قياس المقاومة الكهربائية Land Mapper ERM-02 والذي يتميز بالدقة العالية التي تصل إلى أكثر من 99% والمدى الواسع من المقاومة الذي يتراوح بين 0.01- 106 Ω.m (Land mapper Manual, 2012). فضلا عن مواصفات الجهاز التصميمية في تمييز التغيرات العمودية والأفقية للأعماق الضحلة حيث يمتلك الجهاز اختراق عمقي يتراوح بين 2.5cm.-10m. كما يتميز بكتلته القليلة ومصدره الكهربائي الصغير وقابليته في حفظ 999 قراءة، إضافة إلى إمكانية تخزين عشرة عوامل هندسية. في ضوء ما تقدم يتضح أن الجهاز أعلاه له ميزات متعددة وقابلية كبيرة في التحريات الهندسية والبيئية.

تم إتباع الضوابط الأساسية في جمع البيانات الكهربائية أثناء العمل الحقلي، كما روعي ترطيب التربة باستمرار والتأكد من تثبيت الأقطاب لتجنب ظاهرة الفقدان (Losing) مما أدى إلى استخدام شدة تيار كهربائي بحدود 7 ملي أمبير طيلة فترة القياسات الحقلية حيث يقوم الجهاز بمعايرة ذلك ذاتياً. شمل كل موقع أربعة مواضع حيث يتضمن كل موضع (الشكل 1) خمسة إلى ستة مسارات للقياس، ويتألف كل مسار من خمسة نقاط جس كهربائي تبعد الواحدة عن الأخرى 10 متر، وتم قراءة خمسة فاصلات قطبية هي (0.3، 0.4، 0.5، 0.8، 1.0) مترا في كل نقطة جس.

تم جمع أربع وعشرين عينة من تربة طبقة الأساس لمواقع الطرق المدروسة جيوكهربائياً من خلال النمذجة مخلخلة التركيب (Disturbed samples) وأجريت الفحوصات المختبرية اللازمة للتعرف على الخصائص الفيزيائية للتربة وتصنيفها مع تحديد بعض المعاملات الهندسية والتي شملت محتوى الرطوبة الطبيعية (Natural moisture content) والتوزيع الحجمي للحبيبات (Particle size distribution) ودليل اللدونة (plasticity index) ونسبة الطين (Clay content) والكثافة الجافة العظمى (Maximum dry density) ومحتوى الرطوبة المثلى (O.M.C). فضلا عما تقدم فقد تم فحص نسبة التحمل الكاليفورني (CBR) والذي يعتبر واحداً من أهم الفحوصات التي تجري للتربة في إنشاء طبقات الطريق، ويرمي هذا الفحص إلى معرفة قابلية تحمل التربة للأحمال المسلطة عليها. وتعرف قيمة CBR حسب (Bowles, 1978) :

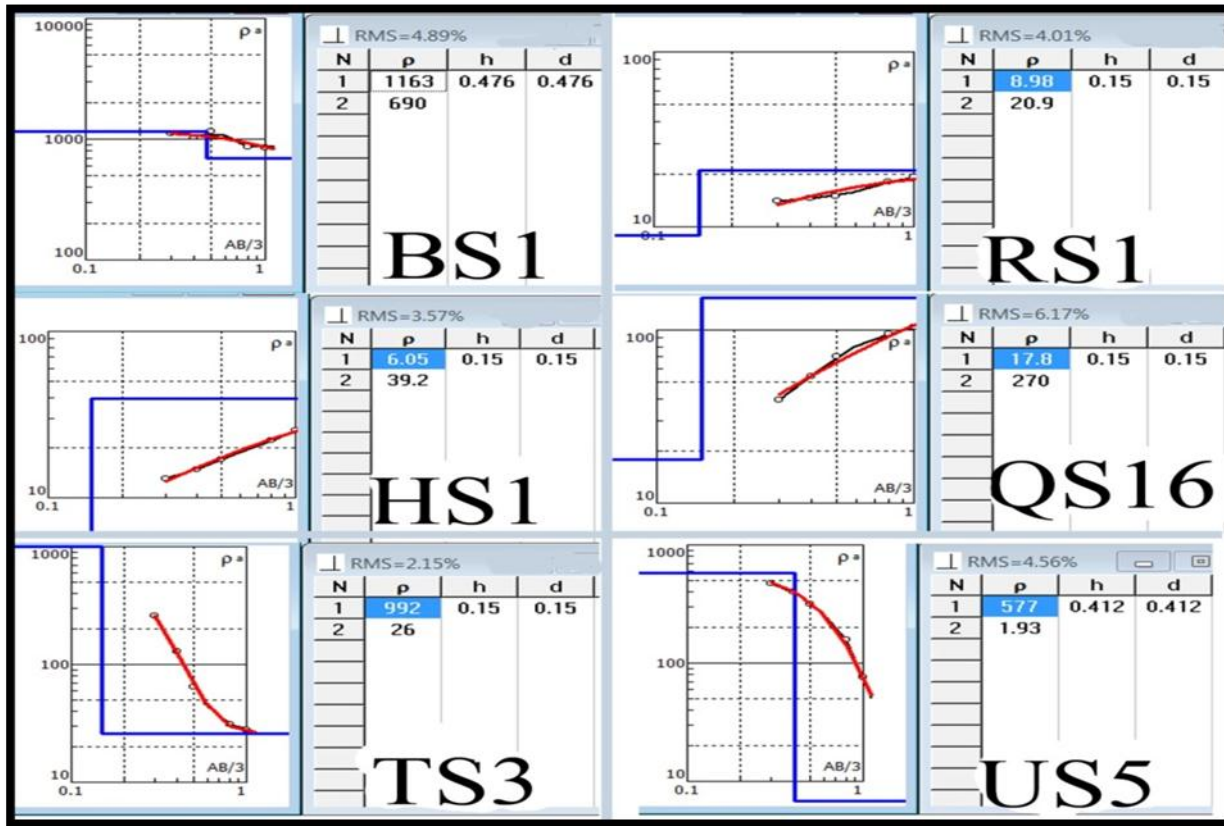
$$CBR = \frac{P}{P_s} * 100 \dots\dots\dots 1$$

=P الضغط المسلط لاختراق التربة المراد فحصها (N/cm²)

=Ps الضغط المسلط لاختراق التربة القياسية لنفس المسافة المحددة (N/cm²)

النتائج

استخدم برنامج (IPI2win, 2011) الخاص بتفسير بيانات المقاومة في محاكاة (Simulation) البيانات الحقلية للجس الكهربائي في الحصول على معلومات كمية حول الأساس الترابي إذ لوحظ، غالباً، بأنها مكونة من نطاقين كهربائيين في مواقع الدراسة الست والتي تتراوح اعماق النطاق الأول بين (15-77سم) ومقاوميته بين (6-1163 m.Ω)، أما النطاق الثاني تتراوح مقاومته بين (1-10⁴ m.Ω). ويبين (الشكل 3) نماذج مختارة من تفسير المنحنيات الحقلية للجس الكهربائي في مواضع مختلفة من منطقة الدراسة،¹ QS8.



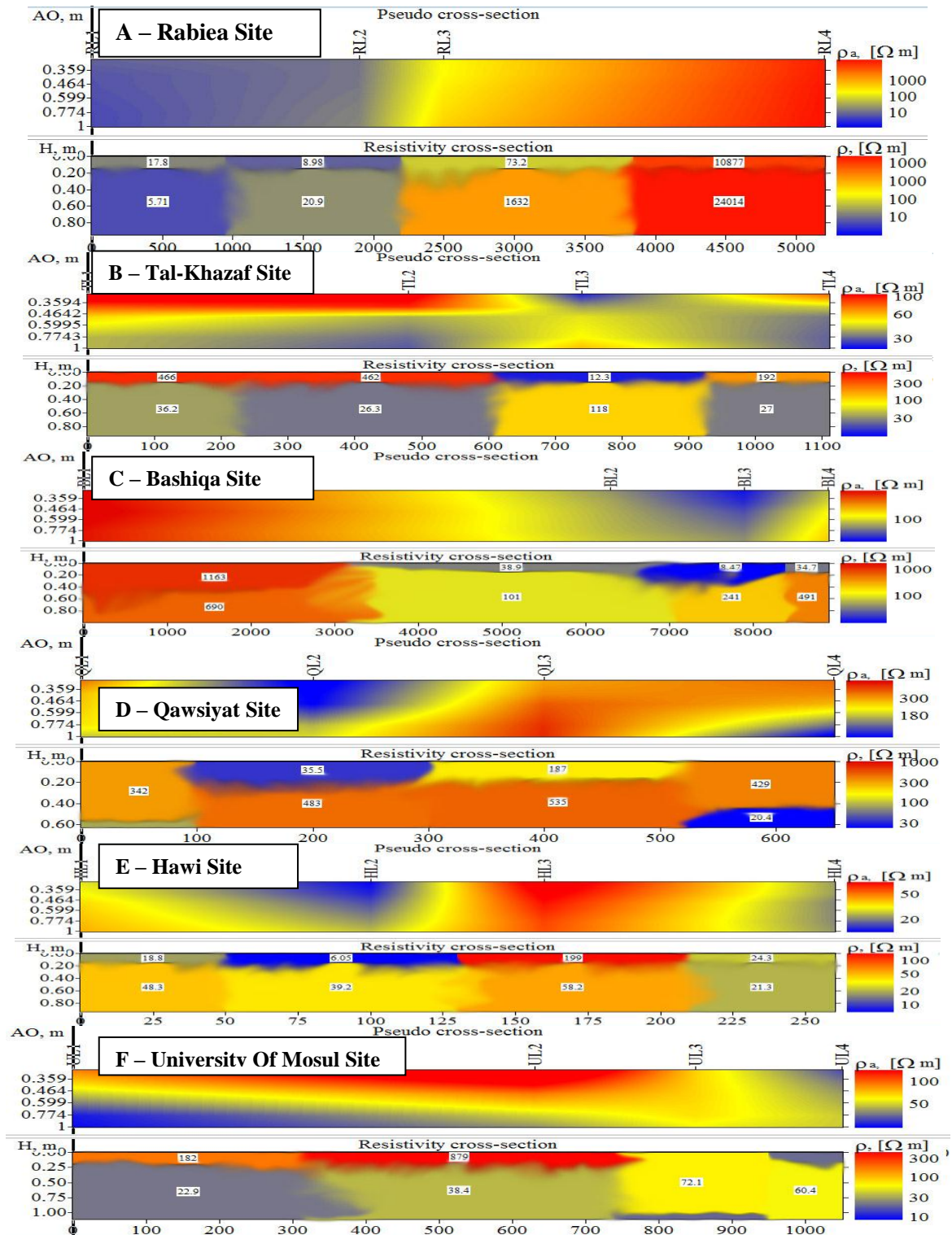
الشكل 3: يبين منحنيات حقلية مختارة وتفسيرها في مواقع منطقة الدراسة².

كما رسمت البيانات الحقلية باستعمال البرنامج أعلاه على هيئة مقاطع تساوي المقاومة (Isoresistivity sections) في ستة مواقع (الشكل 4)، والتي بينت وجود تغيرات أفقية وعمودية متباينة

¹ QS11 يشير الحرف الأول Q من الرمز إلى موقع القوسيات والثاني S بمعنى Sounding أي الجس الكهربائي والرقم 11 يشير إلى رقم وتسلسل نقطة الجس الكهربائي ضمن موقع القوسيات.

² يشير الرمز p إلى قيمة المقاومة الكهربائية الحقيقية للنطاق أو طبقة التربة، أما h يبين المسافة إلى الحاط الفاصل بين النطاقين المتتاليين و d يشير إلى سمك النطاق الكهربائي للتربة، المنحني اسود اللون يبين قيم المقاومة الظاهرية الملتقطة حقلياً أما الأحمر فيبين المنحني المثالي الملتقط بواسطة البرنامج تلقائياً.
RMS: تمثل نسبة خطأ معدل الجذر التربيعي.

والتي تعكس عدم تجانس مكونات الصخرية للتربة واختلاف الخصائص الفيزيائية لطبقة الأساس الترابي للطرق في منطقة الدراسة.



الشكل 4: (a,b,c,d,e and f) مقاطع تساوي المقاومة (مقاطع زائفة) وتفسيرها في المواقع الست.

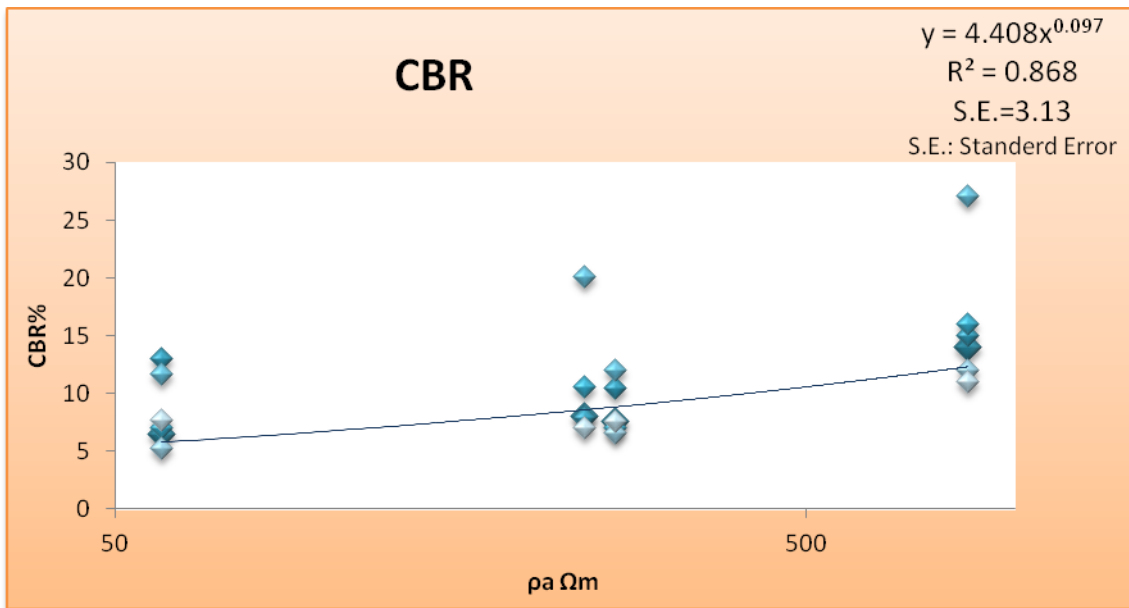
الجدول 1: يمثل قيم المقاومة الظاهرية ونتائج الفحوصات المختبرية لتربة طبقة الاساس لمواقع منطقة الدراسة.

رقم النموذج	موضع الجس	التصنيف الهندسي حسب		المقاومة الظاهرية	نسبة التحمل الكاليفورني	نسبة الرطوبة المثلى	نسبة الرطوبة الحقلية	الكثافة الجافة	دليل اللدونة	نسبة الطين
		USCS	AASHTO							
SS1	BL1	sw-sm-sc	a-2-4	856.3	8.3	13.5	5.9	1.85	6.3	2.7
SS2	BL2	sw-sm-sc	a-2-4	58.5	6.4	13.5	5.1	1.78	6.8	3.3
SS3	BL3	sw-sm-sc	a-2-4	264.9	7.5	14.5	2	1.79	6.4	2.2
SS4	BL4	sw-sc	a-2-4	239.7	8	12.5	4.3	1.83	9.1	3.5
SS5	RL2	sw-sc	a-2-4	14.6	4.5	14	3.5	1.82	7.7	2.6
SS6	RL1	sw-sc	a-2-6	6.9	5.2	14.5	3.5	1.78	10.4	2.9
SS7	RL3	sw-sm-sc	a-2-4	440	6.5	11	2.4	1.85	6.5	2.6
SS8	RL4	sw-sm	a-2-4	21141	41	11	0	1.77	2.5	4.1
SS9	QL1	sw-sm-sc	a-2-4	255.1	8.2	14	3.6	1.80	5.9	2.6
SS10	QL2	sw-sc	a-2-4	421.6	13	13	2.5	1.79	7.7	2
SS11	QL3	sw-sm-sc	a-2-4	1063	10.4	11.5	1.5	1.87	5.6	3.3
SS20	QL4	sw-sm-sc	a-2-4	118	7.8	14	5.7	1.82	4.9	1.9
SS14	HL2	sw-sm-sc	a-2-4	23.7	27	10.5	2.5	1.90	6.4	2
SS12	HL1	sw-sm-sc	a-2-4	28.2	11.6	10	2.8	1.76	6.4	1.4
SS18	HL3	sm-sc	a-2-4	68.3	12	11.5	3	1.84	4.1	5.8
SS19	HL4	sm	a-2-4	21.7	20	10.5	3.6	1.87	1.4	6.2
SS16	TL1	sw-sm-sc	a-2-4	47.8	7.4	12.5	5.4	1.78	5.6	3.5
SS17	TL2	sm-sc	a-2-4	165.4	7.6	12.5	5.1	1.81	4.1	5.6
SS13	TL3	sw-sm-sc	a-2-4	67.5	7.5	13	1.9	1.80	5.4	2.6
SS15	TL4	sw-sm-sc	a-2-4	37.6	7	11	3	1.83	6.6	3.3
SS21	UL1	sw-sm-sc	a-2-4	47.2	7.5	10.5	4.7	1.91	4.7	1.9
SS22	UL2	sw	a-2-4	62	7	12.5	5	1.75	4.4	1.9
SS23	UL4	sw-sc	a-2-4	26.4	7	12	1.2	1.85	8.8	2.4
SS24	UL3	sw-sm-sc	a-2-4	46.4	10.5	12	6.16	1.86	5.2	2

تم إجراء التحليلات المختبرية لأربع وعشرين عينة من طبقة الأساس الترابي للطرق وبعث من 0-1 متر والتي تم جمعها من منطقة الدراسة (الجدول 1)، حيث تبين أن نتائج دليل اللدونة، خصائص التوزيع الحجمي للحبيبات المحددة من تصنيف مكتب النقل والطرق السريعة القياسي للجمعية الأمريكية (American Association Standard for Highways and Transportation Office; AASHTO) تقع ضمن المجموعات A-2-4، A-2-6، والتي تشير إلى أن التربة جيدة كأساس ترابي. عبرت نتائج فحص CBR للنماذج المغمورة داخل الماء عن صلاحية تربة جميع مواقع الدراسة للاستخدام كطبقة اساس ترابي للطرق.

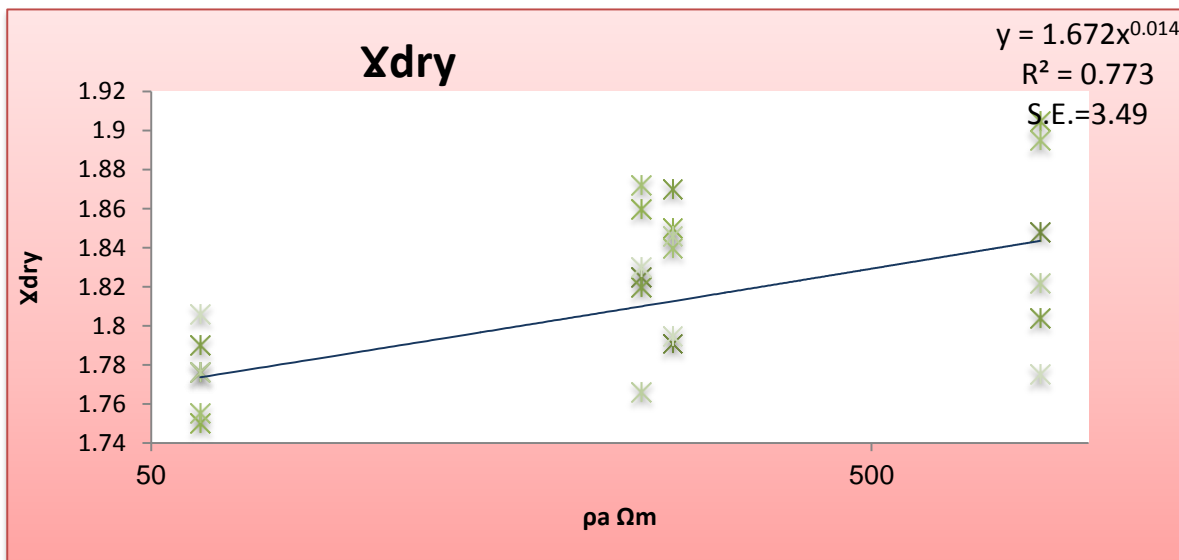
تم عمل علاقات إحصائية بين قيم المقاومة الكهربائية والمعاملات الهندسية المذكورة سابقا باستخدام الأساليب الخطية (liner)، اللوغارتمية (logarithmic)، الأسية (exponential)، الطاقة (power) ومتعددة الحدود (polynomial) وذلك للحصول على معاملات تحديد قوية (Strong Correlation) factor في مواقع الدراسة الست والتي اشتملت على اربعة مجاميع اعتمادا على مديات قيم المقاومة في تلك المواقع.

تم الحصول على علاقة موجبة طاقة قوية بين المقاومة (ρ_a) ونسبة التحمل الكاليفورني CBR (الشكل 5) بمعامل تحديد ($R^2 = 0.868$)³. فضلا عن وجود معامل تحديد عالي للمقاومية مع الكثافة الجافة (الشكل 6) بمقدار 0.773، بالإضافة إلى وجود علاقة قوية مع محتوى الرطوبة المثلى، دليل اللدونة والرطوبة الحقلية بمعامل تحديد يساوي 0.969، 0.958، 0.736 على التوالي (الشكل 7 و 8 و 9) أما علاقة النسبة المئوية للطين والمقاومية فكانت ضعيفة (الشكل 10).

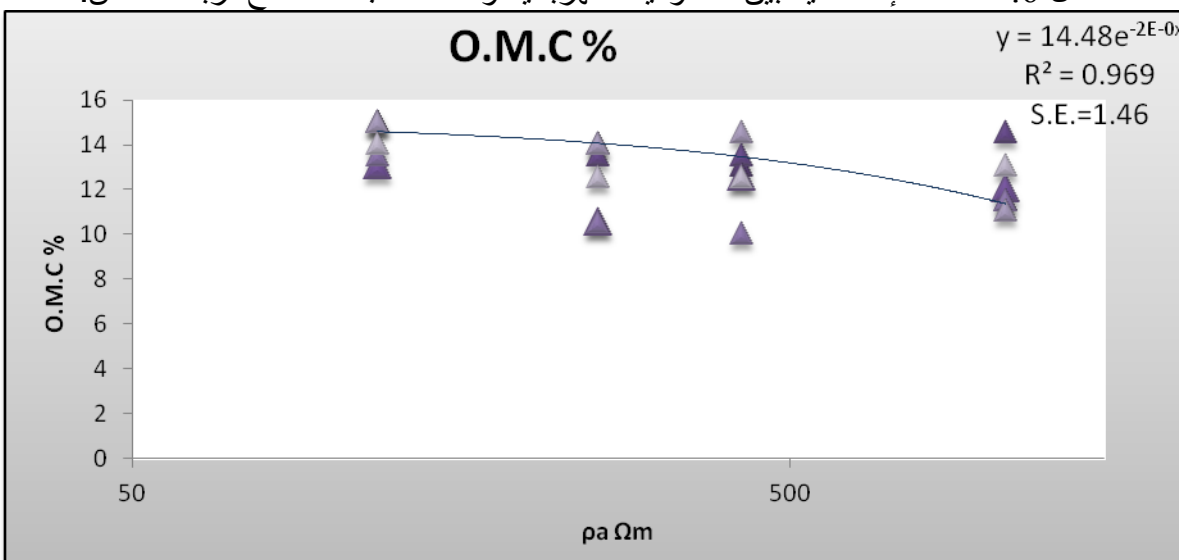


الشكل 5: العلاقة الإحصائية بين المقاومة الكهربائية وقيم CBR لنماذج تربة الأساس.

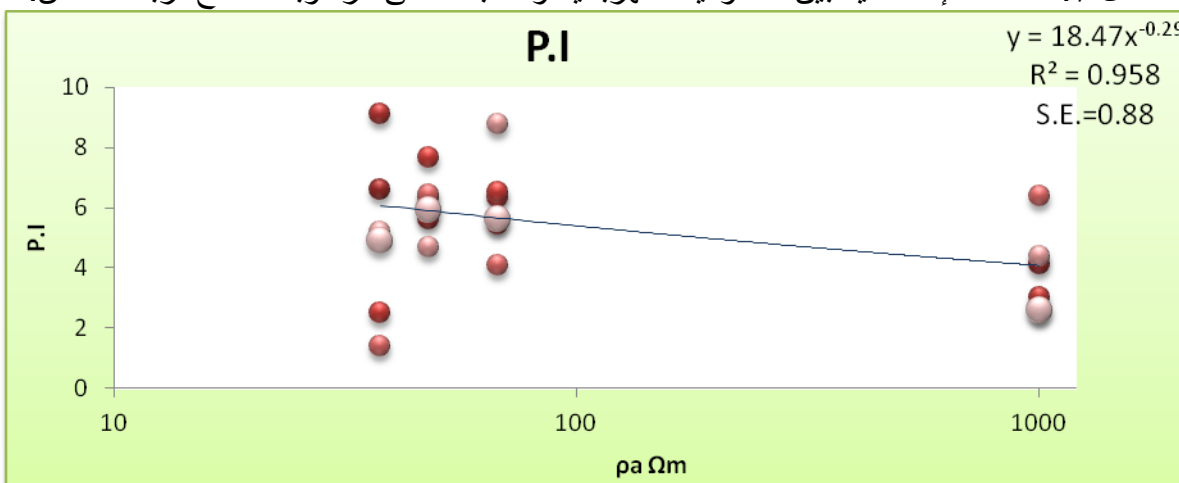
³ (R^2): وهو عبارة عن معامل التحديد تتراوح قيمته بين 0-1



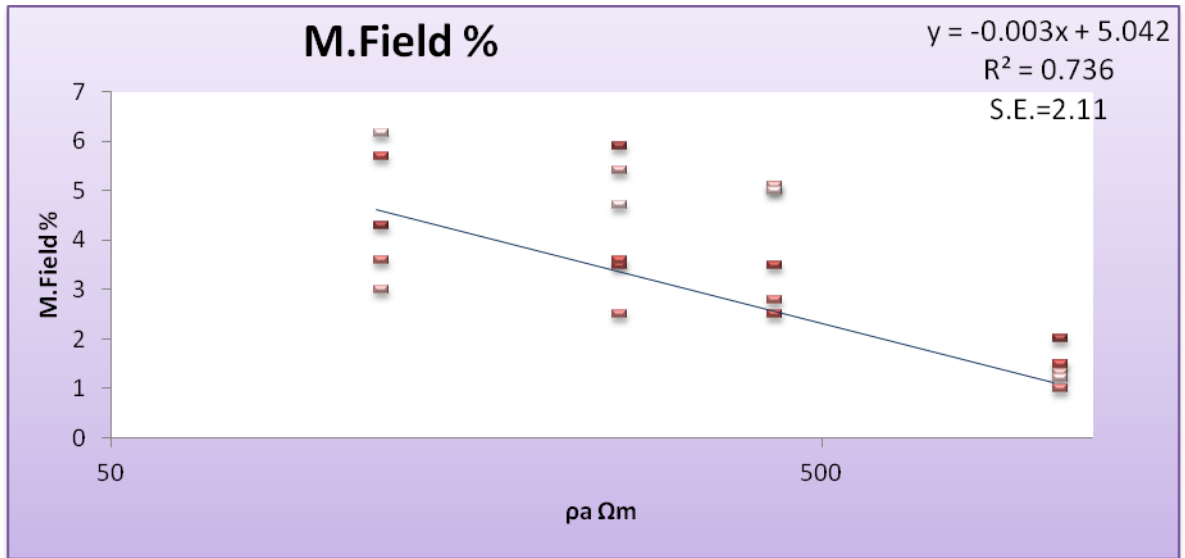
الشكل 6: العلاقة الإحصائية بين المقاومة الكهربائية والكثافة الجافة لنماذج تربة الأساس.



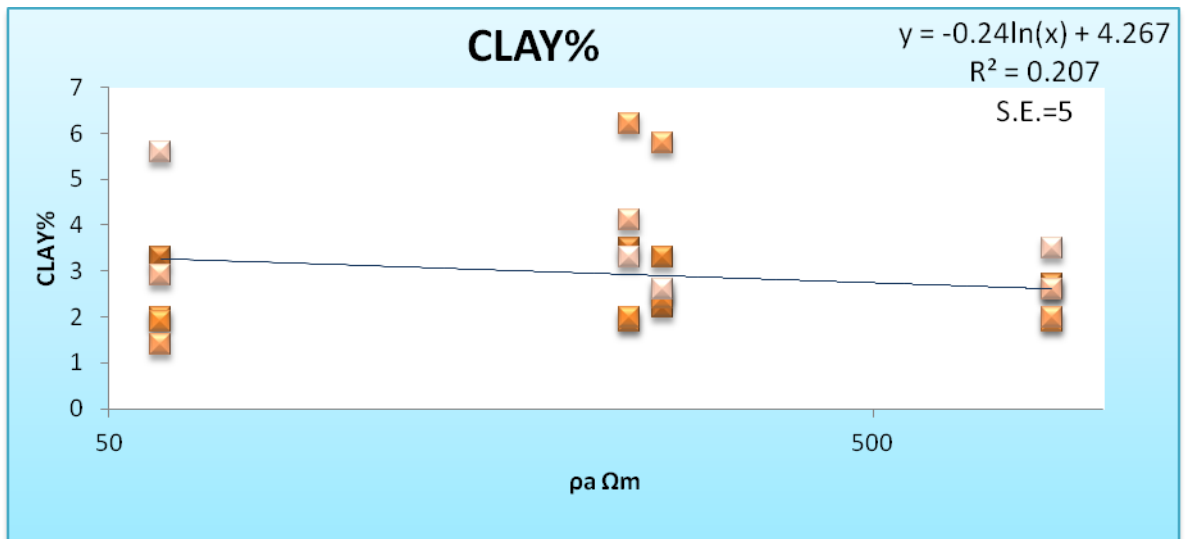
الشكل 7: العلاقة الإحصائية بين المقاومة الكهربائية والنسبة المثلى للرطوبة لنماذج تربة الأساس.



الشكل 8: العلاقة الإحصائية بين المقاومة الكهربائية وقيم دليل اللدونة لنماذج تربة الأساس.



الشكل 9: العلاقة الإحصائية بين المقاومة الكهربائية ونسبة الرطوبة الحقلية لنماذج تربة الأساس.



الشكل 10: العلاقة الإحصائية بين المقاومة الكهربائية والنسبة المئوية الطين لنماذج تربة الأساس.

المناقشة

أن نسبة التحمل الكاليفورني المغمورة للترب الطينية (Socked CBR) وفق الدراسات العالمية (Osinowo *et al.*, 2011) والبحث الحالي تتميز بفضالة قيمها حيث يعزى ذلك إلى انتفاخ التربة الحاوية على المعادن الطينية والتي تؤدي إلى انخفاض قوة تحميل كاليفورنيا وبالتالي تقليل قيم مقاومة كهربائية وبذلك تصبح هنالك علاقة طردية قوية بينهما. أما التربة الرملية الغرينية (Silty Sand) أو الحاوية على الحصى (Gravel)، فقد بينت الدراسة الحالية في موقع الحاوي الواقع في سهل دجلة الفيضي (Tigris Flood Plain) بزيادة قيم نسبة التحمل الكاليفورني لهذه التربة وبالعلاقة ضعيفة مع قيم المقاومة المتأثرة بسبب وجود الغرين، ويمكن أن يعود ذلك إلى أن تأثير غمر الغرين بالماء

محدودا على قيم CBR لتلك التربة. مما تقدم يتبين انه لا يمكن الاعتماد على قيم المقاومة الكهربائية في التأكد من صلاحية التربة الرملية الحاوية على نسب كبيرة من الغرين وكما أشار إلى ذلك (Osinowo et al., 2011).

أما نسب الطين ودليل اللدونة من جهة وعلاقتهم كلا على حدة مع المقاومة الكهربائية لتربة الأساس فلا توجد دراسة عالمية توضح العلاقات الإحصائية بينهم وذلك بسبب تنوع المعادن الطينية المكونة لهذه التربة. لذلك بينت الدراسة الحالية أن العلاقة متباينة حيث لوحظ وجود علاقة ضعيفة مع النسبة المئوية للطين أما مع دليل اللدونة فكانت العلاقة قوية. وبذلك لا يمكن الاعتماد على المقاومة الظاهرية في تقدير تلك النسب للموقعين أعلاه وذلك لتنوع مكونات التربة ونسبها وتأثير ذلك على قيم المقاومة المقاسة حقليا. وتباينت العلاقات الإحصائية لنسب محتوى الرطوبة المثلى والكثافة الجافة مع المقاومة الحقلية بمعامل تحديد قوي الى ضعيف اعتمادا على الأسباب المذكورة آنفا.

الاستنتاجات

- 1- أوضحت مقاطع تساوي المقاومة الكهربائية وجود تغيرات أفقية وعمودية متباينة والتي تعكس عدم تجانس مكونات التربة واختلاف الخصائص الفيزيائية لطبقة الأساس الترابي للطرق في منطقة الدراسة، حيث يمكن الاعتماد عليها في اختيار المواقع الصحيحة لأخذ عينات التربة وبالتالي إنهاء الطريقة العشوائية في جمع العينات.
- 2- أظهرت التحريات الهندسية المخبرية أن العينات التي تم جمعها عموما ممتازة إلى قوة حسب دليل المواصفات والخصائص الهندسية (AASHTO) والتي تقع ضمن المجموعات (A-2-4، A-2-6) كمواد للأساس الترابي مع التباين الواضح في قيم المقاومة المقاسة حقليا لهذه العينات مما يدل على تداخل عوامل كثيرة تؤثر في قيم المقاومة الكهربائية للتربة والتي لا تؤخذ بعين الاعتبار في التصنيف الهندسي.
- 3- تم إيجاد معامل تحديد قوي للعلاقة بين المقاومة الكهربائية ونسبة التحمل الكاليفورني وخصوصا للترب الطينية. أما التربة الحاوية على نسب كبيرة من الغرين كما في موقع حاوي الكنيسة فأن العلاقة تكون ضعيفة.
- 4- تباينت قوة العلاقات الإحصائية بين كل من نسب الطين والكثافة الجافة ومحتوى الرطوبة المثلى ودليل اللدونة ونسبة الطين من جهة والمقاومة الحقلية من جهة اخرى في مواقع الدراسة الست.

المصادر الاجنبية

- Abdelwahab, H., 2013. Comparison of 2D and 3D Resistivity Imaging Methods In The Study Of Shallow Subsurface Structures. Greener Journ. Sci., Vol. 3, No. 4, pp.149 - 158.
- American Association Standard for Highways and Transportation Office (AASHTO), 1996. Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. Part II.
- Bery, A. A., and Saad, R., 2012. Tropical Clayey Sand Soil's Behavior Analysis and Its Empirical Correlations via Geophysics Electrical Resistivity. International Journ. of Geosci., Vol. 3, pp. 111 - 116.
- Bowles, J., 1978. Engineering Properties of Soils and their Measurement. 2nd., McGraw Hill,.
- Bowles, J., 1984. Foundation Analysis and Design. 3rd., Annual Book of ASTM Standards. Vol. 4, No. 8.
- British Stander (BS5930). Code of Practice for Site Investigations. British Standards Institution, London.
- Dafalla, M., and Al-Fouzan, F., 2012. Influence of Physical Parameters and Soil Chemical Composition on Electrical Resistivity: A Guide for Geotechnical Soil Profiles. Int. J. Electrochem. Sci., Vol. 7, pp. 3191 - 3204.
- IPI2WIN, 2011. 1D Interpretation of VES Profile, User Manual Interpretation of Field Curves, Moscow University, Russia, 25p.
- Knödel, K., Lange, G., and Voigt, H., 2007. Geophysics (Direct Current Resistivity Methods). Handbook of Field Methods and Case Studies. Springer- Verlag, Berlin, pp. 205 - 238.
- Land mapper Manual, 2012. Measuring Electrical Properties of Natural Systems with Land Mapper® ERM - 02. 68p. www.landvisor.com.
- Loke, M. H., 2012. Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys. 160 P.
- Osinowo, O. O., Akanji, A. O., and Akinmosin, A., (2011). Integrated geophysical and Geotechnical Investigation of the Failed Portion of a Broad in Basement Complex Terrain, Southwest Nigeria. RMZ – Materials and Geo-Environment, Vol. 58, No. 2, pp. 143 - 162.
- Reynolds, J. M., 2003. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, 796 p.
- Siddiqui, F. I., and Osman, B.A., 2012. Integrating Geo-Electrical and Geotechnical Data for Soil Characterization. International Journ. of Appl. Phys. and Math., Vol. 2, No. 2, pp. 104 - 106.