

Abstract

This research is an empirical method for estimating the possibility of using cement dust as an additive for sandy soil during the field compaction process. The soil samples were brought from Al-Najaf city and treated with cement dust. Twenty test models were prepared and compacted in the standard and modified mould of Proctor test. These models were divided into two broad series, firstly consisted of ten soil samples, five from these samples were carried out at constant compactive energy ($E=355.5 \text{ kJ/m}^3$) for cement dust (4, 8, 12 and 16%) in addition to one case with no cement dust. This energy is less than standard Proctor test energy. Another retained models were tested with compactive energy equal to the energy of standard Proctor test ($E=592.5 \text{ kJ/m}^3$) for the same percentage cement dust. The second series of models were involved ten models, five samples compacted at energy corresponding to Modified Proctor Test ($E=1197.03 \text{ kJ/m}^3$) and other retained models at compactive energy higher than compactive energy of the modified Proctor test ($E=2681.4 \text{ kJ/m}^3$).

The results of laboratory tests which carried out on selected soil showed with increasing compactive energy, the optimum cement dust decreased (this percent was corresponding to the peak dry density in the laboratory). In other words, the optimum cement dust percents were equal to (4%), (6.6%), (8%) and (12%) for compactive energy ($E=355.5, 592.5, 1197.03$ and 2681.4 kJ/m^3) respectively, and the addition of these percents of cement dust led to increase in the maximum dry density (4%, 5.3%, 17.1% and 20.5%) for compactive energy ($E=355.5, 592.5, 1197.03$ and 2681.4 kJ/m^3) respectively.

1 - المقدمة

السيطرة على عملية الحدل الموقعي (Field Compaction) تكون من خلال إيجاد الكثافة الجافة الموقعية (Field dry density) وبالتالي إيجاد درجة الحدل (Degree of compaction) والتي تكون ذات تأثير كبير على الأعمال الترابية (Earth work) وتلك الدرجة اعتمدت على منحني الحدل المختبري (Compaction curve) الذي يربط بين المحتوى المائي (Water content) والكثافة الجافة (Dry density) والذي يعتبر المصدر لإيجاد المحتوى المائي الأمثل (Optimum water content) والكثافة الجافة العظمى (Maximum dry density) (ASTM D 698 and ASTM D 1557).

ومن اجل الوصول إلى درجة الحدل المطلوبة تحتاج التربة إلى تسليط طاقة ميكانيكية عليها من خلال الحادلات وتلك الحادلات تقوم بحدل التربة على شكل طبقات كل طبقة بسبك يتراوح بين (20 cm) إلى (30 cm) ولفترة معينة من الزمن حتى الوصول إلى درجة الحدل المطلوبة (Multiquip Inc. (2004)). ومن اجل تقليل ذلك الزمن وبالتالي تقليل عدد مرات مرور الحادلة على نفس الطبقة تم اقتراح مضاف واطى الكلفة يتم إضافته إلى التربة الرملية و هو مادة غبار الاسمنت المتطاير من الأفران (Cement dust) والذي يؤثر على معظم الأحياء السكنية المجاورة لمصانع الاسمنت و تعد تلك المناطق أكثر تضررا من الغبار و ان استعمال هذا الغبار كمضاف سيحول الضرر إلى نفع (مجلة الشرق الأوسط (2009)).

غبار الاسمنت يعتبر من المخلفات لصناعة الاسمنت و يتكدس كناتج عرضي بالقرب من الأفران بكميات ضخمة تتراوح بين (150-300 tons) يوميا و قد يطرد هذا الغبار من مداخل الأفران و يشكل مخاطر ضارة على البيئة المحيطة بمعمل الاسمنت عند تجمع بكميات كبيرة (التلوث الهوائي الناتج من مصانع الاسمنت) (Morphom et. al. (2000)) و كما أن أكادسه كبيرة تعيق عمل المصنع لذلك فيعتبر التخلص منه فائدة للبيئة و كذلك فائدة اقتصادية كونه يعيق عملية الإنتاج (معامل اسمنت الكوفة الجديد و القديم). كلفة غبار الاسمنت فهي تتضمن كلفة نقله من المصنع إلى موقع الحدل فقط. أما التركيب الكيميائي له (Chemical composition) يمكن ملاحظته في الجدول رقم (1) (المركز القومي للمختبرات الإنشائية NCCL). يوضح الجدول أن الغبار يملك نسبة عالية من القلوية (Alkalis) مع بعض الطين القلوي (Clayey alkalis)، و أن تلك النسب العالية الموجودة بغبار الاسمنت ستقل بصورة كبيرة عند إضافة الغبار إلى التربة الطبيعية و بنسبة معينة.

أما طريقة الإضافة المقترحة لغبار الاسمنت موقعا عن طريق إضافته بصورة جافة إلى التربة الطبيعية التي يتم تجميعها على شكل أكادس، بعد ذلك يتم فرشها على شكل طبقات و تبدأ عملية الحدل الموقعي.

هناك عدة بحوث سابقة أجريت من اجل الاستفادة من الغبار فاستخدم لتحسين بعض الخواص الهندسية للتربة مثل خصائص الانتفاخ و الانضغاط للتربة الطينية (Expansive soil) كما قام الباحث سعيد و جماعته (2008) ببيان كفاءة الأعمدة الركامية بعد تثبيتها بالنورة أو غبار الاسمنت أو بكليهما في زيادة قابلية تحمل التربة الطينية الضعيفة. النتائج قد بينت مؤشرات مشجعة لاستخدام المضافات المحلية من النورة أو غبار الاسمنت مع أعمدة الحجر المكسر لتقليل مقدار الانضغاط لتلك الترب.

أو قد يستعمل الغبار لزيادة مقاومة التربة (Soil strength) كما في بحث شابل (2006) الذي استخدم غبار حرق الاسمنت في تثبيت مساحات شاسعة من السبخة الرملية الغرينية (Silty sand) ذات اللون الأسود الداكن و السبخة نوع من

أنواع التربة التي بها الكثير من المشاكل الإنشائية مثل ارتفاع نسبة الأملاح، زيادة الانضغاطية و قلة مقاومة القص بالإضافة إلى بعض المشاكل المصاحبة لذا وجد من الأهمية تثبيت تلك التربة من خلال رفع قيم خواصها الهندسية حتى يتسنى استخدامها و الإنشاء عليها و بالمقابل نجد أن هناك كميات هائلة من مخلفات مصانع الاسمنت البوتلندي تقدر حوالي (1 200 000) طن سنوياً، تم خلط نسب متعددة من غبار حرق الاسمنت مع تربة السبخة و تم اختيار نسبة الغبار المثلى التي تحقق المواصفة و تحسن خواص التربة.

الاجباري(2009) قدم دراسة عملية لتثبيت رمل الصحراء في دولة عمان باستخدام الاسمنت البوتلندي و غبار الاسمنت و كلا المضافين استخداما بنسب (2%, 4%, 8%, 10% and 12%) من الوزن الجاف. نتائج الفحوصات أوضحت أن استخدام الاسمنت و غباره تؤدي إلى زيادة معاملات القص (C) و (ϕ) و نقصان الانضغاطية لرمل الصحراء.

و كذلك تم إدخال الغبار في بعض الصناعات مثل صناعة الزجاج لإعطائه لون و قوة. هيئة المساحة الجيولوجية في المملكة العربية السعودية (2009) نجحت باكتشاف جديد يحول «الغبار الضار»، الذي يتجمع في مصانع الاسمنت إلى مادة مفيدة يصنع منها الزجاج، و تم ذلك من خلال ماكينة يتم تركيبها على خطوط إنتاج مصانع الاسمنت و بالتالي فإن الغبار المتجمع في الممرات الجانبية لمصانع الاسمنت يتم تحويله إلى مادة غير خام و غير تقليدية، ومن ثم تدويرها لتصبح زجاجاً ملوناً وسيراميك و كذلك اوضحت الهيئة أن ناتج حرق المواد الخام المكونة للاسمنت والمتضمنة «الحجر الجيري والطفلة ورمل السليكا وخام الحديد»، تحتوي على العناصر الأساسية اللازمة لتكوين الزجاج، الأمر الذي يجعل من الغبار الناتج عن مصانعها مادة خام تدخل في صناعة الزجاج الملون والزجاج السيراميكي وإضافة الهيئة إن الدراسات أظهرت أن الزجاج الناتج من غبار الاسمنت يمتاز بصلابة ومقاومة كيميائية عالية، ما يؤهله للاستخدامات المختلفة مثل بلاط الحوائط والأرضيات وأنباب الصرف الصحي، إضافة إلى استخدامه في المباني والمنشآت وزجاج العبوات الدوائية و يمكن استخدام الغبار في صناعة بعض أنواع الطابوق و لكن لحد الآن لم يستخدم كمادة مضافة خلال عملية الحدل لا في المجال النظري و لا في المجال العملي.

الجدول(1):التركيب الكيميائي لغبار الاسمنت(NCCLR, 2005)

Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Chlorides CL	L.O.I
percent	15.46	3.91	3.05	43.4	2.98	6.34	2.44	1.42	0.92	28.86

2- الهدف من البحث:

لتخمين إمكانية استعمال غبار الاسمنت (Cement dust) كمضاف إلى التربة الرملية من اجل زيادة الكثافة الجافة الحقلية و بالتالي التقليل من طاقة الحدل (Compactive energy) للوصول إلى درجة الحدل المطلوبة وبوقت أقل وبالتالي تقليل الكلفة الاقتصادية للمشروع. كذلك إيجاد نسبة الغبار المثلى المضافة للتربة (Optimum cement dust).

3- العمل المختبري:

تضمن العمل المختبري جزئين، الأول تضمن عشرة موديلات استعمل فيها القالب و المطرقة الخاصة بفحص بروكتر القياسي (Standard Proctor Test) وكما موضح بالشكل (1a)، أما الشكل (1b) يوضح الجزء الثاني من الفحوصات

المختبرية التي تضمنت عشرة موديلات أخرى ولكن تم استعمال القالب والمطرقة الخاصة بفحص بروكتر المطور (Modified Proctor Test).



(b). فحص بروكتر المطور



(a). فحص بروكتر القياسي

الشكل (1): يوضح المطرقة و القالب الخاص بكل فحص

التربة المراد استخدامها بالبحث جلبت من مناطق مختلفة من مدينة النجف وكانت العينة الأولى من منطقة تقع جنوب المدينة و العينة الأخرى من منطقة تقع شمال المدينة أما العينة الأخيرة فقد جلبت من غرب المدينة و أخذت على شكل عينات مشوشة (Undisturbed samples) و من أعماق مختلفة. ومن نتائج التحليل المنخلي للتربة وجد بأن تدرجها متقارب لذلك تم استعمال التربة المأخوذة من جنوب المدينة لأن تلك التربة تكون أكثر انتشاراً في محافظة النجف و كان تدرجها (3.95% حصى ، 89.55% رمل أما الغرين فنسبته 6.5%) وحسب نظام التصنيف الموحد صنفت التربة على أنها رمل رديء التدرج (SP-SM). أما الوزن النوعي (Specific gravity) فمساوية إلى 2.65. أما تدرج التربة بعد إضافة غبار الاسمنت فيعتمد على كمية الغبار المضاف ويكون كنسبة من الغرين كونه مادة ناعمة.

تم إجراء فحوصات كيميائية على عينات التربة الطبيعية غير المعالجة بالغبار و التي جلبت من ثلاث مناطق مختلفة من مدينة النجف و قد وجد بان نتائج تلك الفحوصات متقاربة جداً، إضافة إلى إجراء تلك الفحوصات للتربة المعالجة بالغبار بنسب (4%) و (8%) و (12%) و (16%) و أن النتائج للعينة المأخوذة من جنوب المدينة و المعتمدة بالبحث كانت كالآتي:-
نسبة محتوى الكبريتات (Sulphate Content, So_3) مساوية إلى (0.18%) و قد تم إجراء ذلك الفحص بموجب المواصفة (BS1377 Test No.9) و التي تشترط كون نسبة الكبريتات في التربة الطبيعية مساوي إلى (10%) كحد أعلى و حسب ما ورد في المواصفة العامة للطرق و الجسور (SORB/R₅) الخاصة بالأعمال الترابية (المركز القومي للمختبرات الإنشائية : مواصفات المواد الإنشائية، 2001) . و بالعودة إلى جدول رقم(1) نلاحظ أن قيمة (So_3) لغبار الاسمنت (6.34%) و عند خلط هذا الغبار مع التربة بنسب (4%) و (8%) و (12%) و (16%) فان نتائج فحص محتوى الكبريتات سيقل إلى (0.37%) و (0.66%) و (0.89%) و (1.12%) على التوالي.

أما نسبة محتوى الجبس في التربة غير المعالجة بالغبار كانت مساوية إلى (1.1%) و تلك النسبة ستزداد إلى (1.33%) و (1.87%) و (2.12%) و (2.38%) عند خلط غبار الاسمنت مع التربة بنسب (4%) و (8%) و (12%) و (16%) على التوالي و حسب المواصفة العامة للطرق و الجسور (SORB/R₆) فان نسبة الجبس المسموح بها بداخل التربة يجب أن لا تزيد عن (5%).

نسبة الأملاح الذائبة في التربة غير المعالجة كانت مساوية إلى (1.8%) و حسب المواصفة العامة للطرق و الجسور (SORB/R₆) فان نسبة الأملاح القابلة للذوبان بداخل التربة يجب أن لا تتجاوز (10%) و عند إضافة الغبار بنسبة (4%) و (8%) و (12%) و (16%) فان نسبة الأملاح تصبح (2.05%) و (2.31%) و (3.11%) و (4.25%) على التوالي. مما تقدم نستنتج أن التأثير الكيميائي للغبار على التربة الطبيعية يكون طفيف بسبب خلط نسبة قليلة من الغبار تتراوح من (4%) إلى (16%)، بمعنى آخر أن نسبة الكبريتات و الجبس و الأملاح الذائبة في التربة المعالجة بالغبار تكون ضمن المسموح به حسب المواصفة العراقية.

تم إعداد النماذج و ذلك بوضعها في الفرن و تجفيفها و تمريرها عبر منخل رقم 4 (4.75 ملم) ، كميات التربة الجافة يتم خلطها مع نسب وزنيه من غبار اسمنت مقترحة مقدارها (4 , 8, 12 and 16%) (التربة المعالجة Treated Soil) إضافة إلى نموذج التربة الغير معالجة (Untreated Soil) عملية الخلط تكون بصورة جيدة إلى أن تصبح التربة مع الغبار متجانسة و يضاف إليها نسبة معينة من الماء.

تحلل التربة بعد ذلك بقالب الحدل القياسي على شكل ثلاث طبقات و تستخرج الكثافة الجافة العظمى المختبرية (Maximum dry density) و المحتوى المائي الأمثل (Optimum water content) من منحنى الحدل المختبري لعشرة موديلات خمسة منها عند طاقة حدل اقل من طاقة فحص بروكتر القياسي (Reduced standard Proctor test) ($E=355.5 \text{ kJ/m}^3$) و لنسب غبار (0, 4 , 8 , 12 and 16%) أما الموديلات الخمسة الأخرى فعند طاقة حدل بروكتر القياسي (Standard Proctor test) ($E=592.5 \text{ kJ/m}^3$) و لنفس نسب غبار الاسمنت (Lambe, 1951).

عشرة نماذج أخرى ستحدل و لكن بداخل قالب الحدل المطور لبروكتر و على شكل خمس طبقات من اجل استخراج منحنى الحدل لكل نموذج، خمسة من تلك النماذج حدثت عند طاقة حدل مناظرة إلى فحص بروكتر المطور (Modified Proctor test) ($E=1197.03 \text{ kJ/m}^3$) و الخمسة الأخرى حدثت مع طاقة أعلى من فحص بروكتر المطور (High Modified Proctor test) ($E=2681.4 \text{ kJ/m}^3$).

تم التحكم بطاقة الحدل من خلال زيادة أو نقصان عدد الضربات لكل طبقة من الطبقات المحدولة بداخل القالب و أن الطاقة المناظرة إلى (15 ضربة) مساوية إلى (355.5 kJ/m^3) أما الطاقة (592.5 kJ/m^3) فتكون مناظرة إلى (25 ضربة) لكل طبقة في حالة استعمال مطرقة و قالب فحص بروكتر القياسي، بينما لحالة فحص بروكتر المطور فان عدد ضربات (25) ضربة تكون مناظرة إلى طاقة الحدل ($E=1197.03 \text{ kJ/m}^3$) و لكن تصبح تلك الطاقة ($E=2681.4 \text{ kJ/m}^3$) عندما تكون عدد الضربات (56 ضربة) لكل طبقة (عدد الضربات 56 يكون مناظر إلى عدد الضربات في حالة كون التربة سبيس (Sub base) مواصفات المواد الإنشائية، 2001).

من خلال العمل المختبري وجد بان تغيير طاقة الحدل (355.5 kJ/m^3) و (392.5 kJ/m^3) و (1197.03 kJ/m^3) و (2681.4 kJ/m^3) لا يؤثر على الخصائص الكيميائي للتربة سواء كانت تلك التربة معالجة بالغبار أو غير معالجة بمعنى آخر، أن كيميائية غبار الاسمنت ستقل بصورة كبيرة عند خلطه مع التربة الطبيعية و من دراسة إضافة أعلى نسبة غبار مقترحة (16%) وجد أن كيميائية الغبار لا تؤثر على الكثافة الجافة العظمى و بالتالي لا تؤثر على درجة الحدل.

4- عرض و مناقشة النتائج:

(4-1): تأثير إضافة غبار الاسمنت على منحنى الحدل عند طاقة (355.5 kJ/m^3)

الشكل (2) يوضح العلاقة بين الكثافة الجافة (γ_d) والمحتوى المائي $(\omega\%)$ للتربة المستخدمة في البحث عند طاقة حدل أقل من طاقة الحدل المستخدمة في فحص بروكتر القياسي $(E=355.5 \text{ kJ/m}^3)$ Reduced Standard Proctor (Test) ومن شكل المنحني نلاحظ انه عند محتوى مائي مقداره (8%) وجد ان الكثافة الجافة كانت مساوية تقريباً إلى الكثافة الجافة في محتوى مائي (4%)، وبعد ذلك تحصل زيادة في الكثافة وهذه الحالة تحصل في التربة الرملية بسبب كون أن طبقة صغيرة من الماء تحيط بحبيبات التربة وهذه الطبقة تحتفظ بالحبيبات كجزء منها مما يؤدي إلى التقليل من الكثافة (Nashat, 1990) ومن هذا المنحني وجد أن أقصى كثافة جافة مساوية إلى (1.78 g/cm^3) وأن المحتوى المائي الأمثل المناظر لها مقداره (12%).

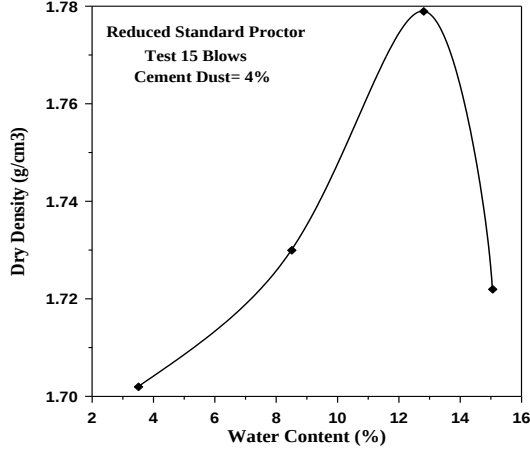
الشكل (3) يوضح منحنى الحدل الذي تم الحصول عليه بإضافة (4%) من غبار الاسمنت إلى التربة ومن هذا الشكل وجد بأن الكثافة الجافة العظمى (1.779 g/cm^3) والمحتوى المائي الأمثل هو (12%) ونلاحظ أن تلك الكثافة الجافة العظمى تكون مساوية تقريباً إلى الكثافة الجافة العظمى عند عدم إضافة غبار الاسمنت مما يعني أن إضافة غبار الاسمنت بكمية صغيرة لم يؤثر على عينة التربة عند طاقة حدل واطئة.

نلاحظ من الشكل (4) أن قيمة الكثافة الجافة عند محتوى مائي مقداره (4%) هي (1.76 g/cm^3) وعند زيادة المحتوى المائي إلى (8%) انخفضت إلى (1.758 g/cm^3) وبعد ذلك ارتفعت الكثافة الجافة إلى (1.79 g/cm^3) والقيمة الأخيرة هي الكثافة الجافة العظمى لحالة إضافة غبار اسمنت بنسبة (8%).

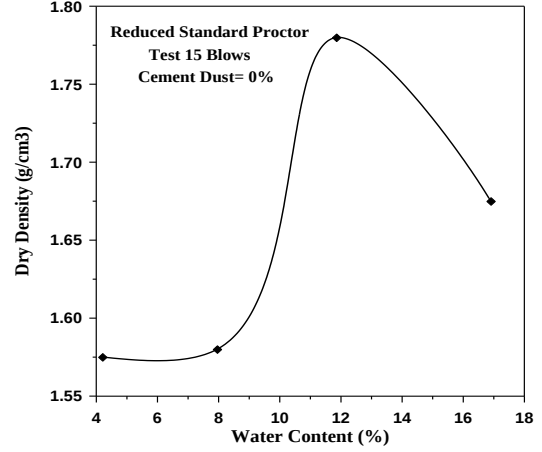
الشكل (5) يوضح التغير بين الكثافة الجافة (γ_d) والمحتوى المائي $(\omega\%)$ عند إضافة غبار الاسمنت بنسبة (12%)، ومن هذا الشكل نلاحظ أن قيمة الكثافة الجافة عند نسبة محتوى مائي (4%) انخفضت و بصورة حادة عند إضافة الماء بنسبة (8%) ونلاحظ أن سبب الانخفاض في الكثافة الجافة في بداية المنحني ومن ثم تزداد الكثافة ناتج من أن طبقة من الماء تحيط بحبيبات التربة وتكون تلك الحبيبات جزء منها وتحصل هذه الحالة في التربة الرملية فقط وفي حالة كون التربة ذات بزل حر (Freely draining) (Singh, 1976) و عند زيادة المحتوى المائي إلى (12%) تزداد الكثافة الجافة إلى أقصى قيمة (1.851 g/cm^3) و من ثم يحصل هبوط حاد في قيمة الكثافة الجافة مع زيادة المحتوى المائي إلى (16%).

عند إضافة نسبة غبار اسمنت مساوية إلى (16%) وجد أن الكثافة الجافة العظمى مساوية إلى (1.765 g/cm^3) عند محتوى مائي مقداره (12%). من الأشكال (2) إلى (6) نلاحظ أن أقصى قيمة للكثافة الجافة لجميع نسب غبار اسمنت تكون عند محتوى مائي (12%). بمعنى آخر أن قيم المحتوى المائي الأمثل يكون ثابت لأي نسبة من نسب غبار الاسمنت، إضافة إلى ذلك و اعتماداً على الأشكال السابقة تم تحديد الكثافة الجافة العظمى (Maximum Dry Density) لكل نسبة من غبار الاسمنت ورسمت العلاقة بينهما و تم توضيحها بالشكل (7). الشكل الأخير يوضح أن نسبة غبار اسمنت (12%) تعطي كثافة

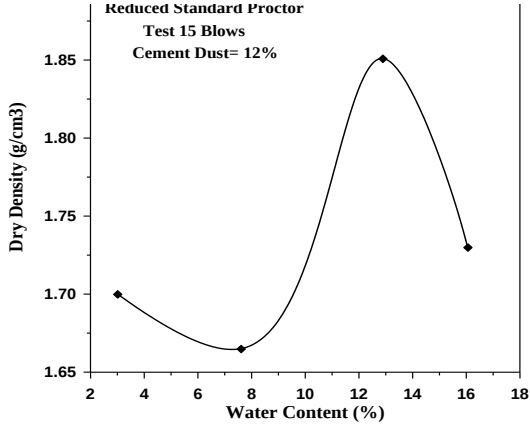
جافة عظمى مقدارها (1.85 g/cm^3) بينما في حالة عدم وجود غبار اسمنت نلاحظ أن الكثافة الجافة العظمى كانت (1.78 g/cm^3) مما يدل على أن تلك الكثافة قد ازدادت بنسبة (4%) بوجود غبار الاسمنت بنسبة (12%) و عند حدل التربة بطاقة ($E=355.5 \text{ kJ/m}^3$) وتلك النسبة لغبار الاسمنت تعتبر نسبة مثلى لتلك الطاقة بمعنى آخر أن اكبر زيادة في الكثافة الجافة العظمى نتيجة إضافة غبار الاسمنت تكون عند إضافة الغبار بنسبة (12 %) وتكون تلك الزيادة هي (4%).



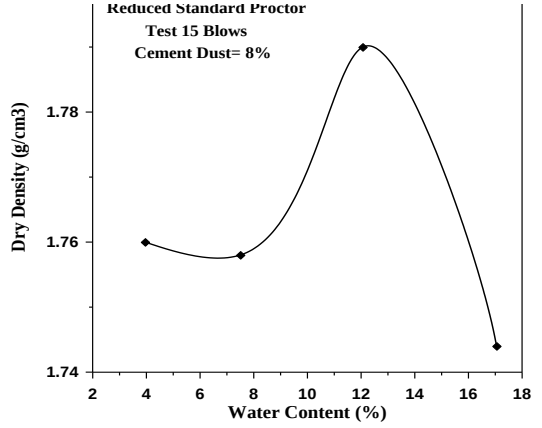
الشكل (3): منحنى الحدل عند إضافة غبار اسمنت (4%)



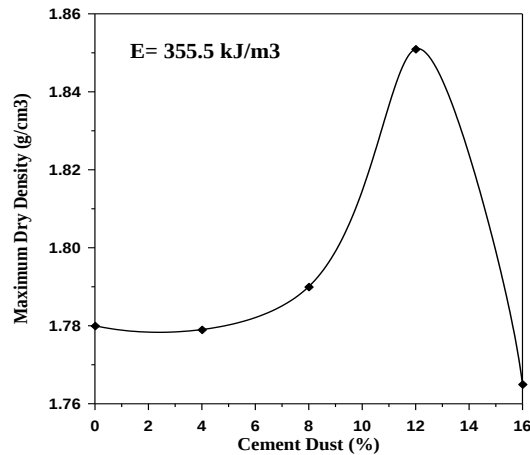
الشكل (2): منحنى الحدل عند عدم إضافة غبار اسمنت



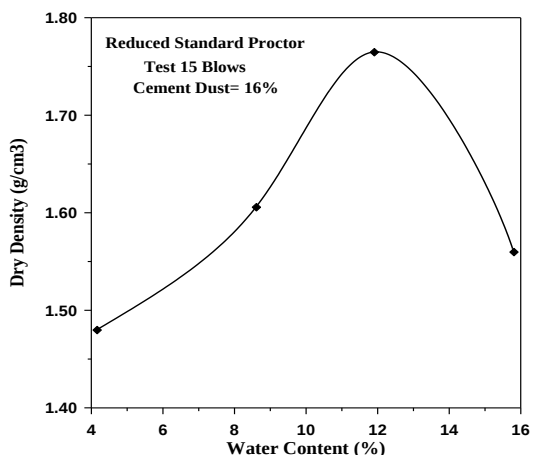
الشكل (5): منحنى الحدل عند إضافة غبار اسمنت (12%)



الشكل (4): منحنى الحدل عند إضافة غبار اسمنت (8%)



الشكل (7): العلاقة بين الكثافة الجافة العظمى $(\gamma_d)_{\max}$ المستخرجة من منحنى الحدل المختبري و نسبة غبار الاسمنت عند طاقة حداً 355.5 kJ/m^3



الشكل (6): منحنى الحدل عند إضافة غبار اسمنت (16%)

(4-2): تأثير إضافة غبار الاسمنت على منحنى الحدل عند طاقة (592.5 kJ/m³)

الشكل (8) يوضح التغير بين المحتوى المائي (ω%) والكثافة الجافة (γ_d) للتربة الرملية عند طاقة حدل مقدارها (E=592.5 kJ/m³) بدون إضافة غبار اسمنت (Untreated Soil) وتلك الطاقة تمثل طاقة فحص الحدل القياسي لبروكتر (Standard Proctor Test) ومن هذا الفحص تم الحصول على أقصى كثافة الجافة (1.81 g/cm³) وعند محتوى رطوبي امثل مقداره (8%) وعندما تم إضافة غبار اسمنت بنسبة (4%) إلى التربة وتم إعادة الفحص القياسي لبروكتر تم الحصول على الشكل (9). هذا الشكل يوضح أن الكثافة الجافة ازدادت بصورة طفيفة إلى (1.8501 g/cm³) وان مقدار تلك الزيادة كان بنسبة (2.22%) مما يدل على أن غبار الاسمنت المضاف قد اثر بشكل قليل على التربة الرملية و تسبب في هذه الزيادة الواضحة. من الشكلين السابقين (8) و (9) نلاحظ أن المحتوى المائي الأمثل يكون متساوي (8%) عند عدم وجود غبار و عند وجود غبار اسمنت بنسبة قليلة (4%).

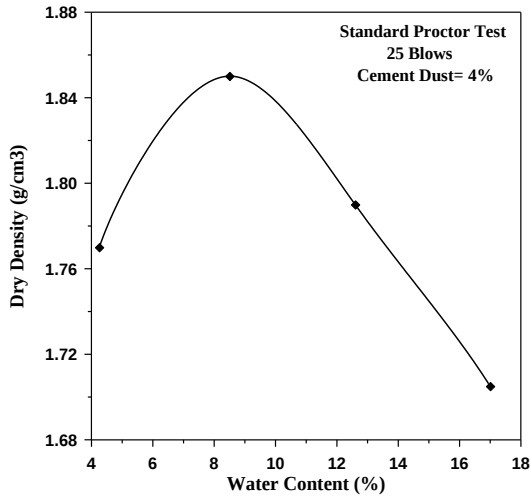
عند زيادة نسبة غبار الاسمنت المضاف إلى (8%) تم الحصول على الشكل (10) و من هذا الشكل نلاحظ حدوث ارتفاع في قيم الكثافة الجافة إلى أن تصل إلى أقصى قيمة (γ_{max}=1.905 g/cm³) وهذه القيمة هي أعلى من الكثافة الجافة العظمى التي تم الحصول عليها بإضافة غبار الاسمنت بنسبة (4%) عند نفس طاقة الحدل.

أما عند إضافة غبار الاسمنت بمقدار (12%) إلى التربة فأدى ذلك إلى ان في الكثافة الجافة العظمى تصبح (γ_{max} = 1.81 g/cm³) و كما موضح بالشكل (11). أما الشكل (12) فانه يوضح تأثير إضافة غبار اسمنت بنسبة (16%) والذي أدى إلى نقصان الكثافة الجافة العظمى إلى (1.775 g/cm³) مما يدل على أن الزيادة في غبار الاسمنت بصورة كبيرة يعطي تأثير سلبي على الحدل الموقعي.

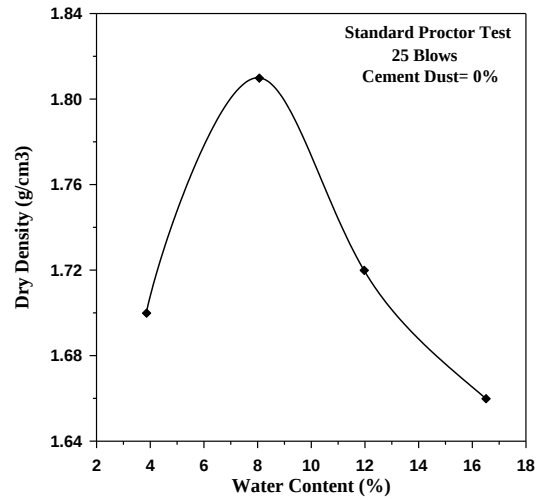
أما المحتوى المائي الأمثل (Optimum water content) لنسب غبار اكبر من (8%) فكانت متساوية و مساوية إلى (8%).

تم تلخيص الأشكال من (8) إلى (12) بالشكل (13) و الذي يوضح العلاقة بين نسب غبار الاسمنت (Cement dust) والكثافة الجافة العظمى وعند طاقة حدل (E=592.5 kJ/m³)، من هذا الشكل يمكن استنتاج أن نسبة غبار الاسمنت مقدارها (4%) تعطي كثافة جافة عظمى مقدارها (1.8501 g/cm³) وهذه القيمة أعلى مما يعطيه منحنى الحدل لحالة التربة غير المعالجة بالغبار (Untreated soil)، أما عند زيادة نسبة غبار الاسمنت بمقدار (8%) نلاحظ حدوث قفزة في الكثافة الجافة العظمى لتصبح (1.905 g/cm³) وهذا أدى إلى حدوث زيادة في الكثافة الجافة العظمى بمقدار (5.25%).

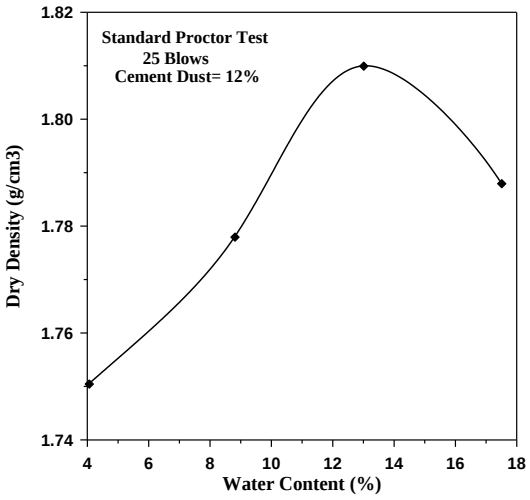
عند إضافة غبار اسمنت بمقدار (12%)، لوحظ أن الكثافة الجافة العظمى ستكون مساوية إلى الكثافة الجافة العظمى عند عدم إضافة غبار اسمنت إلى التربة، أي أن نسبة الزيادة في الكثافة الجافة العظمى مساوية إلى صفر. الانخفاض في الكثافة الجافة العظمى سيزداد طردياً مع زيادة نسبة غبار الاسمنت إلى (16%)، بمعنى آخر الكثافة الجافة العظمى عند هذه النسبة من الغبار تكون اقل من الكثافة الجافة العظمى عند عدم وجود غبار (العينات غير المعالجة بالغبار).



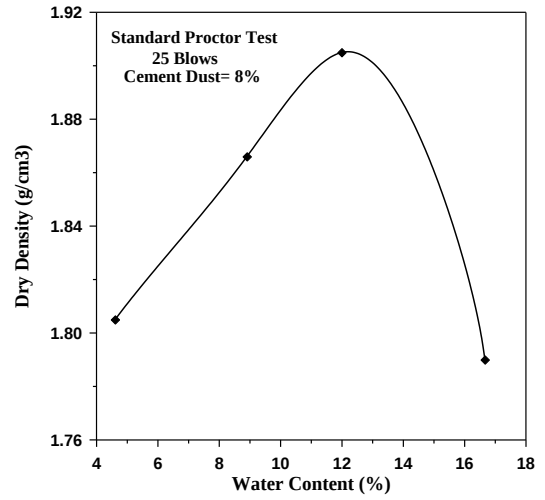
الشكل (9): منحنى الحدل عند إضافة غبار اسمنت (4%)



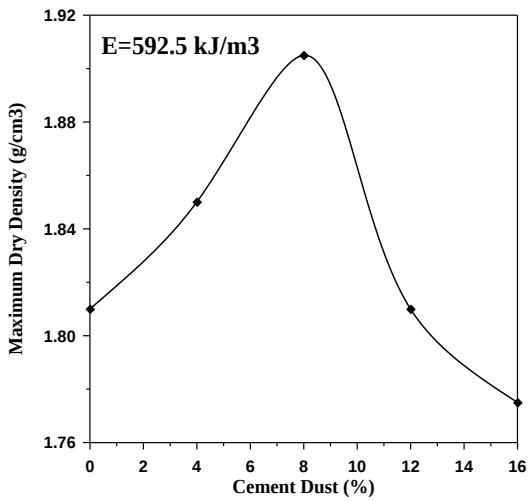
الشكل (8): منحنى الحدل عند عدم إضافة غبار اسمنت



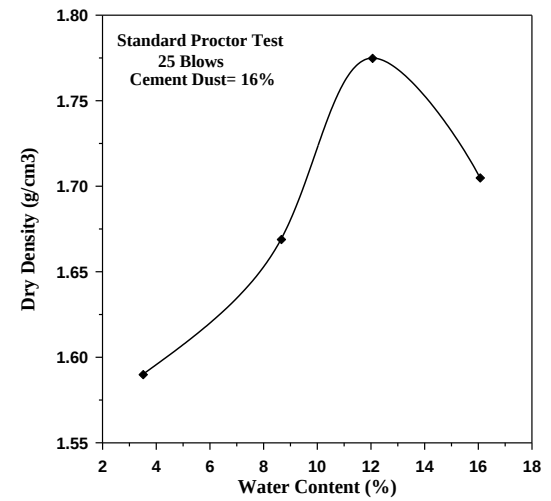
الشكل (11): منحنى الحدل عند إضافة غبار سميت (12%)



الشكل (10): منحنى الحدل عند إضافة غبار سميت (8%)



الشكل (13): العلاقة بين الكثافة الجافة العظمى $(\gamma_d)_{max}$ المستخرجة من منحنى الحدل المختبري و نسبة غبار الاسمنت عند طاقة حدل 592.5 kJ/m^3



الشكل (12): منحنى الحدل عند إضافة غبار اسمنت (16%)

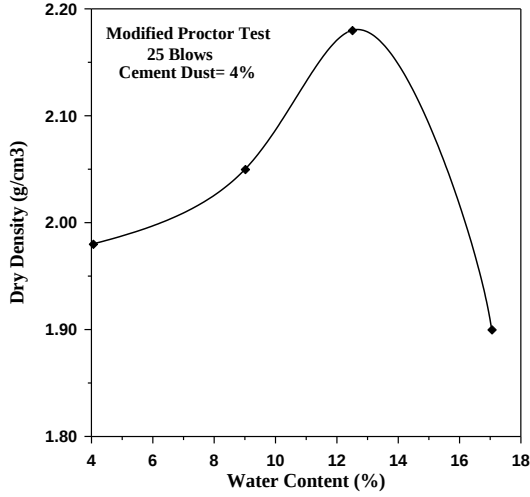
(4-3): تأثير إضافة غبار الاسمنت على منحنى الحذل عند طاقة (1197.03 kJ/m³)

في هذا الجزء من البحث تم استعمال فحص بروكتر المطور (Modified Proctor Test) من اجل استخراج منحنى الحذل ، أي تم استعمال مطرقة ذات وزن أعلى و تهبط من ارتفاع اكبر من فحص بروكتر القياسي و تم زيادة حجم القالب المستعمل و أما بالنسبة لعدد الضربات فكانت (25 ضربة) لكل طبقة توزع بشكل متجانس بداخل القالب.

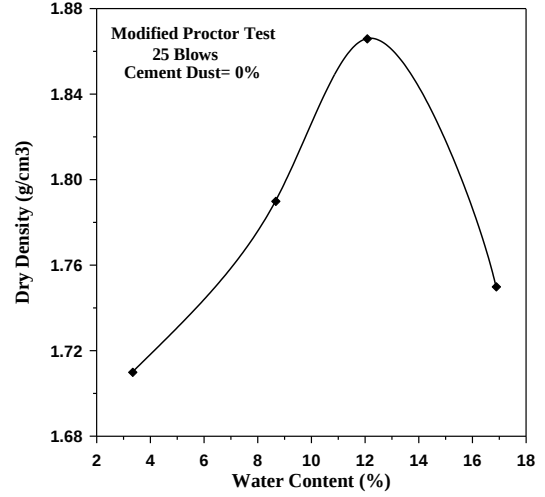
الشكل (14) يوضح أن أقصى قيمة للكثافة الجافة كانت مساوية إلى (1.866 g/cm³) عند عدم إضافة غبار اسمنت و لكن هذه القيمة قد قفزت إلى (2.18 g/cm³) عند إضافة غبار اسمنت بنسبة قليلة بمقدار (4%) و كما بالشكل (15) و مقدار هذه الزيادة بالكثافة الجافة العظمى كان (16.83%) و أما المحتوى المائي الأمثل لكلا الحالتين السابقين فكان مساوي إلى (12%).

عند إضافة كمية اكبر من الغبار بمقدار (8%) لوحظ أن الكثافة الجافة العظمى أصبحت (2.185 g/cm³) و هذه القيمة تكون اكبر بقليل من الكثافة الجافة العظمى عند إضافة غبار بمقدار (4%) و كما موضح بالشكل (16). أما عند زيادة الغبار إلى (12%) و (16%) فان ذلك أدى إلى أن قيمة الكثافة الجافة العظمى تكون اقل من الكثافة الجافة العظمى عند عدم وجود غبار و كما موضح بالشكل (17) و (18) على التوالي.

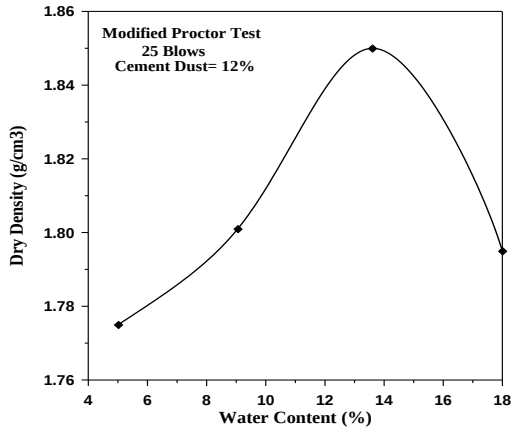
الشكل (19) يوضح أن نسبة غبار الاسمنت التي تقابل أعلى كثافة جافة عظمى هي (6.6%) و تعتبر النسبة المثلى للغبار التي يجب إضافتها عند طاقة حذل ($E=1197.03 \text{ kJ/m}^3$) و بصورة عامة، أن إضافة غبار اسمنت بين نسبة (4%) إلى (8%) تؤدي إلى حدوث زيادة في الكثافة الجافة العظمى بمقدار اكبر من (16.83 %).



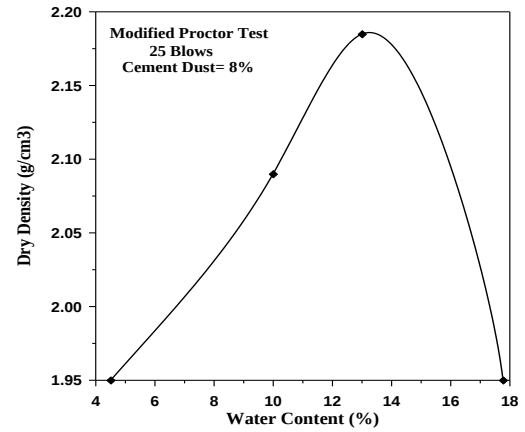
الشكل (15): منحنى الحد عند إضافة غبار اسمنت (4%)



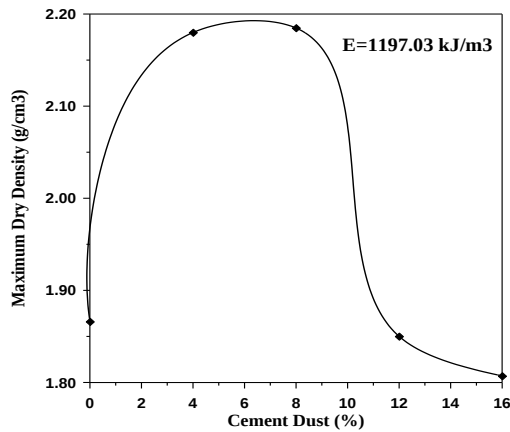
الشكل (14): منحنى الحد عند عدم إضافة غبار سمّنت



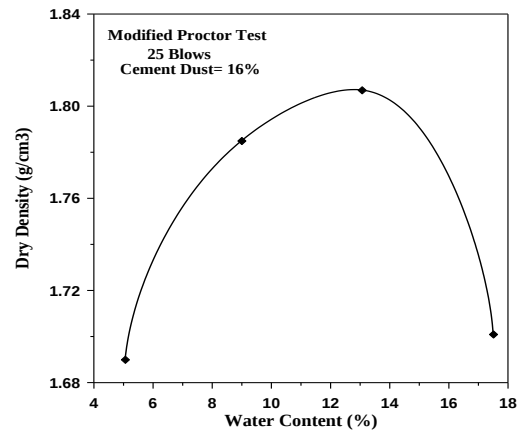
الشكل (17): منحنى الحد عند إضافة غبار اسمنت



الشكل (16): منحنى الحد عند إضافة غبار اسمنت



الشكل (19): العلاقة بين الكثافة الجافة العظمى $(\gamma_d)_{max}$ المستخرجة من منحنى الحد المختبري و نسبة غبار الاسمنت عند طاقة حد 1197.03 kJ/m^3



الشكل (18): منحنى الحد عند إضافة غبار اسمنت

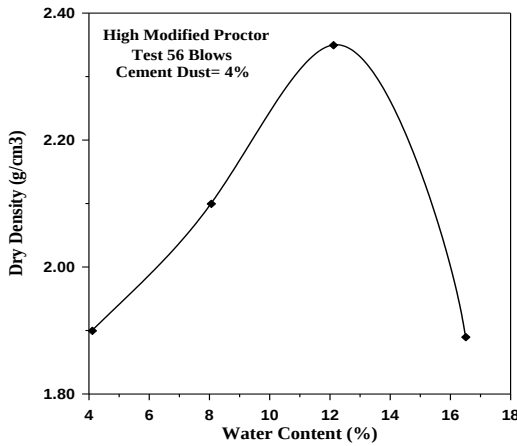
(4-4): تأثير إضافة غبار الاسمنت على منحنى الحدل عند طاقة (2681.4 kJ/m³)

الأشكال من (20) إلى (24) تمثل منحنيات الحدل عند طاقة أعلى من فحص بروكتر المطور (High Modified Proctor Test) و باستعمال (56) ضربة لكل طبقة من الطبقات الخمسة و تلك المنحنيات تكون مشابه بالشكل إلى المنحنيات المشاهدة في المقطع السابق عند طاقة حدل مناظرة إلى فحص بروكتر المطور (Modified Proctor Test).

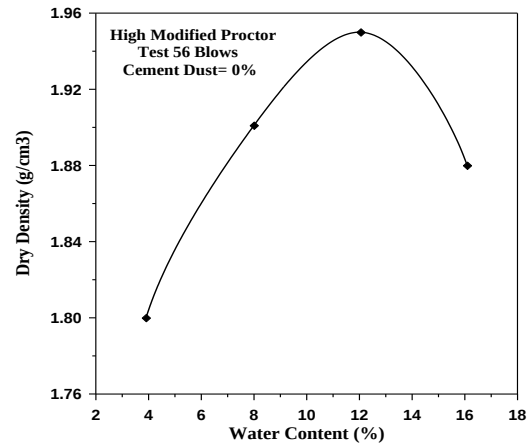
عند عدم إضافة غبار اسمنت، نلاحظ أن الكثافة الجافة المختبرية العظمى تكون مساوية إلى (1.95 g/cm³) و كما مشاهد بالشكل (20) و هذه القيمة ستزداد بصورة كبيرة إلى (2.35 g/cm³)، أي أن الكثافة الجافة العظمى قد ازدادت بمقدار (20.5%) وكما ملاحظ بالشكل (21)، أما بالنسبة للمحتوى المائي الأمثل فيكون مساوي إلى (12%).

اعتماداً على المنحنيات (22) و (23) و (24) فإن أقصى كثافة جافة تكون مساوية إلى (2.28 g/cm³) و (1.905 g/cm³) و (1.877 g/cm³) عند نسب غبار اسمنت (8%) و (12%) و (16%) على التوالي. المحتوى المائي الأمثل يكون اكبر من (12%). قيمة الكثافة الجافة العظمى لحالة نسب غبار (12%) و (16%) تكون اقل من الكثافة الجافة العظمى لحالة عدم إضافة غبار.

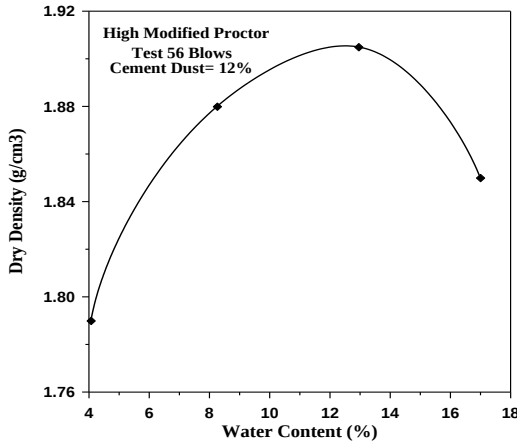
الشكل (25) يوضح أن نسبة غبار الاسمنت المثلى عند أعلى طاقة حدل يمكن استخدامها بالمختبر (E=2681.3 kJ/m³) تكون (4%) و هذه النسبة هي التي تعطي أعلى كثافة جافة مختبرية (2.35 g/cm³) و هذه الكثافة تضاهي كثافة السبب من صنف (A) و عند زيادة غبار الاسمنت إلى (8%) سيحدث هبوط قليل في الكثافة الجافة العظمى، أما الهبوط الحاد في تلك الكثافة سيحدث مع زيادة نسب غبار الاسمنت إلى (12%).



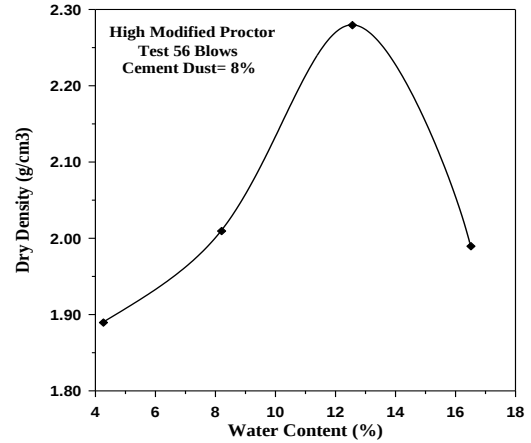
الشكل(21):منحنى الحدل عند إضافة غبار اسمنت (4%)



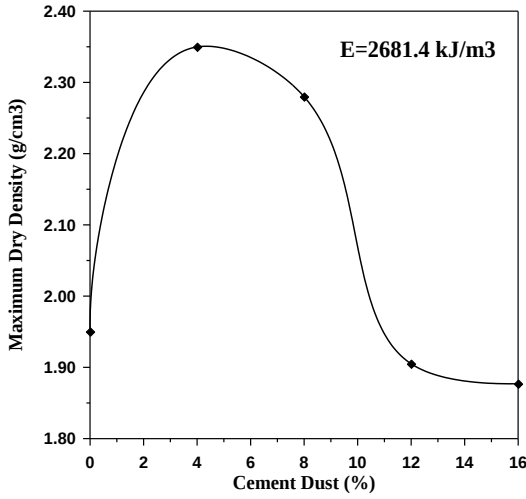
الشكل(20):منحنى الحدل عند عدم إضافة غبار اسمنت



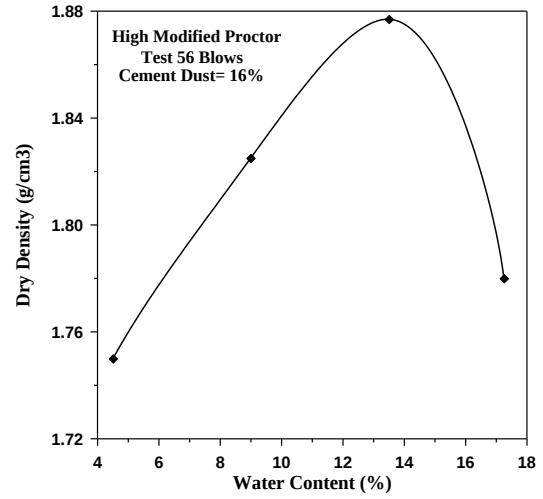
الشكل(23): منحنى الحدل عند إضافة غبار اسمنت (12%)



الشكل(22):منحنى الحدل عند إضافة غبار اسمنت (8%)



الشكل (25): العلاقة بين الكثافة الجافة العظمى $(\gamma_d)_{max}$ المستخرجة من منحنى الحذل المختبري و نسبة غبار الاسمنت عند طاقة حذل 2681.4 kJ/m^3



الشكل (24): منحنى الحذل عند إضافة غبار اسمنت (16%)

(4-5): تأثير غبار الاسمنت و طاقة الحذل على الكثافة الجافة العظمى

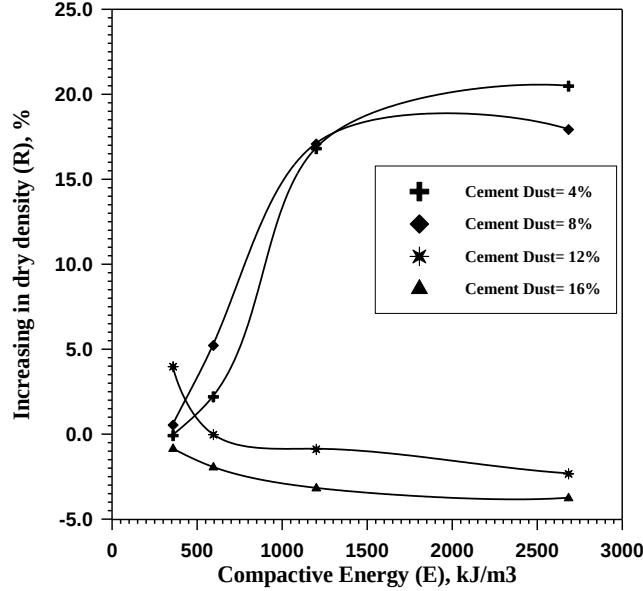
العلاقة بين طاقة الحذل (E) (Compactive energy) و الزيادة في الكثافة الجافة العظمى نتيجة إضافة غبار الاسمنت إلى التربة تم توضيحها بالشكل (26). المعادلة (1) توضح الزيادة في الكثافة الجافة العظمى I التي تم إيجادها من نسبة الفرق بين الكثافة الجافة العظمى للتربة المعالجة (Treated soil) و الكثافة الجافة العظمى للتربة غير المعالجة (Untreated soil) مقسوم على الكثافة الجافة العظمى للتربة غير المعالجة (Untreated soil).

(1)

$$R = \left[\frac{(\gamma_{max})_{treated} - (\gamma_{max})_{untreated}}{(\gamma_{max})_{untreated}} \right] \times 100$$

من الشكل نلاحظ وجود علاقة غير خطية بين المتغيرين (R) و (E) و تكون تلك العلاقة طردية عند إضافة الغبار بكميات صغيرة (4%) و (8%) إلى التربة الرملية بمعنى آخر مع زيادة طاقة الحذل فإن النسبة I ستزداد، و لكن عندما تزداد تلك النسب إلى (12%) أو (16%) فإن العلاقة ستكون عكسية أي مع زيادة طاقة الحذل (E) فإن مقدار الزيادة بالكثافة الجافة العظمى نتيجة إضافة الغبار I ستقل ومن المحتمل أن تكون قيمة I بالسالب. و بالتالي تعتبر النسب (12%) و (16%) من غبار الاسمنت المضاف ذات تأثير سلبي على الحذل الموقعي. الزيادة بالكثافة الجافة العظمى نتيجة إضافة الغبار I تكون اكبر ما يمكن عندما نسبة الغبار المضافة مقدارها (12%) و اوطىء ما يمكن عندما تكون نسبة الغبار (16%)، أما عند نسب غبار (4%) و (8%) تكون قيم النسبة I متقاربة جداً و هذا السلوك يكون عندما طاقة الحذل واطئة جداً و مساوية إلى $E=355.5 \text{ kJ/m}^3$ ، أي عندما تكون مناظرة إلى طاقة أقل من طاقة فحص بروكتر القياسي.

عند طاقة حدل مقدارها (1197.03 kJ/m^3) ، نلاحظ أن مقدار الزيادة بالكثافة الجافة العظمى I نتيجة إضافة غبار الاسمنت بنسبة (4%) يكون مساوي إلى مقدار الزيادة بالكثافة الجافة العظمى نتيجة إضافة الغبار بنسبة (8%) و عند زيادة طاقة الحدل لتصبح 2681.4 kJ/m^3 ، نلاحظ أن النسبة I لحالة غبار (4%) تكون اكبر من النسبة I لحالة غبار (8%). و هذا السلوك للنسبة I سيكون معاكس عند طاقة حدل مقدارها (592.5 kJ/m^3) ، بمعنى آخر أن قيمة I لنسبة غبار (8%) تكون اكبر من النسبة I عند غبار اسمنت (4%).



الشكل (26): العلاقة بين الزيادة في الكثافة الجافة العظمى و طاقة الحدل لنسب غبار سمنت (4 , 8, 12 and 16 %)

5- العمل الحقلية

اعتماداً على النتائج المختبرية الموضحة بالشكل رقم (26) و عندما تكون طاقة الحدل ذات قيمة متوسطة على سبيل المثال $(E=1500 \text{ kJ/m}^3)$ ، نلاحظ ان إضافة غبار الاسمنت بنسبة (4%) تعطي أعلى زيادة بالكثافة الجافة العظمى، لذلك قمنا بإضافة هذه النسبة إلى احد المواقع التي اخذت منها العينات المستخدمة في التجارب المختبرية و بالتالي إيجاد مدى تأثير هذه النسبة على الكثافة الجافة الحقلية $(\gamma_d)_{\text{field}}$.

تم تقسيم الموقع المحدول إلى جزئين، كل جزء يملك مساحة مقدارها $(1\text{m} \times 1\text{m})$. المساحة الأولى لم يتم إضافة غبار الاسمنت إليها (المساحة غير معالجة بالغبار)، أما المساحة الثانية فعولجت بوضع نسبة غبار مناظرة إلى (4%). الحادلة التي استعملت في الموقع هي الحادلة ذات الحجم الصغير اليدوية و ذلك لكون المساحة المستعملة محددة و كما بالشكل (27). زمن الحدل المستعمل لكلا المساحتين كان ثابت هو ساعة واحدة (1 hour) و بعد إكمال عملية الحدل، تم إيجاد الكثافة الجافة الحقلية $(\gamma_d)_{\text{field}}$ للموقع غير المعالج فوجد إنها مساوية إلى (1.74 g/cm^3) و للموقع المعالج بالغبار كانت مساوية إلى (1.92 g/cm^3) و بالتالي وجد أن مقدار الزيادة بالكثافة الجافة الحقلية (10.3 %).



الشكل (27): الحادلة المستعملة في العمل الحقلي

6- الاستنتاجات والتوصيات

(6-1): الاستنتاجات

- 1- أن كيميائية غبار الاسمنت ستقل بصورة كبيرة عند خلطه مع التربة الطبيعية و أن إضافة أعلى نسبة غبار مقترحة (16%) تؤدي إلى أن كيميائية الغبار لا تتأثر بطاقة الحدل، إضافة إلى ذلك أن تلك الكيميائية لا تؤثر على الكثافة الجافة العظمى و بالتالي لا تؤثر على درجة الحدل.
- 2- عند طاقة حدل اقل من الطاقة المناظرة لفحص بروكتر القياسي ($E=355.5 \text{ kJ/m}^3$)، قيم المحتوى المائي الأمثل (Optimum water content) تكون متساوية بالقيمة ($\omega=12\%$) و لأي نسبة غبار اسمنت.

- 3- إن إضافة غبار الاسمنت (Cement dust) إلى التربة الرملية المأخوذة من منطقة في مدينة النجف بنسبة معينة يؤدي إلى زيادة الكثافة الجافة العظمى المختبرية (Maximum dry density)، لذا فإن نسبة الغبار الأمثل الذي يعطي أعلى كثافة جافة عظمى يكون مساوي إلى (12%) و (8%) و (6.6%) و (4%) عند طاقات حدل (355.5 kJ/m^3) و (592.5 kJ/m^3) و (1197.03 kJ/m^3) و (2681.4 kJ/m^3) على التوالي.

- 4- العلاقة بين طاقة الحدل و الزيادة بالكثافة الجافة العظمى I تكون علاقة غير خطية، و اكبر قيمة للنسبة (R) تكون عند إضافة غبار الاسمنت بمقدار (12%) عند طاقة حدل واطئة جداً ($E=392.5 \text{ kJ/m}^3$).

- 5- عند إضافة غبار الاسمنت بنسبة قليلة إلى التربة الرملية (4%) أو (8%)، فهذا يؤدي إلى زيادة حادة بالكثافة الجافة العظمى المختبرية مع زيادة طاقة الحدل (E) و هذا السلوك يكون معاكس عند نسب غبار اسمنت اكبر من (8%) نلاحظ نقصان

تدريجي في الكثافة الجافة العظمى مع زيادة طاقة الحدل بمعنى آخر أن إضافة غبار اسمنت اكبر من (8%) يكون ذو تأثير سلبي على عملية الحدل الموقعي.

6- عند طاقة حدل واطئة ($E=355.5 \text{ kJ/m}^3$)، فإن قيم نسبة الزيادة بالكثافة الجافة العظمى (R) تكون متقاربة جداً عند نسب غبار اسمنت (4%) و (8%) و تصبح تلك النسب (R) متساوية عند طاقة حدل ($E=1197.03 \text{ kJ/m}^3$).

7- إضافة نسبة غبار اسمنت بمقدار (8%) يؤدي إلى حصول زيادة بالكثافة الجافة العظمى بمقدار اكبر من إضافة نسبة غبار بمقدار (4%) عند طاقة حدل واطئة اقل أو مساوية إلى (592.5 kJ/m^3) و هذا السلوك يكون معاكس مع زيادة طاقة الحدل.

8- إن استعمال الحادلة ذات الحجم الصغير اليدوي يؤدي إلى زيادة بالكثافة الجافة العظمى بمقدار (10.3 %) عند إضافة غبار الاسمنت بمقدار (4%).

9- في بعض اختبارات فحص الحدل يكون منحنى الكثافة الجافة المحتوى المائي يحصل به انخفاض بسبب نقصان الكثافة الجافة وبعد ذلك يحصل ارتفاع في ذلك المنحنى والسبب يعود إلى أن التربة الرملية ذات البزل الحر تحيط به طبقة رقيقة من الماء تحيط بالحبيبات وتجعل تلك الحبيبات كجزء منها مما يؤدي إلى حدوث انخفاض في الكثافة الجافة.

10- أن اعلي قيمة لنسبة الزيادة بالكثافة الجافة العظمى كانت مساوية إلى (20.51%) عند طاقة حدل (2681.4 kJ/m^3) و عند نسبة غبار مقدارها (4%).

(6-2): التوصيات للعمل المستقبلي

1- استخدام نوع آخر من التربة كأن تكون التربة الطينية ذات مقاومة التماسك العالية عند إجراء فحوصات الحدل بوجود غبار الاسمنت أو استعمال مضافات اخرى لتربة النجف الرملية.

2- يمكن إيجاد تأثير غبار الاسمنت على الكثافة الجافة العظمى موقعياً من خلال استعمال حادلات ذات أوزان عالية (كالحادلات الملساء أو ذات الإطارات المطاطية).

3- خلال العمل المختبري وجد أن تجفيف عينات التربة المعالجة بالغبار (من اجل استخراج المحتوى المائي) بدرجات حرارة عالية تؤثر على مركبات غبار الاسمنت وتعطي نتائج غير دقيقة للمحتوى المائي لذلك يجب التحكم بدرجة الحرارة و جعلها مساوية إلى (60 C°).

4- دراسة تأثير غبار الاسمنت على مقاومة القص للتربة (Shear strength of soil).

7- المصادر

- 1- Al-Aghbari, M. Y. , Mohamedzein, Y. E.-A., and Taha R. (2009), " ***Stabilisation of Desert Sands Using Cement and Cement Dust***", Print ISSN: 1365-781X, Volume: 162, Issue: 3, August, PP. 145-151.
- 2- ASTM D 698, " ***Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort***", (12,400 ft-lbs/ft³ (600 KN-m/m³)).
- 3- ASTM D 1557, " ***Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort***", (56,000 ft-lbs/ft³ (2,700 KN-m/m³)).
- 4- Baghdadi,Z. A. , Fatani,M. N., and N. A. Sabban (1995), " ***Soil Modification by Cement Kiln Dust***", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 7, No. 4, November, pp. 218-222.
- 5- Head , K. , H. (1992) , " ***Manual of Soil Laboratory Testing***" ,Vol.2 , London
- 6- Lambe ,T.,W. and Whitman, R. (1979) , " ***Soil Mechanics***" , Sydney university , U.S.A.
- 7- Lambe ,T.,W.(1951) , " ***Soil Testing***" , The Massachusetts Institute of Technology ,U.S.A
- 8- MORGHOM, L. O. , KARID, N. A. , SREIWEEL, H. A. , SOLIMAN Y. A. (2000) , " ***Effect of Volatile Cement Dust on the Soil Properties Surrounding the Area Around Cement Factories***", International cement conference No.11, Hammamet , TUNISIE (13/11/2000).
- 9- Multiquip Inc. (2004), " ***Soil Compaction Handbook***", Carson.
- 10- Nashat, I.H. (1990), " ***Engineering Characteristics of Gypseous Soils of Iraq***" Ph.D. Thesis, college of Engineering, University of Baghdad.

- 11- National Center for Construction Labs and Research (2005), "**Soil Investigation for Electrical Transformation Station at AL-Najaf City**", Report No.1/1/20, Baghdad, Iraq.
- 12- Peck, R.B., Hanson, W.E. and Thornburn, T.H.,(1973), "**Foundation Engineering** ",University of Illinois at Urbana – Champaign,U.S.A,pp.390-391.
- 13- Reddy, K. (2000), " **Engineering Properties of Soil Based on Laboratory Testing**", UIC.
- 14- Shabel, I. Mohammed (2006), " **Stabiization of Jizan Sabkha Soil Using Cement and Cement Kiln Dust** ", Civil Engineering Department, College of Engineering, King Saud University.
- 15- Singh, A., and Punmia , B.C. (1970) " **Soil Mechanics and Foundations**" jodhpur, India .
- 16-Singh, B. and Parkash ,S. (1976) , " **Soil Mechanics and Foundation Engineering** " , Roorkee , India .
- 17- المركز القومي للمختبرات الإنشائية (2001)، " مواصفات المواد الإنشائية " .
- 18- سعيد، نمير خورشيد، محمود، محمد مصطفى، محسن، مكي كامل (2008)، " تحسين التربة الطينية باستخدام أعمدة الركام المثبتة بالنورة و السمنت"، مجلة الهندسة و التكنولوجيا، المجلد 26، العدد 9.
- 19- مجلة الشرق الأوسط (2009)، "المساحة الجيولوجية تنجح في تحويل غبار مصانع الأسمنت إلى زجاج" ، السادس من ابريل، العدد 11087.