الفصل الأول تعريف معامل المرونة

1-1 تعريف معامل المرونة وفق سلوك المواد [4]

معامل المرونة هو النسبة بين الاجهاد المطبق على المادة و التشوه الموافق له ضمن حد التناسب لهذه المادة و يعبر عنه كقوة بواحدة المساحة ،و يعتبر معامل المرونة مقياس لصلابة المادة .

المواد المربة خطياً:عندما نعرض المادة لزيادات متساوية من الحمولات و نجد أن هذه الزيادات توافق قيم

متساوية للتشوه تكون العلاقة بين الإجهاد و التشوه خطية كما يبين الشكل 1-1 المستقيم OA وعند إزالة الحمولات تعود المادة لشكلها و أبعادها الأولية،معامل المرونة لهذه المواد هو ميل المستقيم الذي يمثل العلاقة بين الإجهاد و التشوه .

المواد المرنة لاخطياً: عندما نعرض المادة لزيادات متساوية من الحمولات و نجد أن هذه الزيادات توافق قيم مختلفة للتشوه تكون العلاقة بين الإجهاد و التشوه غير خطية كما يبين الشكل 1-1 المنحني OB و عند إزالة الحمولات تعود المادة لشكلها وأبعادها الأولية ، يستخدم لهذه المواد معامل المرونةالمماسي Et و معامل المرونة القاطعEs المبينة في الشكل (1-1) ،حيث معامل المرونة المماسي هو ميل المستقيم الماس لمنحني المرونة المرونة القاطعEs المينة في الشكل (1-1) ،حيث معامل المرونة المماسي قد ميا المرونة الماسي و معامل المرونة القاطعEs و معامل المرونة الماسي المرونة الماسي و ميل الماس لمنحني (0,0) و النقطة المطوية من منحني الإجهاد – التشوه .



الشكل(1-1) منحنيات الاجهاد التشوه للمواد المرنة الخطية و اللا خطية [4]

المواد المرنة اللدنة: لا تعود لشكلها و أبعادها عند إزالة الحمولات ،العلاقة بين الإجهاد و النشوه موضحة بالشكل(1–2)الاستجابة عند التحميل OA وعند إزالة التحميل AB ،الاستجابة عندإعادة التحميل BC، التشوهات التي تحدث خلال التحميل مؤلفة من جزأين جزء مرنBD و جزء لدنOB يسمى هذا السلوك سلوك مرن لدن و التربة واحدة من هذه المواد و يستخدم لهذه المواد معامل المرونة المماسي و معامل المرونة القاطع .

بعض المهندسين يفضل استخدام النقطة من منحني الإجهاد – التشوه التي توافق الإجهادات الأعظمية و البعض الآخر يفضل استخدامه عند النقطة التي توافق مستوى محدد للتشوهات أو عند منتصف الإجهادات . الأعظمية يشار إلى معامل المرونة القاطع في هذه الحالة بـ. E₅₀

قيم كل من معامل المرونة القاطع و معامل المرونة المماسي ليست ثابتة و تتناقص بازدياد التشوهات وهي ليست معاملات مرونة حقيقية و إنما نستخدمها كمؤشرات .



الشكل (2-1) منحنى الاجهاد- التشوه للمواد المرنة اللدنة [4]

1-2 طرق الحصول على قيم معامل التشوه

يستخدم معامل مرونة الترب في حساب الهبوط بتأثير الحمولات الستاتيكية ، ويمكن حسابه من العلاقات التجريبية أو من نتائج التجارب المخبرية (اختبار الآدومتر، اختبار الضغط الحر، اختبار الضغط المركب ،اختبار القص المباشر) ،أو من الاختبارات الحقلية (تجربة صفيحة التحميل الحقلية، تجربة الاختراق النظامية، تجربة اختراق المخروط) وتختلف قيم معامل المرونة باختلاف الطرق المتبعة لتعيينه .

1-2-1 الطرق المخبرية [1]

تجربة الضغط الحر unconfined compression test

تعيين مواصفات التربة بواسطة الضغط الحر ممكن فقط في التربة المترابطة التي تسمح بأخذ عينات منها تتراوح النسبة بين ارتفاع العينة و قطرها ضمن المجال[2-1.5]

وفق قانون هوك علاقة الاجهاد -التشوه في الوسط المرن الخطي هي

تجربة الإنضغاط ثلاثى المحاور Triaxial test

يمثل الاختبار على الانضغاط المركب (باتجاه ثلاثة محاور)الوضع الاجهادي الطبيعي الناتج في التربة من تأثير القوى الخارجية عليها،و يسمح هذا الختبار بالحصول على جميع المواصفات الميكانيكية في التربة و يحسب معامل التشوه الخطي من العلاقة $E = \frac{\Delta \sigma_z}{\Delta \varepsilon_z}$

تغير الاجهاد الناظمي ضمن حدود التشوه الخطي: $\Delta \sigma_z$

تغير التشوه الناظمي النسبي ضمن حدود التشوه الخطى $\Delta \varepsilon_z$

تجربة القص المباشر Direct shear test

 $\gamma_{xz}=\gamma_{\mathrm{xy}}=0$ في تجربة القص المباشر لدينا $\mathsf{E}_{\mathsf{x}}=\mathsf{E}_{\mathsf{y}}=\mathsf{E}_{\mathsf{z}}=0$ و

 $G = rac{ au_{yz}}{ au_{vz}}$ يحسب معامل مرونة القص بالنسبة بين اجهاد القص و التشوه الموافق له

 $E=2G(1+2\mu)$ و منه نحسب معامل التشوه من العلاقة

نعامل التوسع الجانبي للتربة μ

تجربة الأدومتر. Oedometer test

يجرى انضغاط التربة في جهاز الآدومتر بشكل محصور أي دون وجود إمكانية التوسع الجانبي في تتراوح أبعادها ضمن الحدود الآتية: 10cm-5 و الارتفاع بينcm 3-1العينة،التي،و عند إجراء التجربة القطر بين تطبق الحمولات بشكل متدرج و يقاس التشوه الناتج من كل حمولة بعد ثبات قيمته

من نظرية الانضغاط المحصور لدينا:

$$S_i = m_V. h. \sigma_z$$
$$\varepsilon_z = \frac{S}{h} = m_v. \sigma_z$$

h: ارتفاع حلقة الأدومتر

(حمولة موزعة بانتظام) الضغط الشاقولي المطبق على العينة σ_z

S_i:هبوط العينة

m_v : معامل الانضغاط الحجمي أو النسبي

في الانضغاط الآدومتري الاجهادات الجانبية متناظرة $\sigma_x = \sigma_y = K_0. \sigma_Z$ حيث معامل ضغط التربة $\epsilon_x = \epsilon_y = 0$ و لدينا $\epsilon_x = \epsilon_y = \sigma_y = \kappa_0. \sigma_z$ و الجانبي أثناء الراحة

$$arepsilon_{
m z}=rac{\sigma_z}{E}-rac{\mu}{E}(\sigma_x+\sigma_y)$$
من نظرية المرونة ($arepsilon_{
m z}=rac{\sigma_z}{E}$ و بالتالي يحسب معامل التشوه من العلاقة التالية:

$$E_{oed} = \frac{1}{m_V} \frac{(1-K)(1+2K)}{(1+K)}$$

تجربة Resonanat column: تستخدم هذه الطريقة لتحليل السلوك الديناميكي للتربة، تم تطويرها من قبل مهندسين يابانيين (Ishimoto, lida 1936,1937).

يحسب معامل مرونة القص من هذه التجربة وفق العلاقة:

$$G = \rho \cdot V_{\rm S}$$
$$V = \frac{\pi d^2 H}{4} \qquad \rho = \frac{m}{v}$$

ρ: الكتلة الحجمية للعينة

H: ارتفاع العينة، b: قطر العينة ، m: كتلة العينة

V_s: سرعة موجة القص المتولدة في العينة، و تحسب بطريقة غير مباشرة بالاعتماد على نظرية توليد موجة

$$V_{
m s}=rac{2\pi f_{n}H}{eta}$$
 أحادية البعد تحسب من العلاقة التالية

(Hz) التردد الطبيعي للنظام (f_n

 $\frac{\mathbf{I}}{\mathbf{I}_{0}} = \beta tan\beta$ و تحسب قيمة β من المعادلة β

عزم العطالة المحوري لكتلة العينة الاسطوانية

l₀: عزم العطالة المحوري لمنظومة التدوير

1-2-2 الطرق الحقلية [1] [17]

تجربة الاختراق النظامية (SPT)

تعد من أكثر الطرق الحقلية انتشاراً و يمكن حساب معامل التشوه للتربة بالاعتماد على عدد الضرباتN

فمن أجل الرمل تكون العلاقة (KPa) فمن أجل الرمل تكون العلاقة (E= 500(N+15)

حيثNعدد الضربات اللازمة لكي تخترق أسطوانة معدنية طولها 45.5cm و قطرها الداخلي 3.5cm

التربة بتأثير سقوط ثقل وزنه 140Lbسقوطاً حراً من ارتفاع 30inch.

تجربة اختراق المخروط (CPT)

يتعلق معامل المرونة المحصور تجريبياً بمقاومة التربة للاختراق q_c وفق العلاقة التالية:

$E_d = \alpha_c \times q_c$

Tsf معامل يعتمد على نوع التربة و مقاومة المخروط E_d معامل المرونة المحصور α_c

qc: مقاومة التربة للاختراق Tsf

في الرمل القيمة النوعية للمعامل α_c =3 و يمكن أن تزداد هذه القيمة للرمل مسبق الانضغاط تجربة أقراص التحميل الحقلية Plate Load Tese تعد من أهم مصادر دراسة تشوه التربة على الإطلاق لأن التربة تختبر في شروط توضعها الطبيعي و بحمولة شكلها يشابه شكل الحمولة الحقلية التي ستتعرض لها.

يجري اختبار التربة بواسطة أقراص التحميل عند العمق الذي ستطبق عنده الحمولة أو عند العمق الذي تتوضع عنده التربة المراد تحريها ،و تتلخص التجربة بتطبيق حمولة موزعة بانتظام على التربة عن طريق قرص معدني قاسي أو بلاطة بيتونية مسلحة و ذلك بشكل متدرج مع قياس التشوهات العمودية الناتجة من تأثير الحمولة المطبقة.

يوجد نوعان من تجارب أقراص التحميل الحقلية تجارب سطحية و تجارب عميقة، ومن المهم جداً أثناء الاختبار ضمان التماس الجيد بين نعل القرص و سطح التربة ،أهم ما نستخرجه من هذا الاختبار هو العلاقة بين الضغط المطبق على التربة و التشوه العمودي الناتج فيها،عندما تكون التربة متجانسة مع العمق و متشوهة خطياً يمكن أن نحسب معامل التشوه من العلاقة المستخرجة في نظرية المرونة :

$$\mathbf{E}_0 = \omega. \, (1 - \mu^2). \frac{P.B}{S}$$

(۵: ثابت تتوقف قيمته على شكل القرص و قساوته 2: الهبوط الكامل للقرص الناتج من الضغط المطبق B: عرض أو قطر القرص . يعود الاختلاف بين قيم معامل التشوه الحقلية و قيمه المخبرية إلى اختلاف السلوك في كل تجربة و الذي يتأثر بالعوامل التالية: أبعاد العينة المختبرة،الاحتكاك بين جدران حلقة الآدومتر و العينة،الحصر أو التطويق للعينة،مدى اضطراب العينة . تعتبر تجارب أقراص التحميل الحقلية من أهم مصادر دراسة تشوه التربة على الاطلاق، و ذلك لأن التربة تختبر في شروط توضعها الطبيعي و بحمولة شكلها يشابه شكل الحمولة الحقلية التي ستخضع لتأثيرها، إلا أن هذه التجربة مكلفة جداً و تتطلب تجهيزات خاصة و خصوصاً عند إجرائها في الأعماق . و بما أن تجارب الانضغاط الآدومتري هي الأكثر انتشاراً ، بالإضافة إلى أنه تم التوصل إلى طريقة تمكننا من الانتقال من قيم معامل التشوه المخبرية الآدومترية إلى القيم الطبيعية (الحقلية) من خلال عامل الانتقال الذي تعطى قيمه بدلالة معامل المسامية الابتدائي ، و بالتالي يمكن اعتبار اختبارات الآدومتر هي الطريقة الأنسب لتعبين معامل التشوه مخبرياً.

الفصل الثاني بنية الرمل و تصنيفه

1-2 البنية الحبيبية المبعثرة(Granual)[1]

تصادف هذه البنية بشكل رئيسي في التربة الرملية المفككة التي لا تحتوي جزيئات غضارية .و يحدث التأثير المتبادل بين الجزيئاتفي البنية الحبيبية بالاحتكاك الجاف و بتعلق الجزيئات ببعضها البعض. تتشكل البنية الحبيبية المبعثرة في الصحاري وعلى شواطئ البحار و في مناطق أخرى بصورة رئيسية نتيجة التوضع العفوي للجزيئات المينرالية (سقوطها من الماء أو الهواء) و يفضل بعض العلماء تسمية هذا النوع من البنية بالبنية الجزيئات المينرالية النوعى الرئيسي لقوى الجاذبية في تشكل هذه البنية مقاومتها للحمولات الخارجية تتاسب طرداً مع الجاذبية نظراً للدور الرئيسي لقوى الجاذبية في تشكل هذه البنية مقاومتها للحمولات الخارجية تتاسب طرداً مع الجاذبية مقاومتها للحمولات الخارجية تتاسب طرداً مع الجاذبية نظراً للدور الرئيسي لقوى الجاذبية في تشكل هذه البنية مقاومتها للحمولات الخارجية تتاسب طرداً مع الحادي قوى الثقل الذاتي .

تتميز هذه البنية بعدم ثبات خواصها الفيزيائية و الميكانيكية ،يمكن أن تكون مبعثرة مخلخلة (Loose) أومبعثرة متراصة (dnse) تتوقف مواصفات البنية الحبيبية بالدرجة الأولى على شكل توضع جزيئاتها بالنسبة لبعضها البعض و على مقدار الحجم الذي تشغله بالنسبة للحجم الكلي للتربة الرملية (الكثافة)،أو تتوقف كثافة الوسط الحبيبي الجاف على معامل المسامية فيه و تتغير الخواص الهندسية للوسط الحبيبي وفقاً لذلك . عند اعتبار التربة الرملية مكونة من كريات متساوية الحجم يمكن أن تصطف هذه الكريات ضمن وحدة الحجم

(مكعب) بأوضاع مختلفة و كل وضع يوافق قيمة معينة لمعامل المسامية .

فعندما تكون الكريات مصفوفة ضمن مكعب كما يوضح الشكل 2-1 نحصل على أكبر قيمة لمعامل المسامية حيث تكون نسبة الفراغات %n=47.7 توافق e_{max}=0.908

بينما نحصل على أصغر قيمة لمعامل المسامية عند اصطفاف الكريات بشكل موشور متساوي الأضلاع قاعدته معين بحيث ترتكز كل كرية على ثلاث أو أربع كريات و تكون نسبة الفراغات n=25.95% توافق emin=0.350 الشكل 2-1



الشكل 2-1اصطفاف الحبيبات الكروية الشكل في حالتي التخلخل الأعظمى و التراص الأعظمى 2-2 تصنيف الرمل وفق الأنظمة العالمية:[1] - نظام الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM) أقطار (أبعاد) الحبيبات (مم) نوع التربة الرملية 2.0 - 4.75 (mm) رمل خشن (coarse sand) 0.42 - 2.0 (mm)رمل متوسط (medium sand) (fine sand) رمل ناعم 0.075 - 0.42 (mm) - الشركة الأمريكية للطرق الحكومية الرسمية (AASHTO) نوع التربة الرملية أقطار (أبعاد) الحبيبات (مم) 2.0 - 4.75 (mm) رمل خشن (coarse sand) رمل متوسط (medium sand) 0.425 – 2.0 (mm) (fine sand) رمل ناعم 0.075 - 0.425 (mm) - النظام البريطاني(BS) أقطار (أبعاد) الحبيبات (مم) نوع التربة الرملية 0.6 - 2 (mm)رمل خشن (coarse sand)

0.2 – 0.6 (mm) (medium sand) (مل متوسط (fine sand) (مل ناعم fine sand) (مل ناعم (fine sand) (مل ناعم (fine sand) (مل ناعم (sNIP) : (SNIP) (معاد) الحبيبات (مم) نوع التربة الرملية أقطار (أبعاد) الحبيبات (مم) رمل خشن (coarse sand) (coarse sand) (مل متوسط (medium sand) (medium sand) (مل ناعم (fine sand) (fine sand) (fine sand) (مل ناعم (fine sand) (fin

2-3 المينرالات الشائعة المكونة للرمل:

- الكوارتز :من أكثر المنيرالات انتشاراً و هو مقاوم جداً للتغيرات الجوية، حبات الرمل شفافة و هو مكون من أكسيد السيليكا صيغته الكيميائية Sio2ولونه أبيض.

– الفيلدسبار :يكون لون الحبات وردي أو بني فاتح مائل للاصفرار ، و هو خليط من الكالسيوم و سيليكات الألمنيوم و البوتاسيوم صيغته الكيميائية KAISi₃O₈ – NaAlSi₃O₈ – CaAl₂Si₂O₈ – CaAl₂Si₂O₈.
 – المغنيتيت :تكون الحبات ممغنطة و لونها أسود ،و هو أكسيد الحديد و صيغته الكيميائية Fe₃O₄.
 – أراجوانيت ,الكالسيت: يسمى الرمل الذي يتكون من أحد هذين المينر الين أو من خليط منهما بالرمل الكربوني و الذي يتكون من حريئات مناكلسيوم التي تتشكل غالباً من نواتج العديد من الكائنات الكربوني و الذي يتكون من حريئات مالم الذي يتكون الكائنية الكربوني و الذي يتكون من جليط منهما بالرمل الكربوني و الذي يتكون من أحد هذين المينر الين أو من خليط منهما بالرمل الكربوني و الذي يتكون من جليوم التي تتشكل غالباً من نواتج العديد من الكائنات الكربوني و الذي يتكون من جليوا المياب المرجانية و الأصداف ، و من أو من خليط منهما بالرمل الحية و بقايا الهياكل العظمية و شطايا الشعاب المرجانية و الأصداف ، و منه أبيض.

الفصل الثالث تعريف بار امتر ات شكل الحبيبة

شكل الحبيبة من الخواص الأساسية المؤثرة على سلوك التربة ،يعتمد شكل و قياس الحبات على تاريخ تحطم الصخور و من التشكل الذي ينتج من الحت بسبب المياه،الرياح و الجليد.

سابقاً كانت تصنف أشكال الحبيبات بالاعتماد على المعاينة البصرية بشكل رئيسي و مثال ذلك المهزات المتسلسلة، إلا أن التطورات الأخيرة لعمليات معالجة و تحليل الصور المجهرية تمكن من تصنيف الجزيئات بحسب شكلها و بطرق مفصلة.

يوصف شكل الحبيبة بعدة بارامترات مصنفة ضمن ثلاثة مقابيس: المقياس الكبير و يأخذ بعين الاعتبار قطر الجزيئة بعدة اتجاهات و يصف هذا المقياس بارامترات مثل الكروية (sphericity)، الاستطالة (elongation)، الرقاقية (flakiness) و تعتبر الكروية من أكثر البارامترات شيوعاً لوصف الحبيبة بالمقياس الكبير ، أما المقياس المتوسط يصف معالم سطح الجزيئة و البارامتر العام لهذا المقياس هو الاستدارة (Roundness)، بينما المقياس المتوسط يصف معالم سطح الجزيئة و البارامتر العام لهذا المقياس هو الاستدارة (Roundness)، مباشرة و بارامترات هذا المقياس هي الخشونة (Roughness) والنعومة (Smoothness) . وجميع البارامترات السابقة مستقلة عن بعضها أي ممكن أن تكون حواف الحبيبة مدورة تماماً دون أن يكون شكلها كروي مثل الحبيبات بشكل قرص أو مجسم قطع ناقص .

ويوضح الشكل 3-1 كيف نعرف المقاييس السابقة [5]

مقدمة:



الشكل 3-1 المقاييس التي تصف شكل الجزيئة [5]

1-3 الكروية (Spherecity) :

تقيس مدى قرب شكل الجزيئة من الكرة، و تدخل في تحديد مجال الاستخدام مثلاً الجزيئات عالية الكروية ليست جيدة لصناعة البيتون وأوراق الصقل،يرمز لها بالرمز Ψ، و بما أن معظم الجزيئات الطبيعية ذات أشكال غير منتظمة لذلك من الصعب تحديد أي بعد خطي من أبعاد الجزيئة يجب قياسه لذلك عادة يفترض أنه يمكن وصف الجزيئة كمجسم قطع ناقص بثلاثة محاور رئيسية هي الأقطار القصير ds، و المتوسط dl و الطويل ،dL المبينة في الشكل 3-2



الشكل 3-2 يبين تعريف المحاور الرئيسية للجزيئة

يتم تحديد تلك الأقطار بطريقة المستطيل المماس للمساحة العظمى كما يلي : - يتم تحديد مستوي المسقط الذي يعطي أكبر مساحة للجزيئة

- يُحدد أكبر مستطيل مماس لتلك المساحة (الحدود الخارجية للجزيئة)

ويكون طول و عرض المستطيل هما القطر الطويلdL و القطر المتوسط dl أما القطر القصير dS فيتحدد بأطول مسافة عبر الجزيئة بالاتجاه المتعامد مع مستوي المساحة العظمى كما في الشكل3-3.



تعريف(1932) Wadell قام بأول محاولة لتحديد شكل الجزيئة ، وأوجد طريقتين لتحديد كروية الجزيئة الطريقة الأولى (Wadell a):تحدد الكروية بالنسبة بين قطر الكرة المكافئة لحجم الجزيئة و قطر الكرة المكافئة لحجم الجزيئة و قطر الكرة المحيطة بالجزيئة $\frac{V_s}{V_c} = \Psi$ و تحدد بطريقتين: الكرة المحيطة بالجزيئة $\frac{V_s}{V_c} = \Psi$ و تحدد بطريقتين: 1. بالاعتماد على قياس الحجوم نقيس حجم الجزيئة Vc المساوي لحجم السائل المزاح في أسطوانة مدرجة ، ثم نقيس البعد الأكبر للجزيئة للحيرية الجزيئة للحيرية المحيطة بالجزيئة الحوم

2. حجم تقريبي للجزيئة Vs بافتراضها مجسم قطع ناقص بثلاثة محاور رئيسية

$$V_{C} = \frac{\pi}{6} d_{L}^{3} \qquad V_{S} = \frac{\pi}{6} d_{L} d_{I} d_{S}$$

حيث ds، dl، dL الأقطار الطويل و المتوسط و القصير لمجسم القطع الناقص

$$\Psi = \sqrt[3]{\frac{d_I d_S}{d_L^2}}$$

بالطريقتين تقترب قيمة Ψ من الواحد كلما اقترب شكل الجزيئة من الكرة.

حساب الكروية بهذه الطريقة يتطلب حساب البعد الأصغر للجزيئة و الذي يعد غير عملي لجزيئات الرمل. الطريقة الثانية(Wadell b): أشار إلى أن الكرة التي تمتلك أكبر نسبة بين الحجم و المساحة السطحية تمتلك سرعة هبوط (استقرار في السائل) أكبر من أي شكل آخر بنفس الحجم و الكثافة و اقترح أنه يمكن وصف سلوك الجزيئة المعلق بالنسبة بين المساحة السطحية للكرة المكافئة لحجم الجزيئة (Ses) و المساحة السطحية الفعلية للجزيئة(Sap) تسمى هذه النسبة درجة الكروية الحقيقية و نعبر عنها بالعلاقة التالية : $\frac{Ses}{Sap} = \Psi$ [6]

-تعريف (Krumbein(1941):

طور طريقة سريعة لتحديد كروية الجزيئة تعتمد على قياس أبعاد الجزيئة الثلاثة المتعامدة فيما بينها البعد a الطويل، المتوسط b، البعد القصير C ، الموضحة بالشكل 3-4 ثم نوجد النسبتين مصور Krumbein و من تقاطع القيمتين على المصور نجد قيمة الكروية الشكل 3-5 .



الشكل 3-4 الأبعاد الرئيسية الثلاثة للجزيئة [14]



الشكل 3-5 مصور Krumbein لتحديد الكروية [14]

تعريف (Sneed and Folk(1958][16]: اعتبروا أن أكبر مسقط للجزيئة أهم من الحجم الكامل لها عند تحديد سرعة هبوط الجزيئة حيث أن أكبر مسقط للجزيئة يواجه قوى المقاومة الناتجة عن لزوجة السائل ، وعرفوا الكروية بالنسبة بين مساحة أكبر مسقط للكرة المكافئة لحجم الجزيئة و مساحة أكبر مسقط للجزيئة و فق العلاقة التالية:

$$\Psi_p = \sqrt[3]{\frac{\mathrm{d}_{\mathrm{s}}^2}{\mathrm{d}_{\mathrm{L}}\mathrm{d}_{\mathrm{I}}}}$$

ds: قطر الكرة التي لها نفس سرعة هبوط الجزيئة

dl،dL القطر الطويل و القطر المتوسط للجزيئة باعتبارها مجسم قطع ناقص

تعريف (1941) [15] Rilley

أوجد طريقة لحساب الكروية تعتمد على القياسات التي نحصل عليها من الصور ثنائية البعد الملتقطة بالمجهر لحبة الرمل كما في الشكل3-6

$$\Psi = \sqrt{\frac{D_{\rm I}}{D_{\rm c}}}$$

D_I:قطر أكبر كرة يمكن رسمها داخل الجزيئة



الشكل3-6 القياسات اللازمة لحساب الكروية بطريقة Rilley[15]

تعريف (18]Yasin(2003)

D_{insc.}

اعتمد على تعريف (Wadell(b للكروية مع تعديل بسيط حيث نحتاج للمساحة السطحية الفعلية

للجزيئة بحسب تعريف (Wadell (b) بينما في هذا التعريف نستخدم المساحة السطحية لمتوازي

السطوح (موشور سداسي) الناتج من المستويات الثلاثة المتعامدة بشكل متبادل فيما بينها الشكل3-7.



$$\Psi = rac{4\pi R^2}{2(L.B+B.T+T.L)}$$
 : تعرف الكروية بالعلاقة :

الشكل 3-7 الأبعاد الرئيسية لمتوازي السطوح [18]

- R: نصف قطر الكرة المكافئة لحجم الجزيئة
- L: الطول و هو أكبر بعد مقاس للجزيئة في مستوي الصورة المجهرية للجزيئة
 - B: العرض و هو أكبر بعدمتعامد مع الطول في المستوي السابق

T: سماكة الجزيئة و هو أكبر بعد متعامد مع مستوي الطول و العرضوتحسب بقسمة حجم الجزيئة على كل من الطول و العرض.

لتحديد الحجم الوسطي للجزيئات ضمن كل مجموعة حبية تم عد 500 جزيئة كعدد أعظمي من كل مجموعة حبية وتم وزنها بميزان بدقة أربع فواصل عشرية من الغرام و يحدد الحجم الوسطي بقسمة كامل الوزن السابق على العدد الكلي للجزيئات و الوزن النوعي لجزيئات التربة الصلبة sor(W/N)/Gs السابق . W: وزن الجزيئة (gr) ، Gs: الوزن النوعي لجزيئات التربة الصلبة .

بهذه الطريقة يمكن حساب سماكة الجزيئة دون اللجوء للقياسات المباشرة له.

- 2-3 الاستدارة (Roundness):
- تصف شكل (مقدار حدة) زوايا و حواف الجزيئة ،و يعود تنوع حواف الجزيئات لأصل الجزيئات و العوامل التي تعرضت لها لاحقاً فالجزيئات الناتجة عن الحت بالرياح و المياه أو الجليد تبدو مدورة بينما الجزيئات الناتجة عن تحطم الصخور تكون ذات حواف حادة ،و يوجد عدة طرق لتعريفها:

طريقة (1932) Wadell [6]:

تعرف بالنسبة بين الانحناء الوسطي لزوايا سطح الجزيئة و نصف قطر أكبر دائرة يمكن رسمها داخل مسقط الجزيئة ،هذه الطريقة غير عملية فهي تتطلب الكثير من الوقت إلا أنها تعطي النتائج الأدق الشكل3-8 .



 $R_{W} = rac{\sum r}{N} imes rac{1}{R} = rac{\sum r}{NR}$ عدد زوايا سطح الجزيئة:N

الشكل 3-8 الاستدارة بحسب Wadell[6]

تقترب قيمة Rw من الواحد عندما تكون حواف (زوايا) الجزيئة مدورة تماماً.

الاستدارة على خلاف الكروية بارامتر متعلق بالمقياس ،أي من الممكن أن نجد الجزيئة ذات حواف مدورة بالعين المجردة و باستخدام العدسات المكبرة نجد أن نفس الجزيئة لها قيمة استدارة منخفضة الشكل 3-9، فبازدياد نسبة التكبير للصور المجهرية يزداد عدد زوايا الجزيئة بالتالي يتتاقص الانحناء الوسطي لها، للتغلب على هذه المشكلة اقترح Wadell مقياس معياري 70mm والذي يعرف بأنه القطر الوسطي لمسقط صورة

الجزيئة (متوسط الطول و العرض)أي يتم تكبير صور الجزيئات إلى المقياس المعياري 70mm. [14]



الشكل 3-9 طريقة Wadell لتحديد الاستدارة [14]

طريقة (Dobson and Folk Roundness(1970:

تعرف بالنسبة بين نصف قطر زاوية الجزيئة الأكثر حدة (r) و نصف قطر أكبر دائرة يمكن رسمها

$$R_F = \frac{r}{R}$$
 (R) داخل الجزيئة

طريقة (1953)Power[12]:

أوجد مصور المقارنة البصرية تصنف الاستدارة بحسب هذا المصور ضمن ستة أصناف:الشكل3-10 Well rounded:تكون جميع زوايا و حواف الجزيئة ملغية بالاحتكاك وكامل سطحها يتألف من منحيات

واسعة دون وجود مساحات مسطحة،و تتراوح قيمة الاستدارة ضمن المجال 0.7<Rw<

تعد الطريقة السابقة طريقة عملية حيث نختصر الزمن اللازم للقياس و هي الأكثر استخداماً لتحديد الاستدارة Power's Roundness Chart



الشكل 3-10 مصور Power للمقارنة البصرية لاستدارة الحبة [12]

[6] Krumbein and Sloss(1963) طريقة

أوجد Krumbein and Sloss مصور يبين قيم الاستدارة و الكروية كصفوف وأعمدة لمصفوفة

المقاطع المرجعية المتوقعة لحبات الرمل، و لم يعطوا أي توضيح عن الإجراءات المتبعة للوصول لهذا المصور إلا أنهم ذكروا أن الكروية تتعلق بالنسبة بين الطول و العرض للمقاطع المقترحة ، و الاستدارة تتعلق بانحناء الحدود الخارجية للحبة. الشكل 3-11



الشكل 11-3 مصور Sloss و Krumbein لتحديد الكروية و الاستدارة [6]

الخطوط القطرية المنقطة تشير للجزيئات المتساوية بمعامل الانتظام و الذي يمثل المتوسط للاستدارة و الكروية.

3-3 الاستطالة (Elongation) و الرقاقية(Flakiness): [18]

اقترح Allen(1975) التعاريف التالية لاستطالة و رقاقية الحبة:

الاستطالة هي النسبة بين الطول و العرض للجزيئة و يعبر عنها بالعلاقة E=L/B

الرقاقية هي النسبة بين العرض و السماكة للجزيئة و يعبر عنها بالعلاقة f= B/T

حيث تحسب السماكة بقسمة حجم الجزيئة على كل من الطول و العرض و يرمز لها بالرمز T

4-3 تحديد الكروية (3D) للجزيئة بالاعتماد على القياسات المستوية(2D) : [5] نتيجة الصعوبات المتعلقة بالتحديد ثلاثي الأبعاد لهندسة عدد كبير من الجزيئات ،تم اقتراح تقنية للوصف ثلاثي الأبعاد لهندسة الجزيئة و دلك بدمج مجموعة من الصور المستوية و بعدة اتجاهات . تم إيجاد العلاقة بين القياسات المستوية لهندسة الجزيئة (Circularityوفق معيار CE = 4πA/P²ISO) حيث A : مساحة مسقط الجزيئة ، P:محيط مسقط الجزيئة

و بين القياس ثلاثي الأبعاد(Sphericity كما عرفها Wadell).

تمت المقارنة بين تلك القياسات باستخدام مجموعة من مجسمات القطوع الناقصة بثلاثة أقطار رئيسية مختلفة و تم تدوير كل مجسم قطع ناقص بشكل منظم للحصول على مجموعة من المساقط المستوية وتم تحديد القياسات ثنائية البعد Circularity لكل مسقط، و قد بينت النتائج وجود علاقة وثيقة بين متوسط القياسات المستوية و بين الكروية كما عرفها Wadell .

تم تمثيل الجزيئة نظرياً بمجسم قطع ناقص بثلاثة أقطار رئيسية مختلفة (d₁, d₂, d₃) منطبقة على المحاورالرئيسية (الأساسي،المتوسط،الثانوي) يبين الشكل 3-12مصور تخطيطي ثنائي البعد لمجسم القطع الناقص باعتبار المستوى مار من مركزه وعمودى على محوره الثانوي .



الشكل 3-12 يبين الأقطار القرينة و مسقط متعامد مع القطع يبين البعد [5]

بتدوير الجزيئة حول محورها الثانوي يكون ميل المحور الرئيسي على الشاقول هو α . بحسب الشكل السابق إذا عتبرنا أي قطر طوله d يوجد له قطر قرينd بحيث: d² +d_c² =d₁² +d₂² +d₁² +d₂² +d₂² +d₁² +d₂² +d₂² +d₁² +d₂² +d₁² +d₁² +d₂² +d₁² +d₁ +d



Zingg الشكل3-13 الذي يصف بطريقة مبسطة الشكل ثلاثي الأبعاد لهندسة الحبة .



الشكل3-13 يبين النسب بين الأقطار الرئيسية (d₁>d₂>d₃) المجسمات القطع الناقص وفق مخطط [5][5] تم تدوير كل مجسم حول كل محور من محاوره الرئيسية عشر مرات(n=10) من أجل كل سلسلة من

الدورانات حول محور معطى الميل α يتغير من 0 إلى $\pi/20$ بتزايدات $\pi/20$. لذلك من أجل كل مجسم يتم إسقاط33قطع في مستوي المسقط نحسب الكروية المستوية Cij لكل قطع حيث يشير الرمز إلى المحور الذي يتم تدوير مجسم القطع الأصل حوله لتوليد القطوع ، المحاور (الأساسي ، المتوسط ، الثانوي). والرمز أيشير إلى قيمة الزاوية α (1 - 1) ومن أجل كل مجسم قطع ناقص تحسب القيمة الوسطية للكروية المستوية المستوية التالية:

$$C_{\text{mean}} = \frac{1}{3(n+1)} \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=1}^{3} C_{ij}$$

بينت نتائج الدراسة أن هذه الطريقة دقيقة من أجل الجزيئات بأشكال مجسم القطع الناقص و غير مناسبة (للجزيئات الرقيقة جداً d2/d1 و d2/d1 و d2/d1) (للجزيئات الرقيقة جداً d2/d1 و d2/d1) وغير مناسبة للجزيئات بشكل قضيب(1/3) d2/d1 و d2/d1) حيث تعطي هذه الطريقة باستخدام الصور المستوية قيم أقل من القيم الحقيقية لذلك يكون القياس ثلاثي الأبعاد ضروري وأساسي لتحديد الشكل العام للجزيئات الرقيقة جداً و الجزيئات بشكل قضيب.

يمكن استخدام بعض الطرق اليدوية و الأجهزة البصرية لتحليل شكل الجزيئات و التي تم تلخيصها في الجدول التالي:

technique / instrument	type of measurements		d range (μ m)	feature of shape measured
dry sieving	manual		75 - 4000	size
micrometer	manual		80 - 3000	size
microscope	w	hite light	10 - 7000	size, sphericity, angularity
Mastersizer	la	ser beam	0.4 - 900	size
size & shape analyser	la	ser beam	10 - 3410	size, sphericity, angularity
interferometer	w	hite light	10 - 100	roughness

ميزات الأجهزة المستخدمة لتحليل شكل الجزيئات الحبيبية

1-التنخيل (Sieving) : يتم ذلك على العينة الجافة باستخدام شبكات المناخل التي تتراوح أبعاد فتحاتها ضمن المجالα2004-75، ثم يتم وزن كل جزء متبقي على كل منخل بدقة 0.02g ثم يحدد التوزيع التراكمي للنسب المئوية المارة بحسب الأنظمة المعيارية المستخدمة (مثلاًBS-410).

2- الميكرومتر (Micrometer): يقيس قطر الجزيئات شبه الكروية ضمن المجال mm (3-0.0) يسمح للجزيئة بواسطته بالتدحرج ضمن سطح من البلاستيك الرغوي اللين بفعل دفعات خفيفة للجزيئة و يتم تسجيل أقطار مختلفة لنفس الجزيئة بشكل عشوائي ،إلا أنه لا يمكن استخدامه للجزيئات ذات الأشكال الشديدة عدم الانتظام و التي تميل للبقاء في الوضع الأكثر استقراراً حيث يصعب تدويرها ضمن هذا الجهاز .



الشكل 3 -14 الميكرومتر لقياس أقطار الجزيئات الخشنة[6]

3-المجهر (Microscope) :يتم استخدام المجاهر البصرية بنظام الضوء المنعكس ، و التكبير العام للمجاهر يتراوح ضمن المجال(25-100)بالتالي القياس الأعظمي للجزيئات التي يمكن أن تقع بشكل كامل ضمن حقل الرؤية للجهاز هي mm(7.1.7)على التتالي و يمكن بواسطتها تقدير أصغر بعد للجزيئة بدقة تتراوح بين μm(1-5)

4-Mastersizer: يستخدم نوعان من هذا الجهاز الأول بريطاني الصنع يمكنه التقاط قياسات ضمن (مجال 4m) (0.0-0.0)

و يعتمد هذا الجهاز على مبدأ الانحراف الليزري.

Size and Shapeanalyser-5 : جهاز (Qic Pic) تسقط الجزيئات الحبيبية بفعل الجاذبية عبر جسر ليزري يفحص المساحة الشاقولية الفعلية ،و تسجل الكاميرا سلسلة من الصور (الاطار الخارجي للجزيئات) بسبب السرعة العالية لالتقاط الصور فيتم تصوير نفس الجزيئة بوضعيات مختلفة،مجال القياس (50-3410)

6- مقياس التداخل Interferometer: يستخدم لقياس خشونة سطح الجزيئات و يعتمد على مبدأ

التداخل البصري للمجسمات.

الفصل الرابع العوامل المؤثرة على قيم معاملات المسامية الحدية

تؤكد الدراسات السابقة أن لطبيعة و خواص الجزيئات المفردة تأثير واضح على سلوك و استجابة التربة الرملية، ومن الضروري فهم تلك العلاقة في التطبيقات الجيوتكنيكية الأساسية (تصميم الأساسات الوتدية،ردميات الطرق، فلاتر السدود الكبيرة) و فيما يلي نتائج بعض تلك الدراسات:

1-4 تأثير عدم انتظام شكل الجزيئة على معاملات المسامية الحدية:

تبين نتائج دراسة عدة أنواع من الرمل الطبيعي و رمل الكسارات من أماكن مختلفة من العالم أن زيادة عدم انتظام شكل الجزيئة (سواء التزوي أو اللامركزية) يؤدي لزيادة معاملات المسامية الحدية حيث أن عدم انتظام شكل الجزيئة يعيق سهولة تحركها و قدرتها على الوصول إلى أوضاع الطاقة الدنيا، فعندما تتتاقص استدارة و كروية الحبة تزداد معاملات المسامية الحدية emin و وmin ويزداد الفرق بينهما أي تكون التغيرات في قيم emax أكبر من التغيرات في قيم emin ،كما هو مبين في الشكل 4-1.

(تم عزل تأثير التوزيع الحبي و معامل التجاس2.5≥C للرمال المدروسة) .



الشكل 4-1 يبين تأثير شكل الجزيئة على معاملات المسامية الحدية (رمل طبيعي2.5 ≥.7] [7] تم تحديد معاملات المسامية الحدية وفق كودASTM C136 D1557 وASTM C136 D4254 م و حددت برامترات الشكل (الكروية و الاستدارة) للحبات ذات القياس الأقرب لـ D₅₀ بعد تكبير الحبات

عدة مرات بواسطة مجهر (Leica MZ6 stereomicroscope) ثم مقارنة أشكال الحبات في الصور المستوية مع الأشكال المعيارية لمصور Krumbein and Sloss [7] .

أيضاً وضح Youd 1973 تأثير استدارة الجزيئة على قيم معاملات المسامية الحدية لعدة أنواع من الرمل (لها نفس معامل التجانسCu=1.4) كما هو مبين في الشكل 2-4 .



الشكل(2-4) تغير معاملات المسامية الحدية بحسب الاستدارة لترب لها نفس معامل التجانس

و يلخص الشكل التالي تأثير قيم استدارة الحبيبة على معاملات المسامية الحدية المدروسة من قبل العديد من الباحثين:



الشكل (4-3) تأثير الاستدارة على قيم معاملات المسامية الحدية

2-4 تأثير مواصفات الجزيئة على الكثافات الحدية للرمل[18]

درس (Safiullah(2003) و Yasin تأثير شكل الجزيئة على بارامترات المقاومة و معاملات المسامية الحدية و الكثافات الدنيا و العظمى للرواسب الحبيبية من أربع مناطق مختلفة في بنغلادش ، تقع جميع الترب ضمن مجموعة الرمل فقير التدرج الحبي وفق كود USCS تم دراسة الكروية،الرقاقية،الاستطالة كقرائن لشكل الحبة عرفت الكروية بالاعتماد على تعريف (d)Wadell (المساحة السطحية للكرة المكافئة لحجم الجزيئة منسوبة للمساحة السطحية الفعلية للجزيئة) مع تعديل بسيط: استخدمت المساحة السطحية لمتوازي السطوح(موشور سداسي) الناتج من المستويات الثلاثة المتعامدة بشكل متبادل بدلاً من المساحة السطحية الفعلية للجزيئة كما في الشكل 3-7.

> تم اعتماد تعاريف الاستطالة و الرقاقية المقترحة من قبل (Allen(1975. الاستطالة هي النسبة بين الطول و العرض للجزيئة و يعبر عنها بالعلاقة E=L/B الرقاقية هي النسبة بين العرض و السماكة للجزيئة و يعبر عنها بالعلاقة f= B/T

تحسب السماكة بقسمة حجم الجزيئة على كل من الطول و العرض و يرمز لها بالرمز T حيث $\frac{V}{L*B}$ تحسب السماكة بقسمة حجم الجزيئات ضمن كل مجموعة حبية تم عد 500 جزيئة كعدد أعظمي من كل مجموعة حبية تم عد وتم وزيئة كعدد أعظمي من كل مجموعة حبية وتم وزنها بميزان بدقة أربع فواصل عشرية من الغرام و يحدد الحجم الوسطي بقسمة كامل الوزن السابق على العدد الكلي للجزيئات و الوزن النوعي لجزيئات التربة الصلبة

$V=(W/N)/G_s(5)$

الكرة المكافئة (gr) $G_{
m s}$ ، الوزن النوعي لجزيئات التربة الصلبة،ومن هذا الحجم نستنتج نصف قطر $R=(3*V/4\pi)^{1/3}$

و تم اتباع الخطوات التالية لتحديد قرائن الشكل:

1- توضع جزيئات الرمل لمهزة معينة على سطح شريحة زجاجية و نركز على الحبة

2- يقاس البعد الأكبر للجزيئة L في مستوي الصورة عند الفحص بالمجهر المجهز بميكرومتر منزلق يسمح بقياس 20 ميكرومتر كحد أدنى، و يكون هذا البعد طول الجزيئة.

3-يقاس العرض B باعتباره أكبر مسافة بين النقطتين الطرفيتين على محيط صورة الجزيئة بالاتجاه المتعامد مع الطول المقاس .

4- تحسب السماكة للجزيئة من الحجم الوسطي و الطول و العرض من المعادلة $T = rac{V}{L * B}$ 5- نكرر الخطوات من 2 إلى 4 من أجل عشر جزيئات مختارة بشكل عشوائي من المجموعة الحبية . 6- نحسب الوسطي لـ الطول ، العرض ، السماكة لعشر جزيئات .

نكرر الخطوات السابقة لكل مجموعة حبية من عينة الرمل ، من القيم المقاسة لـ B و L و المحسوبة لكل من T وR ، نحسب الكروية، الاستطالة ، الرقاقية لكل مجموعة حبية باستخدام المعادلات التالية

$$\Psi = \frac{4\pi R^2}{2(L.B+B.T+T.L)} \quad \text{E=L/B} \quad \text{f= B/T}$$

و تمثل القيم المستنتجة مجموعة حبية محددة فقط ، و لجعلهم يمثلون كل عينة التربة نحسب الوسطي الموزون لكل المجموعات الحبية كما يلى :

$$\Psi_{\text{avg}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Psi_{i} w_{i}}{\sum_{i=1}^{n} w_{i}}$$
$$\varepsilon_{\text{avg}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{i} w_{i}}{\sum_{i=1}^{n} w_{i}}$$
$$f_{\text{avg}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_{i} w_{i}}{\sum_{i=1}^{n} w_{i}}$$

حيثWi وزن الجزء المحجوز على المنخل f_i، E_i، Ψ_i i القيم الموافقة للكروية و الاستطالة والرقاقية على التتالي تم استخدام طريقة Bowels(1986) لتحديد الكثافات الدنيا و العظمى ، وجد أن الرمل ذو الجزيئات الأكثر كروية يمتلك أقل كثافتين دنيا و عظمى و أكبر قيم لمعاملات المسامية الحدية e_{min} و_{max} و ينما الرمل ذو الجزيئات الأقل كروية (جزيئاته رقيقة جداً) يمتلك أكبر كثافتين دنيا و عظمى و أقل قيم لمعاملات المسامية الحدية .

فالرمل المكون من جزيئات كروية يمتلك كثافات حدية دنيا و عظمى منخفضة مقارنة مع الرمل المكون من جزيئات طويلة و رقيقة أي يوجد فراغات أكثر ضمن اصطفاف الرمل ذو الجزيئات الكروية مقارنة بالرمل ذو الجزيئات الطويلة و الرقيقة .

3-4 تأثير زوايا الجزيئة على طرق قياس معاملات المسامية الحدية: [10]

اختبر كل Appolonia(1973) و Holubec أربع مواد حبية من الرمل المتوسط و الناعم ،تم قياس شكل جزيئات الرمل بطريقة غير مباشرة تعتمد على النفاذية تم تطويرها من قبلHoffman الذي طور معدات تحدد السطح النوعي للرمل من نفاذيته .

تم تعريف شكل الجزيئة بمعامل التزوي (coefficient of angularity) الذي يمثل النسبة بين السطح النوعي المقاس للرمل و السطح النوعي للكرات المكافئة ، المواد المختبرة مرتبة حسب ازدياد معامل التزوي هي Olivine sand , Southport sand , Ottawasand, Glass beads.

تم استخدام طرق غير ASTM لتشكيل معاملات المسامية الدنيا و العظمى لدراسة تأثير شكل الجزيئة على تلك المعاملات ،تم الحصول على قيم معاملات المسامية العظمى بالطريقة المقترحة من قبل Lucksالتي تعطي كثافات أصغر قليلاً و أكثر قابلية للتشكيل مقارنةً بطريقة MSTM بهذه الطريقة يوضع أنبوب بقطر 3in داخل قالب بروكتور يملأ الأنبوب بكمية كافية لتملأ القالب ثم يرفع بسرعة ليسمح للرمل بملء القالب ،أما قيم معاملات المسامية الدنيا تم الحصول عليها بطريقتين: في الأولى تم ملء الأنبوب بالرمل ثم هزه أفقياً بالنقر حتى يتوقف الهبوط و تم ملء الأنبوب باستمرار خلال النقر ، في الطريقة الثانية تم رص الرمل باستخدام طريقة بروكتور المعدلة لاختبارات الـ ASTM

قيم معاملات المسامية الحدية بحسب شكل الجزيئة مبينة في الشكل 4-4 ، الكثافة باستخدام الاهتزاز مبينة الشكل بخطوط منقطة و باستخدام الرص مبينة بخطوط مستمرة


الشكل (4-4) تغير معاملات المسامية الحدية بحسب شكل الجزيئة [10]

وجد أنه يتم الحصول على أقل قيمة لمعامل المسامية الأصغري له Glass beads ذو الجزيئات الكروية بطريقة الاهتزاز بينما لرملSouthport و Olivine(جزيئاته ذات زوايا) الحصول على أقل قيمة لمعامل المسامية الأصغري بالرص الديناميكي .أي يؤثر شكل الجزيئة على طرق قياس معامل المسامية الأصغري فمن أجل الترب المتجانسة بجزيئات كروية تقريباً تكون الطريقة الأفضل للحصول على الكثافة الأعظمية بالاهتزاز ،بينما تكون هذه الطريقة غير مناسبة للترب المفككة بجزيئات ذات زوايا و التي يمكن إجبارها على الاصطفاف بشكل متراص باستخدام طاقة الرص الديناميكي. تزداد معاملات المسامية الحدية e_{min} و e_{max} بازدياد الزوايا للجزيئة لكن زيادة e_{max} تكون أكبر من زيادة e_{min} بالتالى الفرق بينهما أيضاً يزداد بازدياد الزوايا للجزيئة .

4-4 العلاقات التجريبية بين بارامترات شكل الحبيبة و معاملات المسامية الحدية: [14] بعض العلاقات التجريبية التي تربط بين معاملات المسامية الحدية و شكل الجزيئة من قبل عدة باحثين:

 $e_{max} = 0.516 + 0.107 R^{-1}$ Rouse (2008) $e_{min} = 0.433 + 0.051 R^{-1}$ Rouse (2008)

$e_{max} = 1.3 - 0.62 R$	Cho (2006)
$e_{min} = 0.8 - 0.34 R$	Cho (2006)
$e_{max} = 1.6 - 0.86 S_p$	Cho (2006)
$e_{min} = 1-0.51 S_{p}$	Cho (2006)

حيث تم حساب الاستدارة باستخدام مصور (1953) Power

$$\Psi=rac{a.c}{b^2}$$
:Aschenbrenner(1956) وحسبت الكروية من علاقة

حيثa,b,cالأبعاد الطويل و المتوسط و القصير للجزيئة

حيث تم تعريف الاستدارة بالاعتماد على تعريف(1935)Wadell

 e_{min} = 0.4549 $\Psi^{0.434}$ Holubec and Appolonia (1973)

درس عدة منحنيات و أوجد العلاقات التالية من المنحنيات المدروسة :[3]

$$e_{\min} = \left(\frac{8.05R + 0.3}{23R - 2.0}\right) C_{u}^{\left(\frac{0.77 - 6.72R}{21R - 2.1}\right)}$$
$$e_{\max} = \left(\frac{7.2R + 0.4}{12R - 1.0}\right) C_{u}^{\left(\frac{0.65 - 5.49R}{18R - 1.8}\right)}$$

R : استدارة الجزيئة و تحدد وفق مصور (Power(1935) للمقارنة البصرية

Cu: معامل التجانس لمنحني التدرج الحبي

العلاقات السابقة صالحة من أجل الرمل النظيف ومنحنيات التوزيع الحبي الشاقولية إلى معتدلة الانحراف مثل(1973)Youd العلاقات السابقة بيانياً كما هو مبين بالشكل4-5 .



الشكل (4-5) منحنياتYoud[3]

فمن أجل قيمة معينة للاستدارة تتناقص قيمemin و emin بازدياد معامل التجانس C_u . استنتج (GihanAbdelrahman(2007) وGihanAbdelrahman(2007) العلاقة الرابطة بين معاملات المسامية الحدية ومعامل التجانس بدراسة الرمل النظيف من مناطق مختلفة من الفيوم، جميع الرمال المختبرة فقيرة حيث التدرج الحبي (6>(C_u) متتناقص قيم معاملات المسامية الحدية مع ازدياد معامل التجانس كما هو مبين في الشكل 4-6 .



الشكل (4-6) العلاقة بين معاملات المسامية الحدية و معامل التجانس [3]

ومن الشكل السابق تم استنتاج المعادلات اللوغاريتمية الموافقة التي تصلح من أجل الرمل النظيف فقير التدرج الحبي

$$e_{max} = 0.81 - 0.037 \log(C_u)$$

 $e_{min} = 0.5 - 0.033 \log(C_u)$

بعد إعادة رسم النقاط من الشكل السابق على Youd مع الأخذ بعين الاعتبار استدارة الجزيئة R حيث منحنيات تم حساب الاستدارة بالنسبة بين نصف قطر أصغر دائرة مرسومة داخل حواف الجزيئة و نصف قطر أكبر دائرة يمكن رسمها داخل الجزيئة، وجد أنه لجميع العينات المختبرة شكل الجزيئات شبه متزوية subangular كما هو مبين بالشكل4-7



أي المعادلات السابقة تصلح من أجل الرمل النظيف فقير التدرج الحبي ذو الجزيئات Subangular.[3]

الشكل (7-4) معاملات المسامية الحدية بحسب التدرج و شكل الحبيبات [3]

بدراسة منحنيات مختلفة التركيب الحبي لرمال من مناطق مختلفة من ماليزيا وجد أن e_{min} تميل للانخفاض قليلاً مع تزايد D₆₀ وأيضاً مع تزايد c_u و تعتبر e_{min} أكثر حساسية للتوزيع الحبي من e_{max} فالعلاقة التي تربط بين e_{min} و C_u أقوى من العلاقة الرابطة بين e_{max} و C_u، و لايوجد علاقات مؤكدة بين معاملات

المسامية الحدية وبين D₁₀.

و يبين الشكل(4–8) تأثير الأقطار النوعية للجزيئات و معامل التجانس على معاملات المسامية . الحدية [11].



الشكل (4-8) تأثير الأقطار النوعية للجزيئات ومعامل التجانس على معاملات المسامية الحدية [11]

الفصل الخامس معامل التشوه الأدومتري

1-5 انضغاطية التربة الرملية:[1]

تدل التجارب المجراة على أنه تتوقف انضغاطية هذا النوع من التربة بالدرجة الأولى على قيمة معامل المسامية الابتدائي للعينة قبل أن يتم اختبارها، تزداد الانضغاطية مع ازدياد قيمة معامل المسامية الابتدائي و يبين الشكل 5-1 منحنيات الانضغاط المستخرجة من اختبار ثلاث عينات من رمل متوسط الخشونة (وفقاً لتصنيفSNiP للتربة) متجانس التركيب الحبي و أكثر من 90%من حبيباته من الكوارتز ، وهي ذات زوايا حادة .شكلت العينات بكثافات مختلفة. و تبين من الاختبار كلما ازدادت قيمة معامل المسامية الابتدائي للعينات الثلاث العينات بكثافات مختلفة. و تبين من الاختبار كلما ازدادت قيمة معامل المسامية الابتدائي للعينات الثلاث ازدادت انضغاطية التربة و خاصة عند تطبيق أول درجة حمولة. العوامل المؤثرة على انضغاطية التربة الرملية هي: معامل المسامية الابتدائي – التركيب الحبي – شكل حبيبات الرمل



الشكل (5-1) منحنيات الانضغاط في الرمل المفكك [1]

D قرينة التراص

5-2 تغير قيم معامل التشوه الآدومتري وفق تغير نسب المواد في خلائط الرمل السيلتي:[9] تم اختبار عدة عينات من الرمل السيلتي بجهاز الآدومتر ،التوزيع الحبي للسيلت المستخدم مبين بالشكل أما الرمل: % 100 مار من المهزة 40 ، % 20 مار من المهزة 100.



الشكل (2-5) التوزيع الحبي للسيلت [9]

تم اختبار العينات بتطبيق حمولات متزايدة بجهاز الأدومتر :

0,135kg/cm² - 0,27kg/cm² - 0,54kg/cm² - 1,08kg/cm² - 2,18kg/cm² - 4,32kg/cm² - 8,64kg/cm² و تبين الأشكال التالية تغير معامل التشوه الآدومتري Esوفق تغير قيم الحمولات لخلائط مختلفة من الرمل السيلتي.





الشكل (5-3) قيم معامل التشوه وفق تغيرنسب المواد لخلائط الرمل السيلتي [9]

بينت نتائج الاختبارات أنه بازدياد النسبة المئوية (الوزنية) للرمل الناعم في خليط الرمل السيلتي تتناقص قيم. التشوهات، و يصبح سلوك المادة أقل مرونة تدريجياً .

5-3 الانتقال من قيم معامل التشوه المخبرية إلى قيمه الحقلية:[2]

دلت قياسات هبوط (تشوهات) الأبنية القائمة على أن الهبوط المحسوب بالاعتماد على معامل التشوه الحقلي هو أقرب بكثير إلى الواقع من الهبوط المحسوب بالاعتماد على معامل التشوه المخبري ،لذا يجب تعيين قيمة معامل التشوه بواسطة تجربة أقراص التحميل ،من جهة أخرى إن تجربة أقراص التحميل مكلفة و تتطلب إجراءات خاصة خصوصاً عند إجرائها في الأعماق ، لذلك من المفيد جداً البحث في الطريقة التي تمكن من الانتقال من القيم المخبرية إلى إلى القيم الطبيعية لمعامل التشوه.

قام أ.د حنا يني (1998) بدراسة و اختبار التربة الرملية المفككة من منطقتي الشرقية و خنيفيس في محافظة حمص بجهاز الآدومتر و تجارب أقراص التحميل و أوجد عامل الانتقال من قيم معامل التشوه المخبرية الآدومترية E_{oed} إلى قيم معامل التشوه المستخرجة من تجارب التحميل الحقلية E_p و تبين أن عامل

الانتقال (n) الانتقال $n=rac{E_P}{E_{oed}}$ (n) الانتقال (n) ال

المسامية الابتدائي كما في الجدول التالي:

e _o	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	>0.85
n	4	3	2.5	2	1.5	1.25	1

الجدول (1-5)قيم عامل الانتقال (n)

الفصل السادس

الدراسة التجريبية و المجهرية

اعتمد هذا البحث على المنهج التجريبي حيث تم اجراء تجارب مخبرية على خمسة أنواع مختلفة من الرمل الطبيعي المفكك و تشمل الاختبارات :

القرائن الفيزيائية (الوزن النوعي , التركيب الحبي, معاملات المسامية في حالتي التخلخل الأعظمي و التراص الأعظمي و التي تحدد بالاعتماد على قيم الوزن النوعي و الوزن الحجمي الجاف للتربة) بالإضافة للقياسات المجهرية (الميكروسكوبية) : تصوير مجهري لكل مجموعة حبية (خشن – متوسط – ناعم) لكل نوع من أنواع الرمل بتكبير كاف يبين شكل الحبة و أبعادها بحيث يسمح بإيجاد بارامترات الشكل للحبة: الاستطالة (elongation) , الاستدارة (roundness) , الكروية (sphericity) لدراسة تأثير كل منها على قيم معامل التشوه الخطي الآدومتري .

1-6 القرائن الفيزيائية:

تم اختبار خمسة أنواع مختلفة من الرمل الطبيعي النظيف من مناطق مختلفة من ريف دمشق (معرونة-السليمة- القسطل) و من حماة (السلمية) و عينت خواصها الفيزيائية مخبرياً و ترد قيمها في الجدول التالي : جدول الخواص الفيزيائية للترب المدروسة

e _{min}	e _{max}	<i>Ydmin</i> (kg/cm²)	<i>Y_{d max}</i> (kg/cm ²)	γ _s (kg/cm²)	الموقع	رقم التربة
0.53	0.74	1.523	1.732	2.65	القسطل	1
0.56	0.81	1.50	1.743	2.72	معرونة	2
0.58	0.83	1.45	1.68	2.66	حماة(السلمية)	3
0.52	0.72	1.628	1.84	2.8	السليمة(1)	4
0.55	0.77	1.503	1.716	2.66	السليمة(2)	5

من	لجاف للتربة	الحجمي ا	الوزن	النوعي و	الوزن	على قيم	بالاعتماد	الحدية	المسامية	معاملات	حساب	، تم	حيث
										:	، التالية:	قات	العلا

$$e_{\max} = \frac{\gamma_s - \gamma_{d\min}}{\gamma_{d\min}}$$
(1.6)

$$e_{\min} = \frac{\gamma_s - \gamma_{d \max}}{\gamma_{d \max}}$$
(2.6)

و يبين الشكل (6-1) منحنيات التحليل الحبي للأنواع الخمسة المدروسة، تم غسل العينات المدروسة على المنخل 200 باستخدام مجموعة المناخل النظامية الأمريكية.

فتحة المنخل	النسبة المئوية المارة (%)					
(mm)	تربة (1)	تربة (2)	تربة (3)	تربة (4)	تربة (5)	
4.75	96.21	96.80	97.65	97.23	99.53	
2	77.16	75.88	83.12	67.86	86.62	
0.85	56.52	56.18	65.80	41.98	59.70	
0.425	45.68	45.10	56.07	30.12	44.25	
0.25	39.57	39.03	49.47	24.22	37.26	
0.15	33.07	32.44	43.71	17.13	31.98	
0.075	30.44	27.11	38.11	12.19	25.39	

التركيب الحبي للأتربة المختبرة



الشكل(6-1) منحنيات التحليل الحبى للترب الرملية المدروسة

2-6 اختبارات الآدومتر Oedometer test:

تمت الاختبارات على الانضغاط للرمل النظيف المغسول على المهزة 200 في جهاز الآدومتر في حالتي التخلخل الأعظمي و التراص الأعظمي و تم اختيار دراسة هذين الوضعين الحديين لأنه يتعذر في الأتربة الرملية الحصول على الوضع الطبيعي في الشروط المخبرية ،و ذلك لكون بنيتها حبيبية مبعثرة تتشكل بفعل الجاذبية الأرضية.

و حملت العينات وفق السلم التالي: Re/cm² 7.5 kg/cm² – 6 – 7 – 6 – 7 – 6 – 0.5 – 1 – 2 – 2

(حدد الضغط الأعظمي بـ 7.5 kg/cm² لتجنب حدوث تحطيم لحبات الرمل و بالتالي تغير في تركيبه الحبي و تغير في شكل الحبيبات [2])

1-2-6 حالة التخلخل الأعظمى:

تم صب الرمل بواسطة قمع في حلقة الآدومتر بحيث تبعد نهاية القمع عن الرمل المصبوب في الحلقة حوالي 2cm حتى امتلاء الحلقة ثم سوي سطح الرمل بمسطرة معدنية بهدوء ، من وزن الرمل و حجم حلقة الآدومتر نحسب الوزن الحجمي الجاف في حالة التخلخل الأعظمي مر_{d min} منه نحسب معامل المسامية الابتدائي في حالة التخلخل الأعظمي من المعادلة $\frac{Y_s - Yd \min}{Yd \min}$ حالة التخلخل الأعظمي عمته ثم طبقت الحمولة المسامية الابتدائي في طبقت كل حمولة و تم قياس التشوه الناتج عنها بعد ثبات قيمته ثم طبقت الحمولة التالية و هكذا. و توضح الجداول التالية نتائج اختبارات الآدومتر للترب الرملية المختبرة بحالة التخلخل الأعظمي:

تربة (1)					
الاجهاد المطبق (kg/cm2)	قراءة مؤشر التشوه(mm)	معامل المسامية e _i			
0	0	0.74			
0.5	0.322	0.712			
1	0.655	0.683			
2	0.747	0.675			
3	0.793	0.671			
4	0.816	0.669			
5	0.839	0.667			
6	0.85	0.666			
7.5	0.869	0.6644			

خلخل الأعظمى	المختبرة بحالة الن	للترب الرملية ا	الأدومتر ا	داول اختبارات	÷
--------------	--------------------	-----------------	------------	---------------	---

تربة (2)					
الاجهاد المطبق (kg/cm2)	قراءة مؤشر التشوه (mm)	معامل المسامية e _i			
0	0	0.81			
0.5	0.376	0.776			
1	0.784	0.739			
2	0.95	0.724			
3	1.016	0.718			
4	1.072	0.713			
5	1.105	0.71			
6	1.138	0.707			
7.5	1.167	0.7044			

تربة (4)					
الاجهاد (kg/cm2)	قراءة مؤشر التشو ه (mm)	معامل المسامية 0:			
(16) (112)	(1111) • 3==,				
0	0	0.72			
0.5	0.302	0.694			
1	0.628	0.666			
2	0.697	0.66			
3	0.732	0.657			
4	0.756	0.655			
5	0.774	0.6534			
6	0.786	0.6524			
7.5	0.801	0.6511			

تربة (3)					
الاجهاد	قراءة مؤشر	معامل المسامية			
(kg/cm2)	التشوه (mm)	ei			
0	0	0.83			
0.5	0.393	0.794			
1	0.852	0.752			
2	1.06	0.733			
3	1.147	0.725			
4	1.224	0.718			
5	1.268	0.714			
6	1.3	0.711			
7.5	1.333	0.708			

تربة (5)

الاجهاد	قراءة مؤشر	معامل المسامية
(kg/cm2)	التشوه (mm)	ei
0	0	0.77
0.5	0.361	0.738
1	0.734	0.705
2	0.859	0.694
3	0.904	0.69
4	0.949	0.686
5	0.971	0.684
6	0.994	0.682
7.5	1.017	0.68

و نبين نتائج الاختبارات بشكل منحنيات تمثل العلاقة بين تناقص معامل المسامية و تزايد الاجهاد الفعال كما هو مبين في الشكل (6-2).



e ₀	الموقع	رقم التربة
0.74	القسطل	1
0.81	معرونة	2
0.83	حماة/السلمية	3
0.72	السليمة (1)	4
0.77	السليمة (2)	5

الشكل (6-2) منحنيات انضغاط الرمل المخلخل

2-2-6 حالة التراص الأعظمي :

تم صب الرمل بواسطة قمع في حلقة الآدومتر بحيث تبعد نهاية القمع عن الرمل المصبوب في الحلقة حوالي 2cm مع هز و رج الحلقة حتى امتلائها بحيث تبلغ كثافة التوضع أعظم ما يمكن ، من وزن الرمل و حجم حلقة الآدومتر نحسب الوزن الحجمي الجاف الأعظمي $\gamma_{
m d\,max}$ و منه نحسب معامل المسامية الابتدائي في حالة التراص الأعظمي من المعادلة $e_{
m min} = rac{\gamma_{
m c} - \gamma_{
m d\,max}}{\gamma_{
m d\,max}}$

و توضح الجداول التالية نتائج اختبارات الأدومتر للترب الرملية المختبرة بحالة التراص الأعظمي:

تربة (1)				
الاجهاد (kg/cm2)	قراءة مؤشر التشوه (mm)	معامل المسامية e _i		
0	0	0.53		
0.5	0.106	0.52187		
1	0.223	0.51291		
2	0.269	0.50941		
3	0.292	0.50761		
4	0.308	0.50644		
5	0.321	0.50543		
6	0.33	0.50472		
7.5	0.339	0.50402		

جداول نتائج اختبارات الآدومتر للترب الرملية المختبرة بحالة التراص

تربة (2)			
الاجهاد (kg/cm2)	قراءة مؤشر التشوه (mm)	معامل المسامية e _i	
0	0	0.56	
0.5	0.13	0.54985	
1	0.275	0.5385	
2	0.33	0.53423	
3	0.356	0.53223	
4	0.374	0.53083	
5	0.388	0.52973	
6	0.398	0.52892	
7.5	0.408	0.52814	

تربة (4)

الاجهاد (kg/cm2)	قراءة مؤشر التشوه (mm)	معامل المسامية e _i
0	0	0.52
0.5	0.104	0.5121
1	0.216	0.50359
2	0.259	0.50031
3	0.281	0.49863
4	0.295	0.49754
5	0.307	0.49664
6	0.316	0.496
7.5	0.324	0.49536

تربة (3)

الاجهاد (kg/cm2)	قراءة مؤشر التشوه (mm)	معامل المسامية C _i
0	0	0.58
0.5	0.15	0.56813
1	0.323	0.55448
2	0.392	0.54903
3	0.419	0.54688
4	0.442	0.54506
5	0.457	0.54386
6	0.469	0.54297
7.5	0.479	0.54211

تربة (5)				
الاجهاد (kg/cm2)	قراءة مؤشر التشوه (mm)	معامل المسامية C i		
0	0	0.55		
0.5	0.119	0.54079		
1	0.243	0.53112		
2	0.295	0.5271		
3	0.319	0.5253		
4	0.336	0.52394		
5	0.35	0.52284		
6	0.359	0.52214		
7.5	0.369	0.5214		

و نبين نتائج الاختبارات بشكل منحنيات تمثل العلاقة بين تناقص معامل المسامية و تزايد الاجهاد الفعال كما هو مبين في الشكل (6-3) .

e₀

0.53

0.56

0.58

0.52

0.55

الموقع

القسطل

معرونة

حماة/السلمية

السليمة (1)

السليمة (2)

رقم التربة

1

2

3

4

5



الشكل (6-3) منحنيات انضغاط الرمل المتراص

Eoed حساب معامل التشوه الآدومتري Eoed:

باستخدام نتائج اختبارات الآدومتر تم حساب قيم معامل المرونة (معامل التشوه) الآدومتري بالربط بين نظرية المرونة و نظرية الانضغاط المحصور كما يلي:

من نظرية المرونة (قانون هوك) للمادة المرنة المتجانسة لدينا علاقات التشوه – الاجهاد التالية:

 $\varepsilon_{z} = \frac{\sigma_{z}}{E} - \frac{\mu}{E} (\sigma_{x} + \sigma_{y})$ (3.6)

$$\varepsilon_{\rm x} = \frac{\sigma_{\rm X}}{E} - \frac{\mu}{E} (\sigma_{\rm Z} + \sigma_{\rm y}) \tag{4.6}$$

$$\varepsilon_{\rm y} = \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\mu}{E} (\sigma_x + \sigma_z) \tag{5.6}$$

µ :معامل التوسع الجانبي للتربة

في اختبار الآدومتر يكون التشوه الجانبي معدوم $\varepsilon_{\rm x} = \varepsilon_{\rm y} = 0$ و بحسب مبدأ التشوه الخطي يمكن أن نعتبر العلاقة بين التشوهات العامة و الاجهادات في التربة علاقة خطية في مجال التغير القليل للضغط المطبق على التربة وفق نظرية الانضغاط المحصور لدينا:

$$S_i = m_V . h. \sigma_z \tag{6.6}$$

h: ارتفاع حلقة الآدومتر

(حمولة موزعة بانتظام) الضغط الشاقولي المطبق على العينة σ_z

Si:هبوط العينة

m_v : معامل الانضغاط الحجمي أو النسبي

في الانضغاط الآدومتري تكون الاجهادات الجانبية متناظرة

$$\sigma_x = \sigma_y = K_0 \cdot \sigma_Z \tag{7.6}$$

. معامل ضغط التربة الجانبي أثناء الراحة و يحسب من معامل التوسع الجانبي وفق العلاقة: K_0

$$K_0 = \frac{\mu}{1 - \mu}$$
(8.6)

$$\varepsilon_z = \frac{s}{h} = m_v. \sigma_z$$
 (9.6) التشوه الشاقولي من الآدومتر:

بالمساواة بين العلاقتين (3.6) و (9.6) نجد:

$$m_V \cdot \sigma_z = \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\mu}{E} (\sigma_x + \sigma_y)$$
(10.6)

بتعويض المعادلة(7.6) و تعويض قيمة معامل التوسع بدلالة معامل ضغط التربة الجانبي في المعادلة (10.6) نوجد علاقة حساب معامل التشوه الآدومتري بدلالة معامل ضغط التربة الجانبي و معامل الانضغاط النسبي:

$$E_{oed} = \frac{1}{m_V} \frac{(1-K)(1+2K)}{(1+K)}$$
 (11.6)
: وقد حسبت قيمه ضمن مجالات خطية لتزايد الاجهاد كما يلي :
(0-1), (1-2), (2-4), (4-6), (6-7.5) kg/cm²
قيم K المعتمدة في الحساب مبينة بالجدول التالي:

قيم Kالمعتمدة في حساب معامل التشوه [2]

D _r	0.0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
К	0.25-0.3	0.30-0.35	0.35-0.4	0.4-0.47	0.47-0.53

حيث يتعذر حساب معامل التوسع الجانبي بالامكانات المتاحة، يحدد معامل التوسع الجانبي من الاختبار على الضغط المركب أو بواسطة جهاز تكون فيه العينة محاطة بسائل غير قابل للانضغاط (الغليسرين) موصول بمقياس ضغط لقياس قيم الضغط الجانبي الموافقة للضغط الشاقولي المطبق ،من منحني العلاقة بين الاجهاد الشاقولي و الاجهاد الجانبي يمكن إيجاد قيمة معامل التوسع الجانبي ضمن المجال المختار يبين الشكل التالي مصور توضيحي لجهاز قياس معامل التوسع الجانبي



الشكل(6-4) جهاز قياس معامل التوسع الجانبي

التربة الرملية	معامل التوسع الجانبي
رمل مخلخل	0.2 - 0.4
رمل متوسط الكثافة	0.25 - 0.4
رمل کثیف	0.3 – 0.45

يبين الجدول التالي مجالات قيم معامل التوسع الجانبي للرمل

و تبين الجداول التالية قيم معامل الانضغاط النسبي المحسوبة من منحنيات الانضغاط ،و قيم معامل ضغط التربة الجانبي للأتربة المختبرة بحالة التخلخل الأعظمي :

تربة (2)				
معامل ضغط التربة الجانبي K	معامل الانضغاط النسبي mv	مجالات الاجهاد (kg/cm2)		
0.33404	0.03922651	[0-1]		
0.45018	0.00862564	[1-2]		
0.4899	0.00319025	[2-4]		
0.51409	0.00175131	[4-6]		
0.52631	0.00101542	[6-7.5]		

تربة (1)				
معامل ضغط التربة الجانبي K	معامل الانضغاط النسبي mv	مجالات الاجهاد (kg/cm2)		
0.3442	0.0327586	[0-1]		
0.472	0.0047534	[1-2]		
0.4998	0.001791	[2-4]		
0.5177	0.0008987	[4-6]		
0.5268	0.0006403	[6-7.5]		

تربة (4)				
معامل ضغط التربة الجانبي K	معامل الانضغاط النسبي mv	مجالات الاجهاد (kg/cm2)		
0.34796	0.03139535	[0-1]		
0.47818	0.00360144	[1-2]		
0.50213	0.00150602	[2-4]		
0.51868	0.0007855	[4-6]		
0.52717	0.00052449	[6-7.5]		

تربة (3)				
معامل ضغط التربة الجانبي K	معامل الانضغاط النسبي mv	مجالات الاجهاد (kg/cm2)		
0.3299	0.042623	[0-1]		
0.4411	0.0108447	[1-2]		
0.487	0.0043278	[2-4]		
0.514	0.0020373	[4-6]		
0.5264	0.0011689	[6-7.5]		

تربة (5)

معامل ضغط التربة الجانبي K	معامل الانضغاط النسبي mv	مجالات الاجهاد (kg/cm2)
0.34028	0.0367232	[0-1]
0.46416	0.0064516	[1-2]
0.49667	0.0023613	[2-4]
0.51667	0.0011862	[4-6]
0.52667	0.0007927	[6-7.5]

بالاعتماد على القيم السابقة لمعامل الانضغاط النسبي و قيم معامل ضغط التربة الجانبي تم حساب معامل التشوه الآدومتري من المعادلة 11.6 ثم تم إيجاد العلاقة بين معامل التشوه الآدومتري و معامل المسامية الابتدائي وفقاً لمجالات تزايد الضغط في حالة التخلخل الأعظمي الموضحة بالشكل 6-5

	قيم معامل التشوه الآدومتري ضمن مجالات الضىغط المدروسة					
	E(0-1)	E(1-2)	E(2-4)	E(4-6)	E(6-7.5)	
0.83	19.62	67.32	157.36	319.53	544.98	
0.81	21.23	83.53	212.45	371.66	627.35	
0.77	22.52	109.4	283.9	546.26	803.1	
0.74	25.1	146.68	372.33	719.72	993.97	
0.72	26.12	191.76	441.09	822.03	1212.7	



الشكل (6-5)العلاقة بين معامل التشوه الآدومتري و معامل المسامية الابتدائي بحالة التخلخل الأعظمي

تبين الجداول التالية قيم معامل الانضغاط النسبي المحسوبة من منحنيات الانضغاط ،و قيم معامل ضغط التربة الجانبي للأتربة المختبرة بحالة التراص الأعظمي :

	•		
	۰.	4 \	• •
			-
۰.		• •	/
•			

معامل ضغط التربة الجانبي K	معامل الانضغاط النسبي mv	مجالات الاجهاد (kg/cm2)
0.33222	0.01116993	[0-1]
0.44381	0.00231342	[1-2]
0.48491	0.00098383	[2-4]
0.51198	0.00057088	[4-6]
0.52596	0.00031014	[6-7.5]

تربة (2)				
معامل ضغط التربة الجانبي K	معامل الانضغاط النسبي mv	مجالات الاجهاد (kg/cm2)		
0.33435	0.01378205	[0-1]		
0.44964	0.00277543	[1-2]		
0.48866	0.00110804	[2-4]		
0.51366	0.00062384	[4-6]		
0.5263	0.00034010	[6-7.5]		

تر	
	تر

معامل ضغط التربة الجانبي K	معامل الانضغاط النسبي mv	مجالات الاجهاد (kg/cm2)
0.33325	0.010796053	[0-1]
0.44639	0.002181446	[1-2]
0.48659	0.000923143	[2-4]
0.51283	0.000514177	[4-6]
0.5261	0.000285205	[6-7.5]

تربة (3)

معامل ضغط التربة الجانبي K	معامل الانضغاط النسبي mv	مجالات الاجهاد (kg/cm2)
0.3342	0.0161519	[0-1]
0.4509	0.003506	[1-2]
0.49092	0.0012814	[2-4]
0.51491	0.0006763	[4-6]
0.5266	0.0003716	[6-7.5]

تربة (5)

معامل ضغط التربة الجانبي K	معامل الانضغاط النسبي mv	مجالات الاجهاد (kg/cm2)
0.33252	0.012180645	[0-1]
0.44565	0.002625529	[1-2]
0.48678	0.001034641	[2-4]
0.5128	0.000590574	[4-6]
0.52612	0.000324105	[6-7.5]

بالاعتماد على القيم السابقة لمعامل الانضغاط النسبي وقيم معامل ضغط التربة الجانبي تم حساب معامل التشوه الآدومتري من المعادلة 11.6 ثم تم إيجاد العلاقة بين معامل التشوه الآدومتري و معامل المسامية الابتدائي وفقاً لمجالات تزايد الضغط في حالة التراص الأعظمي الموضحة بالشكل6.6

	قيم معامل النتشوه الآدومتري ضمن مجالات الضىغط المدروسة					
eu	E(0-1)	E(1-2)	E(2-4)	E(4-6)	E(6-7.5)	
0.58	51.54	205.2	528.1	961.06	1713.41	
0.56	60.4	259.8	612.96	1044.13	1872.96	
0.55	68.47	276.23	658.44	1104.61	1966.15	
0.53	74.7	314.32	694.55	1144.3	2055.6	
0.52	77.2	332.1	738.19	1268.64	2234.45	



الشكل (6-6) العلاقة بين معامل التشوه الآدومتري و معامل المسامية الابتدائي بحالة التراص الأعظمي

من العلاقة المستنتجة بين معامل التشوه الآدومتري و معامل المسامية الابتدائي نحسب قيمة معامل التشوه E_{oed}، و من قيمة معامل المسامية الابتدائي نوجد قيمة عامل الانتقال(n) و الذي يمثل النسبة

بين معامل التشوه الحقلي و معامل التشوه الآدومتري $n=rac{E_p}{E_{oed}}$ و المبينة قيمه في الجدول التالي:

e ₀	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	>0.85
n	4	3	2.5	2	1.5	1.25	1

و بالتالي يمكن أن نستنتج القيمة الحقلية لمعامل التشوه Ep=n.Eoed.[2].

3-6 الدراسة المجهرية (الميكروسكويية):

1-3-6 مواصفات المجهر Nikon Eclipse E100:

تم استخدام مجهر .Nikon Eclipse E100 الموجود في مخبر التشريح المرضي بكلية الطب البشري . بجامعة دمشق و المبين بالشكل (6-7)





الشكل(6-7) مجهر Nikon Eclipse E100

يتميز هذا المجهر بنظام إضاءة عالي الكثافة الضوئية LED الذي يعطي سطوع موحد ضمن كامل مساحة الرؤيا ، ويؤمن سطوع كافي لمراقبة طور التباين، المصابيح المستخدمة صديقة للبيئة و ذات عمر طويل مما يقلل من الحاجة إلى كثرة استبدالها.

بالإضافة إلى نموذج إضاءة الهالوجين (مصباح60 60) مع نظام بصري CFI لذي يتيح الحصول على صور مسطحة شديدة الوضوح فهي تقلل التشوه إلى الحد الأقصى، و يمكن بواسطتها ملاحظة العينات الشفافة ،يعد هذا المجهر بسيط و سهل الاستخدام للمبتدئين و يتميز بصلابة شديدة لضمان دقة عالية و عمر طويل و سهولة في التخزين ،و يعتبر الخيار الأمثل لمجموعة من الأغراض بما في ذلك التعليمية و الأبحاث المخبرية .

4x, 10x, 20x, 40x, 60x, 100x. تكبير العدسة العينية للمجهر هو 10.

و يتم تصحيح الانحراف اللوني و انحناء المجال ضمن كامل حقل الرؤيا .

ويوضح الجدول التالي مواصفات هذا المجهر:

مواصفات مجهر Nikon Eclipse E100

	Optical system	CFI optical system
Illumination High luminescent white LED illuminator (Eco-il 6V20W halogen lamp, Compliant multi-voltage		High luminescent white LED illuminator (Eco-illumination) 6V20W halogen lamp, Compliant multi-voltage (100 V-240 V)
body	Eyepieces (F.O.V.)	 E1-CFI 10x (18 mm) CFI E 15x (12 mm)
	Focusing	Coaxial coarse/fine focusing, Cross roller guide, Focusing stroke: 22 mm, Coarse: 37.7 mm/rotation, Fine: 0.2 mm/rotation, Coarse motion torque adjustable
	Tubes	 E2-TB Binocular Tube E2-TF Trinocular Tube, Eyepiece/Port: 100/0, 0/100, 360°

	rotatable		
Nosepieces	Quadruple nosepiece (within main body), Revolving mechanism with multiple ball bearings, Elastic nosepiece grip-ring		
Stages	Rectangular mechanical stage (within main body), with specimen holder, with vernier calibrations, Cross travel: 76 (X) x 40 (Y) mm		
Objectives (NA / W.D., mm)	 CFI BE Plan Achromat 4x (0.1 / 25) CFI BE Plan Achromat 10x (0.25 / 6.7) CFI BE Plan Achromat 20x (0.4 / 3.7) CFI BE Plan Achromat 40x (0.65 / 0.6) CFI BE Plan Achromat 60x (0.8 / 0.24) CFI BE Plan Achromat 100x (1.25 / 0.14) CFI BE Plan Achromat DL10x (0.25 / 6.7) CFI BE Plan Achromat DL40x (0.65 / 0.6) CFI BE Plan Achromat DL100x (1.25 / 0.14) 		
Condensers	 YS-CA Abbe Condenser N.A. 1.25, Aperture diaphragm with position guide marking for respective objectives, 33-mm Blue Filter attachable Phase Condenser 		
Observation methods [*]	Brightfield, Darkfield, Phase contrast		
Optional accessories	Phase contrast attachment, Object marker, Darkfield ring unit, Mirror unit, Cord hanger, Storage case		
Power consumption (max.)	Normal value: 3 W (LED illumination model), 33 W (halogen illumination model)		
Weight (approx.)	6 kg (Binocular standard set)		

6-3-3 إيجاد برامترات شكل الحبيبات:

تم تصوير حبيبات الرمل بعد غسله و تجفيفه بواسطة مجهر Nikon E100 لكل مجموعة حبية (خشن – متوسط – ناعم) لكل نوع من الأنواع الخمسة المدروسة بتكبير كاف يبين شكل الحبات و طبيعة حوافها، تم تكبير الجزيئات المحجوزة على المهزة 200 باستخدام العدسة 100x، و الجزيئات المحجوزة على المهزة 40 تم تكبيرها باستخدام العدسة 40x ،أيضاً الجزيئات المحجوزة على المهزة 10 تم تكبيرها باستخدام العدسة 40x ،بحيث يمكننا إيجاد برامترات الشكل التالية: الكروية(sphericity) و الاستطالة (elongation) و الاستدارة(Roundness) و مصور sphericity) و الاستدارة ، و مصور sphericity) لحساب الكروية تم اعتماد مصور (Power(1953) Power لحساب الاستدارة ، و مصور Krumbein and Sloss لحيث أنها طرق عملية تعتمد على المقارنة البصرية فهي تختصر الزمن اللازم للقياس و هي الأكثر استخداماً، قمنا بإيجاد قيم الكروية و الاستدارة لكل مجموعة حبية (عشر حبات مختارة عشوائياً من كل مجموعة حبية) لكل نوع رمل ومنها حسبت القيم الوسطية الممثلة لكامل العينة بطريقة الوسطي الموزون لكل نوع من الأتربة الخمسة المدروسة وفق العلاقات التالية :

$$S_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$$
(12.6)

$$R_{\text{avg}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_{i} w_{i}}{\sum_{i=1}^{n} w_{i}}$$
(13.6)

Wi : وزن الجزء المحجوز على المنخل i

S_i: القيمة الموافقة للكروية(الكروية الممثلة للمجموعة الحبية المحجوزة على المنخل i)

R_i: القيمة الموافقة للاستدارة (الاستدارة الممثلة للمجموعة الحبية المحجوزة على المنخلi)

وتم اعتماد طريقة (Allen(1975 لحساب الاستطالة وفق الخطوات التالية:

- 1- توضع جزيئات الرمل لمهزة معينة على سطح شريحة زجاجية و نركز على الحبة بواسطة المجهر
 - 2- يقاس البعد الأكبر للجزيئة في مستوي الصورة المجهرية ويكون هذا البعد طول الجزيئة L
- 3- يقاس العرض باعتباره اكبر مسافة بين النقطتين الطرفيتين على محيط الصورة المجهرية بالاتجاه المتعامد مع الطول المقاس

4- نكرر الخطوات السابقة من أجل عشر جزيئات مختارة بشكل عشوائي من المجموعة الحبية

- 5- نحسب القيم الوسطية لكل من الطول و العرض لعشر جزيئات من المجموعة الحبية
 - 6- نكرر الخطوات السابقة لكل مجموعة حبية من العينة الرملية
- 7- نحسب الاستطالة من القيم المقاسة للطول و العرض باستخدام المعادلة B=L/Bهذه القيمة للاستطالة تمثل مجموعة حبية محددة فقط، نوجد قيمة الاستطالة الممثلة لكامل العينة بطريقة الوسطي الموزون وفق المعادلة التالية:

$$\varepsilon_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$$
(14.6)

Wi: وزن الجزء المحجوز على المنخل Ei ، i : القيمة الموافقة للاستطالة.

تعمدنا في هذه الدراسة إيجاد نوعي رمل في شبه توافق تام في التركيب الحبي لنتمكن من عزل تأثير شكل الجزيئات على قيم معامل التشوه وهما رمل منطقة معرونة و رمل منطقة القسطل.

نبين بعض الصور المجهرية لحبات الرمل المحجوزة على المهزة 10 للأتربة المدروسة بعد تكبيرها باستخدام العدسة 40x



الشكل(6–8) تربة (1) القسطل

الجزيئات المحجوزة على المهزة 10 المكبرة باستخدام العدسة 40x



الشكل (6–9) تربة (2) معرونة

الجزيئات المحجوزة على المهزة 10المكبرة باستخدام العدسة 40x



الشكل(6–10) تربة (3) حماة (السلمية)

الجزيئات المحجوزة على المهزة 10المكبرة باستخدام العدسة 40x


الشكل(6-11) تربة (4) السليمة (1)



الشكل (6–12) تربة (5) السليمة(2) الجزيئات المحجوزة على المهزة 10المكبرة باستخدام العدسة 40x

و فيما يلي بعض الصور المجهرية لحبات الرمل المحجوزة على المهزة 40 للأنواع المختلفة المدروسة و التي تم تكبيرهاباستخدام العدسة 40x:



الشكل (6–13) تربة (1) القسطل



الشكل (6–14) تربة (2) معرونة



الشكل (6–15) تربة (3) حماة (السلمية)



الشكل (6–16) تربية (4) السليمة (1)



الشكل (6–17) تربة (5) السليمة (2) الجزيئات المحجوزة على المهزة 40المكبرة باستخدام العدسة 40x

و نبين بعض الصور المجهرية لحبات الرمل المحجوزة على المهزة 200 للأنواع المختلفة المدروسة و التي تم تكبيرها باستخدام 100x :



الشكل(6–18)تربة (1) القسطل



الشكل(6–19) تربة (2) معرونة



الشكل (6–20) تربة (3) حماة (السلمية)



الشكل (6–21) تربية (4) السليمة (1)



الشكل (6-22) تربة (5) السليمة (2) الجزيئات المحجوزة على المهزة 200المكبرة باستخدام العدسة 100x

يبين الجدول التالي قيم الاستدارة و الكروية و الاستطالة لحبات الرمل المدروسة:

برامترات الشكل				: 11		
3	S	R	e _{min}	e _{max}	الموقع	رقم اللربه
1.368	0.72	0.541	0.53	0.74	القسطل	1
1.467	0.647	0.407	0.56	0.81	معرونة	2
1.547	0.613	0.351	0.58	0.83	حماة(السلمية)	3
1.38	0.709	0.518	0.52	0.72	السليمة(1)	4
1.431	0.687	0.471	0.55	0.77	السليمة (2)	5

قيم الاستدارة و الكروية و الاستطالة لحبات الرمل المدروسة

نلاحظ أن حبات رمل منطقة القسطل هي الأكثر كروية و الأكثر استدارة ، بينما حبات رمل منطقة حماة (السلمية) هي الأقل كروية و هي الأقل استدارة.

نلاحظ أيضاً أنه بتتاقص استدارة و كروية الجزيئات تزداد معاملات المسامية الحدية، بينما تتناقص معاملات المسامية بتتاقص استطالة الجزيئات .

وتلخص الأشكال التالية تأثير استطالة الجزيئة (٤)على قيم معامل التشوه الآدومتري ضمن مجالات مختلفة من الضغط و المعادلات الرابطة بينهما:



الشكل (6-23) علاقات معامل التشوه بالاستطالة ضمن مجال الضغط [1-0]



الشكل (6-24) علاقات معامل التشوه بالاستطالة ضمن مجال الضغط [2-1]



الشكل (6-25) علاقات معامل التشوه بالاستطالة ضمن مجال الضغط [4-2]



الشكل (6-26) علاقات معامل التشوه بالاستطالة ضمن مجال الضغط [6-4]



الشكل (6-27) علاقات معامل التشوه بالاستطالة ضمن مجال الضغط [7.5-6]

وتبين الأشكال التالية تأثير استدارة الجزيئة R على قيم معامل التشوه الآدومتري ضمن مجالات مختلفة من الضغط و المعادلات المستنتجة منها:



الشكل (6-28) علاقات معامل التشوه بالاستدارة ضمن مجال الضغط [1-0]



الشكل (6-29) علاقات معامل التشوه بالاستدارة ضمن مجال الضغط [2-1]



الشكل (6-30) علاقات معامل التشوه بالاستدارة ضمن مجال الضغط [4-2]



الشكل (6-31) علاقات معامل التشوه بالاستدارة ضمن مجال الضغط [6-4]



الشكل (6-32) علاقات معامل التشوه بالاستدارة ضمن مجال الضغط [7.5-6]

وتبين الأشكال التالية تأثير كروية الجزيئة S على قيم معامل التشوه الآدومتري ضمن مجالات مختلفة من الضغط و المعادلات الموافقة :



الشكل (6-33) علاقات معامل التشوه بالكروية ضمن مجال الضغط [1-0]



الشكل (6-34) علاقات معامل التشوه بالكروية ضمن مجال الضغط [2-1]



الشكل (6-35) علاقات معامل التشوه بالكروية ضمن مجال الضغط [4-2]



الشكل (6-36) علاقات معامل التشوه بالكروية ضمن مجال الضغط [6-4]



الشكل (6-37) علاقات معامل التشوه بالكروية ضمن مجال الضغط [7.5-6]

من العلاقات المستنتجة من المخططات السابقة بين كل بارامتر من بارامترات شكل الحبيبة (الاستطالة،الاستدارة،الكروية) و معامل التشوه نوجد قيمة معامل التشوه الآدومتري،و من قيمة معامل المسامية الابتدائي الموافقة لقيمة معامل التشوه عند مجال محدد من الضغط نوجد قيمة عامل الانتقال (n) من الجدول $(5-1)_{e}$ منها يمكن أن نستنج القيمة الحقلية لمعامل التشوه E_{p} وفق العلاقة التالية:

$E_p = n. E_{oed}$

و تجدر الاشارة إلى أن قيم معامل التشوه عند الضغوط العالية غير واقعية،وفي هذه الحالة تخرج سلوكية التربة و كذلك تحميلها عما هو عليه في الواقع الهندسي أي يفضل أن تطبق قيم عامل الانتقال ضمن حدود الضغوط المنخفضة. [2]

الفصل السابع تحليل النتائج

 تبين المعادلات المستنتجة من مخططات العلاقة بين معامل التشوه الآدومتري و كل بارامتر من بارامترات شكل الحبيبة :

- ازدياد قيم معامل التشوه بازدياد كل من استدارة و كروية الجزيئات،حيث أنه بازدياد كل من استدارة و كروية الجزيئات تقل نسبة الفراغات و تزداد كثافة التربة الرملية مما يقلل من قابليتها للانضغاط تحت تأثير الحمولات الخارجية (تتناقص قيم معامل الانضغاط النسبي) و بالتالي تزداد قيم معامل التشوه.
 حتتاقص قيم معامل التشوه بازدياد استطالة الجزيئات و يفسر ذلك بازدياد معاملات المسامية للترب الرملية بازدياد استطالة الجزيئات و يفسر ذلك بازدياد معاملات الترب قيم معامل التشوه.
- و كما هو مثبت بالدراسة المرجعية أن زيادة عدم انتظام شكل الجزيئة يؤدي لزيادة معاملات المسامية الحدية حيث أن عدم انتظام شكل الجزيئة (سواء بالزوايا أو باللامركزية) يعيق سهولة تحركها و قدرتها على الوصول إلى أوضاع الطاقة الدنيا.

من المنحنيات الرابطة بين بارامترات الشكل و معامل التشوه نعيد إيجاد قيم معامل التشوه بتعويض قيم بالمنحنيات الرابطة بين بارامترات الشكل و التراص الأعظميين ضمن المجال2-4]
 إ- الإستدارة (R)

حالة التراص الأعظمى :

$$E_{oed} = 314.8 * e^{1.558R}$$

حالة التخلخل الأعظمى:

$$E_{oed} = 26.21 * e^{5.132R}$$

R	E _{max}	E _{min}
0.541	731.29	420.97
0.518	705.55	374.09
0.471	655.73	293.92
0.407	593.5	211.64
0.351	543.91	158.77

و نحسب نسب التزايد في قيم معامل التشوه الموافقة لتغير قيم الاستدارة (القيمة العظمى و القيمة الدنيا):

 $\frac{731-544}{731} = 25\%$ نسبة تزايد معامل النشوه بحالة التراص الأعظمي $\frac{421-159}{421} = 62\%$ نسبة تزايد معامل النشوه بحالة التخلخل الأعظمي $\frac{421-159}{421} = 62\%$ ب- الكروية (S):

حالة التراص الأعظمي:

 $E_{oed} = 99.24 * e^{2.765S}$

حالة التخلخل الأعظمى:

S	E _{max}	E _{min}
0.72	726.57	411.55
0.709	704.81	372.58
0.687	663.21	305.37
0.647	593.77	212.68
0.613	540.49	156.39

 $E_{oed} = 0.612 * e^{9.043S}$

نحسب نسب التزايد في قيم معامل التشوه الموافقة لتغير قيم الكروية(القيمة العظمي و القيمة الدنيا):

$$\frac{726-540}{726} = 25\%$$
 نسبة تزايد معامل التشوه بحالة التراص الأعظمي $726 = \frac{726-540}{726}$

 $\frac{411-156}{411} = 62\%$ نسبة تزايد معامل التشوه بحالة التخلخل الأعظمي

ج – الاستطالة (ع)

حالة التراص الأعظمي:

$$E_{oed} = 8009 * e^{-1.75\varepsilon}$$

حالة التخلخل الأعظمى:

3	E _{max}	E _{min}
1.368	730.93	410.61
1.388	715.74	370.2
1.431	654.63	290.2
1.467	614.66	230.86
1.547	654.63	150.22

 $E_{oed} = 90819 * e^{-5.62\varepsilon}$

و نحسب نسب التزايد في قيم معامل التشوه الموافقة لتغير قيم الاستطالة(القيمة العظمي و القيمة الدنيا):

 $\frac{731-654}{731} = 10\%$ نسبة تزايد معامل النشوه بحالة التراص الأعظمي $10\% = \frac{731-654}{731}$ نسبة تزايد معامل النشوه بحالة التخلخل الأعظمي % = 61%

نلاحظ أن نسب التزايد بقيم معامل التشوه في حالة التخلخل الأعظمي نسب كبيرة و غير منطقية ،وبالتالي تعتبر العلاقات المستنتجة بين معامل التشوه و بارامترات شكل الحبيبة في حالة التخلخل أقل دقة من العلاقات المستنتجة بحالة التراص.

من منحنيات انضغاط الرمل المستنتجة للترب الرملية المختبرة في حالتي التخلخل و التراص نجد:

– الفرق بين سرعة تناقص معامل المسامية الموافقة لحالة التخلخل و سرعة تناقص معامل المسامية الموافقة لحالة التراص لكل تربة ليس ثابتاً، و إنما يزداد بازدياد الفرق بين معاملي المسامية الحديين و يكون هذا الفرق بالسرعة عند بداية التحميل أي ضمن المجال [1–0] أكبر من الفرق ضمن بقية مجالات التحميل [2–1]، و العلاقة الرابطة بين الفرق بالسرعة (Δν) و الفرق بين معاملي المسامية الحديين (Δε) لكل تربة كما يلي :

R ² =0.901	$\Delta V = 2.65(\Delta e) - 1.431$	ضمن المجال [1–0]
R ² =0.784	$\Delta V = 0.0593(\Delta e) - 1.087$	ضمن المجال [7.5–1]

– من منحني الانضغاط الوسطي لجميع الترب في حالة التخلخل و منحني الانضغاط الوسطي لجميع الترب في حالة التراص ومن القيم التقريبية لسرعة تناقص معامل المسامية و المبينة بالشكل التالي كنسب مئوية نجد أن الفرق بسرعة تناقص معامل المسامية ليس ثابتاً ،حيث تكون قيمة هذا الفرق %4.5 ضمن المجال [1–0] و تنخفض إلى %0.24 ضمن المجال [7.5].



-بمقارنة قيم سرعة تناقص معامل المسامية للترب المدروسة مع قيم معاملات المسامية الابتدائية الموافقة نلاحظ ازدياد قيم سرعة تناقص معامل المسامية بازدياد معاملات المسامية الابتدائية في حالتي التخلخل و التراص و فق العلاقات الخطية التالية:

- حالة التخلخل الأعظمي $\mathbb{R}^2=0.985$ $V_{(0-1)}\%=21.24\ e_0-9.943$ [0-1] خسمن المجال [1-0] $\mathbb{R}^2=0.893$ $V_{(1-7.5)}\%=2.774\ e_0-1.779$ [1-7.5] خسمن المجال [1-7.5] محالة التراص الأعظمي $V_{(0-1)}=14.64\ e_0-6.009$ [0-1]
 - [0-1] القيمة التقريبية لسرعة تناقص معامل المسامية ضمن المجال $V_{(0-1)}$
- V_{(1-7.5}) : القيمة التقريبية لسرعة نتاقص معامل المسامية ضمن المجال [1-7.5] حيث أن سرعة تناقص معامل المسامية متعلقة بشكل رئيسي بشكل توضع الحبيبات بالنسبة لبعضها و بدرجة تراص التربة الرملية،فكلما استطاعت الجزيئات الأقل خشونة أن تشغل الفراغات بين الجزيئات الأكثر خشونة يزداد تراص الرمل و تكون نسبة الفراغات فيه أقل و بالتالي تكون قابليته للانضغاط أقل و سرعة تناقص معامل مساميته أقل مقارنةً مع الرمل المخلخل حيث تكون مساحة سطوح التماس قليلة بين جزيئاته و نسبة الفراغات فيه كبيرة و بالتالي تكون انضاطيته أكبر و سرعة نتاقص معامل مساميته أكبر خصوصاً عند بداية التحميل لأن هبوط الرمل آني .

الفصل الثامن النتائج و المقترحات

1- العامل الأكثر تأثيراً على قيم معامل التشوه الآدومتري هو معامل المسامية الابتدائي ،حيث تتناقص قيم معامل النشوه بشدة بازدياد معامل المسامية الابتدائي ضمن كل مجال تحميل بعلاقة أسية عكسية كما تبين المعادلتين المستنتجتين ضمن مجال الضغط . σ=(2-4)kg/cm²

حالة التراص الأعظمي :

 $E_{oed} = 11712 * e^{-5.29e_0}$

حالة التخلخل الأعظمى:

$$E_{oed} = 28612 * e^{-8.97e_0}$$

2- تبين النتائج ازدياد قيم معامل التشوه الآدومتري بازدياد استدارة الجزيئات وفق علاقة أسية كما تبين المعادلتين المستنتجتين ضمن مجال الضغط $\sigma = (2-4) \text{kg/cm}^2$

حالة التراص الأعظمى :

 $E_{oed} = 314.8 * e^{1.558R}$

حالة التخلخل الأعظمي:

$$E_{ord} = 26.21 * e^{5.132R}$$

و استخرجت هذه العلاقات من أجل الرمل النظيف جيد التدرج الحبي و الذي تتراوح قيم استدارة جزيئاته ضمن المجال [0.351-0.541]. إن بيان إمكانية تطبيقها خارج هذا النطاق يحتاج إلى أبحاث أخرى.

3- تزداد قيم معامل التشوه الآدومتري بازدياد كروية الجزيئات أيضاً وفق علاقة أسية كما تبين المعادلتين المستنتجتين ضمن مجال الضغط σ=(2-4)kg/cm² :

حالة التراص الأعظمي:

 $E_{oed} = 99.24 * e^{2.765S}$

حالة التخلخل الأعظمى:

 $E_{oed} = 0.612 * e^{9.043S}$

و استخرجت هذه العلاقات من أجل رمل نظيف جيد التدرج الحبي والذي تتراوح قيم كروية جزيئاته ضمن المجال [0.613-0.72]. إن بيان إمكانية تطبيقها خارج هذا النطاق يحتاج إلى أبحاث أخرى.

4- تتناقص قيم معامل التشوه الآدومتري بازدياد استطالة الجزيئات وفق علاقة أسية عكسية كما تبين -4 المعادلتين المستنتجتين ضمن مجال الضغط $\sigma=(2-4)$ kg/cm² :

حالة التراص الأعظمى:

 $E_{oed} = 8009 * e^{-1.75\varepsilon}$

حالة التخلخل الأعظمى:

$E_{oed} = 90819 * e^{-5.62\varepsilon}$

و استخرجت هذه العلاقات من أجل رمل نظيف جيد التدرج الحبي والذي تتراوح قيم استطالة جزيئاته ضمن المجال [1.547-1.368]. إن بيان إمكانية تطبيقها خارج هذا النطاق يحتاج إلى أبحاث أخرى.

5-من منحنيات الانضغاط نلاحظ أن الفرق بين سرعة تناقص معامل المسامية الموافقة لحالة التخلخل و سرعة تناقص معامل المسامية الموافقة لحالة التراص لكل تربة ليس ثابتاً، و إنما يزداد بازدياد الفرق بين معاملي المسامية الحديين و يكون هذا الفرق بالسرعة عند بداية التحميل أي ضمن المجال [1-0] أكبر من الفرق ضمن بقية مجالات التحميل [7.5–1]، و العلاقة الرابطة بين الفرق بالسرعة (Δν) و الفرق بين معاملي المسامية الحديين (Δα) لكل تربة كما يلي :

- R^2 =0.784 $\Delta V = 0.0593(\Delta e) 1.087$ [1-7.5] في من المجال ($\Delta V = 0.0593(\Delta e) 1.087$

6- بمقارنة منحني الانضغاط الوسطي لجميع الترب في حالة التخلخل مع منحني الانضغاط الوسطي لجميع الترب في حالة التراص نجد أن الفرق بسرعة تناقص معامل المسامية ليس ثابتاً ،حيث تكون قيمة هذا الفرق %4.5 ضمن المجال [1-7].

7- بمقارنة قيم سرعة تناقص معامل المسامية للترب المدروسة مع قيم معاملات المسامية الابتدائية الموافقة نلاحظ ازدياد قيم سرعة تناقص معامل المسامية بازدياد معاملات المسامية الابتدائية في حالتي التخلخل و التراص و فق العلاقات الخطية التالية:

		حالة التخلخل الأعظمي	•
R ² =0.985	$V_{(0-1)}\% = 21.24 \ e_0 - 9.943$	ضمن المجال [1-0]	
R ² =0.893	$V_{(1-7.5)}\% = 2.774 \mathrm{e_0} - 1.779$	ضمن المجال [7.5–1]	

حالة التراص الأعظمي
 V₍₀₋₁₎ = 14.64 e₀ - 6.009
 Image: V₍₀₋₁₎ = 14.64 e₀ - 6.009

[0-1] القيمة التقريبية لسرعة تتاقص معامل المسامية ضمن المجال $V_{(0-1)}$

[7.5–1] القيمة التقريبية للميل ضمن المجال الحرا
. $V_{(1-7.5)}$

8- من المنحنيات الرابطة بين معامل التشوه Eو معامل المسامية الابتدائي، و باعتبار متوسط فروقات قيم معامل التشوه (الفرق بين E بحالة التراص و E بحالة التخلخل) للترب المدروسة ضمن المجال[1-0] هو X يكون :

متوسط فروقات قيم معامل التشوه ضمن المجال [2-1] هو X 3.6

متوسط فروقات قيم معامل التشوه ضمن المجال[4-2] هو X.1 X

متوسط فروقات قيم معامل التشوه ضمن المجال[6-4] هو X 12.6 X

متوسط فروقات قيم معامل التشوه ضمن المجال[7.5-6] هو X 26 .

9- نتائج هذه الدراسة تخص الترب المدروسة فقط و للتأكد من مدى و ثوقية العلاقات المستنتجة نوصي بإجراء التجارب على أنواع أخرى من الترب الرملية .

10- لتكون علاقة حساب معامل التشوه أكثر دقة نوصي بحساب معامل التوسع الجانبي من جهاز الانضغاط ثلاثي المحاور .

المراجع العربية

[1] يني، حنا. (1977) ميكانيك التربة ،جامعة دمشق .

[2] يني، حنا. (1998) دراسة حول معاملات التشوه (E, µ, Ks) في التربة الرملية المفككة، جامعة دمشق.

المراجع الأجنبية

[3] ABDELRAHMAN, G and GOMAA, Y .(2007), Correlations between Relative density and Compaction test parameters, Egypt.

[4] BUDHU,M. (2011), Soil Mechanics and Foundations, 3red Edition, U.S.A.

[5] CAVARRETTA, C.O and SULLIVAN,M.R. (2009) Applying 2D Shape Analysis Techniques to Granual Materials with 3D Particle Geometries,pro.6th International Conference on Micromechanics of Granular Media.

[6] CAVARRETTA, I. (2009) The Influence of Particle Characteristics on the Engineering Behaviour of Granular Materials, London university.

[7] CHUN CHO,G ., DODDS, J and SANTAMARINA, C. (2006) Particle Shape Effects on Packing Density, Stiffness and Strength-Natural and Crushed Sand, Journal of geotechnical and geoenviromental engineering.

[8] GHAFGHAZI, M and AZHARI, F .(2012) A Simple Method for Estimating the Non-Structural Fine Content of Granular Materials, Paris.

[9] GRAMMATIKOPOULOS, J. N., MANOU Andreadis, N. E and ANAGNOSTOPOULOS, C.A. Determination OF The Modulus Of Elasticity ES in Saturated Clay- Silty Sand Mixtures, Thessaloniki, Greece. [10] HOLUBEC, I and APPOLONIA, E.D.(1973) Effect of Particle Shape on the Engineering Properties of Granular Soils, American society for testing and materials.

[11] MENG SIANG, A. J., WIGEYESEKERA, D.C., ADNAN ZAINORABIDIN, A and BAKAR, I. (2012) The Effects of Particle Morphology (Shape and Sizes) Characteristics on its Engineering Behaviour and Sustainable Engineering Performance of Sand, International Journal of Integrated Engineering ,vol.4No.3,Malaysia.

[12] POWER, M. G. (1953) A New Roundness Scale for Sedimentary Particlea Journal. of Sedimentary Petrology 23, No. 2, 117-119.

[13] RODRIGUEZ,J.M., JOHANSSON, J.MA and EDESKAR,T.(2012) Particle Shape Determination by Two-Dimensional Image Analysis in Geotechnical Engineering,Sweden

[14] RODRIGUEZ, J. M. (2013) Importance of Particle Shape on Mechanical proper- ties of Soil Materials, Sweden.

[15] RODRIGUEZ,J.(2012) Particle Shape Quantities and Influence on geotechnical Properties, Luleå University of Technology,Sweden.

[16] SNEED, E. D. and FOLK, R. L. (1958) Pebbles in the Lower Colorado River, Texas: Journal of Geology vol 66, 114-150.

[17] VIRGINIA, R.K. (1991) Settlement of Shallow Footings on Sand:Report and Users's Guide for Computer Program Csandset, USA, Washington.

[18] YASIN, S and SAFIULLAH, A.(2003) Effect of Particle Characteristics on the Strength and Volume Change Behaviour of Sand, Bangladish, vol.CE 31,No.2.133 -134.