جامعة حماه

كلية الهندسة المدنية

السنة : الثالثة

مقرر ميكانيك التربة 1

القسم النظري

د.كنان زين العابدين

د. رجاء عباس

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

طبيعة التربة ومنشؤها

مقدمة:

يعد علم ميكانيك التربة العلم الأساسي ضمن مجال الهندسة الجيوتكنيكية، حيث تشمل الهندسة الجيوتكنيكية العلوم التي تهتم بدراسة العلاقات المتبادلة بين المنشآت الهندسية والأرض التي تستند عليها أو تقام ضمنها أو تستخدم التربة والصخور عند إنشائها.

وتشمل هذه العلوم الجيولوجيا الهندسية وميكانيك التربة وميكانيك الصخور والأساسات والأنفاق والمنشآت المطمورة وجيوتكنيك السدود وغير ذلك.

ترتبط الهندسة الجيوتكنيكية ارتباطاً وثيقاً بالاختصاصات الأخرى في الهندسة المدنية، على سبيل المثال نلاحظ أن الهندسة الإنشائية تتعامل مع التربة والصخور كمواد بناء، وتحتاج للتعامل مع التربة عند تصميم وتنفيذ الأجزاء المتصلة بالتربة من المنشآت كالأساسات والجدران الاستنادية والخزانات الأرضية والأنفاق وغير ذلك، والهندسة المائية تتعامل مع التربة في مجال إنشاء السدود والأقنية وما شابه، وهندسة المواصلات تتعامل مع التربة عند إنشاء الطرق والمطارات والسكك الحديدية، والهندسة البيئية تتعامل مع بعض أنواع التربة كمواد كتيمة عند إنشاء طبقات العزل، وهكذا فإن هذه الأمثلة توضح أن الهندسة الجيوتكنيكية ليست هندسة منعزلة عن بقية اختصاصات الهندسة المدنية بل تتعامل معها وترتبط بها بشكل وثيق.

يهدف علم ميكانيك التربة إلى تعيين الخواص الهندسية المختلفة للتربة المراد تنفيذ الأعمال الهندسية عليها أوفيها، أو المراد استخدامها كمواد بناء في المباني أو السدود أو الطرق أوغيرها من المنشآت الهندسية؛ حيث يوظف علم ميكانيك التربة أساليب علمية وعملية متنوعة لاستخراج الخواص المذكورة وتقديمها لتصميم وتنفيذ أعمال التربة والأساسات والمنشآت الهندسية المختلفة المتصلة بالتربة.

التمييز بين التربة والصخور من وجهة النظر الهندسية:

تعريف التربة:

هي مواد طبيعية غير متجانسة تنتج عن تفتت الصخور الطبيعية المشكلة للقشرة الأرضية، وتكون مفككة أو متماسكة، وهي تحتوي على مواد صلبة وسائلة وغازية، وتتعلق خواص هذه التربة بمكوناتها وبالتأثير المتبادل بينها، وتتميز التربة بإمكانية حفرها بوسائل بسيطة كالحفر اليدوي بالرفش.

تعريف الصخور:

هي الكتل الحجرية المتماسكة التي تشكل صخور القشرة الأرضية والتي تمتلك مقاومة عالية - تزيد مقاومتها على الضغط البسيط عن ($50\ kg/cm^2$) - ويحتاج الصخر إلى وسائل ميكانيكية لحفره كاستعمال النقّار الموصول مع الباكر، وأحياناً يحتاج للتفجير.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

تشكل التربة:

تنشأ التربة نتيجة تفتت وتحطم صخور القشرة الأرضية ثم انتقالها من مكان لآخر أحياناً بواسطة الماء أو الهواء.

إن تآكل وتفتت الصخور بتأثير مختلف العوامل الفيزيائية والكيميائية يدعى بالحت وهو يلعب الدور الرئيس في تشكل التربة ونميز ثلاثة أنواع من الحت:

١. الحت الفيزيائي(الميكانيكي):

هو عملية تفتت الصخور تحت تأثير مختلف العوامل الطبيعية الفيزيائية، وأهم هذه العوامل:

- التغير السريع والكبير لدرجات الحرارة، حيث يصل الفرق في درجات الحرارة بين الليل والنهار في المناخ القاري حتى 40 درجة مئوية.
- التكرر المتتالي لتجمد وذوبان الماء في التربة والصخور.
- التكرر المتتالي لجفاف وترطيب التربة والصخور.
- حركة جذور النباتات عند نموها وعند اهتزاز الأشجار المرتفعة بسبب الرياح.
- الرياح الحاملة لحبيبات التربة عند اصطدامها بالصخور.
- حركة أمواج المحيطات والبحار ومياه الأنهار والسيول، واصطدامها بالصخور مع ما تحمله من مواد صلبة.
- تأثير الاهتزازات الأرضية والحركات التكتونية والاحتكاك بين الصخور على جوانب الفوالق.

وتتميز التربة المتشكلة نتيجة الحت الفيزيائي بأن تركيبها مماثل لتركيب الصخر الأم.

٢. الحت الكيميائي:

يحدث هذا النوع من الحت بسبب تغير شروط الضغط والحرارة التي تتعرض لها الصخور بوجود الماء والمواد الكيميائية، حيث تتفتت التربة إلى حبات صغيرة جداً غالباً ما تكون أبعادها من مرتبة الميكرون. وتتميز التربة المتشكلة نتيجة الحت الكيميائي بالنعومة الفائقة، واختلاف تركيبها عن تركيب الصخر الأم.

وإن أهم الصخور التي تتعرض بشكل شديد لعملية الحت الكيميائي:

- الصخور القابلة للانحلال بشكل كبير في الماء مثل الهاليت والجبس.
- الصخور الكربوناتية مثل الصخور الكلسية والدولوميتية التي تتصف باستقرار كيميائي ضعيف وتتأثر بالحموض والمياه الحامضية.
- الصخور الحاوية على فلز من نوع الفلدسبار (الصفاح) كالبازلت، وهناك أهمية كبيرة للتفتت الكيميائي الذي يتعرض له الصفاح وينتج عنه غضار الكاولينيت.

وينشط الحت الكيميائي بشدة في المناخ الحار والرطب.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٣. الحت العضوي(البيولوجي):

تلعب النباتات دوراً هاماً في عملية الحت، فهي تؤثر ميكانيكياً عند نمو جذور النباتات وعند اهتزاز الأشجار المرتفعة بسبب الرياح، وتؤثر كيميائياً من خلال الأحماض التي تخرج من الجذور.

وهناك أنواع من الطحالب والإشنيات تستطيع أن تقوم بحتّ أصلب المواد، بالإضافة إلى الدور النشط الذي تلعبه بعض البكتيريات حيث تساعد على تنشيط الحت الكيميائي عندما تفرز أحماضاً كيميائية ومواد مثل النشادر والكربونات الحامضية وغاز الكبريت الحامضي وغيرها.

أنواع الترسبات الترابية:

تبقى نتائج الحت في مكانها أو تنتقل بواسطة الماء والهواء إلى مناطق أخرى قريبة أو بعيدة، وتتوضع مشكلة ترسبات ترابية. ونميز الأنواع الآتية للترسبات الترابية:

١. الترسبات المائية:

تنتج عن حركة المياه السطحية (الأنهار والسيول وغيرها) حيث تجرف المياه حبات التربة وحطام الصخور على سفوح المنحدرات ومجاري المياه السطحية إلى الأماكن المنخفضة وتتوضع هذه المواد المنقولة في أماكن مختلفة وعلى طبقات حسب سرعة تيار الماء وخشونة حبات التربة.

وعندما يكون الترسب في دلتا الأنهار-على مسافات بعيدة من مناطق الحت أي بعد أن تقطع المياه مسافات طويلة وتترسب الحجارة والمواد الخشنة – تسمى الترسبات باللحقية وتتميز بوجود كميات كبيرة من السيلت في تركيبها وهي تتوضع على شكل طبقات من الطمي ذات سماكات كبيرة.

٢. الترسبات الريحية:

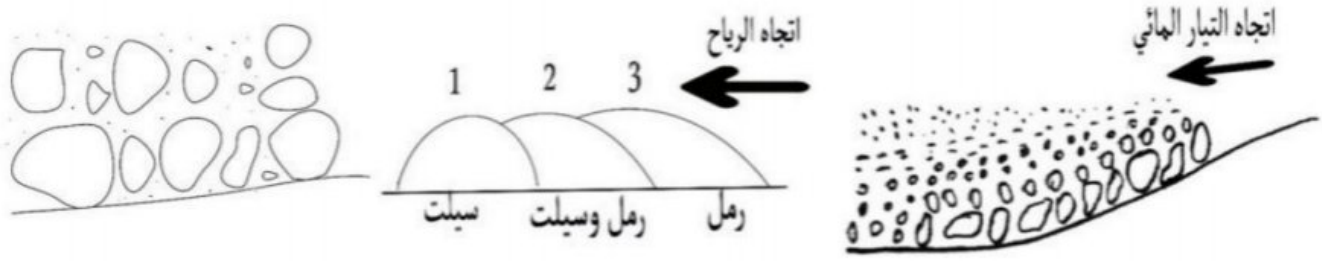
تنقل الرياح كميات كبيرة من التربة إلى مسافات بعيدة حسب خشونتها، لهذا فالمميز الرئيس لمثل هذه الترسبات هو تجانس تركيبها من حيث الخشونة، وذلك يتعلق بسرعة الرياح التي تنقل الحبيبات الناعمة إلى مسافات أبعد من الخشنة. ومن الترب التي تتشكل بالترسب الريحي تربة اللوس (Loess) والتربة الطفلية التي يدخل في تركيبها سيلت من منشأ ريحي.

٣. الترسبات الجليدية:

تجرف الكتل الجليدية أثناء حركتها كتلاً صخرية وأحجاراً وحطام الصخور التي تتفتت أثناء جرفها. وتنتقل هذه الكتل مع ما تحمله إلى السهول ثم تذوب وتتشكل الترسبات الجليدية التي تتميز باحتوائها على خليط غير متجانس من الحجارة والحبات الخشنة والناعمة.

ويوضح الشكل الآتي هذه الأنواع الثلاثة للترسبات.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner



ترسب مائي ترسب ريحي ترسب جليدي

مكونات التربة:

١. المكون الصلب (الحبات الصلبة للتربة)
٢. المكون المائي (الماء الذي يملأ فراغات التربة أو جزءاً منها بمختلف حالاته وأنواعه)
٣. المكون الغازي (الهواء الموجود في فراغات التربة وأحياناً معه بخار الماء)

عدا عن هذا، يدخل في تركيب التربة أحياناً مواد عضوية تؤثر أيضاً على خواص التربة.

إن خواص الحبات الخشنة من التربة متقاربة على الرغم من تشكلها من صخور مختلفة، أما الحبات الناعمة فتختلف خواصها كثيراً باختلاف تركيبها الفلزي، حيث يؤثر تركيبها الكيميائي على فعاليتها والظواهر السطحية فيها.

تزداد فعالية الغضار بازدياد سطحه النوعي الذي يزداد بازدياد درجة نعومة حباته.

يبين الجدول الآتي السطح النوعي لكل من الأنواع الأساسية للغضار:

الفلز الغضاري		السطح النوعي $\mathbf{m^2/gr}$
Montmorillonite	المونتموريلونيت	800
Illite	الإيليت	80
Kaolinite	الكاولينيت	10

يغلب على الحبات الخشنة الشكل الكروي والمفلطح أو ذو الزوايا الحادة، والخواص السطحية لهذه الحبات غير ظاهرة بشكل واضح وضعيفة جداً، والقوى الرئيسة التي تؤثر فيها هي قوى احتكاك.

أما حبات الغضار (التي أبعادها أقل من 2μ) فلها شكل مسطح أو إبري.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الماء في التربة:

إن لوجود الماء في مسامات التربة تأثيراً هاماً على خواصها وسلوكها تحت تأثير الحمولات الخارجية. وقد لا يكون الماء في التربة نقياً من الناحية الكيميائية، فتصادف فيه أملاح معدنية منحلة وغازات الفحم والكبريت وغيرها.

تتعلق حالة الماء في التربة بدرجة حرارة التربة وبالقوى المؤثرة على الماء في مسامات التربة. ويمكن أن تلخص هذه القوى بالآتي:

١. الوزن الذاتي للماء (قوى الجاذبية الأرضية).
٢. الحمولات المنقولة إلى الماء من الحمولات الخارجية.
٣. قوى الجذب الجزيئية بين جزيئات الماء نفسها.
٤. قوى الاتصال (الجذب) الجزيئية بين جزيئات الماء وجزيئات التربة.

ويؤثر كل هذه القوى أو بعضها على الماء في التربة، ويؤدي ذلك إلى اختلاف حالة الماء في التربة، حيث نميز بين الأشكال الآتية للماء في التربة:

١. الماء الصلب (المتجمد).
٢. الماء في الحالة الغازية (على شكل بخار).
٣. الماء الحر (بنوعيه الثقالي والشعري).
٤. الماء المرتبط.

وأهم ما يتم التركيز عليه هنا هو الفرق بين الماء الحر والماء المرتبط.

الماء الحر:

يوجد في مسامات التربة تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية وقوى الجذب الجزيئي التي تؤثر بين جزيئات الماء نفسها.

يمكن أن نميز نوعين من الماء الحر:

١. **الماء الحر الثقالي:** وهو الماء الحر المتحرك بتأثير الجاذبية الأرضية، أو يكون متوضعاً على طبقة كتيمة تحمله مشكلاً المياه الجوفية، وعندما تكون المياه الجوفية في حالة سكون يكون سطحها العلوي أفقياً ويسمى بمستوى المياه الجوفية أو السطح الحر للمياه الجوفية.
٢. **الماء الحر الشعري:** وهو الماء الحر المعلق بسبب الخاصة الشعرية، ومن المعلوم أن الارتفاع الشعري يتوقف على قطر الأنبوب الشعري، ويزداد ارتفاع الماء الشعري مع نقصان قطر الأنبوب، ويمكن أن نرجع الظاهرة الشعرية إلى جذب الماء نحو جدران الأنبوب وقوى الشد السطحي للماء، وفي التربة تتحرك المياه الشعرية وتعلق في الوسط المسامي للتربة تحت تأثير قوي الجذب لسطح الجزيئة الترابية، حيث تتشكل مسارات متعرجة من خلال مسامات التربة المتصلة يصعد فيها الماء الشعري إلى ارتفاع أعلى من منسوب السطح الحر للمياه الجوفية.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

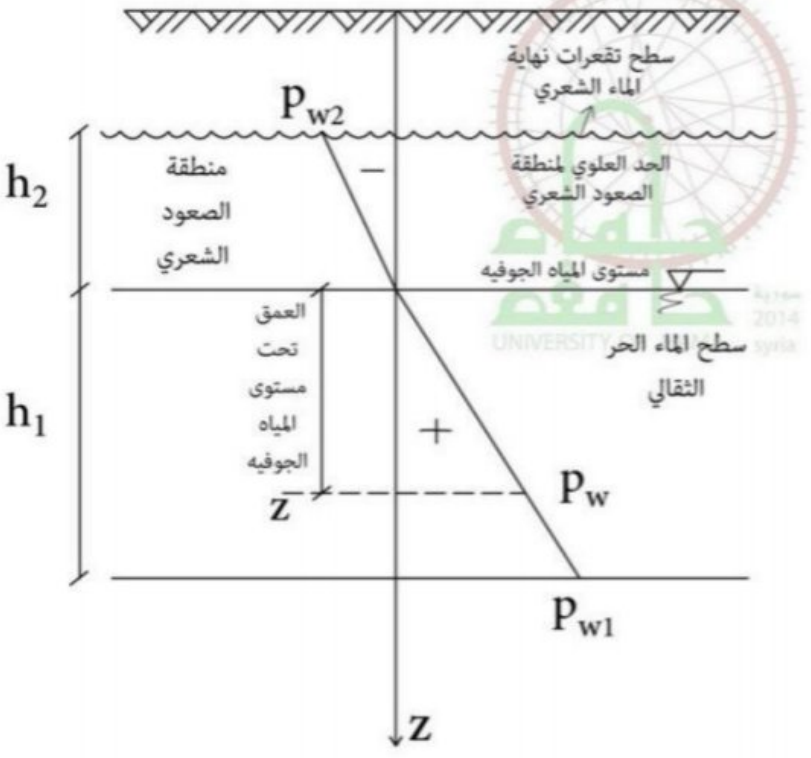
ويشكل الماء الشعري طبقة مياه شعرية تعلو مباشرة سطح المياه الجوفية، وتتغير رطوبة التربة مع الارتفاع في طبقة المياه الشعرية، فهي تقل كلما زاد الارتفاع عن سطح المياه الجوفية، وذلك لأن الماء الشعري لا يملأ كل مسامات التربة فوق سطح المياه الجوفية بل يملأ فقط المسامات الشعرية (الصغيرة)، وتختلف المسامات الشعرية من حيث القطر؛ ومع ازدياد الارتفاع عن سطح المياه الجوفية يقل قطر المسامات التي تستطيع المياه الشعرية أن تملأها، إلى أن ينعدم وجود المياه الشعرية بعد ارتفاع معين عن سطح المياه الجوفية.

ويكون السطح العلوي للمياه الشعرية مقعراً نتيجة التصاق الماء الشعري بسطوح حبات التربة الصلبة، حيث يتشكل هلال عند نقطة الالتصاق مع كل حبة من حبات التربة.

ويكون الضغط الهيدروستاتيكي تحت مستوى المياه الجوفية أعلى من الضغط الجوي، أما فوق مستوى المياه الجوفية فهو أقل من الضغط الجوي.

يحسب الضغط الهيدروستاتيكي في الماء الحر عند عمق معين (z) تحت مستوى المياه الجوفية بالعلاقة: $p_w = \gamma_w . z$

حيث: γ_w الوزن الحجمي للماء.



ومن الشكل:

$$p_{w1} = \gamma_w . h_1$$

p_{w1}: الضغط الهيدروستاتيكي في الماء الحر الثقالي عند عمق h1 عن مستوى المياه الجوفية.

$$p_{w2} = -s_r . \gamma_w . h_2$$

p_{w2}: الضغط الهيدروستاتيكي في الماء الحر الشعري عند الحد العلوي لمنطقة الصعود الشعري الذي يرتفع بارتفاع h_2 عن مستوي المياه الجوفية، علماً أن s_r هي درجة الإشباع في منطقة الصعود الشعري.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الماء المرتبط:

إن حبات التربة الغضارية تكون مشحونة بشحنة سالبة، أما جزيئة الماء (H_2O) فتحمل شحنة موجبة من جهة الهيدروجين وشحنة سالبة من جهة الأكسجين، وعند تماس الحبات الصلبة للتربة الغضارية مع الماء تظهر قوى جذب كهربائي بينها وبين الماء، وبواسطتها يحصل جذب لجزيئات الماء إلى سطح الحبات الصلبة للتربة الغضارية على شكل أغشية أو طبقات من جزيئات الماء المرتبط، وتكون خواص الماء المرتبط مختلفة عن خواص الماء الحر، فجزيئاته موجهة بالنسبة لسطح الحبات الصلبة الغضار، وكثافته أعلى من كثافة الماء الحر.

يمكن أن يصل عدد أغشية الماء المرتبط حول حبة الغضار إلى حوالي (١٠-١٥) طبقة.

وكلما زاد السطح النوعي للغضار كانت قوى الاتصال أكبر.

وتكون قوى الاتصال (الجذب) هائلة للطبقات الأولى وتتناقص مع ابتعاد طبقات الماء عن سطح الحبات الصلبة للغضار، لتصبح معدومة تقريباً على بعد نصف ميكرون عن سطح الحبة الغضارية.

ويمكن تقسيم الماء المرتبط إلى قسمين:

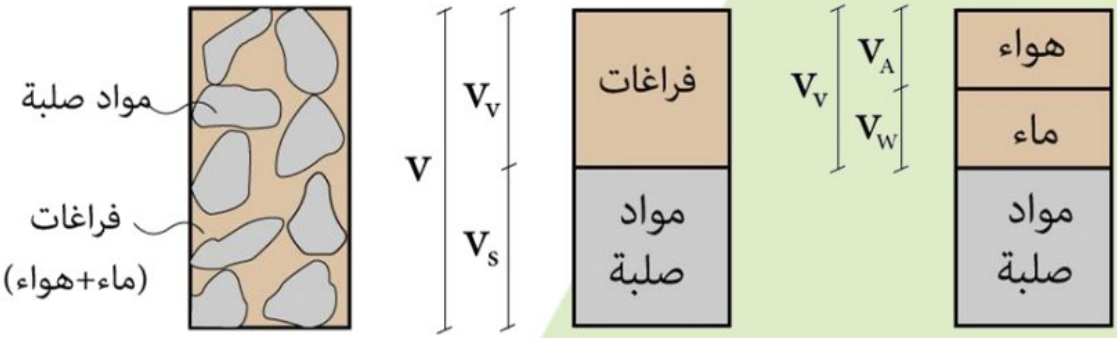
١- طبقة الماء المرتبط ارتباطاً قوياً (الصفوف الأولى لجزيئات الماء المرتبط) ويصعب فصل هذه الطبقة عن حبات الغضار، حيث يقدر الضغط اللازم لفصل هذه الطبقة بآلاف الكيلو غرامات على السنتيمتر المربع.
٢- طبقة الماء المرتبط ارتباطاً ضعيفاً (الصفوف الأخيرة من جزيئات الماء المرتبط) ويمكن فصل هذه الطبقة عن حبات الغضار وإخراجها من مسامات التربة بضغط خارجي يقدر بعدد من الكيلو غرامات على السنتيمتر المربع (وأحياناً عشرات الكيلو غرامات على السنتيمتر المربع).

وبعد طبقات الماء المرتبط يأتي الماء الحر الذي لا يقع تحت تأثير قوى الجذب الكهربائية.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الخواص الفيزيائية للتربة

تتكون التربة من حبات صلبة وماء وهواء.



V : الحجم الكلي للتربة.

V_V : حجم الفراغات.

V_S : حجم الجزء الصلب.

V_W : حجم الماء.

V_A : حجم الهواء.

$$V = V_S + V_V$$

$$V_V = V_W + V_A$$

$$\Rightarrow V = V_S + V_W + V_A$$

في حالة الاشباع: $V_A = 0$

في الحالة الجافة: $V_W = 0$

وكذلك:

W : الوزن الكلي للتربة.

W_S : وزن الجزء الصلب.

W_W : وزن الماء.

$W_A = 0$: وزن الهواء.

$$W = W_S + W_W + W_A$$

$$W = W_S + W_W$$

وفي الحالة الجافة للتربة: $W_W = 0$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الوزن الحجمي الكلي (الرطب):

هو نسبة الوزن الكلي لعينة التربة W (متضمناً وزن الماء) إلى حجمها الكلي V :

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \qquad (\mathrm{KN/m^3}) \text{ أو } (gr/cm^3)$$

وتتراوح قيمته عادة بين 18-21 $\mathrm{KN/m^3}$، ويقل عن ذلك في حالة التربة المخلخلة الضعيفة والترب العضوية.

الوزن الحجمي الجاف:

هو نسبة الوزن الجاف لعينة من التربة $W_d = W_s$ إلى حجمها الكلي V :

$$\gamma_d = \frac{W_d}{V} \qquad (\mathrm{KN/m^3})$$

وتتراوح قيمته عادة بين 15-20 $\mathrm{KN/m^3}$، ويقل عن ذلك في حالة التربة المخلخلة الضعيفة والترب العضوية.

الوزن الحجمي المشبع:

هو نسبة الوزن الكلي لعينة من التربة W_{sat} (متضمناً وزن الماء الذي يملأ كامل مسامات التربة) إلى حجمها الكلي V:

$$\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} \qquad (\mathrm{KN/m^3})$$

الوزن الحجمي المغمور:

هو نسبة وزن عينة من التربة المغمورة بالماء إلى حجمها الكلي.

حيث تتعرض التربة تحت البساط المائي (السطح الحر للماء) إلى دافعة أرخميدس الشاقولية وينقص وزنها بمقدار وزن الماء المزاح ولذلك فإن:

$$\gamma_{sub} \text{ أو } \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \qquad (\mathrm{KN/m^3})$$

حيث: الوزن الحجمي للماء $\gamma_w = 9.81 \simeq 10 \quad KN/m^3$

$$\gamma_w = 1 \quad gr/cm^3$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الوزن الحجمي الصلب:

هو نسبة وزن الحبات الصلبة ($W_s = W_d$) إلى حجم الحبات الصلبة في عينة التربة.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \qquad (\mathrm{KN/m^3})$$

الوزن النوعي:

هو نسبة الوزن الحجمي الصلب للتربة إلى الوزن الحجمي للماء.

$$G = \frac{\gamma_S}{\gamma_W}$$ (عدد لا بعدي أي بدون واحدة)

وعند أخذ الأوزان الحجمية بالواحدة gr/cm^3 فإن γ_s و G لهما القيمة نفسها عدديا لأن

$$\gamma_w = 1 \quad gr/cm^3$$

وتتراوح قيمة الوزن النوعي للتربة بين 2-3 إلا أنه لغالبية الترب يتراوح بين 2.65-2.8، وإذا كانت التربة حاوية على مواد عضوية فمن الممكن أن يقل وزنها النوعي عن 2.3

نسبة الرطوبة (المحتوى المائي):

هي نسبة وزن الماء في عينة ترابية ($W_W = W_b - W_d$) إلى وزنها الجاف W_d :

$$\omega = \frac{W_w}{W_d} = \frac{W_b - W_d}{W_d}$$

حيث: W_b هو الوزن الرطب للعينة، ويمكن أن نعبر عن الرطوبة بنسبة مئوية:

$$\omega\,\% = \frac{W_w}{W_d} \times 100$$

درجة الاشباع:

هي نسبة حجم الماء V_W في العينة الترابية إلى حجم الفراغات فيها.

$$S_r \text{ أو } S = \frac{V_W}{V_V} \qquad \text{أو} \qquad S\,\% = \frac{V_W}{V_V} \times 100$$

وتتراوح قيمة S بين الصفر في التربة الجافة والواحد في التربة المشبعة.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

المحتوى الهوائي:

هو نسبة حجم الهواء في فراغات العينة الترابية إلى حجمها الكلي V:

$$A = \frac{V_A}{V}$$

المسامية:

هي نسبة حجم الفراغات في عينة من التربة إلى حجمها الكلي V:

$$n = \frac{V_v}{V} < 1$$

ولا يمكن أن تكون أكبر من الواحد. (هي نظرياً بين $]0,1[$)

ويمكن أن يعبّر عنها كنسبة مئوية: $$n\% = \frac{V_V}{V} \times 100$$

وتكون قيمتها بين 0-100 %.

وتكون قيمتها عادة للرمال الطبيعية بين 30-50 %، وتصل في الغضار إلى 90 %.

تعتمد المسامية على شكل الحبات وتدرجها وانتظامها وشروط ترسبها، وهي لا تعبّر بدقة عن كثافة التربة أو عن تخلخلها.

نسبة الفراغ:

(تسمى في بعض المراجع عامل المسامية)

هي نسبة حجم الفراغات في عينة من التربة إلى حجم الحبات الصلبة.

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$

ويمكن أن تكون أكبر من الواحد. (هي نظرياً بين $]0,\infty[$)

ويمكن أن يعبَّر عنها كنسبة مئوية: $$e\% = \frac{V_V}{V_S} \times 100$$

وتكون قيمتها عادة للرمال الطبيعية بين 50-80 %، بينما تكون عادة في الغضار بين 70-110 %، وقد تصل إلى أكثر من ذلك بكثير كأن تكون 600 % أو أكثر.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الحجم النوعي:

هو حجم عينة من التربة تحتوي على واحدة الحجم من الحبات الصلبة.

وهو يمثل حجم العينة المثالية. $v = 1 + e$

وتتراوح قيمته في الرمل بين 2-1.3 ويصل في الغضار إلى 10.

ويمكن أن نعرّف الحجم النوعي بأنه نسبة حجم عينة من التربة إلى حجم الجزء الصلب منها:

$$v = 1 + e = 1 + \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_s + V_v}{V_s} = \frac{V}{V_s}$$

الكثافة النسبية:

(تسمى في بعض المراجع قرنية التراص)

يستخدم هذا المفهوم للتعبير عن قوام التربة الخشنة (الرملية أو الحصوية) حيث يعبّر هذا المفهوم عن مدى تخلخل أو تراص التربة الخشنة، ويعطى بالعلاقة:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

حيث: e : نسبة الفراغ الطبيعية.

e_{max} : نسبة الفراغ في حالة التخلخل الأعظمي.

e_{min} : نسبة الفراغ في حالة التراص الأعظمي.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

وقد أعطى ترزاكي (K.Terzaghi) الجدول الآتي لتصنيف درجة تراص الرمل:

D_r	وصف حالة الرمل.
$0-\frac{1}{3}$	مخلخل (loose)
$\frac{1}{3}-\frac{2}{3}$	متوسط التراص (متوسط الكثافة)
$\frac{2}{3}-1$	جيد التراص.

كما يعتمد الجدول الآتي الذي يصف حالة التربة اعتماداً على كثافتها النسبية:

D_r	الوصف
$0-15$	مخلخل جداً
$15-35$	مخلخل (Loose)
$35-65$	متوسط الكثافة.
$65-85$	كثيف (Dense)
$85-100$	كثيف جداً.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

استنتاج العلاقة التي تعطي قيمة المسامية n بدلالة نسبة الفراغ e:

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{V_v}{V_s + V_v} = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{\frac{V_s}{V_s} + \frac{V_v}{V_s}} = \frac{e}{1+e}$$

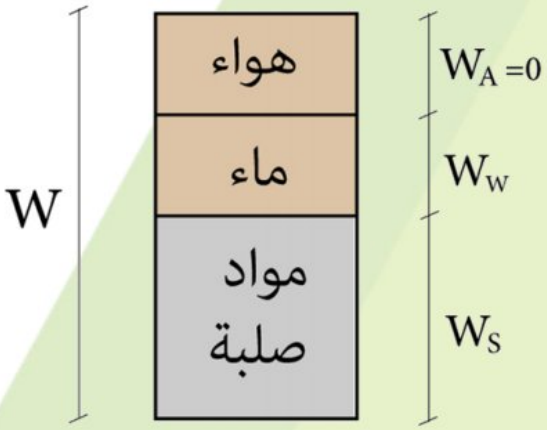
$$\Rightarrow \boxed{n = \frac{e}{1+e}}$$

استنتاج العلاقة التي تعطي قيمة نسبة الفراغ e بدلالة المسامية n:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\frac{V_v}{V}}{\frac{V}{V} - \frac{V_v}{V}} = \frac{n}{1-n}$$

$$\Rightarrow \boxed{e = \frac{n}{1-n}}$$

استنتاج العلاقة التي تعطي قيمة الوزن الحجمي الجاف γ_d بدلالة الوزن الحجمي الرطب γ_b والرطوبة ω:



$$W = W_s + W_w$$

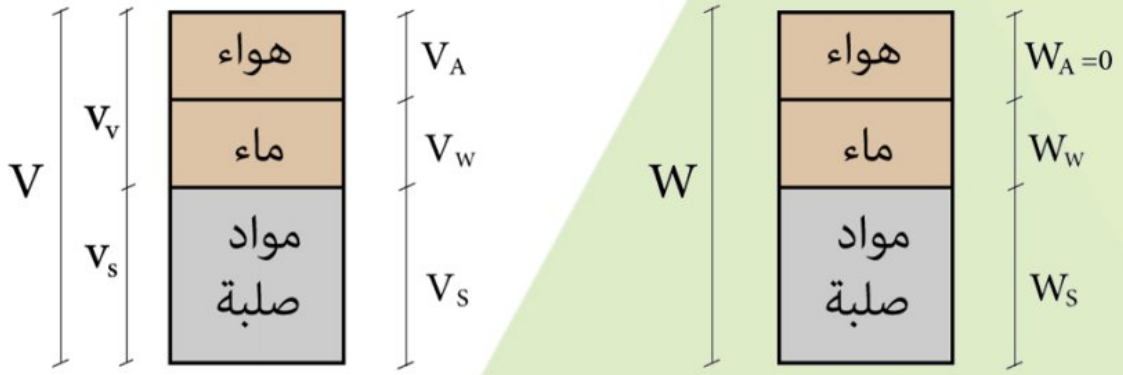
$$W = \left(1 + \frac{W_w}{W_s}\right).W_s = (1+\omega).W_s$$

$$\gamma_b = \frac{W}{V} = \frac{(1+\omega).W_s}{V} = (1+\omega).\gamma_d$$

$$\Rightarrow \boxed{\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+\omega}}$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

استنتاج العلاقة التي تعطي قيمة الوزن الحجمي الرطب للتربة γ_b بدلالة نسبة الفراغ e وقيم أخرى:



نبدأ بحساب e من العلاقة: $e = \frac{V_v}{V_s}$

نفرض المقام $V_s = 1 \Leftarrow$ $e = V_v$

نحسب s من العلاقة: $s = \frac{V_w}{V_v} \Rightarrow s = \frac{V_w}{e} \Rightarrow V_w = s.e$

نكتب علاقة الوزن الحجمي الكلي (الرطب): $\gamma_b = \frac{W}{V}$

نحسب W و V :

$$W = W_S + W_W$$

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w} \Rightarrow W_w = V_w.\gamma_w = \gamma_w.s.e$$

$$G = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \Rightarrow G = \frac{\frac{W_s}{V_s}}{\gamma_w} \Rightarrow W_s = G.\gamma_w.V_s = G.\gamma_w$$

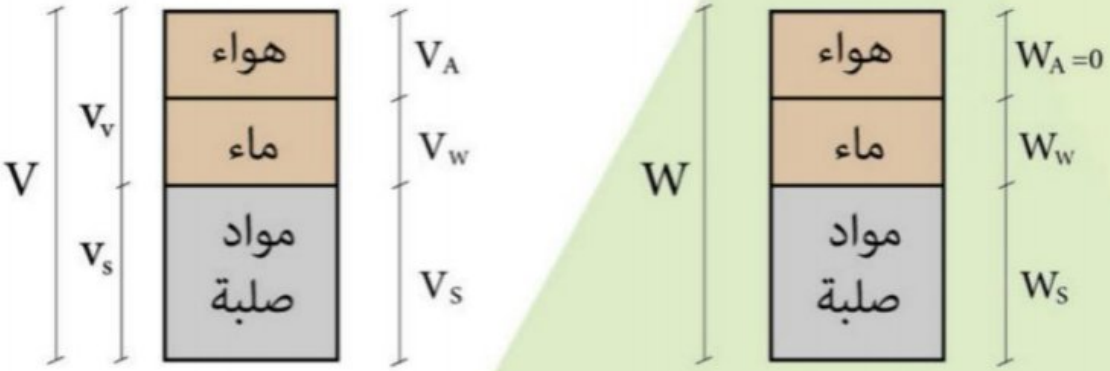
$$W = \gamma_w.s.e + G.\gamma_w$$

$$V = V_s + V_v = 1 + e$$

$$\Rightarrow \boxed{\gamma_b = \frac{(G + s.e)}{1+e}.\gamma_w}$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

استنتاج العلاقة التي تربط بين الوزن النوعي G ونسبة الفراغ e ودرجة الإشباع S ونسبة الرطوبة ω:



نحسب e من العلاقة: $e=\frac{V_v}{V_s}$

ونفرض أنّ المقام $V_s=1 \Leftarrow$ $e=V_v$

ونحسب s من العلاقة: $s=\frac{V_w}{V_v}$

$$\Rightarrow s=\frac{V_w}{e}\Rightarrow V_w=s\,e$$

نحسب ω من العلاقة: $\omega=\frac{W_w}{W_s}$

ونحسب W_w و W_s : $\gamma_w=\frac{W_w}{V_w}\Rightarrow W_w=\gamma_w.V_w=\gamma_w.s.e$

$$G=\frac{\gamma_S}{\gamma_w}=\frac{\frac{W_s}{V_s}}{\gamma_w}\Rightarrow W_S=G.\gamma_w.V_s=G.\gamma_w$$

$$\omega=\frac{W_w}{W_s}=\frac{\gamma_w.s.e}{G.\gamma_w}\Rightarrow \boxed{\omega.G=s\,e}$$

ملاحظة: في حالة الإشباع $s=1 \Leftarrow$ رطوبة الإشباع $\omega_{sat}=\frac{e}{G}$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

ملاحظة: يمكن أن نعتبر العلاقة السابقة علاقة عامة لحساب الوزن الحجمي الكلي ونستنتج منها علاقتين لحساب الوزن الحجمي الجاف والوزن الحجمي المشبع:

عندما تكون التربة جافة: $S=0 \Leftarrow$

$$\gamma_d = \frac{G.\gamma_w}{1+e} = \frac{\gamma_s}{1+e}$$

عندما تكون التربة مشبعة: $S=1 \Leftarrow$

$$\gamma_{sat} = \frac{(G+e).\gamma_w}{1+e}$$

ملاحظة: من علاقة γ_d السابقة يمكن أن نحصل على علاقة هامة في التطبيق العملي لحساب نسبة الفراغ:

$$\gamma_d = \frac{G.\gamma_w}{1+e} \Rightarrow \boxed{e = \frac{G.\gamma_w}{\gamma_d} - 1}$$

ملاحظة: يمكن اشتقاق الكثير من العلاقات بدمج مجموعة من العلاقات السابقة، مثل:

$$\left.\begin{array}{l} S.e = \omega.G \\ S = 1 \end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l} W_{sat} = \dfrac{e}{G} \\ e = \dfrac{G.\gamma_W}{\gamma_d} - 1 \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\omega_{sat} = \frac{\frac{G.\gamma_w}{\gamma_d} - 1}{G} = \frac{G.\gamma_w}{G.\gamma_d} - \frac{1}{G} = \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} = \gamma_w\left(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s}\right)$$

رطوبة الاشباع:

$$\Rightarrow \boxed{\omega_{sat} = \frac{e}{G} = \gamma_w\left(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s}\right)}$$

انتهت المحاضرة

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الدلائل (القرائن) الفيزيائية المصنفة للتربة

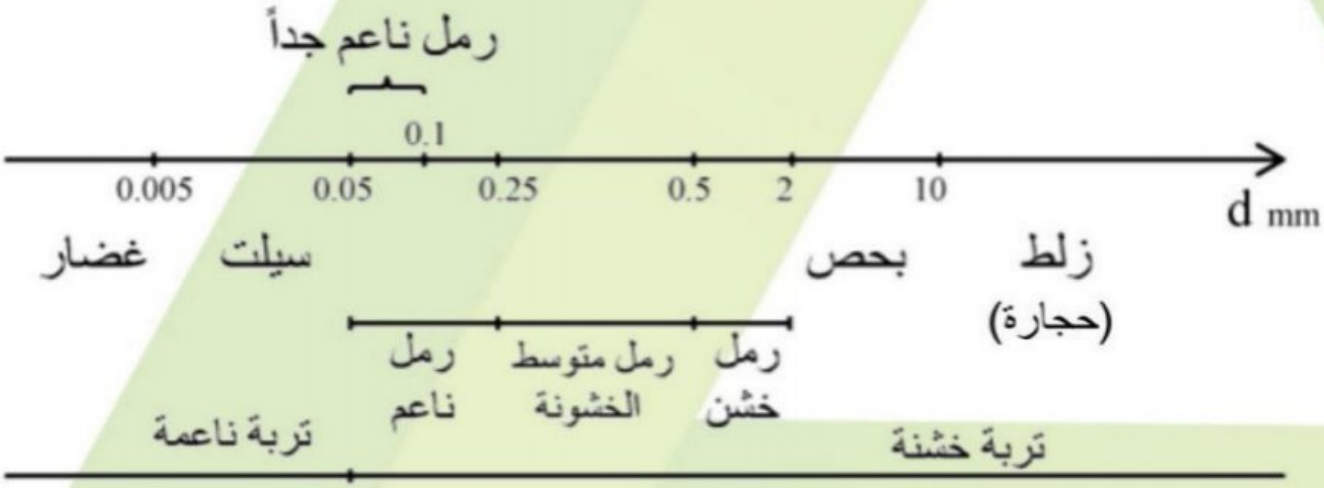
تستخدم هذه الدلائل للدلالة على حالة التربة أو نوعها أو قوامها، وتستخدم لتصنيف التربة والتنبؤ بسلوكها تحت تأثير الحمولات المطبقة عليها ويمكن أن نلخص أهم هذه الدلائل بما يأتي:

١. دليل الكثافة (ويسمى قرينة التراص أو الكثافة النسبية) وهو يعبر عن قوام التربة الخشنة (من حيث التخلخل أو التراص).
٢. حدود القوام ودلائله (حدود أتربرغ والدلائل المرتبطة بها) وتستخدم للتعبير عن قوام التربة الناعمة (المتماسكة).
٣. التركيب الحبي للتربة الذي يقصد به الاحتواء الكمي في التربة للجزيئات الصلبة من مختلف الأبعاد (الحجوم)، وتسمى التجارب التي تحدد التركيب الحبي للتربة بتجارب التحليل الحبي.

التحليل الحبي للتربة:

تقسم حبيبات التربة الصلبة حسب أبعادها كما يأتي:

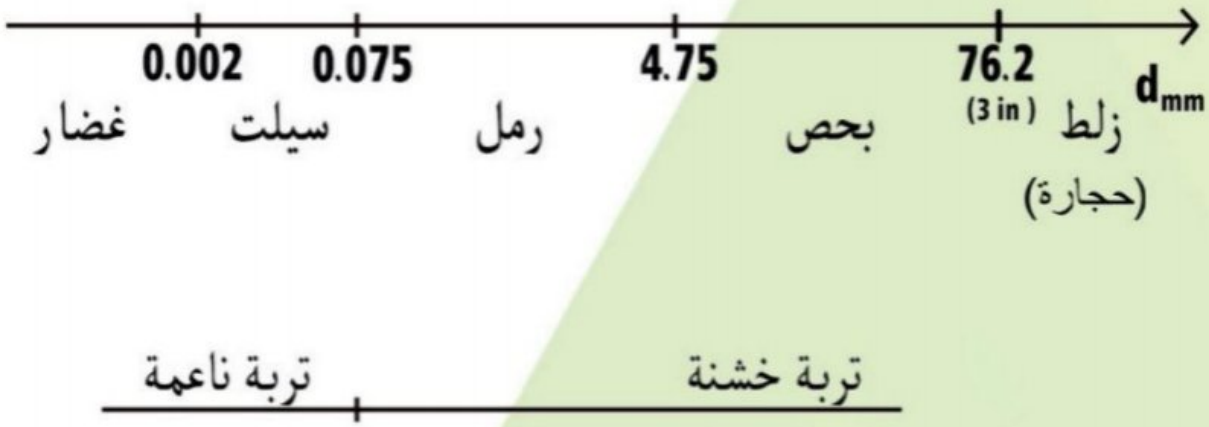
حسب نظام SNIP (النظام السوفييتي الخاص بالقواعد والأساسات):



الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

حسب نظام USC (نظام التصنيف الموحد الأمريكي للتربة):

أو ما يسمى USCS (Unified soil classification system)



تحدد أبعاد الحبات الخشنة في التربة باستخدام تجربة التحليل الحبي باستخدام المناخل (التحليل المنخلي sieve analysis) حيث يتم استخدام سلسلة مناخل نظامية (حسب النظام المعتمد) لفصل الحبات ذات الأقطار المختلفة بعضها عن بعض، من خلال هزّ (رجّ) المناخل يدوياً أو باستخدام الرّجاج الميكانيكي، ثم تسجيل الوزن المتبقي على كل منخل، ثم حساب الوزن المتبقي (المحجوز) التراكمي (التكاملي) على كل منخل، ثم حساب النسبة المئوية المتبقية التراكمية على كل منخل، ثم حساب النسبة المئوية المارة من كل منخل، ثم رسم منحني التحليل الحبي (particle size distribution curve) على ورقة نصف لوغاريتمية، محورها الأفقي اللوغاريتمي يمثل أقطار الحبيبات ومحورها الشاقولي العادي يمثل النسبة المئوية المارة.

أما تحديد أقطار الحبات الناعمة في التربة فيتم باستخدام تجربة التحليل الحبي بالترسيب في الماء (Sedimentation analysis)

وسنتطرق فيما يأتي لهاتين التجربتين.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

تجربة التحليل الحبي باستخدام المناخل

الغاية من التجربة:

تحديد أبعاد حبات التربة وذلك بمعرفة النسبة المئوية الوزنية لكل فئة من هذه الحبات (غضار - سيلت - رمل - بحص - حجارة) ورسم منحني التحليل الحبي للتربة.

تستخدم المناخل من أجل حبات التربة الأكبر من (75μ)، بينما تجرى تجربة الترسيب لتحديد أبعاد الحبات الأصغر من (75μ).

وتعطي هاتان التجربتان منحني التحليل الحبي الكلي للتربة، الذي يفيد في التصنيف الهندسي للتربة، وكذلك في معرفة إمكانية استعمال التربة في الطرق والسدود والمطارات وغيرها من المنشآت، ومعرفة تأثير وجود المياه وحركتها في التربة.

الأجهزة المستخدمة:

١. ميزان الكتروني حساس.
٢. جهاز رج أوتوماتيكي.
٣. سلسلة مناخل ذات أقطار محددة.
٤. فرن تجفيف كهربائي.

مبدأ ومراحل العمل:

تنفذ هذه التجربة على المواد الحصوية التي يزيد أبعاد حباتها عن 75μ في نظام ASTM. وتجرى بطريقتين:

١. الطريقة الرطبة: وهي الأكثر دقة وتعتمد على أخذ عينة من التربة ونقعها في الماء لمدة 24 ساعة ثم نخلها على منخل No.200 ($75\mu_m$) مع وجود تيار مائي حتى يصبح لون الماء صافياً ثم نجففها في فرن بدرجة $105°c$ حتى ثبات الوزن، وبعد ذلك إمرار العينة على سلسلة المناخل المعتمدة.
٢. الطريقة الجافة: يعتمد مبدأ هذه الطريقة على نخل كمية من المواد الحصوية (الحبات الخشنة) الجافة وغير المغسولة على سلسلة المناخل النظامية وتعيين الوزن المتبقي على كل منخل. تستخدم هذه الطريقة عندما تقل نسبة النواعم (الأصغر من $75\mu_m$) عن 15%.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

إجراء التجربة بالطريقة الرطبة:

١. نأخذ كمية من التربة ونسجل وزنها الجاف (الوزن الجاف الكلي W_{total}).
٢. نغسل العينة على المنخل No.200 ($75\mu_m$) ونأخذ التربة المتبقية على المنخل ونجففها ونسجل وزنها الجاف (وزن الحبات الخشنة W).
٣. نمرر العينة المغسولة على سلسلة المناخل المعتمدة المرتبة بشكل تصاعدي من الأسفل إلى الأعلى مع وضع القعر في الأسفل والغطاء في الأعلى، حيث يتم وضع العينة في المنخل العلوي ورج سلسلة المناخل بواسطة الرجاج الميكانيكي لمدة 10 min.
٤. يتم تعيين الوزن المتبقي على كل منخل وحساب الوزن المتبقي التراكمي (وزن الحبات المتبقية على المنخل المدروس والمناخل التي فوقه) ($\sum W_i$).
٥. يتم حساب النسبة المئوية التكاملية المتبقية على كل منخل:

$$H_i\% = \frac{\sum W_i}{W} \times 100$$

٦. يتم حساب النسبة المئوية المارة من كل منخل:

$$P_i\% = 100 - H_i\%$$

٧. رسم منحني التحليل الحبي على ورقة نصف لوغاريتمية (d_i , $p_i\%$).

ملاحظة:

- قد يلزم تصحيح الأوزان قبل رسم المنحني إذا لم يكن مجموع الأوزان الجزئية مساوياً للوزن الأولي للعينة (W).
- الخطأ المطلق (الفرق بين الوزن الأولي Wومجموع الأوزان):

$$|\Delta| = \left| \sum_1^n w_i - w \right|$$

- الخطأ النسبي:

$$\varepsilon = \frac{|\Delta|}{\sum_1^n w_i}$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

$\Delta > 0 \Leftarrow$ يجب طرح التصحيح من الوزن
$\Delta < 0 \Leftarrow$ يجب جمع التصحيح للوزن

الوزن التراكمي المصحح على كل منخل:

$$\sum w_i' = \sum w_i (1 \pm \varepsilon)$$

أشكال المنحني الحبي:

١. المنحني الحبي المستمر (جيد التدرج):

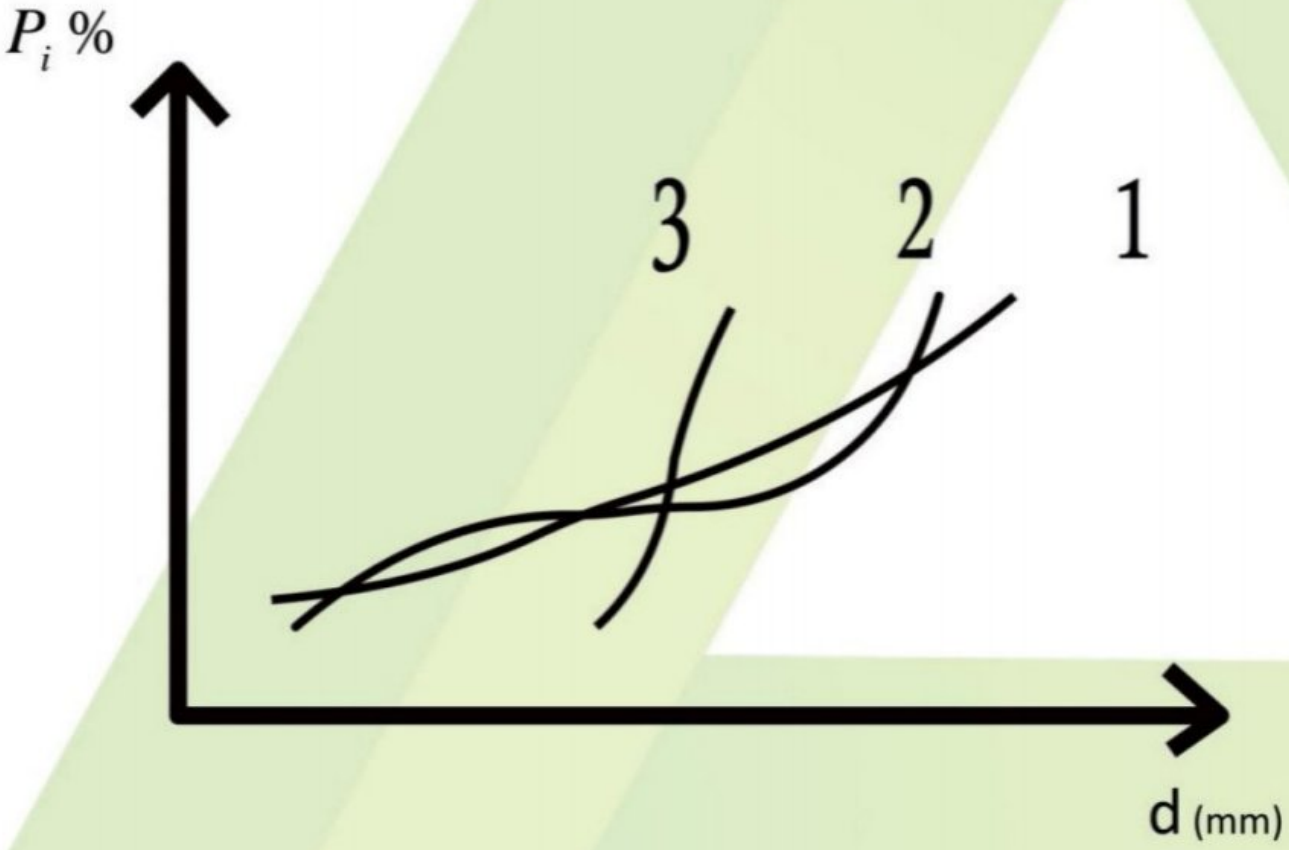
وهو يدل على وجود حبات من كافة الأقطار وبنسب متقاربة، أي توجد حبات ناعمة ومتوسطة وخشنة وهذا يعطي كثافة عالية ومقاومة جيدة.

٢. المنحني الحبي المنقطع (سيئ التدرج):

يدل على وجود حبات ناعمة وحبات خشنة أما المتوسطة فهي معدومة تقريباً.

٣. المنحني الحبي المنتظم (سيئ التدرج):

له ميل شديد قريب من الشاقولي، ويدل على وجود حبات من نوع واحد متقاربة بالأقطار (مجال تغير الأقطار صغير جداً).



الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

ملاحظة:

في حالة المنحني الحبي الجيد التدرج تكون قيمة عامل الانتظام C_U مرتفعة، ولكن إذا كانت قيمة عامل الانتظام مرتفعة فلا يشترط أن يكون المنحني جيد التدرج فقد يكون فيه انقطاع، ولذلك نلجأ إلى حساب عامل التقعر C_C بالإضافة إلى عامل الانتظام لتحديد نوعية المنحني الحبي، فإذا حقق هذان العاملان الشرطين المطلوبين تكون التربة جيدة التدرج، أما إذا لم يتحقق شرط عامل الانتظام فكان قريباً من الواحد فإن التربة سيئة التدرج، ومنحني التحليل الحبي منتظم، وأما إذا لم يتحقق شرط عامل التقعر برغم تحقق شرط عامل الانتظام فهذا يعني أن التربة سيئة التدرج ومنحني التحليل الحبي منقطع.

- تكون التربة الحصوية جيدة التدرج إذا تحقق الشرطان: $C_u > 4$ ، $3 > C_c > 1$

- تكون التربة الرملية جيدة التدرج إذا تحقق الشرطان: $C_u > 6$ ، $3 > C_c > 1$

-لا يوجد معنى ل C_u و C_c إذا زادت نسبة المواد الناعمة في التربة عن 10%

(إذا كانت نسبة المواد الناعمة أصغر من 10% نحسب C_u ، C_c)

-نحسب C_c ، كما يأتي:

عامل التقعر $C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} . d_{60}}$ ، عامل الانتظام $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

حيث: d_{10} القطر الموافق لنسبة مئوية مارة مقدارها 10% (القياس الفعال).

d_{30} القطر الموافق لنسبة مئوية مارة مقدارها 30%.

d_{60} القطر الموافق لنسبة مئوية مارة مقدارها 60%.

انتهت المحاضرة

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

تجربة التحليل الحبي بالترسيب

من أجل جزيئات التربة ذات الأبعاد الأصغر $75\mu_m$ (المارة من المنخل رقم 200 حسب ASTM) لا يعود التنخيل ممكناً نتيجة لظهور قوى التماسك السطحي الهامة جداً بين الحبات، لميل الحبات إلى التجمع.

وتستعمل طريقة التحليل الحبي بالترسيب عندئذ، وهذه التجربة تعتمد على أن سرعة هبوط حبات التربة ضمن سائل ما تتعلق بحجم هذه الحبات ولزوجة السائل، ويستعمل قانون ستوكس الذي يعطي سرعة سقوط الحبات من أجل حبات كروية تماماً، ونستنتج منه قطر الحبات تبعاً لمسافة سقوطها وزمن السقوط، والوزن النوعي للتربة، وفق العلاقة التالية:

$$d = \sqrt{\frac{30\eta}{g\left(G_s - G_w\right)}} \times \sqrt{\frac{L}{T}} = C \times \sqrt{\frac{L}{T}}$$

d (mm) قطر الحبة	$\eta = 0,01\ gr/(\mathrm{cm}\,sec)$ اللزوجة للماء في الدرجة $20^\circ c$
L (cm) مسافة السقوط	$g = 980\ \ cm/sec^2$ التسارع الثقالي.
T (min) زمن السقوط	$G_w = 1$ الوزن النوعي للماء
G_s الوزن النوعي للتربة	

$$C = \sqrt{\frac{30\ .0,01}{980(G_s - 1)}}$$

ويمكن أن يفرض $G_s = 2,65$ أو نستخدم قيمة G_S للتربة إذا كانت معروفة.

ولتحديد مسافة السقوط نعتمد على قراءات المكثاف حيث نقرأ من تدريجات المكثاف القراءة الفعلية R_a ثم نحسب القراءة المصححة

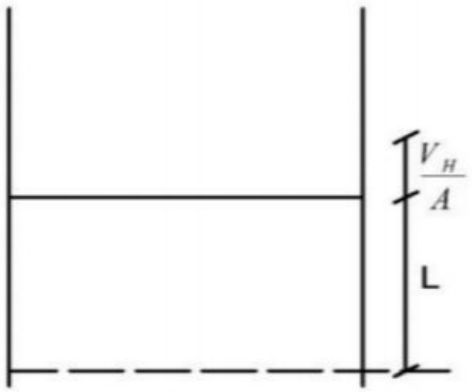
$$\grave{R_a} = (\mathrm{R_a} - 1).1000$$

$$R = \grave{R_a} + C_n + C_T + C_G$$

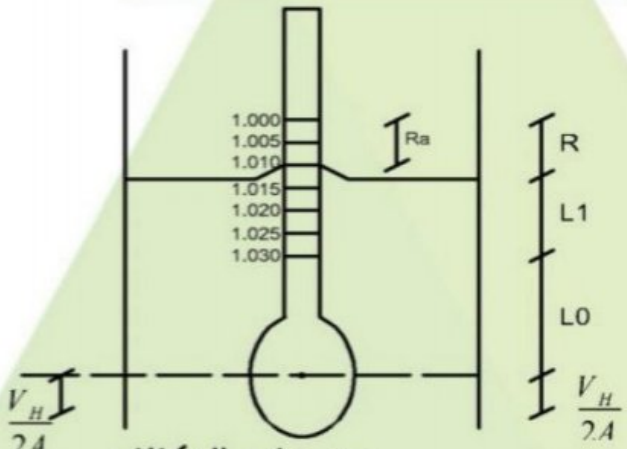
حيث C_n التصحيح الهلالي ، C_G التصحيح الحراري. C_G التصحيح الناتج عن إضافة المشتت.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

د. كنان زين العابدين



قبل وضع المكثاف



بعد وضع المكثاف

ملاحظة :

تختلف التدريجات من مكثاف لآخر، وفي مكثاف المخبر أكبر رقم هو 1.030

$$L+\frac{V}{A}=L_1+L_o+\frac{V}{2A}\Rightarrow L=L_1+L_o-\frac{V}{2A} \quad .....(1)$$

L: مسافة سقوط الحبات

L_1 : المسافة بين سطح الماء بعد وضع المكثاف فيه و آخر تدريجة من أسفل ساق المكثاف:

$$L_1=(30-R)\frac{12.5}{30} \quad .....(2)$$

حيث قيمة طول كل تدريجة هي: $\frac{12.5}{30}$ cm

30: عدد التدريجات الكلي ضمن طول 12.5cm

L_o : المسافة بين مركز ثقل المكثاف وآخر تدريجة من أسفل ساق المكثاف.

V_H : حجم المكثاف.

A : مساحة مقطع الأسطوانة المدرجة التي يوضع فيها المكثاف التي حجمها $1000cm^3$.

$\frac{V_H}{A}$: مقدار ارتفاع الماء عند إدخال المكثاف.

$\frac{V_H}{2A}$:مقدار ما يزيحه مركز ثقل المكثاف من الماء (ما يزيحه النصف السفلي من المكثاف)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

تجربة التحليل الحبي بالمناخل

التجربة بالطريقة الجافة

وزن الصحن فارغا = 106.7 gr

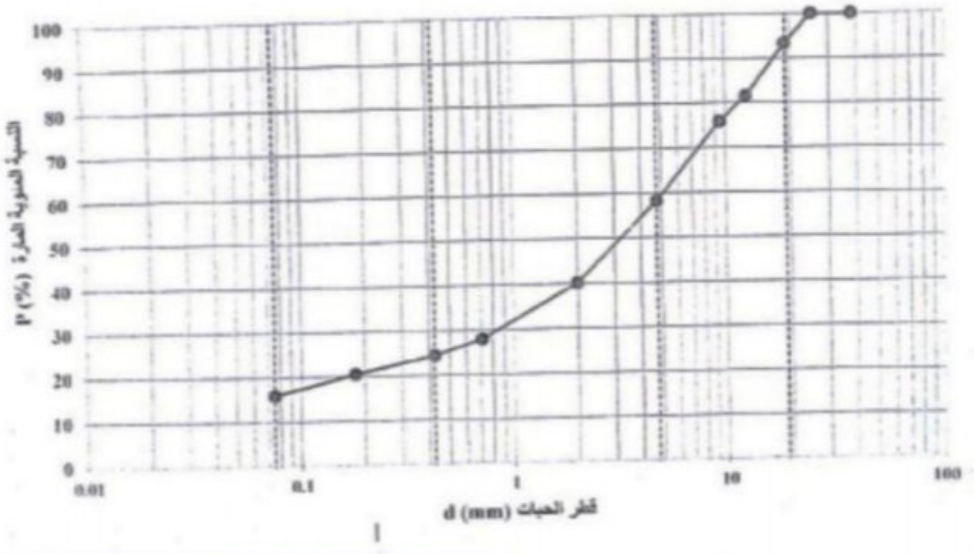
وزن الصحن مع العينة الكلية جافة = 980.3 gr

وزن العينة الكلية جافة = 873.6 gr

قطر الحبات (mm)	38	25	19	12.5	9.5	4.75	2.0	0.710	0.425	0.180	0.075
الوزن المتبقي التراكمي (gr)	0.0	0.0	58.5	161.5	210.2	364.2	522.7	629.1	659.5	693.6	734.2
النسبة المئوية المتبقية (%)	0.0	0.0	6.7	18.5	24.1	41.7	59.8	72.0	75.5	79.4	84.0
النسبة المئوية المارة (%)	100.0	100.0	93.3	81.5	75.9	58.3	40.2	28.0	24.5	20.6	16.0

16.0%	42.4%	41.7%
سلت وغضار	رمل	بحص
d < 0.075 mm	d = (0.075 ~ 4.75) mm	d > 4.75 mm

ASTM standard



الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

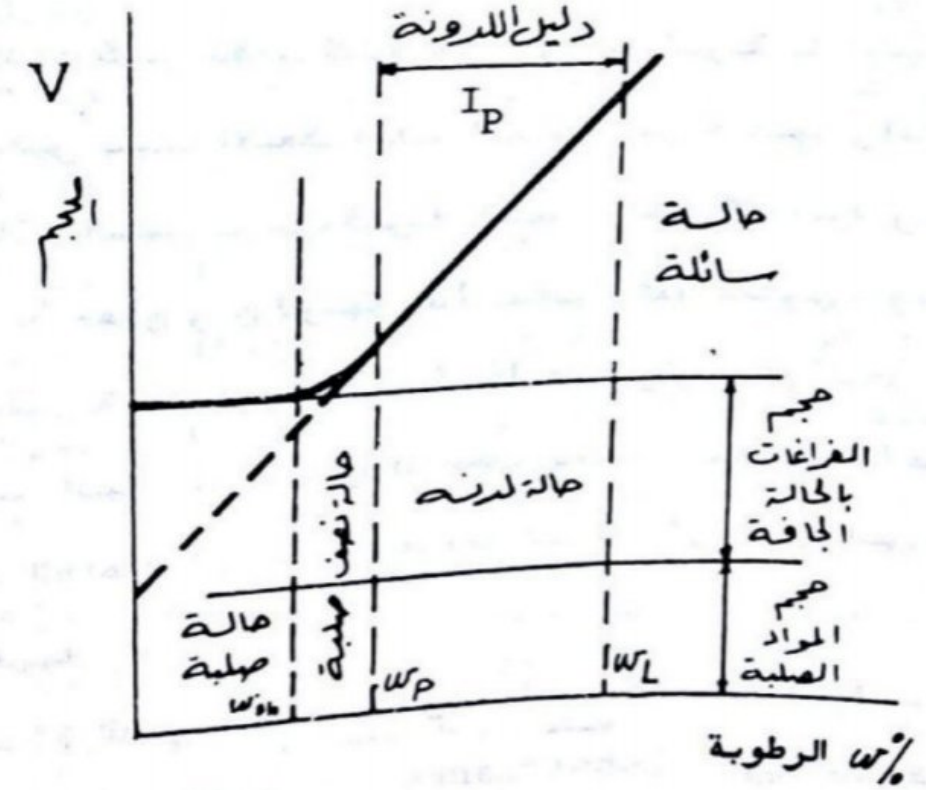
تأثير الماء على التربة وحدود القوام:

تكون التربة الغضارية صلبة أو لدنة أو سائلة حسبما تكون كمية الرطوبة فيها قليلة أو متوسطة أو كثيرة على التوالي فاذا كانت كمية الرطوبة في تربة غضارية عالية جدا فان التربة تتمكن من الجريان كسائل لزج وهذا مايحصل احيانا عند انهيار بعض المنحدرات حيث تجري التربة منهارة بسبب وصول وفرة من الماء اليها فاذا قلت كمية الرطوبة اصبحت التربة متماسكة القوام وتتوقف عن الجريان وتصبح كأنها مادة لدنة ، أي ان التغيرات فيها تكون دائمة بتأثير الاجهادات ولاتزول التغيرات بزوال الاجهادات ، ويعود السلوك اللدن الى وجود المعادن الغضارية والى المواد العضوية . اما اذا قلت الرطوبة بشكل اكبر تظهر تشققات في التربة نتيجة فقدان لدونتها ويتناقص حجمها ذلك لأن حبيبات التربة تخضع لاجهادات ناتجة عن التوتر السطحي.وتزداد هذه الاجهادات كلما نقصت كمية الماء وتأخذ التربة بالتصلب ويأخذ لونها بالتغير بسبب الانعكاسات الضوئية على حباتها وامتصاص الحبات للنور ، فاذا استمر تجفيف التربة اصبحت قاسية كالحجارة ونجد ان حجمها لاينقص عن حد معين وان لونها بدأ يتغير بشكل محسوس . وعلى العكس اذا كانت التربة الغضارية جافة أو قليلة الرطوبة ثم أضيف اليها الماء رأينا انها تنتفخ وتزداد حجما بسبب تغليف الماء لحبات التربة . وتؤدي هذه الظاهرة الى اضعاف مقاومة التربة على القص وانهيار المنشآت المستندة اليها .

ان الحالة الفيزيائية التي توجد عليها التربة الناعمة عند رطوبة معينة هو مايسمى بالقوام (Consistancy) ويعتمد القوام على التفاعل المتبادل بين حبات المعادن الغضارية . ذلك ان أي نقص في رطوبة التربة يولد نقصا في سماكة طبقة الكاتيونات وتزايدا في

قوى التجاذب الصافية بين الحبات والعكس صحيح • وبناء على كمية الرطوبة يمكن للتربة ان تكون في الحالة السائلة أو اللدنة أو نصف الصلبة أو الصلبة (القاسية) •

لقد اتفق علماء التربة على التمييز بين حدود قوام التربة بشكل اصطلاحي فأطلقوا على الحد الفاصل بين مرحلة السيولة ومرحلة اللدونة بحد السيولة (Liquid limit) ورمزه w_L • اما الحد الفاصل بين مرحلة اللدونة والمرحلة نصف الصلبة فقد دعي بحد اللدونة (Plastic limit) ورمزه w_p ، اما الحد الفاصل بين المرحلة نصف الصلبة ومرحلة القساوة عندما تصبح التربة كالحجارة فقد سمي بحد التقلص (Shrinkage limit) ورمزه w_{sh} انظر الشكل (٢ – ٤) •



شكل ٢ – ٤

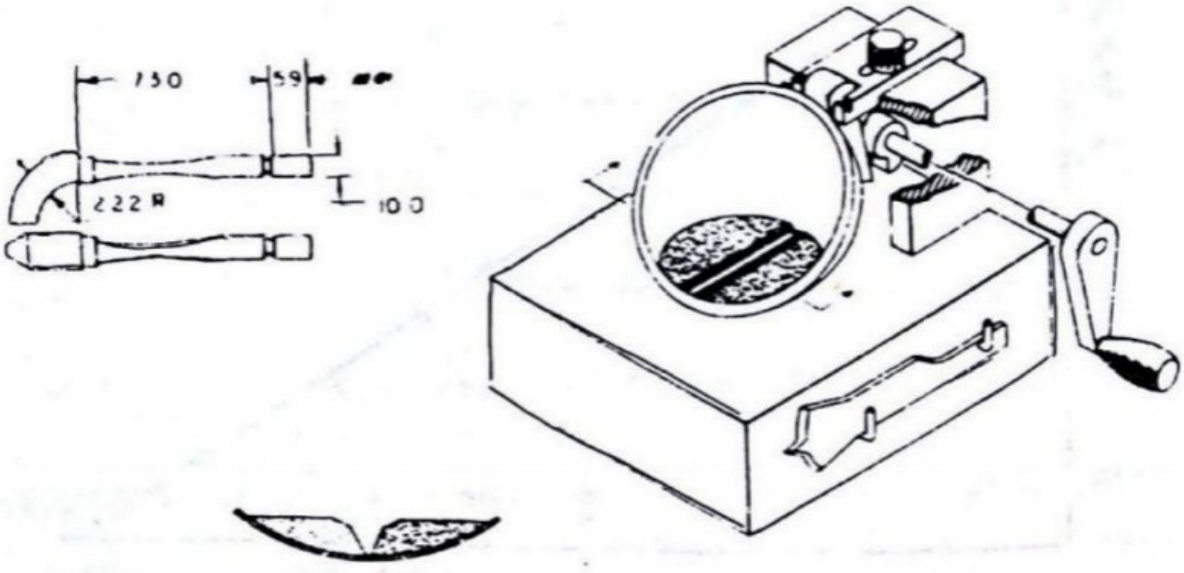
تأثير الماء وحدود القوام

٤ - حدود اتربرغ :

اقترح عالم التربة الفيزيائي اتربرغ في عام ١٩١١ طرقا مبسطة لتعيين حدي السيولة واللدونة . ثم طور كاساغراندي جهازا لتحديد حد السيولة ، وتجري هذه التجارب على المواد المارة من المنخل ذي الفتحة 425 µm بعد تجفيف المواد وطحنها بمطرقة بلاستيكية . وسنشرح فيما يلي هذه الحدود ثم الدلائل المشتقة منها وفائدة كل منها .

آ - حد السيولة : w_L (Liquid limit)

يعرف حد السيولة بانه كمية الرطوبة الاصغرية التي تجري عندها التربة تحت تأثير وزنها الذاتي ، ويعين بواسطة جهاز كاساغراندي الشكل (٢ - ٥) المؤلف من طاسة بشكل قطاع نصف كروي متمفصلة من طرفها وتستند على قاعدة من مطاط قاسي . وللجهاز ذراع يدار فترتفع الطاسة مقدار (1)سم لتسقط حرة على القاعدة . توضع عجينة التربة

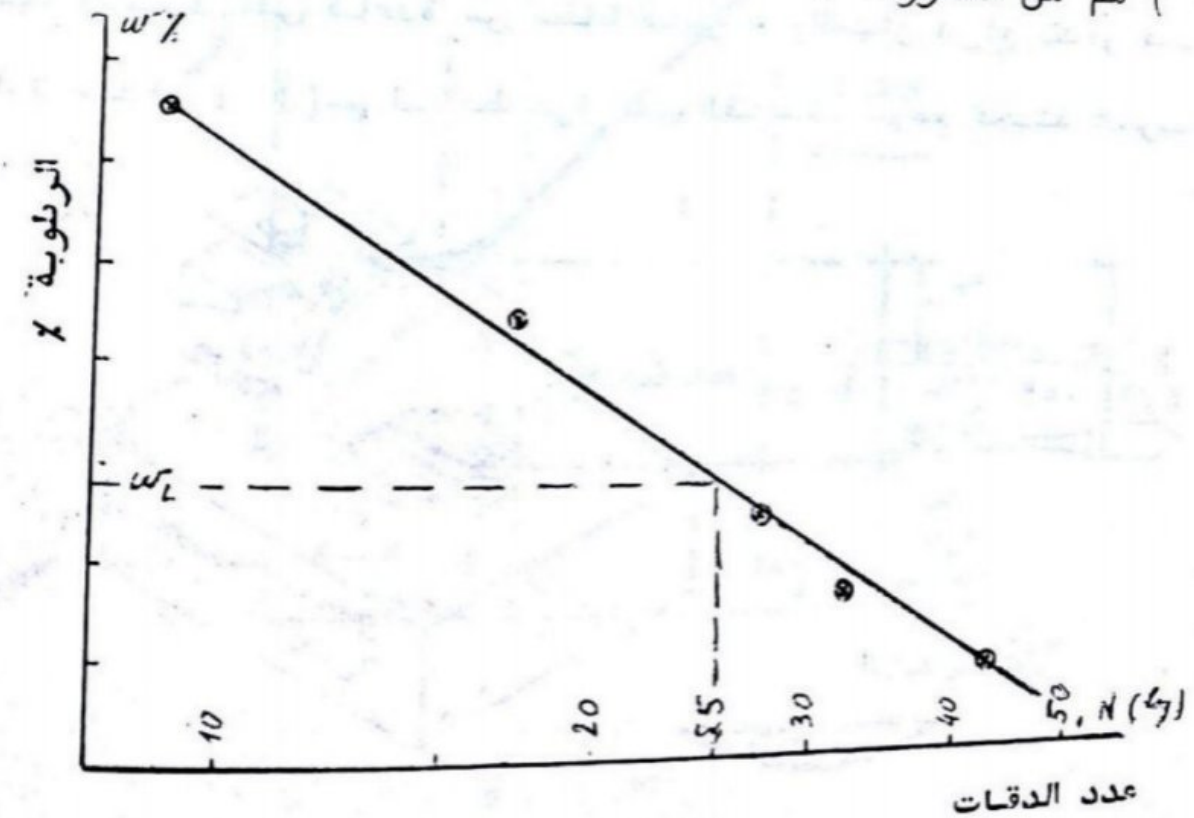


شكل ٢ - ٥

جهاز كاساغراندي

في الطاسة بحيث يكون سطحها افقيا وتشق قطريا بمحز خاص • ويقترب شطرا العينة تدريجيا مع استمرار سقوط الطاسة بمعدل مرتين في الثانية ويعرف حد السيولة بانه الرطوبة التي يلتحم عندها شطرا العينة مسافة (1) سم ويكون عدد الدقات (25) وللحصول على حد السيولة يتم اجراء التجربة على مالايقل عن اربعة عينات متزايدة الرطوبة وبحيث يكون عدد الدقات محصورا بين 10 و 50 دقة وتمثل النتائج على مخطط محوره الافقي يمثل عدد الدقات على مقياس لغارتمي ومحوره الشاقولي يمثل كمية الرطوبة على مقياس عادي كما في الشكل (٢ – ٦) •

كما ويمكن تعيين حد السيولة بتجربة اختراق مخروط قياسي زاويته (30°) وطوله (35) مم يتصل بذراع وزنهما 80 gr ويترك ليسقط مدة (5) ثواني على عينات من عجينة ترابية مسبقة التحضير برطوبة متزايدة • ويكون حدالسيولة هو كمية الرطوبة المقابلة لاختراق قدره (20) مم من المخروط •



شكل ٢ – ٦

مخطط السيولة

ب ـ حد اللدونة (plastic limit) w_p

وهو كمية الرطوبة في التربة عندما تنتقل بسلوكها من الحالة اللدنة الى الحالة شبه الصلبة وتحدد بمزج التربة بالماء (المقطر) حتى تصبح عجينة لدنة يمكن تشكيلها بشكل كرة . تؤخذ قطعة منها (2.5)غ ويصنع منها فتيل بدرج على صفيحة زجاجية برؤوس اصابع يد واحدة وبضغط منتظم حتى يصبح قطره بحدود (3) مم فاذا لم يتشقق الخيط أو ينكسر يعاد عجنه (فتقل رطوبته) ويعاد صنع الفتيل حتى يتشقق طوليا وعرضيا عندما يصبح قطره (3) مم . تعين رطوبة هذه الفتائل المتشققة بعد تجميع فتائل من اربعة محاولات على الاقل ، لتعطي قيمه حد اللدونة (لأقرب عدد صحيح).

هناك بعض انواع من التربة لايمكن درجها بشكل فتائل (كالرمال) أو التي يتجاوز فيها حد اللدونة قيمة حد السيولة . ان مثل هذه التربة توصف بانهاغير لدنة (Non - plastic) .

وتتعلق قيمة حدي السيولة واللدونة بنعومة حبات التربة . فكلما كانت الحبات ناعمة كلما كبر سطحها النوعي وزدات كمية الماء اللازمة لتغليفها وبالتالي زاد حد السيولة وحد اللدونة وازداد الفرق بين الحدين (دليل اللدونة) ، لذلك فان اضافة الرمل أو السيلت الى الغضار يؤدي الى انقاص حد السيولة وحد اللدونة ودليل اللدونة ايضا .

د ـ حد التقلص : (Shrinkage limit) w_{sh}

وهو كمية الرطوبة التي تتوقف عندها التربة عن نقصان حجمها اذا استمر تجفيفها فاذا اخذنا غضارا مشبعابالماء وفي مرحلة السيولة وبدأنا بتجفيفه فان حجمه يتناقص ان مقدار النقص يساوي في البداية

الى حجم الماء المتبخر . وخلال مرحلة معينة من الجفاف يبدأ الهواء بالدخول مابين الحبات ويقل مقدار النقص في الحجم بشكل محسوس عن مقدار حجم الماء المتبخر . ثم تصل التربة الى مرحلة متقدمة من الجفاف لايتغير حجمها !!بمقدار ضئيل مهما نقصت رطوبتها . ان رطوبة الاشباع التي تقابل امتلاء فراغات التربة بالماء وهي في الحجم الذي لم يعد يتغير بالجفاف هي رطوبة حد التقلص . ويمكن تعيين حد التقلص بتجربة مخبرية أو حسابيا انطلاقا من تساوي فرق وزن الماء البدائي في العينة ووزن الماء فيها عند حد التقلص مع فرق حجم العينة البدائي وحجمها الجاف مضروبان بـ γ_w .

أي :

$$w_{sh} = w_i - \frac{(V_i - V_d)}{W_d}\gamma_w$$

حيث i هي دليل وضع العينة في بداية التجربة

ويبين الجدول التالي قابلية التربة لحصول تغيرات حجمية فيها اعتمادا على قيمة حد التقلص :

w_{sh}	>12	10-12	<10
قابلية التغير الحجمي	قليلة	متوسطة	كبيرة

جدول ٢- ٤ التغير الحجمي بدلالة حد التقلص

٥ - دلائل التربة ومؤشرات اخرى :

دليل اللدونة (I_p) (Plasticity Index)

دليل اللدونة هو الفرق الحسابي بين حد السيولة وحد اللدونة ويعطى بالعلاقة :

$$I_p = w_L - w_p$$

ويعبر عنه بنسبة مئوية . ويحدد هذا الدليل مجال الرطوبة الزي تبقى فيه التربة لدنة السلوك ولكي تكون التربة لدنة يجب ان تسمح

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

القوى الصافية بين الحبات بحرية انزلاق هذه الحبات بالنسبة لبعضها مع بقاء تماسكها فاذا كان I_p صغير القيمة فان اي زيادة بسيطة في رطوبة التربة اللدنة تجعلها سائلة وأي نقص بسيط في الرطوبة تجعل التربة شبه صلبة . وفي هذه التحولات السريعة للقوام من اجل تغيرات مغيرة في الرطوبة خطر كبير . من جهة اخرى ان ازدياد قيمة I_p يعني ان التربة اكثر نعومة وبالتالي فهي اكثر عرضة للتغيرات الحجمية ، انضغاطا او انتفاخا ، بسبب نزوح الماء او امتصاصه . ويبين الجدول التالي وصفا للدونة التربة اعتمادا على قيم دليل اللدونة .

I_p	0-5%	5-15	15-40	> 40
درجة اللدونة	غيرلدنة	متوسطة اللدونة	لدنة	عالية اللدونة

جدول ٢ – ٥
وصف لدونة التربة

كما يبين الجدول التالي قابلية التربة لحدوث تغيرات حجمية فيها اعتمادا على قيم I_p :

I_p	0-15%	15-30	> 30
قابلية التغير الحجمي	قليلة	متوسطة	عالية

جدول ٢ – ٦
قابلية التربة للانتفاخ بدلالة اللدونة

ان معظم انواع التربة الناعمة توجد في الحالة الطبيعية ضمن مرحلة اللدونة باستثناء الطبقات السطحية المعرضة للجفاف او للمطر .

- دليل السيولة I_L (Liquidity Index) ودليل القوام I_c (Consistancy Index).

دليل السيولة هو الفرق بين الرطوبة الطبيعية وقيمة حد اللدونة

منسوبا الى دليل اللدونة ويعطى بالعلاقة :

$$I_L = \frac{w_n - w_p}{I_p}$$

اما دليل القوام فهو الفرق بين حد السيولة والرطوبة الطبيعية منسوبا الى دليل اللدونة ويعطى بالعلاقة :

$$I_c = \frac{w_L - w_n}{I_p}$$

وهويقابل بمفومه دليل السيولة والعلاقة بينهما هي :

$$I_L + I_c = 1$$

وكل منهما يعطي فكرة عن قوام الغضار في حالته الطبيعية . فاذا اقتربت رطوبة الغضار من حد السيولة اصبحت قيمة $I_L = 1$ و $I_c = 0$ ودل ذلك على حالة طرية سائلة للتربة ، واذا اقتربت الرطوبة الطبيعية من حد اللدونة اصبحت قيمة $I_L = 0$ و $I_c = 1$ وهذا يدل على حالة جيدة لمقاومة التربة .

على ان هذين الدليلين لايستعملان بكثرة لانهما لا يكفيان للتعبير عن خواص التربة وقوامها في الحالة الطبيعية وسبب ذلك ان تعيينهما يتم على التربة بعد تحطيم هيكلها اثناء التجريب ففي حالة الغضار الحساس جدا قد تقترب الرطوبة الطبيعية من حد السيولة (أي $I_L = 1$ أو $I_c = 0$) ولكن هذا الغضار قد يتحمل في حالته الطبيعية (أي دون تحطيم هيكله) حمولات بناء متعدد الطوابق بكل امان . وقد تزيد الرطوبة الطبيعية في بعض انواع الغضار (السريع) عن حد السيولة ويكون دليل سيولتها اكبر من الواحد . كما قد تكون قيمة I_L سالبة في الترب الجافة مما يدل على صلابتها ويبين الجدول التالي وصفا لقوام التربة اعتمادا على قيم دليل السيولة ودليل القوام وعلاقتهما

بالمقاومة على الضغط غير المحصور (الحر) .

دليل السيولة	0.0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.75	0.75-1.0
دليل القوام	0.75-1.0	0.5-0.75	0.25-0.50	0.0-0.25
الضغط غير المحصور (كن/م٢)	100	50-100	25-50	25
الوصف	شابت	متوسط	طري	طري جدا

الجدول (٢ – ٧)

– درجة التقلص S_r (Degree of shrinkage): وهي النسبة مابين فرق الحجم البدائي للعينة الرطبة وحجمها الجاف وبين الحجم البدائي ، أي :

$$S_r = \frac{V_i - V_d}{V_d - V_i}$$

ويمكن تصنيف التربة من حيث صلاحيتها للاستعمال في الردميات اعتمادا على درجة تقلصها كما يلي :

الجدول (٢ – ٨)

صلاحية التربة للردميات	درجة التقلص (٪) S_r
جيدة	اصغر من5
متوسطة	5 -10
سيئة	10-15
سيئة جدا	15

يرافق تقلص الترب الناعمة المتماسكة حدوث شقوق على سطح التربة قبل الوصول الى الجفاف التام ويمكن لهذه الشقوق ان تمتد لاعماق كبيرة . فاذا امتلأت هذه الشقوق بالماء تنتفخ التربة وتضعف مقاومتها.

– درجة الحساسية (Sensitivity): وتعبر عن مدى تغير قوام التربة

عند تخريب هيكلها مع بقاء رطوبتها ثابتة ، وتساوي الى نسبة مقاومة الضغط غير المحصور لعينات سليمة من التربة الى مقاومة الضغط غير المحصور لعينات مخربة من نفس التربة ، أي :

$$S = \frac{q_u}{q'_u}$$

ونصنف الحساسية وفق الجدول التالي :

S	<2	2-4	4-8	8-16	> 16
درجة الحساسية	غير حساسة	متوسطة	حساسة	حساسة جدا	سريعة

الجدول (٢ – ٩)

– درجة النشاط (Activity) ويعبر عنها بالعلاقة :

$$A = \frac{I_p}{P\% \ <2\mu m}$$

اي نسبة دليل اللدونة الى النسبة المئوية للحبات الاصغرمن $2\mu m$

ويوصف نشاط التربة كما يلي :

A	<0.75	0.75-1.25	>1.25
درجة النشاط	غير نشطة	عادية النشاط	نشطة

الجدول (٢ – ١٠)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

تصنيف التربة وتسميتها:

نعتمد في تصنيف التربة وتسميتها على نتائج التحليل الحبي للتربة وعلى حدود أتربرغ، ويختلف تصنيف التربة وتسميتها باختلاف النظام المستخدم في التصنيف، ولا بد من ذكر النظام المعتمد عند ذكر تسمية التربة.

سندرس مثالين عن هذه النظم أحدهما شرقي والآخر غربي، وهما : نظم البناء وقواعده السوفييتية SNiP ، ونظام تصنيف التربة الموحد الأمريكي USC.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

آ ــ تصنيف التربة وتسميتها ، وفقا لنظم القواعد والاساسات السوفياتية الجدولان (١ ــ ١٤ ، ١ ــ ١٥) .

جدول رقم (١ ــ ١٤)

تصنيف التربة الخشنة وفقاً لمواصفات (SNiP ــ B . 1 ــ 62)

تسمية التربة	توزيع الجزيئات حسب خشونتها بالنسبة المئوية من وزن التربة الجافة ٪
التربة الخشنة :	
ــ تربة زلطية	وزن الجزيئات التي هي أخشن من 10 mm يشكل أكثر من 50 %
ــ تربة بحصية	وزن الجزيئات التي هي أخشن من 2mm يشكل أكثر من 50 %
التربة الرملية :	
ــ تربة رملية بحصية	وزن الجزيئات التي هي أخشن من 2 mm أكثر من 25 % ولكنه أقل من 50 %
ــ تربة رملية خشنة	وزن الجزيئات التي هي أخشن من 0,5 mm يشكل أكثر من 50 %
ــ تربة رملية متوسطة الخشونة	وزن الجزيئات التي هي أخشن من 0,25 mm يشكل أكثر من 50 %
ــ تربة رمليه ناعمة	وزن الجزيئات التي هي أخشن من 0,1mm يشكل أكثر من 75 %
ــ تربة رملية سيلتية	وزن الجزيئات التي هي أخشن من 0,1 mm يشكل أقل من 75 %

جدول رقم (١ – ١٥)

تصنيف التربة الناعمة (الغضارية) وفقاً لمواصفات*

(SNiP II – D . 5 – 62)

تسمية زمرة التربة	نسبة الحبيبات الرملية فيها	قرينة اللدونة	تسمية التربة
رملية – غضارية (غضارية خشنة) (Soupes)	أكثر من 50 %	1 – 7	رملية غضارية خفيفة
	20% – 50%	1 – 7	رمليه غضارية سيلتية
	أقل من 20 %	1 – 7	رملية غضارية سيلتية ثقيلة
غضارية رمليه (غضارية متوسطة الخشونة) (Souglinok)	أكثر من 40 %	7 – 12	غضارية – رمليه خفيفة
	أقل من 40 %	7 – 12	غضارية – رملية خفيفة سيلتية
	أكثر من 40 %	12 – 17	غضارية – رملية ثقيلة
	أقل من 40 %	12 – 17	غضارية – رمليه ثقيلة سيلتية
غضار (Glina)	أكثر من 40 %	17 – 27	غضار رملي
	–	17 – 27	غضار سيلتي
	–	أكثر من 27	غضار دهني (Fat clays)

* – إذا احتوت التربة على نسبة من الحبيبات التي قطرها أكبر من ٢ مم ، تتراوح بين 20 - 50 % فتضاف الى تسمية التربة المأخوذة من الجدول السابق كلمة مبحصة .

– المقصود بالحبيبات الرملية ، تلك التي قطرها بين 0,05 mm و 2,0 mm .

– وردت تسميات الزمر باللغة الروسية أيضاً حفاظاً على الدقة .

هناك تصنيف آخر للتربة الغضارية يتبع النظم السوفياتية ويعتمد على قيم قرينة اللدونة ، ونورده في الجدول رقم (١ ـ ١٥′) .

جدول رقم (١ ـ ١٥′)

تصنيف التربة الغضارية وفقاً لمواصفات (SNiP II ـ B. 1 ـ 62)

تسمية التربة	قرينة اللدونة
رملية ـ غضارية (غضارية خشنة) (Soupes)	أقل من 7 أو تساوي 7
غضارية ـ رملية (غضارية متوسة الخشونة) (Souglinok)	بين 7 و 17
غضار (Glina)	أكثر من 17

يستخدم الجدول رقم (١ ـ ١٥) أو (١ ـ ١٥′) بعد التأكد من عدم صلاحية الجدول رقم (١ ـ ١٤) أي أن شروط الأتربة الخشنة لا تتحقق .

ب ـ تصنيف التربة وتسميتها وفقاً للنظم الأميريكية (USC) التصنيف الموحد للتربة) :

يعتمد التصنيف بطريقة USC على نتائج التركيب الحبي للتربة وعلى قيم قرينة اللدونة وحد السيولة ، فتصنف التربة الناعمة (التربة التي اكثر من نصف حبيباتها ذات قطر يقل عن 0,074 mm) باستخدام مخطط كازاغراندي (مخطط اللدونة Plasticity chart) شكل رقم (١ ـ ٢٦) في الجدول (١ ـ ١٦) .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

شكل (١ ـ ٢٦) مخطط اللدونة .

الاقسام الرئيسية	رموز التركيز	التسمية النموذجية	عناصر التصنيف المختبري
التربة ذات الحبيبات الناعمة (أكثر من نصف الحبيبات يمر من المنخل رقم ٢٠٠)			
سيلت وغضار (حد السيولة أقل من ٥٠)	ML	سيلت غير عضوي ، رمل ناعم جدا مسحوق الصخر ، رمل ناعم سيلتي أو غضاري ، أو سيلت غضاري ذو لدونة ضئيلة	
	CL	غضار غير عضوي ذو لدونة من منخفضة الى متوسطة ، غضار مسحي ، غضار رملي ، غضار سيلتي ، غضار نقي	
	OL	سيلت عضوي وغضار سيلتي عضوي ذو لدونة منخفضة	
سيلت وغضار (حد السيولة أعلى من ٥٠)	MH	سيلت غير عضوي ، رمل ناعم (أو سيلت) من السيكا أو دياتومي ، سيلت مرن .	
	CH	غضار غير عضوي ذو لدونة عالية غضار دهني	
	OH	غضار عضوي ذو لدونة بين الوسط والعالية ، سيلت عضوي	
تربة ذو عضوية عالية	PT	بيت (خث) ، ودمن (نباتات متعفنة) وأتربة أخرى ذات عضوية عالية .	

تتمة الجدول رقم (١ ـ ١٦)

جدول رقم (١ - ١٦)

جدول تصنيف التربة وفقا للمواصفات الامريكية (التصنيف الموحد للتربة) U . S . C .

الاقسام الرئيسية	رموز الرسم	التسمية إلنموذجية	عناصر التصنيف المختبري	
			بالاعتماد على نسبة الحبيبات الناعمة (المجموعات الحسبة المارة من المنخل رقم ٢٠٠) تصنف التربة ذات التركيب الحبي الخشن كالآتي : أقل من ٥ ٪ GW GP SW SP اكثر من ١٢ ٪ GM GC SM SC من ٥ ٪ الى ١٢ ٪ الحالات على الحدود المشتركة تتطلب رموزا ثنائية	
الرمل - اكثر من نصف المجموعات الحسبة بمر من المنخل رقم ٤	رمل مع حبيبات ناعمة (مقدار الحبيبات الناعمة ملموس)	رمل عصاري ، خلائط رمل مع عصار	SC	حدود أترع من الخط A مع PI اكبر من ٧	الحدود الموجوده في منطقة تغير PI من ٤ الى ٧ هي حالات على الحدود تتطلب استخدام رموز ثنائية
		رمل سيلتي ، خلائط رمل وسيلت	SM	حدود أترع تحت الخط A او PI اقل من ٤	الحدود الموجوده في منطقة تغير PI من ٤ الى ٧ هي حالات على الحدود تتطلب استخدام رموز ثنائية
	رمل نظيف الحبيبات الناعمة قليلة او معدومة	رمل حبد التدرج الحبي ورمل محدن ، المواد الناعمة قليلة أو معدومة	SW	حدود أترع من الخط A و PI اقل من ٤ وترتبة أكثر من ٧ $I < \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$	لاتطبق مع متطلبات التدرج للرمزة SW
		رمل فقير التدرج الحبي ، رمل محدن ، المواد الناعمة قليلة أو معدومة	SP	حدود أترع تحت الخط A و PI اقل من ٤	حدود أترع من الخط A و PI اقل من ٤ وترتبة أكثر من ٧	لاتطبق مع متطلبات التدرج للرمزة SW
النحص اكثر من نصف المجموعات الحسبة الخشنة محجوز على المنخل رقم ٤	نحص مع مواد ناعمة	محدن سيلتي ، خلائط محدن ورمل وسيلت	GM	حدود أترع تحت الخط A و PI اقل من ٤	حدود أترع من الخط A و PI اكثر من ٧	الحدود الموجوده في منطقة تغير PI من ٤ الى ٧ هي حالات على الحدود تتطلب استخدام رموز ثنائية
		محدن عصاري ، خلائط محدن ورمل وعصار	GC	حدود أترع من الخط A و PI اكثر من ٧	حدود أترع من الخط A و PI اكثر من ٧	الحدود الموجوده في منطقة تغير PI من ٤ الى ٧ هي حالات على الحدود تتطلب استخدام رموز ثنائية
	نحص نظيف	محدن حبد التدرج الحبي ، خلائط محدن ورمل ، وفي الحالتين المواد الناعمة قليلة أو معدومة	GW	حدود أترع من الخط A و PI اقل من ٤ وترتبة أقل من ٤ $I < \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$ $C_u = D_{60} / D_{10} > 4$	يتطلب متطلبات التدرج للرمزة GW	
		محدن فقير التدرج الحبي ، خلائط محدن ورمل ، وفي الحالتين المواد الناعمة قليلة أو معدومة	GP	حدود أترع تحت الخط A و PI اقل من ٤ وترتبة أكثر من ٧	حدود أترع من الخط A و PI اقل من ٤	لاتطبق مع متطلبات التدرج للرمزة SW

يتألف مخطط اللدونة من مستقيم (A - Line) معادلته : $PI = 0,73 (L_L - 20)$ مرسوم بالاحداثيات : PI قرينة اللدونة ، و L_L حد السيولة . يتقاطع هذا المستقيم مع مستقيم آخر عمودي على محور الفواصل (L_L) ، ومار في النقطة التي فاصلتها تساوي $L_L = 50$. إن تقاطع مستقيم كازاكراندي مع المستقيم العمودي المذكور يقسم السطح المحدد بالاحداثيات الى عدة حقول . يمثل كل حقل زمرة معينة من التربة مبينة على الشكل كرمز : CL , CH , MH , OL , ML , OH . يستخرج الحقل التي تقع فيه النقطة التي احداثياتها تتألف من حد السيولة وقرينة اللدونة في التربة المراد تصنيفها وتسميتها ، فيمثل رمز هـــذا الحقل نوع التربة وتعطى تسميات التربة المشمولة بهذا الرمز في جدول التصنيف الموحد للتربة (جدول رقم ١ - ١٦) . أما التربة الخشنة (التربة التي أكثر من نصف حبيباتها لاير من المنخل رقم ٢٠٠) فتصنف الى ثمانية زمر وذلك بالاعتماد على التركيب الحبي (بشكل رئيسي) وقيم PI و L_L .

يرد الجدول (١ - ١٦) باللغتين الانكليزية والعربية ، وذلك حفاظاً على دقة التعبير . ولتجنب الالتباس الذي قد ينتج عن الترجمة .

نقترح استخدام الجدول باللغة العربية فقط للمساعدة على فهم الأصل باللغة الانكليزية ويستحسن اعطاء تسمية التربة دوماً بنفس لغة النظم التي أخـذت منها هذه التسمية .

يتألف كل رمز من الرموز المستخدمة في التصنيف الاميريكي الموحد من حرفين يمثلان تسمية التربة ووصفها ، وذلك كما يلي :

آ - الحرف الأول Primary letter :

بحص gravel	:	G
رمل sand	:	S
سيلت silt	:	M

تقاس قدرة التربة على الالتصاق بمقدار القوة اللازمة لفصلها عن المادة الملتصقة بها مقسومة على مساحة الالتصاق . وتزداد قدرة التربة الغضارية على الالتصاق مع ازدياد رطوبتها ولهذا الازدياد حد وهو حد الالتصاق الاعظمي الذي عنده يبلغ اجهاد الالتصاق أعظم قيمة له ، بعده تتناقص القدرة على الالتصاق وتنامى الى حد أدنى عند بلوغ حد معين من الرطوبة ، وهي تزداد أيضا مع ازدياد نسبة الجزيئات الغروية في التربة ، ويبلغ مقدار الالتصاق 1170 g/cm² للجزيئات التي قطرها 0,001 mm .

٦ – انكماش وانتفاخ التربة (Swelling and shrinking):

انتفاخ التربة – هو ازدياد حجمها عند تعرضها للماء .

انكماش التربة – هو نقصان حجمها عند جفافها .

يزداد حجم التربة عند انتفاخها نتيجة لازدياد سماكة الاغشية المائية حول الجزيئة الترابية ، أما عند الانكماش فينقص حجم التربة نتيجة لنقصان سماكة الاغشية المائية حول الجزيئة الترابية .

وهناك عدة طرق لتحديد مقدار انتفاخ التربة منها :

– طريقة حساب دفء الانتفاخ .

– طريقة حساب ضغط الانتفاخ .

– طريقة حساب كمية الماء اللازم للانتفاخ .

– طريقة حساب تغير حجم التربة بعد الانتفاخ .

اما الانكماش فيمكن تحديده برطوبة التربة التي تطابق انتقال التربة من الحالة النصف صلبة الى الحالة الصلبة (كما ورد في هذا الفصل) : هذا عدا عن طريقة حساب نسبة نقصان حجم التربة .

ويتعلق مقدار الانكماش والانتفاخ بدرجة نعومة التربة . ويلاحظ التغير

5.4- تحسين التربة بالرص IMPROVEMENT BY COMPACTION

أضحى تحسين التربة بالرص عملية شائعة في أعمال الطرق من خلال تحسين مواصفات الطابق الترابي،أو رص الردميات المخلخلة والترب الطبيعية الطرية من أجل إقلال كلفة أعمال الأساسات للأبنية والمنشآت المنفذة فوق تلك الترب والغرض من الرص هو اختزال نسبة الفراغات في هيكل التربة بغية تكثيفها أي زيادة عدد الحبات في وحدة الحجم من التربة وزيادة مقاومتها على القص وعلى الضغط . وتنحصر آلية التكثيف من خلال تحطيم الأطراف المدببة وزيادة سطوح التماس بين الحبات وجعلها أكثر اندماجاً . وتعطى نتائج الرص بالعلاقة بين محتوى الرطوبة ووزن وحدة الحجم

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

تشغلها حبات التربة ويدعى محتوى الرطوبة الذي يحقق وزن وحدة الحجم الجاف الأقصى (الأعظمي) *maximum dry unit weight* محتوى الرطوبة الأمثل *optimum moisture content* والتجربة المخبرية المستخدمة لتعيين وزن وحدة الحجم الجاف الأقصى ومحتوى الرطوبة الأمثل تدعى تجربة بروكتور *Proctor test(1933)* وهذه التجربة على نوعين :

① تجربة بروكتور النظامية .

② تجربة بروكتور المعدلة .

5.5.2- تجارب الرص المخبرية *laboratory soil compaction tests*

إن التجارب المخبريةالمستخدمة لتعيين وزن وحدة الحجم الأقصى ومحتوى الرطوبة الأمثل هي :

- **تجربة بروكتور النظامية *Standard Proctor test***

يُعدّ العالم *(proctor 1933)* أول من أجرى تلك التجربة على ردميات السدود الترابية منوهاً لمفهوم الكثافة الجافة العظمى ، وتجرى التجربة حسب النظام الأمريكي *[ASTM test designation D 698 . ASTM1982]* وحسب نظام آشتو *[AASHTO test designation T-99 , AASHTO 1982]* – ويقابلها بالنظام البريطاني *[BS test 1377-1990]* تجربةالرص الخفيف *light compaction test* – في قالب أسطواني حجمه *($9.44\times10^{-6}\ m^3 \approx 1/30 fr^3$)* حيث تؤخذ عينة ممثلة للتربة المدروسة كتلتها *15 kg* وتجفف العينة وتنخل عبر المنخل ذي الفتحة *20 mm* ودجرتها إلى خمس أو ست عينات بوزن *2.5kg* نخلط كل عينة بكمية مختلفة من الماء وذلك ضمن مجال تغير الرطوبة المدروس ويتراوح الاختلاف في محتوى الرطوبة بين*1.5%* و*2 %* للمواد الخشنة وبين *2 %* و *4 %* للمواد الناعمة . توضع كل عينة في قالب بروكتور المكون من قطعتين أسطوانيتين (شكل *5.8 a*) وذلك على ثلاث طبقات بسماكات متساوية تعادل *102 mm* لكل طبقة وتتلقى كل طبقة *25* ضربة بوساطة مطرقة كتلتها *5.5 1b (2.49 kg)* وتسقط من ارتفاع *304.8 mm* ، وبعد كل ضربة يحرك القالب بالدوران مسافة دائرية مقدارها *1/5* محيط القالب . وبمعرفة حجم القالب ووزن التربة ومحتوى الرطوبة نعين وزن وحدة الحجم الجاف من العلاقة :

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

جدول (5.1)

معطيات التجربة	بروكتور النظامية	بروكتور المعدلة
حجم القالب	$m^3 0.944\times10^{-3}$	$m^3 0.944\times10^{-3}$
كتلة المطرقة	2.495 kg	4.536 kg
ارتفاع السقوط	304.8 mm	457.2 mm
عدد الدقات لكل طبقة	25	25
عدد الطبقات	3	5
قدرة الرص*	$593\ kj/m^3$	$2693\ kj/m^3$

* قدرة الرص تساوي [(وزن المطرقة × ارتفاع السقوط × عدد الطبقات × عدد الضربات لكل طبقة) / حجم القالب]

العظمى ستكون أكبر في التجربة المعدلة منها في التجربة النظامية (المنحني *B* في الشكل *5.8 b*) ويلاحظ أن القدرة المبذولة في تجربة بروكتور المعدلة تبلغ حوالي *(٤)* أضعاف القدرة المبذولة للتجربة النظامية ، والزيادة التي نحصل عليها لوزن وحدة الحجم الجاف في التجربة المعدلة غير متكافئة مع القدرة المبذولة لهذه التجربة مقارنة بوزن وحدة الحجم الجاف للتجربة النظامية وهذه الزيادة في وحدة الحجم الجاف لا تتعدى نسبة مئوية ضئيلة تتغير تبعاً لنوع التربة لكنها نادراً ما تتعدى *10 %* من بروكتور النظامية ونعطي في الجدول *(5.2)* دليلاً عاماً لقيم الكثافات الجافة القصوى

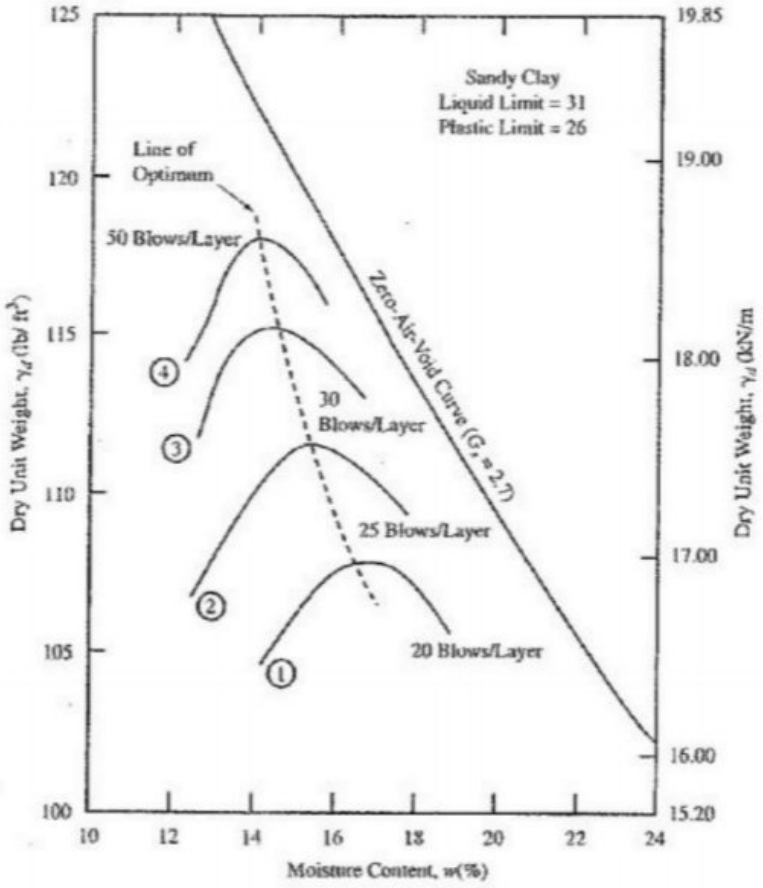
جدول (5.2)

نوع التربة	تجربة الرص			
	بروكتور النظامية		بروكتور المعدلة	
	W_{OPT} (%)	ρ_{dmax} (Mg/m^3)	W_{OPT} (%)	ρ_{dmax} (Mg/m^3)
حصى ورمل	8.0 - 12	2.2-1.8	6.0 - 8.0	2.1-1.9
رمل غضاري	9.0 - 12	2.2-1.8	7.0 - 11	2.1-1.9
رمل وسيلت رملي غضاري	12 - 16	1.9-1.7	11 - 13	2.1-1.8
سيلت أوسيلت غضاري	10 - 13	1.95-1.8	9.0 - 11	2.1-1.9
غضار سيلتي مع رمل	13 - 18	1.8-1.7	12 - 15	1.9-1.75
غضار سيلتي مع رمل وغضار	16 - 22	1.7-1.6	13 - 17	18-1.7

ومحتوى الرطوبة الأمثل لكلا التجربتين النظامية والمعدلة لعدد من الترب المستخدمة في أعمال الرص . كما يظهر الشكل *(5.9)* مخطط γ_d بدلالة *w %* لأربع منحنيات للرص لتربة غضار رملي ومن الجدول *(5.2)* والشكل *(5.9)* نلاحظ أن :

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

① إن قيمة وزن وحدة الحجم الأقصى ومحتوى الرطوبة الأمثل يتغيران من تربة لأخرى .



شكل (5.9)

② إن وزن وحدة الحجم الجاف الأقصى ومحتوى الرطوبة الأمثل يعتمدان على معدل طاقة الرص المبذولة.

③ كلما ازدادت طاقة الرص المبذولة ازداد وزن وحدة الحجم الأقصى أو الكثافة الجافة القصوى .

④ كلما ازدادت طاقة الرص المبذولة انخفض محتوى الرطوبة الأمثل.

⑤ ما من جزء لمنحني $\gamma_d = f(w\%)$ يقع على يمين خط الإشباع أو خط فراغات الهواء المعدومة *zero air void line* كما أن وزن وحدة الحجم الجاف γ_{zav} المقابل لنسبة فراغات الهواء المعدومة وعند محتوى رطوبة معين يعطي القيمة النظرية القصوى لوزن وحدة الحجم الجاف γ_d والتي تعني أن حجوم جميع الفراغات للتربة المرصوصة أضحت مملوءة بالماء ويعطى γ_{zav} بالعلاقة :

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{\frac{1}{G_s} + w\%} \qquad (5.3)$$

5.5.3- مواصفات الرص في الحقل *specification for field compaction*

باستخدام نتائج تجربة الرص المخبرية يمكن وضع مواصفات للرص الحقلي لتربة ما في الموقع ، وفي أغلب أعمال الرص الترابي يطلب من المنفذ الوصول لنسبة تتراوح بين 90% و95% من وزن وحدة الحجم الجاف الأقصى المعين في المخبر من تجربة بروكتور النظامية أو بروكتور المعدلة ويتحقق ذلك من خلال مايعرف بالرص النسبي *Relative compaction RC* والذي يعبر عنه بالعلاقة :

$$RC(\%) = \frac{\gamma d(\text{field})}{\gamma d(\text{max}-\text{lab})} \qquad (5.4)$$

ومن أجل الترب الحبيبية أو المفككة فقد يستخدم في كثير من الأحيان دليل آخر للرص وهذا الدليل يعتمد على شكل الحبات ومقاسها وتدرجها، وبما أن الترب المفككة يمكن أن تكون في حالة تخلخل أعظمي أو في حالة رص أعظمي ، فإن أي حالة بين الحالتين يمكن مقارنتها مع حالتي التخلخل أو الرص الأعظميتين وهذا الدليل هو الكثافة النسبية D_r . وتعطى الكثافة النسبية بالعلاقة :

$$D_r = [\frac{\gamma d(\text{max})}{\gamma d(\text{field})}][\frac{\gamma d(\text{field}) - \gamma d(\text{min})}{\gamma d(\text{max}) - \gamma d(\text{min})}] \qquad (5.5)$$

$\gamma_{d(field)}$ = وزن وحدة الحجم الجاف للتربة المرصوصة في الحقل .

$\gamma_{d(max)}$ = وزن وحدة الحجم الجاف الأقصى للرص والمعين مخبرياً .

$\gamma_{d(min)}$ = وزن وحدة الحجم الجاف الأدنى للرص والمعين مخبرياً .

وبمقارنة العلاقات (5.2) و (5.3) نستطيع أن نكتب :

$$RC = \frac{R_0}{1 - D_r(1 - R_0)} \qquad (5.6)$$

و

$$R_0 = \frac{\gamma d(\text{min})}{\gamma d(\text{max})} \qquad (5.7)$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

I ـ نفوذية التربة ـ رشح الماء في التربة

(Soil permeability and seepage)

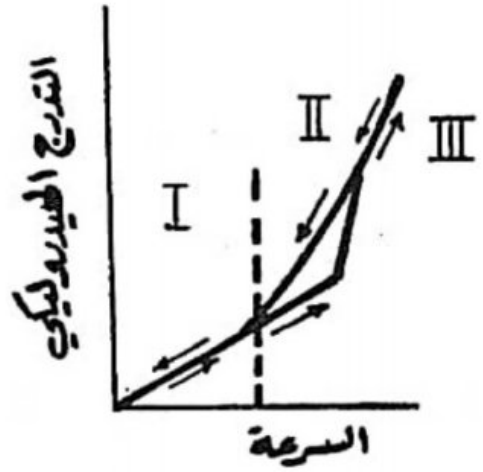
ان النفوذية خاصة من خواص جميع الاجسام المسامية ، وهي قابليتها لتمرير (لرشح) السوائل خلالها ـ خلال المسامات (الفراغات) المتداخلة فيها ـ • تتوقف نفوذية التربة ورشح الماء فيها على : نوع التربة ، حجم وشكل حبيباتها ، درجة تراصها ، وعلى شكل وأبعاد الفراغات فيها • ويؤثر على الرشح بالاضافة الى ما ذكر درجة حرارة الماء أو السائل الراشح •

من المعروف في الهايدروليك أن هناك نوعان لحركة الماء وهما :

صفحية (Laminar) وجائشة (Turbulent) • فعندما تكون حركة الماء من النوع الاول تتحرك جزيئات الماء موازية بعضها لبعض ، أما في النوع الثاني فتتداخل وتتقاطع مسارات حركة جزيئات الماء •

وقد حُددت القوانين الاساسية المعينة للنوعين من حركة الماء من قبل العالم رينولدس (Reinolds) وذلك بتجاربه المشهورة التي درس بواسطتها العلاقة بين سرعة جريان الماء في الانابيب وفقدان الضاغط بالاحتكاك بين جدار الانبوب والسائل • هذا وتعطى النتائج الاساسية لتجارب رينولدس على الشكل رقم(٢ـ١)، فيوضع على المحور الناظمي التدرج (الميل) الهايدروليكي (Hydraulic gradient). وعلى المحور الافقي سرعة الجريان •

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner



شكل (٢ – ١)

الجريان الصفحي والجريان الجائش

يتبين من المخطط الوارد على الشكل (٢ – ١) أنه في الحقل (I) عندما تكون السرعة قليلة يتناسب التدرج الهايدروليكي مع السرعة ، ويحدد هـــذا الشرط حركة الماء الصفحية .

عند إزدياد سرعة الجريان تتداخل حركة جزيئات الماء وتصبح العلاقة بين التدرج الهايدروليكي والسرعة علاقة مستقيم يتقاطع مع محور الفواصل ، بعد ذلك تتحول الى علاقة منحني في الحقل (III) .

تسمى السرعة في نهاية الحركة الصفحية بالسرعة الحرجة (V_c) ، وقـــد بين رينولدس أن (V_c) تتناسب عكساً مع قطر الأنبوب ، وأعطى العلاقة الآتية لحسابها :

$$\frac{V_c \cdot D \cdot \gamma_w}{\eta \cdot g} = 2000 \qquad (20)$$

D – قطر الأنبوب .

g – التسارع الأرضي .

η – لزوجة السائل .

وتعرف العلاقة السابقة بعدد رينولدس للسرعة الحرجة . عندما تكون السرعة أقل من (V_c) ، يمكن أن تمثل العلاقة بين (v) و (i) كما يلي :

$$V = C_1 . i$$

حيث أن : C_1 – ثابت التناسب . i – التدرج الهايدروليكي .

اما في الحقل III من المخطط فتصبح العلاقة كالآتي :

$$V^n = C_2 . i$$

C_2 – ثابت التناسب . وقد عين رينولدس القوة (n) ضمن حدود ١٫٧٩ – ٢٫٠٠ . ولحركة الماء الجائشة : $n = 2$.

يتبين من العلاقات السابقة أن السرعة الحرجة في الأنابيب الواسعة الانتشار قليلة لذلك تعتبر حركة الماء فيها جائشة ، أما في الانابيب الدقيقة ، فالسرعة الحرجة مرتفعة ، ولذلك فحركة الماء فيها صفحية .

دلت أبحاث مختلف العلماء : جوكوفسكي (Joukovsky) ، بوازييل (Poiseul) ، دارسي (Darcy) ، على أن حبيبات التربة التي قطرها أقل من ٢ مم تمنع الحركة الجائشة . لذلك وللأغراض العملية يعتبر جريان الماء في التربة التي قطر حبيباتها أقل من ٢ مم جرياناً صفحياً .

يحدث جريان مختلف أنواع الماء في التربة تحت تأثير عوامل مختلفة : الماء بشكل بخار – يتحرك تحت تأثير فرق ضغط البخار في نقاط مختلفة من التربة ؛ الماء الشعري – يتحرك تحت تأثير فرق قوى الامتصاص (Absorption) ، المياه الجوفية الحرة – تتحرك تحت تأثير فرق ضواغط الماء .

وقد وضع القانون الاساسي لحركة المياه الجوفية الحرة من قبل المهندس الفرنسي دارسي ويصاغ قانونه كما يلي :

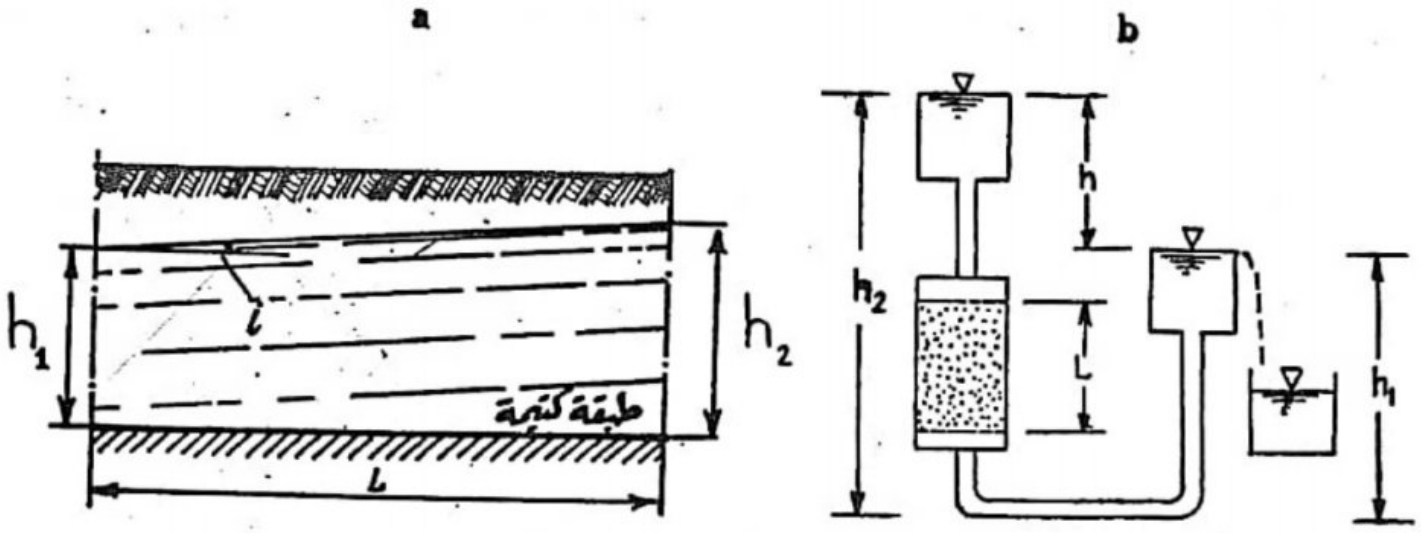
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

« كمية الماء التي ترشح خلال مقطع معين من التربة ، تتناسب طرداً مع : مساحة هذا المقطع وفرق الضواغط في الجزء الذي يحدث فيه الرشح والزمن ، وتتناسب عكساً مع طول مسار الرشح » .

لتوضيح واستخراج قانون دارسي ، نتصور طبقة تربة راشحة للمـــاء (Aquifer) ، تجري (ترشح) خلالها المياه الجوفية ، وهذه الطبقة محدودة من الاسفل بطبقة كتيمة (Impereable) (شكل ٢ - ٢ - a) .

لنحدد ضمن الطبقة الراشحة طولاً معيناً قدره (L) وذلك باتجاه جريان الماء . بما أن الماء يجري ، فيوجد فرق في منسوبه في طرفي المسار المأخوذ ويؤدي هذا الفرق الى ميل في سطح المياه الجوفية قدره (i) .

يماثل رشح الماء في الحقل رشحه ضمن عينة تربة اسطوانية الشكل في المخبر (شكل ٢ - ٢ - b) ، وكي يحدث الرشح خلال العينة لابد من توفر فرق في الضاغط (المنسوب) المائي في طرفيها ، او كما هو مبين على الشكل يجب أن يتوفر فرق ضاغط قدره ($h_2 - h_1$) .



شكل (٢ - ٢) المصور التوضيحي لرشح الماء في التربه .
a - الرشح في الشروط الطبيعية . b - الرشح في شروط المخبر .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

اذا فرضنا ان مساحة مقطع العينة او مساحة مقطع طبقة التربة الراشحة للماء (A) ، فكمية الماء المار خلال هذه المساحة في وحدة الزمن (t) تساوي (Q) . وفقاً للشكل (٢ - ٢) وباستخدامنا مدلول قانون دارسي نكتب :

$$Q = f\left(A , \frac{h_2 - h_1}{L} , t\right)$$

نبدل التناسب بمعامل التناسب ، فنحصل على العلاقة الآتية :

$$Q = K . A \frac{h_2 - h_1}{L} . t = K . A . \frac{h}{L} . t$$

اما (h) فهو فرق الضاغطين (h_1 , h_2) ويحدد هذا الفرق إنخفاض التدرج الهايدروليكي الذي يساوي $i = \frac{h}{L}$.

- وبعد التبديل نحصل على الصيغة الرياضية لقانون دارسي وهي :

$$Q = K . A . i . t \qquad (21)$$

K - يدعى معامل الرشح او النفوذية (Coefficient of permeability) .

اذا قسمنا مصروف الماء في وحدة الزمن على مساحة المقطع فنحصل على سرعة الرشح V_f :

$$V_f = K \cdot i \qquad (22)$$

ويمكن عندئذ صياغة قانون دراسي بالشكل الآتي :

« تتناسب سرعة الرشح طرداً مع التدرج الهايدروليكي »

تتوقف قيمة (K) على درجة نفوذية التربة ويقاس بـ $\frac{cm}{sec}$ ، $\frac{cm}{min}$ ، $\frac{M}{year}$ وهو يساوي سرعة الرشح عندما يكون التدرج الهايدروليكي مساوياً للواحد .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

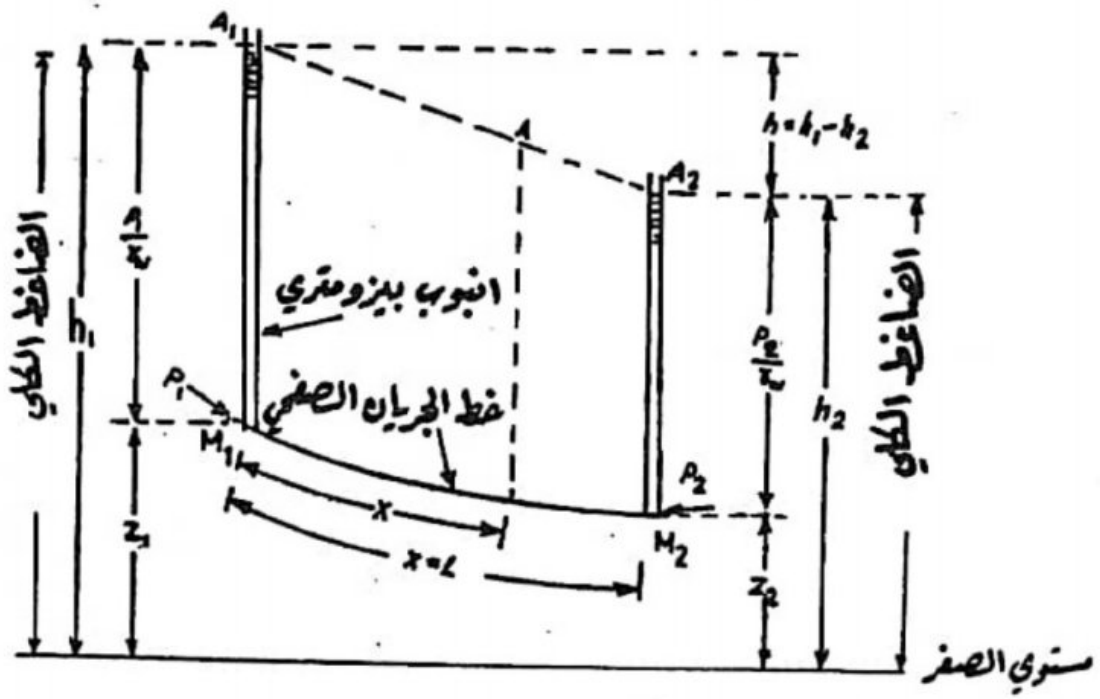
يعتبر التناسب في قانون دراسي صحيحاً في حالة الجريان الصفحي حتى تبلغ i قيمة i_{cr} ـ التدرج الهايدروليكي الحرج (Critical gradient) . حيث تصبح بعده العلاقة بين V_f و i غير خطية وتصبح حركة الماء جائشة كما ذكر سابقاً .

لكي تجري المياه في التربة بين نقطتين (1) و (2) تحتاج الى ضغط (P) يحركها ، وهو يساوي الفرق بين الضغطين $P = P_1 - P_2$ في النقطتين اللتين البعد بينهما (L) .

إذا قسمنا فرق الضغطين على طول مسار الجريان ($\frac{P}{L} = \frac{P_1 - P_2}{L} = i_p$) نحصل على الميل الهايدروليكي الضاغط . لنوضح مفهوم i_p بواسطة الشكل رقم (٢ ـ ٣) .

بالاعتماد على الشكل (٢ ـ ٣) وباستخدامنا لمبدأ برنولي (Bernoulli) ينتج لدينا :

$$h = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma_w} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma_w} \right) = h_1 - h_2$$



شكل (٢ ـ ٣)

المصور التوضيحي لمفاهيم الضاغط المائي وفرق الضاغط .

تعطى قيم كل من h_1 ، h_2 ، P_1 ، P_2 ، Z_1 ، Z_2 على الشكل المذكور .

γ_w ـ الوزن الحجمي للماء .

يسمى الضغط في كل من النقطتين (M_1) و (M_2) بالضغط الهايدروستاتيكي للماء . (P_1 ؛ P_2) أو بالاجهاد الحيادي (Neutral stress) ويرمز له بالرمز u_1 ، u_2 .

إذا علمنا أن مساحة المقطع (A) في علاقة دارسي تمثل المساحة الكلية (الفراغات + حبيبات التربة والأغشية المائية المحيطة بها) ، وأن مساحة مقطع الجريان الفعلي هي مساحة الفراغات ، فيمكننا أن نحسب المساحة الفعلية (Permeating area) (المساحة الحية) التي يجري الماء خلالها بالعلاقة الآتية :

$$A_p = \frac{e}{1+e} \cdot A$$

$n = \frac{e}{1+e}$ ـ حجم الفراغات في واحدة الحجم ، عندئذ السرعة الفعلية المتوسطة لنفوذية الماء هي :

$$V_{(ave)} = \frac{Q}{A_p} = \frac{Q}{A} \cdot \frac{1+e}{e} = V_f \cdot \frac{1+e}{e} \qquad (23)$$

هذا ويحدث جريان المياه الجوفية أيضاً تحت تأثير ميل الطبقة الحاملة لها ، فيصادف أن يميل قاع المياه الجوفية (السطح العلوي للطبقة الكتيمة) على الأفق ، ويدعى الجريان في هذه الحالة بالجريان المائل (Inclined flow) . ويصادف أن تكون طبقة المياه الجوفية محصورة بين طبقتين كتيمتين فتدعى المياه في هذه الحالة مياه أرتوازية (Artesian water) واذا حفر بئر حتى داخل طبقة المياه الارتوازية فيخرج الماء منه بشكل نافورة التي يساوي ارتفاعها الضاغط في الماء الارتوازي (يقاس الارتفاع بدءاً من مستوي المياه الجوفية) .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

تدرس حركة الماء في ميكانيك التربة (بشكل رئيسي) عندما تظهر تحت تأثير ضواغط تنشأ في التربة من تطبيق حمولة خارجية عليها ، فإذا عبرنا عن الضغط الخارجي المطبق (P) بضاغط مائي ستاتيكي ، لنتج لدينا : ضاغطاً مقداره يساوي : $h = \frac{P}{\gamma_w}$.

فاذا كان الضغط الخارجي $P = 1,5\ kg/cm^2$ لوجدنا انه يعادل ضاغطاً مؤثراً قدره $h = \frac{1,5}{0,001} = 15,0\ m.$ ،

حيث أن $\gamma_w = 0,001\ kg/cm^2$.

تختلف قيم معامل النفوذية (K) في التربة باختلاف نوعها وصفاتها ، ونعطي القيم التوجيهية لـ (K) في الجدول رقم (٢ – ١) الذي وضعه البروفسور تسيتوفيتش (Tsytovich) .

جدول رقم (٢ – ١)

مجال تغير (K) في مختلف انواع التربة

نوع التربة *	قيمة ** K cm/sec
رملية – غضارية (Soupes)	$r \cdot 10^{-3} - r \cdot 10^{-6}$
غضارية – رملية (Souglinok)	$r \cdot 10^{-5} - r \cdot 10^{-8}$
غضار (Glina)	$r \cdot 10^{-7} - r \cdot 10^{-10}$

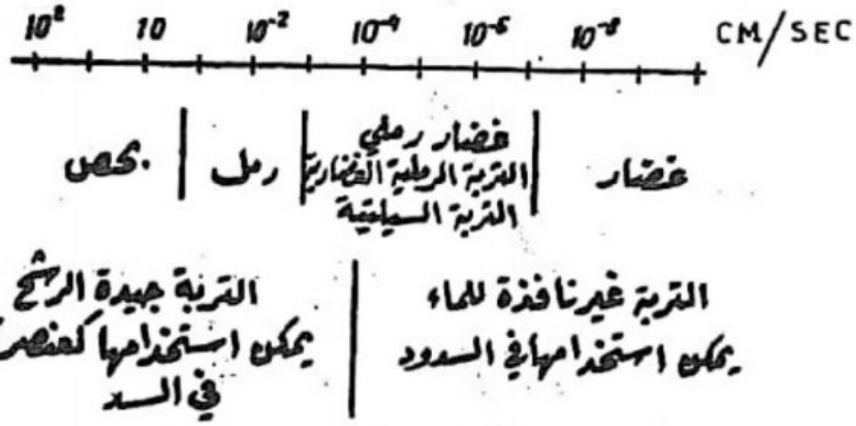
r – مقدار يتراوح بين ١ و ٩ .

* أعطيت تسميات التربة وفقاً لنظم SNiP .

** إستخرجت قيم (K) عند رشح الماء من التربة بسبب انضغاطها بضغط خارجي يتراوح بين ١ و ٢ كغ/سم٢ .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

كما وانه ترد على الشكل (٢ – ٤) حدود تغير (K) في مختلف انواع التربة التي قيم مدى صلاحيتها في أعمال السدود وذلك وفقاً لـ أ. كازاغراندي (A. Casagrande) .



شكل (٢ – ٤)

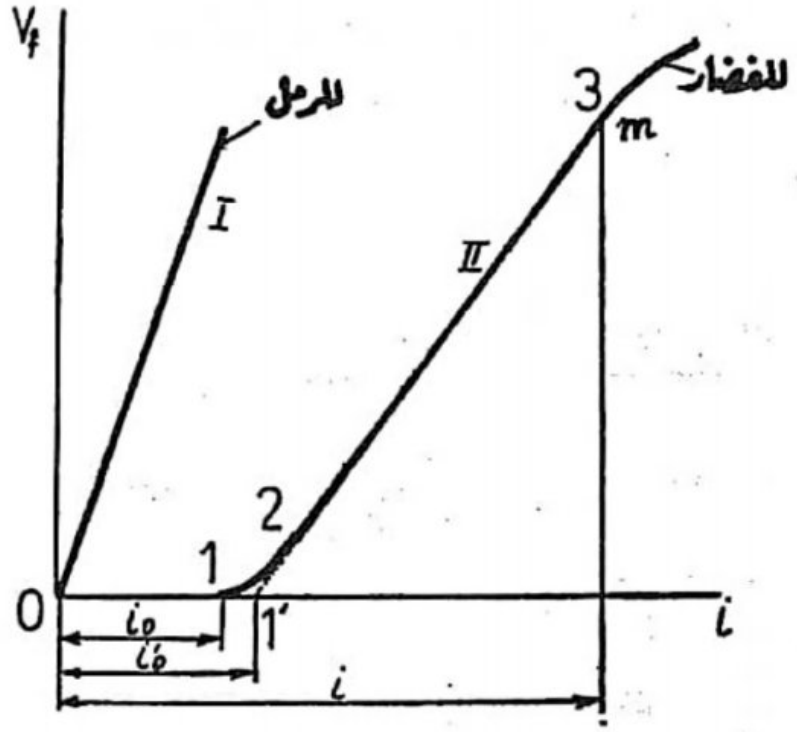
معامل النفوذية في مختلف انواع التربة

وفقاً لـ أ . كازاغراندي (A. Casagrande)

١ – مفهوم التدرج الهايدروليكي الابتدائي (Initial gradient) في التربة الغضارية :

يتأثر رشح الماء في التربة الغضارية وبشكل خاص اللدنة والقريبة من السائلة بعدة عوامل ، أهمها :

« صغر المسامات التي تقاس بالميكرون وبأجزائه ومقاومة الأغشية المائيـــة المحيطة بجزيئات التربة التي تزداد كلما نقصت سماكة هذه الأغشية وحدث تقارب بين الجزيئات في التربة » . وقد بينت التجارب على أنه تبدأ حركة رشح الماء في التربة الغضارية اللدنة فقط بعد أن تصل قيمة التدرج فيها الى مقدار معين يستطيع بواسطته التغلب على مقاومة الأغشية المائية لحركة المـــاء . يرى على الشكل (٢ – ٥) الخطوط البيانية التي تمثل العلاقة بين سرعة الرشح (V_f)



شكل (٢ – ٥)

العلاقة بين سرعة الرشح V_f والميل الهيدروليكي i

والتدرج الهايدروليكي (i) للتربة الرملية وللغضار . يتضح من الشكل انه بالامكان تمييز ثلاثة أجزاء من الخط البياني للغضار : الجزء الأول (1 - 0) تكون خلاله السرعة $V_f = 0$ ، أما الجزء الثاني (2 - 1) فهو انتقالي ومنحني الشكل والجزء الثالث (3 - 2) مستقيم العلاقة ضمنة بين السرعة والميل الهايدروليكي المؤثر خطية ولهذا الجزء من الخط البياني يمكن أن نكتب المعادلة الآتية :

$$V_f = K (i - i'_o) \qquad (24)$$

i'_o – الميل الهايدروليكي الابتدائي .

نلاحظ أن أهمية الجزء (2 - 1) طفيفة ، لذلك يمكن اهمالها ، وأخذ (i'_o) المعينة بنقطة تقاطع المستقيم (3 - 2) مع محور (i) بدلاً من (i_o) .

هذا وتصبح العلاقة بين (i) و (V_f) بعد النقطة (3) غير خطية .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

تدل التجارب التي قام بها البروفسور س . رزا (S. Raza) على الغضار المرصوص بعدة ضغوط خارجية ، على أنه عندما تكون رطوبة الغضار مساوية لـ % 32,5 يبلغ التدرج الهايدروليكي الابتدائي 15 وعندما تبلغ رطوبته % 31 يصبح $i_o = 20$ وعندما تنخفض الرطوبة حتى % 27 يصبح $i_o = 31$ ، وهكذا نلاحظ مع رص التربة ونقصان رطوبتها وبالتـــالي حجم المسامات فيها تزداد مقاومة الأغشية المائية فيها وترتفع قيمة التدرج الهايدروليكي الابتدائي .

٢ ـ رشح الماء في التربة الخشنة :

تنتقل حركة الماء من صفحية الى جائشة في التربة البحصية والزلطية وفي التربة المتشققة وكذلك يحصل هذا الانتقال عندما تكون سرعة جريان التيار كبيرة ، وعندئذ تستخدم علاقة سمركر (Smerker) لحساب q :

$$q = K . A . \sqrt[m]{i} \qquad (25)$$

فعندما تكون $m = 1$ .. تستخدم العلاقة لحالة الجريان الصفحي ، وعندمـــا تكون $m = 2$ توافق حركة الماء الجائشة :

$$q = K . A . \sqrt{i}$$

٣ ـ العوامل المؤثرة على مقدار معامل الرشح :

يتوقف مقدار معامل الرشح (K) على عدة عوامل وهي : التركيب الحبي للتربة ، شكل حبيبات التربة ، مسامية التربة وبنيتها ، درجة حرارة الماء والمواد المنحلة فيه وكذلك الغازات الموجودة في التربة .

آ ـ تأثير التركيب الحبي ـ كما ذكرنا سابقاً ، إن قيمة (K) أعلى بكثير

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

في التربة الرملية منها في الغضار . كما وأن نفوذية التربة الرملية ذات الحبيبات الدائرية الشكل أعلى منهـــا في التربة الرملية ذات الحبيبات الحادة والمسطحة الشكل ؛ وتنخفض قيمة (K) مع ازدياد نسبة المواد الناعمة في التربة .

ب ـ تأثير المسامية ـ دلت التجارب التي أجريت على مجموعتي عينات من نوعين من تربة رملية ـ غضارية (كل مجموعة منهما مؤلفة من عدة عينات ذات مساميات مختلفة) على أن ازدياد المسامية يتبعه ازدياد في قيمة معامل الرشح (K)

٤ ـ طرق تعيين معامل الرشح في التربة :

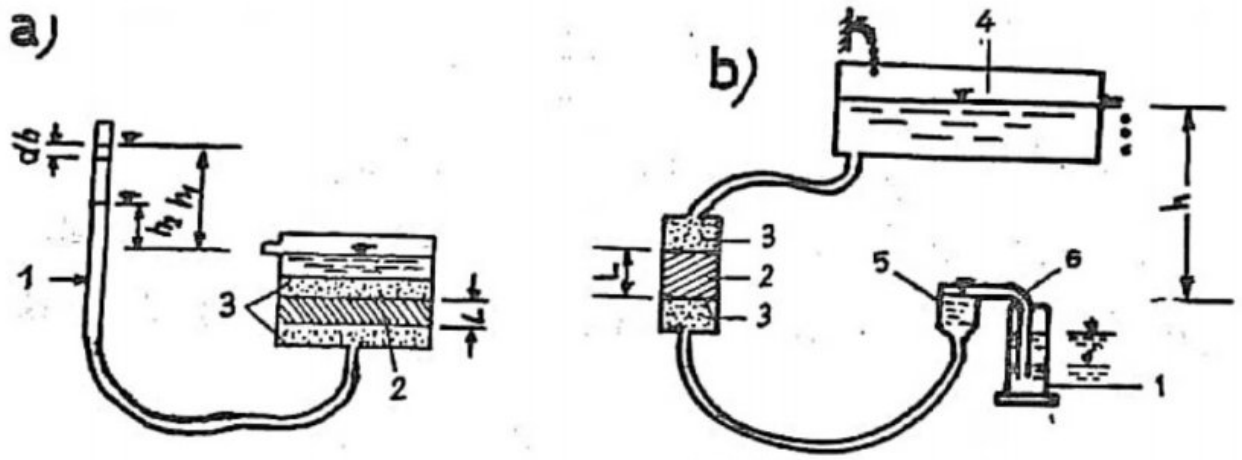
لمعامل الرشح (K) اهمية كبيرة عند تشييد كثير من المنشآت وتنفيذ مختلف الاعمال الهندسية ؛ وذلك عند بناء السدود الترابية وحساب غزارة الماء وتخفيض مستواه في حفرة الاساسات وعند حساب سرعة هبوط الاساسات (تطور الهبوط مع الزمن) .

لهذا فيجب تحديد قيمة (K) بدقة كبيرة ؛ وهناك عدة اتجاهات لتحديد قيمة (K) اهمها :

آ ـ التجارب المخبرية ؛ ب ـ التجارب الحقلية ؛ جـ ـ الطرق الحسابية .

آ ـ التجارب المخبرية : تعتمد الطرق المخبرية على قياس معامل الرشح لعينة التربة بواسطة جهاز الرشح ذي الضاغط الثابت او بواسطة جهاز الرشح ذي الضاغط المتغير . ويستخدم النوع الاول لقياس (K) في التربة الخشنة ، بينما يستخدم النوع الثاني لقياس (K) في التربة الناعمة ـ الغضارية والسيلتية . يرد المصور التوضيحي لمبدأي الجهازين على الشكل (٢ ـ ٧) .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner



شكل (٢ - ٧)

a) جهاز الرشح ذى الضاغط المتغير .

b) جهاز الرشح ذي الضاغط الثابت .

ففي جهاز الرشح ذي الضاغط المتغير توضع عينة التربة (2) التي مساحة مقطعها (A) بين قرصين مساميين (3) ؛ ويقاس مصروف الماء بواسطة انبوب زجاجي دقيق (1) مساحة مقطعه (a) صغيرة . ويحسب معامل الرشح كما يلي :

عند تناقص الضاغط بمقدار (dh) خلال فترة زمنية قدرها (dt) يساوي مصروف الماء (dQ) خلال الانبوب الزجاجي (١) ما يلي :

$$dQ = dh \cdot a$$

باستخدامنا معادلة قانون دراسي ينتج أن :

$$dQ = -dh \cdot a = K \frac{h}{L} \cdot A \cdot dt \ *$$

---

* نتجت إشارة ناقص لأن قيمة الضاغط تتناقص مع ازدياد كمية الماء الراشح .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

أو :

$$-\frac{dh}{h} = K \cdot \frac{A}{L.a} \cdot dt$$

ثم نحسب المصروف الكلي الماء خلال الفترة الزمنية : $t = t_2 - t_1$ والتي يتناقص الضاغط أثناؤها من (h_1) إلى (h_2) . بأخذ التكامل للمعادلة السابقة ضمن الحدود الموافقة ، ثم بحل هذا التكامل نحصل على مقدار (K) وكما يلي :

$$-\ln h \Big|_{h_1}^{h_2} = K \frac{A}{L.a} t \Big|_{t_1}^{t_2}$$

ومنه :

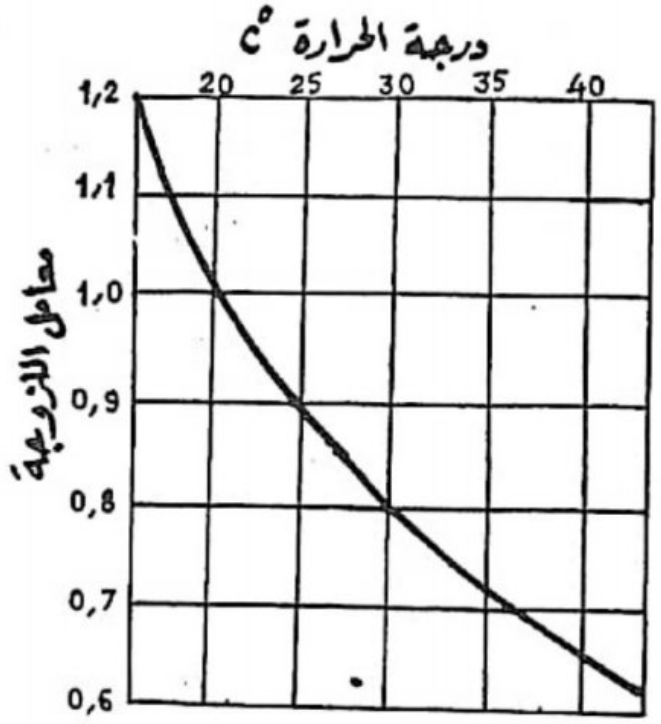
$$K = \frac{L \cdot a}{A(t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

أو :

$$K = 2{,}3 \frac{L.a}{A.t} \lg \frac{h_1}{h_2} \qquad (27)$$

أما في جهاز الرشح ذي الضاغط الثابت (شكل ٢ ـ ٧ ـ b) فيحافظ على مستوى ثابت للماء في الحوض (4) ، وتوضع عينة التربة (2) التي سماكتها (L) ، ومساحة مقطعها (A) بين قرصين مساميين (3) فيرشح الماء خلال التربة ويصب في الوعاء (5) الموصول بأنبوب (6) ، وقد وضع الوعاء بشكل يبقي الضاغط (h) ثابتاً خلال فترة التجربة . يقاس مصروف الماء (Q) خلال الفترة الزمنية (t) بواسطة الاسطوانة (1) المدرجه .

باستخدامنا لمعادلة دارسي نستخرج قيمة (K) . تعطى قيمة معامل الرشح (K) عادة لدرجة حرارة الماء المساوية (لـ ٢٠°) ، لذلك فعند اجراء التجارب تقاس درجة حرارة الماء ويصحح معامل الرشح لدرجة الحرارة ٢٠° ، وذلك بضرب الناتج بمعامل اللزوجة (Coefficient of viscosity) التي تؤخذ قيمته من الخط البياني المعطى على الشكل (٢ ـ ٨) .



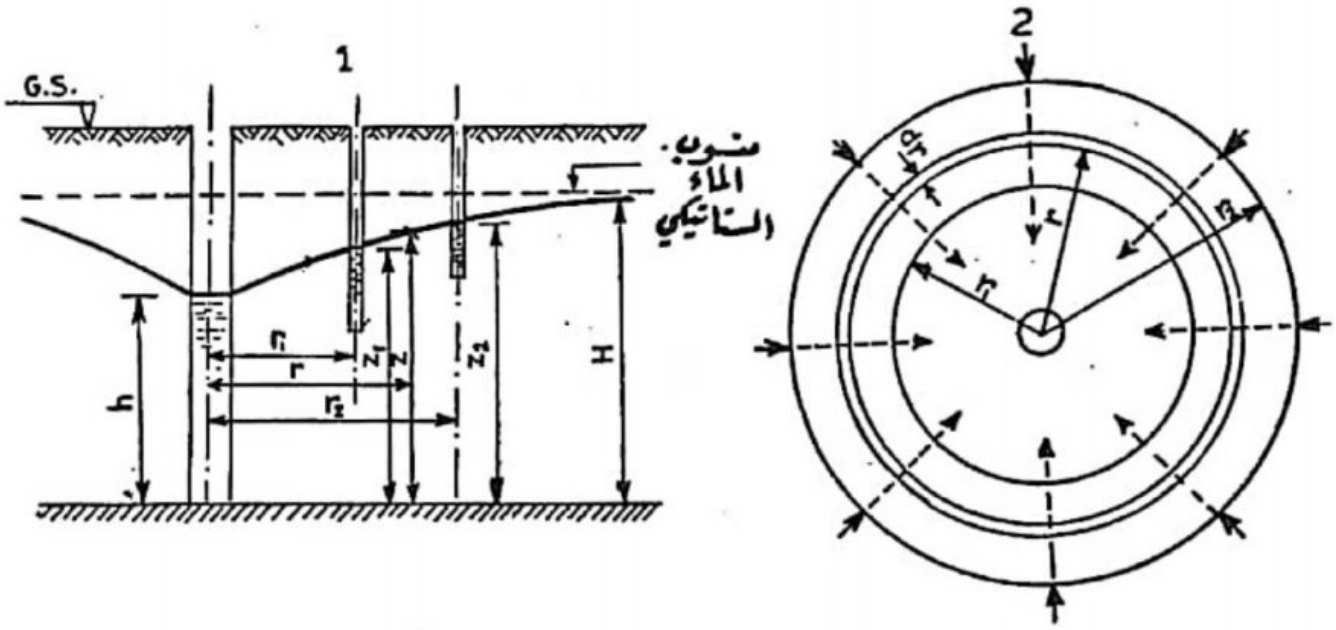
شكل (٢ – ٨)

العلاقة بين درجة حرارة الماء ومعامل لزوجته .

ب ـ التجارب الحقلية : تعتبر الطرق الحقلية لقياس (K) أدق من الطرق المخبرية حيث أنه عند وضع عينة التربة في جهاز الرشح المخبري من الصعب جداً الحفاظ على خواصها وبنيتها كما هي في الطبيعة ، بينما يؤدي القياس في الحقل الى نتائج تصف التربة وهي في حالة توضعها الطبيعي .

تتلخص الطريقة الأكثر انتشاراً لتحديد المعامل (K) في الحقل : في حفر بئر مركزي وآبار رصد مساعدة (بشكل سبور أو حفر) ثم ملاحظة مقدار انخفاض مستوى المياه الجوفية في البئر المركزي عند هذه او تلك الغزارة من ضخ الماء منه ، بالاعتماد على الشكل رقم (٢ ـ ٩) الموضح لطريقة قياس (K) في الحقل وباستخدام قانون دراسي تنتج لدينا الصيغة الآتية لحساب (K) :

$$q = K \frac{dz}{dr} 2 \pi r . Z$$



شكل (٢ - ٩)

المصور التوضيحي لتعيين معامل الرشح في الحقل

(طريقة الضخ ـ الجريان القطري باتجاه البئر المركزي)

1 ـ مقطع . 2 ـ مسقط .

أو :

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \int_{z_1}^{z_2} \frac{2 \cdot \pi \cdot K}{q} Z \cdot dZ .$$

ومنه :

$$K = q \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\ln r_2 - \ln r_1}{Z_2^2 - Z_1^2} \qquad (27')$$

q ـ غزارة الماء في وحدة الزمن الذي تضخ من البئر المركزي ليتأمن انخفاض ثابت لمنسوب الماء فيه وبالتالي في آبار الرصد المساعدة . ولا يجوز استخدام العلاقة (27′) قبل أن يثبت خط منسوب الماء أثناء الضخ وهو الخط المنحني على الشكل (٢ ـ ٩ ـ 1) .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

($r_2 - r_1$) – المسافات الأفقية بين آبار الرصد المساعدة والبئر المركزي .

لقياس معامل النفوذية في طبقات التربة الخالية من المياه الجوفية يضغط الماء في آبار الرصد ثم يراقب ويقاس منسوبه في البئر المركزي ، وتستخدم العلاقة السابقة لحساب معامل النفوذية .

جـ – الطرق الحسابية : تستخدم الطرق الحسابية لتعيين معامل الرشح في التربة الرملية فقط وهي تعطي قيماً تقريبية يؤخذ بها في حالات خاصة . وتتلخص الطرق الحسابية في حساب قيمة (K) بواسطة علاقات تجريبية (Empirical) تستخدم للتربة الرملية المتجانسة فقط والتي قطر جزيئاتها يتراوح بين ١و٠ و ٣ مم .

وأشهر الطرق الحسابية طريقة هازن (Hazen) الذي وجد تجريبياً أن لنفوذية الرمل المتجانس التركيب الحبي علاقة بالقطر الفعال (Effective diametere) (D_{10}) ، وقد أعطى العلاقة الآتية :

$$K = C \cdot D_{10}^2 \qquad (28)$$

حيث (C) ثابت يتأرجح بين 100 و 150 يؤخذ من الجدول ويقاس D_{10} بالسنتيمتر .

بالاضافة الى الطرق المخبرية التي وضحت مبادؤها سابقاً ، لا بد وأن نذكر بأنه يمكن استخراج قيمة (K) بالاعتماد على تجربة الانضغاط مع الزمن (Consolidation test) الشيء الذي سيرد في هذا الفصل .

هناك كثير من الطرق المخبرية والحقلية وكذلك من الأجهزة التي تستخدم لقياس معامل الرشح ، ولا مجال لشرح جميعها لأنها تبحث بالتفصيل في مقررات الانشاءات المائية وانشاءات الري وميكانيك التربة العملي .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

توزع الإجهادات في التربة

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٢ - اجهادات الوزن الذاتي ومفهوم الاجهاد الفعال :

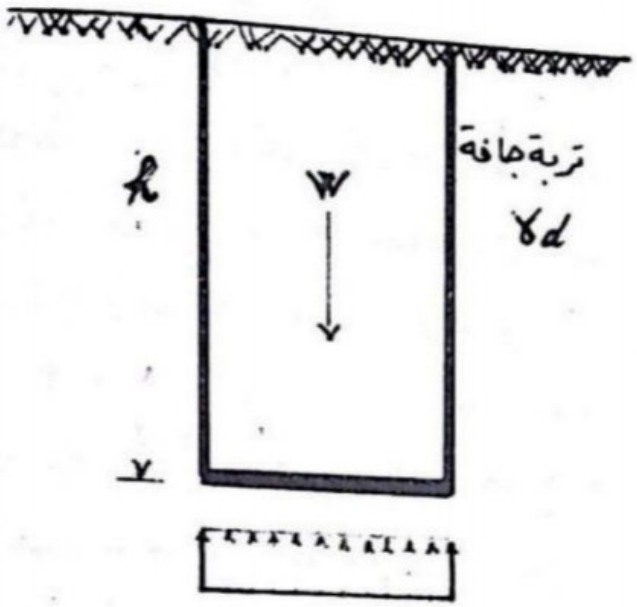
* حالة التربة الجافة : اذا أخذنا مقطعا في كتلة ترابية جافة ومتجانسة سطحها افقي ودرسنا التوازن بالاتجاه الشاقولي لعنصر ارتفاعه h وسطح قاعدته A ويخضع لتأثير وزنه الذاتي فقط . الشكل (٣ - ٣) .

يكون الاجهاد الكلي على السطح مساويا :

$$\sigma = \frac{W}{A} = \gamma_d . h$$

حيث σ الاجهاد الكلي ، وهو ينتقل في هذه الحالة عبر الحبات وتمثل σ وسطي قيمة الاجهاد على السطح الاسمي A ولاتمثل σ الاجهاد الفعلي في نقاط تماس الحبات ذلك لأن نقاط تماس الحبات

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

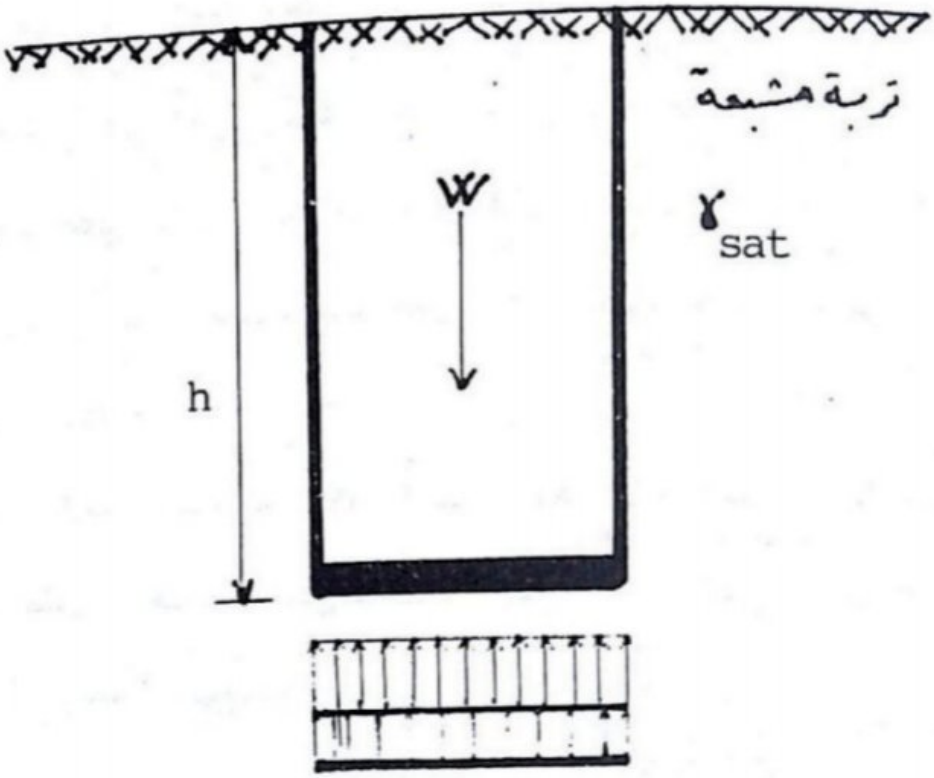


شكل ٣ – ٣
الاجهادات الذاتية – حالة تربة جافة

تشغل مساحة محدودة جدا من المساحة الاسمية A وتكون شدة الاجهاد في نقاط تماس الحبات اكبر بكثير من القيمة الوسطية σ ولايتحمل الهواء أي اجهاد نظرا لانه شديد الانضغاط بالنسبة للحبات الطلبة وباتصال مع الهواء الخارجي الذي يسيطر عليه الضغط الجوي الذي يعتبر صفر المقارنة للضغوط المطبقة على التربة .

* حالة التربة مشبعة : اذا درسنا مقطعا مشابها للحالة السابقة مع وجود بساط مائي يصل الى سطح التربة كما في الشكل (٣ – ٤)مفترضين ان التربة تحت البساط المائي مشبعة كليا فان التوازن الشاقولي للعنصر ذي الارتفاع h وسطح القاعدة A يستلزم ان تولد الحمولات الشاقولية المؤلفة من وزن التربة تحت البساط المائي بما في ذلك وزن الماء في الفراغات اجهادا كليا σ على المساحة الاسمية A مساويا الى

$$\sigma = \frac{W}{A} = \gamma_{sat} \cdot h$$



شكل ٣ ـ ٤

الاجهادات الذاتية ـ حالة تربة مشبعة

على ان الاجهاد الهيدروستاتيكي ضمن ماء المسام عند قاعدة العنصر المدروس يساوي وفي كل الاتجاهات الى :

$$u = \gamma_w h$$

وبالتالي فان الاجهاد الشاقولي الذي ينتقل عبر الحبات الصلبة يساوي الى $(+u)$ وهو مايسمى عادة بالاجهاد الفعال (effective stress) ويرمز له بـ σ' أي $\sigma' = \sigma - u$.

وبالتعويض نجد :

$$\sigma' = (\gamma_{sat} - \gamma_w)h$$

أو :

$$\sigma' = \gamma' h$$

أي ان الاجهادات الفعالة تحسب باعتماد وزن واحدة الحجم المغمور في المنطقة الواقعة تحت منسوب البساط المائي .

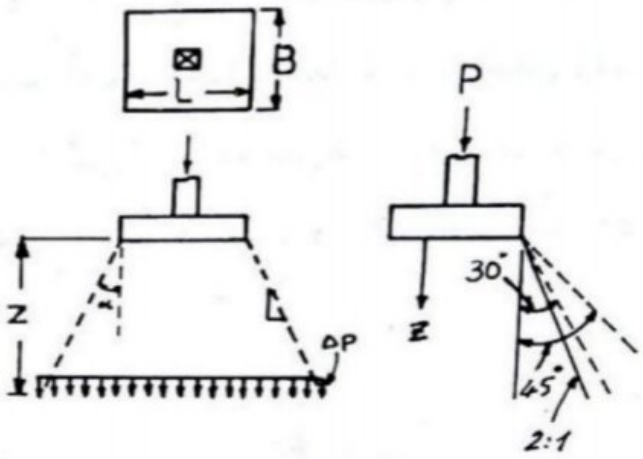
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٣ ـ توزع الاجهادات الشاقولية الناتجة عن حمولات مطبقة على التربة :

يتم حساب الزيادة في الاجهادات ضمن التربة والناتجة عن حمولة مركزة أو موزعة بانتظام على سطح ما كسطح اساس مثلا بطرق تقريبية سهلة التطبيق تعتمد على مبدأ التوزع الخطي للاجهادات وتفترض هذه الطرق وجود منطقة اجهاد مخروطية أو هرمية الشكل تميل على الشاقول بزوايا تتراوح بين (30° و 45°) حسب خواص التربة (الشكل ٣ ـ ٥) ولعل ابسط الطرق تلك التي تعتمد ميلا قده (2 شاقولي الى 1 افقي) ، وبناء على ذلك فان قيمة (Δp) على سطح افقي يقع على عمق (z) تحت اساس صلب مستطيل ابعاده (LxB) ينقل

حمولة قدرها (p) تعطى بالعلاقة :

$$\Delta p = \frac{p}{(L+z)(B+z).}$$



شكل ٣ – ٥

التوزع الخطي للاجهادات الشاقولية

أما في الحالة العامة التي يفرض فيها توزع للحمولات وفق زاوية قدرها (α) مع الشاقول فان (Δp) تعطى بالعلاقة :

$$\Delta p = \frac{P}{(L + 2z \cdot tg\alpha)(B + 2z \cdot tg\alpha)}$$

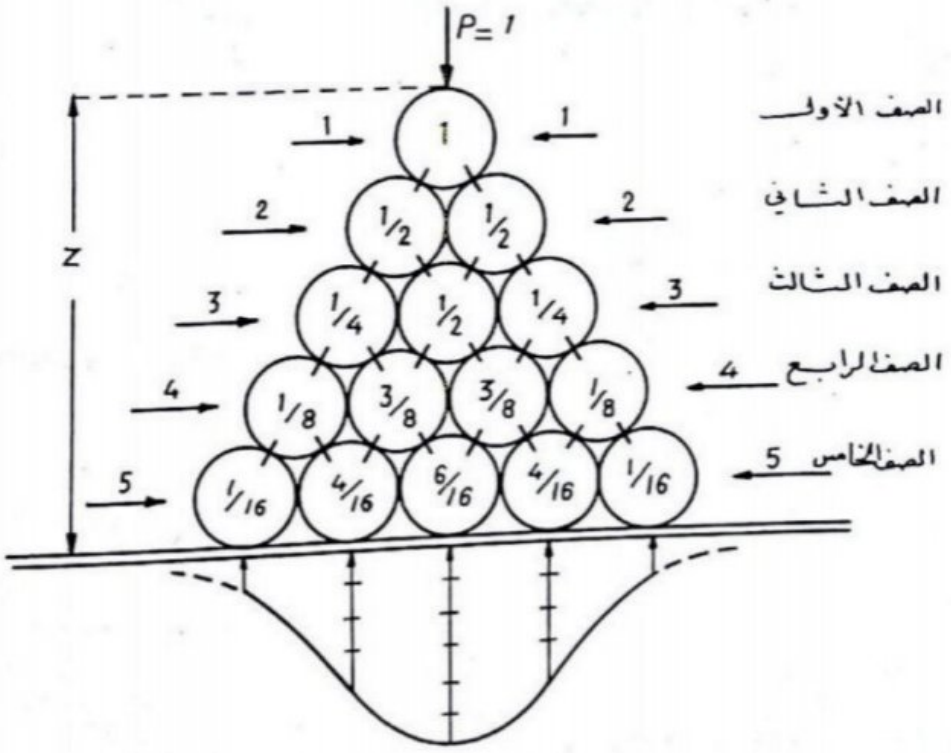
وتأخذ هذه العلاقة اشكالا مبسطة تحت اساس مربع أو دائري أو تحت حمولة نقطية . ان هذه الطريقة تعطي الزيادة في الاجهادات بشكل تقريبي ، فهي تفترض ان (Δp) موزعة بانتظام على سطح محدود . وتصبح هذه الطريقة اقل دقة اذا كانت التربة مؤلفة من عدة طبقات مختلفة .

وبمقارنة طريقة التوزع الخطي مع طرق حساب توزع الاجهادات تحت اساس دائري أو مستطيل يحمل حمولة موزعة بانتظام بالاعتماد على نظرية المرونة ، تبين ان قيمة الزيادة في الاجهادات الشاقولية

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

المنتظمة التوزع التي تعطيها فرضية التوزع الخطي بزاوية (30°)تقارب القيمة العظمى لزيادة الاجهادات الشاقولية التي تعطيها نظرية المرونة وذلك ضمن المجال : $1,5 < z/B < 5$

ان توزع الاجهادات الشاقولية على سطح افقي والناتجة عن الحمولات المطبقة على السطح لايكون توزعا منتظما، ويمكن بيان ذلك بدراسة توزع الاجهادات ضمن كرات تمثل حبات التربة الشكل (٣ ـ ٦) .

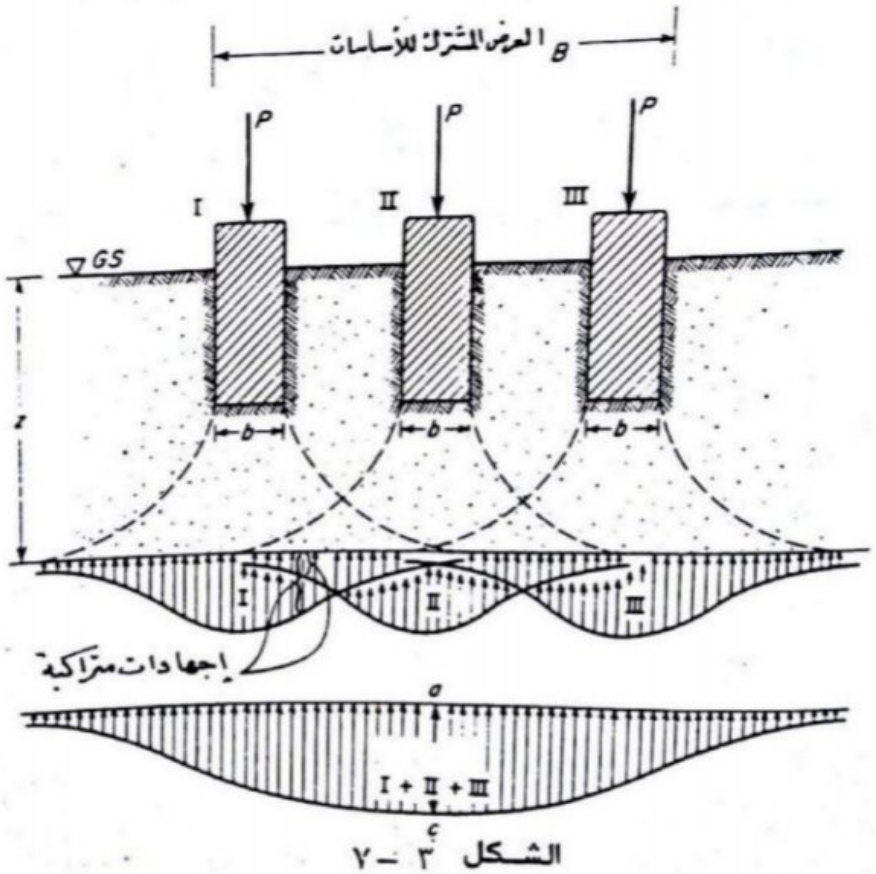


الشكل ٣ ـ ٦
التوزع المنحني للاجهادات الشاقولية

يلاحظ ان شدة الاجهادات على أي سطح افقي تكون اعظمية تحت شاقول الحمولة وتتناقص شدة الاجهادات على نفس المستوي كلما ابتعدنا عن محور الحمولة . ويأخذ منحني توزع الاجهادات على سطح افقي شكل قبة أو جرس ، كما يلاحظ ان شدة الاجهادات على أي محور

شاقولي تتناقص كلما ازداد العمق ،ويتسع انتشار الاجهادات افقيا .

ان حساب الزيادة في الضغط الشاقولي تحت السطوح المحملة بطريقة التوزع الخطي أو المنحني لكل اساس على حدة يختلف عن التأثير المشترك الناجم عن تداخل الاجهادات لعدة سطوح تحميل متجاورة . ويبين الشكل (٣ - ٧) المناطق المتداخلة لتوزع الاجهادات ثم التأثير الاجمالي على عمق (z) لاساس عرضه (B) هو العرض المشترك لكل الاساسات الصغيرة .



الشكل ٣ - ٧

التأثير المشترك لتداخل الاجهادات على العمق z

د. تأثير الضغط الموزع بانتظام على مساحة دائرية ومستطيلة الشكل:

إن أغلب أساسات الأبنية والمنشآت تأخذ شكل مستطيل أو مربع أو دائري وتكون الحمولة المطبقة عليها موزعة بانتظام .(عندما تكون نسبة طول الأساس إلى عرضه أكبر من عشرة يكون الأساس مستمراً)، إن الوضع الإجهادي في التربة تحت هذه الأساسات يمكن تعيينه:

1) بالنسبة إلى النقاط الواقعة تحت مركز المساحة المحملة (الأساس) والموضحة في الشكل (1-6) فيتم تعيين الإجهادات الشاقولية σ_z بالعلاقة البسيطة التالية:

$$\sigma_z = \alpha \cdot P \qquad (1-10)$$

حيث : α : عامل يؤخذ من الجدول (1ـــ2)

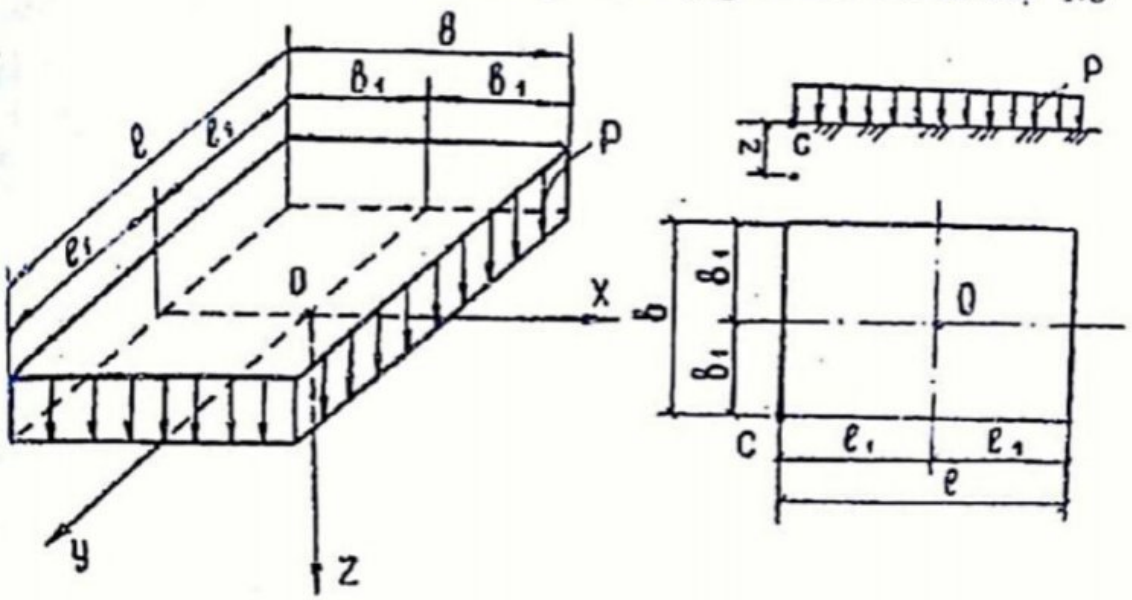
P = شدة الحمولة الموزعة بانتظام.

لتعيين الإجهاد الشاقولي σ_z عند العمق Z تحت مركز الأساس المحمل بحمولة موزعة بانتظا
فإن قيمة العامل α تؤخذ من الجدول (1-2) بدلالة كل من η, ξ

$$\xi = 2 \cdot \frac{z}{b}, \eta = \frac{l}{b}$$

حيث :

l.b أبعاد المساحة المحملة أو أبعاد الأساس المحمل.



الشكل (1-6)

2- بالنسبة الى النقاط الواقعة تحت زاوية المساحة المحملة والموضحة في الشكل (1-6) يتم تعيين قيم الإجهاد الشاقولي σ_z بالعلاقة :

$$\sigma_z = 0{,}25\alpha P \qquad (11-1)$$

الجدول (1- 2)

ξ								الأساسات المستمرة $\eta \geq 10$
	أساس دائري	$\eta = l/b$ المربعة والمستطيلة						
		1.0	1.4	1.8	2.4	3.2	5.0	
0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.4	0.949	0.960	0.972	0.975	0.976	0.977	0.977	0.977
0.8	0.756	0.800	0.848	0.876	0.879	0.881	0.881	0.881
1.2	0.547	0.6060	0.682	0.717	0.739	0.749	0.754	0.755
1.6	0.390	0.449	0.532	0.578	0.612	0.629	0.639	0.642
2,0	0.285	0.336	0.532	0.578	0.612	0.629	0.639	0.642
2.4	0.412	0.257	0.325	0.347	0.429	0.449	0.470	0.477
2.8	0.165	0.201	0.260	0.304	0.349	0.383	0.410	0.40
3.2	0.130	0.160	0.210	0.251	0.294	329,.0	0.360	0.347
3.6	0.106	0.131	0.173	0.209	0.250	0.285	0.319	0.337

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

4.0	0.087	0.108	0.145	0.176	0.214	0.248	0.285	0.306
4.4	0.073	0.091	0.132	0.150	0.185	0.218	0.255	0.280
4.8	0.062	0.077	0.105	0.130	0.161	0.192	0.230	0.258
5.2	0.053	0.067	0.091	0.113	0.141	0.170	0.208	0.339
5.6	0.046	0.058	0.079	0.099	0.124	0.152	0.189	0.223
6.0	0.040	0.051	0.070	0.087	0.110	0.136	0.173	0.208
6.6	0.036	0.045	0.062	0.077	0.099	0.122	0.158	0.196
6.8	0.031	0.040	0.055	0.64	0.088	0.110	0.145	0.185
7.2	0.028	0.036	0.049	0.062	0.080	0.100	0.133	0.175
7.6	0.024	0.032	0.044	0.056	0.072	0.099	0.123	0.166
8.0	0.022	0.029	0.040	0.051	0.066	0.084	0.113	0.158
8.4	0.021	0.026	0.037	0.046	0.060	0.077	0.105	0.150
8.8	0.019	0.024	0.033	0.042	0.055	0.071	0.098	0.143
9.2	0.017	0.022	0.031	0.039	0.051	0.065	0.091	0.137
9.6	0.016	0.020	0.028	0.036	0.047	0.060	0.085	0.132
10.0	0.015	0.019	0.026	0.33	0.043	0.056	0.079	0.126
10.4	0.014	0.017	0.024	0.031	0.040	0.052	0.074	0.122
10.8	0.013	0.016	0.022	0.029	0.037	0.049	0.069	0.117
11.2	0.012	0.051	0.021	0.027	0.035	0.045	0.065	0.113
11.6	0.011	0.014	0.020	0.025	0.033	0,042	0.061	0.109
12.0	0.010	0.013	0.019	0.023	0.031	0.040	0.056	0.106

والعامل α يعين من الجدول (1-2) بدلالة النسبة $\xi = \frac{z}{b}, \eta = \frac{l}{b}$

هـ : <u>تعيين الاجهادات الشاقولية، بطريقة النقاط الزاوية (عند تأثير حمولة شاقولية موزعة بانتظام مستطيلة أو مربعة الشكل) .</u>

نشاهد في الحياة العملية، بعض الحالات التي يتم فيها تحميل الأساسات حمولات إضافية ناتجة عن الأساسات المجاورة، أو مساحات محملة مجاورة. أي عند بناء مبنى مجاور لمبنى مشيد سابقا، أو وضع حمولات إضافية، في مساحة مجاورة لمبنى مشاد مجاور، كل هذا يؤدي إلى حدوث إجهاد إضافي على الأساس القديم.

كما أن هناك حالات أخرى، تتطلب تعيين الإجهاد الشاقولي، ليس فقط تحت مركز الأساس أو محور المساحة المحملة، وإنما في نقاط أخرى أيضا". ويتم حساب هذه الإجهادات، باستخدام طريقة نقاط الزاوية، التي اقترحها العالم (بولشين د.ي) عام 1932م. والتي تحدد الإجهاد في محور وزوايا المساحة المستطيلة الشكل المحملة بحمولة موزعة بانتظام.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

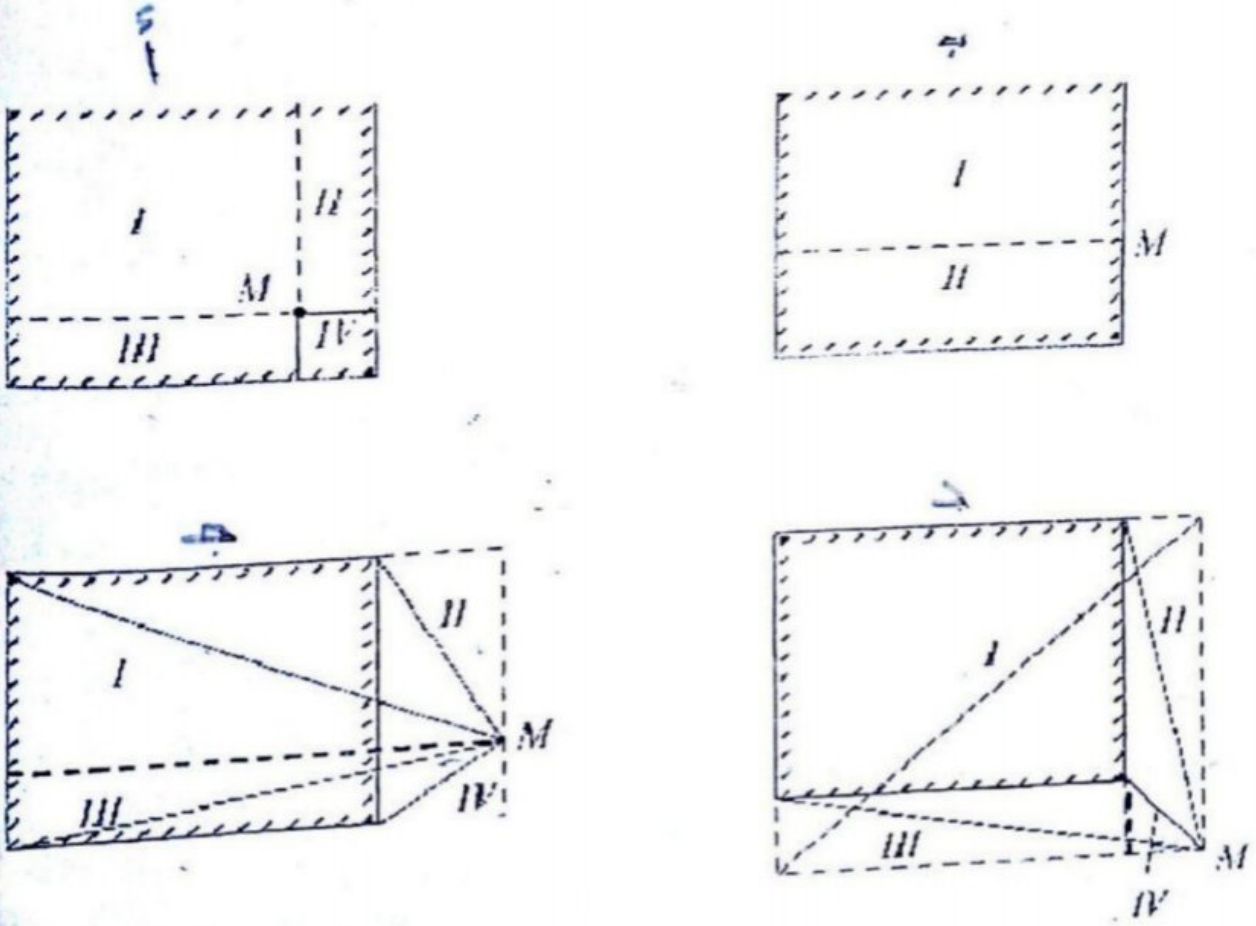
يمكن إثبات أنه من أجل أية مساحة مستطيلة الشكل، محملة بحمولة موزعة بانتظام، فإن الإجهاد الشاقولي تحت الزوايا، على عمق (2Z) يساوي ربع الإجهاد الشاقولي، تحت محور الحمولات على عمق /Z/ ، وهكذا يتعين الإجهاد تحت نقاط الزاوية بالعلاقة:

$$\sigma_z = 0 \cdot 25 \alpha \cdot P \qquad (12-1)$$

إن قيم العامل α يمكن أن نأخذها من الجدول (1ـ2). وذلك بحسب قيمة $\xi = \frac{z}{b}$, $\eta = \frac{l}{b}$

إن طريقة نقاط الزاوية تسمح، بتعيين الإجهاد الشاقولي σ_z في أي نقطة من نقاط نصف الفراغ المرن، شرط أن تكون المساحة المحملة مستطيلة الشكل، ومحملة بحمولة موزعة بانتظام.

إن أي نقطة يراد حساب الإجهاد فيها، يجب أن نجعلها نقطة زاوية، عن طريق تقسيم المساحة إلى مستطيلات، **وتوجد أربع حالات رئيسية يوضحها الشكل (1ـ7).**



الشكل (1-7)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

- إذا كان مسقط النقطة المدروسة، المراد حساب الإجهاد فيها، يقع ضمن مجال المساحة المحملة، فإن الإجهاد الشاقولي / σ_z /، يعين بجمع الإجهاد تحت نقاط الزاوية، لأربعة أجزاء من المساحة المحملة. والمبينة في الشكل. (1-7-أ)، ومن خلال العلاقة:

$$\sigma_z = \sigma_{z_I} + \sigma_{z_{II}} + \sigma_{z_{III}} + \sigma_{z_{IV}} = \\ = 0 \cdot 25(\alpha_I + \alpha_{II} + \alpha_{III} + \alpha_{IV}) \cdot P \qquad (13-1)$$

حيث إن $\alpha_{IV}, \alpha_{III}, \alpha_{II}, \alpha_I$ عامل يؤخذ من الجدول (1ـ2). حسب نسبة أبعاد المساحات المحملة (I, II, III, IV). ونسبة Z إلى عرض كل مساحة محملة من المساحات الأربعة.

- إذا كان مسقط النقطة المدروسة، يقع على محيط المساحة المحملة، فإن الإجهاد الشاقولي σ_z في هذه النقطة الموضحة بالشكل (1-7 - ب) يتعين بالعلاقة:

$$\sigma_z = \sigma_{z_I} + \sigma_{z_{II}} = 0 \cdot 25(\alpha_I + \alpha_{II}) .P \qquad (14-1)$$

- إذا كان مسقط النقطة المدروسة، يقع خارج حدود المساحة المحملة. كما في الشكل(1-7). فإن جزءاً من المساحات المحملة يكون وهمياً. ويجب أن يؤخذ بالاعتبار مرتين، مرة بإشارة موجبة، ومرة أخرى بإشارة سالبة، وبحسب الإجهاد الشاقولي، في هذه الحالة بالنسبة إلى الوضعية المبينة في الشكل (1-7-جـ). بالعلاقة:

$$\sigma_z = 0 \cdot 25(\alpha_I - \alpha_{II} + \alpha_{III} - \alpha_{IV}) \cdot P \qquad (15-1)$$

أما بالنسبة للشكل (1ـ7ـ د). فيحسب الإجهاد الشاقولي بالعلاقة:

$$\sigma_z = 0 \cdot 25(\alpha_I - \alpha_{II} - \alpha_{III} + \alpha_{IV}) .P \qquad (16-1)$$

طريقة نقاط الزاوية هي إحدى الطرق المستخدمة لتحديد توزع الإجهادات في التربة التي تعتمد على جداول خاصة .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

ـ الطرق الحسابية ومخطط فادوم :

ان العلاقة الرياضية التي تعطي قيمة الاجهاد الشاقولي على عمق (Z) تحت سطح محمل بحمولة موزعة بانتظام هي علاقة معقدة الا أنه يمكن تبسيط هذه العلاقة اذا أردنا حساب الاجهاد الشاقولي على عمق (Z) تحت زاوية شكل مستطيل ابعاده (LxB) الى الشكل التالي :

$$\Delta p_v = \frac{q}{4\pi} \frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+1+m^2.n^2} \frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1} \tan^{-1} \frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+1+m^2.n^2}$$

$$n = \frac{B}{z} \qquad m = \frac{L}{z}$$

على ان (n و m) قابلتان للتغيير فيما بينهما ،كما ان الحد الثاني من العلاقة يعبر عن زاوية يجب ان تقدر بالزوايا ، وتبسط العلاقة السابقة الى الشكل :

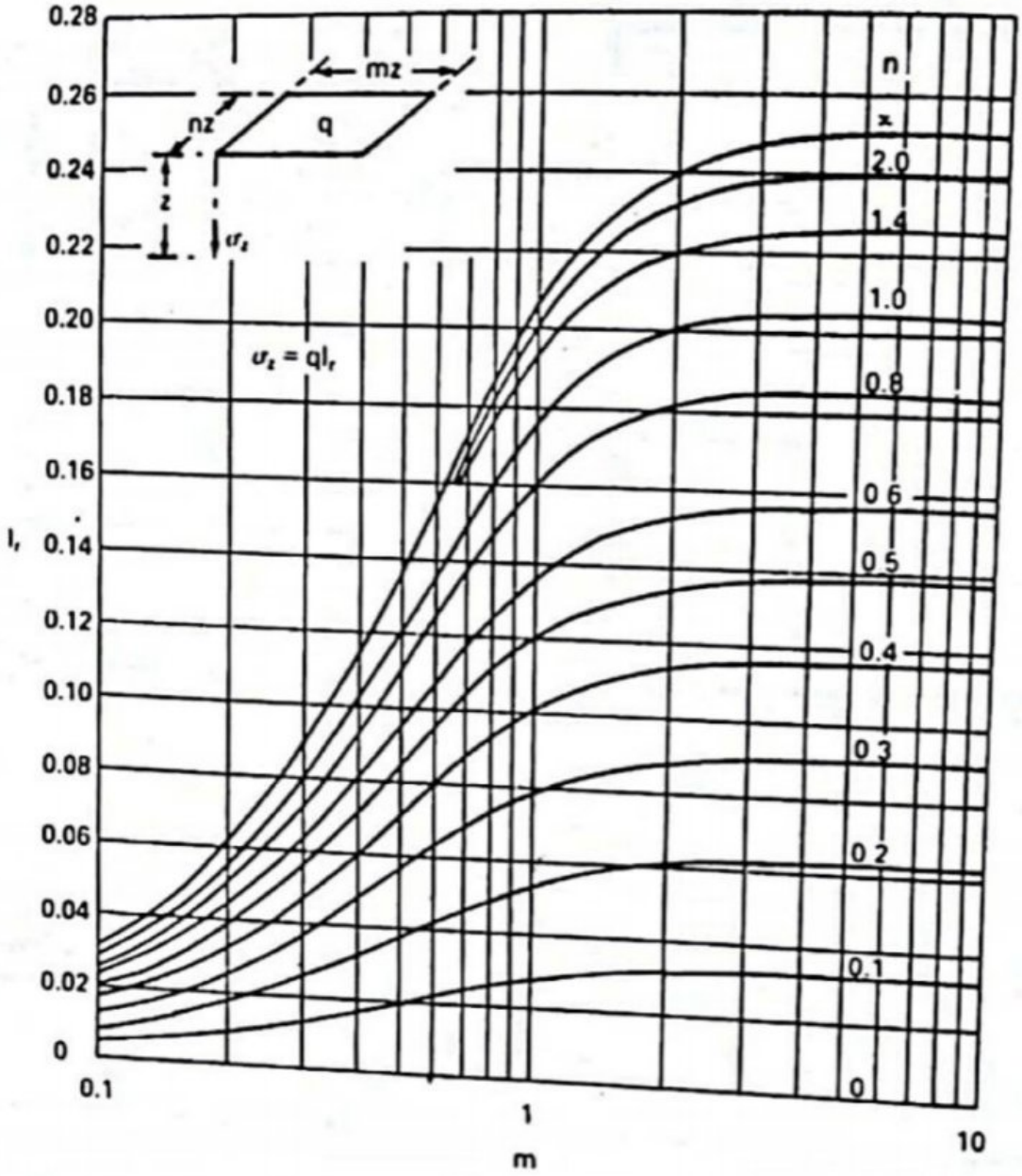
$$\Delta p_o = I_z . q_o$$

حيث q_o هي شدة الحمولة الموزعة بانتظام على السطح المحمل

I_z عامل تأثير يأخذ بعين الاعتبار العلاقة السابقةويعتمد على (n و m) .

قد اعطى فادوم (Fadum) قيم (I_z) بمنحنيات ترتبط بين (I_z و m و n) ـ الشكل (٣ ـ ١٣) .

ولحساب الاجهادات الشاقولية تحت اي نقطة اخرى ضمن المساحة المحملة غير واقعة تحت احدى زوايا المستطيل ، فانه يتم تشكيل مستطيلات اربعة برسم استقامات بين النقطة توازي اضلاع المستطيل كما في الشكل (٣ ـ ١٤ ـ آ) و تجمع الاجهادات التي تولدها سطوح المستطيلات الجزئية الاربعة تحت النقطة المدروسة لانها واقعة في زاوية كل من هذه المستطيلات ، اما اذا وقعت النقطة خارج المساحة المحملة



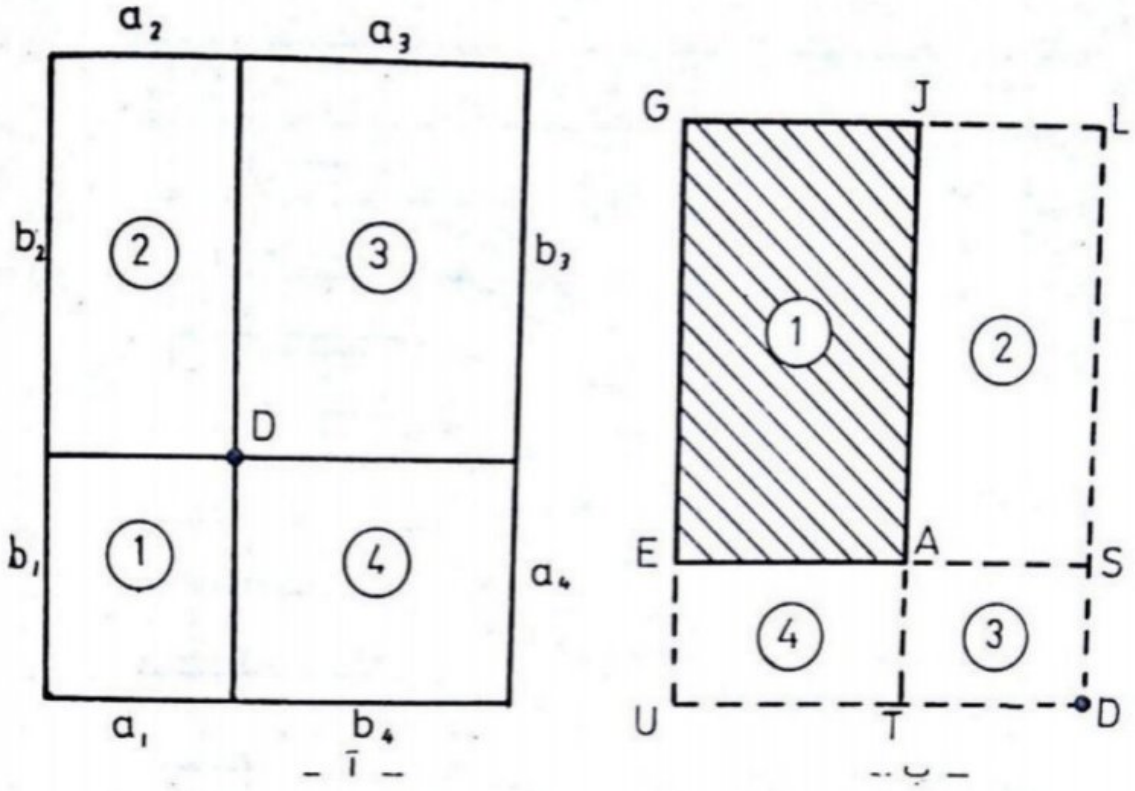
شكل ٣ – ١٣

مخطط فادوم

وعلى عمق (z) فانه يتم ايضا تشكيل مستطيلات اربعة كما فيالشكل (٣ – ١٤ – ب) ويفترض ان جميعها محملة بنفس الحمولة المنتظمة (q_o) وتكون الاجهادات تحت النقطة المدروسة (D) وعلى عمق(z) مساوية الى :

$$\Delta p_{v(D)} = \Delta p_v(1+2+3+4)+\Delta p_v(3)-\Delta p_v(2+3)-\Delta p_v(3+4)$$

حيث $p_v(1+2+3+4)$ تعني الزيادة في الاجهاد تحت الزاوية 4,3,2,1 (D) للمساحة الكبيرة المؤلفة من مجموع المساحات



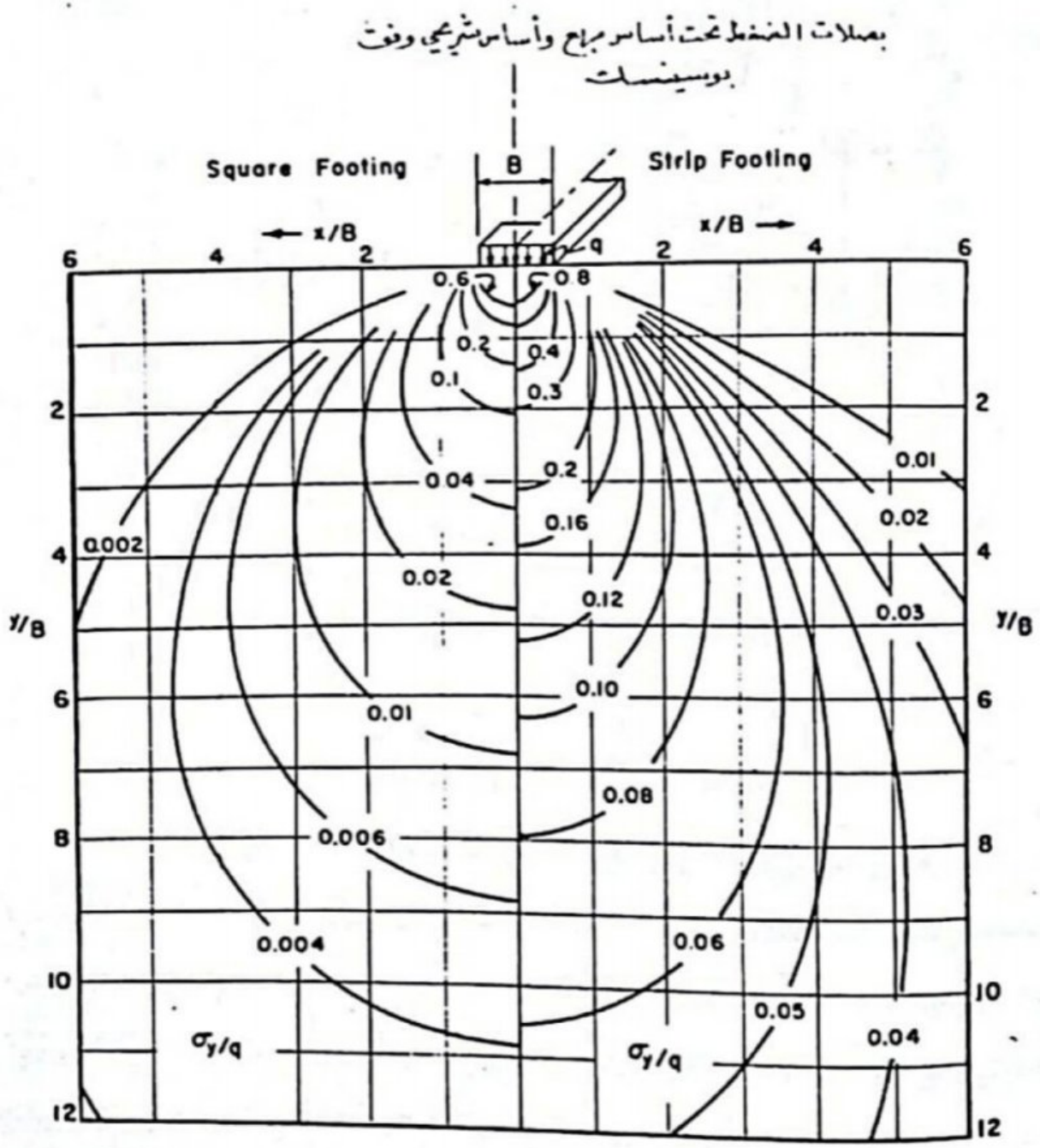
شكل ٣ - ١٤

حساب الاجهادات تحت النقطة D

٤- بصلات الضغط : Pressure bulbs

اذا رسمنا خطوط تساوي الضغط الشاقولي الذي يولده سطح افقي محمل على مستوي شاقولي يقع تحت هذا السطح المحمل فاننا نحصل على مايسمى ببصلات الضغط . وتفيد هذه البصلات في تصور توزع الاجهادات الشاقولية نتيجة تحميل التربة ، وفي اعطاء فكرة عن قيم الاجهادات المتولدة في الاعماق المختلفة . ان أي بصلة ضغط تحدد المنطقة من التربة التي تكون الاجهادات بداخلها اكبر من القيمة العائدة لتلك البصلة . ويمكن رسم بصلات الضغط بالاعتماد على الطريقة المرنة السابقة الذكر وذلك بحساب الزيادة في الاجهاد الشاقولي في عدد من النقاط على اعماق وتباعدات مختلفة . ونجد من بصلات الضغط ان هناك كتلة من التربة تتأثر باجهادات عالية نسبيا وتليها كتلة ترابية فيها الاجهادات اقل شدة ، ثم كتلة ثالثة ورابعة وهكذا . ان اختيار الخط

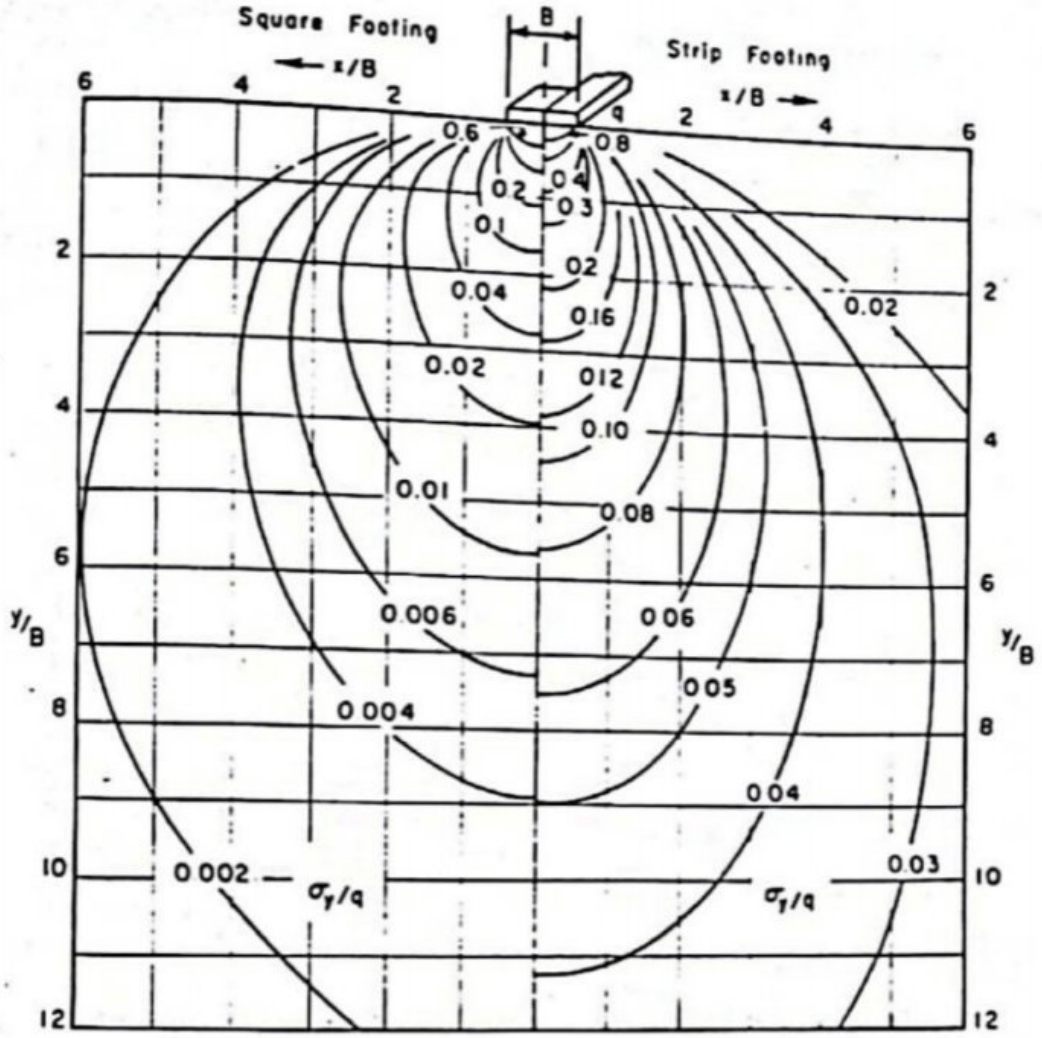
الخارجي الذي يحيط بكل كتلة ترابية يكون كيفيا فمثلا يمكن ان نختاره ليمثل ربع قيمة الحمولة المطبقة أو نصفها أو خمسها . ويبين الشكل (٣ – ١٥) والشكل (٣ – ١٦) بصلات الضغط تحت اساس مربع أوشريحي بالاعتماد على معادلات بوسنيسك ووسترغارد .



شكل ٣ – ١٥

بصلات الضغط حسب بوسينسك

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner



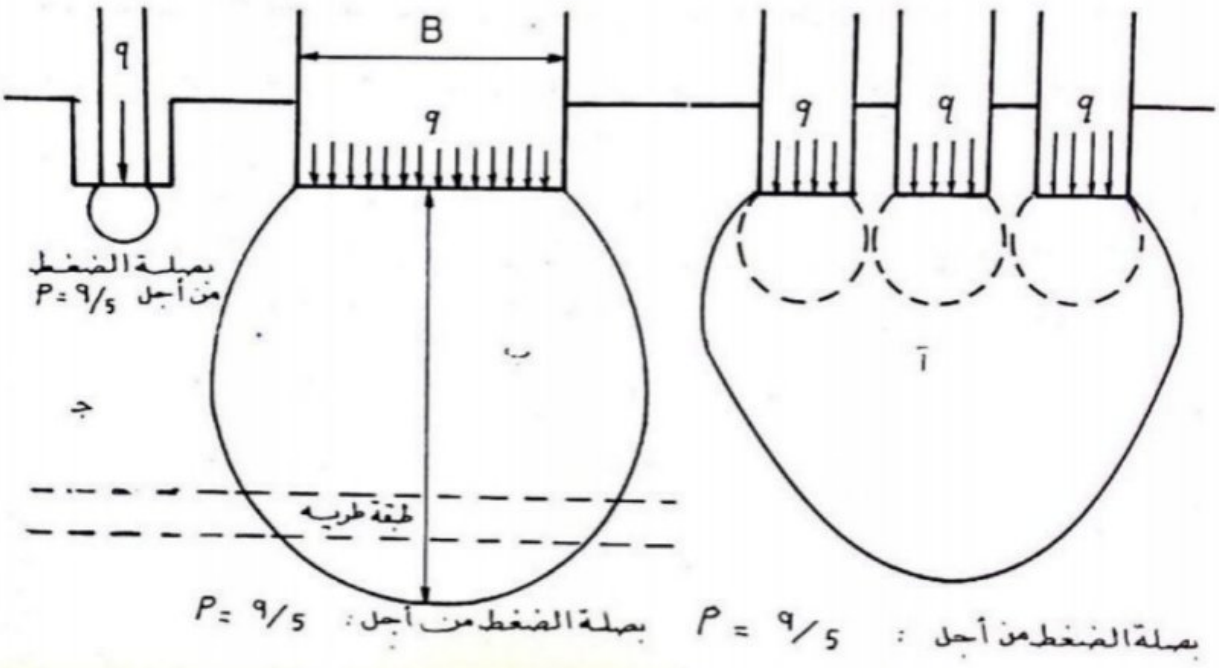
شكل ٣ – ١٦.

بصلات الضغط وفق وسترغـــارد

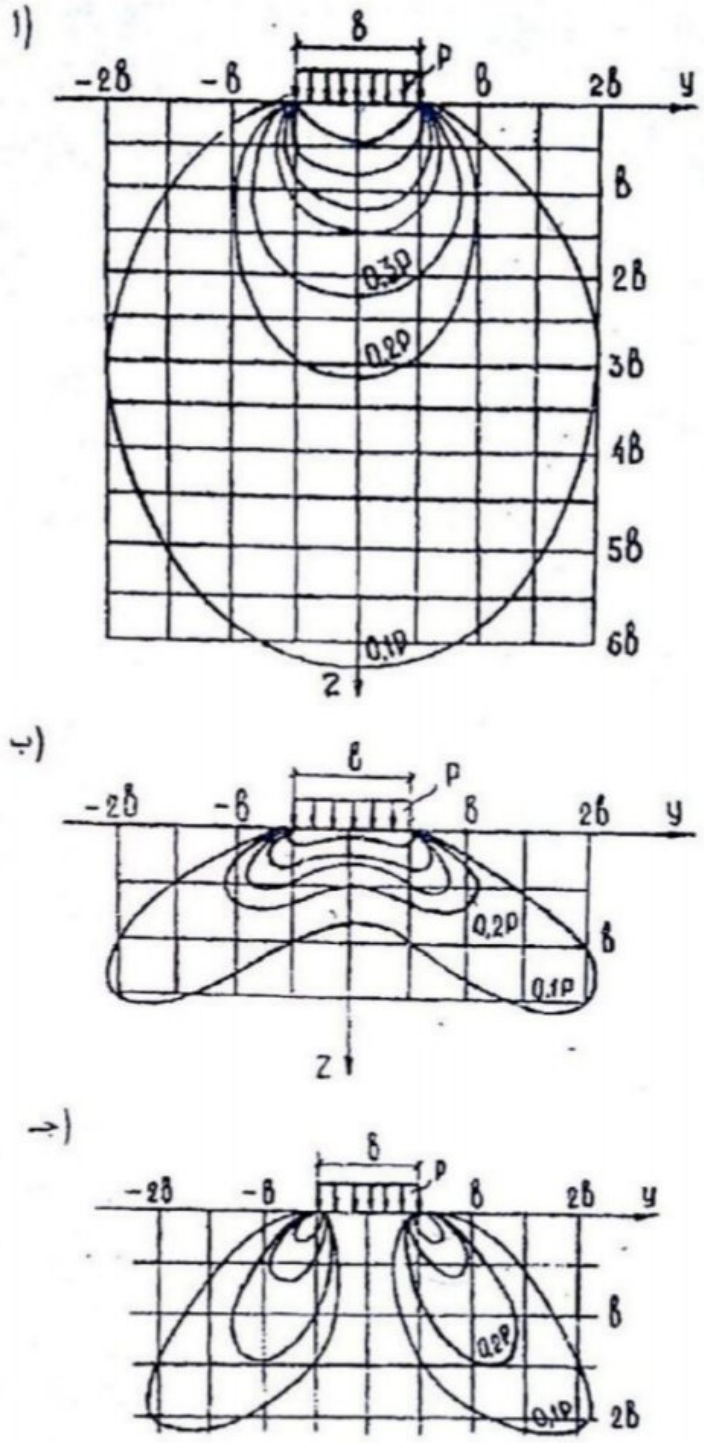
ومن ملاحظة هذه المخططات يتضح ان الاساسات الشريحية تنقل الـــى اعماق محددة في التربة اجهادات اشد مما تنقله الاساسات المربعـــة (أو الدائرية) . كما يتضح ان الاجهادات تتضاءل الى خمس قيمتها على عمق يعادل مرتـــين الى ثلاث مرات عرض الاساس الشريحي أو الى مرة واحدة أو مرة ونصف عرض الاساس المربع . الامـــرالذي يستدعي فحص التربـــة لاعماق كبيرة تحت السطوح المحملة الكبيرة الاتساع ، أو تحت الاساسات القريبة من بعضها والتي تتداخل تاثيراتها بحيث يصبح الاثر التجميعي

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

لها مكافئا لوجود اساس كبير - انظر الشكل (٣ - ١٧- آ). واذا وجدت طبقة ترابية طرية ضمن منطقة بصلة الضغط فان توازن اساس ذي مساحة كبيرة قد يختل،وينهار الاساس بسببها ، واما اذا وقعت نفس الطبقة الطرية على مسافة بعيدة عن بصلة الضغط فان تاثيرها يكون قليلا جدا - الشكل (٣ - ١٧ - ب و جـ)



شكل ٣ - ١٧ تاثير عرض الاساس على عمق التاثير



الشكل (1–10)خطوط الأيزوبار (خطوط الإجهادات المتساوية) في حالة المسألة المستوية

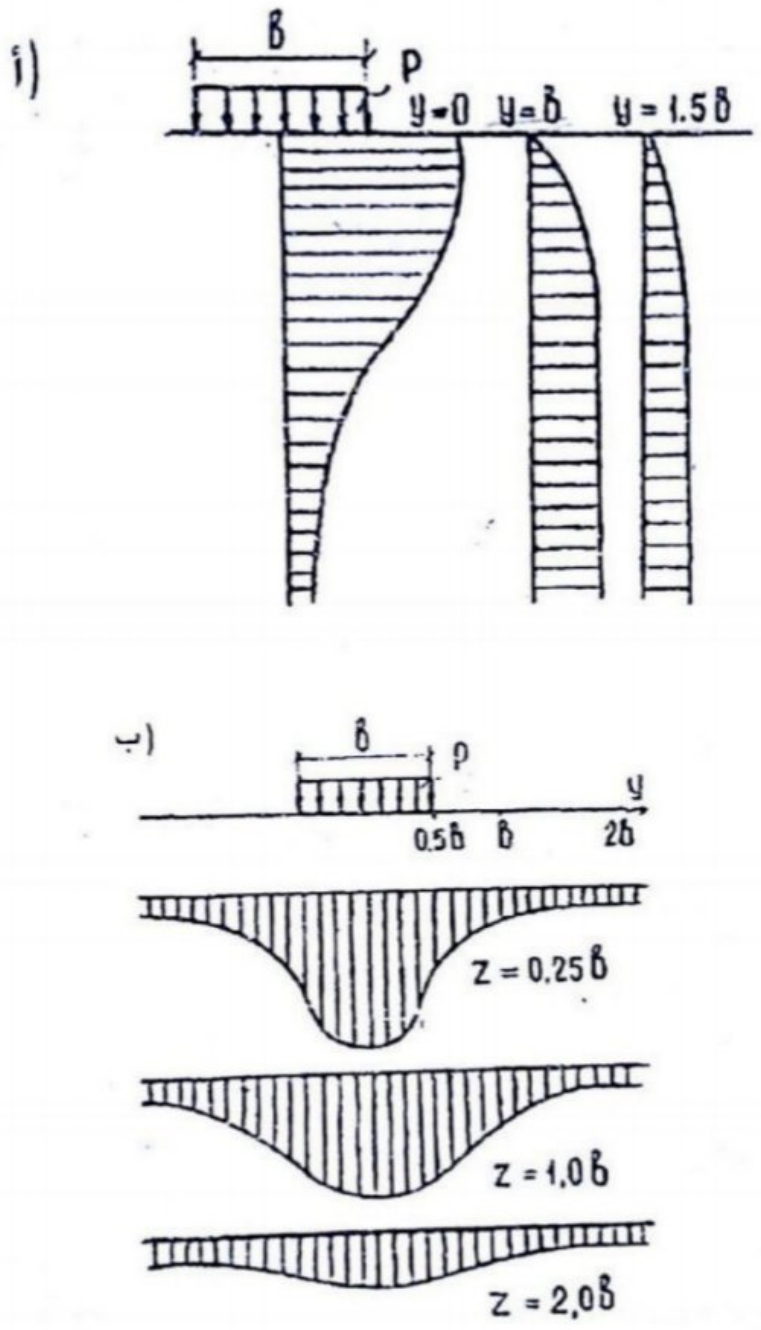
أ- خطوط تساوي الإجهادات الشاقولية

ب- خطوط تساوي الإجهادات الأفقية

جـ - خطوط تساوي الإجهادات المماسية

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

بينما مخططات الإجهاد σ_z، في المقاطع الشاقولية والأفقية، وعند قيم مختلفة (X وZ) يبينها الشكل(1ـ11).



الشكل (1-11)

أ- σ_z بالمحاور الشاقولية

ب - تغير σ_z بالمحاور الأفقية

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner