جهد الماء الأرضي

soil water potential

بعدما تحدثنا في المحاضرات السابقة وتناولنا الخواص الطبيعية للجزء الصلب والمتمثل في عدد من الخواص أهمها العلاقات الكمية لمكونات الأرض quantitative relationships of soil constituents والتي تشمل مجموعة من الخصائص (الكثافة الحقيقية والكثافة الظاهرية والمسامية و نسبة المسام و المسامية الهوائية و المحتوي الرطوبي علي أساس الحجم وعلي أساس الوزن وكارتفاع عمود من الماء او كعمق ودرجة التشبع) و تحدثنا عن الخواص الفيزيائية للطور الصلب physical properties of solid phase والتي تشمل قوام الأرض soil texture وبناء الأرض soil structure و التوزيع الحجمي للحبيبات المركبة aggregate size distribution وثبات الحبيبات المركبة aggregate stability والسطح النوعي specific surface ثم بدأنا في الحديث عن فيزياء الطور السائل (علاقات الماء بالاراضي water relationships in soil) وتحدثنا فيه عن المحتوي الرطوبي وطرق قياس المحتوي الرطوبي والثوابت الرطوبية

سوف نبدأ في هذه المحاضرة بالحديث عن المقصود بجهد الماء الأرضي soil water potential – الجهود المسئولة عن حركة المياه في التربة – منحني الرطوبة المميز للأراضي soil moisture characteristics curve - ظاهرة عدم الارتداد hysteresis

تعريف جهد الماء الأرضي soil water potential

كمية الشغل اللازم بذلها علي وحدة الكمية من الماء لكي تنتقل من المستوي القياسي الي النقطة موضع الدراسة (أي النقطة المراد معرفة الجهد عندها) عند نفس درجة الحرارة)

والمستوي القياسي يمكن اعتباره سطح ماء نقي حر عند الضغط الجوي

طرق التعبير عن جهد الماء:

بما ان الشغل (الطاقة – الجهد) = القوة * المسافة وباستخدام معادلة الابعاد

$$\text{energy} = (MLT^{-2})*L = ML^2T^{-2}$$

وعليه يكون التعبير عن جهد الماء علي أحد أسس ثلاث:

أ – علي أساس الحجم volume basis

$$\text{Energy/volume} = ML^2T^{-2}/L^3 = ML^{-1}T^{-2}$$

ب – علي أساس الكتلة mass basis

$$\text{Energy/ mass} = ML^2T^{-2}/M = L^2T^{-2}$$

ج – علي أساس الوزن weight basis

Energy/weight= $ML^2T^{-2}/MLT^{-2}=L$

ويعبر عنها بوحدة المتر m وهي الأكثر شيوعا والاسهل استخداما في الأراضي ويطلق عليه المكافئ للارتفاع (head equivalent) من عمود الماء أي يعبر عن الجهد في هذه الحالة بارتفاع عمود الماء.

ويمكن التحويل بين الوحدات المختلفة باستعمال ثوابت التحويل

1bar=100cb= 1000mb

=1022cm water= 75 cm hg

=1 atm

$=100j\ kg^{-1} = 10^6\ erg\ g^{-1} = 10^6\ dyne\ cm^{-2}$

وجهد الماء الأرضي يعد صفة معقدة وحتى يسهل فهمه لابد من فصله الي مكوناته المختلفة حيث ان الماء بالأرض معرض لحقول قوي مختلفة مثل الضغط الموجب أو السالب او الجاذبية الأرضية والاسموزية والتي تغير من جهد الماء عن الحالة النقية.

ويعبر عن جهد الماء ψ_w بدلالة مكوناته كالاتي: -

$\psi_W=\psi_P+\psi_M+\psi_S$

حيث P ترمز الي جهد الضغط

M ترمز الي جهد الشد (الضغط السالب)

S ترمز الي الجهد الاسموزي

ويكون الجهد الكلي للماء (ψ_T) عبارة عن مجموع جهد الماء مضافا اليه جهد الجاذبية الأرضية (ψ_g)

$\Psi_t= \psi_w+\psi_g= \psi_p+\psi_m+\psi_s+\psi_g$

وسنتحدث قليلا عن كل جهد علي حدة لتفهم طبيعته.

1- جهد الجاذبية الأرضية gravitational potential

أي جسم متواجد علي سطح الأرض يكون منجذبا نحو مركز الكرة الأرضية بواسطة فعل قوة الجاذبية الأرضية والمساوية لوزن هذا الجسم، وهذا الوزن عبارة عن حاصل ضرب كتلة الجسم في عجلة الجاذبية. وحتي يمكن رفع هذا الجسم في اتجاه عكس الجاذبية الأرضية يجب بذل شغل ، وهذا الشغل يبقي في الجسم المرفوع في صورة طاقة جاذبية أرضية ،وعليه فان طاقة جهد الجاذبية الأرضية (E_g)

$E_g= mgz$

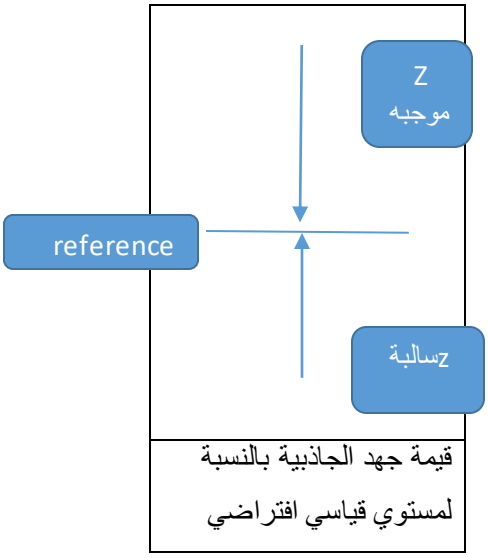
حيث m كتلة الماء

g عجلة الجاذبية

z الارتفاع

وعلي أساس وحدة الوزن من الماء w= mg=1 يكون جهد الجاذبية الأرضية ψ_g=z

و عليه فان جهد الجاذبية الأرضية هو عبارة عن قيمة الفرق في ارتفاع النقطة المراد قياسها عن مستوي قياسي افتراضي arbitrary reference level فاذا كانت النقطة المراد معرفة جهدها فوق المستوي القياسي فان القيمة تأخذ إشارة موجبة و العكس في حالة وجودها تحت المستوي القياسي فان القيمة تأخذ إشارة سالبة كما هو موضح بالشكل



2- جهد الضغط pressure potential

وهو ما يحدث عندما يكون الماء الأرضي عند ضغط هيدروستاتيكي أكبر من الضغط الجوي ، وعليه فان الماء المتواجد تحت سطح ماء حر يكون تحت جهد ضغط موجب ، بينما يكون جهد ضغط الماء عند هذا السطح مساويا للصفر .

فالضغط الهيدروليكي (p) للماء بالنسبة للضغط الجوي يكون $p= \rho_w g h$ حيث ρ_w هي كثافة الماء g عجلة الجاذبية و h عمق النقطة تحت سطح الماء الحر.

وتكون طاقة جهد الضغط E_P عبارة عن الضغط مضروبا في التغير في الحجم

$$E_P=P (Dv)= \rho_w g h (dv)$$

وعلي أساس وحدة الوزن يكون جهد الضغط (ψ_p)

$$\Psi_p=h$$

حيث h عمق النقطة تحت سطح الماء الحر (مستوي ماء ارضي)

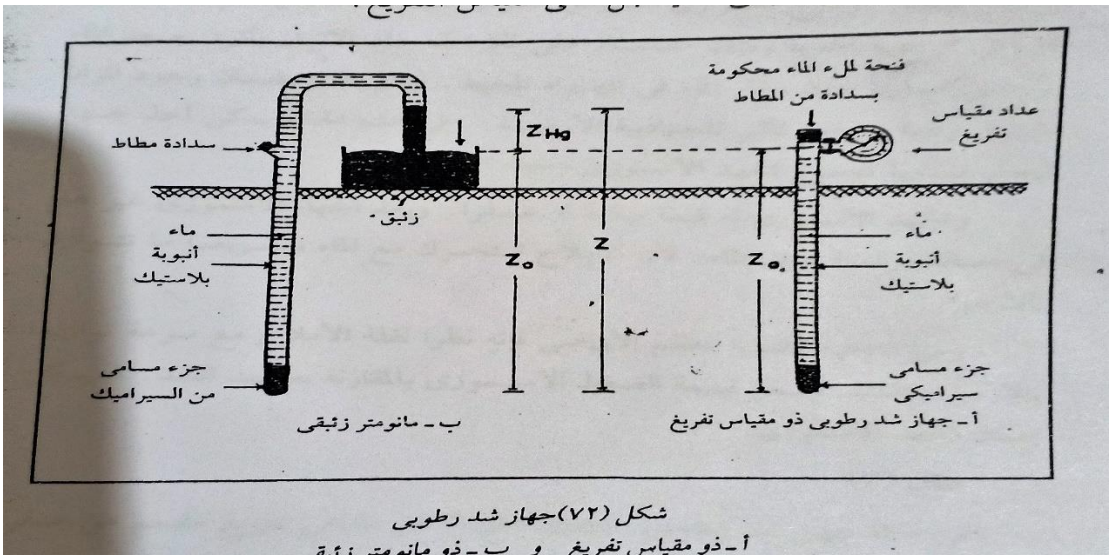
أي انه عندما تكون وحدة الكمية من الماء معبرا عنها علي أساس الوزن فيكون جهد الضغط عبارة عن ارتفاع سطح الماء الحر فوق النقطة المراد معرفة جهدها وفي التربة تكون عبارة عن المسافة الرأسية بين النقطة وسطح الماء داخل بيزومتر piezometer (وهي عبارة عن انبوبة بلاستيكية يتم وضعها داخل حفرة تم عملها بواسطة الاوجر فيرتفع الماء بها مسافة مقدارها h مساوي لارتفاع مستوي الماء الأرضي فيتم تعيين الضغط البيزومتري وهي عبارة عن انبوبة راسية متصلة بالنقطة المراد قياس الضغط عندها) ويكون جهد الضغط مساويا للصفر عند سطح الماء في البيزومتر وكذلك أعلي هذا السطح اما اسفل هذا السطح فيكون موجب القيمة وتزداد

قيمته بزيادة البعد عن هذا السطح. والجدير بالذكر انه مما سبق يتضح ان جهد الضغط ينطبق فقط علي الأراضي المشبعة وفوق المشبعة ويأخذ قيمة موجبة.

3- جهد الشد (الضغط السالب) matric potential

وهو الجهد المرتبط بقوي الادمصاص والخاصية الشعرية بالتربة وهذه القوي تجذب الماء وتربطه وتخفض من طاقة جهده. بالمثل فان جهد الشد (Ψ_m) علي أساس وحدة الوزن يكون $\Psi_m = - h$

وفي التربة يكون عبارة عن المسافة الراسية بين النقطة المراد قياسها وبين سطح الماء داخل مانومتر مملوء بالماء ومتصل بهذه النقطة عن طريق جزء مسامي كأسي الشكل وذلك عند الاتزان. ومما سبق يتضح ان جهد الشد ينطبق فقط علي الأراضي غير المشبعة ويأخذ قيمة سالبة ، اما الأراضي المشبعة فان قيمته تكون مساوية للصفر ويعد جهد الشد صفة ديناميكية متغيرة بالتربة وذلك لان الأرض بعد تشبعها ينخفض المحتوي الرطوبي الموجود بها تدريجيا نتيجة البخر او الامتصاص بواسطة النبات او التسرب العميق ويتم قياسها بالتربة عن طريق جهاز الشد الرطوبي (التنشيومتر tensiometer) لقيم اقل من(100 KPa (bar1 وجهاز الشد الرطوبي ذو مقياس التفريغ vacuum gage tensiometer والذي يتكون من رأس من السيراميك المسامي علي شكل كأسي ceramic porous cup متصل بأنبوبة من البلاستيك مملوءة بالماء تأخذ أطوالا مختلفة وتسد بسداده من المطاط وتتصل من اعلي بعداد لقياس التفريغ vaccum gage .



شكل (٧٢) جهاز شد رطوبي
أ ـ ذو مقياس تفريغ و ب ـ ذو مانومتر زئبقي

عمليا مدي القياس ما بين صفر – 0.85 بار وهو مدي لا باس به من حيث يكون 50% او اكثر من الماء المتاح قد اخذ بواسطة النبات في هذا المدي في الأراضي الطينية وكل الماء المتاح بالاراضي الرملية.

تجاريا يكون مقياس التفريغ ذو تقسيم من صفر – 100 وهذا يقابل مدي الشد من صفر الي 100 سم ماء أي ان كل علامة تمثل 1سم بار والتقسيم من صفر الي 1000 لنفس مدي الشد فتكون كل علامة ممثلة 1 مللي بار

القانون المستخدم

أ- في حالة جهاز مقياس التفريغ

$\Psi_m = -(R * N) + Z_0$

حيث R هي قراءة عداد مقياس التفريغ

N تساوي (1) اذا كان المقياس مدرج ل 1000 قسم (مللي بار) و تساوي (10) اذا كان المقياس مدرج ل 100 قسم (سم بار)

Z_0 هي البعد الرأسي لمقياس التفريغ عن الجزء السيراميكي

ب – في حالة استبدال مقياس التفريغ بالمانومتر الزئبقي

$\Psi_m = -Z_{Hg} * (P_{Hg} / P_W) + Z$

وبالتعويض عن كثافة الزئبق = 13600 كجم /م^3 وكثافة الماء = 1000 كجم / م^3 وكذلك $Z = Z_{Hg} + Z_0$

$$\Psi_m = -13.6\, Z_{Hg} + Z_{Hg} + Z_0 = -12.6\, Z_{Hg} + Z_0$$

حيث P_{Hg} هي كثافة الزئبق ، P_W كثافة الماء ، Z_{Hg} هو ارتفاع الزئبق في المانومتر فوق السطح المعرض للضغط الجوي

مثال 1 : في حالة جهاز شد رطوبي tensiometer ذو مقياس تفريغ مقسم من صفر الي 100 كانت القراءة 31 لأرض متوسطة القوام. وكانت المسافة الراسية من المقياس الي الجزء السيراميكي المسامي 80 سم.

احسب :أ- جهد الشد

ب- ارتفاع الزئبق داخل المانومتر ، لو ان مقياس التفريغ استبدل بمانومتر زئبقي

الحل

أ-

$\Psi_m = -(R * N) + Z_0$

$\Psi_m = -(31 * 10) + 80 = -310 + 80 = -230$ CM $H_2O = -0.23$ bar $= -23$ KPa

وهو واقع في مدي السعة الحقلية (10-33KPa)

ب-

$\Psi_m = -12.6\ Z_{Hg} + Z_0$

$-230 = -12.6\ (Z_{Hg}) + 80$

$Z_{Hg} = -310 / -12.6 = 24.6$ cm Hg

مثال 2: أ-على نفس بيانات الجهاز في المثال السابق. ما هي قراءة المقياس المتوقعة عندما تكون الأرض في الحالة المشبعة

ب- إذا تغيرت المسافة الراسية من المقياس الي الجزء السيراميكي المسامي الي 1.2 متر فما هي القراءة للأرض المشبعة في هذه الحالة

الحل

جهد الشد يساوي الصفر في الحوال المشبعة

أ-

$0 = -R * 10 + 80$ cm

$R = -80 / -10 = 8$cb

ب-

$0 = -R * 10 + 120$ cm

$R = -120 / -10 = 12$ cb

ومن هذا يتضح أن:

1- قيمة القراءة لا تساوي صفرا في الحوال المشبعة
2- قيمة القراءة لحالة الجهد الواحدة بالتربة تختلف باختلاف طول جهاز الشد

مثال 3: اذا كانت المسافة بين سطح الزئبق في المستودع حتي مركز بالجزء السيراميكي Z_0 = 2سم وكانت قيمة ارتفاع الزئبق في الانبوبة الشعرية Z_{Hg} = 14.2 سم احسب جهد الشد matrix potential

الحل

$Z_0 = 20$ cm

$Z_{Hg} = 14.2$ cm

$\Psi_m = -12.6\ Z_{Hg} + Z_0 = -12.6 * 14.2 + 20 = -158.92$ cm Hg

مثال 4 : اذا كان جهد الشد = صفر وكانت Z_0 = 20 فأوجد المسافة بين سطح الزئبق حتي ارتفاع في المانومتر الزئبقي؟

الحل

Ψ_m = zero

Z_0= 20

Z_{Hg}=??

Ψ_m =-12.6 Z_{Hg} + Z_0

0= -12.6 Z_{Hg} +20

Z_{Hg} =-20/-12.6 = 1.587

مثال 5: اذا استخدم تنشيوميتر ذو عداد تفريغ من صفر :100 اذا كانت قراءة العداد مقدارها 0.34 وكانت المسافة بين العداد من مركز الجزء السيراميكي مقداره 100 سم احسب جهد الشد

الحل

N= 10

Z_0= 100 cm

R= 0.34

Ψ_m = - (R * N) +Z_0

= - (0.34 * 10) +100= - 103.4 cm H_2O = - 0.1034 bar = -10.34 KPa

4 – الجهد الاسموزي Osmotic potential

وهو راجع لتأثير المواد الذائبة (solutes) بماء التربة والتي تؤثر على خواصه الديناميكية الحرارية وتخفض من طاقة الجهد الخاصة به وذلك بخفض الضغط البخاري للماء الأرضي.

والجهد الأسموزي يأخذ قيم سالبة او صفر ولكن يعد الجهد الاسموزي غير هام ويمكن اهماله في حالة دراسة تدفق الماء لان الاملاح تتحرك مع الماء وسريعا ما تتوازن بالأرض

والاساس لمعرفة اتجاه حركة الماء بالتربة من خلال معادلة الجهود

$\Psi_h=\psi_P+\psi_M+\psi_g$

وعند الاتزان تتساوي قيم الجهود ولا تحدث حركة الماء بالتربة $\psi_h=\psi_P=\psi_M=\psi_g$ equilibrium potential (جهد متزن)

وعند عدم الاتزان لا تتساوي قيم الجهود وتحدث حركة للماء $\psi_h\neq\psi_P\neq\psi_M\neq\psi_g$ non-equilibrium potential (جهد غير متزن)

مثال 5: قطاع أرضي او قطاع تربة جهد الماء الهيدروليكي في حالة اتزان فاذا كان مستوي الماء الأرضي عند عمق 70 سم وأيضا المستوي القياسي من سطح التربة فأوجد القيم المكونة للجهد الهيدروليكي Ψ_m و Ψ_z و Ψ_p عند الا عماق المختلفة للقطاع بداية من عمق صفر وكل 10 سم حتي عمق 110 سم

الحل

	Ψ_m	Ψ_z	Ψ_p	Ψ_h
0	-70	+70	0	0
10	-60	+60	0	0
20	-50	+50	0	0
30	-40	+40	0	0
40	-30	+30	0	0
50	-20	+20	0	0
60	-10	+10	0	0
R.L 70	0	0	0	0 W.T
80	0	-10	+10	0
90	0	-20	+20	0
100	0	-30	+30	0
110	0	-40	+40	0

علي نفس المثال السابق تم تغيير مستوي المقارنة من 70 الي عند سطح التربة

	Ψ_m	Ψ_z	Ψ_p	Ψ_h	
0	-70	0	0	-70	R.L
10	-60	-10	0	-70	
20	-50	-20	0	-70	
30	-40	-30	0	-70	
40	-30	-40	0	-70	
50	-20	-50	0	-70	
60	-10	-60	0	-70	
70	0	-70	0	-70	W.T
80	0	-80	+10	-70	
90	0	-90	+20	-70	
100	0	-100	+30	-70	
110	0	-110	+40	-70	

وطالما الجهد الهيدروليكي ثابت اذا فهو في حالة اتزان ولا تحدث حركة للماء

مثال 6: قطاع من التربة يحدث تبخير للماء عند سطحه فاذا كان مستوي الماء الأرضي عند عمق 40 سم ومستوي المقارنة عند سطح التربة اوجد قيم كلا من Ψ_h و Ψ_z و Ψ_p علي طول هذا القطاع لعمق 60 سم اذا علمت أن قيم Ψ_m في الجدول قد قيست بواسطة تنشيومتير وكانت عند الأعماق المختلفة كالتالي عند سطح التربة اذا قيست كل 10 سم

الحل

	Ψ_m	Ψ_z	Ψ_p	Ψ_h	
0	-100	0	0	-100	R.L
10	-45	-10	0	-55	
20	-26	-20	0	-46	
30	-12	-30	0	-42	
40	0	-40	0	-40	W.T
50	0	-50	+10	-40	
60	0	-60	+20	-40	

نظرا لثبات قيمة الجهد الهيدروليكي تحت مستوي الماء الأرضي فلا تحدث حركة بينما قيم الجهد الهيدروليكي فوق مستوي الماء الأرضي اقل فيتحرك الماء من اسفل لاعلي مما يؤكد حدوث عملية التبخير للماء

مثال 7: قطاع أرضي يحدث به حركه للماء الي اسفل من خلال مصرف علي عمق 40 سم من سطح الأرض فاذا كان مستوي المقارنة عند سطح التربة فأوجد قيم Ψ_h و Ψ_z و Ψ_p خلال هذا القطاع حتي عمق 60 سم وكل 10 سم اذا قيست قيم جهد الشد MATRIC POTENTIAL بواسطة تنشيومتير ذو جهد عند الأعماق المختلفة

	Ψ_m	Ψ_z	Ψ_p	Ψ_h
0	-20	0	0	-20
10	-15	-10	0	-25
20	-10	-20	0	-30
30	-5	-30	0	-35
40	0	-40	0	-40
50	0	-50	+10	-40
60	0	-60	+20	-40

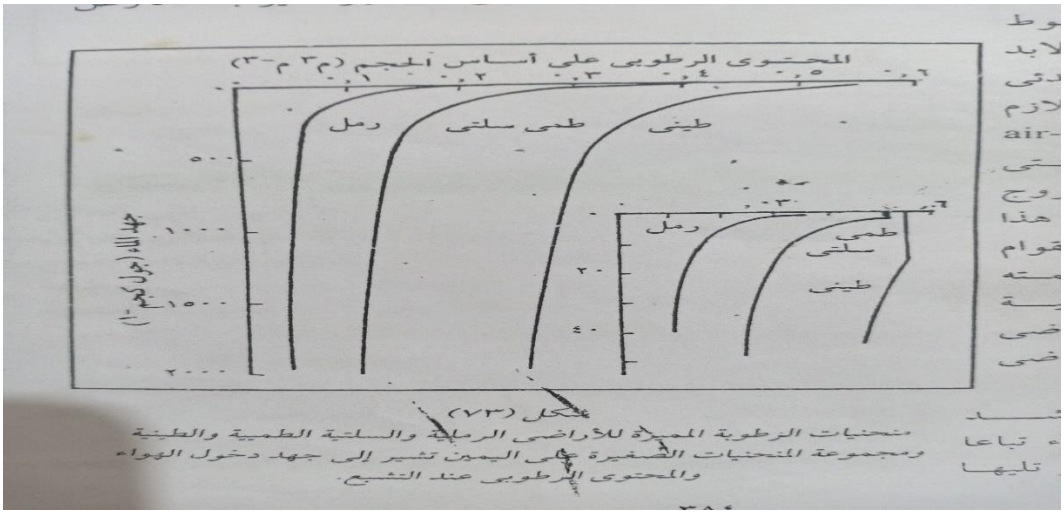
R.L

W.T

نظرا لان قيم الجهد الهيدروليكي فوق مستوي الماء الأرضي أعلي من قيم الجهد الهيدروليكي اسفل مستوي الماء الأرضي لذا الماء يتحرك من الجهد الهيدروليكي الاعلي الي الجهد الهيدروليكي الأقل أي من اعلي لاسفل

<u>منحنى الرطوبة المميز للأراضى soil moisture characteristics curve</u>

وهو منحني يمثل علاقة المحتوي الرطوبي moisture content مع جهد الشد matric potential وهي علاقة ليست خطية وتعد متغيرة بالنسبة لقوام الأرض (وخاصة محتوي التربة من الطين) ويظهر تأثير بناء الأرض في الضغوط المنخفضة



شكل (٧٣)
منحنيات الرطوبة المميزة للأراضى الرملية والسلتية الطمية والطينية ومجموعة المنحنيات الصغيرة على اليمين تشير الى جهد دخول الهواء والمحتوى الرطوبى عند التشبع.

والجدير بالذكر ان العلاقة ما بين جهد الشد والمحتوي الرطوبي تتعرض لما يعرف **بظاهرة عدم الارتداد hysteresis** حيث عندما تتحول من الحالة المشبعة الي الحالة الجافة بزيادة جهد الشد (عملية التجفيف) فان المنحني يتخذ شكلا مختلفا عن حالة التحول من الحالة الجافة الي التشبع (عملية الابتلال) بنقصان جهد الشد والمنحنيان لا ينطبقان علي بعضهما البعض وهذه الظاهرة مرجعها عدم الانتظام الهندسي للفراغات (المسام) وتأثير الهواء المحبوس وكذلك تأثير الانتفاخ والانكماش للتربة.