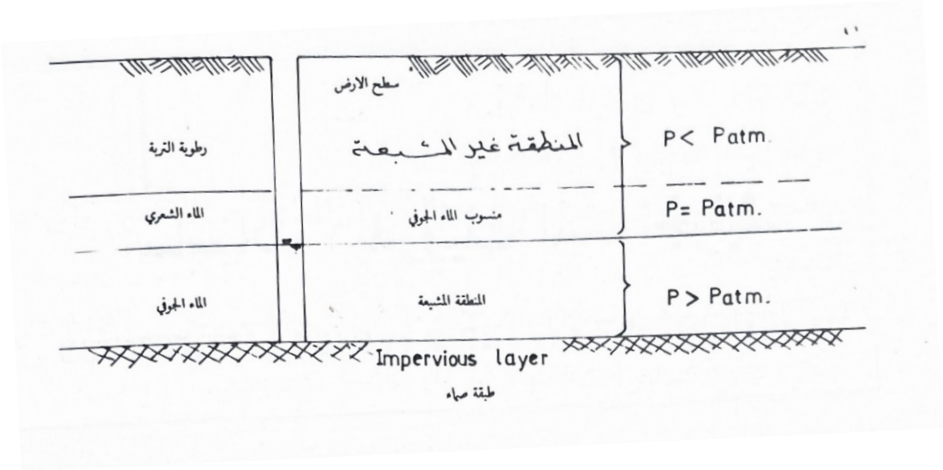
المحاضرة الثانية/ اساسيات هيدروليك المياه الجوفية

قبل التعرف على اهم القوانين التي تتحكم بحركة المياه الجوفية يمكن اعطاء صورة مبسطة عن وجود المياه الجوفية في التربة تحت السطحية Subsurface Soil وماذا يعني منسوب المياه الجوفية.

يمثل الشكل التالي مخططاً توضيحياً لموقع المياه الجوفية حيث ان هذه المياه تقع في المنطقة المشبعة Saturated Zoneالتي تكون فيها الفراغات البينية كافة مملوءة بالمياه. ان السطح العلوي للتربة المشبعة يمثل موقع النقاط التي يكون ضغطها مساوياً الى الضغط الجوي ويدعى سطح الماء الحر phreatic Surface أو منسوب المياه الجوفية Ground Water table ويمكن تحديد هذا المنسوب عند حفر ثقب مفتوح Open bore holeبحيث يخترق المنطقة المشبعة. ان الضغط يوضح بوصفه ضغطاً نسبياً (P) مقارنة بالضغط الجوي Patm فالضغط عند منسوب الماء الجوفي يمكن التعبير عنه(P= Patm)

تمتد كتلة المياه الجوفية اعلى قليلاً من منسوب المياه الجوفية تحت تأثير الخاصية الشعرية لكن الماء يبقى ممسوكاً تحت ضغط اقل من الضغط الجوي ، تدعى المنطقة التي يحتل فيها الماء الشعري معظم حجم الفراغات البينية في التربة بالحافة الشعرية Capillary fringe تقع عادة فوق منسوب الماء الجوفي اما المنطقة غير المشبعة Unsaturated Zone فتكون فراغاتها البينية مملوءة جزئياً بالماء والجزء المتبقي يحتله الهواء.



شكل: مخطط مبسط لوجود الماء في المنطقة تحت السطحية

1. بعض الصفات الفيزيائية المهمة للماء:

إن حركة المياه الجوفية ترتبط بالأساسيات الهيدروديناميكية المعروفة جيداً التي لا تعد سوى إعادة لصياغة الاساسيات في موضوع الميكانيك. ومن النظرة الفيزيائية يمكن عد النظام الهيدروديناميكي **المتكامل عبارة عن خزين للعلاقات المهمة الاتية: معادلة الاستمرارية، معادلة حالة المياه الجوفية، المعادلات الديناميكية لحركة المياه الجوفية.**

1.1. كثافة الماء Mass Density

يمكن تعريف كثافة الماء بانها الكتلة مقسومة على الحجم، وتتغير هذه الكثافة بتغير الضغط، ودرجة الحرارة، وتراكيز المواد الصلبة الذائبة في الماء. يشار الى كثافة الماء بالرمز ρ ،وقيمتها تقريباً مساوية الى 1000 $kg\backslash m^3$.

2.1. لزوجة الماء Viscosity of Water

تعد لزوجة الماء مقياساً لمقاومته للقص او التشوه الزاوي حيث تنتج قوى الاحتكاك في السوائل مع الماء من التماسك وتبادل الحركة بين الجزيئات فيه وتنخفض لزوجة زيادة درجة الحرارة بسبب نقصان قوة التماسك مع ارتفاع درجات الحرارة. في حالة الجريان الرقائقي Laminar flow تتحرك جسيمات الماء في خطوط مستقيمة ومتوازية ويبدو الماء كأنه يتحرك بانزلاق رقائق ذات سمك متناهي الصغر بالنسبة الى الطبقات المجاورة وتكون حركة كل طبقة بسرعة مختلفة عن الطبقة المجاورة لها، ويمكن توضيح التأثير الكلي لطبقات الماء الرقيقة على شكل انحدار السرعة في الاتجاه الصادي Y - direction وبزاوية قائمة على اتجاه الحركة، وعند اي نقطة معطاة فأن انحدار السرعة Velocity gradient هو dv/dy، واجهاد القص Viscous Shear Stress يمثل F/A الاتجاه الصادي لذا فأن:

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{dv}{dy}$$

حيث ان η اللزوجة الديناميكية للماء (تسمى هكذا لاحتواها على قوة) وتساوي تقريبا (10^{-3} kg/m.sec) عند درجة حرارة 20 C.

اما اللزوجة الكينماتيكية v فيمكن ان يعبر عنها

$v = \eta/\rho$

وتسمى كذلك لعدم وجود قوة حيث ان الابعاد الوحيدة هي الطول والزمن كما في الكينماتيكية. ان اللزوجة الكينماتيكية للماء تساوي تقريباً (10^{-6} m/sec) عند درجة حرارة.

2. القانون الأول

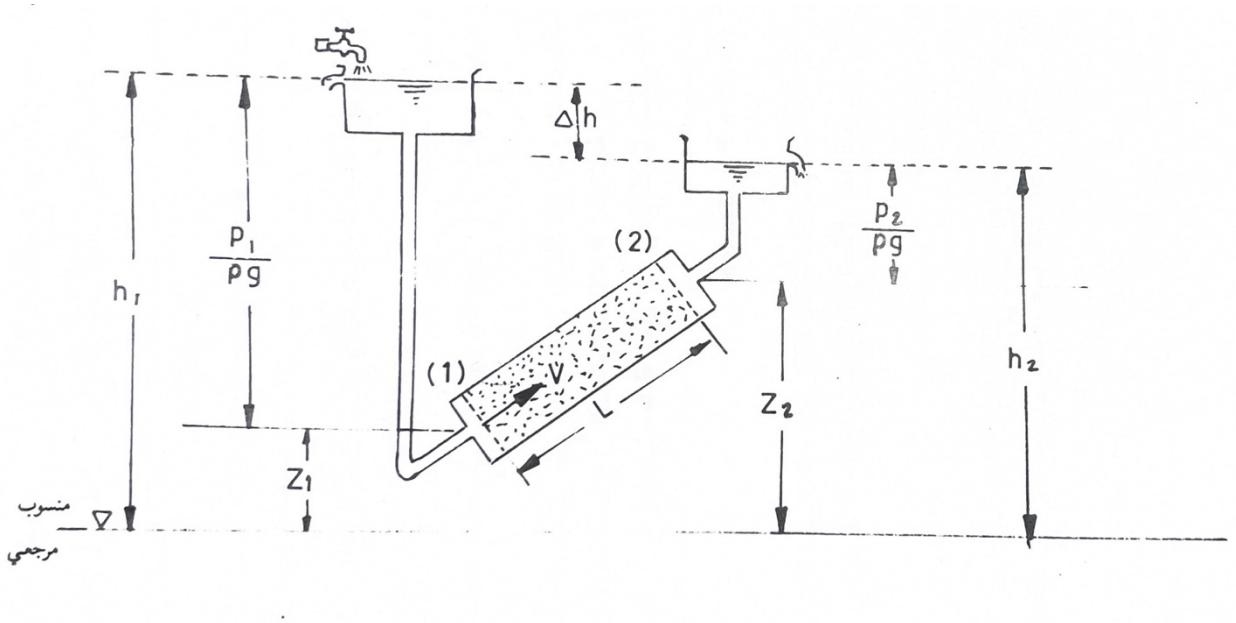
قانون حفظ الطاقة Law of Conservation of Energy

ان قانون حفظ الطاقة ان الطاقة لا تفنى ولا تخلق من العدم في النظام المغلق.

افترض ان جزيئة مائع تتحرك خلال زمن Δt من النقطة (1) الى النقطة (2) وعلى طول خط انسياب المائع داخل الانبوب الموضح في الشكل أدناه

ان جزيئة المائع لها ثلاثة انواع من صور الطاقة المتبادلة لوحدة الحجم:

الطاقة الحركية لوحدة الحجم	$\frac{1}{2}\rho V^2$
الطاقة الكامنة لوحدة الحجم	$\rho g Z$
طاقة الضغط لوحدة الحجم	P



وإذا افترضنا أنه لا يحدث ضياع بالطاقة نتيجة للاحتكاك في الانبوب الموضح في الشكل فأنه يمكن كتابة العلاقة الاتية:

$$\left(\frac{1}{2}\,\rho V^2 + \rho g Z + P\right)_1 + \left(\frac{1}{2}\,\rho V^2 + \rho g Z + P\right)_2 = Constant \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1$$

وهذه المعادلة تتحقق فقط عندما يكون الجريان من النوع الثابت والمستقر Steady Flow حيث لا يوجد ضياع في الطاقة وكثافة المائع ρ تعتبر ثابتة وتسمى هذه المعادلة (1) معادلة برنولي ويمكن كتابتها:

$$\left(\frac{1}{2}\,\rho V^2 + \rho g Z + P\right) = Constant \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2$$

وبما ان سرعة الجريان للماء الجوفي (V) عادة تكون قيمتها قليلة أذن يمكن إهمال قيمة الحد الاول في المعادلة (2) بدون حدوث اي خطأ في المعادلة وتصبح بالصيغة التالية:

$$(\rho g Z + P) = Constant \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3$$

وإذا افترضنا ان الجريان من النوع الرقائقي فأن مجموع الطاقة الكامنة وطاقة الضغط في المستوى المتعامد مع اتجاه الجريان يساوي قيمة ثابتة Constant لكل نقاط المقطع.

في المعادلة (3) تم التعبير عن الطاقة لوحدة الحجم، فاذا عبرنا عن الطاقة لوحدة الوزن بالقسمة على ρg فتتحول معادلة الطاقة (3) الى معادلة الجهد P

$$\left(\frac{P}{\rho g} + Z\right) = Constant = h \quad \ldots\ldots (4$$

حيث ان:

pressure headشحنة الضغط = $P/\rho g$

Elevation head شحنة الارتفاع= Z

Hydraulic headالشحنة الهيدروليكية =h

ان الانبوب الموضح في الشكل اعلاه مملوء بالرمل ولكي تتحرك جزيئة المائع خلال خطوط الجريان عليها ان تتغلب على مقاومة جزيئات الرمل لذا فأنها تفقد جزء من الطاقة التي يمكن حسابها عن طريق ضياع الشحنة (Δh = loss head) يمكن كتابة معادلة برنولي على الشكل الآتي:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \Delta h_l \quad \ldots\ldots (5$$

او تكتب بالصيغة التالية

$$\Delta h_l = \left(\frac{P_1}{\rho g} + Z_1\right) - \left(\frac{P_2}{\rho g} + Z_2\right) \quad \ldots\ldots (6$$

ويمكن تعريف ضياع الشحنة بأنه فقدان الجهد وطاقة الضغط لوحدة الوزن عندما يتحرك المائع خلال المقطع من (1) الى النقطة (2)، كما ان شحنة الطاقة تفقد عن طريق مقاومة الاحتكاك.

3. جهد الماء الجوفي Potential Of Ground Water

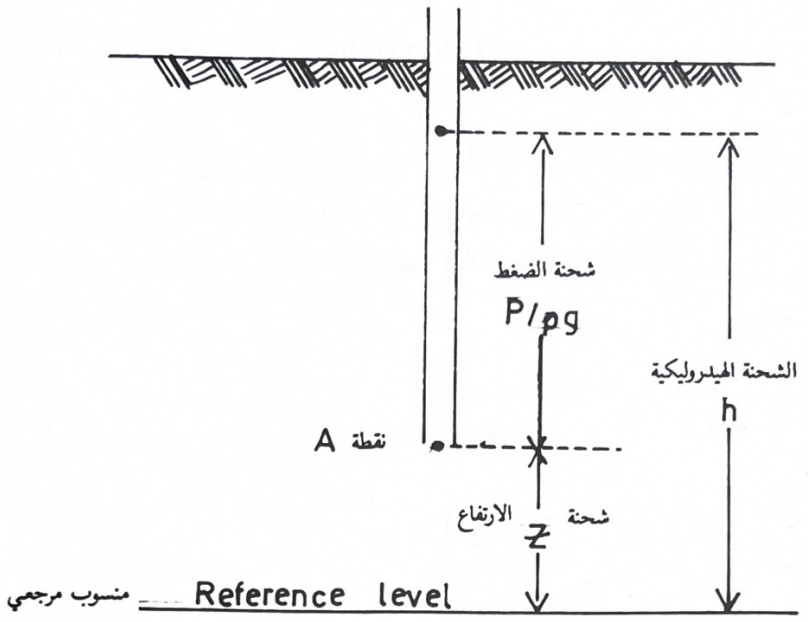
ان شحنة الجهد Potential head او الشحنة الهيدروليكية للماء الجوفي عند نقطة (A) الموضحة في الشكل ادناه وتمثل منسوب الماء داخل انبوبة مفتوحة الطرفين ونهايتها السفلي عند النقطة (A) ويقاس منسوب الماء داخل الانبوبة من مستوي مفروض. تتكون الشحنة الهيدروليكية من مجموع شحنة الضغط (P/pg) وشحنة الارتفاع (Z) ويمكن توضيح العلاقة بالشكل الآتي :

$$h = \frac{P}{\rho g} + Z \quad \ldots\ldots (7$$

حيث ان:

Z= منسوب النقطة المعينة من مستوى مرجعي Reference – Plane

P= الضغط للماء الجوفي عند تلك النقطة نسبة الى ضغط مرجعي Reference pressure يؤخذ عادة الضغط الجوي P_{atm} المساوي الى الصفر.

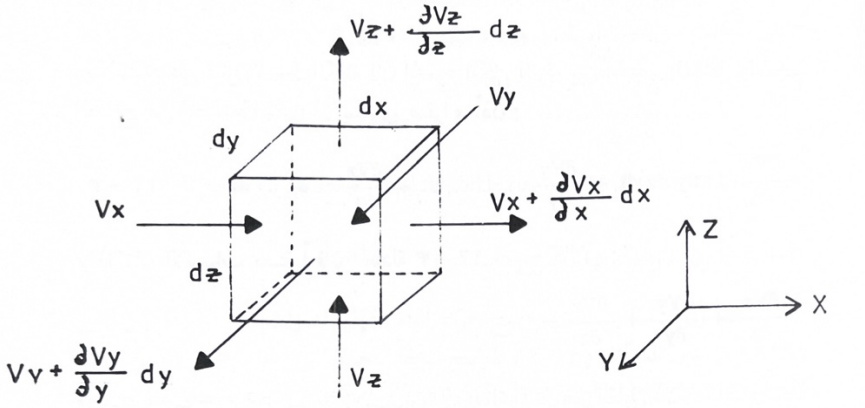


4. القانون الثاني

قانون حفظ الطاقة Law of Conservation of Mass

ان كتلة المائع في أي نظام مغلق لا تفنى ولا تخلق من العدم

يوضح شكل ادناه ثلاث احداثيات z ، y، xمتعامدة بعضها مع بعض وثابتة في الفراغ . ويعد متوازي مستطيلات صغير، ذا جوانب dz ، dy، dx، كما ان المائع ووسط الجريان غير قابلين للانضغاط خلال مدة زمنية مقدارها dt.



توزيع السرعة لمائع في الفراغ على شكل عنصر صغير كمتوازي مستطيلات.

ان المائع يدخل الصندوق بالمعدل نفسه (الحجم / الزمن) لخروجه من الصندوق، ومعدل انتقال الحجم خلال المقطع يكون مساوياً لحاصل ضرب مركبة السرعة المتعامدة مع مساحة المقطع واذا افترضنا ان توزيع

السرعة يكون خطياً خلال جوانب الصندوق dz ، dy، dx، فيمكن كتابة مركبات السرعة المتعامدة مع أوجه الصندوق كما موضح في الشكل اعلاه كالآتي:

الفرق بالحجم المنتقل خلال الاحداثي - x- وبزمن dt يساوي

$$\left(Vx + \frac{\partial Vx}{\partial x}dx\right) dy\, dz\, dt - Vx\, dy\, dz\, dt \quad \ldots (8$$

ويمكن كتابته بالشكل الآتي

$$\frac{\partial Vx}{\partial x} dx\, dy\, dz\, dt \quad \ldots (9$$

وبالطريقة نفسها يمكن كتابة الفرق بالحجم المنتقل خلال الاحداثيين z ، y بزمن dt على التوالي : -

$$\frac{\partial Vy}{\partial y} dy\, dx\, dz\, dt \quad \ldots (10$$

$$\frac{\partial Vz}{\partial z} dz\, dx\, dy\, dt \quad \ldots (11$$

وبالاستناد على قانون ضغط الكتلة فأن المجموع الكلي للفرق بين الحجم الداخل والحجم الخارج من الصندوق يجب ان يساوي صفراً، أذن :

$$\frac{\partial Vx}{\partial x} dx\, dy\, dz\, dt + \frac{\partial Vy}{\partial y} dy\, dx\, dz\, dt + \frac{\partial Vz}{\partial z} dz\, dx\, dy\, dt \quad \ldots (12$$

واذا كان الانسياب مستقراً فأن المعادلة12 تصبح كالاتي :

$$\frac{\partial Vx}{\partial x} + \frac{\partial Vy}{\partial y} + \frac{\partial Vz}{\partial z} = 0 \quad \ldots (13$$

المعادلة (13) تمثل معادلة الاستمرارية في حالة المائع غير القابل للانضغاط وعندما يكون الانسياب مستقرا في موضوع ميكانيك الموائع، يتم عادة اختيار الاحداثيات بحيث ينطبق الاحداثي -x- يكون مماساً -x - على اتجاه الانسياب لنقطة معينة او بعبارة أخرى ان الاحداثي لمسار الانسياب عند تلك النقطة وبذلك يكون:

Vx = 0, Vy=0, Vz=0

استنادا الى هذه الحالة ، هناك انتقال للحجم عبر الاحداثي x فقط وبذلك يكون الفرق بالحجم المنتقل عبر هذا الاتجاه لوحدة الزمن dt مساوياً الى الصفر لذا فأن :

$$\left(Vx + \frac{dVx}{dx}dx\right) dy\, dz\, dt - (Vx) dy\, dz\, dt = 0 \quad \ldots (14$$

او

$$Vx + dx\, dA - Vx\, dA = 0 \quad \ldots (15$$

او

$$(VdA)_{x+dx} = (VdA)_x = dQ \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.(16$$

ان معدل الجريان dQ يكون ثابتاً خلال مقطعين تفصلها مسافة صغيرة مع اعتبار ان انبوب الجريان stream tube محدد بخطوط جريان تقع في المستوي dx dy والمستوي الاخر dx dz .

المعادلة (16) تصلح عندما تكون مساحة مقطع الجريان صغيرة جداً : dA = dy dz واذا عدت مساحة الجريان ، A ، فيمكن كتابة معادلة الاستمرارية بالشكل الآتي : -

$$Q = \int_A V.dA = \bar{V}A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.(17$$

$\bar{V}$ تمثل متوسط مركبة السرعة المتعامدة مع مساحة المقطع الجريان