المياه الجوفية Groundwater

المياه الجوفية ذلك الجزء من المياه المحجوز في الخزان الجوفي المسامي، والناتج من تسرب وتخلخل مياه الامطار الى التربة والطبقات السفلى، ومن المصادر المهمة للمياه الجوفية هي تسرب مياه الامطار او المياه السطحية الى المخزون الجوفي، والتغذية الصناعية لزيادة المخزون الجوفي، والتسرب من الخزانات وشبكات المياه واحواض التحليل وغيرها من المنشات، وتسرب مياه الري والبحيرات او الابار المثقوبة التي تستخدم للتخلص من الفضلات السائلة والمياه العادمة. ومن اهم العوامل المؤثرة على زيادة المخزون الجوفي: خواص الماء (مثل: الكثافة، واللزوجة) وخواص الوسط الذي تنساب من خلاله المياه (مثل: المسامية، والنفاذية) والشروط الحدودية. ومن الطبيعي الاعتماد على المياه الجوفية لاسيما وتمثل مصدر مياه جيد خاصةً من النواحي البكتريولوجية، كما ويقل تاثير التغيرات الموسمية على كمياتها. تتواجد المياه الجوفية في المكونات الجيولوجية التي لها خاصية النفاذية permeability وتعرف بالطبقات الحاملة للمياه aquifers ولها مكونات تسمح بحركة محسوسة للمياه من خلالها. ويمكن تقسيم الماء الجوفي طبقا لمصادره الى:

1. ماء جوي Meteoric water وهذا يتعلق بالمياه في الغلاف الجوي.
2. ماء وليد (صهير) Juvenile water ويعبر عن مياه صهيرية تخرج الى سطح الارض مع مقذوفات البراكين.
3. ماء متجدد Rejuvenated water ويعبر عن الماء المستخرج مؤقتاً من الدورة الطبيعية (بفعل التجوية) ثم عاد اليها (بوساطة التحول والانضغاط).
4. ماء حبيس Commate water عند حدوث الانخفاض الكبير في قشرة الارض تمتلئ مسامات الصخور الرسوبية بالماء المالح. وعند رفع الصخور تخرج المياه العذبة لتحل محل الماء المالح. وعادة تزداد ملحية الماء الحبيس اكثر من مياه البحار نسبة لاذابة مواد معدنية اخرى عبر الحقب الزمنية الطويلة.

كما يمكن تقسيم المياه الجوفية على حسب فتحات الصخور على النحو التالي:

1. مياه مسامية Pore water: ان المسامات فيها عبارة عن فتحات في الصخور الرسوبية والمواد الحبيبية الاخرى، وهذه المسامات في حجم شعيرات مرتبطة مع بعضها مما يسمح معه بتطبيق قانون دارسي عليها.
2. ماء الشقوق (او ماء الصدع) Fissure or fault water: وتحدث التشققات والتصدعات في الصخور الرسوبية الكثيفة التبلور، ويمكن ان يكون للتشققات الرئيسة حجم اكبر من الشعيرات، اما التشققات الفرعية فيكون لها حجم الشعيرات. ويمكن احيانا تطبيق قانون دارسي عليها.
3. ماء فتحات كبيرة انبوبية او متكهنة Large tubular or cavernous openings water يختص بالفتحات الكبيرة للحجر الجيري (وتسمي المياه متكهنة او كارست: منطقة احجار جيرية ذات مجار جوفية) واحياناً في الصخور البركانية؛ وعادة يكون دفق الماء مضطرب.

ويمكن تقسيم الخزانات الجوفية الى:

- مسامية:

ومن امثلة الخزانات الجوفية المسامية Pore aquifers الخزانات في الرمل والحصى. ومن خواص هذه الخزانات وجود مسامات صغيرة بها، لتنساب المياه خلالها بسرعات تتراوح بين بضعة سنتيمترات الى بضع امتار في اليوم، وعادةً تكون اقل من 40 م يوم$^{-1}$.

- الخزانات الجوفية المتشققة Fissured aquifers:

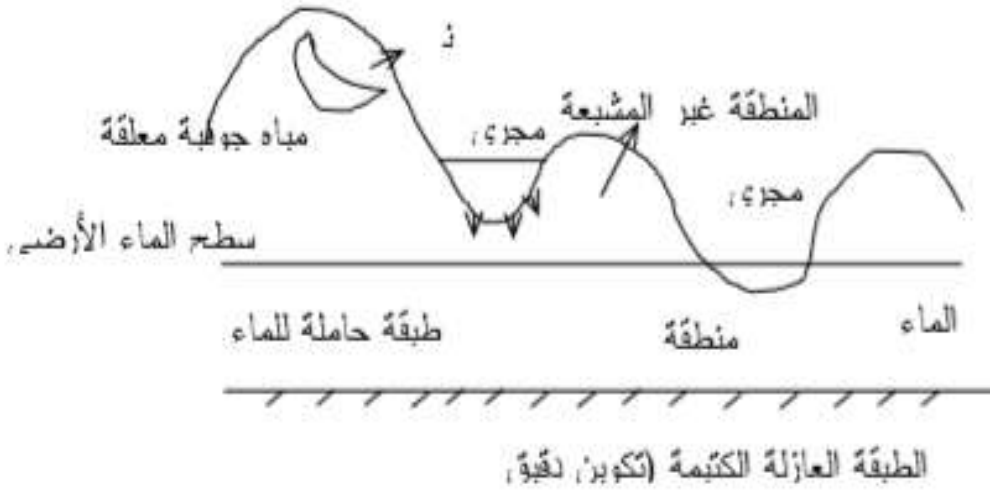
تختص بمجموعة من تشققات وتصدعات وانابيب طبيعية ناتجة من جراء عوامل ميكانيكية على الصخور او انكماشها اثناء عمليات تبريد الصخور البركانية. وتتراوح سرعة الماء فيها بين1 م يوم$^{-1}$ الى 8 كيلومتر يوم$^{-1}$.

- الخزانات الجوفية الكارست (الجيرية) Karstic aquifers:

تتكون في الحجر الجيري والدلوميت حيث تقوم المياه بعمل كهوف عند اذابتها للصخور، وعامةً تعلو فيها سرعات الماء التي ربما تصل الى30 كيلومتر يوم$^{-1}$.

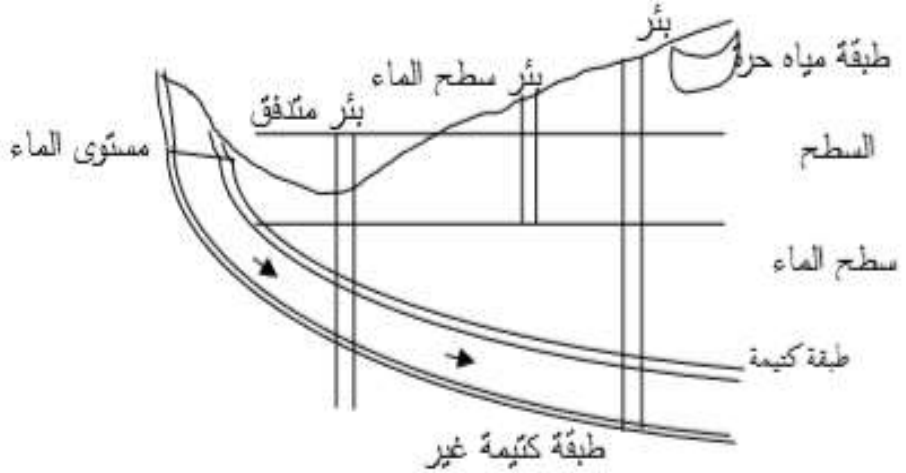
تضم مناطق تواجد المياه الجوفية التالي:

- تكوين دقيق المسام Aquiclude: تكوين غير نفاذ يمكن ان يمتص الماء لكنه لا يسمح بتمريره بكميات وافرة تغذي نهر او بئر تغذية محسوسة.
- تكوين غير منفذ (كتيم) Aguiftige: تكوين ليس به مسامات متصلة ومن ثم لا يمكنه امتصاص او توصيل الماء (حجر القرانيت الصلب).
- منطقة التهوية – المياه المعلقة، غير المشبعة: Aeration zone of suspended water ,unsaturated zone: هذه المنطقة قريبة من سطح الارض حيث ان المسامات ممتلئة جزئياً بالماء وجزئياً بالهواء؛ وتسمى المياه في هذه المنطقة بالمياه المعلقة (او مياه رطوبة التربة) soil moisture.
- منطقة التشبع saturation zone: هذه المنطقة توجد تحت منطقة المياه المعلقة حيث كل المسامات ممتلئة بالمياه وتسمى المياه في هذه المنطقة بالمياه الارضية او الجوفية.
- سطح المياه الجوفية: مياه ارضية حرة؛ مياه غير ارتوازية: هو السطح الذي يفصل بين منطقة التهوية ومنطقة التشبع. والضغط على هذا السطح جوي عندما تكون كتلة المياه الارضية غير محصورة بتكوين غير منفذ في اعلاها ويسمى ايضا بالسطح غير الارتوازي. يوضح الشكل ادناه المناطق المختلفة المذكورة اعلاه.



انواع الطبقات الحاملة للمياه:

- طبقة حاملة للمياه غير المحجوزة (طبقة المياه الحرة unconfined aquifer: هي التي يمثل فيها سطح الماء الجوفي اعلى منطقة التشبع وتسمى ايضا بالطبقة الحاملة للمياه الحرة او مستوى الماء الجوفي phreatic surface او الطبقة غير الارتوازية.
- طبقة المياه الحبيسة (المحصورة) confined aquifer: تحدث عندما تكون المياه الجوفية محصورة بين طبقتين كتيمتين تحت ضغط اكبر من الضغط الجوي وتسمى ايضا بالطبقة الارتوازية او طبقة الضغط.
- طبقة المياه الحرة المعلقة perched aquifer: نوع خاص من الطبقة الحاملة للماء غير المحصورة وتحدث عندما ينفصل جزء من المياه الجوفية بطبقة كتيمة على مساحة صغيرة بمنطقة التهوية فوق جسم المياه الارضية. ويوضح الشكل ادناه انواع الطبقات الحاملة للماء.



جريان الماء الجوفي

استخدم دارسي في عام 1856م قاعدة هيزن وبواسيلي Poiseuille – Hazen لانسياب المائع خلال الانابيب الشعرية لسريان الماء عبر الوسط النفاذي ويطبق قانون دارسي على الجريان الرقائقي فقط، وجريان المياه الجوفية رقائقي (طبقي). اما معدل الجريان لحوض الماء الجوفي فيوجد من المعادلة التالية:

$$Q = v.A$$

حيث:

Q = معدل جريان الماء.

A = مساحة حوض الماء الجوفي العمودية على اتجاه سرعة تدفق الماء فيه.

V= سرعة جريان الماء.

غالباً تكون السرعة الحقيقية للماء عبر المسامات (السرعة المسامية) اكبر من السرعة النسبية، وذلك نسبة لان مسار الماء خلال الوسط المسامي لا يتبع خطوط مستقيمة. ويمكن ايجاد السرعة الحقيقية بين المسامات من المعادلة التالية:

$$\bar{v} = \frac{V}{n_e}$$

حيث:

$\bar{v}$ = متوسط السرعة المسامية (او السرعة الحقيقية) (م ثا$^{-1}$).

v = السرعة النسبية (م ثا$^{-1}$).

n_e = المسامية الفعالة.

الابـــار

تؤخذ المياه من الخزان الجوفي بوساطة الابار، والبئر عبارة عن حفرة داخل الارض تتصل بالخزان الجوفي، وتنزح منها المياه يدوياً او باستخدام المضخات. ويمكن تقسيم الابار طبقا لطريقة انشائها الى:

ابار محفورة، وابار مساقة، وابار مثقوبة، وابار نافورية.

وتتكون البئر اساساً من خمسة اجزاء تضم:

1. عمود ادارة (Shaft): يمثل عمود الادارة الحفرة الداخلة من سطح التربة الى داخل الارض (او الى داخل الخزان الجوفي)، وفائدته السماح بسهولة الدخول الى المياه الجوفية.
2. غلاف (Casing): ويقوم الغلاف بتبطين جوانب عمود الادارة ومنعه من الانهيار، كما ويعمل لحجز الماء الجوفي وفصله عن اي ماء ملوث خارجي. وينشا الغلاف من الخرسانة او المعدن.

3. ساحب (Intake): اما الساحب فيمثل الجزء السفلي من الغلاف ويكون مخرم او من مواد مسامية. وفي كلا الحالتين فانه يظل داخل الخزان الجوفي ويسمح بدخول الماء الجوفي الى الغلاف
4. راس البئر: هو عبارة عن بناء خرساني في الغلاف (او حوله) على سطح التربة، ومهمته اعطاء قاعدة لنظام رفع الماء، ولمنع الملوثات من الدخول، ولصد الناس والحيوانات من الوقوع في البئر، ولتصريف اي ماء سطحي.
5. جهاز رفع الماء: نظام رفع الماء فيمكن ان يكون مضخة، او طاحونة هوائية، او اي طريقة اخرى النزح الماء من البئر.

الابار المحفورة Hand dug wells:

هذه الابار اكثر شيوعاً لرخص ثمنها وسهولة انشائها وصيانتها. وعادة يكون قطرها بين (1–1.3 متر)، وفي الغالب لا يزيد عمقها عن عشرة امتار. ويتم حفرها يدوياً باستخدام معول ومجرفة، وينزح تراب الحفر بجذبه بوساطة اي اناء مناسب الى اعلى سطح التربة، ومن الافضل ان يعمل على تبطين البئر.

الابار المساقة (الابار الانبوبية) Driven wells:

من اسهل الابار انشاءً، اذ يتم ادخال مقاطع من انابيب في راس مصفاة مدببة تسمى راس البئر، الى ان تصل الى الخزان الجوفي. وعادة يكون قطر راس البئر والانابيب 30 – 35 ملم، ويتم ادخال البئر الى عمق لا يتجاوز 8 امتار.

الابار النافورية Jetted wells:

يتم حفر الابار النافورية بضخ ماء عبر انبوب حزم مثبت في وضع راسي ومزود بجهاز قطع معين، ويتم تدوير الانبوب يدوياً مما يتيح سهولة ولوج الانبوب داخل الارض. ويضاف انبوب اخر في نهاية الاول الى ان تصل البئر الى الخزان الجوفي. ويمكن غمر انبوب قطره 38 ملم الى عمق 60 متر، كما وقد استخدمت انابيب اخرى قطرها 250 الى 380 ملم الى اعماق 100 مترا. وتحتاج هذه الانابيب الاخرى الى مضخات اكبر وكميات اكبر من الماء.

الابار المثقوبة (Augered or tube wells) Bored wells:

تحفر هذه الابار يدوياً بمنقاب دوار يلج الى باطن الارض ليمتلئ بالتراب، ثم يخرج ليفرغ ثم تعاد العملية. وعندما يصل الى الخزان الجوفي يسحب المثقاب ثم ينزل غلاف البئر ومصفاة البئر في عمود الادارة. عادة يكون قطر الابار المثقوبة في حدود 50 – 200 ملم باستخدام مصدر طاقة ونوع معين من اجهزة التثقيب.

الابار المحفورة بالدق (Percussion drilled wells) Cable tool wells:

تحفر هذه الابار بمعدات اكثر تعقيداً واغلى ثمناً، اذ تستخدم اجهزة ومعدات وسيارات للحفر وتجهز البئر بصورة جيدة.

انتاجية البئر:

تتاثر انتاجية البئر بعدة عوامل منها:

هبوط منسوب المياه الجوفية داخل حوضها، وابعاد الحوض وانتاجيته النوعية، والمخزون الجوفي، والايصالية، وطبيعة الجريان (مستقر او غير مستقر)، وعمق البئر، وانشاء الابار وطرق تشييدها وخواصها ونوعها.

التدفق المستقر في خزان محجوز confined aquifer (تدفق قطري radial flow):

انخفاض منسوب الماء الجوفي draw down (S) عبارة عن المسافة التي يهبط اليها مستوى سطح الماء الجوفي. ويقاس من السطح البيزومتري الهادي undisturbed قبل الضخ. ويمثل تغير الهبوط مع المساحة من البئر بمخروط الانخفاض cone of depression. وبافتراض التصريف المستقر من البئر Q فيحسب حسب معادلة ثيم وكالاتي:

$$k = \frac{Q}{2\pi H(S_1 - S_2)} \ln\left[\frac{r_2}{r_1}\right]$$

حيث ان:

K= معامل نفاذية الحوض، م يوم$^{-1}$.

Q= التصريف متر ساعة$^{-1}$.

S_1= منسوب المياه قبل الضخ، م.

S_2= منسوب المياه بعد الضخ، م.

H= السمك المشبع للحوض الجوفي.

r_2= نصف قطر خزان المياه ، م.

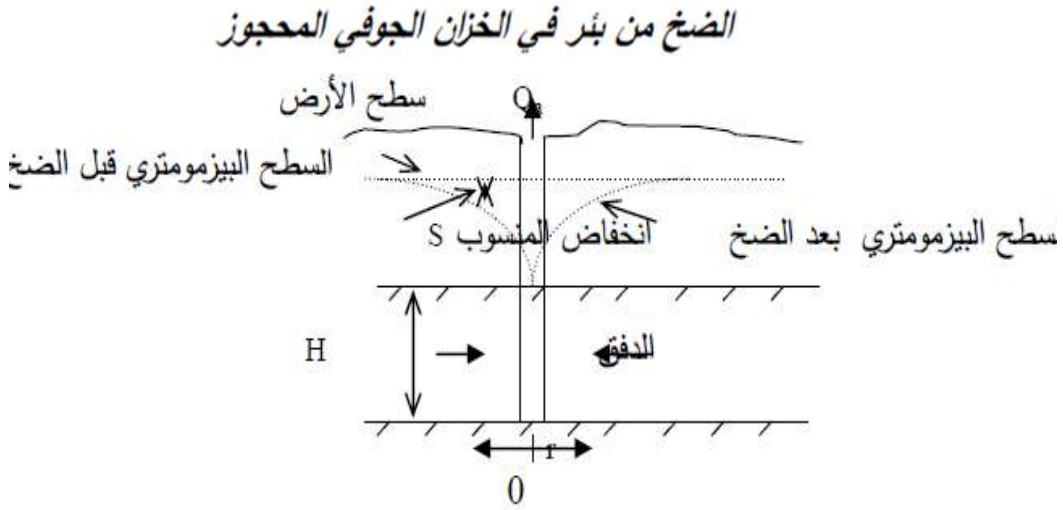
r_1= نص قطر البئر، م.

$$T = K.H$$

حيث T تمثل المنقولية للبئر اي الايصالية. م^2 يوم$^{-1}$.

معادلة ثيم Theim ' s equation (او معادلة الاتزان) قائمة على الافتراضات التالية:

1. الطبقة الحاملة للمياه متجانسة وموحدة الخواص وممتدة الى ما لا نهاية.
2. البئر يخترق سمك الطبقة الحاملة للماء ويصرف ماء منها.
3. عامل الايصالية ثابت في كل مكان ولا يعتمد على الزمن.
4. الضخ يتم بمعدل ثابت لفترة بحيث يمكن افتراض حالة مستقرة.
5. خطوط الجريان نصف قطرية (افقية).
6. الجريان رقائقي (طبقي).



الايصالية الهيدروليكية Hydraulic Conductivity

تعني الايصالية لحوض جوفي هي معدل نقل ماء عبر طبقة حاملة للماء عرضها وحدة العرض للحوض تحت وحدة الميل الهيدروليكي (وحدة فاقد سمت) والحوض ممتد على كل الارتفاع المشبع. ويمكن ايجاد الايصالية من المعادلة الاتية:

$$S = \frac{Q_o}{2\pi KH} \ln \frac{R}{r}$$

حيث ان:

S= الهبوط في السطح البيزومتري، م.

Q_o= التصريف النوعي، م ثا$^{-1}$.

R= نصف قطر التاثير، م.

K= معامل نفاذية الحوض، م يوم$^{-1}$.

H= السمك المشبع للحوض الجوفي، م.

r_1= نص قطر البئر، م.

الجريان المستقر في الحوض الجوفي غير المحجوز Unconfined aquifer:

يمكن تقدير معدل الضخ الثابت من بئر متغلغلة في الخزان الجوفي غير المحجوز باستخدام افتراضات دابويت Dupuit على النحو المبين في المعادلة التالية:

$$Q = \frac{\pi K[H^2 - h_o^2]}{\ln \frac{R}{r_o}}$$

حيث ان:

Qo= التصريف النوعي، لتر ثا$^{-1}$.

K= معامل نفاذية الحوض، م/ ثا$^{-1}$.

R= نصف قطر التاثير، م.

H= السمك المشبع للحوض الجوفي، م.

h_o= ارتفاع الماء الفعلي، م.

r_o= نصف قطر البئر، م.

الجريان المستقر في الحوض الجوفي غير المحجوز عند وجود امطار ومن قانون دارسي يمكن كتابة المعادلة:

$$Q = \pi R^2 N$$

حيث ان:

N= التسرب الإجمالي.

ان التدفق الكلي من البئر يساوي التغذية داخل الدائرة المحددة بنصف قطر التاثير radis of influence كما وان نصف قطر التاثير دالة في ضخ البئر ومعدل التغذية.

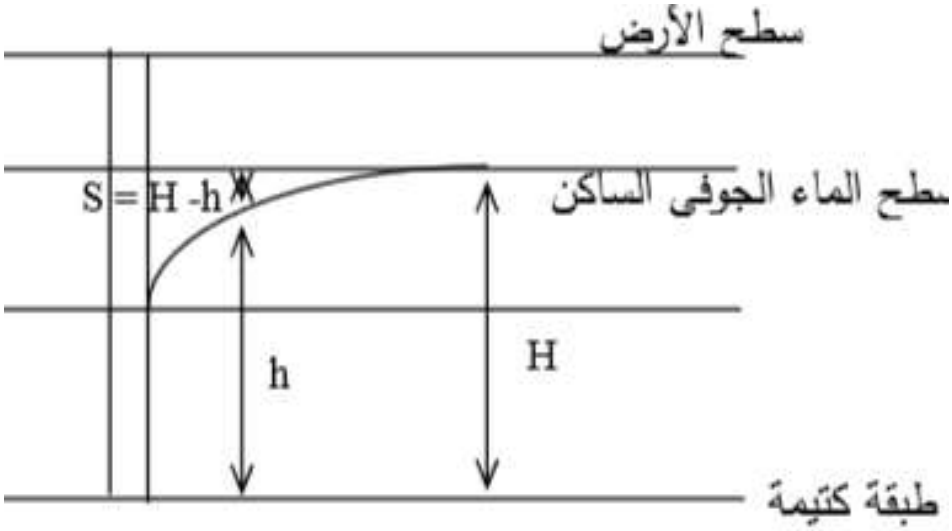
الجريان غير المستقر:

لاعتبار الجريان غير المستقر يدخل مصطلح جديد يسمى معامل الخزن الذي يعرف بحجم الماء الذي يتدفق من او يرد الى مخزون الطبقة الحاملة للماء لوحدة مساحة سطحه ووحدة تغيير السمت عمودية على مساحته وكما يلي.

أ. طبقة المياه الحرة unconfined aquifer

في حالة طبقة المياه الحرة فان معامل الخزن في هذه الحالة عبارة عن النسبة بين حجم المياه الذي يمكن تصريفه بالراحة (الجاذبية الارضية) عندما يهبط منسوب المياه الجوفية بمقدار وحدة واحدة مقسومة على الحجم الكلي وتسمى هذه الكمية الانتاج النوعي، specific yield S_X. ان معادلة الجريان غير المستقر في طبقة المياه الحرة عند استنباطها ستكون غير خطية وتفاضلية من الدرجة الثانية التي لا يوجد لها حل رياضي مضبوط؛ غير انه يمكن حلها بصورة عددية او اجراء بعض التعديلات التقريبية لتحويلها لمعادلة خطية.

ب.طبقة المياه الحبيسة:



شكل. يبين الجريان غير المستقر في طبقة المياه الحبيسة

في حالة طبقة المياه الحبيسة confined aquifer الجريان نصف قطري (له بعدين).
ومن بقاء او حفظ الكتلة: ناتج الجريان الداخل = التغير في الخزن = الجريان الداخل –الجريان الخارج.
ومن ثم تم استنباط معادلة بوساطة Thies للجريان غير مستقر لطبقة المياه الحبيسة وكالتالي:

$$S = \frac{Q_w}{4\pi T} W(\alpha)$$

حيث ان:
S= الهبوط في معدل ضخ البئر.
Q_W= معدل الجريان للبئر او الضخ، م ثا$^{-1}$.
T= الزمن منذ بداية الضخ، دقيقة.
$W(\alpha)$ = دالة البئر.

طبقة المياه الحرة:

بسبب الصعوبة في التطبيق الرياضي على معادلتي عدم التوازن استنبط عدد من الباحثين طرق لايجاد الثوابت في المعادلة السابقة وهذه الطريقة هي:

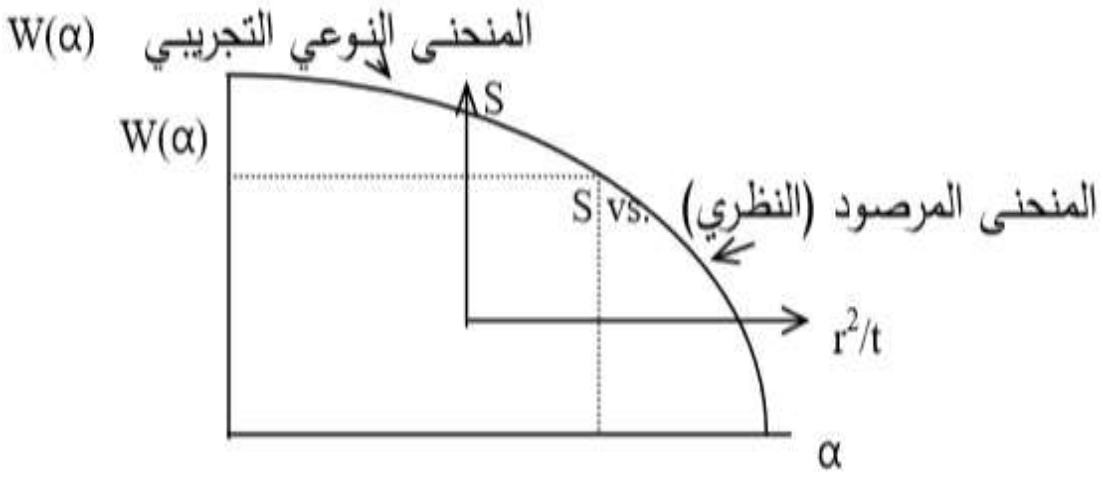
1. طريقة ثيس Theis:

للحصول على ثابتي التشكيل T وS من الضخ الاختباري (الهبوط مقابل الزمن) اقترح ثيس Theis الطريقة البيانية التالية:

- يجهز رسم (1) مقابل W(**α**) في ورق Log Log يسمى المنحنى النوعي Type (curve).
- يرسم في ورق اخر مماثل لوغرتمي المحورين Log Log قيم الهبوط S مقابل لقيمة $\left[\frac{r^2}{t}\right]$ ويسمى بالمنحنى المرصود (Observed curve).
- يوضع المنحنى المرصود فوق المنحنى النوعي (الاول يرسم في ورق عادي والثاني يرسم في ورق شفاف) مع وزن الاحداثيات لتكون متوازية الى ان يتم تطابق القيم في المنحنيين باكبر قدر (بالتجربة).

- تحدد نقط اختبارية في منطقة التطابق وتؤخذ قيم الاحداثيات من كلا المنحنيين

وتؤخذ القم لكل من $\left[\frac{r^2}{t}\right]$ و S و W($\boldsymbol{\alpha}$) و $\boldsymbol{\alpha}$. ومن ثم تحدد قيم S و T.



شكل .يبين علاقة α مع W(α)

2. طريقة Jacob جاكوب (طريقة ثيس المعدلة): Jacob method (Modified Theis Method) وكما في المعادلة التالية:

$$S = \frac{2.3Q_w}{4\pi T}\log\frac{2.25Tt}{r^2 s}$$

تهمل القيم الاقل من 0.01 لـα لتجنب الاخطاء الكبيرة

المصادر:

الماجد، عصام محمد عبد واحمد وعباس عبد الله إبراهيم. 2002. الهيدرولوجيا.