تحسين إدارة المياه الجوفية في المنطقة العربية

**تقييم آثار تغير المناخ على موارد المياه الجوفية**

ورشة عمل وطنية للأردن ودولة فلسطين

**عمّان، 27-29 شباط/فبراير 2024**

**Training on:**

# ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE IMPACTS ON GROUNDWATER RESOURCES

**د.م محمود السباعي**
استشاري، المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة

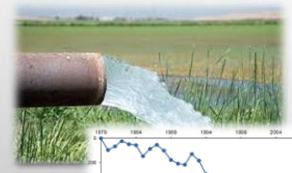
**Dr. Mahmoud Al-Sibai**
Consultant, Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands

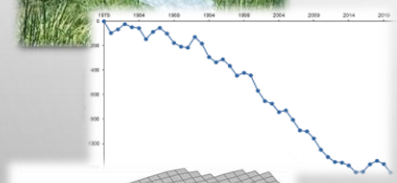
## مقدمة

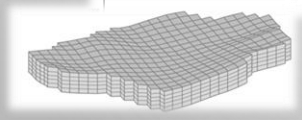
- **يهدف دليل التدريب إلى بناء القدرات ورفع الكفاءة في دراسة وتقدير أثر التغيرات المناخية على مخزون المياه الجوفية لغرض إدارة الموارد المائية الجوفية بشكل رشيد وبما يخدم ويحافظ على الأمن المائي والغذائي في المنطقة العربية.**
- **محتويات الدليل**

**الفصل الأول**: التغيرات المناخية وبناء السيناريوهات المناخية
1-1- مقدمة عامة
1-2- التعرف على النماذج المناخية
**الفصل الثاني**: النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية
2-1- مقدمة
2-2- اعداد النموذج الرياضي (MATHEMATICAL MODEL)
2-3- طريقة الفروقات المحدودة (FINITE DIFFERENCE)
2-4- مراحل تنفيذ النمذجة الرياضية
**الفصل الثالث**: أثر التغيرات المناخيه على المياه الجوفيه
3-1- **تقدير قيم الراشح (التغذية) إلى المياه الجوفية**
**الفصل الرابع**: تقييم أثر التغيرات المناخية على المياه الجوفية (دراسة حالة)
4.1 المعطيات:
4.2 خطوات تقييم أثر التغيرات المناخية على المياه الجوفية في منطقة الدراسة:2070:
**نتائج النموذج بتشغيله على البيانات المناخية للنماذج المختلفة**
**الفصل الخامس** الخلاصة والتوصيات

## تأثير التغير المناخي على المياه الجوفية
## IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON GROUNDWATER







- إن تقدير تغير مخزون المياه الجوفية بالاعتماد على النمذجة الرياضية نتيجة التغير المناخي وباستخدام نتائج النماذج المناخية الإقليمية بات أمراً ضرورياً في **ظل التغيرات المناخية الحاصلة وتزايد تكرار فترات الجفاف المتوقعة مستقبلاً وخاصة في المنطقة العربية**.
- تلعب كميات الأمطار دوراً رئيساً في تقدير كمية الراشح إلى المياه الجوفية. وهنا **تبرز أهمية تقدير تغير الراشح الى المياه الجوفية من الهطولات المطرية المتوقعة** في الفترة المستقبلية والمستخلصة من نتائج النمذجة المناخية.

.



## تأثير التغير المناخي على المياه الجوفية
## IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON GROUNDWATER

- تستجيب نظم المياه الجوفية عموما لتغير المناخ بشكل أبطأ من نظم المياه السطحية وترتبط مستويات المياه الجوفية بهطول الأمطار أكثر من درجة الحرارة حيث تؤثر درجة الحرارة في طبقات المياه الجوفية الضحلة (قليلة العمق) وخلال الفترات الزمنية الأكثر حرارة.

- تؤدي التغيرات المناخية إلى العديد من الآثار السلبية على المياه الجوفية يمكن تلخيصها بـ:

1. زيادة الاعتماد على الموارد الجوفية خاصة للري نتيجة لانخفاض الهطول المطري وتناقص الجريانات السطحية. هذا سيؤدي إلى استنزاف الطبقات المائية وتدهور نوعيتها
2. تداخل مياه البحر في الطبقات الجوفية الساحلية نتيجة لازدياد الضخ وارتفاع مناسيب مياه البحر
3. **انخفاض قيم التغذية المائية للطبقات الجوفية GWR**

## تغير قيم التغذية للمياه الجوفية؟

### تغير قيم الراشح/التغذية للمياه الجوفية

آ- العوامل المؤثرة على الراشح / التغذية للمياه الجوفية

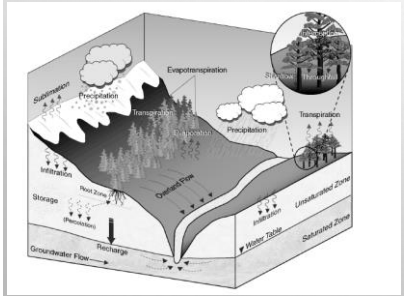
ب- الطرق المختلفة لتقدير الراشح الى المياه الجوفية:

.

## آ- العوامل المؤثرة على الراشح / التغذية للمياه الجوفية

FACTORS AFFECTING GROUNDWATER RECHARGE

يقصد بتعبير الراشح / التغذية للمياه الجوفية أي ماء يصل الى الطبقة المائية الجوفية سواء من مياه الأمطار أو أي مصدر مائي سطحي أخر (مثل مياه الري). يعد تقدير تغذية المياه الجوفية امرا أساسيًا لمحاكاة المياه الجوفية وهناك العديد من العوامل التي توثر على هذه الكمية:



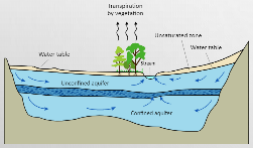

**1- الهطول أو التساقط ونظام توزع الهطول ونوعه**

يعتبر الهطول بأشكاله المختلفة (مطر، ثلج، برد...) مصدر رئيسي لتغذية المياه الجوفية. تتأثر قيمة التغذية بكمية ونوعية وشدة الهطول. تؤدي الهطولات الثلجية الى قيم تغذية أعلى عادة لطول زمن مكوث الثلج على سطح الأرض إضافة الى ضعف التبخر من سطح التربة. بينما تؤدي الهطولات المطرية عالية الشدة HIGH RAINFALL INTENSITY الى جريانات سطحية سريعة وانخفاض في تغذية المياه الجوفية

**2- مواصفات الطبقة غير المشبعة**

يمر الماء الراشح من سطح التربة خلال المنطقة غير المشبعة قبل وصوله الى سطح المياه الجوفية لذلك تلعب مواصفات هذه الطبقة دورا هاما في كمية وزمن وصول الراشح LAG TIME الى طبقة المياه الجوفية. تعبر النفوذية المائية غير المشبعة K(Θ) وسماكة الطبقة غير المشبعة من أكثر العوامل تأثيرا. كذلك تساهم الرطوبة المسبقة للتربة على نسبة الجريان السطحي وعلى كمية المياه الواصلة للطبقة المائية الجوفية.

**3- وجود جريان جوفي جانبي او اتصال مع المياه السطحية**



تتغذى الطبقات الجوفية أيضا من الأجسام المائية السطحية مثل الأنهار والبحيرات وتختلف قيمة هذه التغذية مكانيا وزمانيا حسب فرق المنسوب بين هذه الاجسام ومنسوب الطبقة الجوفية المجاورة وحسب الناقلية المائية لسرير هذه الاجسام.

كذلك قد تتغذى احدى الطبقات من جريان جوفي قادم نحوها من طبقة مائية مجاورة لها وكذلك من الشروط الحدية لمنطقة الحوض المدروس وهذا أمر يجب الانتباه اليه قبل عملية النمذجة والتنبؤ

**4- استخدامات الأراضي والغطاء النباتي**

يؤثر نوع استخدام الأراضي على كمية ونوعية المياه الراشحة. حيث تساعد الغابات والأحراج على التقليل من الراشح لحجزها كميات كبيرة من مياه الامطار ، كذلك تؤدي المناطق الحضرية الى التخفيف من كميات الراشح من الأمطار لكنها قد تؤدي الى زيادة كميات الراشح من شبكات تزويد المياه العذبة وشبكات الصرف الصحي

## ب- أهم الطرق المستخدمة لتقدير الراشح الى المياه الجوفية

Recharge Estimation Methods

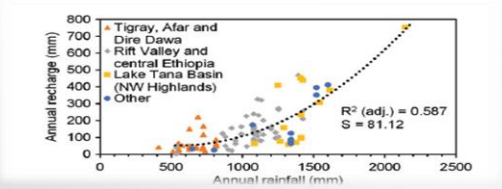
**1. DIRECT MEASUREMENT**

تعتبر طرق القياس المباشر من الطرق الدقيقة نسبيا، اذ تعتمد هذه الطرق على تركيب جهاز LYSIMETER في التربة لتقدير قيمة الراشح العميق DEEP PERCOLATION من أسفل منطقة الجذور عادة، والذي يقاس من خلال الجهاز، ويمكن اعتباره مساو لقيمة التغذية للمياه الجوفية

## 2. EMPIRICAL METHODS

- تعتمد هذه الطرق على إيجاد معادلة تقريبية تجريبية تربط بين كمية الهطول وكمية الراشح الى المياه الجوفية بناء على عدد كبير من التجارب في أحواض مختلفة. فمثلا يظهر الشكل ادناه هذه العلاقة من 102 حالة في 49 دراسة أجريت على أحواض مختلفة في اثيوبيا، أعطت النتائج من هذه الدراسات العلاقة التالية للراشح الى المياه الجوفية مع الهطول المطري:

$$R = 136.6 - 0.3005P + 0.000271P^2$$




حيث R الراشح السنوي للمياه الجوفية/التغذية $mm$ (أي لايأخذ بعين الاعتبار التوزع الشهري للهطول) و P الهطول المطري السنوي $mm$

- كما يمكن تطوير علاقة تجريبية لتحديد كمية الراشح الى المياه الجوفية لمناطق مناخية مختلفة مثل العلاقة التالية

$$\mathbf{R = K\,(P - X)^n}$$

Recharge computation from recorded rainfall

| No. | Formula Name | Formula (in mm) | Value range |
|---|---|---|---|
| 1 | Chaturvedi Formula (In I | R = 0.20 (P – 400) for areas with annual normal rainfall (P) between 400 and 600 mm | |
| 2 | Modified Chaturvedi For | R = 0.25 (P – 400) | |
| 3 | Relationship of Krishna R | $Rc = 0.197\times R_{Nov} + 0.382\times R_{Dec} + 0.381\times R_{Jan} + 0.413\times R_{Feb} + 39.7$ | |
| 4 | The Maxey-Eakin (1949) | | |
| 5 | Bredenkampet al. (1995) | R = 0.32 (MAP – 360) | MAP = Mean Annual rainfall (mm) |

في هذه الطرق لا يوجد عادة أساس فيزيائي للعلاقة المستنتجة ويتم تجاهل جميع عمليات المنطقة غير المشبعة. فعلى الرغم من بساطة هذه الطريقة وكثرة استخدامها الا انها ذات دقة غير موثوقة خاصة عند التنبؤ المستقبلي وعند حدوث أي تغير فيزيائي في الحوض.

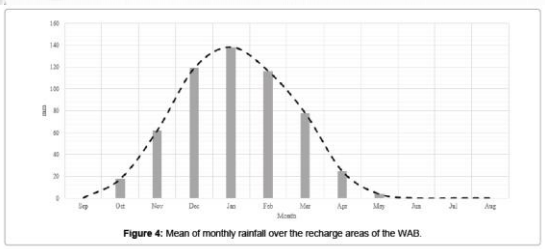



**Figure 4:** Mean of monthly rainfall over the recharge areas of the WAB.

Citation: Abusaada M, Saufer (2017) Recharge Estimation in Karst Aquifers by Applying Water Level Fluctuation Approach. Int J Earth Sci Geophys 3:013

THE EFFECT OF RAINFALL VARIATION ON THE GENERATED RECHARGE. THE RESULTS CONFIRM THAT THE HIGH VARIATIONS OF ANNUAL RECHARGE VOLUMES ARE DIRECTLY LINKED TO MONTHLY RAINFALL VARIATION.

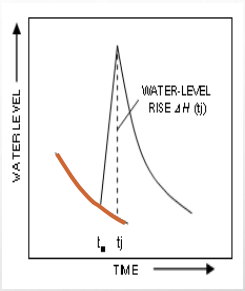
4. The annual recharge coefficients (Rc) were then calculated based on the normality value (N) of each year as follows:

- If normality value is 1, the Recharge coefficient is 53 per cent
- If normality value is less than 0.2 (random), the Recharge coefficient will range between 0 per cent and 19 per cent.
- The recharge coefficients for all years with normality values ranging between 0.2 and 1 were calculated based on the following linear equation:

$$Rc = \begin{bmatrix} 0.425 \times N + 0.105 & N \geq 0.2 \\ 0.95 \times N & N < 0.2 \end{bmatrix}$$

### 3. WATER TABLE FLUCTUATION (WTF)

وهي من أكثر الطرق شيوعا لسهولة استخدامها واحتياجها الى عدد محدود من البيانات (بشكل رئيسي تغير منسوب المياه الجوفية وكميات الهطول المطري). تعتمد هذه الطريقة على تحليل تغيرات منسوب المياه في آبار المراقبة (أو بشكل غير مباشر من تحليل بيانات GRACE). وتعتمد على افتراض أن ارتفاع منسوب المياه الجوفية المقاس في الآبار ناتج عن التغذية من الهطول المطري




يتم تقدير الراشح للمياه الجوفية في هذه الطريقة من العلاقة:

$$R = SY * \Delta H / \Delta T$$

حيث SY هي المعطائية النوعية SPECIFIC YIELD , H هو منسوب المياه الجوفية و Tهو الزمن.

على الرغم من بساطة هذه الطريقة من الناحية النظرية، فإن بعض الافتراضات الرئيسية المتأصلة في طريقة WTF لها تأثير كبير على تطبيقها الناجح: (1) يُصور مخطط هيدروغراف البئر المرصود التقلبات الطبيعية في منسوب المياه الجوفية الناتجة عن تغذية المياه الجوفية وتصريفها فقط (مثلا بدون NORMAL WELL RECOVERY, SUBSURFACE INFLOW AND OUTFLOW)؛ (2) قيمة SY معروفة وثابتة خلال الفترة الزمنية لتقلبات منسوب المياه الجوفية ، و (3) يمكن استقراء انحسار مستوى المياه قبل التغذية لتحديد . Δ H



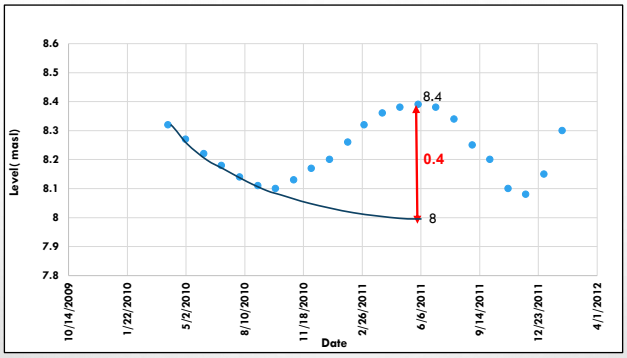
## مثال

حساب التغذية بطريقة تذبذب منسوب المياه الجوفية لحوض ( NABOGO RIVER BASIN/ GANA)

يحتوي الجدول على مناسيب مستوى المياه الجوفية لسنتين متتاليتين، ومعدل هطول الأمطار السنوي ((MM/YEAR1106، في منطقة NABOGO RIVER BASIN.

والمطلوب: حساب التغذية للمياه الجوفية من الأمطار بطريقة تذبذب منسوب المياه الجوفية WTFباستخدام قيمة للمعطائية النوعية تساوي 0.01،

| Date | Level(m) | Date | Level(m) |
|---|---|---|---|
| 3/1/2010 | - | 3/1/2011 | 8.32 |
| 4/1/2010 | 8.32 | 4/1/2011 | 8.36 |
| 5/1/2010 | 8.27 | 5/1/2011 | 8.38 |
| 6/1/2010 | 8.22 | 6/1/2011 | 8.39 |
| 7/1/2010 | 8.18 | 7/1/2011 | 8.38 |
| 8/1/2010 | 8.14 | 8/1/2011 | 8.34 |
| 9/1/2010 | 8.11 | 9/1/2011 | 8.25 |
| 10/1/2010 | 8.1 | 10/1/2011 | 8.2 |
| 11/1/2010 | 8.13 | 11/1/2011 | 8.1 |
| 12/1/2010 | 8.17 | 12/1/2011 | 8.08 |
| 1/1/2011 | 8.2 | 1/1/2012 | 8.15 |
| 2/1/2011 | 8.26 | 2/1/2012 | 8.3 |



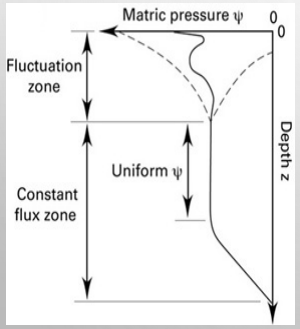

باستخدام EXCEL لتطبيق طريقة تذبذب المياه الجوفية في حساب التغذية وكانت قيمة ΔH=0.4 M كما في الشكل .

ومنه تكون قيمة التغذية حسب العلاقة R= 0.01* 0.4= 0.004 M= 4 MM

أي حوالي 0.36 % من الهطول المطري السنوي (1106).

## 4. DARCIAN APPROACHES

ينص قانون دارسي على أن جريان السوائل؛ مثل الراشح الى المياه الجوفية يمكن حسابه إذا كان كل من التدرج الهيدروليكي والنفوذية المائية غير المشبعة معروفة. يحسب قانون دارسي DARCY-BUCKINGHAM LAW الجريان في المنطقة غير المشبعة وفقًا للمعادلة التالية:




$$q = -K(\Theta)\,[D\Psi/DZ + 1]$$

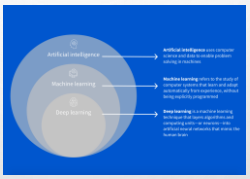
حيث q معدل الجريان ، K النفوذية المائية ، θ محتوى الماء الحجمي بالتربة [بلا أبعاد] ، $d\psi / dz$ التدرج الكموني matric potential [بلا أبعاد] ، وفي ظل افتراض وحدة التدرج، يكون الجهد ثابتًا مع العمق (أي ، $d\psi/dz = 0$ ) والجاذبية هي القوة الدافعة الوحيدة ، لذلك يمكن عندها اعتبار ان q تساوي عدديًا النفوذية المائية للوسط لمحتوى الماء هذا في التربة عند فاصل العمق حيث $d\psi/dz = 0$ أي يكون محتوى الماء منتظم مع العمق Uniform. إذا كان K المقابل لمحتوى الماء هذا معروفًا، فيمكن اعتبار ان K(θ) يعادل معدل التغذية. عندما تقترب الظروف من النموذج المثالي كما هو موضح في الشكل يكون التدفق المقدر في المنطقة $\psi$ المنتظمة هو متوسط طويل الأجل.

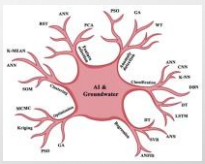
## 5. MODELS INCLUDING AI METHODS

GROUNDWATER MODELS

تستخدم النماذج الرياضية لحركة المياه الجوفية (بما فيها النماذج المعتمدة على الذكاء الاصطناعي **AI**) أيضا لتقدير قيمة الراشح للمياه الجوفية وتوزعه المكاني والزماني (INVERSE MODELING). تعتمد دقة تنبؤات النموذج على دقة المعايرة والنجاح في التحقق من النموذج في تحديد جريانات ومناسيب المياه الجوفية. وباعتبار ان تغذية المياه الجوفية مكون أساسي في نماذج المياه الجوفية، فيجب أثناء المراجعة تقييم كيف تم تمثيل التغذية في نماذج المياه الجوفية وكيفية تم تقديرها باستخدام نماذج المياه الجوفية. .

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN) TO CALCULATE GROUNDWATER RECHARGE




## 6. TRACERS

تعتمد هذه الطرق على استخدام النظائر حيث يتم استخدام المتتبعات البيئية والنظائر المستقرة والمشعّة ISOTOPES AND ENVIRONMENTAL TRACERS الموجودة طبيعياً في المياه الجوفية لمعرفة المزيد عن منشأ المياه الجوفية ومعدّلات تجددها. يعتبر الكلورايد CHLORIDE من أكثر المتتبعات المستخدمة لتوفره وتكلفته المنخفضة ( HIGHLY SOLUBLE, CONSERVATIVE AND NOT SUBSTANTIALLY TAKEN UP BY VEGETATION) ويتم تقدير الراشح اعتمادا على معادلات توازن الكتلة MASS BALANCE

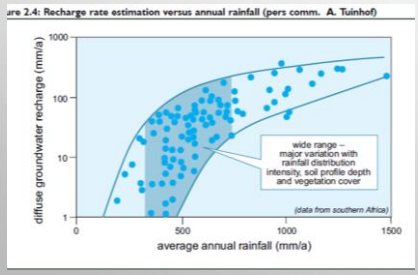
ENVIRONMENTAL TRACERS SUCH AS CHLORIDE (CL) ESTIMATION IS BASED ON MASS BALANCE STUDIES

- على الرغم من المنهجيات المتعددة المستخدمة لتقدير التغذية، إلا أن **هذا التقدير لا يزال معقدا** ويمثل تحديا قائماً بسبب العوامل الطبيعية والعوامل التي من صنع الإنسان، مثل الاتصال الهيدروليكي بين المياه السطحية وتحت السطحية، وخصائص التربة، عدم التجانس الجيولوجي، والميول الطبوغرافية، واستخدامات الأراضي، والغطاء الأرضي، وتغير المناخ، والعوامل البشرية، وما إلى ذلك. كما تؤثر خبرة الباحث ومدى توفر المطلوب من البيانات على طريقة التقدير المستخدمة.
- وبشكل عام، يجب أن يسترشد عند اختيار طريقة تقدير التغذية بأهداف الدراسة والبيانات المتاحة وإمكانيات الحصول على البيانات المساعدة. لذلك من المفيد جدا قدر الإمكان **تطبيق طرق تقدير متعددة** للوصول إلى نتائج موثوقة إلى حد ما.

## إيجاد العلاقة بين كميات التغذية والأمطار بناءً على البيانات المتاحة لعدة سنوات

- اذا كانت التغذية (والتي يمكن ان تكون حددت حسب احدى الطرق المذكورة سابقا) وكميات الهاطل المطري معروفة لعدة سنوات في حوض ما، يمكن اشتقاق علاقة تجريبية بين التغذية وهطول الأمطار، ويمكن استخدام العلاقة الناتجة في تقدير قيمة تغذية المياه الجوفية من الأمطار المتوقعة خلال الفترة المستقبلية والتي يتم الحصول عليها من نتائج النماذج المناخية العالمية.

- يتم الاستفادة من التغذية المحسوبة من هذه العلاقة في تشغيل النماذج الرياضية للمياه الجوفية من أجل فترة التنبؤ المستقبلية، أخذاً بالاعتبار كمية الراشح من الأمطار المستقبلية الناتجة من النماذج المناخية، وذلك بهدف تقدير المخزون المائي الجوفي بالحوض المطلوب والتنبؤ بالوضع المائي المستقبلي ومراقبة تأثير تغير كميات الهاطل المطري على مخزون الطبقة الجوفية في ظل التغيرات المناخية. ولكن تتوقف دقة البيانات المقدرة على دقة البيانات المتوفرة وعلى طول مدة السجل الزمني المتاح.




## مثال - إيجاد العلاقة بين كميات التغذية والأمطار بناءً على البيانات المتاحة لعدة سنوات – منطقة دراسية صحراوية

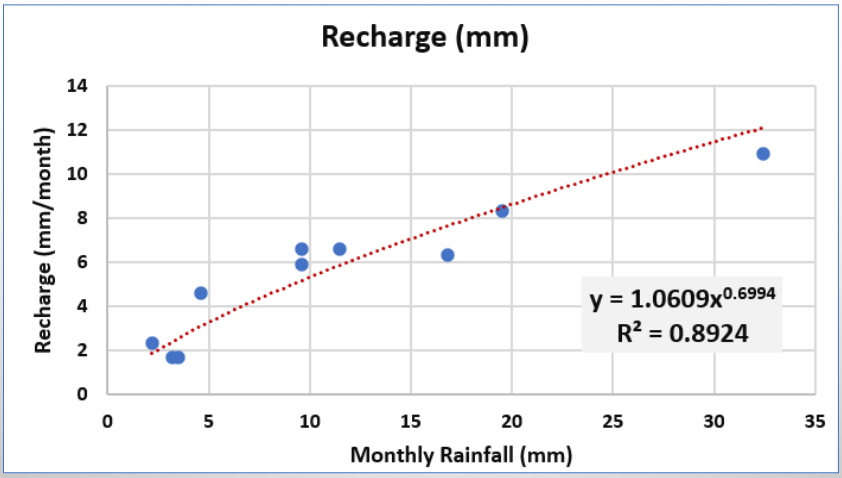
يبين الجدول كميات الأمطار الشهرية خلال الفترة (2014-2017)، وكميات التغذية المقابلة لها محسوبة بطريقة تذبذب منسوب المياه الجوفية WTF:

والمطلوب إيجاد العلاقة بين الأمطار المقاسة والتغذية المحسوبة، ليتم استخدامها في حساب كميات التغذية الشهرية بناء على كميات الأمطار الناتجة من النماذج المناخية، لإدراجها في النموذج الرياضي وتشغيله للتنبؤ بالوضع المائي المستقبلي في الحوض المطلوب.

الجدول (3-7): كميات الأمطار الشهرية والتغذية الشهرية الموافقة لها في منطقة الدراسة

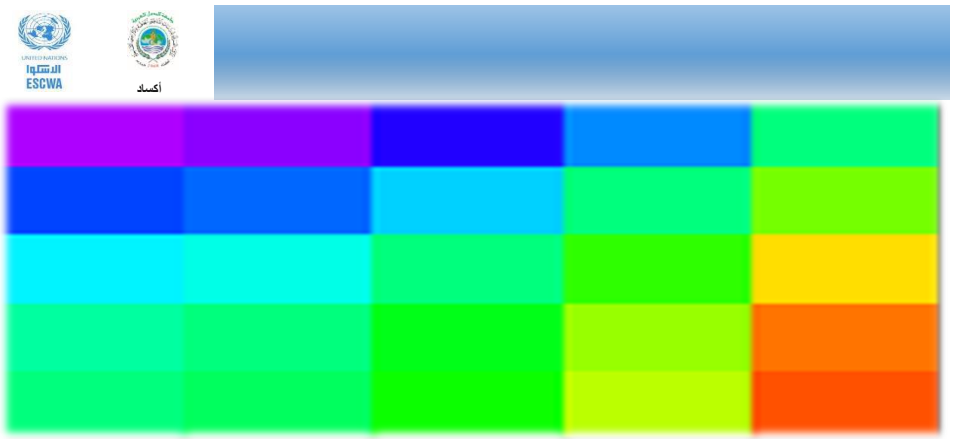
| YEAR | Month | Rainfall (mm) | Recharge (mm) | YEAR | Month | Rainfall (mm) | Recharge (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2014 | OCT. | 11.5 | 6.6 | 2015 | DEC. | 32.4 | 10.9 |
| 2014 | NOV. | 9.6 | 5.9 | 2016 | MAY. | 2.2 | 2.3 |
| 2015 | JAN. | 3.5 | 1.65 | 2017 | JAN. | 9.6 | 6.6 |
| 2015 | FEB. | 3.2 | 1.65 | 2017 | FEB. | 4.6 | 4.6 |
| 2015 | OCT. | 19.5 | 8.3 | 2017 | MAR. | 16.8 | 6.3 |

الحل: تم ادراج بيانات التغذية والأمطار الشهرية المقاسة من الجدول (3-7) في برنامج EXCELوتم توليد عدة علاقات (خطية ولوغاريتمية واسية)، وكانت أفضل نتيجة في العلاقة الأسية (3 - 7) الموضحة في المخطط (3-5).




$$y = 1.0609 \times^{0.6994}$$

حيث: X الأمطار الشهرية mm،
Y قيم التغذية mm



End