Improved Groundwater Management in the Arab Region through Enhanced Data and Information Access and Innovative technologies

Cairo, 30-31 October 2023

Training Manual 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)

1.4 المعطيات:

2.4 خطوات تقييم أثر التغيرات المناخية على المياه الجوفية في منطقة الدراسة:2070:

نتائج النموذج بتشغيله على البيانات المناخية للنماذج المختلفة

الفصل الخامس الخلاصة والتوصيات

المياه الجوفية في الوطن العربي

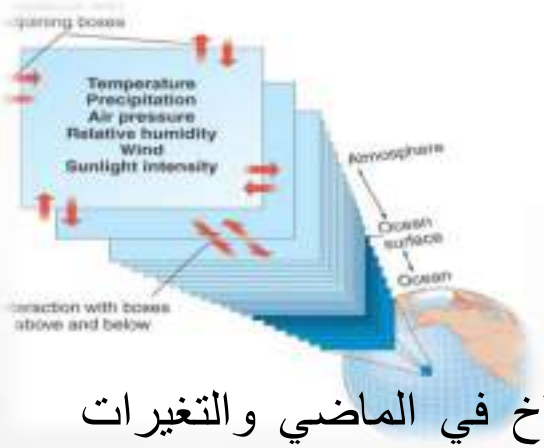
- تعتبر المياه الجوفية من أهم الموارد المائية في الوطن العربي، حيث تشكل مصدراً هاماً للمياه العذبة في المناطق الجافة والصحراوية. وتختلف كمية وجودة المياه الجوفية في الوطن العربي من منطقة إلى أخرى، حيث تتوفر بكميات كبيرة في بعض المناطق.
- أكثر من نصف الموارد المائية الجوفية هي موارد غير متجددة ويزداد الاعتماد عليها أكثر فأكثر خصوصا في البلدان التي تعاني شحا في المياه السطحية
- **أضحت طبقات المياه الجوفية مهددة بشكل خطير بسبب الاستغلال المفرط والضخ الجائر كما يفرض تغير المناخ ضغوطا إضافية على الموارد المائية ويزيد من تكرار حالات حدوث الجفاف، وقد تواجه هذه المنطقة فترات جفاف شديدة في المستقبل القريب، لذلك فقد بات من الضروري دراسة تأثر مخزون المياه الجوفية في ظل التغيرات المناخية والطلب المتزايد على المياه**

التغير المناخي CLIMATE CHANGE

- تشير الدراسات إلى أن المناخ بدأ فعلاً بالتغير .ومنذ بداية القرن الواحد والعشرين والعالم قلق من هذه التغيرات ويربطها بتأثير النشاط البشري على مناخ الأرض.
- من المحتمل أن يحدث هذا التغير في الظروف المناخية تغييرات كبيرة في أنماط هطول الأمطار ودرجات الحرارة. ومن المرجح أن تضيف هذه التغييرات ضغوطا على موارد المياه في المنطقة العربية، كما يمكن أن يؤثر على كميتها ونوعيتها كما اظهر مشروع RICCAR.

يبرز اللونين الأحمر والبرتقالي المناطق المحيطة بالبحر الأبيض المتوسط التي شهدت شتاء أكثر جفافاً خلال الفترة الممتدة بين عامي 1971 و 2010 مقارنة بفترة المقارنة بين عامي 1902 و 2010.

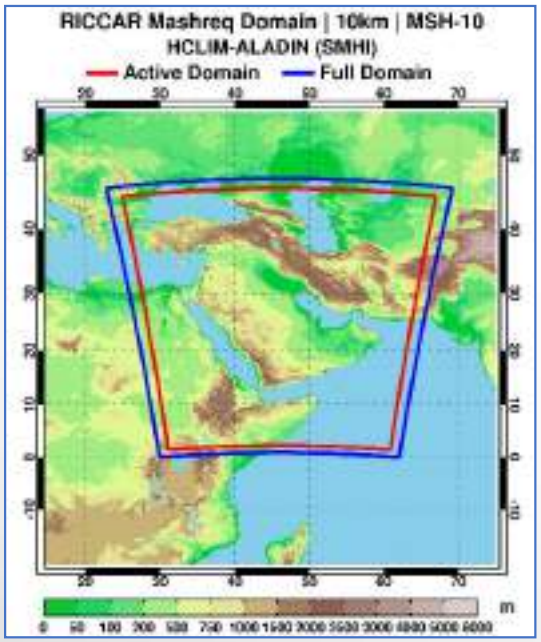
النماذج المناخية



- النماذج المناخية هي آلية رئيسية يستخدمها الباحثون لفهم كيفية تغير المناخ في الماضي والتغيرات المتوقعة في المستقبل، وتحاكي النماذج المناخية العالمية GENERAL CIRCULATION MODELS (GCMs) العمليات الفيزيائية على سطح الأرض وفي المحيطات والغلاف الجوي والغلاف الجليدي للتأكد من استجابة النظام لتركيزات الغازات الدفيئة المتزايدة. يتم تحديث هذه النماذج بانتظام بناء على بيانات ذات دقة مكانية أعلى، وعمليات فيزيائية محسنة.

- أصدرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC تقريرها التقييمي السادس SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6)، والذي أدخلت فيه سيناريوهات مناخية محدثة معروفة إجمالاً باسم المسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة SSPs المبنية على مسارات التركيز النموذجية RCPs.

- تمثل بيانات التغير المناخي أحد أهم مخرجات "المبادرة الإقليمية لتقييم أثر التغيرات المناخية على الموارد المائية في الوطن العربي (RICCAR)، والتي تغطي النطاق العربي، وتتضمن بيانات عن معدلات الحرارة والأمطار والظواهر المناخية المتطرفة على ثلاث فترات (الفترة المرجعية - فترة منتصف القرن - فترة نهاية القرن) وذلك من أجل كل من سيناريو الانبعاثات المتوسطة RCP 4.5 وسيناريو الانبعاثات المرتفعة RCP 8.5



- لقد تم انشاء نطاق المشرق العربي، المستخدم للجزء الشمالي الشرقي من النطاق العربي، ويشمل دول البحر الأبيض المتوسط الساحلية في بلاد الشام وشمال شرق إفريقيا، وكامل الحوض الساكب لنهري دجلة والفرات، وشبه الجزيرة العربية بأكملها، حيث مكنت الدقة المكانية الجيدة من إجراء تحليلات مفصلة للمناطق الساحلية والجبلية لتقييم تغير المناخ بشكل أفضل في أحواض المياه السطحية. تم إجراء النمذجة المناخية الإقليمية النطاق بدقة مكانية 0.1° (~ 10 KM)

- وجرى تقييم ستة نماذج من النماذج المناخية العالمية لنطاق المشرق وعمد المعهد السويدي للأرصاد الجوية والهيدرولوجيا (SMHI) إلى لتقليص مخرجات النموذج المناخي العالمي إلى نطاقات أصغر

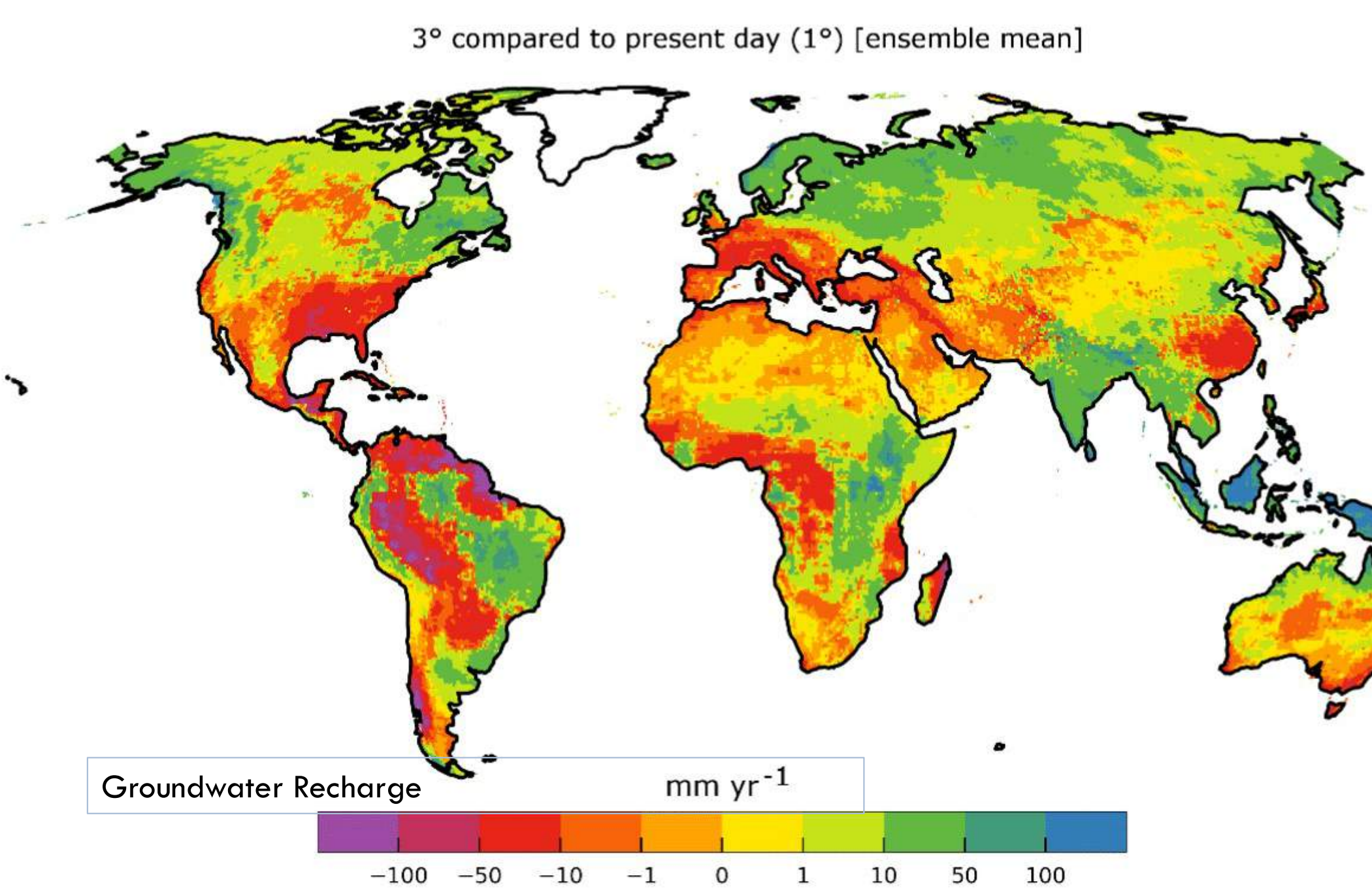
Model	Institution	المؤسسة
CMCC-CM2-SR5	Euro-Mediterranean Centre on Climate Change	المركز الأورومتوسطي المعني بتغير المناخ
CNRM-ESM2-1	Centre National de Recherches Météorologiques and Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique	المركز الوطني لبحوث الأرصاد الجوية والمركز الأوروبي للبحوث والتدريب المتقدم في الحوسبة العلمية
EC-Earth3-Veg	European consortium	الاتحاد الأوروبي
MPI-ESM1-2-LR	Max Planck Institute for Meteorology	معهد ماكس بلانك للأرصاد الجوية
MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute	معهد أبحاث الأرصاد الجوية
NorESM2-MM	Norwegian Climate Centre	مركز المناخ النرويجي

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**



the ensemble mean change of GWR between the current 1°C world and a potential 3°C GW

Reinecke, R., et al.: Uncertainty of simulated groundwater recharge at different global warming levels: a global-scale multi-model ensemble study, Hydrol. Earth Syst. Sci., 25, 787–810, https://doi.org/10.5194/hess-25-787-2021, **2021**.

كيف يؤثر التغير المناخي على المياه الجوفية؟

أكساد

1- تغير قيم الراشح/التغذية للمياه الجوفية

آ- العوامل المؤثرة على الراشح / التغذية للمياه الجوفية

ب- الطرق المختلفة لتقدير الراشح الى المياه الجوفية:

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.

2- تغير قيم السحب الجوفي لتلبية الاحتياجات المائية

- ازدياد الاحتياجات المائية للمحاصيل

طرق تحديد تأثير التغيرات المناخية على الاحتياجات المائية

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

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- بعض الطرق المستخدمة لتقدير الراشح الى المياه الجوفية

Recharge Estimation Methods

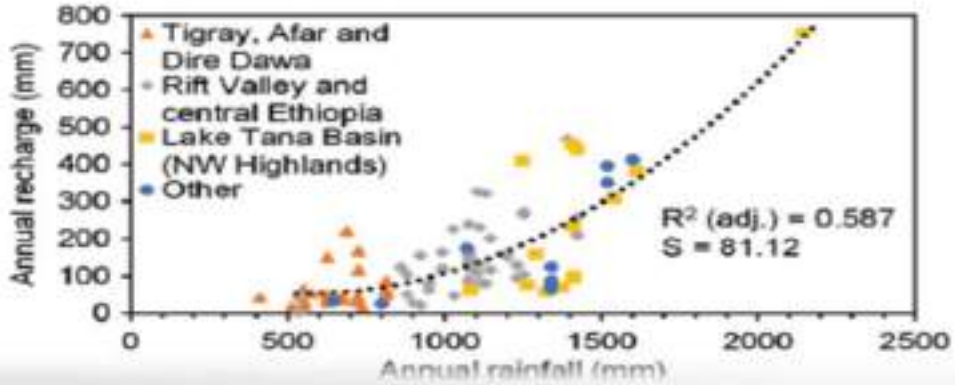
1. DIRECT MEASUREMENT

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

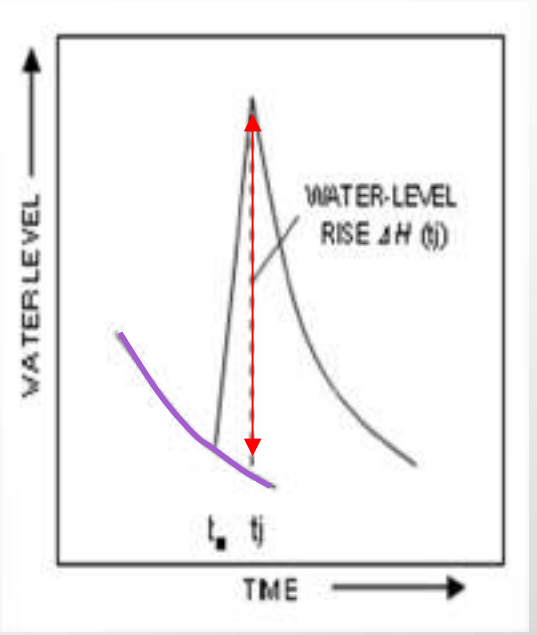
$$\mathbf{R} = K\,(\mathbf{P} - X)$$

R = 0.20 (P – 400) **for areas with annual normal rainfall (P) between 400 and 600 mm**
R = 0.25 (P – 400) **for areas with P between 600 and 1000 mm**
R = 0.35 (P – 600) **for areas with P above 2000 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.

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. 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:

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

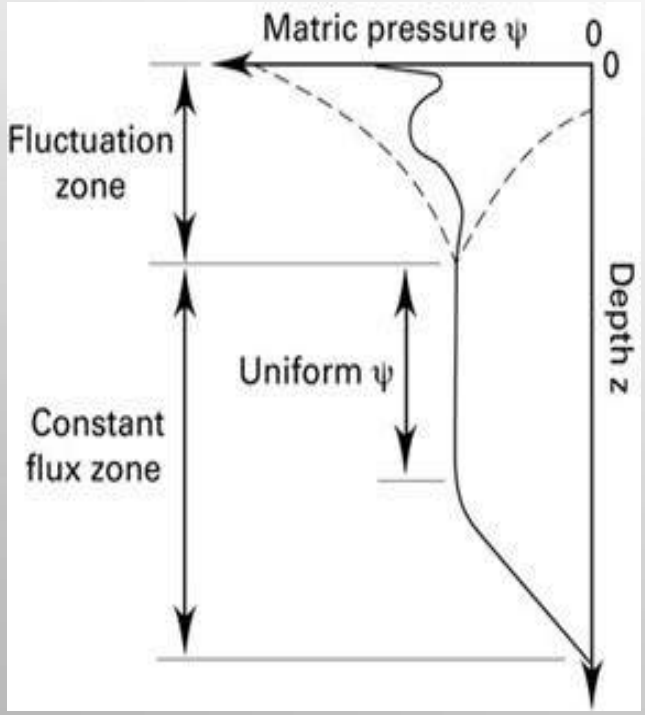
حيث SY هي المعطائية النوعية SPECIFIC YIELD , H هو منسوب المياه الجوفية و Tهو الزمن.

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 ؛ (2) قيمة SY معروفة وثابتة خلال الفترة الزمنية لتقلبات منسوب المياه الجوفية ، و (3) يمكن استقراء انحسار مستوى المياه قبل التغذية لتحديد . Δ H

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:

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



حيث q معدل الجريان ، K النفوذية المائية ، θ محتوى الماء الحجمي بالتربة [بلا أبعاد] ، $d\psi / dz$ التدرج الكموني [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 ψ 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. 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 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.
- وبعد اعتماد العلاقة المناسبة لحساب التغذية من الأمطار أو حساب النسبة المئوية المعبرة عن كميات التغذية من الأمطار، يتم تطبيقها على البيانات المطرية المستخرجة من المحطات المناخية للفترات المستقبلية وفقاً للنموذج المناخي المعتمد، ويتم استخدام كميات التغذية الناتجة في النموذج الرياضي للتنبؤ بالحالة المستقبلية للتخزين ووضع مناسيب المياه الجوفية.

UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

GROUNDWATER MODELING TO ASSESS CLIMATE CHANGE IMPACTS

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

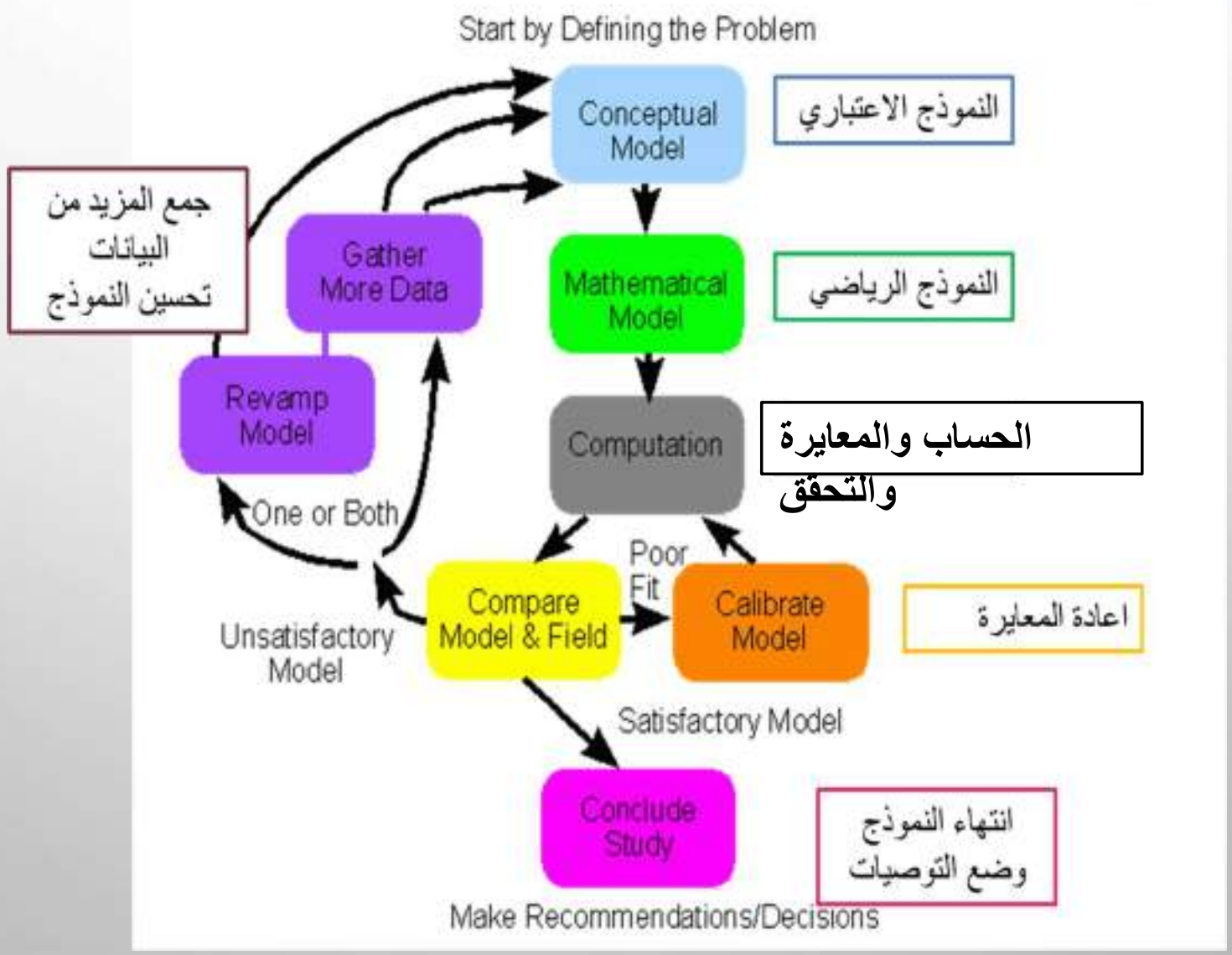
النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

- 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.
- يمكن للنمذجة الرياضية للمياه الجوفية أن تساعد في تحديد تأثير التغيرات المناخية على مصادر المياه الجوفية.، حيث يمكن استخدام هذه النماذج لتحديد كيفية تغير مستويات المياه الجوفية في المستقبل وتحديد التأثيرات المحتملة على المصادر المائية، وحساب موازنات المياه الجوفية.
- إن هذه النتائج مهمة جدا لمتخذ القرار لتخطيط استثمار الموارد المائية المحدودة بشكل رشيد.

UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

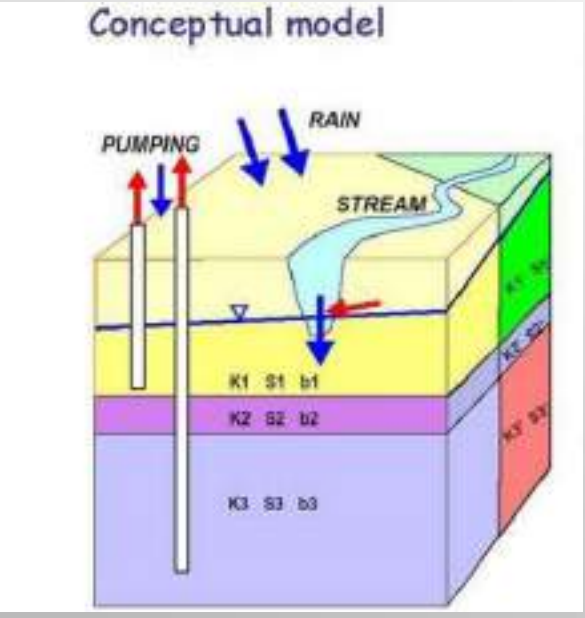
أكساد

خطوات بناء النموذج الرياضي



1- بناء النموذج الاعتباري (CONCEPTUAL MODEL)

- النموذج الاعتباري هو تبسيط للواقع الفعلي لنظام المياه الجوفية المعقد بحيث يمثل أهم الملامح السائدة بدرجة مقبولة من الدقة بدون أن يؤثر ذلك التبسيط على مصداقية النتائج.
- هو تمثيل وصفي لنظام المياه الجوفية (A PICTORIAL REPRESENTATION OF THE GROUND-WATER FLOW SYSTEM)
  - يتضمن تفسير وفهم للظروف الجيولوجية والهيدرولوجية
  - ما هي العمليات الهامة التي يجب ادخالها في لنموذج؟
  - ما هي الحدود؟
  - ما هي قيم المعاملات المتاحة؟
  - ما هي المعاملات التي يجب جمعها وقياسها؟
- **إن البناء الصحيح للنموذج الاعتباري هو خطوة هامة جدا في العمل.**



المعادلات الحاكمة لحركة المياه الجوفية

أكساد

يعطي جمع قانون دارسي و معادلة حفظ المادة المعادلة التفاضلية الجزئية العامة التالية و الحاكمة للجريان غير المستقر للمياه في الأوساط المسامية :

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)=W+S_s\frac{\partial h}{\partial t}$$

حيث

- K النفوذية للحامل المائي في الاتجاهات الإحداثية X,Y,Z (LT^{-1})
- H الضاغط الهيدروليكي عند الزمن T (L)
- S_S التخزين النوعي SPECIFIC STORAGE و يعادل μ المعطائية المائية (SPECIFIC YIELD) (في حالة الحامل المائي الحر)
- W حد يمثل التغذية أو السحب (T^{-1})

يتعلق الحد $Ss\frac{\partial h}{\partial t}$ بحركة سطح الماء الحر في الحالة غير المستقرة فعندما يتحرك سطح الماء إلى الأعلى أو الأسفل يتحرر الماء من مخزون التربة أو يضاف إليه و تعرف بأنها حجم الماء المحرر أو المضاف إلى المخزون في واحدة المساحة من سطح الحامل في واحدة التغير في الارتفاع العامودي على السطح.

الحالة المستقرة والحالة غير المستقرة

- الحالة المستقرة STEADY STATE: وهي الحالة التي لا يتغير فيها منسوب الماء مع الزمن ولا يتغير المخزون مع الزمن (الجريان الداخل يساوي الخارج) ويكون الحد $S_s \frac{\partial h}{\partial t}$ في المعادلة السابقة مساويا للصفر

- الحالة غير المستقرة TRANSIENT STATE:وهي التي يتغير فيها منسوب الماء نتيجة لتغير التخزين مع الزمن

متطلبات حل المعادلات التفاضلية

أكساد

1- الشروط الأولية

Initial Conditions

- توزع قيم منسوب الماء عند الزمن $t_o = 0$

known head distribution at time t_0

2-الشروط الحدية

Boundary Conditions

الشروط الحدية عبارة عن علاقات رياضية لحساب المتغير (الضاغط) أو مشتقه (الجريان) عند حدود منطقة الدراسة

هناك نوعين من الحدود

- **حدود فيزيائية** نتيجة وجود تكشفات لطبقة كتيمة او نهر او بحيرة مثلا
- **حدود هيدروليكية** مثل خطوط الجريان (Streamlines) او خطوط تقسيم المياه الجوفية (Groundwater divides)

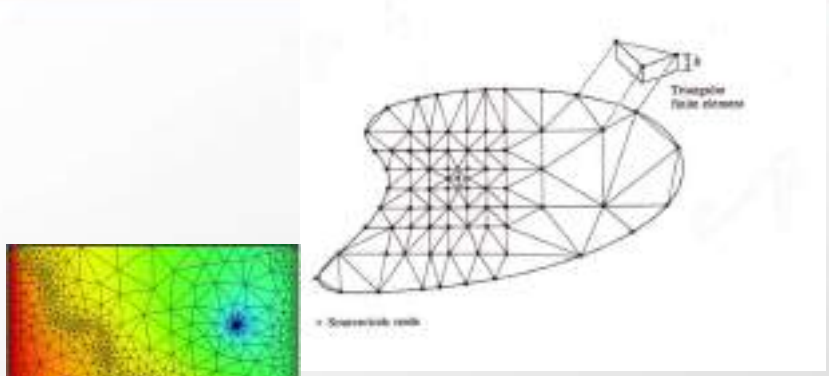
طرق حل المعادلات التفاضلية

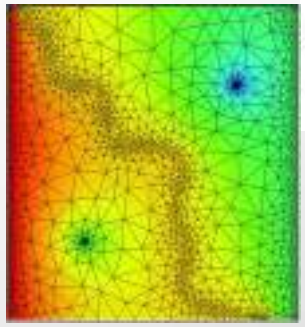
أكساد

1. طريقة العناصر المحدودة

Finite Element Method

و هي تفترض توابع للمتغيرات غير المستقلة و العوامل بدلاً عن الصياغة التكاملية المكافئة للمعادلات التفاضلية.



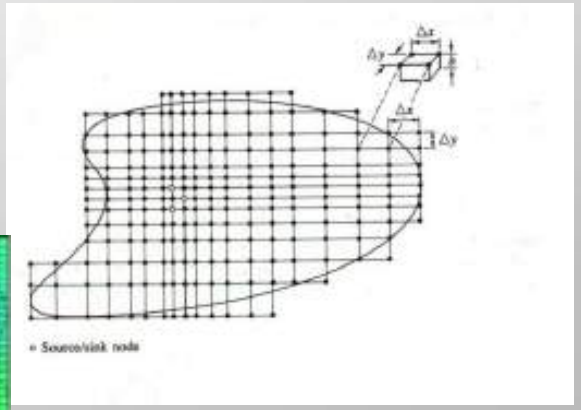


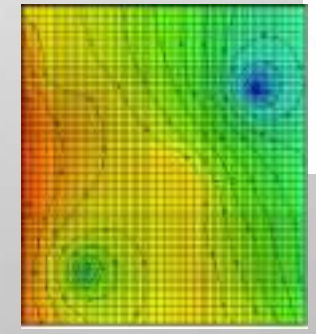
- Femwater
- Feflow FEFLOW

2. طريقة الفروقات المحدودة

Finite Difference Method

و هي تقوم بتقريب الاشتقاق الأول للمعادلات التفاضلية الجزئية بفروقات للمتغيرات المستقلة في النقاط المتجاورة وعلى مستويين زمنيين متتاليين و هي قد تكون ظاهرية Explicit أو ضمنية Implicit.





- **Modflow** (1988,1996,2000,2005,2017)

UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

MODFLOW (MODULAR 3D FINITE-DIFFERENCE GROUND-WATER FLOW MODEL)

يعد برنامج MODFLOW البرنامج الأكثر شيوعا في العالم للنمذجة العددية لحركة المياه الجوفية. وهو برنامج ثلاثي الأبعاد، يعتمد على طريقة الفروقات المحدودة لحل المعادلة التفاضلية الجزئية لحركة المياه، طور من قبل هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS

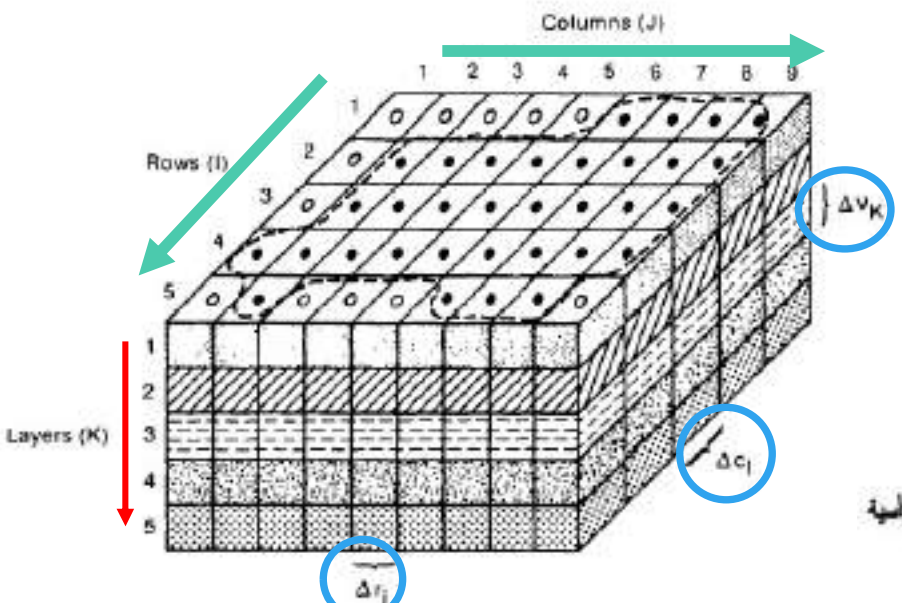
Several versions available هناك عدة إصدارات من البرنامج

There have been six major releases of the core MODFLOW version:
MODFLOW-84, MODFLOW-88, MODFLOW-96, MODFLOW-2000, **MODFLOW-2005, and MODFLOW 6.**

- هناك العديد من الواجهات للبرنامج

- SOME GRAPHICAL USER INTERFACES FOR MODFLOW
  - **GMS** (WWW.EMS-I.COM)
  - **PMWIN** (WWW.IFU.ETHZ.CH/PUBLICATIONS/SOFTWARE/PMWIN/INDEX_EN)
  - **MODELMUSE** (FREE) (HTTPS://WWW.USGS.GOV/SOFTWARE/MODELMUSE-A-GRAPHICAL-USER-INTERFACE-GROUNDWATER-MODELS)
  - **GWV** (WWW.GROUNDWATER-VISTAS.COM)
  - **VISUAL MODFLOW**(HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/VISUAL_MODFLOW)
- EACH INCLUDES MODFLOW CODE “CORE CODE”

أكساد



تقسيمات شبكة النظام المائي

خلية فعالة	●
خلية غير فعالة	o
عرض الخلية في إتجاه الصفوف	Δr_j
عرض الخلية في إتجاه الأعمدة	Δc_i
عرض الخلية في إتجاه الطبقات الرأسية	Δv_K

Types of Layers نوع الطبقة (LAYCON array)

- Confined مضغوطة (حبيسة)
- Unconfined غير مضغوطة (حرة)
- Convertible متغيرة

(Useful to think in terms of a layer transmissivity.)

UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

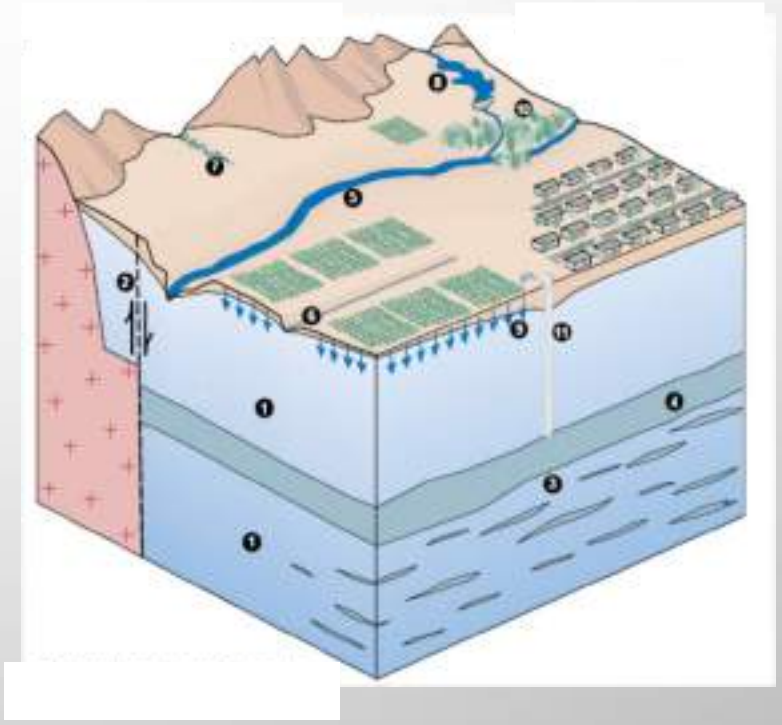
أهم الحزم البرمجية في برنامج MODFLOW

Stress Packages in MODFLOW أهم الحزم البرمجية في برنامج

1. Well package
2. Recharge package
3. River package
4. Drain package
5. Evaporation package
6. General head package

Specified Flux

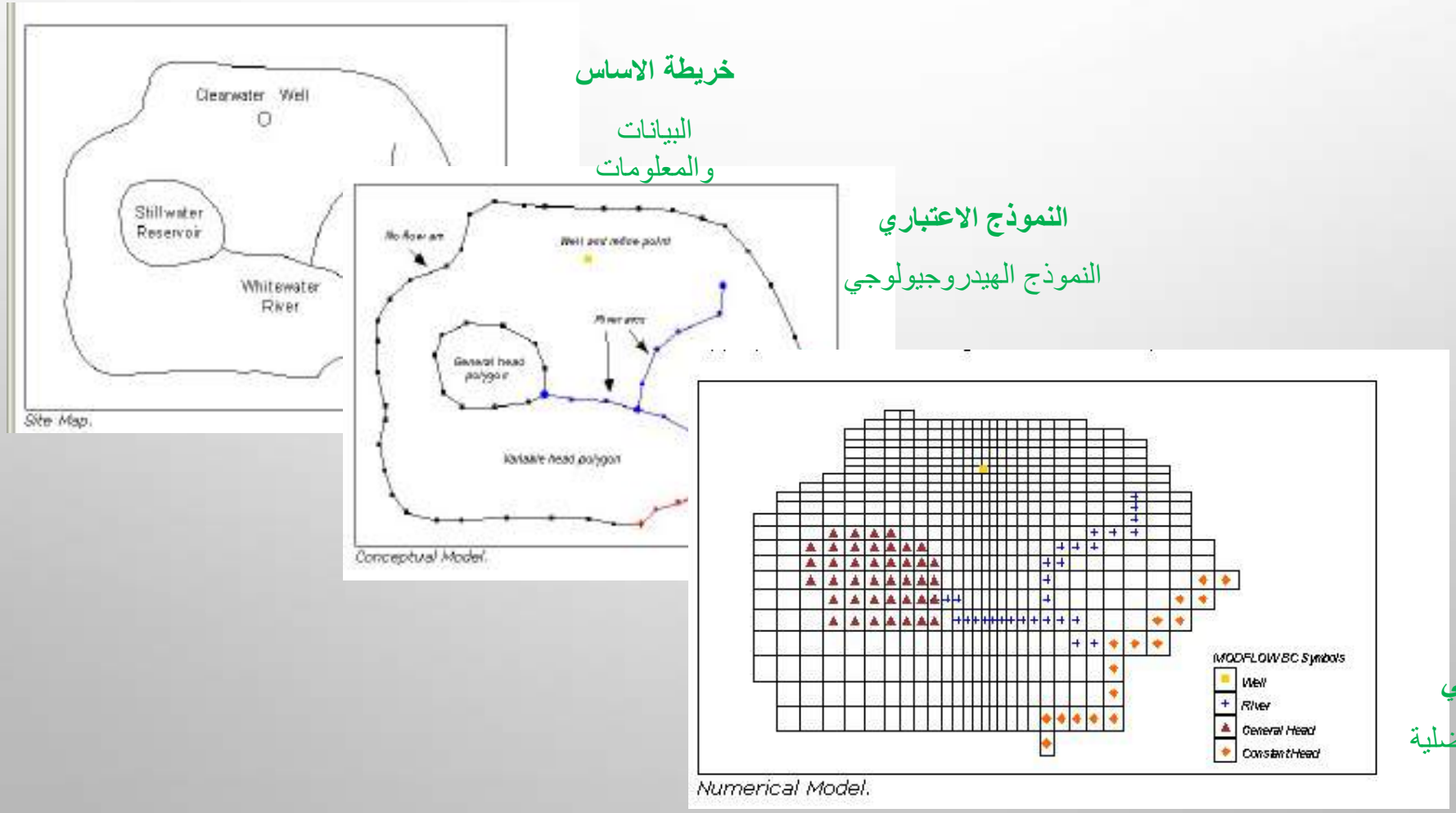
Head-Dependent Flux



UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

تشغيل النموذج الرياضي



خريطة الاساس

البيانات
والمعلومات

النموذج الاعتباري

النموذج الهيدروجيولوجي

النموذج الرياضي

حل المعادلات التفاضلية

المعايرة والتنبؤ

أكساد

المعايرة CALIBRATION: يتم تشغيل النموذج الرياضي ومعايرته بمطابقة المتغيرات المحسوبة مع المقاسة والتأكد من تمثيله الصحيح لواقع المنظومة المائية الجوفية خلال فترة محددة. وتتم المعايرة بشكل عام على مرحلتين:

المرحلة الأولى: المعايرة لحالة الثبات للخزان الجوفي، حيث يفترض عدم حدوث تغير ملحوظ في مناسيب المياه الجوفية في فترة المعايرة المحددة (مخزون ثابت للمياه الجوفية).

المرحلة الثانية: المعايرة لحالة عدم الثبات، وتمثل مرحلة عدم الثبات للخزان الجوفي نتيجة التغير في منسوب ومخزون المياه الجوفية مع الزمن ويتم خلالها تدقيق قيم معاملات التخزين..

مرحلة التحقق من النموذج VALIDATION: فيها يتم التأكد من النموذج المعاير بتطبيقه على فترات اخرى مقاسة لم يعاير عليها النموذج

مرحلة التشغيل والتنبؤ: وفيها يتم تشغيل النموذج، المعاير والمحقق، حسب سيناريوهات مختلفة للتنبؤ بتأثر الطبقة المائية نتيجة الاجهادات الجديدة المطبقة.

اعداد الموازنة المائية: تُستخرج قيم مركبات الميزان المائي من النموذج للسيناريوهات المختلفة ولكل الطبقات المائية أو لأجزاء منها بجمع قيم كل مركبة في خلايا النموذج.

تقييم أثر التغيرات المناخية على المياه الجوفية (دراسة حالة)

شكرا لحسن استماعكم

4. WATER BUDGET METHODS

تعتمد هذه الطريقة على معادلة الموازنة المائية للحوض لتقدير قيمة الراشح الى المياه الجوفية:

$$R = \Delta S^{gw} + ET^{gw} + \left(Q_{off}^{gw} - Q_{on}^{gw}\right) + Q^{bf}$$

حيث

R	الراشح للمياه الجوفية
ΔS^{GW}	التغير في مخزون الطبقة الجوفية
Q^{BF}	الجريان القاعدي
ET^{GW}	التبخر من المياه الجوفية
$Q_{OFF}^{GW} - Q_{ON}^{GW}$	محصلة الجريان الجوفي الصافي

في العلاقة ، يمكن قياس أو تقدير جميع العوامل ، باستثناء R. يمكن اعتماد هذه الطريقة على نطاق واسع من المقاييس المكانية والزمانية. ومع ذلك ، فإن القيد الرئيسي لهذا النهج هو دقة تقدير التغذية التي تعتمد على الدقة التي يتم بها قياس المكونات الأخرى لمعادلة الموازنة المائية.

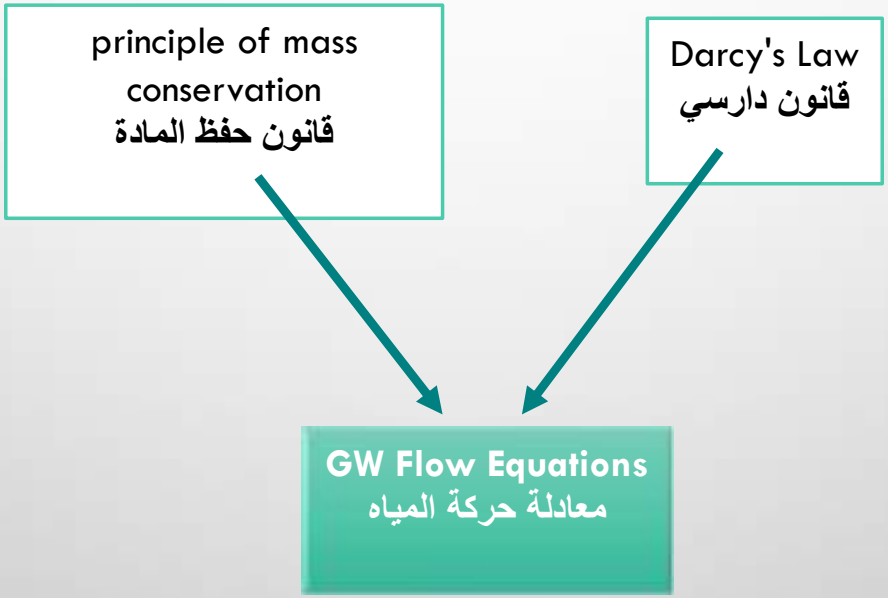
تظل تقدير قيمة التغذية غير دقيقة كمياً، في حين أن الأجزاء الأخرى من المعادلة ، مثل هطول الأمطار والجريان السطحي يسهل قياسها نسبيًا ، هذا لأن الراشح للمياه الجوفية لا يعتمد فقط على هطول الأمطار ولكن أيضًا على الظروف الجوية، وكذلك على نوع التربة ورطوبتها، والغطاء النباتي، والميول الطبوغرافية، وممارسات الزراعة ، والأهم من ذلك كله ، على قيم النتح-تبخر.

UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

2- بناء النموذج الرياضي

Deriving Groundwater flow Equations
اشتقاق المعادلات الحاكمة

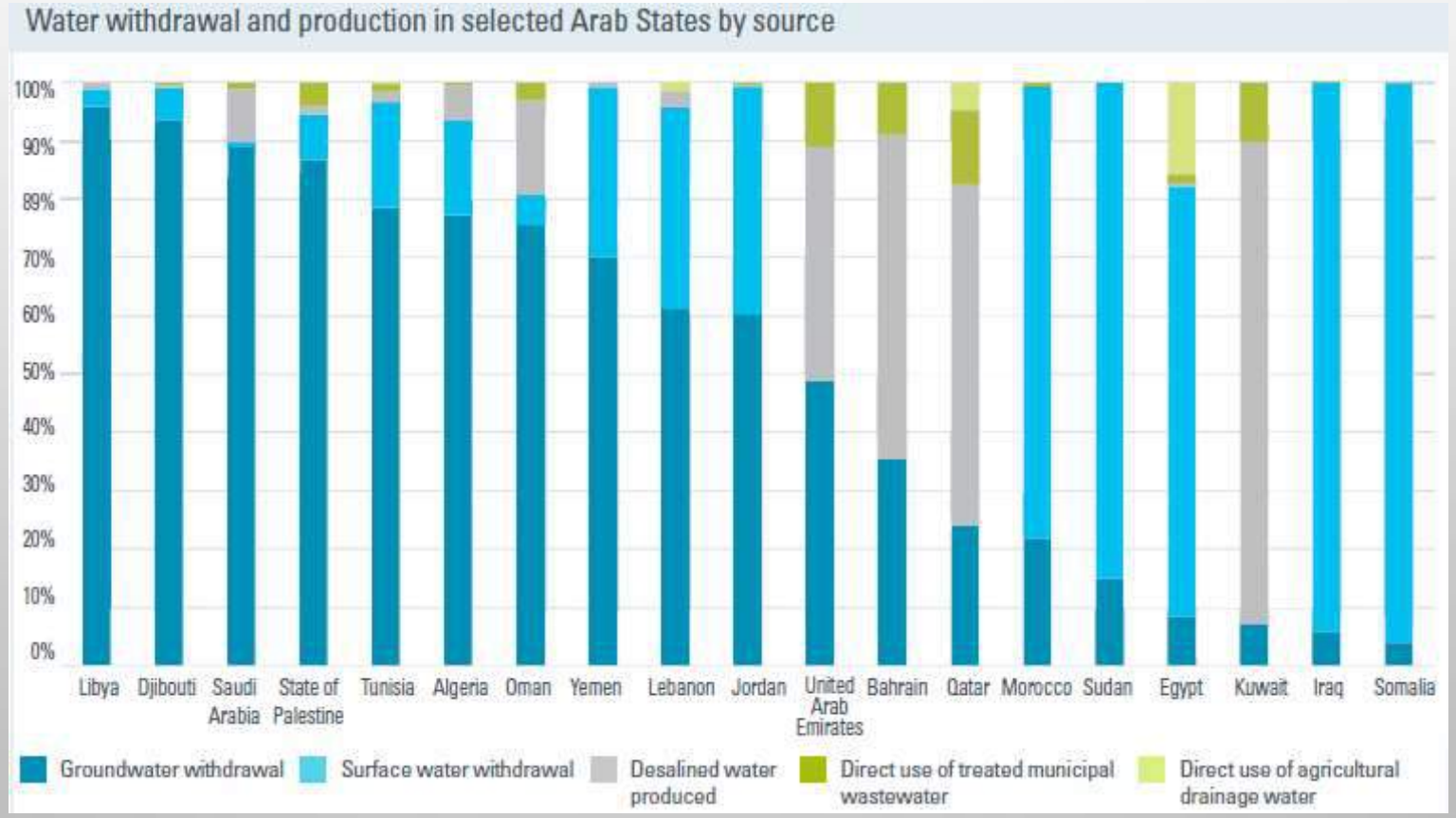


- تعتمد معظم تقديرات التغيرات الكبيرة في تخزين المياه الجوفية على النمذجة العددية التي تستخدم نواتج النمذجة المناخية الإقليمية (RCMs) بشكل عام.
- سيستخدم في هذا التدريب حالة دراسية محددة لتطوير نموذج مياه جوفيه، وتحميل بيانات التغيرات المناخية متمثلة بالهطولات المطرية من النماذج المناخية العالمية للمنطقة العربية، وذلك للفترات المستقبلية والتي قد تمتد حتى نهاية القرن الحادي والعشرين، سيتم حساب تغير كميات التغذية للمياه الجوفية المتوقعة وتطبيقها على النموذج الرياضي واستنتاج مدى تأثر المخزون المائي الجوفي بظل تغير الهطولات المطرية على المدى القريب والمتوسط.

- وعلى الرغم من المنهجيات المتعددة المستخدمة لتقدير التغذية ، إلا أن هذا التقدير لا يزال معقدا ويمثل تحدي قائماً بسبب العوامل الطبيعية والعوامل 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 اختيار طريقة تقدير التغذية بأهداف الدراسة والبيانات المتاحة وإمكانيات الحصول على البيانات المساعدة. لذلك من المفيد جدا تطبيق طرق تقدير متعددة للوصول إلى نتائج موثوقة إلى حد ما.

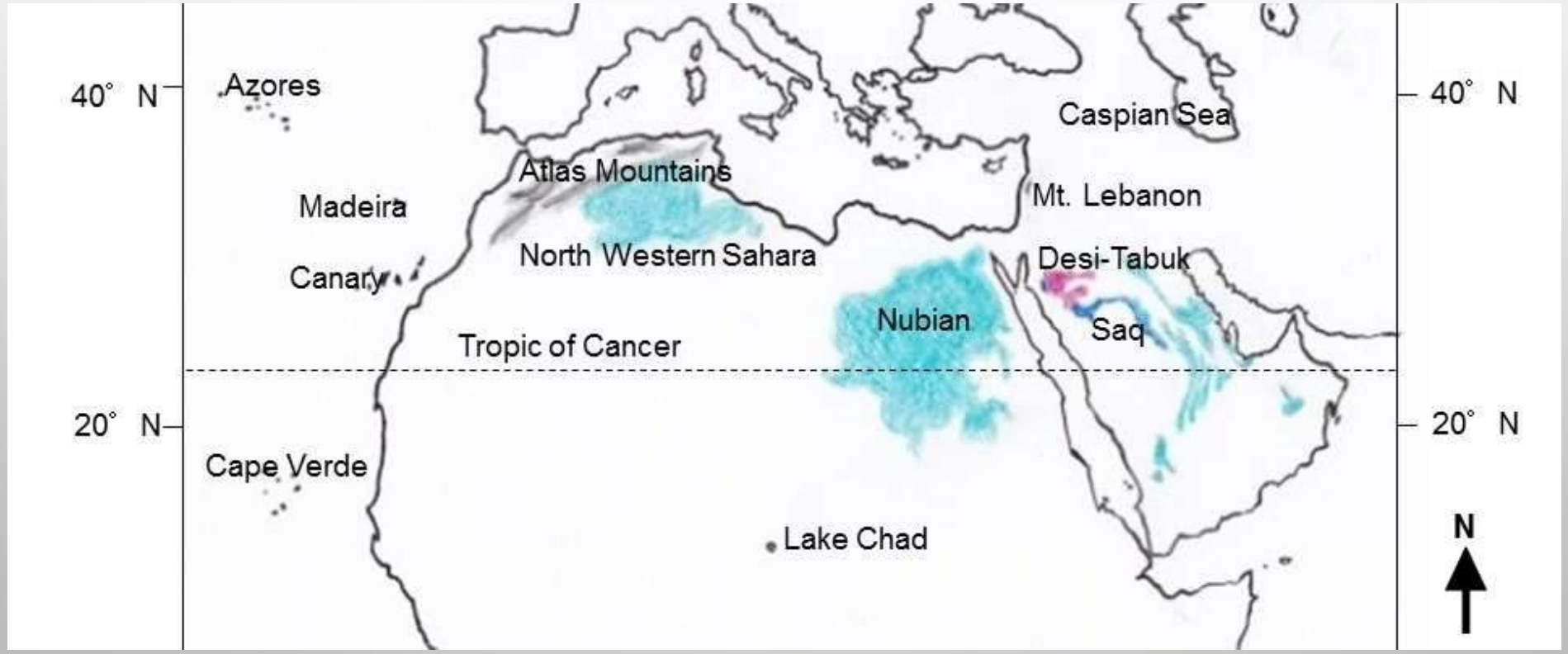
- ويعتمد أكثر من نصف الدول العربية اعتماداً كبيراً على المياه الجوفية كموردا أساسي للمياه العذبة وهو المصدر الرئيسي للري على الأقل في 11 دولة عربية. ففي جيبوتي ودولة فلسطين وليبيا والمملكة العربية السعودية، تشكل المياه الجوفية أكثر من 80 في المائة من مجموع المياه العذبة المستخدمة. ويزداد استخدام المياه الجوفية حتى في البلدانٍ التي تشكّل المياه السطحية فيها المصدر الأساسي للمياه العذبة

- يزداد اعتماد الدول العربية على المياه الجوفية في الري لإنتاج الغذاء حيث قد يصل في بعض الأحيان الى 88% من اجمالي المياه الجوفية المستخدمة



ESCWA Water Development Report 9

- هناك 43 طبقة مائية جوفية مشتركة في الوطن العربي تتشارك ما بين الدول العربية نفسها وما بينها وبين دول الجوار وفي كثير من الأحيان استخدام هذه الطبقات غير مخطط او مراقب بشكل مناسب
- تلوث المياه الجوفية وتداخل مياه البحر موضوع يزداد انتشارا ويؤثر بشكل كبير على جودة المياه الجوفية وصحة المجتمعات المعتمدة عليها.

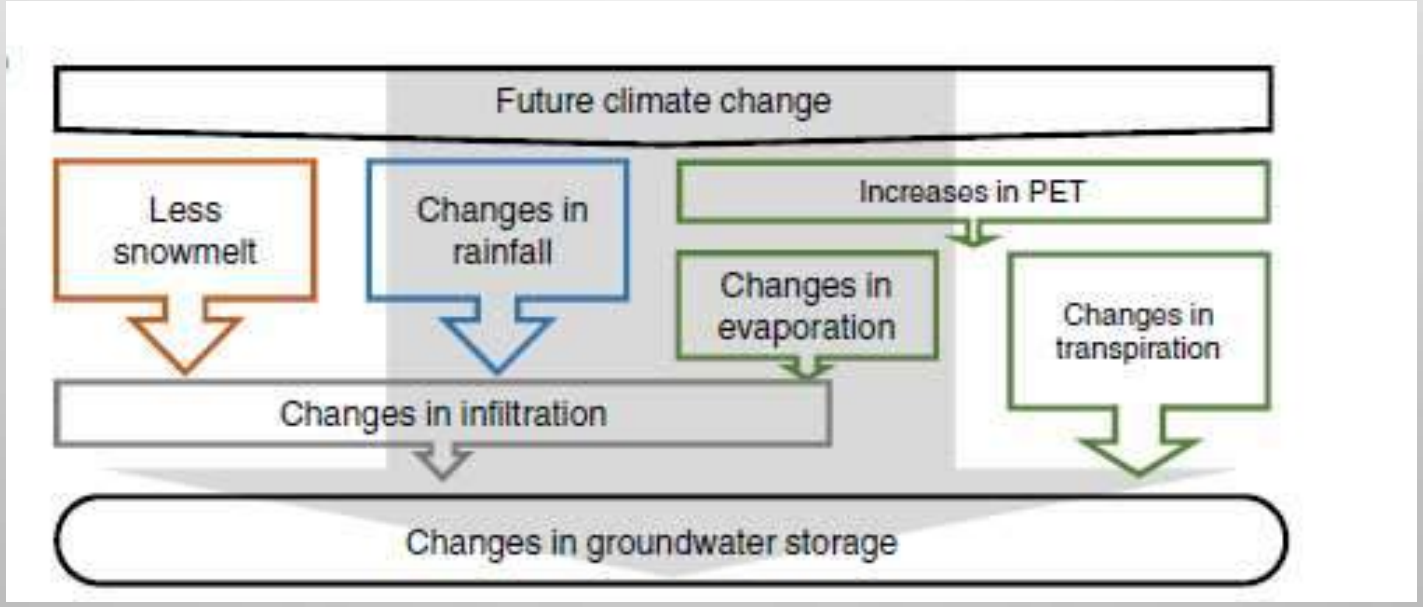


الطبقات الجوفية الهامة غير المتجددة

- يمكن عزو انخفاض قيم التغذية المائية GROUNDWATER RECHARGE للطبقات الجوفية نتيجة التغيرات المناخية إلى عدة أسباب:

1. انخفاض كميات الهطول المطري وحدوثها على شكل عواصف مطرية شديدة قصيرة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الجريان السطحي والحد من إمكانية تغذية المياه الجوفية
2. زيادة نسبة التبخر وتعرض بعض المناطق إلى الجفاف لفترات طويلة مما يسبب انخفاض رطوبة التربة السطحية وبالتالي انخفاض نسبة الراشح العميق الذي يغذي المياه الجوفية.
3. **تناقص مساحة الغطاء الثلجي** المتوقع نتيجة ارتفاع درجة الحرارة الجو

- وتظهر الدراسات مدى انخفاض تغذية المياه الجوفية GWR ودرجة تأثره المرتفعة بالتغيرات المناخية خاصة في شمال افريقيا والمشرق العربي وتأثير ذلك على مخزون المياه الجوفية GWS



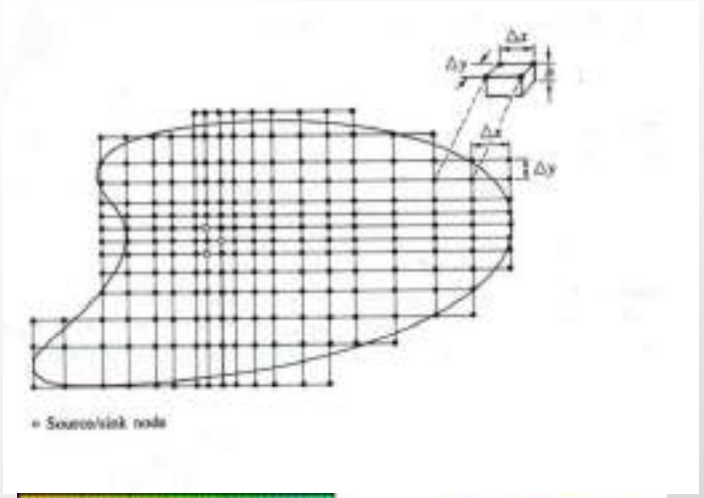
طرق الحل العددي:

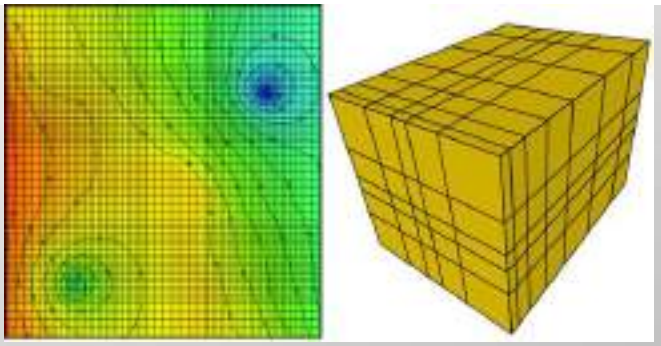
أكساد

2. طريقة الفروقات المحدودة

Finite Difference Method

و هي تقوم بتقريب الاشتقاق الأول للمعادلات التفاضلية الجزئية بفروقات للمتغيرات المستقلة في النقاط المتجاورة وعلى مستويين زمنيين متتاليين و هي قد تكون ظاهرية Explicit أو ضمنية Implicit.





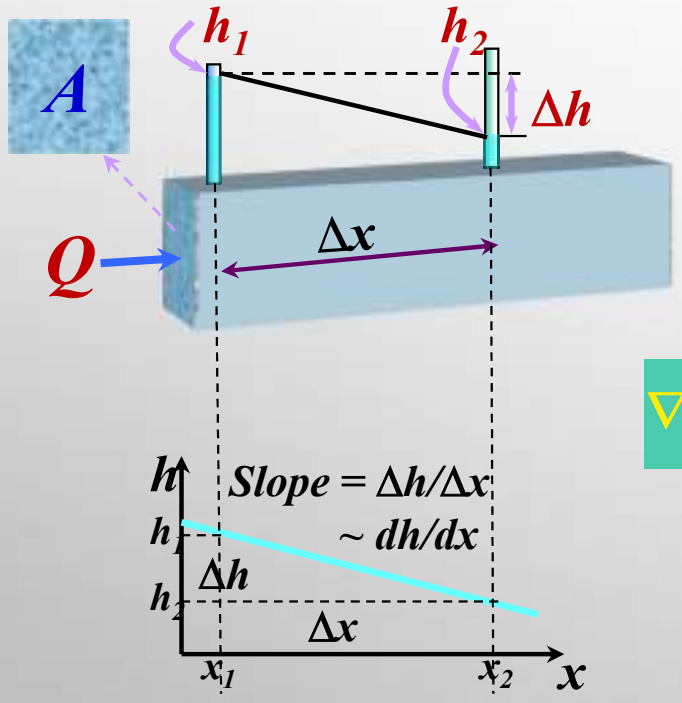
- **Modflow** (1988,1996,2000,2005,2017)

UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

قانون دارسي

Darcy's Experiment (1856): Darcy investigated ground water flow under controlled conditions



$$Q \propto \Delta h, \quad Q \propto 1/\Delta x, \quad Q \propto A$$

A: مساحة المقطع العرضي (المتعامد على اتجاه الجريان)

Q: التصريف او معدل الجريان $[L^3/T]$

k: النفوذية المائية

$\nabla h \approx \frac{\Delta h}{\Delta x}$: التدرج الهيدروليكي

$$Q \propto A\frac{\Delta h}{\Delta x} \quad \Rightarrow \quad Q = -K\,A\frac{\Delta h}{\Delta x}$$

k units [L/T]

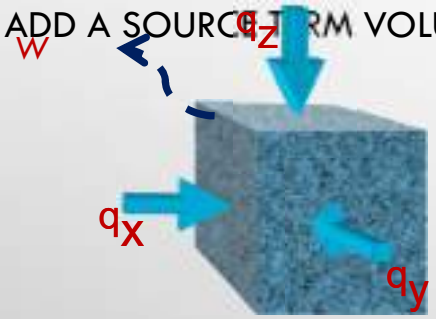
$$q = -k\frac{\Delta h}{\Delta x}$$

أكساد

3D EQUATION

SUMMING THE MASS BALANCE EQUATION FOR EACH COORDINATE DIRECTION GIVES THE TOTAL NET INFLOW PER UNIT VOLUME INTO THE REV

- ADD A SOURCE TERM VOLUMETRIC FLOW RATE PER UNIT VOLUME INJECTED INTO REV



$$-\frac{\partial q_x}{\partial x}-\frac{\partial q_y}{\partial y}-\frac{\partial q_z}{\partial z}=W+S_s\frac{\partial h}{\partial t}$$

Net inflow* = Change in volume stored*

*per unit volume per unit time

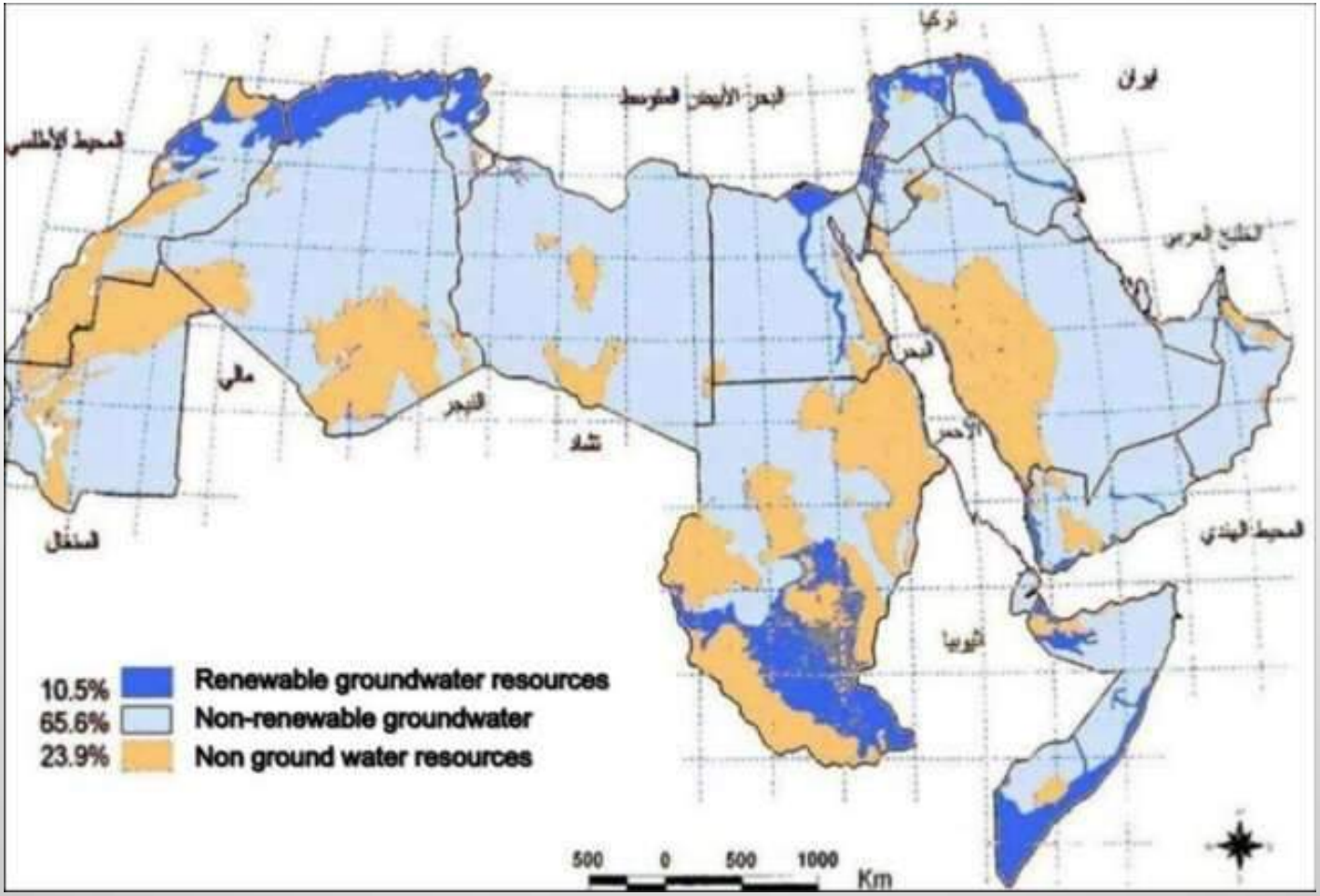
- Substitute components of q from 3-D **Darcy's law**

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)=W+S_s\frac{\partial h}{\partial t}$$

UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

مقدمة عن برنامج Modflow


تركيا
ايران
البحر الأبيض المتوسط
المحيط الأطلسي
الخليج العربي
البحر
الأحمر
مالي
النيجر
تشاد
السنغال
المحيط الهندي
اثيوبيا
10.5%
Renewable groundwater resources
65.6%
Non-renewable groundwater
23.9%
Non ground water resources
500 0 500 1000
Km

تغير قيم الراشح/التغذية للمياه الجوفية

CHANGE OF RECHARGE VALUES OF GROUNDWATER

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 ويعد التقدير الدقيق لكمية التغذية أمرًا بالغ الأهمية للاستخدام المستدام للمياه الجوفية على مستوى الأحواض.

أ- العوامل المؤثرة على الراشح / التغذية للمياه الجوفية

FACTORS AFFECTING GROUNDWATER RECHARGE

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

UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

ACSAD

Improved Groundwater Management in the Arab Region through Enhanced Data and Information Access and Innovative technologies

Cairo, 30-31 October 2023

CAIRO WATER WEEK

Assessment of Climate Change Impacts on Groundwater Resources

م. مازن نعمان

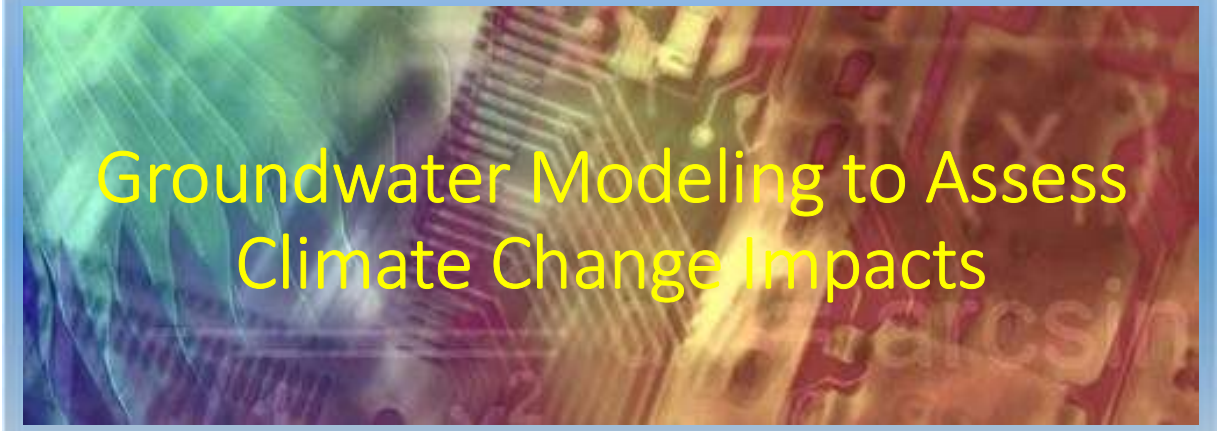
خبير مياه –نمذجة رياضية، المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة

Eng. Mazen Naaman

Water expert-mathematical modelling, Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands

UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد



دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

دراسة حالة

دليل التدريب

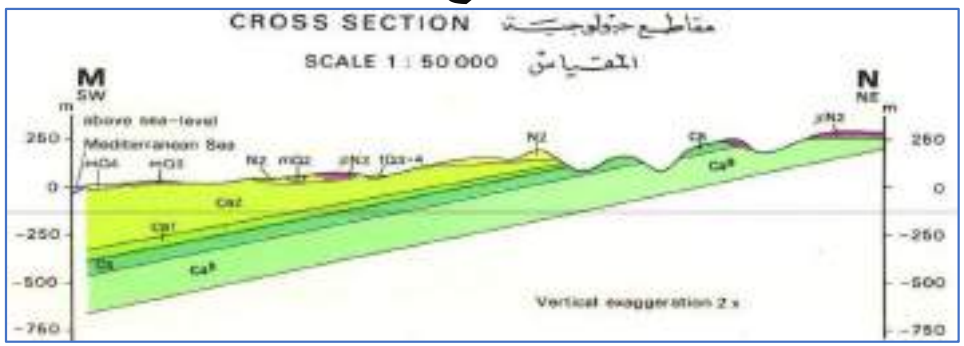
تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

دراسة حالة ـ منطقة الدراسة

موقع منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في سهل ساحلي، تغطي المنطقة طبقة رسوبات رباعية كونغلوميراتية غير متماسكة ذات ملاط غضاري (الشكل 4–2)، تتفاوت سماكتها من عدة أمتار الى أكثر من 150 متر، تتميز بنفوذية متوسطة إلى عالية

يلي الطبقة الكونغلوميراتية تجمعات من الحجر الكلسي الدولوميتي تعود الى الجوراسي والكريتاسي وتتكشف هذه التوضعات بالجهة الشرقية من منطقة الدراسة. تتروح مناسيب سطح الأرض من صفر عند سطح البحر غرباً وتصل الى 30م فوق سطح البحر شرقاً



مقطع جيولوجي في منطقة الدراسة

وتبلغ مساحة منطقة الدراسة حوالي 4 كم^2 يتمركز بالمنطقة نشاط زراعي ويعتمد على مياه الأمطار شتاءً مع ري تكميلي، وعلى مياه الآبار للري صيفا حيث يوجد في منطقة الدراسة 11 بئرا استثماريا. ويبلغ متوسط الهطول المطري في منطقة الدراسة حوالي 415 مم/سنة.

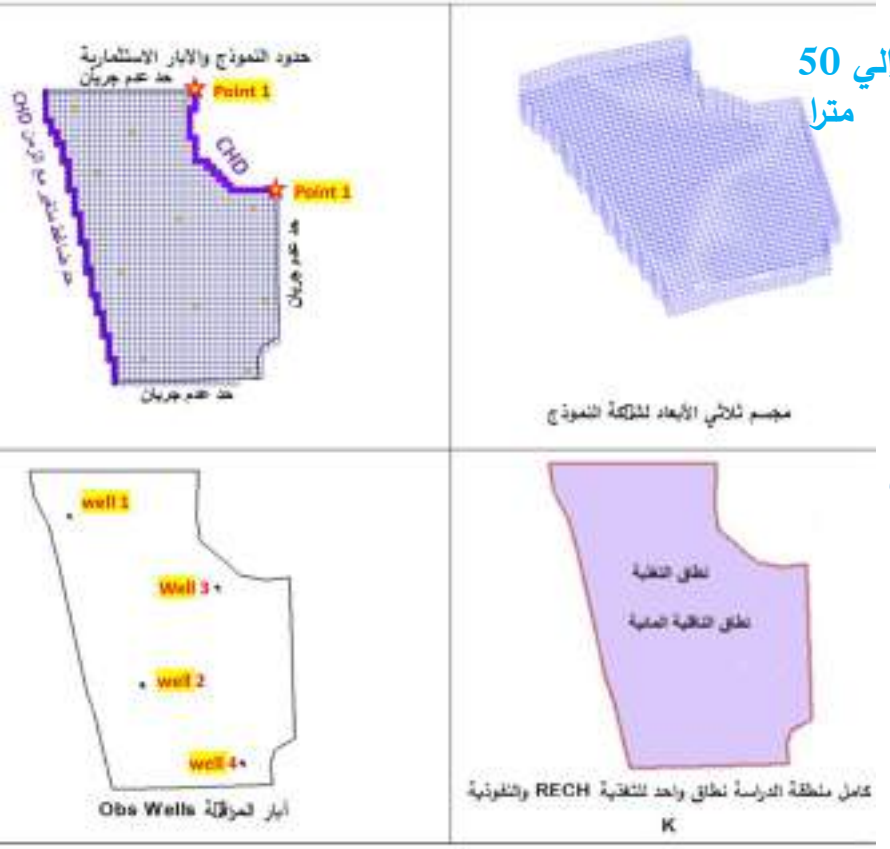
دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

دراسة حالة - النموذج الاعتباري

UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد



في منطقة الدراسة حامل مائي واحد حر (غير مضغوط) يتمثل بطبقة واحدة سماكتها حوالي 50 مترا

يشكل البحر الحد الغربي للنموذج وهو حد ضاغط ثابت مساو للصفر كما أن الحد الشمالي الشرقي هو حد ضاغط محدد متغير مع الوقت CHD Time Variant Specified Head، ويأخذ منسوب حوالي 7.8–8m بتغذية جوفية جانبية من الطبقات المحاذية، أما بقية حدود النموذج فهي حدود عدم جريان. الطبقة متجانسة ضمن منطقة الدراسة وذات نفاذية متوسطة إلى عالية، قيمة النفوذية المائية (Hydraulic conductivity) K حوالي5 متر/يوم وقيمة المعطائية المائية (Specific yield) 0.15.

يتغذى الحامل المائي من الراشح من مياه الأمطار والراشح من مياه الري والجريان الجانبي من الحد الشمالي الشرقي

تصرف المياه من الحامل المائي بالجريان باتجاه الحد الغربي إلى البحر ومن خلال الضخ من الآبار الاستثمارية، حيث يوجد ضمن منطقة الدراسة 11 بئرا استثماريا. تستخدم هذه الآبار للري والاستخدامات المنزلية على مدار العام حيث كانت كمية الضخ من كل بئر (100 م^3/اليوم) عام 2009 ازدادت خطيا خلال فترة المحاكاة (2009–2020) حتى بلغت (155 م^3/اليوم) عام 2020.

UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

دراسة حالة – تقدير قيمة الراشح من مياه الأمطار

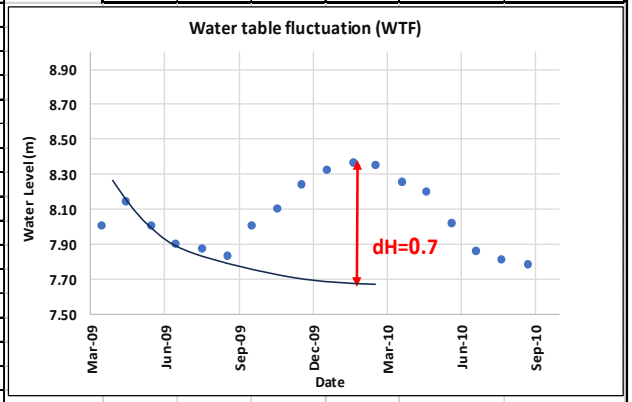
باستخدام البيانات الشهرية لمنسوب المياه الجوفية في بئر المراقبة الموجود خارج منطقة النموذج في الجهة الشمالية الشرقية، وربطها ببيانات الهطول المطري لمدة 18شهرا (9/2010-3/2009) من المحطة المناخية شمال شرق النموذج، فكانت قيمة Dh=0.7 تقريباً، وباستخدام قيمة المعطائية النوعية 0.15، ومعدل هطول الأمطار السنوي بتلك الفترة يساوي 622 مم، تم حساب قيمة التغذية وقد بلغت:

R=0.7*0.15=0.105 m = 105 mm/y

أي حوالي 16.88% من كمية الأمطار.

Month	monthly Prec(mm)	Level (m)
3/31/2009	2.7	8.00
4/30/2009	11.1	8.14
5/31/2009	7.6	8.00
6/30/2009	21.9	7.90
7/31/2009	0.3	7.87
8/31/2009	3.1	7.83
9/30/2009	17.2	8.00
10/31/2009	68.5	8.10
11/30/2009	44.7	8.24
12/31/2009	199.3	8.32
1/31/2010	194.4	8.36
2/28/2010	46.4	8.35
3/31/2010	7.0	8.25
4/30/2010	113.8	8.20
5/31/2010	15.8	8.02
6/30/2010	18.3	7.86
7/31/2010	0.4	7.81
8/31/2010	1.3	7.78
9/30/2010	27.3	8.05
10/31/2010	47.3	8.10
11/30/2010	63.7	8.11
12/31/2010	2.1	8.20
المعدل السنوي	622	Apr 2009 - Mar 2010

Dh	Sy	Rm	Rmm	annual Prec (mm)	percentage %
0.7	0.15	0.1050	105	622	16.88



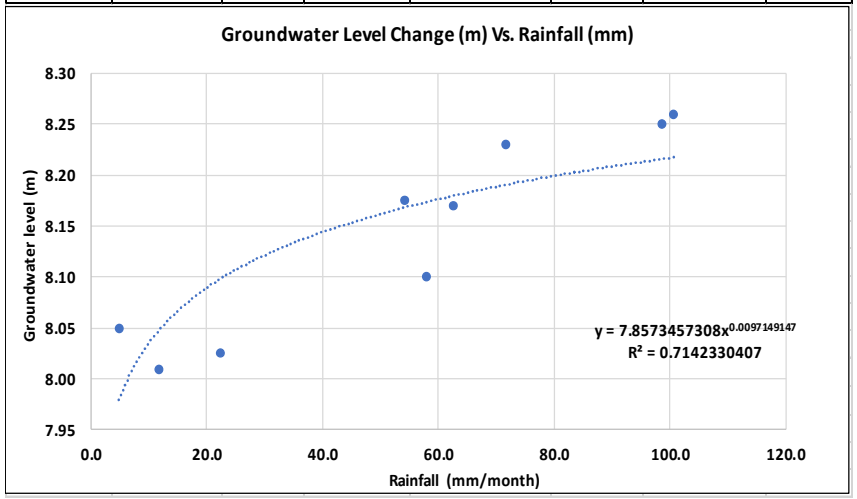
تقدير قيم الراشح في منطقة الدراسة باستخدام طريقة تذبذب مستوى المياه الجوفية في بئر المراقبة

دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

دراسة حالة - تقدير قيمة الضاغط Time Variant Specified Head

Month	monthly Prec(mm)	Level (m)	Month	monthly Prec(mm)	Level (m)	Average monthly Prec (mm)	AveragLevel (m)
3/31/2009	2.7	8.00	3/31/2010	7.0	8.10	4.8	8.05
4/30/2009	11.1	8.14	4/30/2010	113.8	8.20	62.5	8.17
5/31/2009	7.6	8.00	5/31/2010	15.8	8.02	11.7	8.01
9/30/2009	17.2	8.00	9/30/2010	27.3	8.05	22.3	8.03
10/31/2009	68.5	8.10	10/31/2010	47.3	8.10	57.9	8.10
11/30/2009	44.7	8.24	11/30/2010	63.7	8.11	54.2	8.18
12/31/2009	199.3	8.32	12/31/2010	2.1	8.20	100.7	8.26
1/31/2010	194.4	8.36	1/31/2011	3.1	8.14	98.7	8.25
2/28/2010	46.4	8.35	2/28/2011	96.9	8.11	71.7	8.23



تلعب الشروط الحدية في نماذج المياه الجوفية دورا كبيراً في سلوك النموذج. يحتوي النموذج الاعتباري للحامل المائي في منطقة الدراسة على حد ضاغط محدد متغيرمع الزمن Time Variant Specified Head في شمال شرق منطقة النموذج. إن قيم الضاغط عند الشرط الحدي مدخل من مدخلات النموذج ويجب تحديدها قبل تشغيل النموذج أي يجب تحديد قيم الضاغط لكل خطوة زمنية خلال فترة التشغيل. هذه القيم تتأثر بالهطول المطري (بافتراض انه لم يحدث أي تغير حاد في استثمار الطبقات الجوفية المجاورة) ويمكن إيجاد علاقة تقريبية تربط بين قيم الضاغط والهطول المطري خلال فترة المعايرة واستخدامها لفترة التنبؤ.

تم استخدام البيانات الشهرية المتاحة في استخراج علاقة رياضية إحصائية تمكن من حساب قيم منسوب المياه عند الحدود الشرقية الشمالية للنموذج خلال فترة المعايرة

تم اشتقاق هذه العلاقة خلال الأشهر الممطرة باستخدام قيم هطول الأمطار الشهرية (من الشهر 10 – 6) وتغير مستوى المياه الجوفية ، لسنتين متتاليتين للعام 2010 و2011، وكانت العلاقة الناتجة لأفضل منحني يمر من هذه القيم:

$$y = 7.857\ x^{0.0097}$$

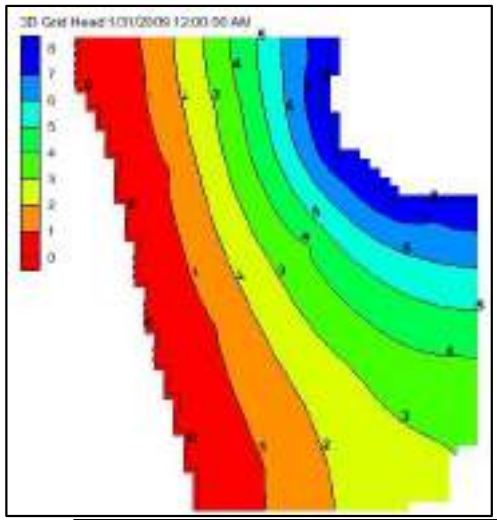
UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

دليل التدريب

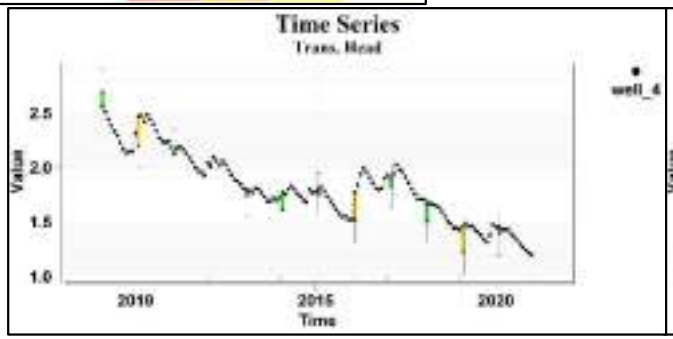
تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

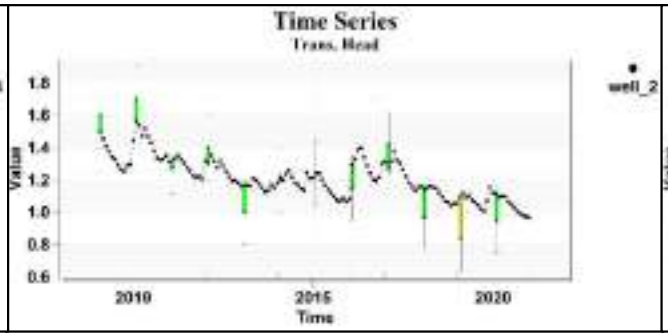
دراسة حالة - تجهيز ومعايرة النموذج الرياضي

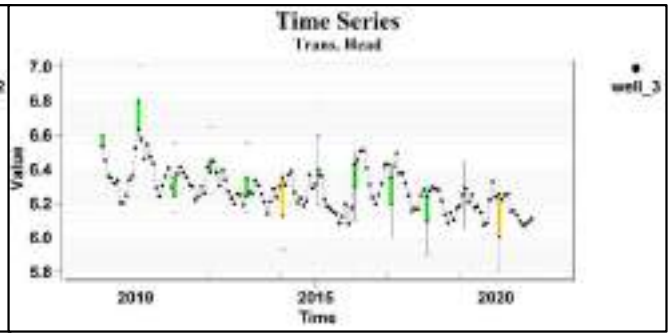


استخدم برنامج Modflow ضمن منصة GMS النسخة GMS 10.6.1 حيث تم تمثيل الحامل المائي في منطقة الدراسة بشبكة ثلاثية الأبعاد مؤلفة من طبقة واحدة سماكتها 50 مترا وتتضمن 1534 خلية فعالة، الخلية مربعة طول ضلعها 50 مترا.

اسندت الشروط الحدية وقيم الضخ وقيم التغذية إلى الشبكة وقيمة بدائية للنفوذية المائية K (Hydraulic conductivity) وقيمة بدائية للمعطائية المائية (Specific yield) ثم تشغيل النموذج الرياضي للمياه الجوفية ومعايرته للفترة (2009-2020) باستخدام قياسات مستوى المياه الجوفية في أبار المراقبة للمعايرة







UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

دراسة حالة - إعداد بيانات الهطولات المطرية من النماذج المناخية

تم استخلاص السلاسل الزمنية للهطولات المطرية الشهرية لكل نموذج من النماذج المناخية الثلاثة: CNRM و EcEarth وGFDL في نقطة واحدة وسط النموذج ا، وذلك للفترة من 2021 حتى 2070

ينخفض متوسط الهطول السنوي للفترة من 2021 حتى 2070 من 16% حتى 26% للنماذج المناخية الثلاثة: CNRM وEcEarth و GFDL مقارنة بالفترة المرجعية.

ينخفض متوسط تغذية المياه الجوفية السنوي للفترة من 2021 حتى 2070 من 0.24 Mm^3/Yr حتى 0.18 Mm^3/Yr .

	Rainfall (mm/Yr)						
	2009-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	Average
CNRM 8.5	415.0	376.8	422.6	288.7	347.2	312.4	349.6
EcEarth 8.5	415.0	394.6	291.6	331.9	293.2	326.7	327.6
GFDL 8.5	415.0	348.0	327.8	371.5	261.5	225.7	306.9
	*Change (%)						
	2009-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	Average
CNRM 8.5	0.0%	-9.2%	1.8%	-30.4%	-16.3%	-24.7%	-15.8
EcEarth 8.5	0.0%	-4.9%	-29.7%	-20.0%	-29.3%	-21.3%	-21.1
GFDL 8.5	0.0%	-16.2%	-21.0%	-10.5%	-37.0%	-45.6%	-26.0

ملخص متوسط الهطول المطري لفترة المعايرة (2009-2020)، وفترات التنبؤ (2021-2070).

	Rainfall (mm/Yr)						
	2009-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	Average
CNRM 8.5	415.0	376.8	422.6	288.7	347.2	312.4	349.6
EcEarth 8.5	415.0	394.6	291.6	331.9	293.2	326.7	327.6
GFDL 8.5	415.0	348.0	327.8	371.5	261.5	225.7	306.9
	Recharge (Mm^3/Yr)						
	2009-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	Average
CNRM 8.5	0.24	0.22	0.25	0.17	0.20	0.18	0.20
EcEarth 8.5	0.24	0.23	0.17	0.19	0.17	0.19	0.19
GFDL 8.5	0.24	0.20	0.19	0.22	0.15	0.13	0.18

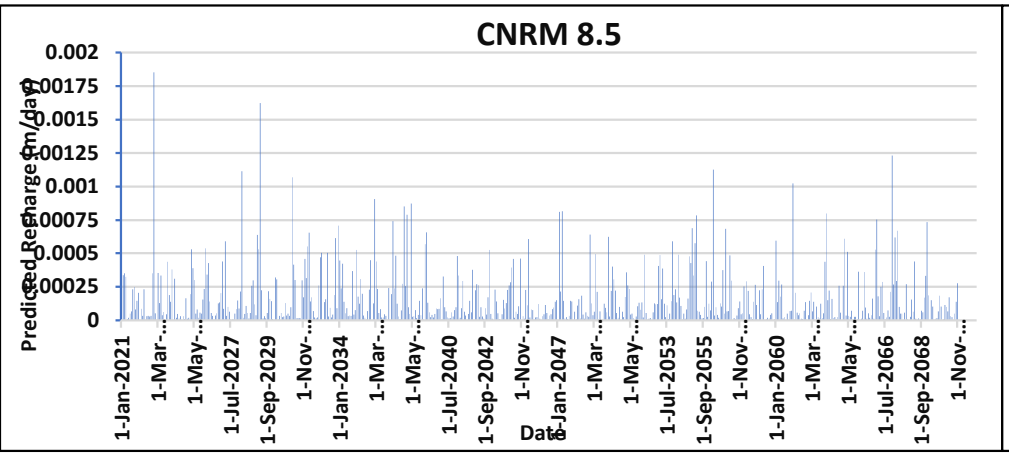
ملخص كميات التغذية والأمطار لفترة المعايرة (2009-2020)، وفترات التنبؤ (2021-2070).

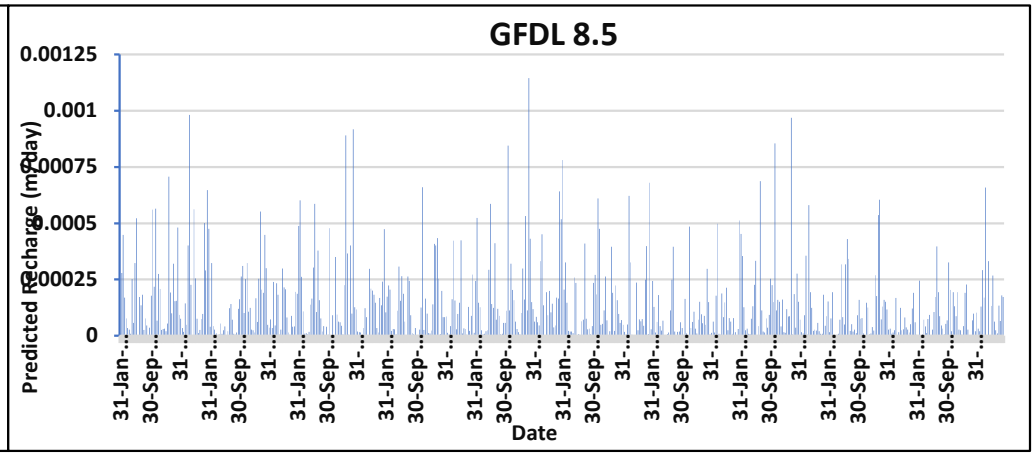
دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

دراسة حالة - حساب الراشح من الأمطار للنماذج المناخية للفترة 2021 - 2070

تبين الأشكال قيم التغذية من مياه الأمطار للفترة 2021 –2070 وذلك لنسبة التغذية 16.88% التي تم الحصول عليها من البيانات المتوفرة للهطول المطري ومناسيب المياه الجوفية في منطقة الدراسة باستخدام طريقة تغير مناسيب المياه الجوفية WTF.



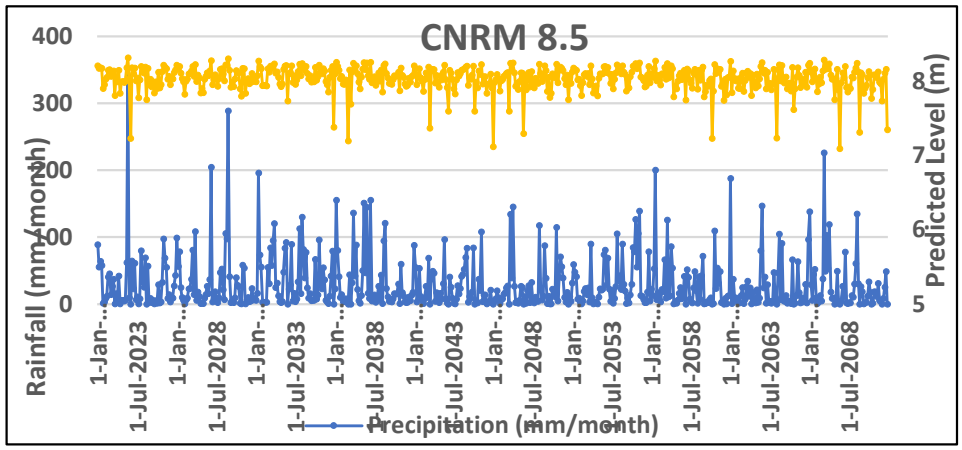


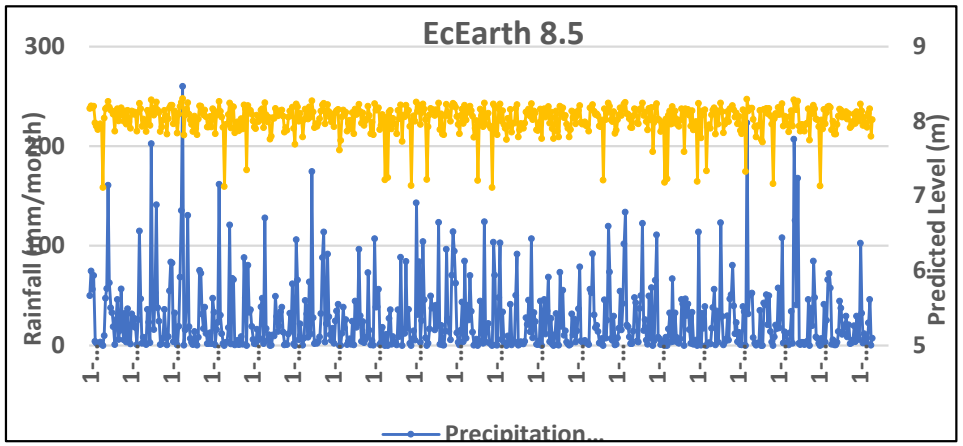
دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

دراسة حالة ـ حد الضاغط المتغير للفترة 2021 - 2070

تبين الأشكال الهطولات المطرية المتوقعةوقيم مناسيب المياه الجوفية في النقطة p1 من حد الضاغط المتغير في الجهة الشمالية الشرقية من النموذج المستنتجة للفترة المستقبلية (2070–2021) والمحسوبة بناءً على المعادلة المستنتجة من فترة المعايرة كما هو مبين في الشكل ، والمعتمدة في النموذج الرياضي على الحد الشمالي الشرقي من النموذج.





UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

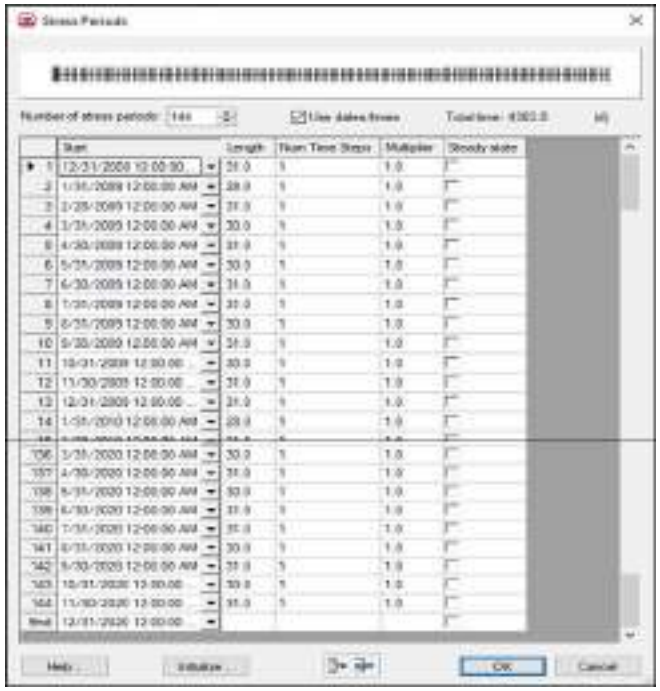
دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

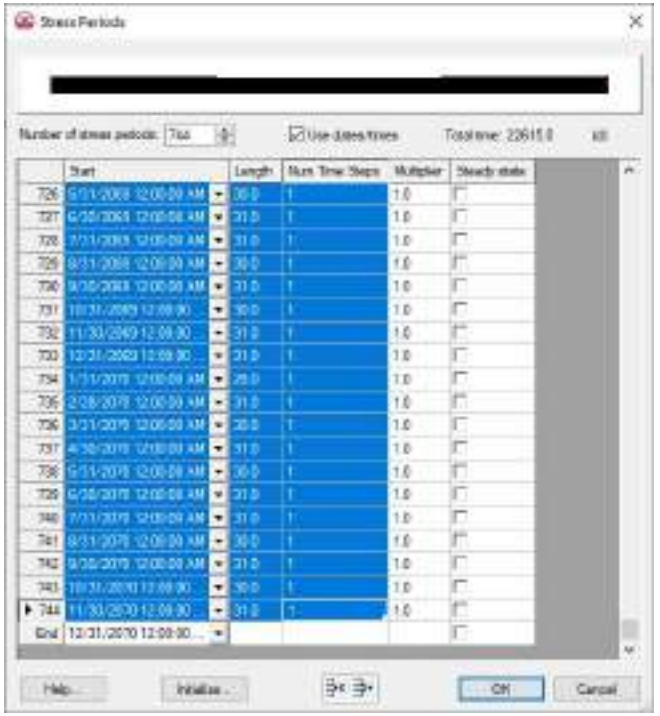
دراسة حالة - تشغيل النموذج لفترة التنبؤ 2021 -2070

تعديل فترة المحاكاة لتمتد حتى عام 2070

إضافة فترات الإجهاد من 31/12/2020 حتى 31/12/2070 (600 فترة إجهاد كل منها شهر واحد) في نهاية الجدول Stress Periods ليصبح عدد فترات الإجهاد 744.



يصبح عدد فترات الإجهاد 744 حتى نهاية فترة التنبؤ



UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

دليل التدريب

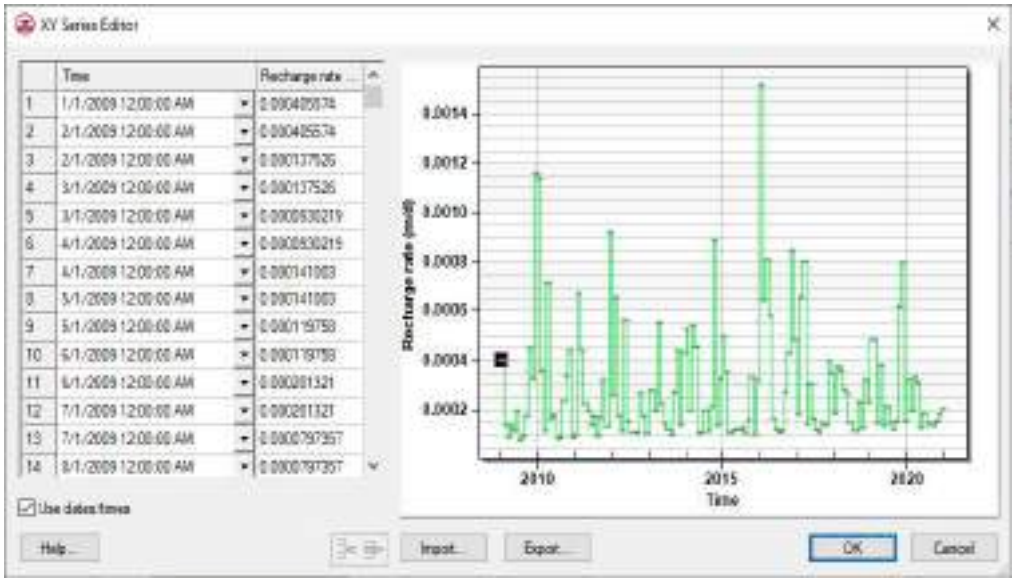
تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

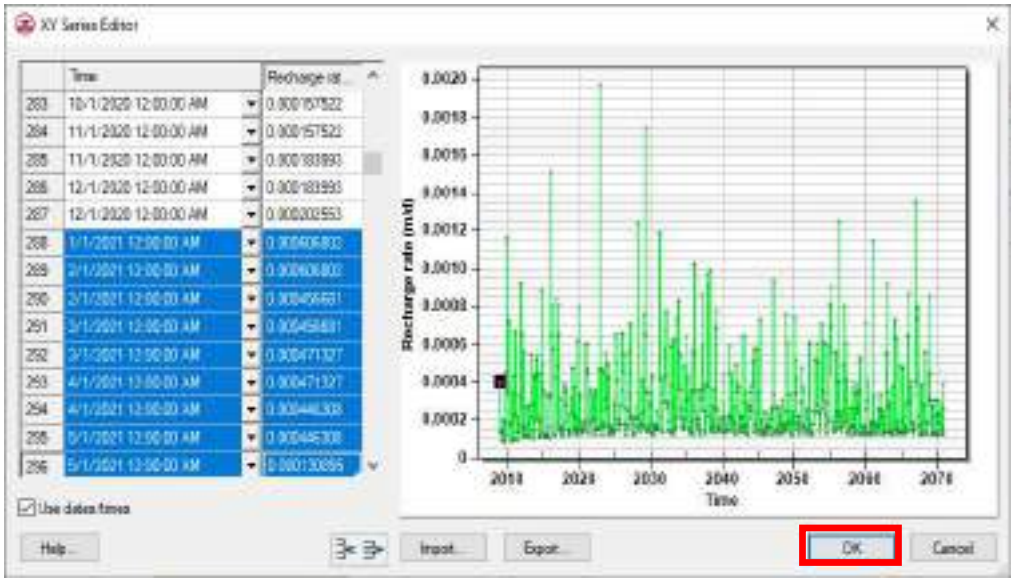
إضافة مدخلات النموذج للشروط الحدية والإجهادات لفترة التنبؤ

من 2021 حتى 2070

تعديل قيم التغذية Rech

تكون السلسلة الزمنية لقيم التغذية خلال فترة المعايرة من 1/1/2009 حتى 1/1/2021 ويجب تمديد السلسلة الزمنية حتى نهاية فترة التنبؤ في 31/12/2070 باستخدام القيم المستنتجة للتغذية خلال فترة التنبؤ.





UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

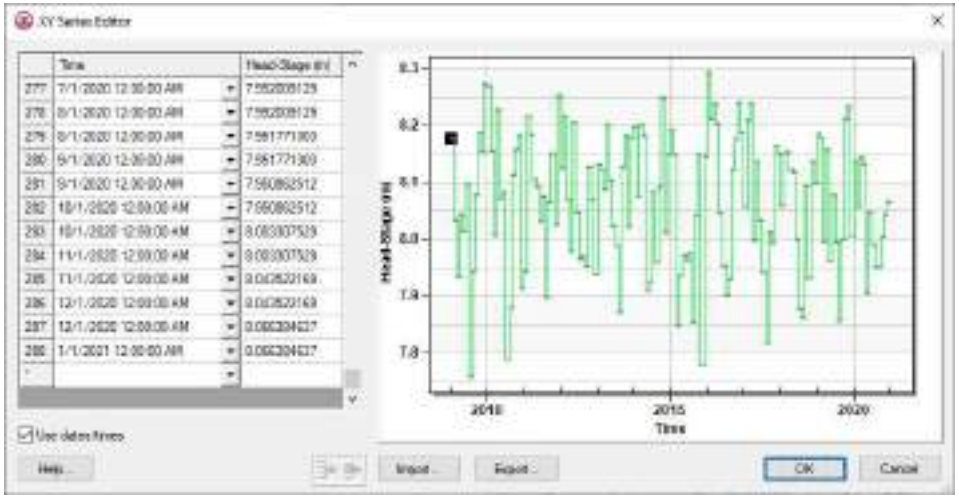
دليل التدريب

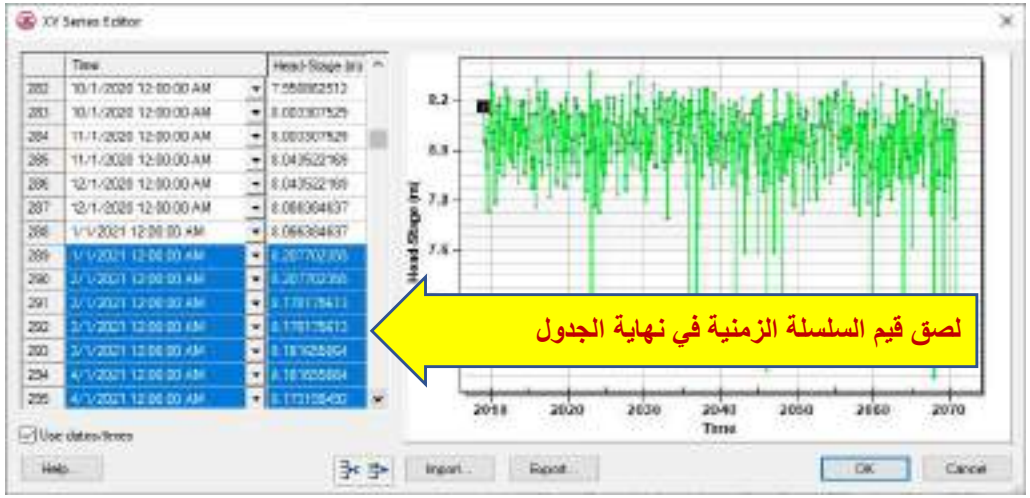
تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

إضافة مدخلات النموذج للشروط الحدية والإجهادات لفترة التنبؤ من 2021 حتى 2070

تعديل قيم العقد في الضاغط المحدد المتغير مع الزمن شمال شرق النموذج

تكون السلسلة الزمنية لقيم الضاغط المحدد في العقدتين 1 و 2 خلال فترة المعايرة من 1/1/2009 حتى 1/1/2021 ويجب تمديد السلسلة الزمنية حتى نهاية فترة التنبؤ في 31/12/2070باستخدام القيم المستنتجة للتغذية خلال فترة التنبؤ.





UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

أكساد

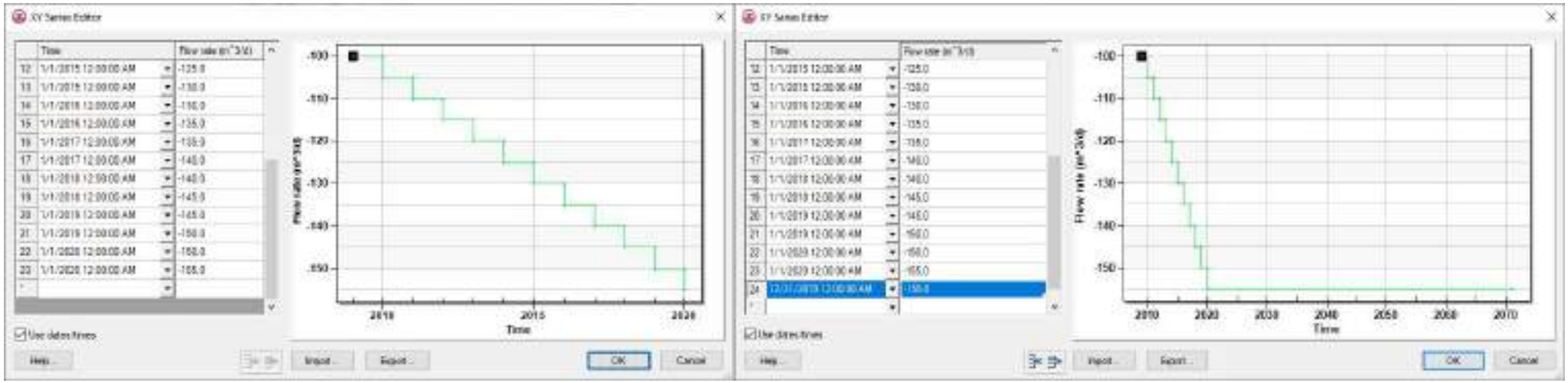
دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

إضافة مدخلات النموذج للشروط الحدية والإجهادات لفترة التنبؤ من 2021 حتى 2070

تعديل قيم الضخ من الآبار الاستثمارية

تكون السلسلة الزمنية لقيم الضخ من البئر لفترة المعايرة والذي يزداد من 100 م3 / يوم عام 2009 حتى 155 م3 / يوم عام 2020، يجب تمديدها حتى عام 2070 بتثبيت معدل الضخ عند 155 م3 / يوم.



UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

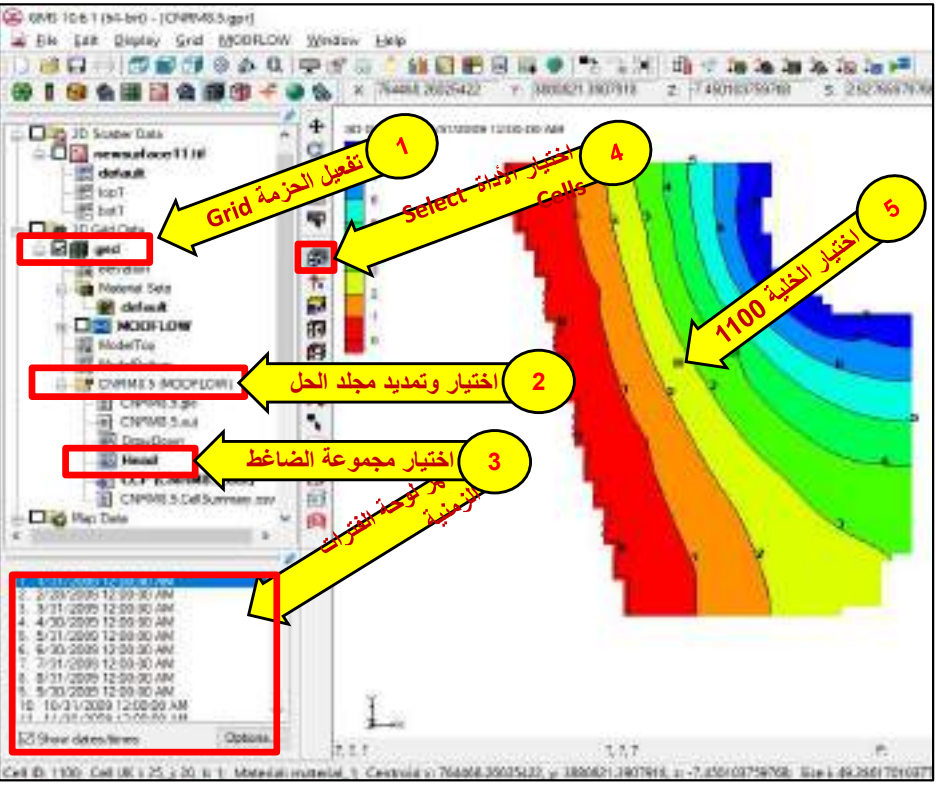
أكساد

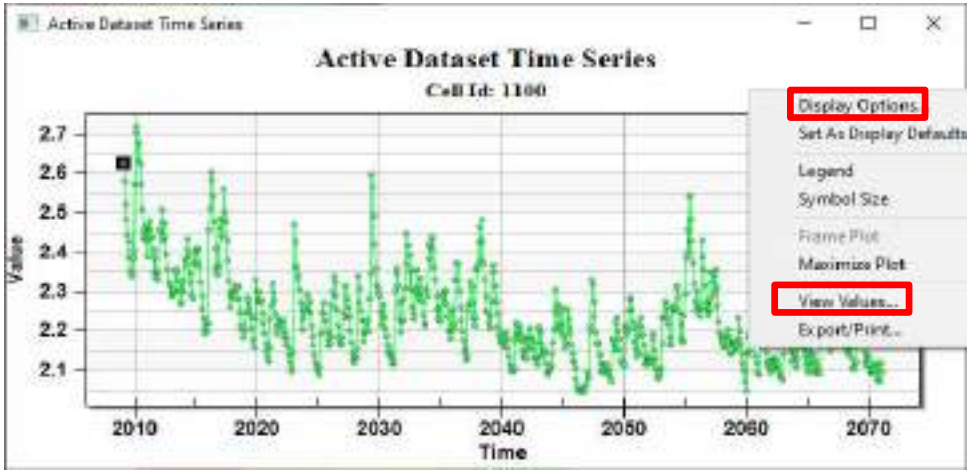
دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

تشغيل النموذج وتلخيص النتائج لفترة التنبؤ من 2021 حتى 2070

بعد إجراء التعديلات السابقة وحفظ النموذج باسم جديد وتشغيل النموذج
يمكن عرض تغيرات مناسيب المياه الجوفية في أي نقطة من النموذج خلال فترة المحاكاة





UNITED NATIONS
الاسكوا
ESCWA

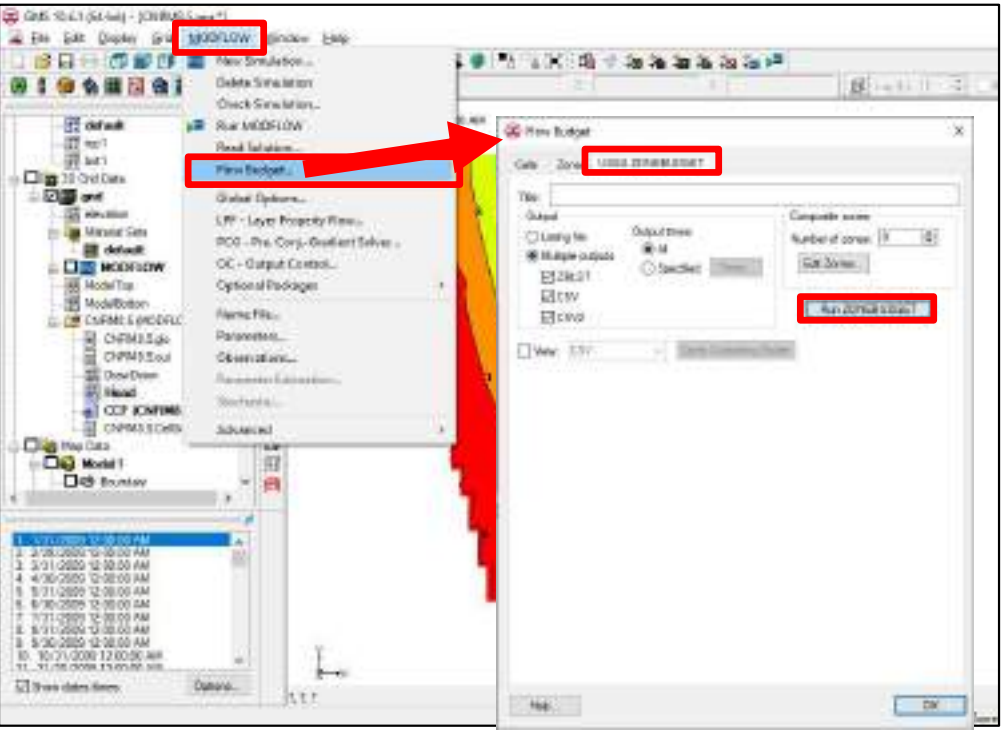
أكساد

دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

تشغيل النموذج وتلخيص النتائج لفترة التنبؤ من 2021 حتى 2070

بعد إجراء التعديلات السابقة وحفظ النموذج باسم جديد وتشغيل النموذج
يمكن حساب الموازنة المائية لفترة المحاكاة وتلخيص نتائج الموازنة



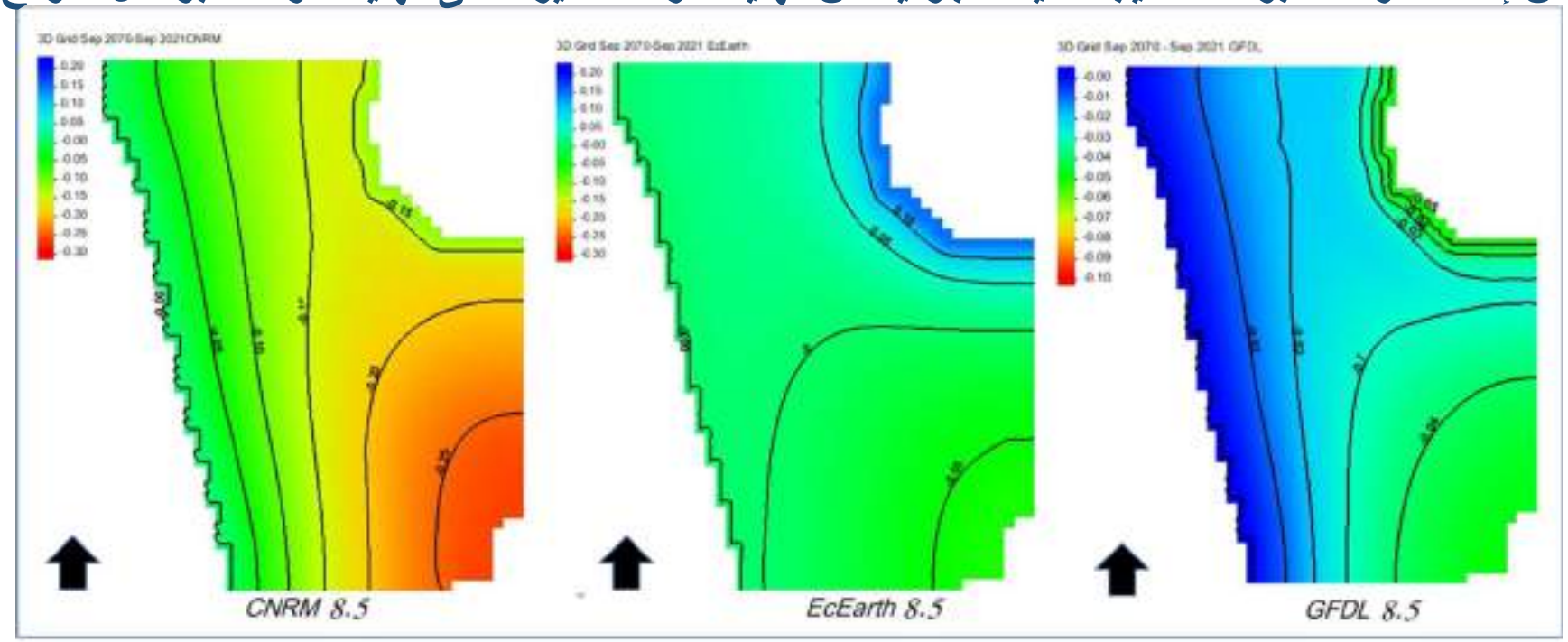
Water Budget / CNRM 8.5 (m³/Yr.)						
Horizon	IN			OUT		IN-OUT
	Recharge from Rainfall	Recharge from irrigation	Lateral Flow	Well	Lateral Flow	Change of average annual storage
Reference Period (2009-2020)	245,685	127,978	803,951	511,863	692,882	-27,131
2021-2030	222,094	155,581	848,505	622,325	604,191	-337
2031-2040	249,738	155,581	840,845	622,325	625,448	-1,609
2041-2050	171,137	155,581	863,194	622,325	565,224	2,364
2051-2060	205,974	155,581	853,515	622,325	594,430	-1,685
2061-2070	185,349	155,581	855,225	622,325	575,677	-1,847
Average	206,858	155,581	852,257	622,325	592,994	-623
	Relative change in comparison to refence period (%)					
2021-2030	-9.6	21.6	5.5	21.6	-12.8	-98.8
2031-2040	1.6	21.6	4.6	21.6	-9.7	-94.1
2041-2050	-30.3	21.6	7.4	21.6	-18.4	-108.7
2051-2060	-16.2	21.6	6.2	21.6	-14.2	-93.8
2061-2070	-24.6	21.6	6.4	21.6	-16.9	-93.2
Average	-15.8	21.6	6.0	21.6	-14.4	-97.7
	-15.8	21.6	6.0	21.6	-14.4	-97.7

دليل التدريب

تقييم أثر التغيير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

تشغيل النموذج وتلخيص النتائج لفترة التنبؤ من 2021 حتى 2070

بعد إجراء التعديلات السابقة وحفظ النموذج باسم جديد وتشغيل النموذج
يمكن إعداد خرائط هبوط مناسيب المياه الجوفية من نهاية فترة المعايرة حتى نهاية فترة التنبؤ لكل نموذج مناخي



خرائط انخفاض مناسيب المياه الجوفية (Head Sep/2021 – Head Sep/2070) للنماذج المناخية: CNRM 8.5, EcEarth 8.5, GFDL 8.5

شكرا لحسن استماعكم