



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

Amman, 27-29 February 2024



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

Groundwater Modeling to Assess Climate Change Impacts

دليل التدريب

تقييم أثر التغير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

دراسة حالة

تقييم أثر التغير 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 و GFDL 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 و EcEarth و GFDL مقارنة بالفترة المرجعية.

ينخفض متوسط تغذية المياه الجوفية السنوي للفترة من 2021 حتى 2070 من 0.24 Mm³/Yr حتى 0.18 Mm³/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% | -16.1% | -21.0% | -10.5% | -37.0% | -45.6% | -26.0 |

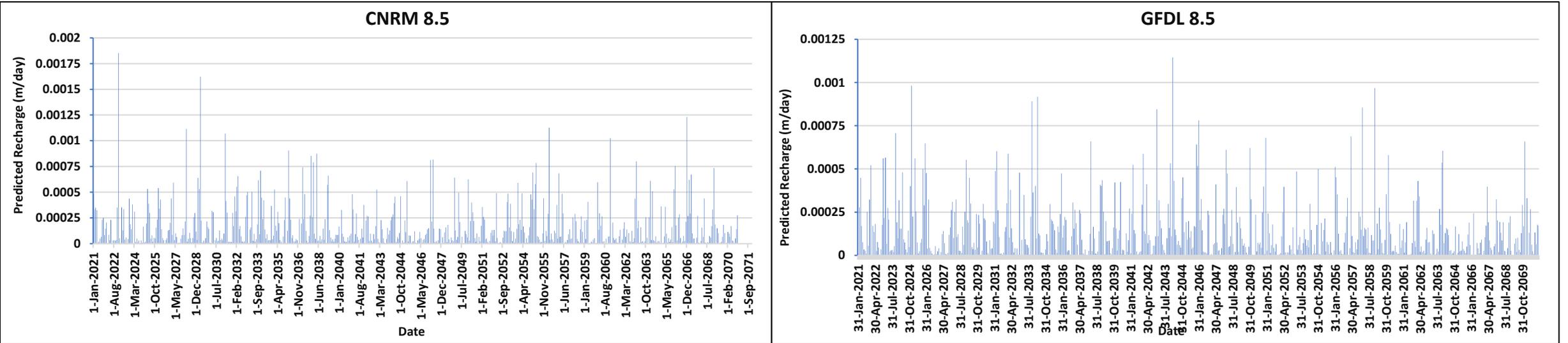
ملخص متوسط الهطول المطري لفترة المعايرة (2009-2020) وفترة التنبؤ (2021-2070).

| | 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).

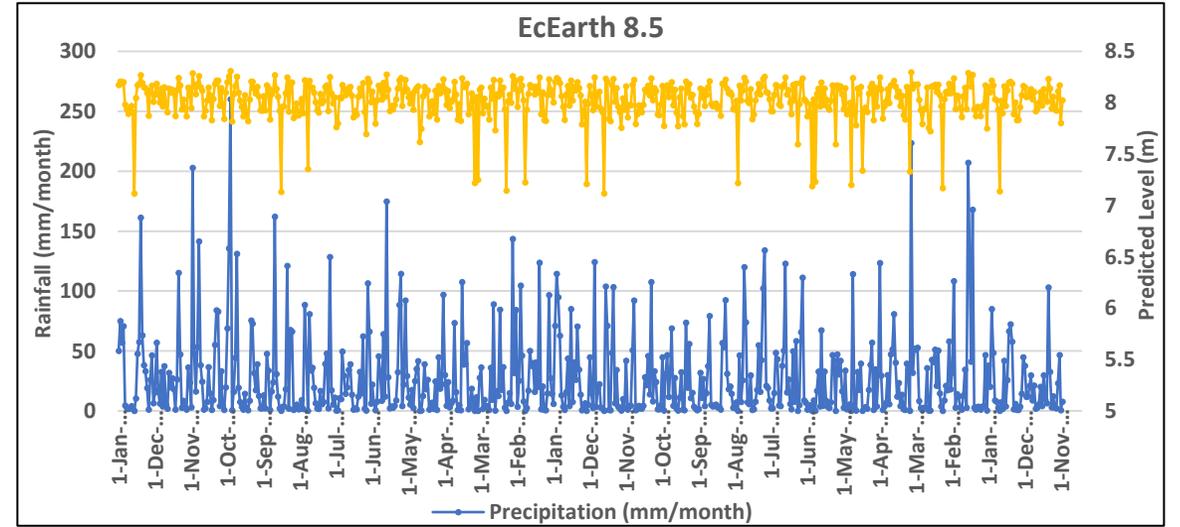
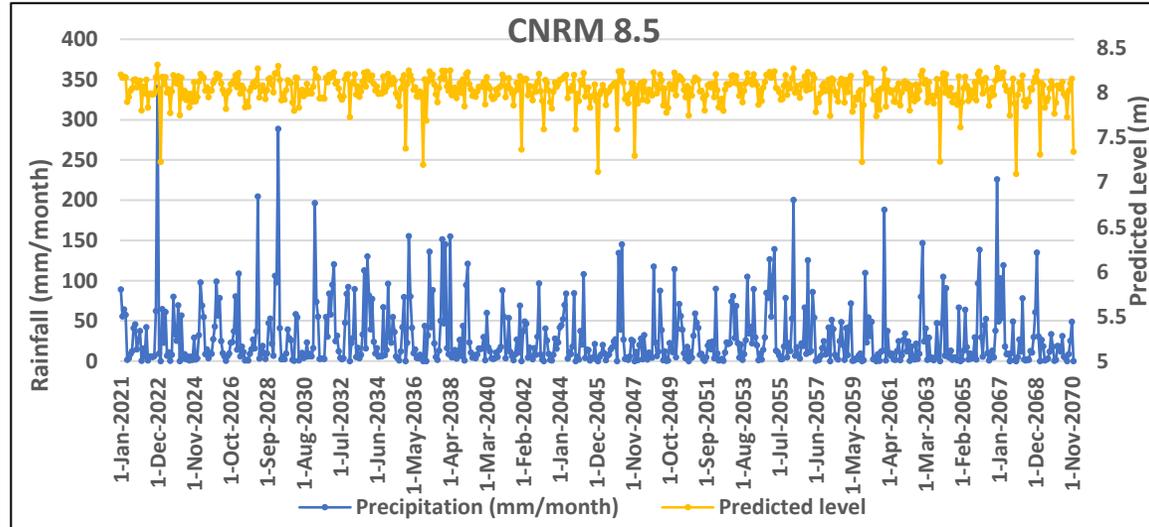
تقييم أثر التغير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية دراسة حالة - حساب الراشح من الأمطار للنماذج المناخية للفترة 2021 - 2070

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.



تقييم أثر التغير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية دراسة حالة - حد الضاغط المتغير للفترة 2021 - 2070

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



Stress Periods

Number of stress periods: 144 Use dates/times Total time: 4383.0 (d)

| | Start | Length | Num Time Steps | Multiplier | Steady state |
|-----|------------------------|--------|----------------|------------|--------------------------|
| 1 | 12/31/2008 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 2 | 1/31/2009 12:00:00 AM | 28.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 3 | 2/28/2009 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 4 | 3/31/2009 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 5 | 4/30/2009 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 6 | 5/31/2009 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 7 | 6/30/2009 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 8 | 7/31/2009 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 9 | 8/31/2009 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 10 | 9/30/2009 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 11 | 10/31/2009 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 12 | 11/30/2009 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 13 | 12/31/2009 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 14 | 1/31/2010 12:00:00 AM | 28.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 15 | 2/28/2010 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 16 | 3/31/2010 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 136 | 3/31/2020 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 137 | 4/30/2020 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 138 | 5/31/2020 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 139 | 6/30/2020 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 140 | 7/31/2020 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 141 | 8/31/2020 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 142 | 9/30/2020 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 143 | 10/31/2020 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 144 | 11/30/2020 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| End | 12/31/2020 12:00:00 AM | | | | |

Help... Initialize... OK Cancel

يصبح عدد فترات الإجهاد 744 حتى نهاية فترة التنبؤ

Stress Periods

Number of stress periods: 744 Use dates/times Total time: 22615.0 (d)

| | Start | Length | Num Time Steps | Multiplier | Steady state |
|-----|------------------------|--------|----------------|------------|--------------------------|
| 726 | 5/31/2069 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 727 | 6/30/2069 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 728 | 7/31/2069 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 729 | 8/31/2069 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 730 | 9/30/2069 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 731 | 10/31/2069 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 732 | 11/30/2069 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 733 | 12/31/2069 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 734 | 1/31/2070 12:00:00 AM | 28.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 735 | 2/28/2070 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 736 | 3/31/2070 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 737 | 4/30/2070 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 738 | 5/31/2070 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 739 | 6/30/2070 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 740 | 7/31/2070 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 741 | 8/31/2070 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 742 | 9/30/2070 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 743 | 10/31/2070 12:00:00 AM | 30.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| 744 | 11/30/2070 12:00:00 AM | 31.0 | 1 | 1.0 | <input type="checkbox"/> |
| End | 12/31/2070 12:00:00 AM | | | | |

Help... Initialize... OK Cancel

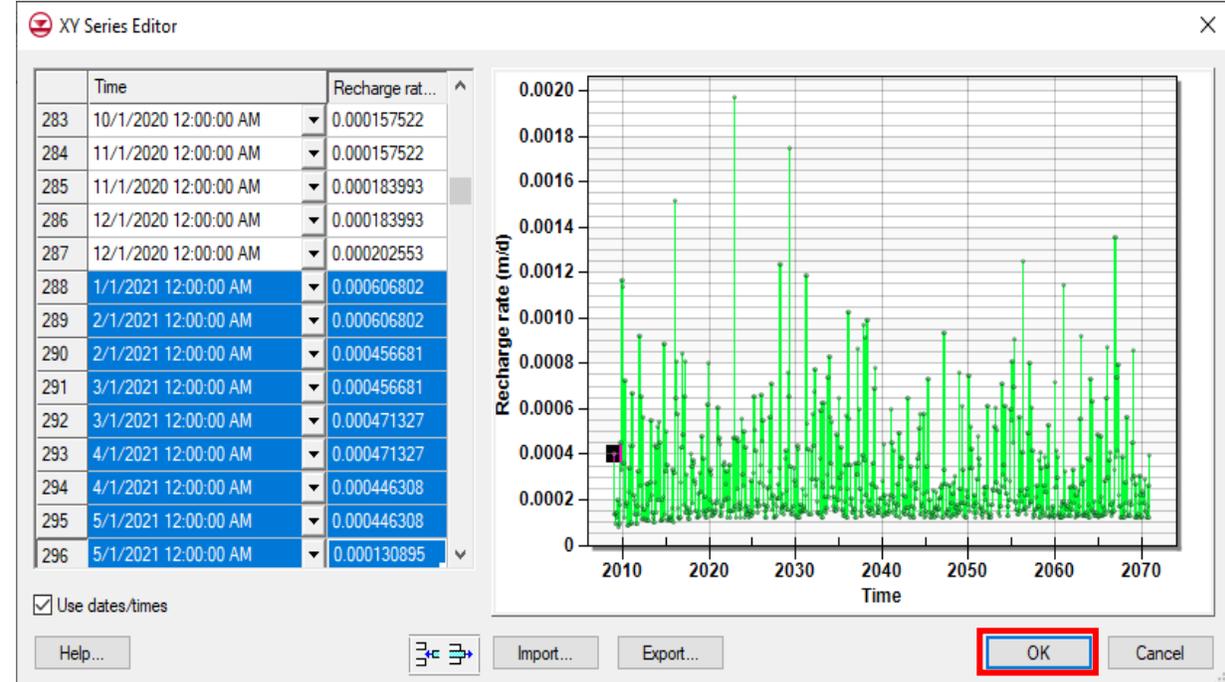
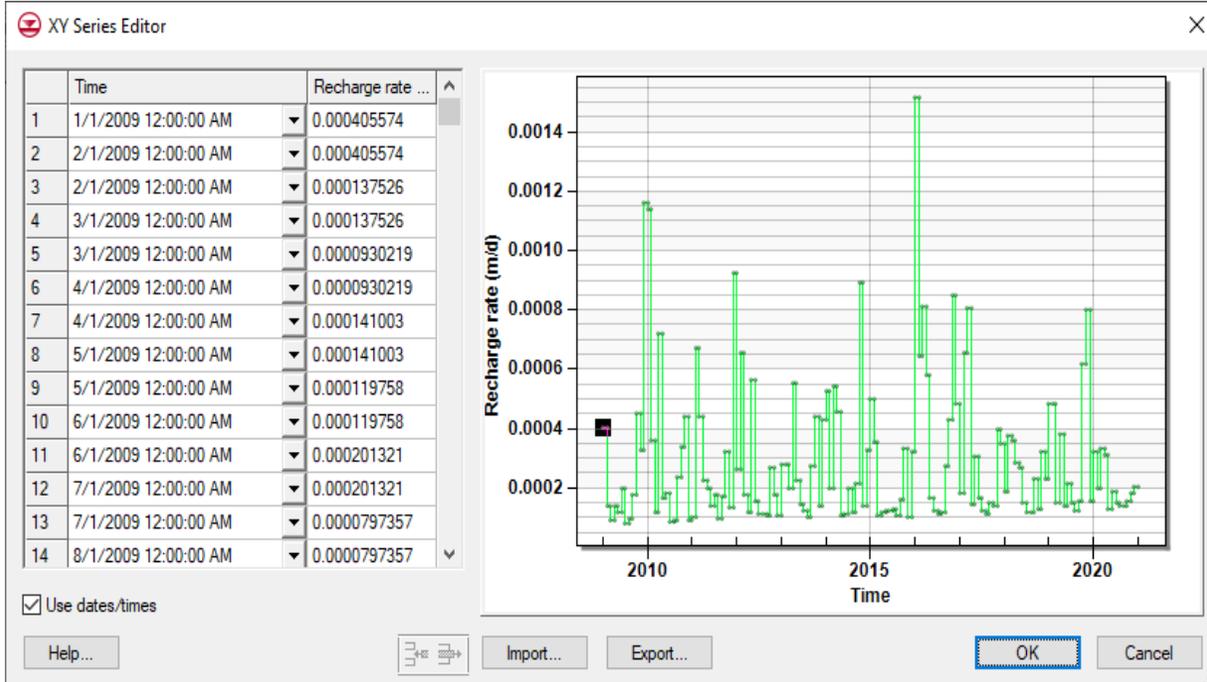
تقييم أثر التغير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

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 المستتجة للتغذية خلال فترة التنبؤ.



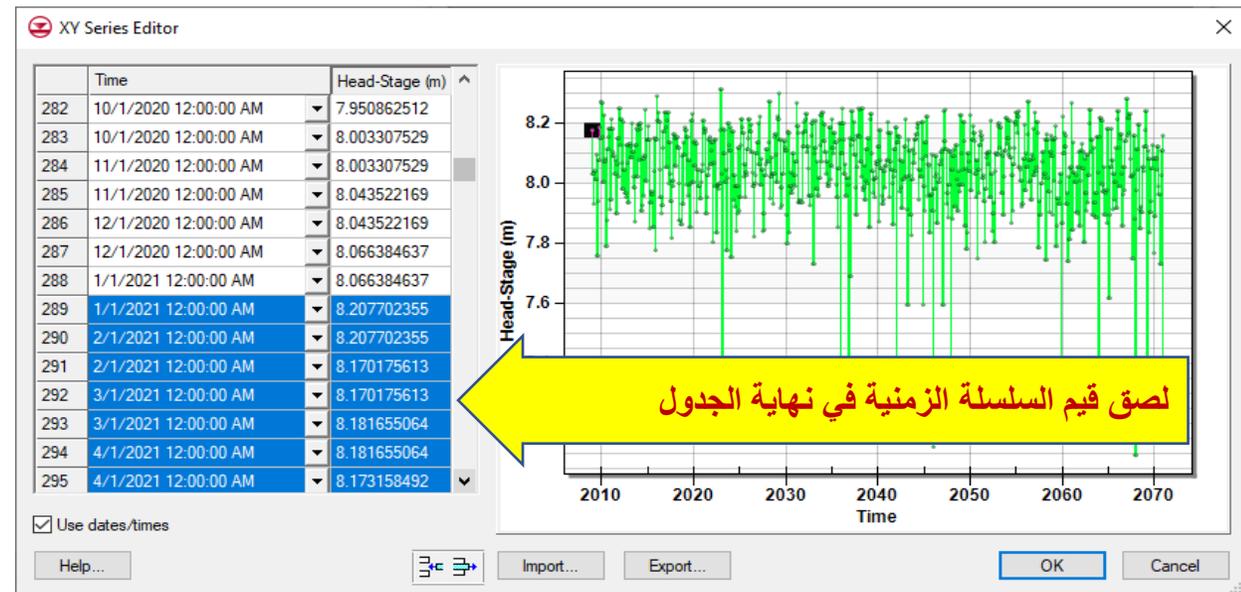
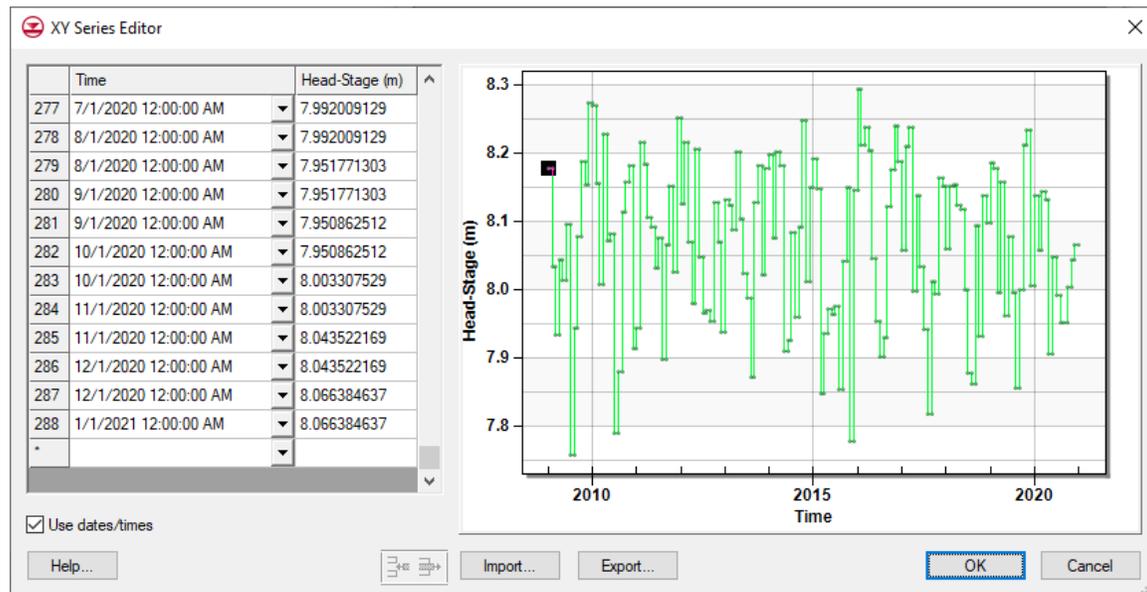
تقييم أثر التغير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية

إضافة مدخلات النموذج للشروط الحدية والإجهادات لفترة التنبؤ

من 2021 حتى 2070

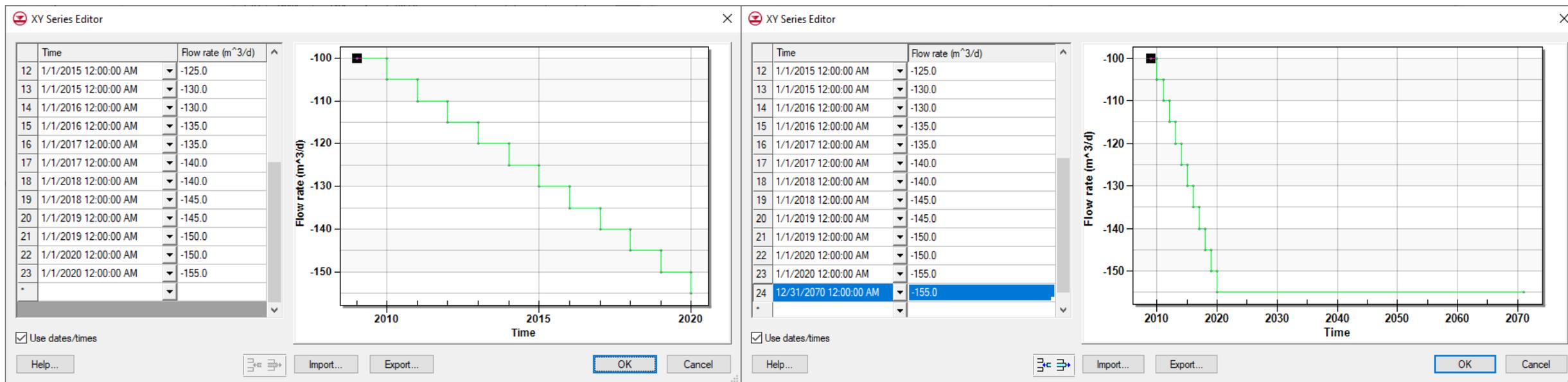
تعديل قيم العقد في الضاغط المحدد المتغير مع الزمن شمال شرق النموذج

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 31/12/2070 باستخدام القيم المستنتجة للتغذية خلال فترة التنبؤ.

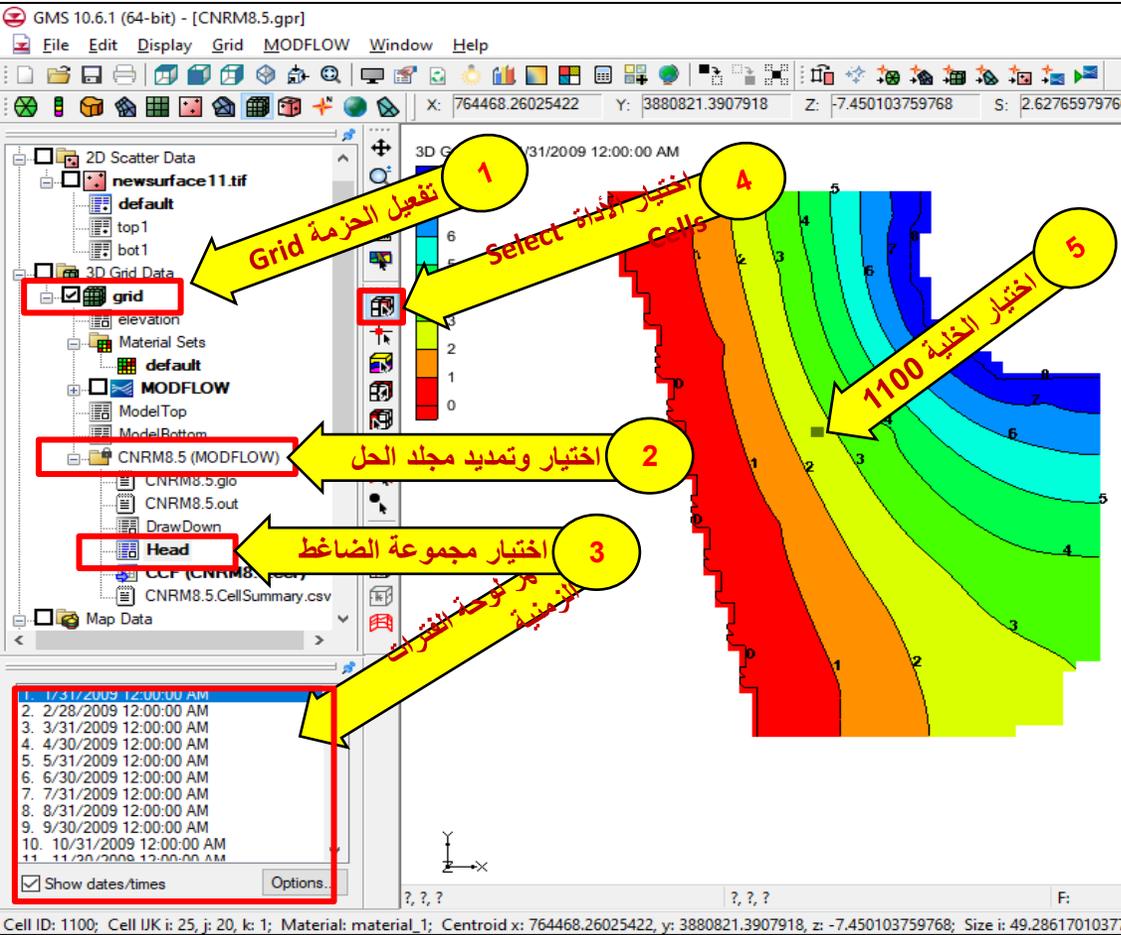


تعديل قيم الضخ من الآبار الاستثمارية

تكون السلسلة الزمنية لقيم الضخ من البئر لفترة المعايرة والذي يزداد من 100 م³/ 3 / يوم عام 2009 حتى 155 م³/ 3 / يوم عام 2020، يجب تمديدها حتى عام 2070 بتثبيت معدل الضخ عند 155 م³/ 3 / يوم.



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



GMS 10.6.1 (64-bit) - [CNRM8.5.gpr]

File Edit Display Grid MODFLOW Window Help

X: 764468.26025422 Y: 3880821.3907918 Z: -7.450103759768 S: 2.6276597976

31/2009 12:00:00 AM

1 تفعيل الخزمة Grid

2 اختيار وتمديد مجلد الحل

3 اختيار مجموعة الضاغط

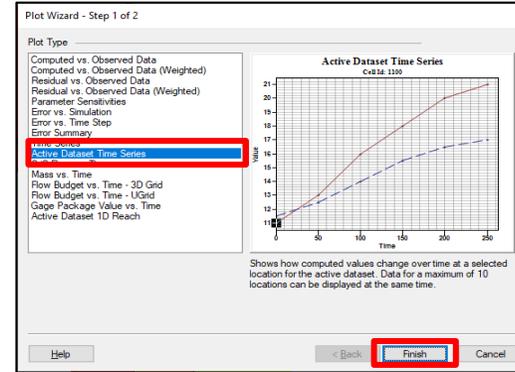
4 اختيار الأداة Select

5 اختيار الخلية 1100

17-31/2009 12:00:00 AM
2 2/28/2009 12:00:00 AM
3 3/31/2009 12:00:00 AM
4 4/30/2009 12:00:00 AM
5 5/31/2009 12:00:00 AM
6 6/30/2009 12:00:00 AM
7 7/31/2009 12:00:00 AM
8 8/31/2009 12:00:00 AM
9 9/30/2009 12:00:00 AM
10 10/31/2009 12:00:00 AM
11 11/20/2009 12:00:00 AM

Show dates/times Options...

Cell ID: 1100; Cell UK i: 25, j: 20, k: 1; Material: material 1; Centroid x: 764468.26025422, y: 3880821.3907918, z: -7.450103759768; Size i: 49.28617010377



Plot Wizard - Step 1 of 2

Plot Type

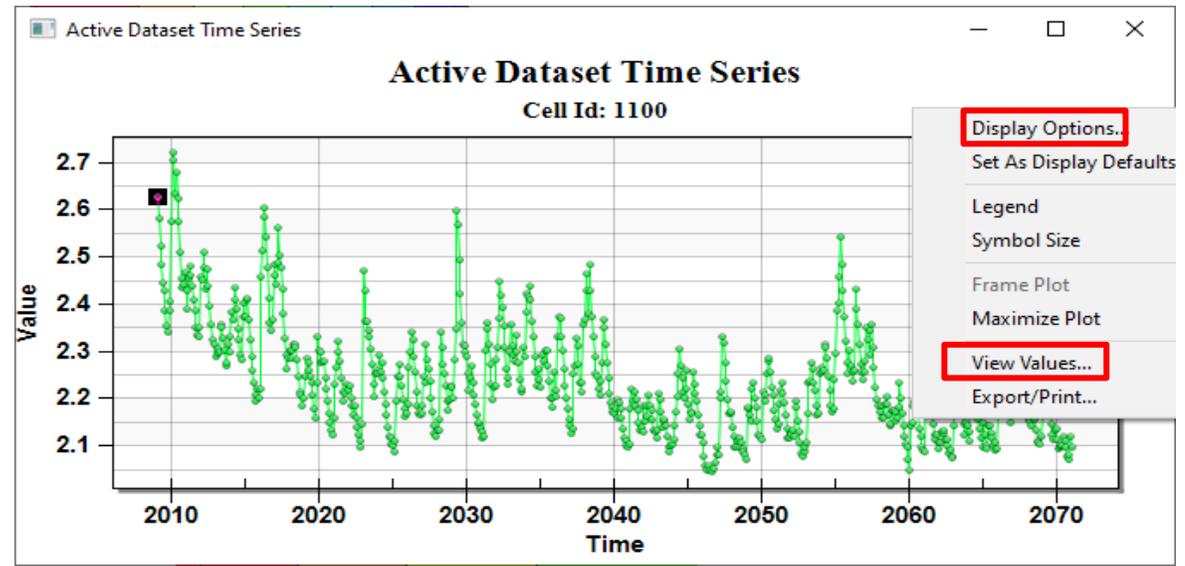
- Computed vs. Observed Data
- Residual vs. Observed Data (Weighted)
- Residual vs. Observed Data (Weighted)
- Parameter Sensitivities
- Error vs. Simulation
- Error vs. Time Step
- Error Summary
- Active Dataset Time Series

Active Dataset Time Series

Cell Id: 1100

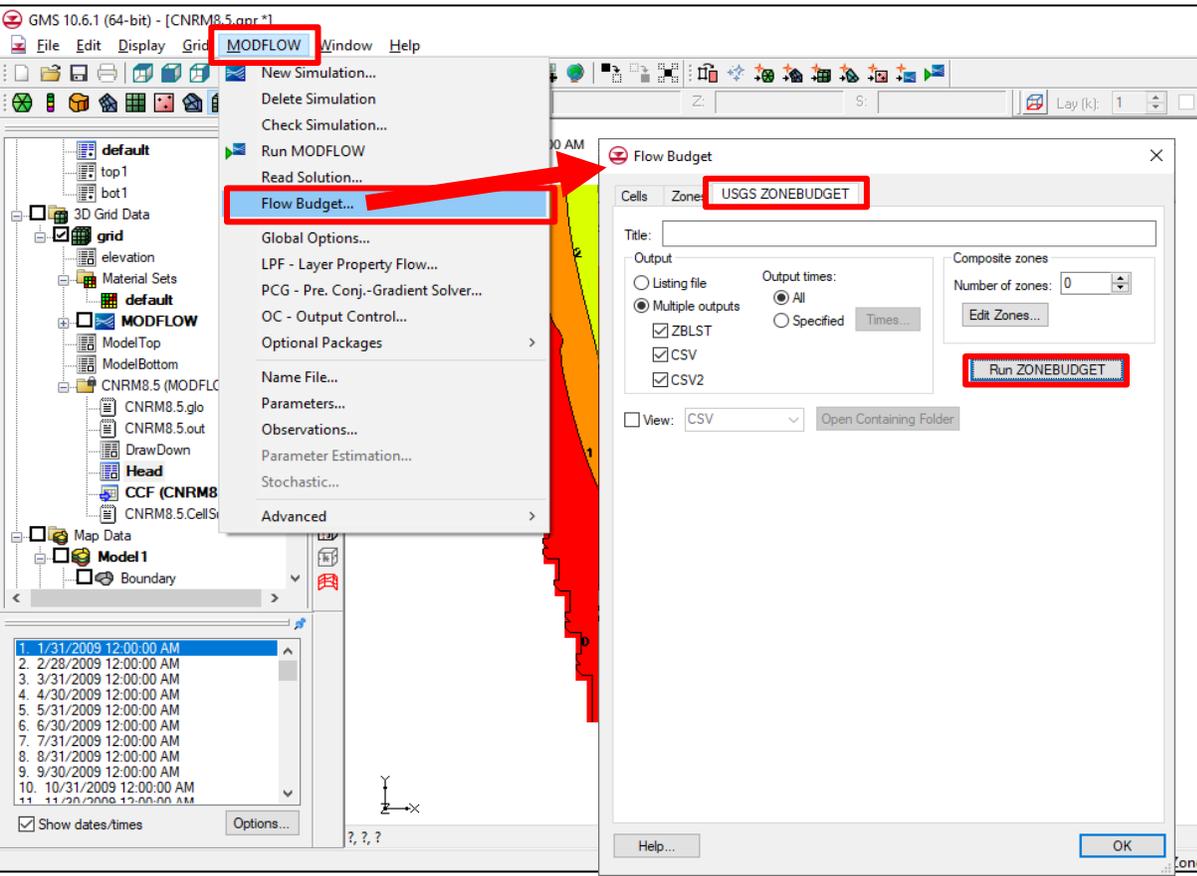
Shows how computed values change over time at a selected location for the active dataset. Data for a maximum of 10 locations can be displayed at the same time.

Finish



تقييم أثر التغير المناخي باستخدام النمذجة الرياضية لحركة المياه الجوفية تشغيل النموذج وتلخيص النتائج لفترة التنبؤ من 2021 حتى 2070

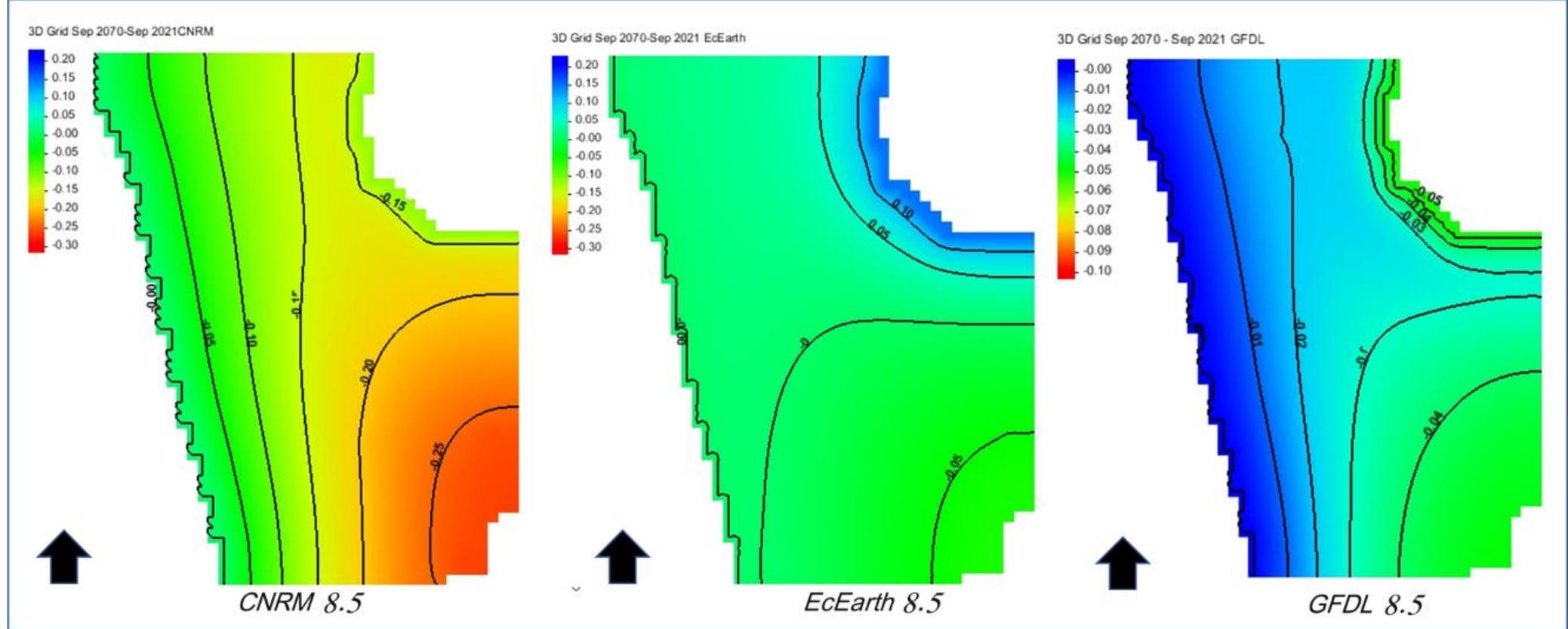
بعد إجراء التعديلات السابقة وحفظ النموذج باسم جديد وتشغيل النموذج
يمكن حساب الموازنة المائية لفترة المحاكاة وتلخيص نتائج الموازنة



| Water Budget / CNRM 8.5 (m ³ /Yr.) | | | | | | |
|---|------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------|--------------|--|
| Horizon | IN | | | OUT | | IN-OUT Change of average annual storage |
| | Recharge from Rainfall | Recharge from irrigation | Lateral Flow | Well | Lateral Flow | |
| 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 |

تقييم أثر التغير 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