Annex VII

Activity 2.4: Prepare a protocol for AquaCrop parametrization, calibration and validation (**in Arabic**).

بروتوكول لمعايرة النموذج الرياضي AquaCrop والتحقق من صحة نتائجه

تُعد معايرة نموذج **AquaCrop** خطوةً لا بد منها للتأكد من صحة تطبيقه، وهي تتضمن التحقق من الآتي:

أ. الغطاء النباتي.

ب. النتح من المحصول.

ت. إنتاج الكتلة الحيوية فوق سطح الأرض.

ث. غلة المحصول (الإنتاجية).

ويجري ذلك وفق الحالتين التاليتين:

الحالة الأولى: تم ضبط بارامترات المحصول ولم يتم التحقق من صحتها لظروف المستخدم الخاصة.

الحالة الثانية: تم ضبط بارامترات المحصول ولكن من الضروري التحقق منها وتحسينها.

بارامترات المحصول:

تُقسم بارامترات المحصول إلى نوعين:

أولاً– بارامترات محصول محافظة: هي البارامترات، التي تكون صالحة لكل أصناف محصول معين، وفي كل البيئات. وهي تضم:

- تأثير درجات الحرارة، ويشمل:
  - درجة الحرارة الأساسية والعليا للنمو (Base and upper temperature).
  - تأثير درجات الحرارة المنخفضة في تحويل النتح إلى إنتاج كتلة حيوية.
  - تأثير درجات الحرارة المنخفضة والمرتفعة في عمليات التلقيح.
- الإنتاجية المائية.
- بارامترات الإجهاد المائي.

ثانياً– بارامترات محصول غير محافظة: هي البارامترات التي تحتاج للضبط، بالنسبة لصنف المحصول و/ أو للبيئة السائدة. وهي تضم:

- البارامترات التي تتأثر بالزراعة / الإدارة.

- حجم الغراس المنقولة (إذا كان المحصول يزرع بالشتول).
- كثافة الغراس أو البذار.
- الغطاء النباتي الأعظمي.(CCx)
- الزمن حتى ظهور 90% من الغراس (CCo).

- بارامترات الفينولوجيا.
  - الزمن اللازم لبلوغ الغطاء النباتي الأعظمي (CCx).
  - الزمن اللازم لبدء شيخوخة الغطاء النباتي.
  - الزمن حتى النضج الفيزيولوجي.
  - الزمن اللازم لبدء الإزهار.
  - مدة الإزهار.
- البارامترات التي تتأثر بالشروط السائدة في مقطع التربة.
  - عمق الجذور الفعَّال الأعظمي.
  - الزمن اللازم لبلوغ عمق الجذور الفعال الأعظمي.
- بارامترات المحصول المتعلقة بالصنف.
  - مؤشر الحصاد المرجعي.

الحالة الأولى: تم ضبط بارامترات المحصول ولم يتم التحقق من صحتها لظروف المستخدم الخاصة

في هذه الحالة يجب ضبط ومعايرة البارامترات غير المحافظة وهي:

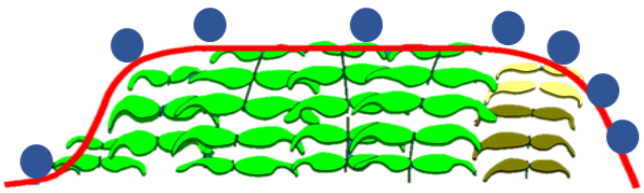
- التي تتأثر بالزراعة / الإدارة

- حجم الغراس المنقولة (إذا كان المحصول يزرع بالشتول).
- كثافة الغراس أو البذار.
- الغطاء النباتي الأعظمي (CCx).
- الزمن حتى ظهور 90 % من الغراس(CCo) .

- شروط تتأثر بمقطع التربة

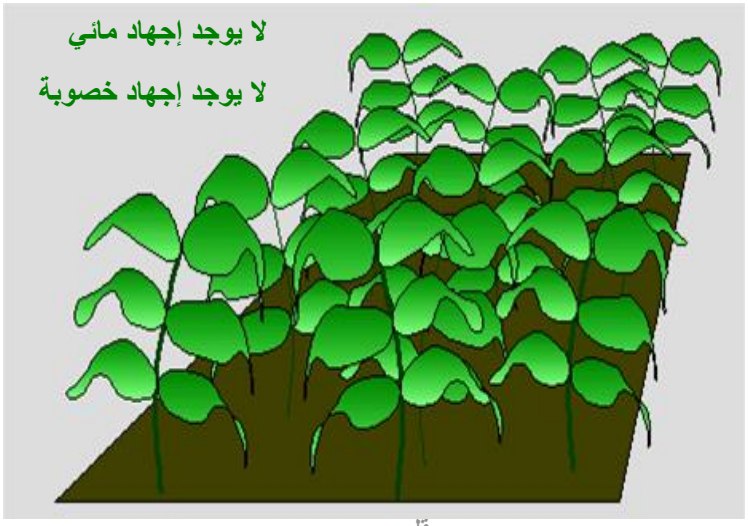
- عمق الجذور الفعال الأعظمي.
- الزمن لبلوغ عمق الجذور الفعال الأعظمي.

- بارامترات المحصول المتعلقة بالصنف
  - مؤشر الحصاد المرجعي*(Hlo).
- المناخ
  - درجات الحرارة الصغرى والعظمى اليومية.
  - الهطول اليومي.
  - التبخر–النتح المرجعي اليومي (FAO Penman–Monteith)
- التربة
  - عمق التربة.
  - قوام التربة أو خصائصها الهيدروليكية (PWP, FC, SAT, Ksat)
- رطوبة التربة
  - رطوبة التربة عند الزراعة مستندة إلى قياسات حقلية أو مراقبات قريبة.
- المحصول
  - تاريخ الزراعة
  - كثافة الغراس
  - الفينولوجيا
    - الزمن حتى ظهور 90 % من الغراس (CCo).
    - الزمن لبلوغ الغطاء النباتي الأعظمي CCx.
    - الزمن لبدء شيخوخة الغطاء النباتي.
    - الزمن حتى النضج الفيزيولوجي.
    - الزمن لبدء الإزهار.
    - مدة الإزهار.
- الاتجاه الموسمي للغطاء النباتي



- الكتلة الحيوية فوق الأرض عند الحصاد (مادة جافة).

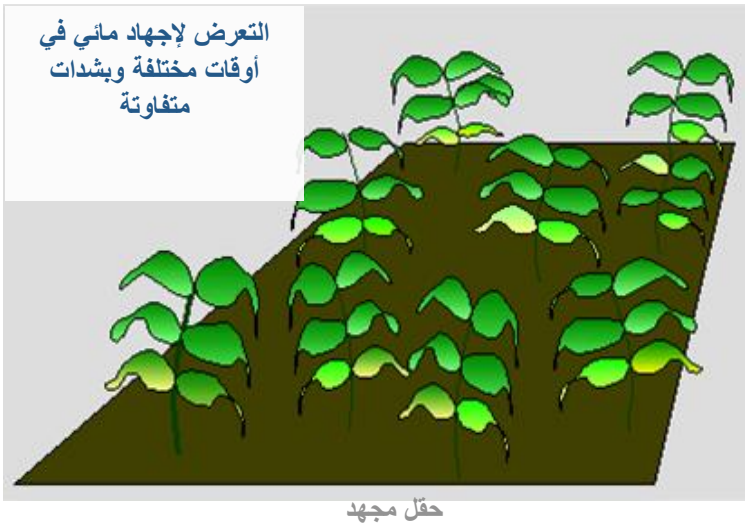
يتم الحصول على البيانات الخاصة بالمحصول من حقل مرجعي ينمو فيه المحصول في شروط مثالية ولا يتعرض لأي إجهاد مائي أو إجهاد خصوبة أو أمراض وآفات..



حقل مرجعي
شروط نمو مثالية

الحالة الثانية: تم ضبط بارامترات المحصول ولكن من الضروري التحقق منها وتحسينها

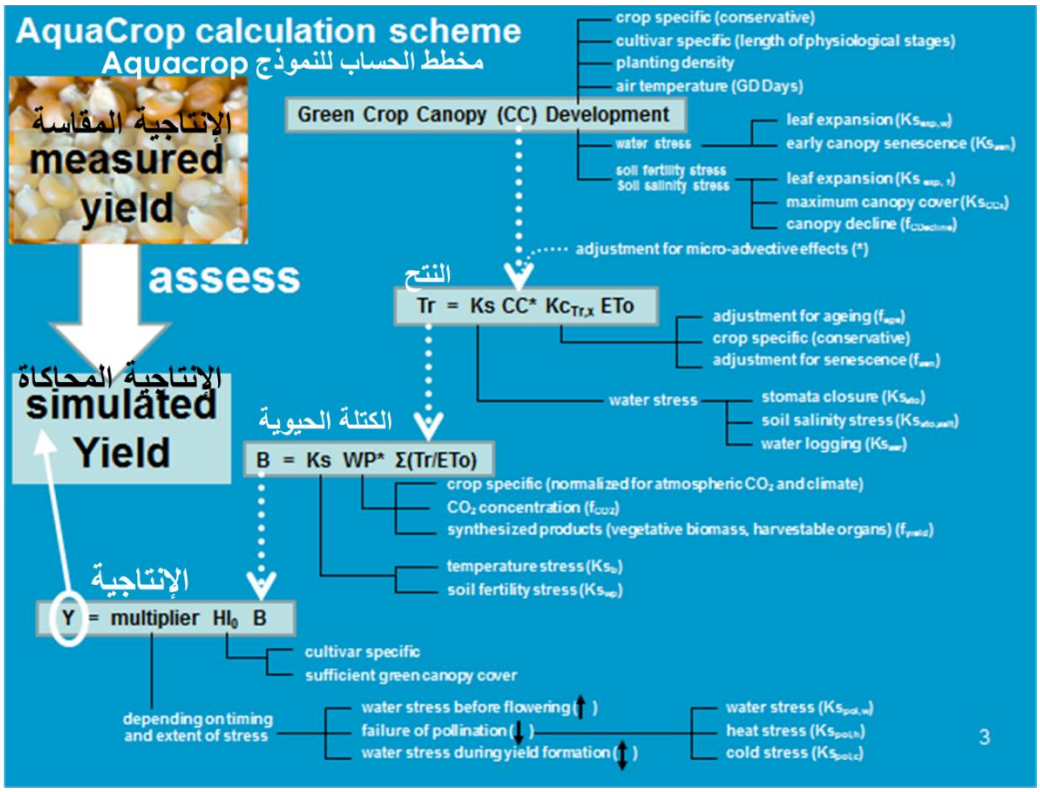
- في هذه الحالة يجب ضبط ومعايرة البارامترات غير المحافظة والبارامترات المحافظة حيث تحتاج عملية المعايرة لبيانات من حقلين الأول حقل مرجعي ينمو فيه المحصول في شروط مثالية ولا يتعرض لأي إجهاد مائي أو إجهاد خصوبة أو أمراض وآفات، وحقل مجهد يتعرض فيه المحصول لإجهاد مائي في مراحل مختلفة وبشدات متفاوتة.



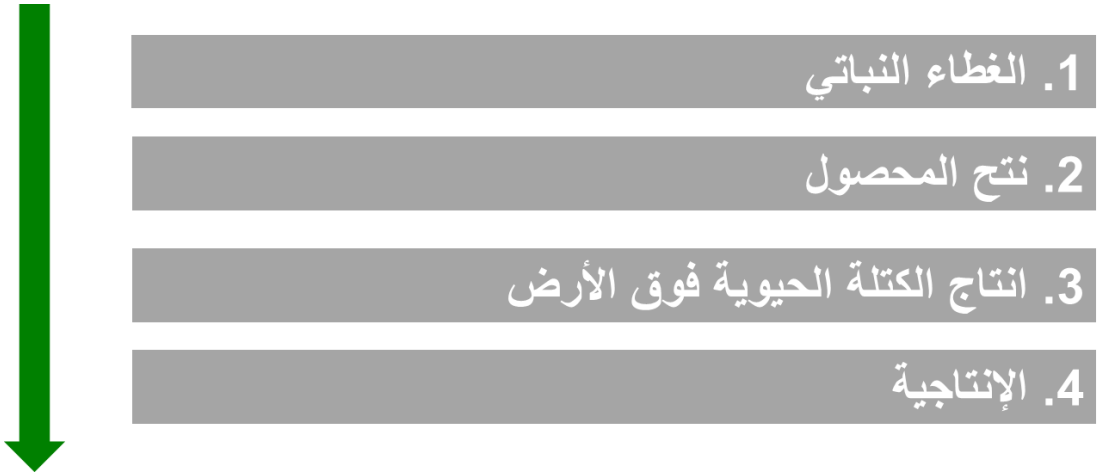
حقل مجهد
شروط محدودية المياه

في الحالة الثانية تحتاج عملية المعايرة إلى قياسات للتبخر–نتح أو قياسات دورية لرطوبة التربة على أعماق مختلفة في منطقة الجذور لحساب رطوبة التربة في منطقة الجذور، بالإضافة إلى البيانات التي وردت في الحالة الأولى.

تتبع عملية المعايرة نفس الخطوات التي يتبعها برنامج AquaCrop في مخطط الحساب.



حيث يتم معايرة النموذج والتحقق من صحته باتباع التسلسل المبين:



تجري عملية المعايرة بمقارنة القيم المقاسة مع القيم المحسوبة بالنموذج بالاستعانة بالمخططات البيانية وتحديد البارامتر الواجب تعديله وإعادة تشغيل المحاكاة بعد تعديل البارامتر المحدد وإعادة التحقق من تقارب القيم المقاسة والقيم المحسوبة بالنموذج بواسطة المخططات البيانية وتقييم جودة المحاكاة بالاستعانة بالمؤشرات الإحصائية التي تقيس كفاءة النموذج.

المؤشرات الإحصائية Statistical indicators

إن تقييم أداء النموذج مهم لتقديم تقييم كمي عن قدرة النموذج على إعادة إنتاج المتغير (المتحول variable المراقب)، ولتقييم تأثير معايرة بارامترات النموذج ومقارنة نتائج النموذج مع التقارير السابقة (Krause et al., 2005). تتوفر العديد من المؤشرات الإحصائية لتقييم أداء النموذج (Loague and Green, 1991). لكل مؤشر من المؤشرات نقاط قوة ونقاط ضعف، مما يعني أنه من الضروري استخدام مجموعة من المؤشرات المختلفة من أجل التقييم الكافي لأداء النموذج (Willmott, 1984; Legates and McCabe, 1999). في المعادلات التالية Oi هي المراقبات و Pi هي التنبؤات، $\bar{o}$ و $\bar{p}$ المتوسطات، و n هو عدد المراقبات.

المؤشرات الإحصائية المتوفرة لتقييم نتائج المحاكاة مع القيم المقاسة هي:

معامل ارتباط بيرسون Pearson correlation coefficient (r).

جذر متوسط مربع الخطأ Root Mean Square Error (RMSE).

جذر متوسط مربع الخطأ المعاير Normalized Root Mean Square Error (NRMSE).

معامل كفاءة النموذج ناش–ساتكليف Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient (EF).

مؤشر يلموت للتوافق Willmott's index of agreement (d).

معامل ارتباط بيرسون Pearson correlation coefficient (R)

تتراوح قيمة معامل بيرسون بين -1 و1، حيث تشير القيمة القريبة من 1 على توافق جيد.

$$= \left[\frac{\sum(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum(O_i - \bar{O})^2 \sum(P_i - \bar{P})^2}} \right]$$

العيب الرئيسي لمعامل ارتباط بيرسون r ولمربعه r2 هو أنه يحدد فقط كمية التشتت dispersion، وهذا يعني أن النموذج الذي يبالغ في تقدير overestimate أو يقلل من تقدير underestimate المراقبات، يمكن أن يكون له قيمة جيدة لمعامل التحديد R2 (Krause et al.,2005).

تتراوح قيمة r بين -1 و1 حيث تشير القيمة القريبة من 1 إلى توافق جيد. تستخدم التقييمات التالية في AquaCrop وهي تأشيريه فقط		
Value for r	Interpretation	Colour code
≥ 0.90	Very good	●●●
0.80 – 0.89	Good	●●
0.70 – 0.79	Moderate good	●
0.50 – 0.69	Moderate poor	●
0 – 0.49	Poor	●●
< 0	Very poor	●●●

جذر متوسط مربع الخطأ Root Mean Square Error (RMSE)

إن جذر متوسط مربع الخطأ أو ما يدعى ب RMSE هو واحد من أكثر المؤشرات الإحصائية المستخدمة على نطاق واسع (Jacovides and Kontoyiannis, 1995)، ويقيس متوسط مقدار الفرق بين التنبؤات (التوقعات) والمراقبات. تتراوح قيمته من 0 إلى ما لا نهاية موجبة. تشير القيمة 0 إلى أداء جيد للنموذج، بينما تشير القيمة الكبيرة إلى أداء سيء للنموذج. إن الميزة الحسنة في RMSE أنه يلخص متوسط الفرق بين

وحدات التنبؤات P والمراقبات O. ومع ذلك فهو لا يفرق بين المبالغة في التقدير overestimation وقلة التقدير underestimation .

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}}$$

أحد عيوب RMSE هو حقيقة أنه يتم حساب الأخطاء المتبقية residual errors كقيم مربعة squared values، والتي ينتج عنها بأن يتم إعطاء ثقل أكبر للقيم العالية في السلسلة الزمنية مقارنةً بالقيم المنخفضة (Legates and McCabe, 1999) وأن RMSE حساسة بشكل كبير للقيم المتطرفة أو الشاذة جداً (Moriasi et al.,2007). وهذا في الواقع نقطة ضعف لكل المؤشرات الإحصائية التي يكون التغاير (التباين) المتبقي فيها مربعا squared، بما في ذلك مؤشر ناش–ساتكليف (EF) ومؤشر يلموت (d) والتي ستناقش أدناه.

جذر متوسط مربع الخطأ المعاير Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)

لأن RMSE معبر عنها بوحدات قياس المتغير (المتحول variable) المدروس، فإنه لا يسمح باختبار النموذج تحت مجال واسع من الظروف المناخية– الجوية (Jacovides and Kontoyiannis, 1995). لذلك، يمكن معايرة (تسوية normalize) المؤشر الإحصائي RMSE باستخدام متوسط المتغير المراقب mean of the observed variable. يتم التعبير عن جذر متوسط مربع الخطأ المعاير NRMSE كنسبة مئوية ويعطي مؤشراً على الاختلاف النسبي بين نتائج النموذج والمراقبات.

$$CV(RMSE) = \frac{1}{\overline{O}} \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} \, 100$$

يمكن اعتبار المحاكاة (النمذجة) ممتازة إذا كانت المؤشر الإحصائي NRMSEأصغر من 10%، وجيدة إذا كان بين 10 و20%، ومتوسطة الجودة إذا كان بين 20 إلى 30% وسيئة إذا كان أكبر من 30%.

تستخدم التقييمات التالية في AquaCrop لتقييم CV(RMSE) وRMSE المتوافق معه وهي تأشيريه فقط		
Value for NRMSE	Interpretation	Colour code
≤ 5%	Very good	●●●
6 – 15%	Good	●●
16 – 25%	Moderate good	●
26 – 35%	Moderate poor	●
36 – 45%	Poor	●●
> 46%	Very poor	●●●

معامل كفاءة النموذج ناش–ساتكليف Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient (EF)

إن معامل كفاءة النموذج (EF) يحدد المقدار النسبي للتغاير variance المتبقي مقارنة مع تغاير المراقبات (Nash and Sutcliffe, 1970). بتعبير آخر يشير EF إلى أي مدى يتطابق (يتناسب) مخطط البيانات المراقبة مقابل البيانات المنمذجة مع الخط 1:1(Moriasi et al., 207). يمكن للمؤشر EF أن يتراوح من اللانهاية السالبة إلى القيمة 1. عندما تكون قيمة EF تساوي الواحد هذا يشير إلى تطابق مثالي بين نتائج النموذج والمراقبات، في حين تشير القيمة 0 إلى أن تنبؤات (نتائج) النموذج صحيحة بمقدار متوسط البيانات المراقبة، أما القيم السالبة للمؤشر فتحدث عندما يكو متوسط المراقبات أفضل من تنبؤات النموذج.

$$EF = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2}$$

إن المؤشر EF شائع الاستخدام بشكل واسع، وهو ما يعني أن هناك عدداً كبيراً من قيم هذا المؤشر واردة في تقارير المراجع العلمية (Moriasi et al., 2007). ومع ذلك، مثل r2، فإن EF ليس حساساً جداً إلى المبالغة في التقدير وقلة التقدير المنهجية لنتائج النموذج (Krause et al., 2005).

تتراوح قيمة EF بين 1 واللانهاية، حيث تشير القيمة 1 إلى توافق تام بين القيم المقاسة والمنمذجة، وتشير القيمة 0 إلى أن القيم المتوقعة من النموذج هي بدقة متوسط القيم المقاسة أما القيمة السالبة فتحدث عندما يكون متوسط القيم المقاسة هو أفضل تنبؤ للنموذج. تستخدم التقييمات التالية في AquaCrop لتقييم EF, وهي تأشيريه فقط		
Value for EF	Interpretation	Colour code
≥ 0.80	Very good	●●●
0.60 – 0.79	Good	●●
0.40 –0.59	Moderate good	●
0 – 0.39	Moderate poor	●
(-10) – 0	Poor	●●
< (-10)	Very poor	●●●

مؤشر يلموت للتوافق (d) Willmott's index of agreement

تم اقتراح مؤشر التوافق (الاتفاق) من قبل (Willmott, 1982) لقياس الدرجة التي تقترب لها البيانات المتوقعة من البيانات المراقبة. يمثل هذا المؤشر النسبة بين متوسط مربع الخطأ والخطأ المحتمل "potential error"، والذي يعرف على أنه مجموع القيم المطلقة المربعة للمسافات من القيم المتوقعة إلى متوسط القيمة المراقبة والمسافات من القيم المراقبة إلى متوسط القيمة المراقبة (Willmott, 1984). يتغلب هذا المؤشر على انعدام الحساسية للمؤشر r2 والمؤشر EF للمبالغة في تقدير أو تقليل التقدير من قبل النموذج (Legates and McCabe, 1999; Willmott,1984). يتراوح هذا المؤشر بين 0 و1، حيث تشير القيمة 0 إلى عدم التوافق بينما تشير القيمة 1 إلى توافق تام بين البيانات المراقبة والبيانات المتوقعة من النموذج.

$$d = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum \left(|P - \overline{O}| + |O - \overline{O}| \right)^2}$$

من عيوب المؤشر d أنه يمكن الحصول على القيم العالية نسبياً (أكثر من 0.65) حتى عندما يكون أداء النموذج سيئاً، وعلى الرغم من نوايا ويلموت (1982)، فإن المؤشر d لا يزال غير حساس جداً إلى المبالغة والتقليل من التقدير (Krause et al., 2005).

تتراوح قيمة d بين 0 و1 حيث يشير 0 إلى انعدام التوافق ويشير 1 إلى توافق تام بين البيانات المقاسة والمتوقعة، تستخدم التقييمات التالية في AquaCrop لتقييم d, وهي تأشيريه فقط		
Value for d	Interpretation	Colour code
≥ 0.9	Very good	●●●
0.80 – 0.89	Good	●●
0.65 – 0.79	Moderate good	●
0.50 – 0.64	Moderate poor	●
0.25 – 0.49	Poor	●●
< 0.25	Very poor	●●●