المعايرة Calibration :

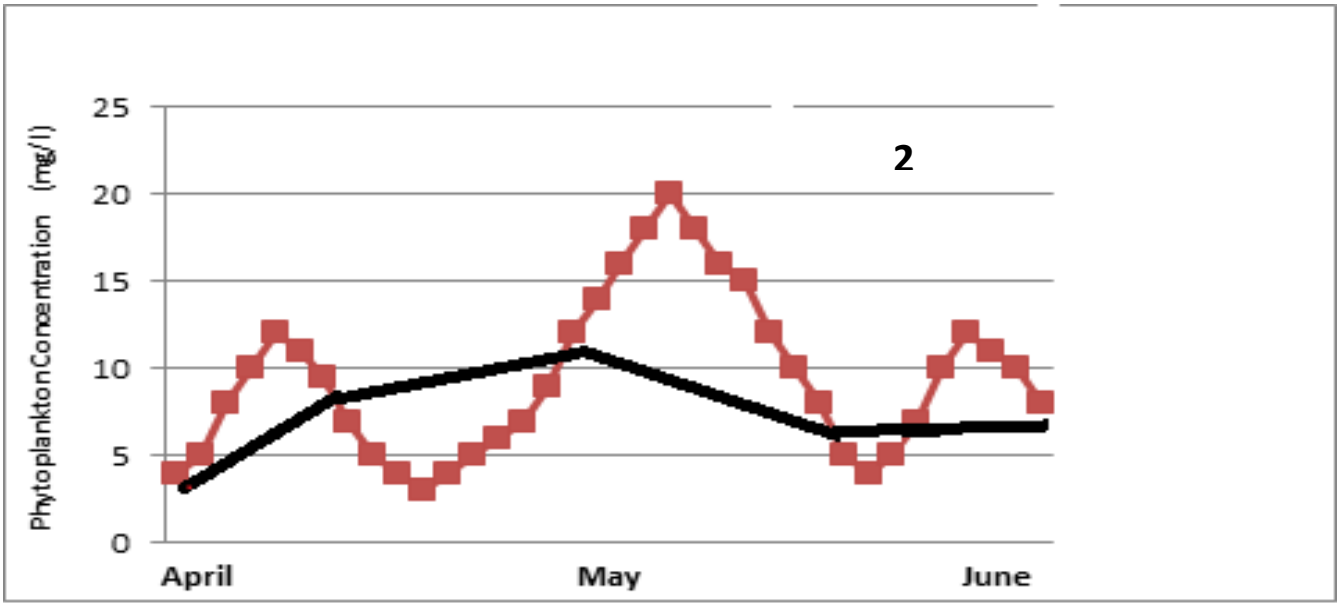
ان الشخص المنمذج يحاول ان يغير المتغيرات المختلفة الواحد تلو الاخر حتى يحصل على تطابق مناسب بين القيم المقاسة والقيم المتوقعة من مخرجات النموذج لمتغير واحد او لمتغيرين اثنين من متغيرات الحالة في وقت واحد . فعلى سبيل المثال ، في نموذج الاثراء الغذائي (Eutrophication) في البدء يجب التركيز على حركة وديناميكية احد المغذيات ثم بعد ان يتم قبول ديناميكية هذا المغذي نذهب الى ديناميكية الهائمات النباتية (phytoplankton). لذا فقبل الحصول على المعايرة المقنعة ربما يكون المنمذج قد قام بإعادة تجريب النموذج لمئات المرات .

هنالك طرائق متاحة للمعايرة الذاتية (automatic calibration) وقد تم تطبيقها في نماذج الديناميكية التركيبية في نموذجي Pamolare I &Pamolare II . ولكن هذا لا يعني ان التجربة ومعايرة الخطأ التي تم وصفها في اعلاه هي شيء زائد عن الحاجة ، فاذا اعطت المعايرة الذاتية نتائج مقبولة ضمن الفترة المحددة ، في هذه الحالة يصبح من الضروري معايرة 6-9 متغيرات فقط في وقت واحد . فالشخص المنمذج يحاول ان يغير المتغيرات المختلفة الواحد تلو الاخر حتى يحصل على تطابق مناسب بين القيم المقاسة والقيم المتوقعة من مخرجات النموذج لواحد او اثنين من متغيرات الحالة في ان واحد ، والشكوك القليلة جدا (يقصد بها الفاصلة التي تسمح بالتغيرات بقيم المتغيرات) ستعمل على ايجاد مجموعة المتغيرات المثالية للنموذج . وبذلك فان الشخص المستخدم للمعايرة يمكنه ان يحصل على :

١- التخمينات الاولية لقيمة المتغير . Initial guesses for a parameter
٢- مدى الانحراف بقيمة المتغير . Ranges of parameter variations
٣- مجموعة متغيرات الحالة المقاسة . A set of measured state variables
٤- اكبر قيمة مقبولة للانحراف المعياري (SD) بين القيم المقاسة والقيم التي يعطيها النموذج. An acceptable maximum value for the standard deviation between modelled and measured values.

في حالة التجربة (المحاولة) ومعايرة الخطأ ، يخمن المنمذج مجموعة قيم يستخدمها كمعايير لعملية المعايرة . فعلى سبيل المثال في نموذج المجرى المائي ، يطمح المنمذج الى ان يتمكن من وضع قيمة دقيقة الى حد ما تمثل اقل تركيز للأوكسجين ، والوقت الذي يصل فيه الاوكسجين لهذا التركيز القليل . عندما يقتنع المنمذج بهذه

النتائج للنموذج فانه ربما سيحاكي منحنى تركيز الاوكسجين مع مرور الزمن ، وسيعمل على معايرة النموذج للحصول على هذه الاهداف خطوة خطوة .
عادة الشخص المنمذج يكون اكثر استمتاعا عندما يكون هنالك توافق كبير بين مخرجات النموذج (القيم المتوقعة نتيجة تطبيق النموذج) والقيم المشاهدة لواحد او اثنين من متغيرات الحالة ،بينما يكون اقل استمتاعا عندما يوجد توافق كبير مع متغيرات الحالة الاخرى .
بعد ذلك سيختار المنمذج اوزان لمتغيرات الحالة المختلفة ليتم حسابها لكل متغير حالة ضمن النموذج البيئي . فعلى سبيل المثال في نموذج مصمم لمعرفة مصير وتأثير احد المبيدات الحشرية ، ففي هذه الحالة سيتم التأكيد على تركيز المادة السامة في الحشرات اكلة اللحوم وتعتبر كمتغيرات حالة اساسيه ، بينما تركيز المادة السامة في النباتات وفي الحشرات اكلة الاعشاب وفي التربة فيمكن اعتبارها متغيرات حالة ذات اهمية قليلة ، وبهذه الحالة يمكن للمنمذج ان يعطي وزن (10) لمتغير الحالة الاول (تركيز المادة السامة في الحشرات اكلة اللحوم) بينما يعطي وزن (1) لمتغيرات الحالة الثلاث الاخرى .
اذا كان يصعب او يستحيل اجراء المعايرة للنموذج فهذا ليس بالضروري ان يكون النموذج غير صحيح ، فقد تكون البيانات المشاهدة ذات نوعية غير جيدة ،اذ ان نوعية البيانات تعتبر شيء حاسم لنوعية المعايرة . ومن المهم جدا ان تكون المشاهدات تعكس ديناميكية النموذج البيئي .
اذا كان الهدف من النموذج البيئي هو اعطاء وصف لسلوك متغيرات الحالة ، والتي تتغير من يوم لأخر، فانه بالتأكيد سيكون من المستحيل الحصول على تقييم جيد للمتغيرات اعتمادا على المشاهدات الشهرية . وهذه الحالة يمكن توضيحها بأخذ مثال من نماذج الاثراء الغذائي .
نموذج الاثراء الغذائي عادة تتم معايرته اعتمادا على قياسات متسلسلة لعينات يتم جمعها لمرة او مرتين لكل شهر . ان عملية جمع العينات لمرة او مرتين في الشهر تكون غير كافية لوصف ديناميكية البحيرة . فاذا كان من ضمن مجال النموذج هو ان يتوقع اعلى القيم وكذلك البيانات التي لها علاقة بتركيز الهائمات النباتية والانتاجية الاولية ، ففي هذه الحالة يكون من الضروري جمع العينات بشكل متردد بحيث تعطي تخمين للقيم العليا للهائمات النباتية والانتاجية الاولية .



شكل(1): تركيز الهائمات النباتية مع مرور الوقت : منحنى (1)جمع العينات بواقع مرتين لكل شهر ، منحنى (2) جمع العينات بواقع ثلاث مرات لكل اسبوع .

الشكل (1) يوضح تركيز الطحالب مع مرور الوقت في بحيرة من نوع عالية الاثراء الغذائي(Hypertrophic) بحالتين لجمع العينات الاولى بواقع مرتين لكل شهر والحالة الثانية بواقع ثلاث مرات لكل اسبوع (دلالة على برنامج قياس مركز) . يلاحظ من الشكل وجود اختلاف معنوي بين المنحنيين والمحاولة للحصول على معايرة واقعية باستخدام المنحنى (1) تكون فاشلة ، ويفضل الاعتماد على المنحنى (2) في الموديلات التي تهدف الى معر 1 تغيرات اليومية بتراكيز الهائمات النباتية .

هذا المثال يوضح انه من المهم جدا ليس فقط للحصول على بيانات مضبوطة وذات شكوك قليلة، بل ايضا جمع البيانات بشكل متكرر سوف يمثل ديناميكية النظام البيئي .

اليوم هنالك نقطتين ضعف في النمذجة البيئية هما:

١- من الصعب تطوير نماذج تعكس خصائص النظام البيئي ، وخاصة قابليته لمقابلة التغيرات الحاصلة بتغيير خصائص الاحياء او بحصول تغيير يكون اكثر ملائمة للأنواع . اي انه يقدر التغيرات الشائعة التي تحصل في المتغيرات .

٢- من الصعب ايجاد المتغيرات الصحيحة .

الصعوبة الاولى يمكن حلها بتطبيق نماذج الديناميكية التركيبية Structurally dynamic models ، اما الصعوبة الثانية فإنها تحتاج الى اضافة طرائق تستخدم لتقييم المتغيرات بالإضافة الى قياس المتغيرات الضرورية ، ويوصى باستثمار وقت

كافي لتقييم المتغيرات في كافة الظروف وذلك لان نتائج النموذج تعتمد بشكل كبير على تطبيق المتغيرات الصحيحة .
ان عملية صياغة المعادلات تكون معروفة بشكل جيد ،اما النتائج التي يحصل عليها من تلك المعادلات فإنها تعتمد بشكل كبير على المتغيرات المختارة ، بعض المتغيرات للنماذج البيئية السببية موجودة في المراجع ، وليس بالضرورة ان تكون بشكل ارقام صحيحة فقد تكون بشكل قيم تقريبية او بشكل فئات . ومع ذلك لتغطية جميع المتغيرات ولجميع النماذج البيئية المحتملة ومنها نماذج السموم البيئية فإننا سنحتاج الى معرفة بأكثر من بليون متغير من المتغيرات ، لذا فان عملية النمذجة ستحتاج الى طرائق لتقييم المتغيرات . وفي حالة توفر معرفة عن جميع المتغيرات بشكل فئات ، سواء من المراجع او بالقياس ، فانه من الضروري اجراء معايرة للنموذج . وتتم المعايرة بإجراء اختبار لمجاميع من المتغيرات حيث تقارن مخرجات النموذج البيئي لمتغيرات الحالة مع القيم المقاسة لنفس متغيرات الحالة ، بعدها يتم اختيار مجموعة المتغيرات التي تعطي افضل توافق بين مخرجات النموذج وبين القيم المقاسة لمتغيرات الحالة .

من خلال ما تم مناقشته في اعلاه يمكن ادراج خطوات عملية المعايرة للنماذج البيئية كما يلي :

١- ايجاد اكبر عدد ممكن من المتغيرات من المراجع العلمية ،حتى في حالة كونها موجودة بمديات واسعة ، فهي ضرورية لإعطاء تخمين اولي للمتغيرات .
٢- في حالة عدم ورود بعض المتغيرات في المراجع العلمية تستخدم طرائق القياس ،وبعض المتغيرات الحاسمة يفضل قياسها بتجارب حقلية او مختبرية .
٣- يجب اجراء تحليل الحساسية لتحديد اي المتغيرات اكثر اهمية لإعطائه ثقة اكبر واعتباره حقيقة لاريب فيها.
٤- يجب الاخذ بنظر الاعتبار استخدام برنامج جمع العينات المركز لمتغيرات الحالة الاكثر اهمية لإعطاء افضل تقييم للمتغيرات الحاسمة.
٥- المعايرة الاولية والتي تطبق باستخدام بيانات غير مطبقة سابقا ،حيث يتم اختيار المتغيرات الاكثر اهمية والمعايرة تكون لعدد محدود من المتغيرات (ثمانية – عشرة) متغيرات . في البدء المعايرة تتم باستخدام طريقة المحاولة والخطأ للإلمام بتفاعل النموذج تجاه التغييرات في المتغيرات .بعد ذلك تستخدم طريقة المعايرة الذاتية لتنقيح وصقل تقييم المتغيرات او لمعرفة المتغيرات الحساسة (المهمة).
٦- النتائج تدخل الى تحليل الحساسية الثاني ، وهذا التحليل قد يعطي نتائج مخالفة لنتائج تحليل الحساسية الاول .

٧- المعايرة الثانية : تستخدم هذه المعايرة لمعايرة المتغيرات الاكثر اهمية اعتمادا على تقييم تحليل الحساسية الثاني . وهنا ايضا تستخدم كلا الطريقتين للمعايرة التي تم الاشارة لها في اعلاه .

بعد المعايرة الاخيرة هذه يمكن اعتبار النموذج معاير وبهذا يمكن الانتقال الى الخطوة اللاحقة (الاثبات او الشرعية) .

الاثبات او الشرعية: Validation

عندما يكمل المنمذج مرحلة المعايرة بشكل مرض ، يأتي السؤال اللاحق وهو :هل المتغيرات التي تم ايجادها بالمعايرة تمثل القيم الحقيقية لما موجود بالنظام البيئي ؟ حتى في حالة كثرة البيانات قد يكون هذا الشيء محتمل ، ولإجبار النموذج الذي فيه خطا او خلل على اعطاء مخرجات متوافقة تماما مع البيانات الحاصل عليها باستخدام المتغيرات التي تم اختيارها فانه يتطلب من المنمذج **ان يختبر المتغيرات المختارة مع مجموعة بيانات مستقلة في سلوكها وهذا ما يطلق علية بالشرعية.**

ويجب التشديد على ان الشرعية وحدها هي التي تؤكد وتصادق على سلوك النموذج في مدى من الظروف متمثلة بالبيانات المتوفرة . وبناءً على ذلك ، يفضل اعطاء الشرعية للنموذج باستخدام بيانات يتم الحصول عليها في الفترة التي تكون الظروف اكثر سيادة من الظروف التي جمعت فيها البيانات التي استخدمت لغرض المعايرة . مثلا في نموذج الاثراء الغذائي ، الحالة الافتراضية هي الحصول على مشاهدات من النظام المنمذج ضمن مدى واسع لدخول المغذيات ، كاستخدام للنموذج ليتوقع استجابة النظام البيئي للحمولة المتغيرة للمغذيات . ان هذا الشيء مستحيل او على الاقل يعتبر جدا صعب ليطابق الشرعية التامة الافتراضية ، والتي في افضل الاحوال تحصل في المرحلة الاخيرة لتطور النموذج . مع ذلك ربما يكون من المحتمل ومن الضروري الحصول على بيانات في مدى حقيقي من حمولات المغذيات (مثلا من صيف رطب وجاف) . وكخيار بديل فانه من الممكن الحصول على بيانات من نظام مشابه وتقريبا له نفس الصفات المظهرية والجيولوجية وكيمياء الماء للنظام البيئي المنمذج في المكان الاول .

كذلك الشيء نفسه بالنسبة لنموذج BOD/DO يمكن اعطاءه الشرعية تحت مدى واسع من حمولة ال BOD ، ونموذج المادة السامة تحت مدى واسع من تراكيز المادة السامة ، ونموذج الجماعة السكانية بمستويات مختلفة من السكان وهكذا .

في حالة عدم الاستطاعة للحصول على الشرعية الافتراضية فهذا لا يعني ضمنا ان النموذج ليس بذي فائدة . كما اشرنا سابقا بان النموذج هو اداة متعددة الاغراض ،

ففي حالة عدم الوصول الى افضل شرعية يبقى الشيء المهم هو الحصول على الشرعية لهذا النموذج . علاوة على ذلك ، فان النموذج يمكن دائما ان يستخدم كأداة ادارة ، حيث يعمل المنمذج على عرض جميع الاسئلة المفتوحة للنموذج على المدير او المسؤول . ونتيجة الحصول على الخبرة الكبيرة من استخدام النموذج البؤري والنماذج العامة فان الاسئلة المفتوحة سوف تختزل . ان طريقة الاثبات (الشرعية) تعتمد على اهداف النموذج .

هناك اختبار واضح يستخدم المقارنة بين البيانات المقاسة وبين مخرجات النموذج باستخدام الانحراف المعياري . ومع هذا فان هذا الاختبار في الغالب يعتبر غير كاف لأنه لا يركز على الاهداف الرئيسية للنموذج وانما يركز على القابلية العامة للنموذج على الوصف الصحيح لمتغيرات الحالة للنظام البيئي ، لذا يتطلب ترجمة الاهداف الرئيسية للنموذج الى معايير للشرعية وهذه المعايير لا يمكن صياغتها بصيغة ولكنها خاصة بالنموذج والمنمذج . فعلى سبيل المثال في نموذج BOD/DO اذا كان الهدف من استخدامه هو لتوقع نوعية المياه للمجرى المائي ، فانه من المفيد جدا مقارنة اقل تركيز للأوكسجين متوقع من النموذج مع البيانات المماثلة المقاسة. وفي نموذج الاثراء الغذائي يمكن استخدام اكبر تركيز للهائمات النباتية واكبر قيمة للإنتاجية كمعايير للشرعية . وفي نموذج الجماعة السكانية فانه يمكن للمنمذج ان يعتمد ادنى او اعلى مستوى للأنواع المحددة .في حالة البيانات القليلة ، فانه ربما يستحيل ان تتفق مع معايير الشرعية لذا فانه قد يكون من الانفع مقارنة معدل الحالات . ان النموذج ،اعتمادا على نوعية البيانات المتوفرة ، لا يمكنه وصف ديناميكيات النظام البيئي بشكل جيد ولكن يمكنه فقط اعطاء معلومات عن المستوى العام او المعدل للمتغيرات المهمة . ويمكن تلخيص المناقشة اعلاه بخصوص اعطاء الشرعية :

١- عادة الشرعية مطلوبة لإعطاء صورة عن فاعلية النموذج(كون النموذج جدير بان يعول عليه او لا
٢- اجراء المحاولات للحصول على البيانات المطلوبة لإثبات الشرعية وهذه البيانات تختلف تماما عن تلك البيانات المستخدمة للمعايرة . ومن الضروري الحصول على بيانات **في مدى واسع من العوامل الخارجية** المعرفة ضمن اهداف النموذج .
٣- معايير الشرعية تصاغ بصيغة رياضية اعتمادا على اهداف النموذج ونوعية البيانات المتاحة . وربما يكون الهدف الرئيسي من النموذج هو كتحليل استكشافي لفهم كيفية استجابة النظام البيئي للعوامل الخارجية السائدة . في مثل هذه الحالة ربما تكون الشرعية التركيبية كافية .