

تطبيقات النمذجة الرياضية لمؤشرات التشبع الغذائي في بحيرة سد الثورة

رندي قواف*

(تاريخ الإيداع 20 / 3 / 2012. قُبل للنشر في 19 / 7 / 2012)

□ ملخص □

تم في هذا البحث دراسة نظرية لأهم النماذج الرياضية العالمية لمؤشرات التشبع الغذائي في البحيرات، والتي تتعلق بالفوسفور الكليوالنتروجين الكلي والكلوروفيل a والشفافية أعمق Secchi disk ، وتطبيق هذه النماذج على بحيرة سد الثورة، وذلك من خلال دراسة حقلية لتلك المؤشرات (TP, TN, Chla, CD) بأخذ عينات من مواقع مختلفة منها، وأجراء تحاليل شهرية ودورية لها استمرت من شهر تشرين الأول 2009 إلى شهر أيلول 2010 إذ تمت المقارنة بين خمس علاقات ارتباط للكلوروفيل a والفوسفور الكلي، تم اختيار النموذج الأفضل فيما بينها كما تمت دراسة علاقة ارتباط للكلوروفيل a وعمق secchi-disk وأخيراً تم التوصل إلى مجموعة استنتاجات وتوصيات يحتاج الأخذ بها وتطبيقها بشكل متكامل إلى إدارة سليمة لجودة المياه.

الكلمات المفتاحية: الإثراء الغذائي - الفوسفور الكلي - النتروجين الكلي - الكلوروفيل a - عمق Secchi-Disk.

* مشرفة على الأعمال - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Applications of Mathematical Models of the Eutrophication Indicators in Al-Thawra Dam Lake

Randa Kawaf*

(Received 20 / 3 / 2012. Accepted 19 / 7 / 2012)

□ ABSTRACT □

In this research , a theoretical study was conducted for the most important international mathematical models for eutrophication's indicators in lakes, which include (total phosphorus concentration, total nitrogen concentration, total chlorophyll a concentration, Secchi-disk depth) and applying these models on Al-Thawra Dam lake through field study for the indicators (TP, TN, Chla, CD), and by taking samples from different locations and analyzing tests monthly and periodically in the period from October 2009 to September 2010, and by comparing between the correlations relations for chlorophyll a and total phosphorus, the best model was chosen using a computer program in visual basic language, another study was applied on chlorophyll –Secchi disk depth correlation.

Finally, several conclusions and recommendations were reached and in order to perfectly apply them, well management is needed for good water quality.

Keywords: Eutrophication, Total P (TP), Total N (TN), Chlorophyll a, Secchi-Disk Depth.

*work Supervisor; Department of Environmental Engineering; Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

لقد شهد هذا العصر تطوراً في نظام علم بيئة البحيرات، و إجراءات علم المياه العذبة خلال الثلاثين سنة الماضية إن نمذجة التشبع الغذائي هي إحدى تلك العلوم التي تعتبر صعبة ومعقدة بعض الشيء، بسبب التداخلات المتنوعة للعناصر في النظام البيئي للبحيرات.

من أهم نظم النمذجة هو تحليل Holistic للتنبؤ حول تفاعل النظام البيئي المائي، والتأكد من عوامل مجهولة في تنظيم ديناميكية ذلك النظام [1]. ونتيجة الدراسات المستفيضة والمتنوعة الأهداف يمكننا تصنيف نماذج التشبع الغذائي في البحيرات في زمريتين : 1- النمذجة التجريبية، 2- النمذجة النظرية، وكل منهما أداة تنبؤ ممتازة ودقيقة لصانع القرار حول سياسة البيئة والتدريبات الفعلية لإدارتها في بحيرات كثيرة .

النمذجة التجريبية: وتعتمد على دراسات تجريبية إحصائية إذ تستنتج النماذج الموافقة للحالات المدروسة وتحسب انحرافات المعيارية ويدرس ارتيابها ومصداقيتها بتطبيقها على حالات أخرى مشابهة.

النمذجة النظرية: مبنية على مخططات نظرية حول إجراءات علم البيئة المائية وعلم المياه العذبة ضمن نظام بيئي مائي لبحيرة ما وهذه بدورها تقسم إلى زمريتين :

نماذج توازن الكتلة: تستعمل لتؤسس قاعدة عامة لضبط مسائل ديناميكية، وهي بشكل عام بسيطة ومفهومة وتجرى وفق أسس طويلة الأمد (سنوية) وذلك لصعوبة إعادة وضع التغيرات البيئية في البحيرات ضمن فترة قصيرة. ومن أهم من كتب في هذا المجال هو العالم Vollenweider.

النماذج الديناميكية : تعتمد على نظام استنتاجي لعدد من المعادلات التي تتوافق مع تغير كل بارامتر. Biswas (1976) أكد أهمية تطوير أبسط نموذج بشكل يوازي مجموعة البيانات ودرس مصداقيته بالاعتماد على بيانات أخرى، ووثق أيضاً أهمية المعلومات الكاملة حول نمذجة البيئة المائية وحول مفهوم الهدف من النموذج والبيانات المستخدمة في تطويره والتنبؤ بإدارة التشبع الغذائي وإجراء العلاجات المناسبة [2].

ولقد وضعت الكثير من النماذج الرياضية العالمية منها نموذج MAO ورفاقه من أجل البحث في ديناميكية التشبع، إذ جمع النموذج بين العمليات البيولوجية والهيدروديناميك، وتم التحقق منه على بحيرة Taihu والحصول على نتائج جيدة [3].

أهمية البحث وأهدافه:

تعاني بحيرات السودان في محافظة اللاذقية من ارتفاع تراكيز المغذيات، كما تشير التحاليل التي تجريها مديرية الموارد المائية في المحافظة [4]. وتعتبر هذه البحيرات المصدر الرئيس لمياه الري، وغالباً ما تكون الملوثات من مصبات مياه الصرف الصحي غير المعالجة ومن مياه الصرف الزراعي. ويهدف هذا البحث إلى تطبيق بعض النماذج الرياضية العالمية على أهم مؤشرات تلوث المياه المسببة للإثراء الغذائي، وهي نماذج الفوسفور والكلوروفيل a ونماذج الكلوروفيل a وعمق Secchi disk واختيار النموذج الأفضل فيما بينها.

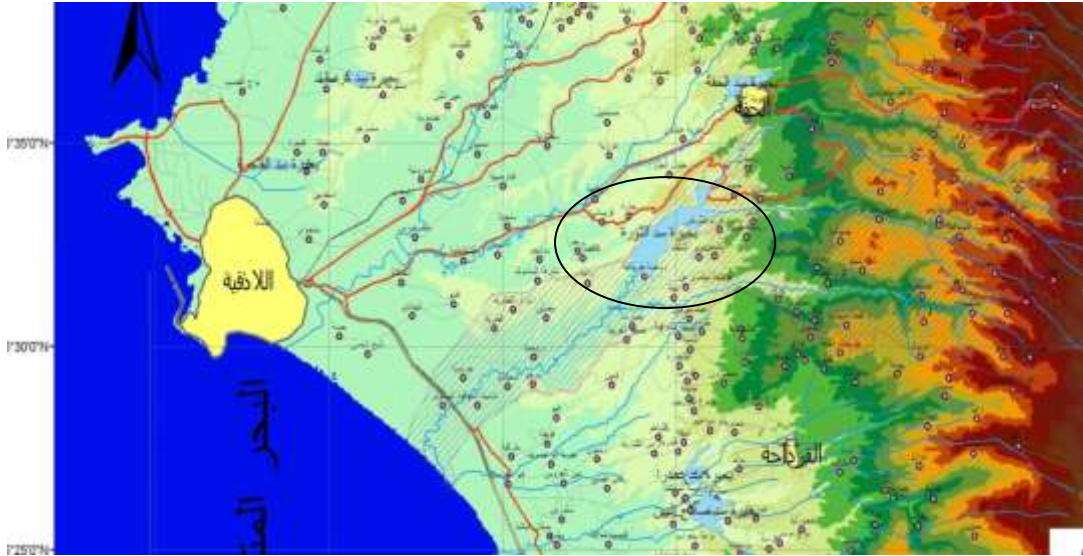
طرائق البحث ومواده:

تم تطبيق بعض النماذج الرياضية على بحيرة سد الثورة الذي يعتبر من أهم المشاريع المائية التي تم تنفيذها في سوريا عام 1996 وأقيم على نهر الصنوبر شرق مدينة اللاذقية، يروي مساحة إجمالية قدرها 9600 هكتار و يتم تأمين

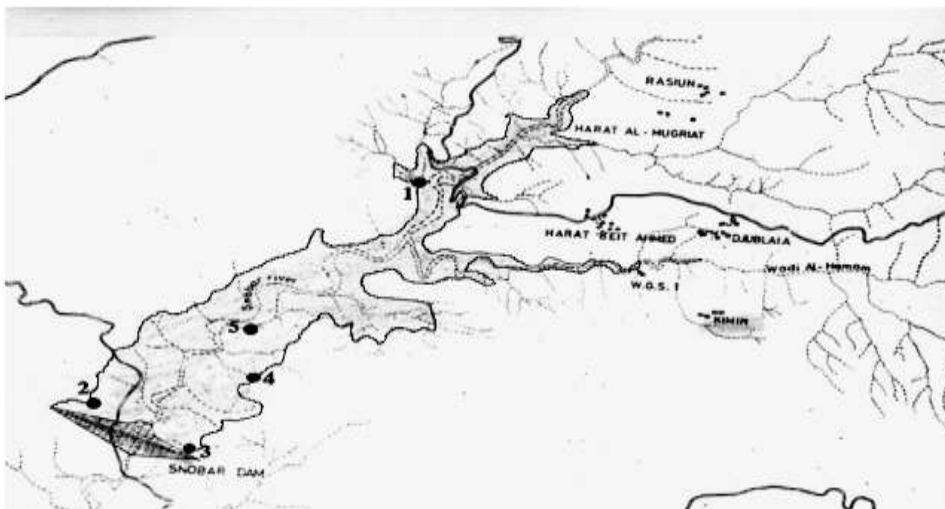
مياه بحيرة السد من الوارد المائي لنهر السنوبر، ومن مياه نبع ديفة عن طريق نفق ديفة البالغ طوله 3525m الشكل (1) [4]. وقد تم وضع برنامج مراقبة لأخذ العينات في البحيرة بشكل دوري مرة واحدة في الشهر، وامتد من شهر تشرين الأول 2009 إلى شهر أيلول 2010 في خمس مواقع، وذلك على عمق 30cm من سطح البحيرة. اختيرت هذه المواقع لتشمل البحيرة بأكملها مع مراعاة سهولة الوصول إليها قدر الإمكان:

1. الموقع الأول : يقع في المنطقة الشمالية من البحيرة.
2. الموقع الثاني : مقابل مفيض سد الثورة.
3. الموقع الثالث : مقابل برج مأخذ ري سد الثورة.
4. الموقع الرابع : يقع في منطقة الصخرة شمال شرق جسم السد وبعمق 6m تقريباً.
5. الموقع الخامس : وسط البحيرة .مواقع أخذ العينات موضحة بالشكل (2).

تم قياس تراكيز الفوسفور الكلي والنترجين الكلي والكلوروفيل a في مخبر البيئة في كلية الهندسة المدنية، اعتبرت البحيرة ذات مزج كامل، أي حسب المتوسط الشهري للتراكيز في المواقع الخمس لكل باراميتير على حدى، ووضعت لها الخطوط البيانية المناسبة، ومن ثم تم اختيار النموذج المناسب، كما تم حقلياً قياس الشفافية أو عمق Secchi-disk بواسطة قرص Secchi المصنع محلياً حسب المواصفات العالمية.



الشكل (1) يبين الخريطة العامة لبحيرة سد الثورة



الشكل (2) يمثل مواقع الإعتيان في بحيرة سد الثورة

• نماذج توازن الفوسفور

من أهم نماذج توازن كتلة الفوسفور نموذج [5](1969)Vollenweider ويعتبر أساساً لعدد كبير من الأبحاث في التشبع الغذائي إذ تدفق الفوسفور الداخل = التدفق الخارج له ضمن حجم ثابت وشروط ستاتيكية ثابتة فيكون باعتبار البحيرة ذات مزج تام : الفوسفور الخارج = فوسفورالبحيرة حسب المعادلة التالية:

$$V \frac{dP}{dt} = Q_{in} P_{in} - Q.P - K_s.P.V \quad \dots\dots\dots (1)$$

إذ: V - حجم البحيرة L^3

P - تركيز الفوسفور الإجمالي $M.L^{-3}$

t - الزمن

Q_{in} - نسبة التدفق الداخل $L^3.T^{-1}$

P_{in} - تركيز الفوسفور المتدفق الإجمالي الداخل ML^{-3}

إذ يمثل المقدار ($Q_{in} * P_{in}$) كتلة الفوسفور الداخل السنوي

K_s - معامل الترسيب الأول T^{-1}

Q - نسبة التدفق الخارجي $L^3.T^{-1}$

وَأَنَّ :

$$K_s = \frac{\alpha.V_s}{H} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\alpha = \frac{P_{Part}}{P} \quad \dots\dots\dots (3)$$

α - نسبة الفوسفور الجزئي على الفوسفور الكلي

V_s - السرعة الوسطية للجزيئات المترسبة $L.T^{-1}$

H - متوسط عمق البحيرة L

من أجل وضع ستاتيكي ثابت يكون

$$V \frac{dP}{dt} = 0 = Q_{in} \cdot P_{in} - Q \cdot P - K_S \cdot P \cdot V \dots\dots\dots (4)$$

وبإهمال التبخر يكون تدفق المياه الداخلة تقريباً يساوي التدفق الخارجي

$$Q_{in} = Q$$

بتقسيم طرفي العلاقة على V

$$T = V/Q \quad \text{إذ إن } T = V/Q$$

$$\frac{Q_{in} \cdot P_{in}}{V} - \frac{Q \cdot P}{V} - K_S \cdot P = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{P_{in}}{\tau} - \frac{P}{\tau} - K_S \cdot P = 0 \dots\dots\dots (6)$$

حيث T زمن البقاء الهيدروليكي للمياه ويكون التركيز الإجمالي للفوسفور يساوي:

$$P = \frac{P_{in}}{K_S \tau + 1} \dots\dots\dots (7)$$

أي يتناسب طردياً مع تركيز الفوسفور الداخل، وعكساً مع زمن البقاء الهيدروليكي ومعامل الترسيب الأولي،

وهكذا تقرر قيمة الفوسفور الإجمالي في البحيرات بحسب المعامل $K_S T$ (دون أبعاد) و يكون :

$$\frac{P}{P_{in}} = \frac{1}{K_S \tau + 1} \dots\dots\dots (8)$$

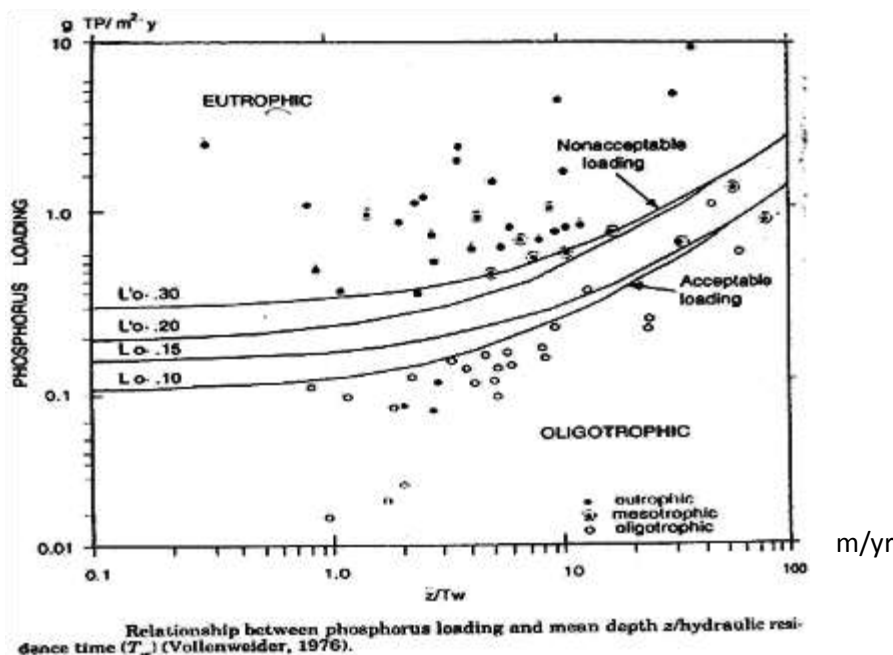
$$1 - \frac{P}{P_{in}} = \frac{K_S \tau}{K_S \tau + 1} = R \dots\dots\dots (9)$$

يدعى المعامل R معامل رجوع الفوسفور

ونتيجة الدراسات المتتابعة لاحظ (Vollenweider (1976 أن قيمة $K_S = 10/Z$

وقد طبق Vollenweider هذا النموذج على أكثر من 60 بحيرة، وضح فيها العلاقة بين حمولة الفوسفور L

(g/m².yr) والمعامل Z/T_w (m/yr) إذ T_w هو زمن البقاء الهيدروليكي للمياه [6]. الشكل (3).



الشكل (3) خطوط بيانية للعلاقة ما بين حمولة الفوسفور (L (g/m².yr) والمعامل Z/T_w(m/yr) لأكثر من 60 بحيرة

ونلاحظ فيه أن الخط البياني للبحيرات Eutrophic هو فوق الخط $L=0.3gP/m^2.yr$ وذلك من أجل $Z/T_w = 0.1$. أما البحيرات Oligotrophic فتكون تحت الخط $L=0.1gP/m^2.yr$ واعتبر Vollenwieder هذين الخطين هما الخطان اللذان يدلان على الحمولات المقبولة وغير المقبولة للفوسفور. وبعدها طور نموذجاً جديداً لتقدير الحمولة السطحية للفوسفور بوصفه تابعاً لتركيز الفوسفور في البحيرة كما يلي:

$$L (mg/m^2.yr) = (P) q_s (1 + \sqrt{\frac{Z}{q_s}}) \dots \dots \dots (10)$$

إذ:

L: الحمولة السطحية للفوسفور $mg/m^2.yr$

P: تركيز الفوسفور في البحيرة mg/m^3

و $q_s = Q/A$ وهو التدفق الهيدروليكي السطحي السنوي m/yr

A المساحة السطحية للبحيرة m^2

Q التدفق السنوي m^3/yr

وبما أن $T_w = Z/q_s$ إذ إن Z متوسط عمق البحيرة (m) فتصبح المعادلة:

$$P = \frac{L}{q_s} \left(\frac{1}{1 + \sqrt{Z/q_s}} \right) \dots \dots \dots (11)$$

كما وضع [7] Dillon (1975) نموذجاً وصف فيه تراكيز الفوسفور P تابعاً لحمولة الفوسفور L ومعامل

رجوعه R كما يلي:

$$(P) = L \cdot \frac{1-R}{Z} \dots \dots \dots (12)$$

$$R = 1 - \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots \dots \dots (13)$$

نجد أن: P تركيز الفوسفور في البحيرة mg/m^3

L الحمولة السطحية للفوسفور mg/m^2

Z متوسط عمق البحيرة m

كما اقترح العالم (1975) Chapra نموذجاً مشابهاً لـ Vollenwieder أدخل فيه سرعة الترسيب الظاهرية لجزيئات الفوسفور كما في المعادلة التالية [8]:

$$V \frac{dp}{dt} = w - Q \cdot P - v A_s \cdot P \dots (14)$$

V: حجم البحيرة L^3

P: تركيز الفوسفور في البحيرة $M.L^{-3}$

Q: التدفق الهيدروليكي $L^3.T^{-1}$

W: الحمولة السنوية للفوسفور $M.T^{-1}$

v: سرعة الترسيب الظاهرة $L.T^{-1}$

A_s : مساحة سطح البحيرة L^2

في حال وضع ستاتيكي ثابت يكون $\frac{dp}{dt} = 0$ فتؤول المعادلة

$$P = \frac{w}{Q + v A_s} \dots (15)$$

ولدى مقارنة نمودجي Vollenweider و Chapra ترى أن تقدير Vollenweider $K_s = 10/H$ يدعم معادلة Chapra حين تكون السرعة $v = 10m/yr$ ونتيجة الدراسات المتابعة وجد الباحثون أن قيمة v تتراوح ما بين 5-20m/yr بالرغم من وجود حالات نادرة تكون فيها السرعة أقل من 1m/yr وأكثر من 200m/yr، ويتقسيم حدي الطرف الثاني للمعادلة السابقة على A_s ينتج:

$$P = \frac{L}{q_s + v} \dots (16)$$

$$L = P(q_s + v) \dots (17)$$

ولدى مقارنة هذه المعادلة بالمعادلة (10) نستنتج أن:

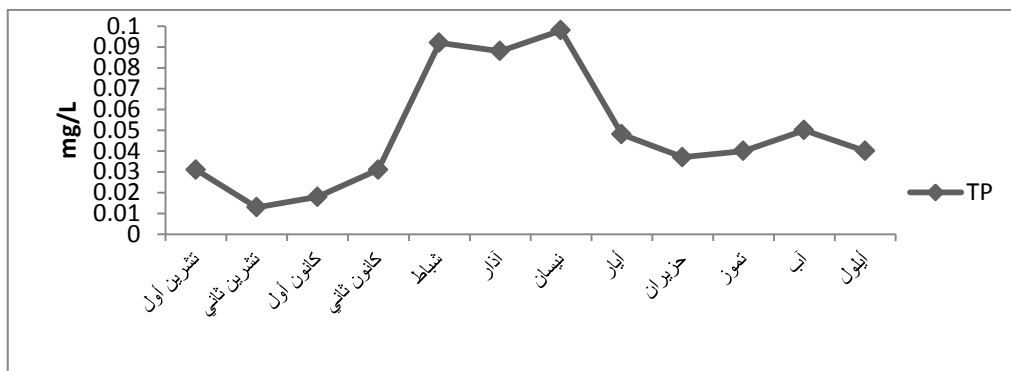
$$v = q_s \cdot \sqrt{\tau} = \frac{z}{\sqrt{\tau}} \Rightarrow K_s = \frac{1}{\sqrt{\tau}} \dots (18)$$

من أجل $Z = 10/K_s$ ، $v = 10m/yr$

النتائج والمناقشة:

• تراكيز الفوسفور الكلي TP:

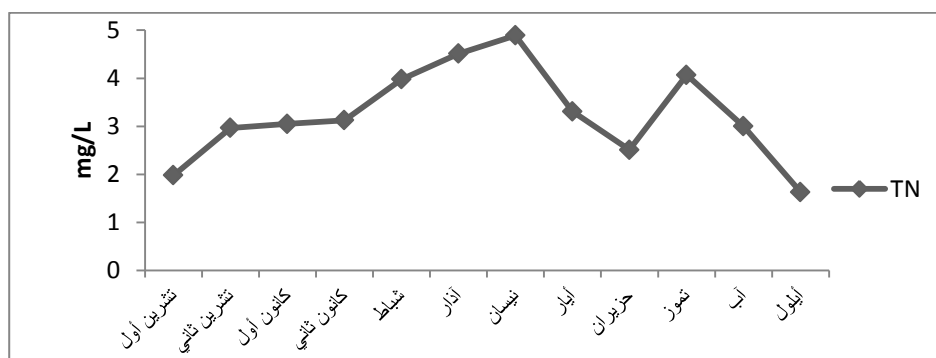
تراوحت تراكيز الفوسفور الكلي بين 0.092mg/L في شهر نيسان و 0.015mg/L في شهر تشرين الثاني باعتبار البحيرة ذات مزج كامل. ويعود سبب تواجد الفوسفور في البحيرة على مدار العام هو مياه الصرف الصحي غير المعالجة التي تصل إلى البحيرة من القرى المجاورة، أما سبب ارتفاعها في شهر نيسان فهو مياه الصرف الزراعي التي تكثر في فصل الربيع، وتصل إلى البحيرة مع مياه الأمطار من الأراضي الزراعية التي تحيط بالمنطقة. يبين الشكل (4) تركيز الفوسفور الكلي في البحيرة باعتبارها ذات مزج كامل.



الشكل (4) تراكيز الفوسفور الكلي TP لعام 2010-2009

• تراكيز النتروجين الكلي TN:

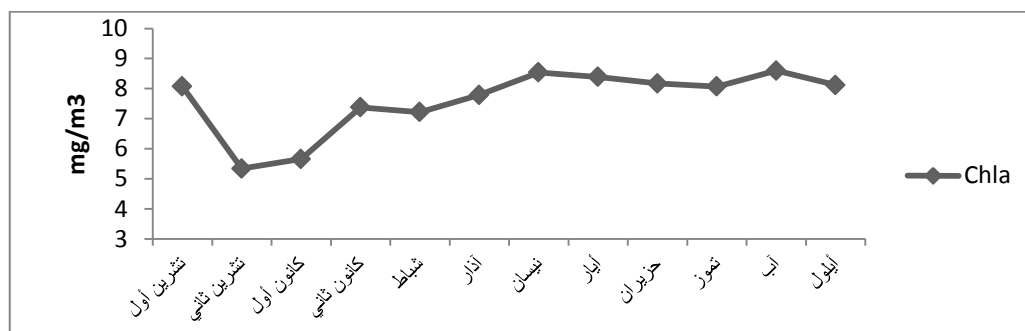
تراوح تقيم تراكيز النتروجين الكلي بين 1.632mg/L إلى 4.892mg/L إذ سجلت أعلى قيمة لها في شهر نيسان 2010 ، وسبب ارتفاعها في هذا الشهر هو مياه الصرف الزراعي التي تصل إلى البحيرة مع مياه الأمطار من القرى المجاورة. يبين الشكل (5) تراكيز النتروجين الكلي في البحيرة باعتبارها ذات مزج كامل.



الشكل (5) تراكيز النتروجين الكلي TN لعام 2010-2009

• تراكيز الكلوروفيل a:

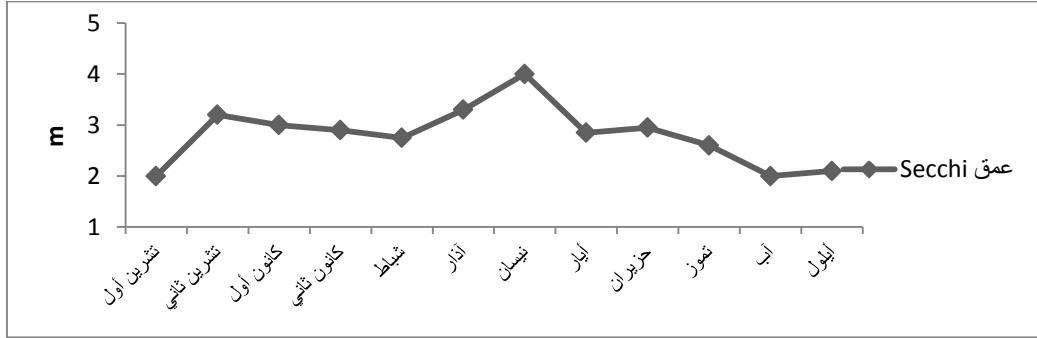
تراوح تقيم تراكيز الكلوروفيل a في البحيرة بين 5.34µg/L في شهر تشرين الثاني إلى 8.54µg/L في شهر نيسان ويعزو ارتفاعها في هذا الشهر إلى ازدياد نمو النباتات في الربيع. يبين الشكل (6) تراكيز الكلوروفيل a في البحيرة باعتبارها ذات مزج كامل.



الشكل (6) تراكيز الكلوروفيل a لعام 2010-2009

- الشفافية عمق Secchi disk :

إن عمق secchi-disk مؤشر مهم في تصنيف البحيرات حسب ظاهرة التشبع الغذائي، وقد تراوح هذا العمق بين 2m في شهر تشرين الأول و 4m في شهر نيسان باعتبار البحيرة ذات مزج كامل كما يبين الشكل (7).

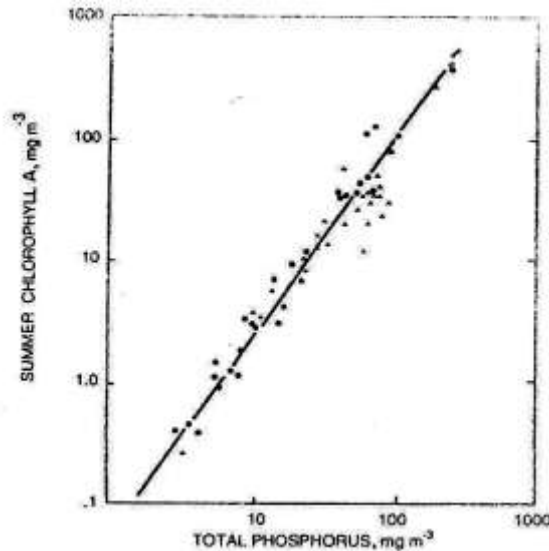


الشكل (7) الشفافية عمق Secchi disk لعام 2010-2009

- نماذج الفوسفور والكلوروفيل a

من أجل التقييم البيئي للتشبع الغذائي في البحيرات يجب التنبؤ لاستجابات الفيتوبلانكتون بحسب زيادة ونقصان حمولة المغذيات نتية الفيتوبلانكتون يكون متوازناً مع الفوسفور والنترجين ، أما في حال $TN/TP < 10$ فإن النترجين هو العامل المحدد لنمو الفيتوبلانكتون و عندما تكون $TN/TP > 17$ فإن الفوسفور هو العامل المحدد لذلك النمو [8].
 ○ وفي دراسات مختلفة أظهر Sakamoto (1985) العلاقة ما بين تركيز الفوسفور في البحيرات تبعاً لتركيز الكلوروفيل a بحسب العلاقة التالية [2]: الشكل (8).

$$CH(1): \text{Log}(Chla) = -1.09 + 1.46 \text{Log}(\text{total P}) ; r = 0.95 \dots (19)$$



الشكل (8) العلاقة بين الفوسفور الكلي و الكلوروفيل a في الصيف

كما وضعت نماذج عديدة للفوسفور والكلوروفيل شبيهة بالنموذج السابق [8]:

○ نموذج Smith & Shapiro (1981)

$$\text{CH(2): } \text{Log}(\text{chLa}) = 1.55 \text{ Log}(P) - b \dots \dots (20)$$

○ نموذج (Bartsch&Gakstatter 1978)

$$\text{CH(3): } \text{Log}(\text{chLa}) = 0.807 \text{ Log } P - 0.194 \dots \dots (21)$$

○ نموذج (Rast& Lee 1978)

$$\text{CH(4): } \text{Log}(\text{chLa}) = 0.76 \text{ Log } P - 0.259 \dots \dots (22)$$

$$\text{SCH(5): } \text{Log}(\text{chLa}) = 1.449 \text{ log}(P_v) - 1.136 \dots (23) \quad \text{Dillon \& Rigler (1974) نموذج}$$

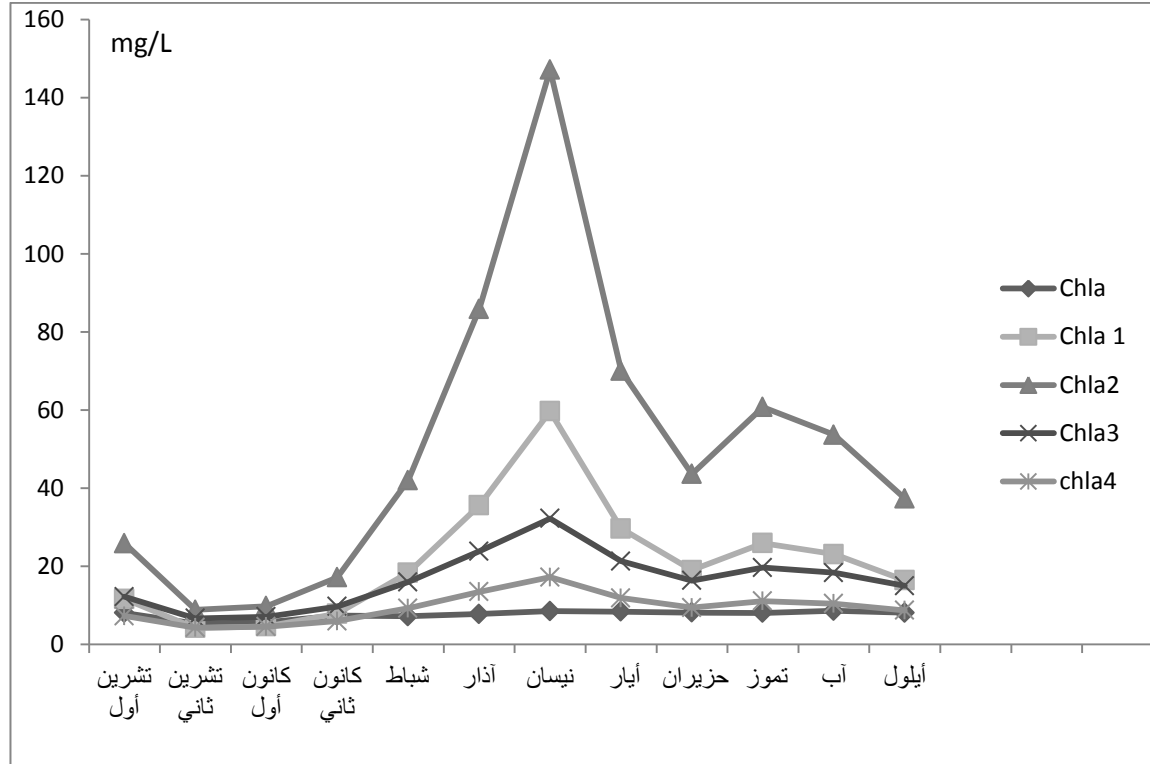
إذ chla : تراكيز الكلوروفيل ($\mu\text{g/L}$)

P : تراكيز الفوسفور الكلي ($\mu\text{g/L}$)

$$b = 1.55 \text{Log} \left(\frac{6.404}{0.0204 \left(\frac{TN}{TP} \right) + 0.334} \right) ; \quad TN/TP$$

P_v : تراكيز الفوسفور الكلي في الربيع ($\mu\text{g/L}$)

○ بينت التجارب أن النسبة TN/TP أكبر من 17، وأن تراكيز الكلوروفيل a أقل من $20 \mu\text{g/L}$ على مدار العام، وعليه نستنتج أن الفوسفور هو العنصر المحدد لنمو وتكاثر الطحالب في هذه البحيرة، لذلك تم دراسة عدة علاقات ارتباط للفوسفور منها: علاقات ارتباط بين الكلوروفيل a والفوسفور السابقة الذكر، إذ أعطى نموذج (Sakamoto 1985) الخط البياني Chla1 وأعطى نموذج (Smith & Shapiro 1981) الخط البياني Chla2 و Chla3 لنموذج (Bartsch&Gakstatter 1978) و Chla4 لنموذج (Rast& Lee 1978) أما النموذج الخامس وهو نموذج (Dillon & Rigler) (لم يتم رسمه لأنه اعتمد على تركيز الفوسفور في الربيع فقط) وبعد وضع برنامج حاسوبي بلغة (Visual Basic الملحق 1) تم اختيار النموذج الأفضل فيما بينها وهو نموذج (Rast& Lee 1978) والذي تطابق مع المخطط البياني لتلك النماذج كما هو واضح في الشكل (9) عند مقارنتهم بالخط البياني Chla الذي يمثل التراكيز الحقلية للكلوروفيل a في البحيرة.



الشكل (9) الخطوط البيانية للنماذج الرياضية لعلاقات ارتباط الكلوروفيل a والفوسفور الكلي والقيم الحقلية لتراكيز الكلوروفيل a لعام 2009-2010

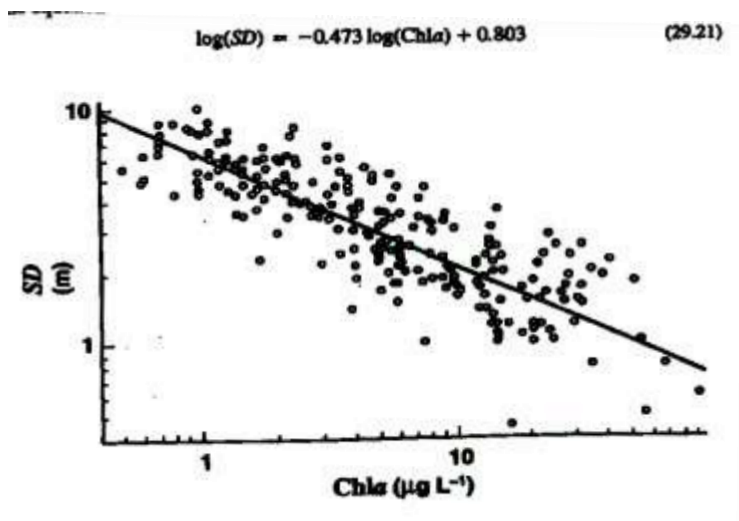
• نماذج الكلوروفيل a وعمق Secchi-Disk

وجد العالمان (Rast & Lee, 1978) علاقة ما بين الكلوروفيل a وعمق Secchi-Disk ، وهذه العلاقة تبين أنه من أجل الأعماق الكبيرة لـ Secchi-Disk تكون تراكيز الكلوروفيل a منخفضة، وكذلك الأمر من أجل الأبعاد الصغيرة لتلك الأعماق تقابلها تراكيز كبيرة للكلوروفيل [8] الشكل (10).

$$\text{Log}(SD) = -0.473 \text{Log}(Chla) + 0.803 \dots \dots \dots (24)$$

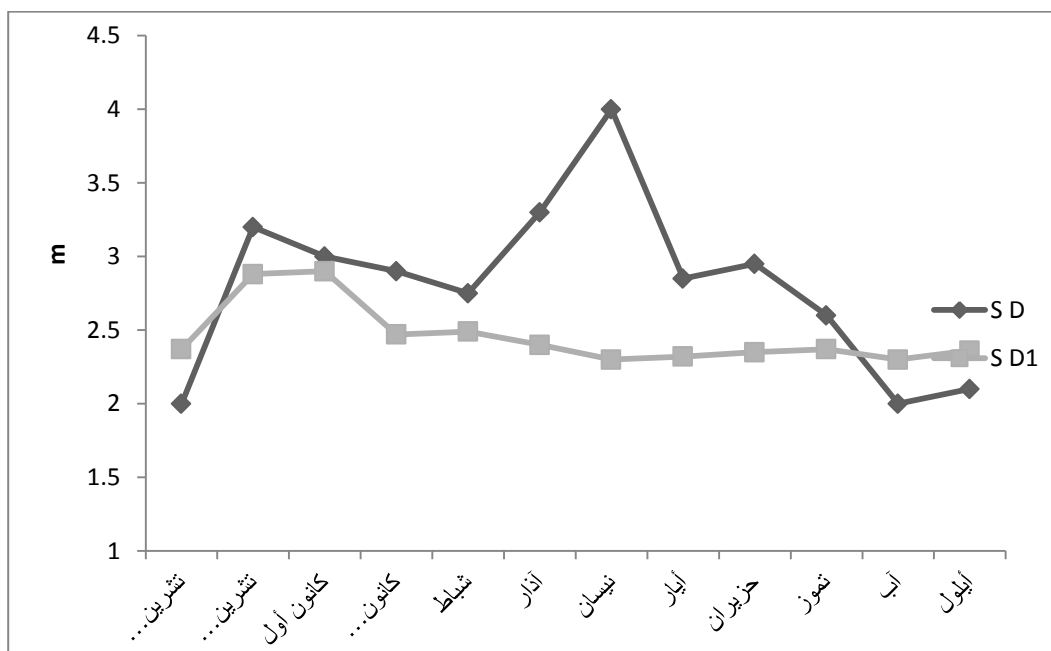
إذ: SD: عمق Secchi-Disk (m)

ChLa: تراكيز الكلوروفيل (µg/L)



الشكل (10) علاقة ارتباط الكلوروفيل a مع عمق Secchi-disk

كما أنه عند دراسة علاقة الارتباط للكلوروفيل a و الشفافية أوعمق Secchi disk أعطى نموذج Rast & Lee (1978) الخط البياني SD1 ونستطيع مقارنته بالخط البياني SD الذي يمثل القيم الحقلية للشفافية، باعتبار البحيرة ذات مزج كامل كما في الشكل (11).



الشكل (11) علاقة ارتباط عمق Secchi-disk والكلوروفيل a والقيم الحقلية لهذه العمق لعام 2010-2009

الإستنتاجات والتوصيات:

1. تتأثر بحيرة سد الثورة بشكل مباشر بالملوثات الخارجية، وبشكل كبير بمياه الصرف الصحي غير المعالجة.
2. إن نسبة النتروجين الكلي إلى الفوسفور الكلي أكبر من 17 في جميع مواقع بحيرة سد الثورة، مما جعل الفوسفور هو العنصر المحدد لنمو الطحالب.
3. نموذج الكلوروفيل a والفوسفور الكلي الأفضل المدروس هو نموذج (Rast & Lee (1978) التالي:

$$\log(\text{chl}a) = 0.76 \log(P) - 0.2$$
4. نموذج الشفافية والكلوروفيل a المدروس والمقترح هو نموذج (Rast & Lee (1978):

$$0.803 \log(\text{chl}a) + 0.473 \log(\text{SD}) = -a$$
5. 15 الاهتمام بمعالجة مياه الصرف الصحي قبل إلقاءها في البحيرات القريبة من التجمعات السكنية.
6. التقيد باحترام حرم البحيرات وعدم استخدام الأسمدة في الأراضي الزراعية القريبة.
7. وضع برامج مراقبة لنوعية مياه البحيرة.
8. متابعة البحث ببحوث مكملة أخرى، منها، وضع نماذج رياضية مثلى تتوافق مع وضعية البحيرة، تتعلق بحمولة الفوسفور الكلي وتراكيز الكلوروفيل a وعمق secchi-disk وتعميمها على بحيرات أخرى.
9. أهمية النمذجة الرياضية وضرورة استخدامها في الأبحاث كافة إذ تستخدم هذه النماذج بوصفها مستنداً نتعرف من خلالها على تفاصيل المسألة بالإضافة إلى استخدامها مرجعاً نعود إليه في حل المشاكل المستقبلية المختلفة، سواء كانت هذه المشاكل بيئية أم عامة.

الملحق

البرنامج الحاسوبي لاختيار النموذج الأمثل بلغة Visual Basic:

مدخلات البرنامج هي:

المتوسط السنوي الحقلي لتراكيز الفوسفور الكلي في الربيع: PV

P المتوسط السنوي الحقلي لتراكيز الفوسفور الكلي:

المتوسط السنوي الحقلي لتراكيز الكلوروفيل a: CH

N المتوسط السنوي الحقلي لتراكيز النتروجين الكلي:

يقوم البرنامج بالمقارنة بين القيم الحقلية المدخلة وقيمها بالمقابل في النماذج الرياضية واختيار النموذج

الأقرب للقيم الحقلية إذ يطبع آخر رقم النموذج الأمثل فيما بينها كما يلي:

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
Text1 . Text = " "
```

```
P = Val(InputBox("input P" , "input P"))
```

```
PV = Val(InputBox("input PV" , "input PV"))
```

```
CHT = Val(InputBox("input CH" , "input CH"))
```

```
N = Val(InputBox("input N" , "input N"))
```

```
B = 1.55 * Log(6.404/(0.0204 * (N/P)+0.334))
```

```
Dim CH(5)
```

$$CH(1) = - 1.091 + 1.46 * \text{Log}(P)$$

$$CH(2) = 1.55 * \text{Log}(P) - B$$

$$CH(3) = 0.867 * \text{Log}(P) - 0.194$$

$$CH(4) = 0.76 * \text{Log}(P) - 0.259$$

$$CH(5) = 1.449 * \text{Log}(PV) - 1.136$$

$$E = \text{Abs}(CH(1) - CHT)$$

$$K=1$$

For I =2 To 5

If $\text{Abs}(CH(I) - CHT) < E$ Then $k = I$: $E = \text{Abs}(CH(I) - CHT)$

Next I

Text1 . Text = "k=" & k

End Sub

Rast& ولقد أعطى البرنامج رقم العلاقة " 4 " الأكثر ملاءمة للبحيرة باعتبارها ذات مزج كامل وهي نموذج

$$\log(chla) = 0.76 \log(P) - 0.259 \quad \text{Lee التالي ذكره:}$$

المراجع

1. JORJENSEN, S. E., and MEJER, H. A holistic approach to ecological modeling. Ecol. Model. 7: 169-189. (1979).
2. BISWAS, A. K. Mathematical modeling and water-resources decision making. In Biswas, A. K. (ed.). Systems Approach to water management, pp. 398-414. Mcjraw-Hill, New York. (1976)
3. MAO, J.; CHEN,Q. ,and CHEN,Y., "Three-dimensional eutrophication model and application to Taihu lake, China".Journal of Environmental Sciences vol.20, No.3: 278-284(2008).
4. ديب، ابراهيم.مصادر المياه في الساحل السوري و طرق حمايتها. المؤتمر الإقليمي الأول حول التقنيات الملائمة لمعالجة مياه الصرف الصحي و إعادة استخدامها، اللاذقية، 2-4كانون أول (2003).
5. SCHNOOR J.L., Environmental Modeling New York Willey Inferscience; pp. 684. (1996).
6. VOLLENWIEDER, R.A. Advances in defining critical Loading Levels for phosphorus in Lake eutrophication.Mem.Inst. Itali.Idrobiol. 40: 1-24.(1976).
7. DILLON, P.J., and RIGLER, F. H. A. simple method of predicting the capacity of a Lake for development based on Lake trophic status. J. Fish. Res.Bord. Can. 32: 1519-1531.(1975).
8. CHAPRA, C. S; Surface Water-quality Modeling.WCB/McGraw-Hill.844p.(1997).
9. SAKAMOTO, Primary production by phytoplankton community in some Japanese Lakes and its dependence on Lake depth. Arch. Hydrobiol. 62:1-28.(1966).