

تقدير الألمنيوم المتبقي في محطات التنقية باستخدام التعابير الجينية

م. ربا دحام السعيد* أ.د. بسام العجي** أ.د. مازن ابراهيم**

(الإيداع: 6 حزيران 2021، القبول: 7 آذار 2022)

الملخص:

يعد التخثير أحد أهم العمليات في تنقية مياه الشرب، حيث تستخدم هذه العملية لزيادة حجم المعطرات وجمعها معاً في ندف قابلة للتسيب في المراحل اللاحقة من المعالجة. يتم لهذا الغرض استخدام العديد من المخثرات التي تعطي منتجات قليلة الانحلال قادرة على الاندماج في ندف ضخمة. تعتبر كبريتات الألمنيوم المائية ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) المعروفة تجارياً بالشبة من أكثر المواد الكيميائية الشائعة المستخدمة لتخثير المياه. إن الجرعة العالية منها تسبب زيادة الألمنيوم المتبقي في المياه المعالجة، ويرتبط تواجد التراكيز العالية من الألمنيوم في المياه بالعديد من المضار الصحية، وتشير بعض الدراسات إلى أن الألمنيوم يمكن أن يزيد من خطر الإصابة بمرض الزهايمر. وبالتالي فمن المهم جداً تقليل كمية الألمنيوم المتبقي في مياه الشرب. ركزت هذه الدراسة على علاقة الألمنيوم المتبقي بالبارامترات المختلفة المتعلقة بعملية تنقية مياه الشرب، حيث تم استخدام البيانات الفعلية لمحطة تنقية المياه في القصير في مدينة حمص على مدى ثلاث أعوام، وكانت البارامترات المستخدمة كمدخلات للنموذج: عكارة المياه الخام، درجة الحرارة، الناقلية، جرعة الشبة و pH، والألمنيوم المتبقي كخرج للنموذج. وتم ذلك بالاعتماد على تقنية التعابير الجينية GEP لإيجاد معادلة تحدد قيمة الألمنيوم المتبقي في مياه الشرب. بعد دراسة ارتباط البيانات وتحليلها وحذف القيم الشاذة تم استخدام هذه البيانات في بناء عدة نماذج دخل ودراسة اللياقة لكل نموذج واختيار الشبكة ذات تابع اللياقة الأعلى. كما تم بناء نموذج انحدار متعدد للخطأ (MLR) ومقارنة النتائج. وبينت النتائج تفوق المعادلة اللاخطية التي تم الحصول عليها عن طريق التعابير الجينية على النموذج الذي تم الحصول عليه من MLR. وأعطت نتائج بدرجة عالية من الدقة بمعامل ارتباط (R) يساوي (0.9) وقيمة الخطأ المطلق يساوي 0.024 (AE).

الكلمات مفتاحية: الألمنيوم المتبقي - العكارة - التعابير الجينية - الخوارزميات الجينية.

*طالبة دكتوراه في كلية الهندسة المدنية - قسم الهندسة الصحية والبيئية - جامعة دمشق.

**أستاذ في كلية الهندسة المدنية - قسم الهندسة الصحية والبيئية - جامعة دمشق.

***أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية - قسم الإدارة الهندسية والتشييد - جامعة دمشق.

Evaluating residual aluminum in purification plants using gene expression

E. Ruba Dahham Alsaeed* Prof. Bassam Alaji** Dr. Mazen Ebrahim***

(Received: 6 June 2021, Accepted: 24 March 2022)

Abstract:

Coagulation is one of the most important processes in the drinking water purification, this process is used to increase the size of the suspensions and collect them together in flocs that can be settled in the later stages of treatment. For this purpose various coagulants are used, these coagulants give soluble products that are capable of being combined into huge flocs. Aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) commercially known as alum, is one of the most common coagulants. The high dose of it causes an increase of aluminum residual in the treated water, and the presence of high concentrations of aluminum in the water is associated with many health problems, some studies indicate it can increase the risk of Alzheimer's disease. Thus it is very important to reduce the amount of aluminum remaining in drinking water. This study focused on the relationship of residual aluminum with the various parameters, the actual data of the water purification plant in Al-Qusayr in Homs city was used over a period of three years, the parameters used as inputs were: turbidity, temperature, conductivity, alum dose and pH, and residual aluminum as an output. This was done using the genetic expression technology (GEP) to find an equation that determines the value of aluminum remaining in drinking water. After analyzing the data and eliminating outliers, the data was used to build several models, the fitness for each model was evaluated, and the model with the highest fitness was select. A multiple linear regression (MLR) model was also built. The results showed that the nonlinear equation obtained by GEP is superior to the model obtained from MLR. And it gave results with a high accuracy with a correlation coefficient (R) equals to (0.9) and an absolute error value equals to (AE) 0.024

Key words: residual aluminum – turbidity – gene expression – genetic algorithms

*PhD student in the Civil Engineering College – Sanitary and Environmental Engineering Department – Damascus University

**Professor at the Civil Engineering College / Sanitary and Environmental Engineering Department / Damascus University

Assistant Professor at the Civil Engineering College / Engineering Management and Construction Department / Damascus University

1- المقدمة:

تشكل المياه السطحية وخاصة مياه الأنهار المصدر الرئيسي للمياه الخام لإنتاج مياه الشرب، مياه النهر طرية، وذات مستويات منخفضة نوعاً ما من القلوية والمعادن المنحلة. [10]

لكنها غالباً ما تكون غير آمنة للاستعمال بدون معالجة. إن الهدف الأساسي لمحطة التنقية هو إنتاج مياه شرب سائغة آمنة للاستهلاك لا تحتوي عوامل ممرضة أو سامة، ويجب أن يتم ذلك بأقل كلفة ممكنة، وأقل تأثير على البيئة.

تحتوي المياه السطحية على مواد عالقة ذات وزن نوعي أكبر من الواحد.

تسعى المواد العالقة للتسريب في قاع السرير المائي، إلا أن الجزيئات الدقيقة ذات الأبعاد الصغيرة تبقى في المياه بالحالة المعلقة. إن الجزيئات المناسبة لتكنولوجيا الترسيب الطبيعي هي الجزيئات ذات الأبعاد أكبر من 50-30 ميكرون أما الجزيئات الأصغر فإنها تبقى في الحالة المعلقة. [2]

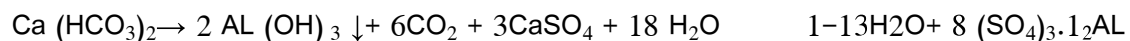
استخدمت عملية التخثير (Coagulation) والتلييد (Flocculation) لشوائب المياه منذ زمن بعيد. [7]

- عملية التخثير هي عملية تحييد الشحنة للجسيمات الغروية عن طريق إضافة مخثر كيميائي أو عملية تكييف لتعزيز تكتلها وبالتالي تنتج جزيئات أكبر يمكن إزالتها بسهولة أكبر في عمليات المعالجة اللاحقة.

عندما تضاف مادة التخثير إلى الماء الخام، تتفاعل أنواع المخثرات المشحونة إيجابياً مع الجزيئات والغرويات المذابة، في المخثرات التي تسعى إلى زعزعة استقرار الجسيمات عن طريق تحييد الشحنة سيكون للجرعة اللازمة من المخثر علاقة بالعكارة. [8]

المخثرات الأكثر استخداماً في معالجة مياه الشرب هي مخثرات الألومنيوم، كبريتات الألومنيوم المائية $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O)$ أو ما يعرف تجارياً بالشبة. يتفاعل المخثر مع القلوية الموجودة مثل الكربونات والبيكربونات وهيدروكسيد أو الفوسفات لتكوين أملاح الألومنيوم غير القابلة للذوبان.

تظهر المعادلة 1-1 تفاعل كبريتات الألمنيوم والقلوية في المياه. [9]



قد يوجد الألمنيوم في المياه الطبيعية بشكل عضوي أو بشكل مركبات غير عضوية في صورة مذابة وغير منحلة، إنه مركب مذنب، يتحد مع كل من الحمض والقواعد ليتشكل، على التوالي، أملاح الألومنيوم والألومينات. التواجد الكيميائي للألمنيوم في الماء بشكل أساسي $Al(OH)_3$ التي لها طابع مذنب وميل لتشكيل أيونات معقدة. تتراوح قيم الألمنيوم في المياه الطبيعية من 0.0001 إلى 1mg/L. [8]

كون الألمنيوم يضاف إلى عملية تنقية المياه، لذلك فإنه في الغالب تكون قيمة الألمنيوم في المياه المعالجة أعلى منها في المياه الخام. لذلك فإن الألمنيوم المتبقي متعلق بعملية المعالجة ويستخدم لتقييم أداء العملية. [9]

يؤدي استخدام مخثرات الألمنيوم في معالجة مياه الشرب إلى ارتفاع تراكيز الألمنيوم في مياه الشرب.

قد تؤدي التراكيز العالية من الألمنيوم إلى زيادة عكارة الماء في نظام التوزيع عن طريق ترسيب هيدروكسيد الألمنيوم، يشكل أيون Al^{+3} روابط قوية مع الأكسجين هذا يضعف رابطة ذرة الأكسجين والهيدروجين في جزيئات الماء، وتميل ذرات الهيدروجين إلى التحرر في المحلول.

هذه العملية معروفة بالتحلل المائي، وتسمى أنواع هيدروكسيد الألومنيوم الناتجة منتجات التحلل المائي.

إن كيمياء تفاعلات ومنتجات التحلل المائي للألمنيوم معقدة وليست مفهومة تماماً. تميل منتجات التحلل المائي إلى الامتزاز (ويمكن أن تستمر في التحلل المائي).

شكل الألمنيوم المترسب يعتمد على ظروف التكوين، بما في ذلك درجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني للمحلول. يدخل الألمنيوم المتبقي في مياه الشرب إلى جسم الإنسان من خلال الجهاز الهضمي، يصنف الألمنيوم المذاب في مياه الشرب على أنه شديد التفاعل إلى غير متفاعل (مرتبط بمركبات غير عضوية). يتم إذابة الألمنيوم في المعدة حيث يكون الرقم الهيدروجيني منخفضاً، قد يكون الامتصاص في المعدة خطراً للغاية.

تعمل أيونات الألمنيوم التفاعلات في جسم الإنسان مع أيونات المعادن مثل الزنك والحديد والكالسيوم والكروم، بمجرد امتصاصه، يصل الألمنيوم إلى الدم وينتقل بشكل أساسي إلى الترانسفيرين (وهي بروتينات تربط الحديد في الدم) ويمكنه عبور الحاجز الدموي الدماغي. [10]

تم الإبلاغ عن أعراض الغثيان والقيء والإسهال عند المستوى العالي من بقايا الألمنيوم في مياه الشرب، كذلك تقرحات الفم والجلد والطفح الجلدي وآلام المفاصل. [6]

تركيز الألمنيوم في المياه يمكن أن يختلف اختلافاً كبيراً اعتماداً على المواد الفيزيائية والكيميائية المختلفة والعوامل المعدنية [9].

ذكرت منظمة حماية البيئة الحد المسموح به من الألمنيوم (0.05 – 0.2 mg/L) ومنظمة الصحة العالمية 0.2 mg/L. - يشهد قطاع الذكاء الاصطناعي تطوراً مستمراً، يجعله ملاذاً آمناً لخبراء البيئة وإدارة الموارد الطبيعية في البحث عن الحلول المستدامة للموارد المائية، حيث تتطلب هذه الحلول أنظمة تعتمد على التعلم الآلي وتسمح بجمع وتحليل كم هائل من البيانات للتوصل إلى رؤى مستقبلية.

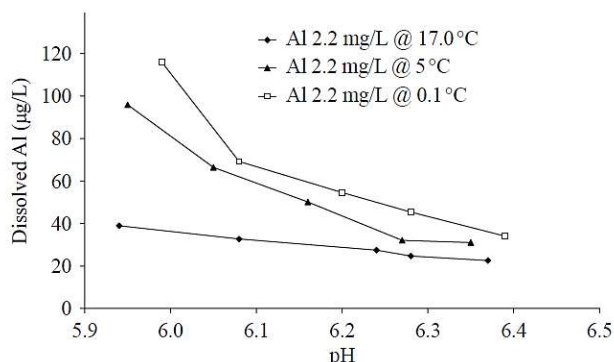
عندما يكون المطلوب تعيين خرج مرتبط بمدخلات مختلفة متغيرة والعمليات الفيزيائية والكيميائية غير معروفة الترابط بشكل دقيق وصريح يكون من الصعب الاعتماد على النمذجة الرياضية كون العلاقات بين البارامترات علاقات معقدة وغير خطية. [3]

في عملية معالجة مياه الشرب يمكن أن تحدث بشكل متكرر تفاعلات غير مفهومة بشكل جيد. هذا يجعل من الصعب جداً تطوير نموذج ميكانيكي مفيد. ومن هنا تم التوجه إلى تطبيقات الذكاء الصناعي بمختلف أنواعها.

1-1- الدراسة المرجعية:

1-1-1- دراسة قام بها الباحثان D. Be' rube' and C. C. Dorea في جامعة Glasgow في UK تم الربط بين قيم الألمنيوم المتبقي وبارامترات مختلفة، الحرارة و ال pH. كون منطقة الدراسة تصل فيها درجات الحرارة الخام إلى معدلات دنيا تقارب الصفر.

أوضحت الدراسة زيادة نسبة المنيوم المتبقي عند نقصان قيم pH، كما هو موضح في الشكل (1-1). [4]



الشكل رقم (1-1): العلاقة بين الألمنيوم المنحل و pH

1-1-2 دراسة قامت بها الباحثة Sabba في ايران، تم في هذه الدراسة استخدام طريقة المجموعة لمعالجة البيانات وهي (GMDH) من أنواع الشبكات العصبية للنمذجة وذلك للتنبؤ بالعبارة والألمنيوم الحر المتبقي في مياه الشرب. للتحقق من صحة النموذج المقترح، تم إجراء دراسة حالة بناءً على مجموعات البيانات التي تم الحصول عليها من محطة Guilan WTP.

للمنذجة، تم تقسيم البيانات التجريبية إلى قسمين تدريب واختبار (70٪ للتدريب و30٪ للاختبار). في النهاية، تمت مقارنة نتائج النمذجة مع البيانات التجريبية وأظهر تمثيلاً جيداً للبيانات، مع معامل التحديد (R^2) في نوع الشبكة GMDH كانت 0.8239 و 0.9138 للعبارة المتبقية والألمنيوم المتبقي على التوالي. نتائج متوسط الخطأ التربيعي MSE التي حصلت عليها الدراسة 0.0248 للعبارة المتبقية و 0.00000438 للألمنيوم المتبقية. [1]

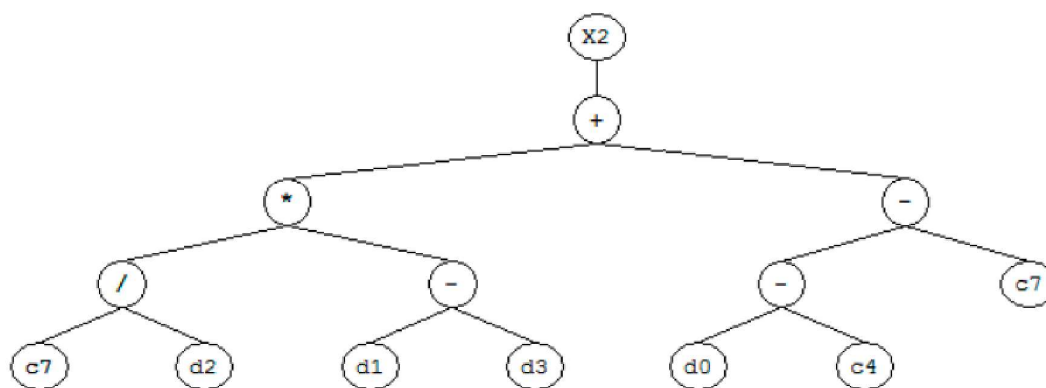
1-1-3 دراسة للباحث J.Tomperi في جامعة Oulu في فنلندا [6] تمت الدراسة في محطة Bansong لتتقية المياه في كوريا الجنوبية وهي محطة تقليدية باستطاعة 120,000 m^3 per day.

تم الاستناد الى البيانات الفعلية من المحطة لإيجاد نموذجين يعتمد أحدهما على الانحدار المتعدد للخطأ والآخر على الشبكات العصبونية ليعطي القيمة المتبقية من الألمنيوم بالاعتماد على البيانات المقدمة للنموذج والمقارنة بين النموذجين. بيانات الدخل حرارة، عبارة، pH، ناقلية وعبارة الخرج وبيانات الخرج جرعة المؤكسد المستخدم $KMnO_4$. [2]. تمكنت الدراسة من التنبؤ بعبارة الخرج بدقة عالية حيث كانت نتائج الشبكة كالتالي:

$$ANN \text{ RMSE} = 0.700$$

$$MLR \text{ RMSE} = 0.561$$

1-1-4 دراسة قام به الباحث Li-Wei في تايوان، تم في هذه الدراسة استخدام التعبيرات الجينية لتقدير قيم عبارة المياه في الأنهار، اعطى النموذج معادلة لا خطية للتنبؤ بقيم العبارة وكانت نتائج النموذج بدقة: $R = 0.932$ $RMSE = 0.5$ يبين الشكل (2-1) جزء من المخطط الشجري للعلاقة الناتجة.



الشكل رقم (2-1): شجرة التعبير الجيني المعبرة عن قيم العبارة. كما هي معطاه في الدراسة المرجعية [11]

2- هدف البحث:

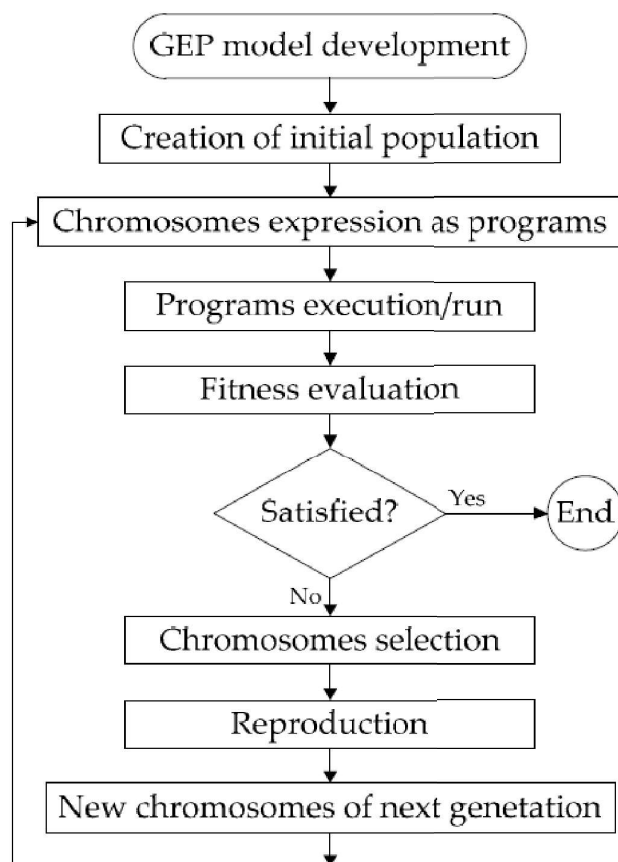
1- تحديد قيم الألمنيوم المتبقي في المياه الخارجة من محطة تنقية المياه في القصير باستخدام برمجة التعبير الجيني GEP.

3- مواد وطرائق البحث:

تم في هذا البحث استخدام برمجة التعبير الجيني (GEP) التي استخدمت لإيجاد المعادلة الهدف. تعرّف برمجة التعبير الجيني بأنها تقنية برمجة آلية، تنتمي إلى عائلة الخوارزميات التطورية (Evolutionary Algorithm) (EA)، والتي تستند على نظرية الاصطفاء الطبيعي لداروين، حيث يحسن المجتمع بشكل تدريجي، من خلال انتقاء الأفراد غير الملائمين واستبعادهم، وإنتاج نسل من الأفراد الأفضل. تعتبر GEP الأكثر تطوراً بين الخوارزميات التطورية، اشتقت طرائق بنائها من الخوارزميات الجينية (GA) والبرمجة الجينية (GP).

هذه النماذج عبارة عن تراكيب شجرية معقدة تتعلم وتتكيف بتغيير حجمها وشكلها، وتركيبها مثل الكائن الحي. يبين الشكل (1-3) خطوات برمجة التعبير الجيني.

اشتملت البيانات المستخدمة على قيم قياسات للبارامترات التالية: عكارة الدخول، درجة حرارة المياه، جرة المختلر، pH والناقلية الكهربائية كمداخلات للنموذج. والألمنيوم المتبقي كمتغير تابع.



الشكل رقم (1-3): خطوات برمجة التعبير الجيني

يبين الجدول (1-3) الخواص الإحصائية للبيانات المستخدمة. حيث تراوحت قيم الألمنيوم المتبقي بين 0 و 0.22 mg/L
الجدول رقم (1-3): الخواص الإحصائية لعناصر الدخل والخرج.

Column type	Input				output
Parameter	Tur- in mg/L	pH	T °C	Alum dose mg/L	Al Out mg/L
Min	6.9	6.5	8.2	0	0
Max	30.4	8.53	21.4	11.16	0.22
Mean	14.63	7.43	15.53	3.68	0.11
Std. deviation	4.41	0.32	2.66	2.31	0.12

كما يبين الجدول (2-3) قيم معامل ارتباط بيرسون بين البيانات. حيث يبين الجدول العلاقة الطردية بين كل من عكارة الدخل وجرة المختر مع قيمة الألمنيوم المتبقي.

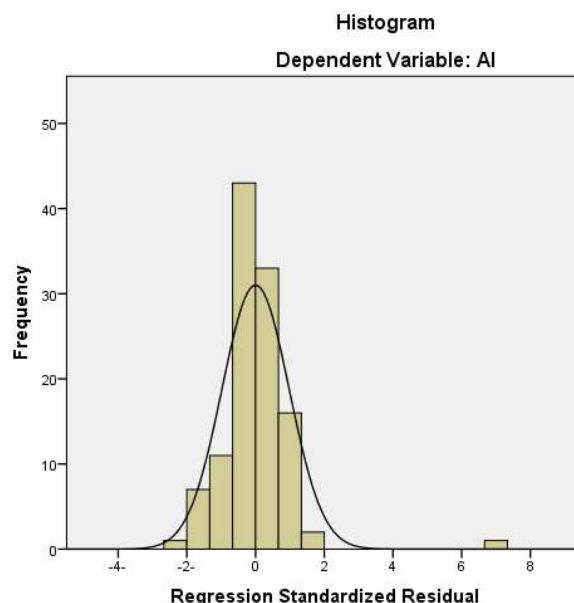
الجدول رقم (2-3): مصفوفة معامل ارتباط بيرسون بين العناصر

(Turbidity in; temperature; Alum dose, pH).

conductivity	Alum dose	T	pH	Tur- in	Al	
						Al
					0.458	Tur- in
				-0.005	0.148	pH
			0.084	-0.383	-0.378	T
		-0.455	-0.027	0.704	0.703	Alum dose
	0.37	-0.42	0.06	0.35	0.04	conductivity

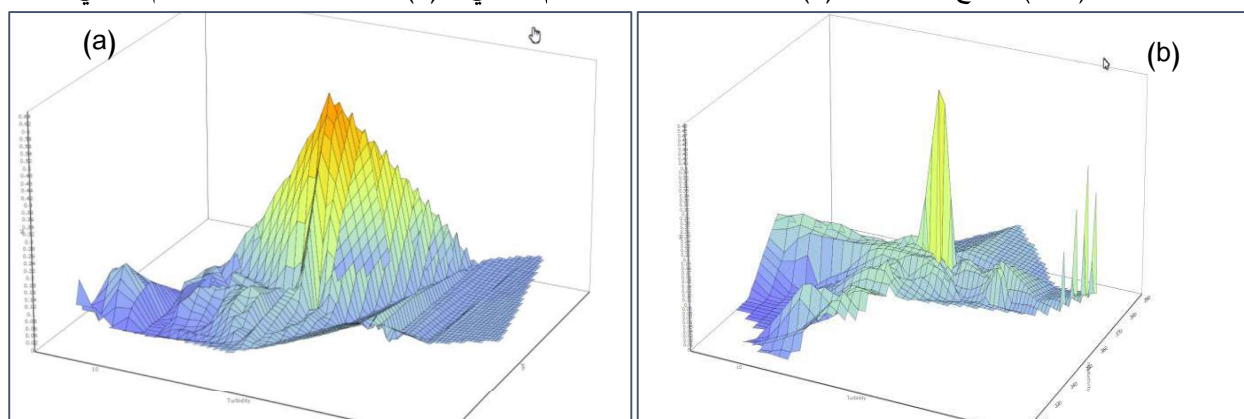
العكارة تؤثر على جرة المختر الذي بدوره يؤثر على الألمنيوم المتبقي، pH يؤثر على انحلالية الألمنيوم وكذلك دور الحرارة.

إن العلاقة المعقدة بين هذه البارامترات تجعل من الصعب انشاء نموذج خطي للتنبؤ بقيم الألمنيوم، يبين الشكل (3-3) أسطح العلاقة بين الألمنيوم المتبقي وبعض البارامترات المرتبطة. تمت محاولة انشاء نموذج انحدار خطي باستخدام برنامج SPSS ولكن المعادلة الناتجة كانت ذات نتائج سيئة للتنبؤ ووصلت قيم الخطأ الى 2 mg/L. كما هو مبين في الشكل (2-3).



الشكل رقم (2-3): توزيع الأخطاء الناتجة عن العلاقة الخطية للتنبؤ بالألمنيوم

يبين الشكل (3-3) أسطح العلاقة بين (a) العكارة والجرعة و الألمنيوم المتبقي. (b) العكارة والناقلية و الألمنيوم المتبقي



الشكل رقم (3-3): العلاقة بين A: Turbidity , Conductivity and residual Aluminum Surface

B: Turbidity, pH, and residual Aluminum Surface

من أهم ميزات برمجة التعبير الجيني أنها لا تفترض أي شكل مسبق لتابع الحل، وقادرة على إيجاد معادلة أو صيغة للعلاقة بين متغيرات الدخل والخرج
خطوات برمجة التعبير الجيني:

- 1- اختيار مجموعة المحطات الطرفية ومجموعة الدوال لخلق الكروموسومات.
- 2- تحديد تابع الملائمة.
- 3- تحديد البنية الهيكلية للكروموسومات.
- 4- اختيار تابع الوصل.
- 5- اختيار العمليات الجينية التي ستم ومعدلاتها (الطفرة، التبدل، العكس وإعادة التجميع).

3-1 - المنطقة المدروسة:

تم العمل على بيانات محطة تنقية المياه في القصير التابعة لمحافظة حمص، وهي محطة تم إنشاؤها على مياه نهر العاصي لتزويد مدينة حماه بمياه الشرب، تبلغ طاقتها اليوم بحسب مشغلي المحطة حوالي $5500 \text{ m}^3/h$. تدخل المياه الخامية من نهر العاصي في قناة المأخذ، ويتم في المأخذ التحكم بكمية المياه المستجرة للمحطة وتصريف المياه الفائضة عن طريق أربع بوابات موجودة في المأخذ. يتم إيصال المياه الى حوض المزج عن طريق قناة تنتهي بتضيق فنتوري من أجل زيادة سرعة المياه الداخلة لحوض المزج. كافة الاضافات الكيميائية تضاف قبل الموزع الرئيسي. بعد ذلك تتوزع المياه إلى 4 مرسبات دائرية الشكل بقطر 31 m، ثم الى المرشحات الرملية عددها 20 مرشح من النوع المزدوج المكشوف والذي يعمل على الجاذبية. تستجر المياه من المحطة إلى خزانات مدينة حماه بواسطة قناة بيتونية مغلقة بالراحة.



الشكل رقم (3-4): صورة جوية للمحطة

4- النتائج والمناقشة:

بلغ عدد البيانات المستخدمة في الدراسة، (450) مشاهدة، أخذت على مدار 3 سنوات وكانت البيانات المتضمنة هي قيم العكارة الابتدائية، جرعة المخثر، درجة الحرارة، قيمة pH و الناقلية ،وقيم الألمنيوم المتبقي. تم فرزها وتصنيفها.

■ معالجة البيانات الشاذة:

يتم في هذه الخطوة تحديد عمود الهدف للشبكة العصبية الذي سيمثل ال Output، كما يتم اكتشاف الشذوذ في البيانات، وتقسيمها إلى مجموعات، حيث يمكننا استبعاد الصفوف والأعمدة الشاذة والتي يمكن تقسيمها وفق الآتي:

القيم الشاذة (Outliers) والقيم المفقودة (Missing Values).

القيمة المفقودة هي قيمة مجهولة تعتبر خلايا فارغة، بينما القيم الشاذة هي قيم غير متجانسة وبعيدة عن بقية القيم في بيانات العمود، من الأفضل استبعاد كامل السجل في حال وجود قيمة شاذة أو مفقودة في أعمدة الإدخال.

■ تقسيم البيانات:

تم تقسيم البيانات الى مجموعتي التدريب والتحقيق بنسبة (70% و 30%) على التوالي.

حيث تم في المرحلة الأولى لبناء النماذج إدخال البيانات، واختيار مجموعة الدوال لخلق الكروموسومات الأولية

من أجل ذلك أُدخلت 70% من البيانات المتوفرة من محطة تنقية مياه الشرب في القصير لتدريب النموذج. البيانات المتبقية (30% من البيانات) لم تدخل في بناء النماذج وتم استخدامها للتحقق. تم في المرحلة التالية اختيار تابع الملائمة، حيث تم اختيار جذر متوسط مربع الأخطاء RMSE لتقييم كفاءة النموذج

$$(1-4) \text{ RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}$$

تم اختبار البنية الهيكلية للكروموسومات، حيث تم اعتماد عدد الكروموسومات بين ال (50 - 30)، طول الرأس في الجين 8، وعدد الجينات في كل كروموسوم (2). تم اختيار الجمع كتابع الوصل الذي يربط الجينات ضمن كل كروموسوم، كما اختار العمليات الجينية المستخدمة، مثل الطفرة والتبديل وإعادة التجميع والنسب الأمثلية المعمول بها في أغلب الدراسات. ويوضح الجدول (1-4) البارامترات الخاصة ببناء النموذج.

الجدول رقم (1-4): بارامترات بناء النموذج GEP

	GEP 1-1	GEP 1-2	GEP 2-1	GEP 2-2
تابع الكفاءة	+, -, ×, /, √, exp, ln, log, 10^	+, -, ×, /, √, exp, ln, log, 10^	+, -, ×, /, √, exp, ln, log, 10^	+, -, ×, /, √, exp, ln, log, 10^
عدد الكروموسومات	600	600	700	700
تابع الكفاءة	RMSE	RMSE	RMSE	RMSE
تابع الربط	+	+	+	+
معدل الطفرة	0.00138	0.01	0.00138	0.01
حجم الرأس	8	7	8	7

وكان النموذج الأمثل بعد عدة محاولات هو الناتج عن أكبر عدد من الكروموسومات = 50

الجدول رقم (2-4): نتائج دقة أفضل نموذجي تنبؤ

The number of the Model	Inputs used		RMSE	R
1	Turbidity, Temperature, Alum Dose , pH, conductivity	Train	0.023	0.91
		Test	0.041	0.9
2	Turbidity, Temperature, Alum Dose , pH	Train	0.028	0.82
		Test	0.035	0.81

نلاحظ من نتائج المقارنة، أن المعادلة (2-4) التي توصلنا إليها باستخدام برمجة التعبير قادرة على التنبؤ بقيم الألمنيوم المتبقي في المياه بدرجة عالية من الدقة.

يبين الشكل (1-4) كود المعادلة التي حصلنا عليها. ويعبر عنها عن طريق شجرة ربط يبين الشكل (2-4) جزء منها.

```

' Training Records: 130
' Validation Records: 130
' Fitness Function: RMSE
' Training Fitness: 939.585649960634
' Training R-square: 0.513407403071967
' Validation Fitness: 939.585649960634
' Validation R-square: 0.513407403071967
'-----

Function gepModelAl(ByRef r As Range) As Double
    Dim n As Long
    Dim d(0 To 4) As Double
    For n = 0 To 4
        d(n) = CDBl(r(n + 1))
    Next

    Const G1C4 As Double = 4.9493331865913
    Const G1C3 As Double = -8.25200759626343
    Const G2C4 As Double = -0.681581288650337
    Const G3C3 As Double = -1.25677944731182

    Const Turbidity As Long = 0
    Const ph As Long = 2
    Const t As Long = 3
    Const dose As Long = 4

    Dim y As Double
    y = 0.0

    y = Log((Sqr(d(t)) / (d(t) - ((d(t) + G1C3) / G1C4))))
    y = y + Log(Log((d(t) + Sqr(d(dose))) - ((G2C4 - d(t)) + d(dose))))
    y = y + (d(t) / (((d(t) - d(dose)) - (d(ph) / G3C3)) * Log((d(t) * d(Turbidity)))))

    gepModelAl = y
End Function

```

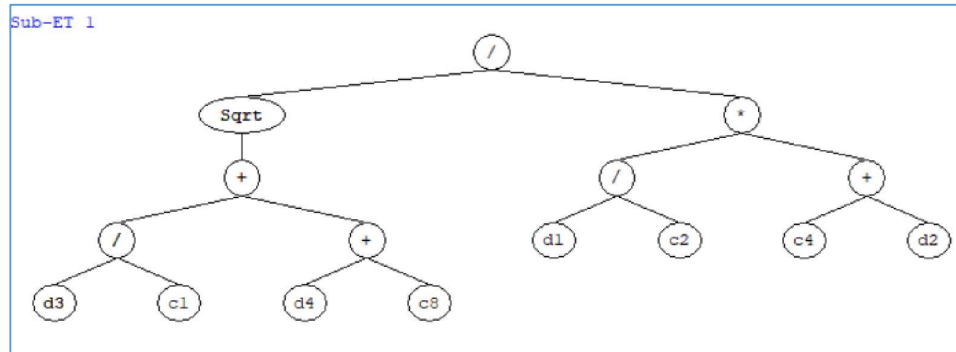
الشكل رقم (4 - 1): كود المعادلة كما تم الحصول عليه من نتيجة الدراسة

المعادلة الهدف التي تم الحصول عليها بنتيجة النموذج مبينة كالتالي:

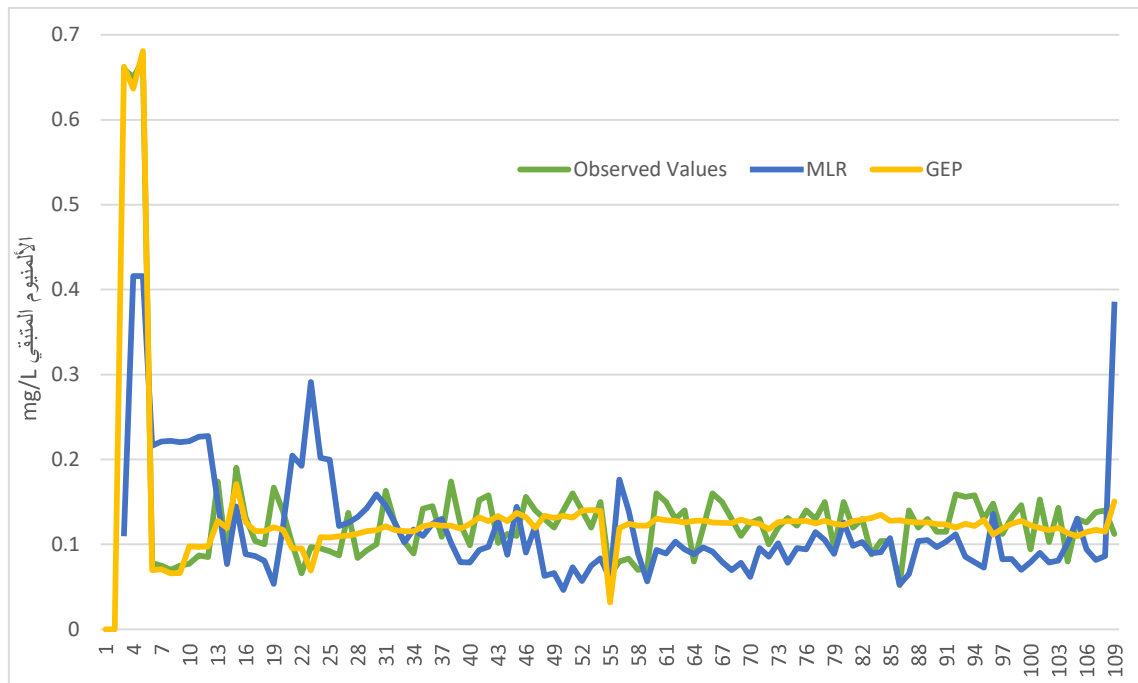
$$\begin{aligned}
 \text{Reseduel Aluminum} = & \frac{\sqrt{\frac{T}{22.1339} + (\text{Dose} - 0.49006)}}{\frac{\text{Cconductivity}}{47.3113} * (-4.31506 + \text{pH})} \\
 & + \frac{((\text{conductivity} - 100.607) * ((t - \text{pH}) - 4.55))}{\text{Turbidity}} +
 \end{aligned}
 \quad (2-4)$$

T : عكارة المياه الخام، Dose : جرعة المخثر، t : درجة الحرارة، Conductivity : الناقلية

حيث يمكن استخدام هذه المعادلة بشكل مباشر، بدون الحاجة الى واجهات كما هو الحال في نماذج الذكاء الصناعي الأخرى. ويتم الحصول على قيم الألمنيوم المتبقي بالتطبيق المباشر لقيم المتغيرات للمؤشرات (عكارة المياه الخام، جرعة المخثر، الحرارة، pH، والناقلية) للمياه الخام ضمن المعادلة.



الشكل رقم (4 - 2): جزء من شجرة المعادلة كما يعطيها البرنامج



الشكل رقم (4 - 3): مقارنة القيم المتنبأ بها والقيم الحقيقية للألمنيوم المتبقي من خلال نموجي GEP و MLR

يبين المخطط (4 - 3) مدى توافق النتائج التي تم الحصول عليها من النموذج GEP بالمقارنة مع القيم الفعلية وابتعاد القيم التي تم الحصول عليها من نموذج الانحدار الخطي للخطأ عن القيم الفعلية، وذلك كون العلاقات معقدة ومن غير الممكن التعبير عنها عبر نموذج انحدار خطي ولا بد من استخدام نماذج أكثر تعقيدا وتطورا كنماذج الذكاء الصناعي ، والتي تعد التعابير الجينية أحدثها وأقدرها على التعامل مع هذا النوع من البيانات ، وكذلك سهولة التعامل مع نتائجها كونها تعطي علاقة رياضية يسهل استخدامها حسب اختلاف خبرة المستخدم.

5- الاستنتاجات:

1- تم بنتيجة هذه الدراسة الحصول على علاقة رياضية غير خطية تربط عدة بارامترات لمواصفات المياه الخام (العكارة - الحرارة - جرعة الشبة - pH) بقيمة الألمنيوم المتبقي الناتج عن عملية المعالجة على درجة عالية من الدقة بجذر مربعات الأخطاء (RMSE) = 0.02، حيث يمكن استخدام هذه المعادلة للتنبؤ بقيم متبقي الألمنيوم بعد المعالجة باستخدام الشبة في المحطة التي تمت فيها الدراسة والمحطات الأخرى ذات نمط المعالجة المماثلة.

2- ان تخفيض عدد المتغيرات في الدخل لم يزد من كفاءة النموذج.

6- التوصيات:

- 1- استخدام بارامترات مختلفة غير مستخدمة ضمن هذه الدراسة ودراسة تأثيرها على جودة المعادلة.
- 2- التوسع باستخدام برمجة التعبير الجيني لدراسة مختلف المسائل في المجالات المائية.
- 3- دراسة تأثير الكلور ومشتقاته على متبقي الألمنيوم، واستخدامه كدخل لبناء نموذج جديد ومقارنة النتائج.

8- المراجع:

[1] Alahyar Dagbhandan, Saba Khalatbari*, Mohammad Mahdi Abbasi. Applying GMDH-type neural network for modeling and prediction of turbidity and free residual aluminium in drinking water. Desalination and Water Treatment. 2018

- [2] Amin Daghighi and Sadaf Haghiri1. (2018). “Optimum coagulant forecasting by modeling jar test experiments using ANNs.” Journal of Drinking Engineering and science.
- [3] Chan Moon Kim (2017). “Prediction of settled water turbidity and optimal coagulant dosage in drinking water treatment plant using a hybrid model of k-means clustering and adaptive neuro-fuzzy inference system.” School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology,
- [4] D. Be´rube´ and C. C. Dorea . Optimizing alum coagulation for turbidity, organics, and residual Al reductions, Dept. of Civil Engineering, University of Glasgow, 2009
- [5] Edzwald, J. K., Pernitsky, D. J., & Parmenter, W. L. (2000). Polyaluminum coagulants for drinking water treatment: chemistry and selection. In Chemical water and wastewater treatment VI (pp. 3–14). Springer, Berlin, Heidelberg
- [6] J. Tomperi, M. Pelo, K. Leivisk, Predicting the residual aluminum level in water treatment process, University of Oulu, Finland, 2013
- [7] Maier HR, Morgan N, Chow CWK (2004) Use of artificial neural networks for predicting optimal alum doses and treated water quality parameters. Environ Model Softw 19(5):485–494
- [8] Krupińska, I. (2020). Aluminium drinking water treatment residuals and their toxic impact on human health. Molecules, 25(3), 641
- [9] seung kim and cho yoon , Reducing residual alum concentration at water treatment plant by improving filtration performances, kyeongju university, Korea. 2000
- [10] Sieliechi Joseph-Marie 2010:, Effect of Water Treatment Residuals (Aluminum and Iron Ions) on Human Health and Drinking Water Distribution Systems. International Journal of Conservation Science
- [11] HRNİJA, B., Mehr, A. D., SEFİK, B., & AĞIRALİOĞLU, N. (2019). Genetic programming for turbidity prediction: hourly and monthly scenarios. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(8), 992–997.