

"Modeling the Performance of the Reverse Osmosis System (RO) for Desalination using MATLAB Software."

Dr. Ammar Dabaliz*

Dr. Raed Jafar**

Shahed abdulmounem***

(Received 18 / 3 / 2024. Accepted 9 / 7 / 2024)

□ ABSTRACT □

Reverse osmosis systems are considered systems in the water purification process that serve in various fields. Experimental models are an expensive and time-consuming approach to studying reverse osmosis membrane systems while the using of software-based computer models as an alternative method for predicting membrane performance, in order to predict future total decadent material values, a model of ANN industrial neural networks was created using MATLAB software. The samples were physically and chemically picked and analyzed for the plant's raw water and water in case of study, water treatment plant at Hamishu Metal Company. parameters affecting the value of the total decadent substances out (temperature, pH, pressure, total decadent substances) were measured for the water entering and exiting the station and then, a model of Neural Net Fitting-type of artificial neural networks was created. the results demonstrated the model's ability to predict $R = 0.97$ efficiency by comparison between calculated and measured values.

Keywords: Desalination, membranes, reverse osmosis, TDS, artificial neural networks, MATLAB.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, drammardabaliz@gmail.com

**Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, raedjafar@yahoo.fr

***Postgraduate student (Master), Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, shahed.abdulmonnem@tishreen.edu.sy

"تمنجة أداء منظومة التناضح العكسي (RO) لتحلية المياه باستخدام برنامج MATLAB"

د. عمار دباليز*

د. رائد جعفر**

شهد عبد المنعم***

(تاريخ الإيداع 18 / 3 / 2024. قُبِلَ للنشر في 9 / 7 / 2024)

□ ملخص □

تعتبر أنظمة التناضح العكسي من الأنظمة الفعالة في عملية تنقية المياه التي تخدم في مجالات شتى. تعد النماذج التجريبية نهجاً مكلفاً ويستغرق وقتاً طويلاً لدراسة أنظمة أغشية التناضح العكسي بينما يظهر استخدام النماذج الحاسوبية القائمة على البرمجيات كطريقة بديلة للتنبؤ بأداء الغشاء، من أجل التنبؤ بقيم المواد المنحلة الكلية المستقبلية تم إنشاء نموذج من الشبكات العصبونية الصناعية ANN باستخدام برنامج MATLAB، حيث تم قطف العينات وتحليلها فيزيائياً وكيميائياً وذلك للمياه الخام والمياه الناتجة عن المحطة في حالة الدراسة وهي محطة معالجة المياه في شركة حميشو للمعادن، تم قياس بارامترات مؤثرة على قيمة المواد المنحلة الكلية الخارجة وهي (درجة الحرارة، درجة الحموضة، الضغط، المواد المنحلة الكلية) للمياه الداخلة و الخارجة من المحطة ثم تم إنشاء نموذج من الشبكات العصبونية الصناعية من نوع Neural Net fitting، أظهرت النتائج قدرة النموذج على التنبؤ بكفاءة قدرها $R=0.97$ وذلك بالمقارنة ما بين القيم المحسوبة والمقاسة.

الكلمات المفتاحية: تحلية المياه، أغشية، التناضح العكسي، TDS، الشبكات العصبونية الصناعية، MATLAB.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

*مدرس - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية drammardabaliz@gmail.com
**أستاذ مساعد - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية . raedjafar@yahoo.fr
***طالب دراسات عليا (ماجستير) قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .
shahed.abdulmonnem@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تعاني بلدان كثيرة في العالم من نقص في المياه العذبة الطبيعي، وستكون هناك حاجة إلى كميات متزايدة من المياه العذبة في المستقبل نتيجة لارتفاع معدلات السكان وتحسين مستويات المعيشة، وموارد المياه العذبة المتاحة من الأنهار والمياه الجوفية محدودة حالياً وتزايد نضوبها بمعدل يندرج بالخطر في كثير من الأماكن. في ظل هذه المشكلة ظهرت تقنية التناضح العكسي كحل ذو مجالات واسعة ومتعددة الاستخدامات مثل تحلية مياه البحر، معالجة المياه قليلة الملوحة والسطحية والجوفية لكل من تطبيقات التدفقات الكبيرة والصغيرة. تشمل بعض الأمثلة على الصناعات التي تستخدم مياه التناضح العكسي مياه تغذية الغلايات، تشكيل المعادن، تأمين الماء المحمول القابل للشرب سواء في المنازل أو المصانع أو على السفن وكذلك تأمين مياه الاستعمالات الصناعية على اتساعها، ومع كل التطور الحاصل لهذه التقنية نجد أن تقنية التناضح العكسي ما زالت جديدة وتحتاج لمزيد من الدراسات والبحوث لاكتشاف جدواها على المدى الواسع [1].

يعتمد الحصول على المياه النقية للشرب على نماذج رياضية وفيزيائية لمعالجة المياه، أنظمة خبيرة، وإمام بنظام المعالجة من أجل التعامل الجيد مع عملياته ومشكلاته المعقدة، لذلك من المناسب استخدام الذكاء الصناعي لنمذجة عمليات تنقية مياه الشرب بهدف ملء ثغرات ناتجة عن فهم كل العمليات المؤثرة في تنقية مياه الشرب، مع التأكيد على ضرورة معايرتها والتحقق من صحتها باستخدام الطرق الاحصائية الاحتمالية أو تحاليل الحساسية. تعتبر الشبكات العصبونية الصناعية من أهم طرائق الذكاء الصناعي. وتعتمد في عملها على المعالجة المتوازية والآنية لإيجاد الروابط بين البيانات الداخلة والبيانات الخارجة وتسمى هذه الروابط بالدوال الناقله والتي تبني نتيجة التعليم والتدريب على أزواج مختلفة من المدخلات والمخرجات [2].

من المفترض أن الطرق غير الخطية مثل الشبكات العصبونية الصناعية كافية للتنبؤ ببارامترات جودة المياه في باطن الأرض والمساحات المائية العذبة.

أظهرت الدراسات السابقة أن الشبكات العصبونية الصناعية قادرة على التنبؤ ببارامترات نوعية المياه مثل المواد المنحلة الكلية والناقلية الكهربائية والتدفق للمياه الجوفية والأنهار ومحطات تحلية المياه. استخدمت تقنية ANN لتطوير نموذج للتنبؤ بأداء محطات تحلية المياه باستخدام التناضح العكسي حيث تم التنبؤ بالمعلمين الهامين لمحطات تحلية الملوحة RO وهما رفض الملح والتدفق المتغلغل (التدفق) [3].

مشكلة البحث:

الحاجة الى كميات كبيرة من المياه العذبة في المستقبل بسبب الزيادة السكانية والتطور الصناعي والحروب على المياه ومحدودية مصادر المياه العذبة في الوضع الحالي وتلوثها، كما تعد النماذج التجريبية تشكل نهجاً مكلفاً ويستغرق وقتاً طويلاً لدراسة أنظمة أغشية التناضح العكسي بينما يظهر استخدام النماذج الحاسوبية القائمة على البرمجيات كطريقة بديلة للتنبؤ بأداء غشاء التناضح العكسي حيث إن برامج المحاكاة متاحة بدون تكلفة تقريباً.

أهمية البحث وأهدافه:

يعتبر أداء أنظمة التناضح العكسي حساساً جداً لنوعية المياه الداخلة وشروط تشغيل المحطة، ومن هنا تأتي أهمية توفر النماذج الحاسوبية الموثوقة التي يمكن الاعتماد عليها في عمليات تصميم والتنبؤ بأداء أنظمة التناضح العكسي.

يهدف البحث الى إنشاء نموذج رياضي للتنبؤ بقيمة المواد المنحلة الكلية للمياه الخارجة من محطة المعالجة في شركة حميشو للمعادن، وذلك باستخدام برنامج MATLAB.

طرائق البحث ومواده:

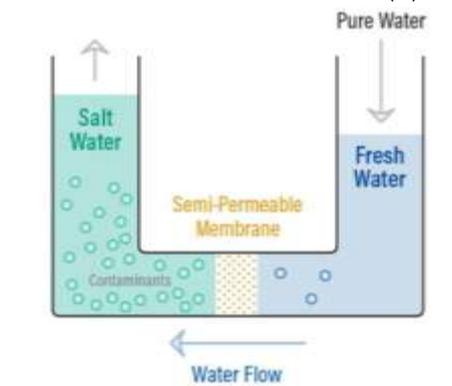
1- التناضح العكسي:

1-1- تعريف التناضح العكسي:

لفهم الغرض من عملية التناضح العكسي يجب أولاً فهم عملية التناضح الطبيعي التي تحدث بشكل طبيعي. التناضح هو ظاهرة تحدث بشكل طبيعي وواحدة من أهم العمليات في الطبيعة، التناضح هو انتقال جزيئات الماء عبر غشاء نصف نفوذ (semipermeable) من منطقة ذات تركيز منخفض للأملاح إلى منطقة ذات تركيز مرتفع للأملاح. تلعب الأغشية في الطبيعة دوراً هاماً في فصل الأملاح ولها تطبيقاتها في جسم الإنسان والحيوان والنبات فأغلب عملية امتصاص العناصر الغذائية في الخلايا الحية لأجهزة جسم الإنسان والحيوان والنبات تستفيد من عملية التناضح (Osmosis) ومن الأمثلة لعملية التناضح هي عمل تجويف في إحدى ثمرات البطاطا ووضع كمية من ملح الطعام الجاف داخل التجويف سنجد عندها امتلاء التجويف بالماء المالح أي أن الماء العذب انتقل من خلال أغشية خلايا الثمرة إلى الملح وهذه العملية تسمى التناضح.

أما عملية التناضح العكسي (Reverse Osmosis Process) فهي تقنية تستخدم لإزالة الكمية العظمى من الملوثات في الماء عن طريق دفع الماء تحت ضغط أكبر من الضغط الأسموزي عبر مروره لغشاء شبه نفوذ ولا يحتاج الأمر إلى تسخين أو تغيير في الشكل أو الخواص الفيزيائية.

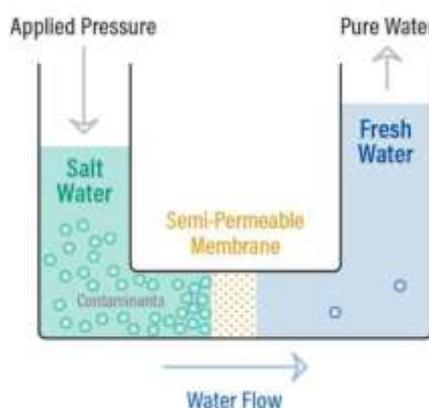
كمثال على التناضح الطبيعي هي عندما تمتص جذور النباتات الماء من التربة، وأيضاً عندما تمتص الكلى الماء من الدم. بالتالي فإن الغشاء شبه النفوذ عبارة عن غشاء يسمح لبعض الذرات أو الجزيئات بالمرور دون غيرها. عندما يكون هناك وعاء مليء بالماء بتركيز منخفض من الملح ووعاء آخر مليء بالماء بتركيز عالٍ من الملح وتم فصلهما بغشاء شبه نفوذ، فإن الماء الذي يحتوي على تركيز ملح أقل سيبدأ في الانتقال باتجاه وعاء الماء الذي يحتوي على تركيز ملح أعلى وهذا ما يوضحه الشكل (1)



الشكل (1): التناضح الطبيعي

في حين يحدث التناضح بشكل طبيعي دون الحاجة إلى طاقة، تحتاج عملية التناضح العكسي إلى تطبيق الطاقة على المحلول الأكثر ملوحة.

غشاء التناضح العكسي عبارة عن غشاء شبه نفوذ يسمح بمرور جزيئات الماء ولكن ليس غالبية الأملاح الذائبة والمواد العضوية والبكتيريا. يحتاج دفع الماء من خلال غشاء شبه نفوذ عن طريق تطبيق ضغط أكبر من الضغط الأسموزي الذي يحدث بشكل طبيعي من أجل تحلية المياه (إزالة المعادن أو نزع الأيونات) في هذه العملية، مما يسمح للمياه النقية بالمرور مع بقاء الغالبية من الملوثات كما هو مبين في الشكل (2)



الشكل (2): التناضح العكسي والضغط المطبق

تعتمد قيمة الضغط الأسموزي على العديد من العوامل منها:

1. تركيز الأملاح في الماء (TDS).
2. نوعية الأملاح الذائبة.
3. درجة الحرارة [1].

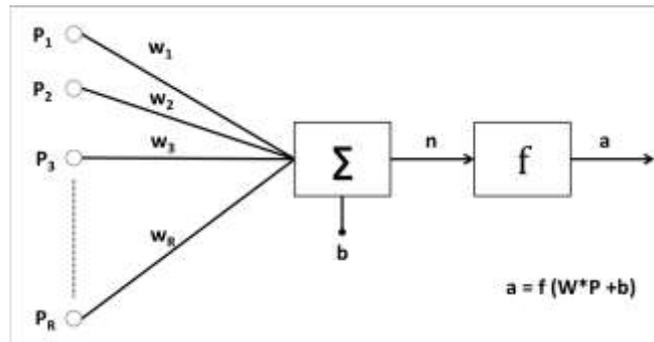
1-2- المكونات الأساسية لوحدات التناضح العكسي:

يعمل باستخدام مضخة الضغط العالي (High Pressure Pump) لرفع الضغط وإجبار الماء على المرور عبر غشاء التناضح العكسي شبه النفوذ وإزالة جميع الأملاح الذائبة تقريباً، حيث يعتمد مقدار الضغط المطلوب على تركيز الملح في مياه التغذية وكلما ازداد تركيز مياه التغذية ازداد الضغط المطلوب للتغلب على الضغط الأسموزي [4]. تسمى المياه الناتجة و المنزوعة المعادن (Permeate flux) أو منزوعة الأيونات بالمياه المنتج، يُطلق على تيار الماء الذي يحمل الملوثات المركزة المرفوضة من غشاء التناضح العكسي اسم تيار الرفض "المياه المالحة" (Brine flux, concentrate flux, reject flux) عندما تدخل مياه التغذية (Feed flux) إلى غشاء التناضح العكسي تحت الضغط (ضغط كاف للتغلب على الضغط الأسموزي)، تمر جزيئات الماء عبر الغشاء شبه النفوذ ولا يُسمح للأملاح والملوثات الأخرى بالمرور ويتم تفرغها من خلال تيار الرفض (المعروف أيضاً باسم المركز أو تيار المحلول الملحي) والذي يتم تصريفه أو يمكن إعادته إلى مصدر مياه التغذية في بعض الظروف ليتم إعادة تدويره من خلال نظام التناضح العكسي لتوفير المياه [1].

2- الشبكات العصبونية الصناعية:

تعرف الشبكات العصبونية الصناعية بأنها أدوات نمذجة حاسوبية تستخدم لنمذجة المسائل المعقدة في الواقع؛ إذ أنها تعالج المعلومات بطريقة مشابهة للطريقة التي تعالج الشبكات العصبونية البشرية معلوماتها. وتتألف الشبكات العصبونية الصناعية من عناصر معالجة بسيطة متكيفة ومتراطة تدعى العصبونات أو العقد neurons تمتاز بقدرتها على معالجة كمية هائلة من الحسابات بطريقة متوازية بهدف معالجة البيانات وتمثيل المعارف.

- تحاكي الشبكات العصبونية في عملها الشبكات العصبونية الطبيعية وفقاً للمراحل التالية:
- تحدث المعالجة ضمن عدة مراحل معالجة بسيطة تدعى العصبونات أو العقد.
- تعبر الإشارات الناتجة من تفعيل العصبون بين العصبون والعصبون الآخر من خلال وصلة بينهما تدعى connection.
- لكل وصلة وزن مرتبط بها weight، يضرب بالإشارة المرسله عبر الوصلة.
- تجمع وحدات المعالجة المدخلات الموزونة لتشكل مدخلاً صافياً للعصبون net input.
- يطبق العصبون على مدخله دالة تفعيل activation function ليعطي قيمة وحيدة تمثل خرج العصبون ليعاد انتشارها إلى العصبونات التالية [5].



الشكل (3): العصبون الصناعي

2-1- حزمة برمجيات MATLAB :

توجد العديد من الأنظمة البرمجية التي تمكن من بناء نماذج الشبكات العصبونية الصناعية، واستخدمت في هذه الدراسة الحزمة البرمجية MATLAB لبناء نماذج الشبكات العصبونية الصناعية المقترحة بسبب أدائها العالي، وسرعتها العالية في التنفيذ، فضلاً عن تضمينها دوال عدة للشبكات العصبونية الصناعية مع تطبيقاتها، وكذلك تسمح بالتعامل مع المصفوفات بسرعة وسهولة.

بنيت النماذج الرياضية في هذه الدراسة باستخدام مكتبة أدوات الشبكات العصبونية الصناعية (nntool) Neural Network Tool

حيث تم استخدام شبكة من النوع Neural Net fitting من أجل التنبؤ وذلك لقدرتها على إنشاء وتصور وتدريب شبكة تغذية للأمام ذات طبقتين لحل مشكلة ملائمة البيانات.

منطقة الدراسة:

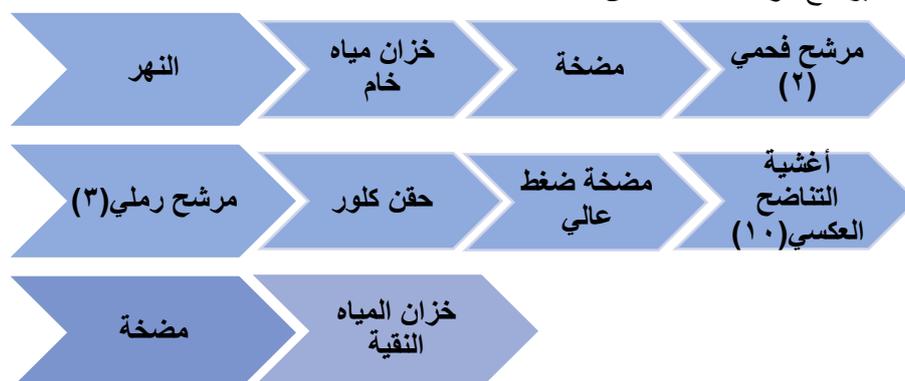
تقع شركة حميشو للمعادن Hamishu steel company جنوب شرق مدينة اللاذقية على مسافة 6.4 Km منها و 450 m من نهر الكبير الشمالي، وهي عضو في الاتحاد العربي للحديد والصلب، فهي شركة متخصصة في صناعة منتجات المعادن وإقامة واستثمار وإنتاج قضبان الحديد تسليح البناء (أملس وحلزن) والمقاطع المعدنية الصناعية.



الشكل (4): صورة جوية تبين موقع شركة حميشو للمعادن

منظومة تنقية المياه في موقع الدراسة:

من أجل تبريد الحديد المنصهر يتم استخدام مياه بدرجة حرارة الغرفة وخالية من المواد المنحلة الكلية وذلك لحماية نفاثات تبريد الحديد من الإنسداد، كما يجب أن تكون المياه معتدلة الحموضة و ذلك لحماية الحديد من التخرش. يتم ضخ المياه من نهر الكبير الشمالي (الذي تتراوح قيم المواد المنحلة الكلية فيه من 500 الى 600 PPM وذلك تبعاً لفصول السنة) الى محطة المعالجة التي يبلغ انتاجها $400 \text{ m}^3/\text{d}$ حيث يتم تجميع المياه الخام في خزان سعته 700 m^3 ثم يتم ضخ المياه بضغط قدره 5bar لمرشحيين فحميين ثم تدخل المياه بضغط قدره 2 bar لثلاث مرشحات رملية، بعد ذلك تتجه المياه لمضخة الضغط العالي التي تؤمن ضغط قدره 14bar و تترافق هذه العملية مع حقن حمض كلور الماء HCL الذي يقتل الجراثيم و يحطم أي رابطة عضوية. بعد مضخة الضغط العالي تدخل المياه لستة أسطوانات موصولة على التفرع تحتوي كل أسطوانة على خمس اغشية تناضح عكسي (طول الأسطوانة الواحدة 6 متر) ثم يمرر تدفق الرفض الخارج من هذه الأسطوانات الستة لأربعة أسطوانات موصولة على التفرع أيضاً ثم يتم تجميع المياه في خزانات المياه النقية بسعة 2000 m^3 . فيما يلي مخطط يوضح مراحل المعالجة من المحطة:



الشكل (5): مخطط يوضح مراحل المعالجة في شركة حميشو

قمنا بقطف عينات للمياه الخام والمياه الناتجة من المحطة بعد المعالجة، وقمنا بقياس قيمة درجة الحرارة ودرجة الحموضة والمواد الصلبة المنحلة ولكل عينة فور قطفها وذلك للمحافظة على درجة حرارتها وذلك لمدة ستة أشهر كما حصلنا على قياسات تم قياسها في السنوات السابقة وكان مجموع القياسات 48 قياس وفيما يلي جدول يوضح بعض القيم الإحصائية للبارامترات المقاسة.

		الضغط	درجة الحموضة	درجة الحرارة	المواد المنحلة الداخلة	TDS out
N	Valid	48	48	48	48	48
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		4.138	6.88	22.73	374.06	68.92
Mode		4.1	7	26	295 ^a	62
Std. Deviation		.1852	.334	4.196	110.501	29.216
Minimum		4.0	6	15	214	40
Maximum		4.8	7	29	661	190

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

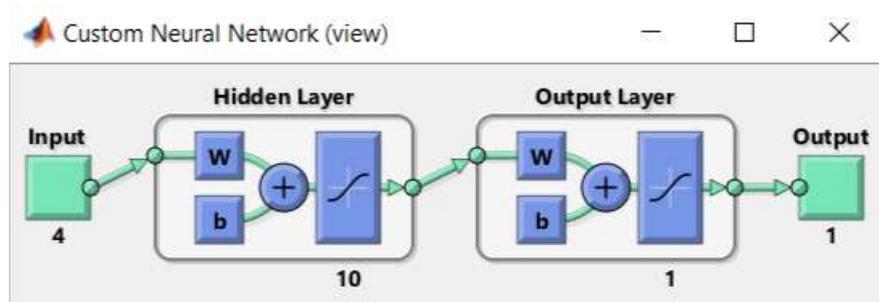
الشكل (6): جدول القيم الإحصائية

النتائج والمناقشة:

تم إدخال نتائج قياسات البارامترات ال الى برنامج MATLAB بشكل مصفوفة أبعادها 4×48 وتم تسميتها inputs ونتائج قياس المواد الصلبة المنحلة الكلية للمياه الخارجة من المحطة بشكل مصفوفة أبعادها 1×48 وتم تسميتها target. تم استخدام شبكة عصبية من نوع Neural Net Fitting للتنبؤ كما تم استخدام دالة TRAINLM للتدريب، ودالة LEARNGDM للتعلم، والخطأ المتوسط للتربيع كمعيار لتقييم أداء الشبكة، وعشر عصبونات مخفية. تم تجريب عدة سيناريوهات لتقسيم البيانات الى مجموعات التدريب والتحقق والاختبار:

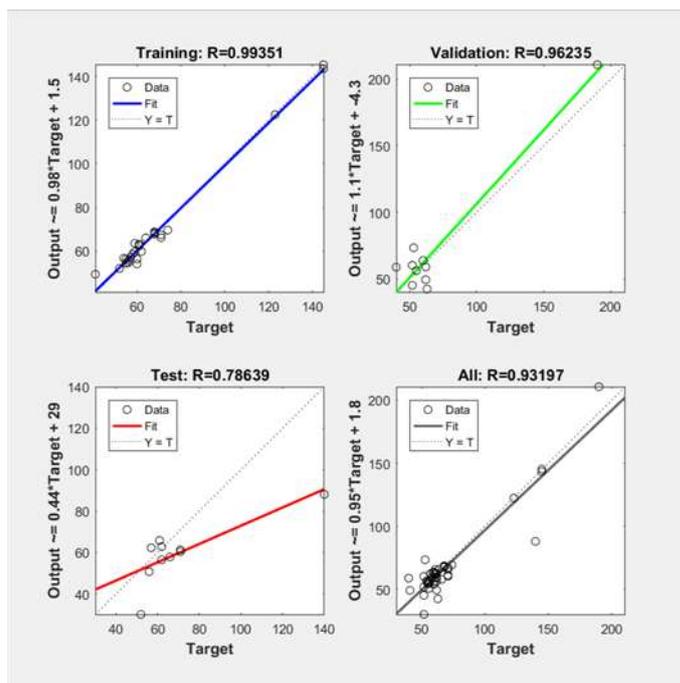
السيناريو الأول:

تم تقسيم البيانات الى مجموعات تدريب وتحقق واختبار وفقاً للنسبة التالية ($20 \times 20 \times 60$)، فيما يلي الشكل (7) يوضح معمارية الشبكة:



الشكل (7): معمارية للشبكة

بعد تدريب الشبكة عدة مرات لزيادة مرونتها وقدرتها على التنبؤ حصلنا على النتائج التالية:



الشكل (8): مخطط يوضح قيم معامل بيرسون (20*20*60)

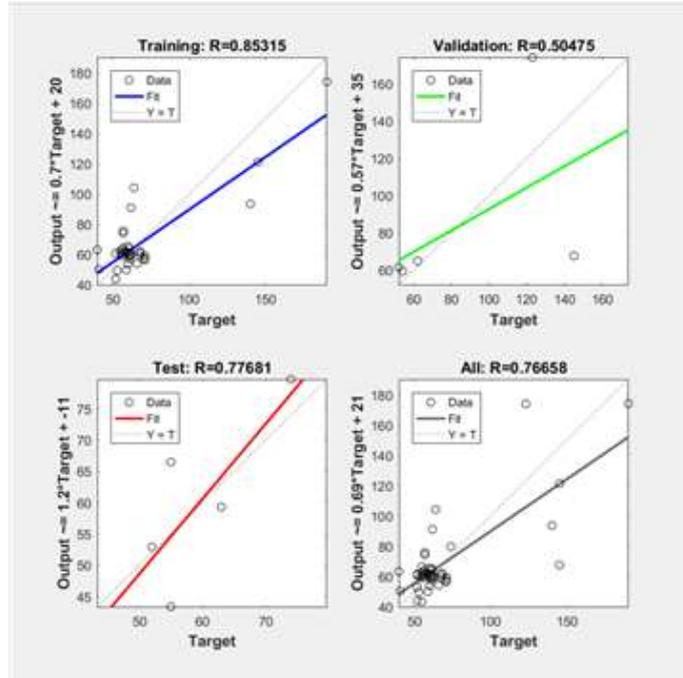
أظهرت النتائج وجود ارتباط إيجابي قوي بين القيم المحسوبة والمقاسة حيث بلغت قيم معامل بيرسون لكافة المجموعات (R=0.93).

بلغت قيم معامل بيرسون لمجموعة التدريب (R=0.99)، و لمجموعة التحقق (R=0.96) بينما أظهرت مجموعة الاختبار قوة ارتباط متوسطة حيث بلغت قيمة معامل بيرسون (R=0.78) مما يؤثر بشكل سلبي على قدرة النموذج في التنبؤ.

السيناريو الثاني:

تم تقسيم البيانات إلى مجموعات التدريب والتحقق والاختبار بنسبة (10*10*80) على التوالي، مع استخدام نفس الدوال السابقة للتدريب والتعلم، واستخدام عشر عصبونات مخفية.

بعد تدريب الشبكة عدة مرات تم الحصول على النتائج التالية:



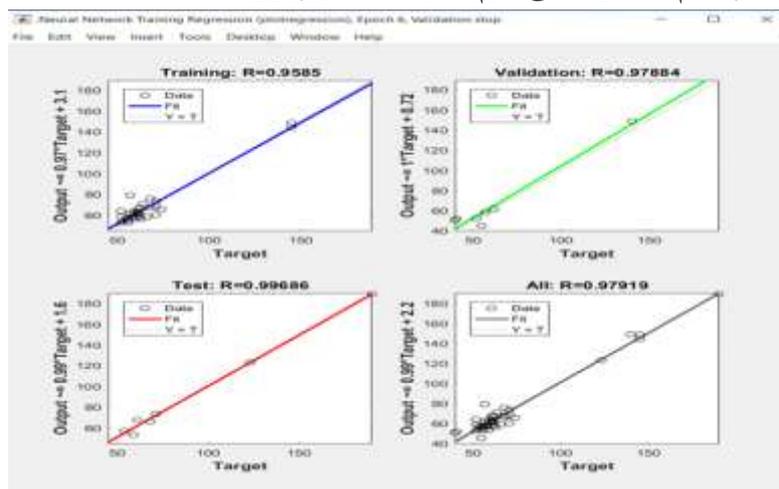
الشكل (9): مخطط يوضح قيم معامل بيرسون ($10*10*80$)

بلغت قيمة معامل بيرسون لكل المجموعات ($R=0.76$) مما يدل على وجود ارتباط إيجابي متوسط بين القيم المحسوبة والقيم المقاسة بينما يوجد حالة عدم ارتباط في كل من مجموعتي التحقق والاختبار، مما يشير الى ضعف قدرة هذا النموذج على التنبؤ.

السيناريو الثالث:

قمنا بتقسيم البيانات لمجموعات للتدريب والتحقق والاختبار بنسبة ($15*15*75$) على التوالي، مع استخدام نفس الدوال السابقة للتدريب والتعلم، واستخدام عشر عصبونات مخفية.

بعد تدريب الشبكة عدة مرات تم الحصول على القيم التالية لمعامل بيرسون:



الشكل (10): مخطط يوضح قيم معامل بيرسون ($15*15*75$)

أظهرت نتائج تحليل قيم معامل بيرسون (معامل يقارن ما بين القيم المحسوبة والقيم المقاسة) وجود علاقة إيجابية قوية بين المدخلات والمخرجات كما هو موضح في الشكل السابق ($R=0.97$) لكل المجموعات.

حيث كانت لمجموعة التدريب ($R=0.95$) ولمجموعة التحقق ($R=0.97$) ولمجموعة الاختبار ($R=0.99$)، مما يدل على أن نموذج الشبكات العصبونية الصناعية قادر على التنبؤ بأداء هذه المحطة بدقة عالية وبكفاءة قدرها $R=0.97$ بين القيم المحسوبة والمقاسة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

تم استخدام الشبكات العصبونية الصناعية من نوع Neural Net fitting لإنشاء نموذج للتنبؤ بقيم المواد المنحلة الكلية للمياه الناتجة، تم تقسيم البيانات إلى مجموعات تدريب وتحقق واختبار وفق عدة سيناريوهات ($15*15*75$) و ($10*10*80$) و ($20*20*60$).

أظهرت النتائج أن السيناريو الأفضل للتنبؤ بقيم المواد المنحلة الكلية الخارجة هو ($15*15*75$) حيث تم تقسيم البيانات بشكل أفضل على المجموعات الثلاث، وأظهر قدرة تنبؤ عالية بكفاءة قدرها $R=0.97$ وذلك بالمقارنة ما بين القيم المحسوبة والمقاسة لكافة المجموعات كما تم الحصول على قيم مقبولة لمعامل بيرسون لكل مجموعة. كما تبين أن عدد العينات المقاسة يؤثر بشكل كبير على فعالية النموذج في التنبؤ، فكلما كان عدد العينات أكبر كلما كانت دقة النموذج في التنبؤ أكبر.

التوصيات:

نوصي باستخدام أنواع أخرى من الشبكات العصبونية للتنبؤ بالمواد المنحلة الكلية مع إجراء مقارنة مع النوع المستخدم في هذا البحث، كما نوصي باستخدام عدد كبير من البيانات لهذا النوع من الشبكات العصبونية وذلك لزيادة دقة النموذج في عملية التنبؤ.

References:

- [1] Alabed, Muayyed Ahmed (2023). Modeling of Low-pressure Spiral Wound Reverse Osmosis to Predict Performance and Improve Efficiency. Master's thesis published. Department of Ecosystem Engineering, Higher Institute of Environmental Research, University of Tishreen, Syria
- [2] Rashid, Safwan Nazim; Rashid, Khairy instead; Zaki, Aza Hazim (2012). Compare the styles of artificial neural networks and Least squares method of linear and non-linear models with application. Iraqi Journal of Statistical Sciences. Vol. 21, 246-265.
- [3] Aish, A. M., Zaqoot, H. A., & Abdeljawad, Artificial neural network approach for predicting reverse osmosis desalination plants performance in the Gaza Strip. *Desalination*, 367, 240-247 S. M. (2015).
- [4] Water Quality Association, (2019). Reverse osmosis (ro) fact sheet basics of spiral wound ro membranes. accessed 2/10/2020.
- [5] Alian, Miss Mohammed (2017) Modeling rainfall-river skunk systems using a hybrid system of synthetic neural networks and genetic algorithm. Unpublished doctoral thesis. Department of Hydro-Irrigation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Syria.

