

Using Fuzzy Logic Index to Determine Water Quality Index of SIN Lake

Dr. Adel-Awad*
Dr. Ahmad Wazan**
Mahmoud Aboud***

(Received 14 / 8 / 2017. Accepted 18 / 12 / 2017)

□ ABSTRACT □

This paper presents the most Artificial Intelligence Application that using in water quality index, where using of fuzzy logic index (FWQI: Fuzzy Water Quality Index) was founded wide spread in water quality assessment because of it's ability to combine between a large many of parameters that's impacting on water quality accuracy and reliably more than other traditional water quality index.

This study applied on samples of Al-Sin lake water taken from four sampling station, and by doing monthly chemical, physical and bacteriological analyzes on water samples and for hydrologic cycle (one year) we take parameters that entering in fuzzy logic index calculating: (Dissolved Oxygen, Temperature, pH, Biochemical Oxygen Demand: BOD5, Fecal Coliform, Phosphate, Nitrates, Turbidity, Total Solids), and by combing between this parameters into fuzzy logic system, we got the lake water quality according to classification criteria standards to water quality. The results of this study refer to that the water of lake into good level in all four monitoring points.

Keywords: Water quality index, fuzzy logic, water quality, water management, Al-Sin Lake, Artificial Intelligence Application.

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

** Associate Professor; Department of Environmental Engineering; Faculty of Civil Engineering; University of Tishreen, Lattakia, Syria.

*** Master student, Department of environmental engineering, Faculty of civil engineering, Tishreen university, Lattakia, Syria.

استخدام مؤشر المنطق الضبابي لتحديد مؤشر جودة مياه بحيرة السن

د. عادل عوض *

د. أحمد وزان * *

محمود عبود * * *

(تاريخ الإيداع 14 / 8 / 2017. قُبِلَ للنشر في 18 / 12 / 2017)

□ ملخص □

تقدم هذه الورقة أبرز تطبيقات الذكاء الصناعي المستخدمة في تقييم جودة المياه، حيث لاقى استخدام مؤشر المنطق الضبابي (Fuzzy Water Quality Index: FWQI) في تقييم جودة المياه انتشاراً واسعاً لقدرته على الجمع بين عدد كبير من المتغيرات المؤثرة في جودة المياه بدقة وموثوقية أكبر من باقي المؤشرات البيئية التقليدية. تمت الدراسة على عينات من مياه بحيرة السن مأخوذة من 4 محطات اعتيان ضمن البحيرة، وبإجراء التحاليل الكيميائية والفيزيائية والجرثومية الشهرية لعينات المياه ولمدة دورة هيدرولوجية (عام واحد) تم الحصول على بارامترات الجودة الداخلة في حساب مؤشر الجودة الضبابي وهي (الأوكسجين المنحل Dissolved Oxygen، درجة الحرارة Temperature، الأس البيدروجيني pH، Biochemical Oxygen Demand: BOD₅، تعداد العصيات الغائظية Fecal Coliform، الفوسفات Phosphate، النترات Nitrates، العكارة Turbidity، المواد الصلبة الكلية Total Solids)، وبالدمج بين بارامترات الجودة ضمن نظام المنطق الضبابي نحصل على تقييم جودة مياه البحيرة وفق المعايير النظامية لتصنيف جودة المياه، وقد خلصت الدراسة إلى نتيجة مفادها أن جودة مياه البحيرة تقع ضمن المستوى الجيد في كافة مواقع الرصد الأربعة.

الكلمات المفتاحية: مؤشرات جودة المياه، المنطق الضبابي، جودة المياه، إدارة المياه، بحيرة السن، تطبيقات

الذكاء الصناعي.

*أستاذ- قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** أستاذ - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** *طالب دراسات عليا (ماجستير)-قسم الهندسة البيئية- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين-اللاذقية- سورية

مقدمة:

يعد تطبيق أحد مؤشرات الجودة لتقييم جودة المياه من الوسائل التي تتبى بتحسّن جودة المياه أو بتدهورها، وبكيفية تأثير التفاعلات الطبيعية والنشاطات البشرية عليها، إذ أن معظم الأنشطة حتى الطبيعية منها يكون لها آثار كمية ونوعية متعددة، وأي مؤشر بيئي يجب أن يعبر عن تلك الآثار ويقمّمها ويوضح تأثيرها المتبادل فيما بينها [1] تقوم طريقة مؤشر جودة المياه بإعطاء قيمة وحيدة لجودة مياه المصدر المائي من خلال الدمج بين مجموعة من المتغيرات التي تصف نوعية المياه، وبحسب هذه القيمة يتم تصنيف المصدر والحكم على مستوى جودته من خلال التصنيف المعتمد، وتزايد الحاجة لاستخدام تقنيات تمكنا من إدخال العديد من المتغيرات المتعلقة بنوعية المياه في مؤشر واحد يُعتمد محلياً وعالمياً [2]

لقد شهد استخدام المنطق الضبابي في دراسة تأثير ونتائج المشاكل البيئية ازدياداً ملحوظاً في السنوات الأخيرة، ولعل أهم سبب من أسباب تطبيق المنطق الضبابي في الحالات المعقدة هو الحاجة إلى الجمع بين المؤشرات المختلفة بمرونة أكبر من الطرق الأخرى [3,4].

قام باحثون من ماليزيا وباكستان (عام 2008) بدراسة على نهر (Semenyih) في غرب ماليزيا بهدف تقييم جودة مياه النهر باستخدام تقنية المنطق الضبابي ومقارنتها مع الطرق التقليدية لتصنيف جودة مياه الأنهار المتبعة في ماليزيا (WQI) بين الفترة الممتدة من عام (1997) إلى عام (2004) حيث أثبت استخدام الموديل الضبابي أن جودة مياه النهر هي دون النتائج المتوقعة المحسوبة بالطريقة التقليدية [5].

قام عدة باحثون في كولومبيا بتطوير مؤشر جديد لتقييم جودة مياه نهر (Aburra) باستخدام المنطق الضبابي (FWQI) خلال حملة اعتيان امتدت من عام 2004 إلى عام 2007 ومقارنة النتائج مع مؤشر (NSFWQI) ومؤشر جودة المياه المستخدم في دراسة حالة نهر (Aburra) ويدعى (ARWQI).

استخدم في حساب مؤشر (ARWQI) البارامترات التالية: (DO, BOD₅, TS, TSS, TP, TN, Total) والشكل التالي: المجموعة (1) تتضمن (DO, BOD₅)، المجموعة (2) تتضمن (TP, TN)، المجموعة (3) تتضمن (EC) فقط، المجموعة (4) تتضمن (TS, TSS, TFS)، المجموعة (5) تتضمن (MI) فقط.

تم جمع المجموعات الخمسة في المعادلة (1) للحصول على (WQI):

$$WQI = A(DO * BOD_5) + B(TP * TN) + C(EC) + D(TS * TFS * TSS) + E(MI) \quad (1)$$

حيث:

A, B, C, D, E عوامل الوزن لها القيم التالية على الترتيب (1.5, 1.5, 2, 2, 3).

أظهرت الدراسة أن استخدام (FWQI) أكثر دقةً وصرامةً من ((NSFWQI) و (ARWQI). [6]

قام Qiaoling Du وآخرون (2014) باقتراح طريقة المنطق الضبابي لتقييم جودة المياه في خزان تجميعي للمياه في شمال شرق الصين، واستخدم هذا النموذج لتحليل بيانات شهرية جمعت من محطات المراقبة المحلية بهدف تحديد مستوى جودة المياه، واعتمد البحث على مراقبة ستة بارامترات لجودة المياه (وهي: TP, TN, BOD₅, Chemical Oxygen Demand: COD, Fluoride: F, Ammonia: NH₄)، من عام 2011 حتى العام 2012، وأشارت النتائج بشكل رئيسي على أن عملية المنطق الضبابي يمكن أن تكون طريقة بديلة عن الطرق التقليدية لتحديد جودة المياه، كما أنها تؤمن خوارزمية سريعة للتنبؤ بجودة بارامترات المياه [7].

قام Wen-Cheng Huang و Ruen-Tyng Lin (2015) بتطبيق مؤشر المنطق الضبابي (FWQI) على الأحواض المائية في تايوان، ومقارنة النتائج مع مؤشر الإثراء الغذائي (Carlson's Trophic State Index: CTSI) في الأحواض المائية في تايوان، الذي يحسب مستوى الإثراء الغذائي باستخدام ثلاثة بارامترات لجودة المياه (وهي: Secchi disk Depth: SD, Chlorophylla: Chla, TP) من خلال المعادلات (2,3,4,5) التالية:

$$CTSI = [TSI(SD) + TSI(Chla) + TSI(TP)]/3 \quad (2)$$

حيث أن:

$$TSI(SD) = 60 - 14.41 \ln[SD] \quad (3)$$

$$TSI(Chla) = 9.81 \ln[SD] + 30.6 \quad (4)$$

$$TSI(TP) = 14.42 \ln[TP] + 4.15 \quad (5)$$

(SD): واحدته m , (Chla): مقدرة بـ $\mu\text{g/l}$ ، (TP): مقدرة بـ $\mu\text{g/l}$.

وخلصت النتيجة إلى أن استخدام المنطق الضبابي مناسبة لتحديد مستوى جودة المياه في الأحواض المائية في تايوان، وأنها من الممكن أن تستخدم في تمثيل جودة المياه الناجمة عن الظواهر الهيدرولوجية [8].

أهمية البحث وأهدافه:

تشكل مياه نبع السن حوالي 60% من الموارد المائية المستخدمة للشرب في حوض الساحل، ويبلغ معدل ضخ المياه إلى مناطق الاستهلاك حوالي $13500 \text{ m}^3/\text{h}$ ، إلى جانب الاستخدامات الأخرى الهامة للري والصناعة، غير أن مياه بحيرة السن أصبحت عرضةً للتلوث بسبب التزايد السكاني والتوسع العمراني في منطقة تغذية نبع السن المتزامن مع التنمية الاقتصادية وبدأت تظهر خطورة ظاهرة المخلفات من مياه الصرف الصحي ونواتج المنشآت الصناعية والزراعية ومعاصر الزيتون إضافة إلى التزايد في استخدام الأسمدة الكيميائية والمبيدات الحشرية، فكان لا بد من المراقبة والتفتيش البيئي لمياه البحيرة والحفاظ عليها نظيفة، وأصبحت الحاجة ملحةً إلى مؤشر يستطيع أن يقيّم جميع هذه الآثار الكمية والنوعية بصورة مترابطة.

تهدف هذه الدراسة إلى مراقبة جودة هذا المصدر المائي الهام وتحديد مستوى جودة مياه بحيرة السن باستخدام مؤشر المنطق الضبابي (Fuzzy Water Quality Index: FWQI).

منطقة الدراسة:

تتشكل بحيرة السن من نبع السن الذي يعتبر من المصادر المائية الهامة والرئيسية في سورية، حيث تتغذى البحيرة من 14 ينبوع، وتقع البحيرة بين دائرتي عرض (35° 15' 31" N) - (35° 15' 13" N)، وخطي طول (35° 58' 90" E) - (35° 57' 59" E)، يبلغ محيط البحيرة وفق Google Earth Pro 1267m ، ومساحتها 64337 m^2 ، تبلغ سعة البحيرة $400,000 \text{ m}^3$ ، العمق الأعظمي لها 9 m، تغذي مدن الساحل السوري (اللاذقية وطرطوس) وبعض قرى مياه الشرب، وكذلك أقيم على بحيرة نبع السن مركز ضخ ري السن الذي يؤمن المياه لري الأراضي الزراعية لسهول جبلة بالإضافة لمياه مشروع الضخ الشتوي لتخزين الفائض الشتوي في سدي السخّابة والحويز، و منشأة ضخ لتزويد مصفاة بانياس بمياه التبريد، الشكل (1) بين منطقة الدراسة.



الشكل (1) صورة جوية لمنطقة الدراسة.

طرائق البحث ومواده:

تؤخذ عينات شهرية ولمدة عام كامل من 4 محطات اعتيان تمثل نقاط مميزة ضمن البحيرة كما في الشكل (2).



الشكل (2) صورة جوية لبحيرة السن تبين مواقع محطات الاعتيان

ومحطات الاعتيان هذه منسجمة مع البرنامج المعتمد من قبل المعنيين بمراقبة وحماية البحيرة وهي:

S1- النبع الجنوبي للبحيرة.

S2- عند مأخذ محطة التنقية لمياه شرب اللاذقية.

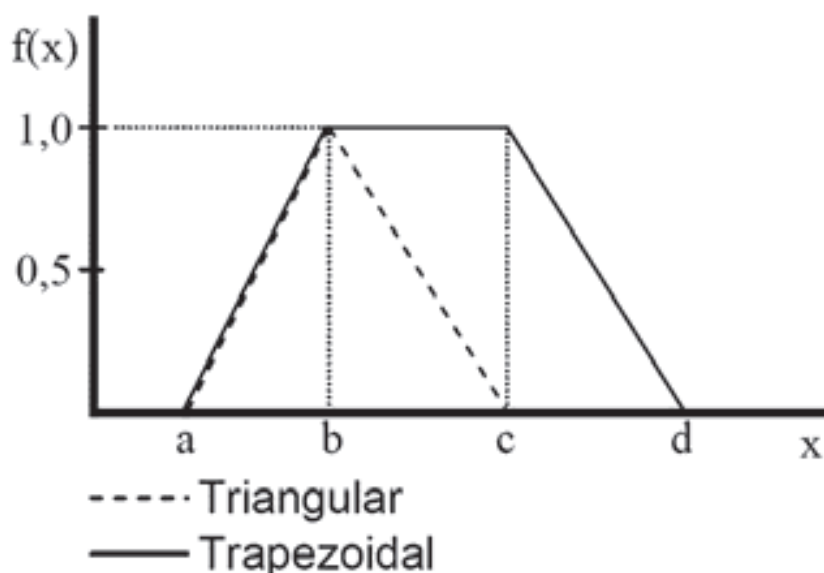
S3- بين مأخذي الري ومصفاة بانياس.

S4- عند مأخذ مركز ضخ طرطوس.

يدخل في حساب مؤشر الجودة الضبابي 9 بارامترات وهي: درجة الحرارة (T)، ودرجة الحموضة (pH)، الأوكسجين المنحل (DO)، الطلب الحيوي للأكسجين (BOD_5)، العصيات القولونية (F.C)، النتروجين غير العضوي المنحل (NO_3)، إجمالي الفوسفور (TP)، مجموع المواد الصلبة (TS) والعكارة (Turbidity) [3]. جرت التحاليل الفيزيائية والكيميائية والجرثومية في مخبر مديرية الموارد المائية في محافظة اللاذقية.

بناء نموذج المنطق الضبابي:

- 1- تحديد تابع الإنتماء (membership function): حيث أن جميع العناصر المدخلة (input) تنتمي للمجال [0-1] وتسمى هذه الخطوة (fuzzy sets).
 - 2- ادخال البيانات، تدعى هذه الخطوة (fuzzy set operation).
 - 3- دمج المدخلات في بيئة المنطق الضبابي وتدعى هذه الخطوة (fuzzy logic).
 - 4- استنتاج القواعد (inference rule).
- ويعتمد النموذج الضبابي على الوصف اللغوي للمتغيرات [11].
- لتطبيق المنطق الضبابي في نمذجة جودة المياه، تم تحديد تابع الإنتماء كما في الشكل (3)، وإدخال البيانات (التي هي في دراستنا قياسات البارامترات) وإنشاء المجموعات الضبابية، ثم عملية الدمج بين هذه المجموعات مع الخضوع للقواعد، وتكون النتيجة هي مؤشر جودة المياه الضبابي (FWQI) [12,13].



الشكل (3) تابع الإنتماء المستخدم في جودة المياه [6,12,13]

في النظام الضبابي الخاص بنمذجة جودة المياه، يقع الوصف اللغوي على البارامترات التي تنظم ضمن مجموعات، ويتغير الوصف بحسب جودة البارامتر الذي يتراوح من ممتاز جداً إلى سيئة جداً، ويعود تقدير التوصيفات اللغوية وأهميتها للخبراء والمحكمين الاختصاصيين الذين اختارتهم المؤسسة الوطنية للدراسات العلمية (NSF:National Science Foundation studies) [14,3]، وقد نظمت هذه التوصيفات اللغوية للبارامترات التسعة في الجدولين (1 و 2).

يظهر الشكل (3) تابع إنتماء مثلثي محدد بالنقاط (a, b, c) حيث تمثل النقطتين (a, c) قاعدة المثلث، والنقطة (b) رأس المثلث، وقد استخدم هذا التابع للبارامترات التسعة، وكذلك يظهر في الشكل (3) تابع إنتماء رباعي له شكل شبه منحرف متساوي الساقين محدد بالنقاط (a, b, c, d) قاعدته الكبرى (a,d) وقاعدته الصغرى (b, c)، استخدم الخبراء والمحكمين هذا التابع للبارامترات التي لها عامل تثقيب أكبر من غيرها وهي (T, pH) ضمن مجموعة الممتاز

جداً فقط، بينما وضعوا مجموعتين من الوصف لبقية المفردات يعبر عنهما لغوياً بمجموعة ممتاز، ومجموعة تحت نقطة الممتاز حيث يتم وضع رمز على مجموعة تحت (▼)[3].

الجدول(1): المجموعات الضبابية والمفردات اللغوية في مدخلات البارامترات من أجل المجموعات 3,2,1 [6,3]

Parameter	Gr01				Gr02				Gr03											
	Temperature				pH				Disolved Oxygen				Biochemical Oxygen Demand				Thermotolerant Coliforms			
Symbol	Temp				pH				DO				BOD				Colonies/100ml			
Unit	°C								mg/l				mg/l				0 - 18000			
Interval	-6 - 45				1 - 14				0 - 9				0 - 30				0 - 18000			
Linguistic Variable	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
Very Excellent - VE	15	16	21	22	6.80	6.90	7.10	7.75	7.0	7.5	9.0	9.0	0	0	0.5	2	0	0	1	1
Excellent - E	14	15	16		7.10	7.75	8.25		6.5	7	7.5		0.5	2	3		1	2	3	
Excellent - E▼	21	22	24		6.60	6.80	6.90													
Very Good - VG	13	14	15		7.75	8.25	8.50		6	6.5	7		2	3	4		2	3	8	
Very Good - VG▼	22	24	26		6.30	6.60	6.80													
Good - G	10	13	14		8.25	8.50	8.75		5	6	6.5		3	4	5		3	8	16	
Good - G▼	24	26	28		6.10	6.30	6.60													
Fair/Good - FG	5	10	13		8.50	8.75	9.00		4	5	6		4	5	6		8	16	40	
Fair/Good - FG▼	26	28	30		5.85	6.10	6.30													
Fair - F	0	5	10		8.75	9.00	9.20		3.5	4	5		5	6	8		16	40	100	
Fair - F▼	28	30	32		5.60	5.85	6.10													
Fair/Bad - FB	-2	0	5		9.00	9.20	9.60		3	3.5	4		6	8	12		40	100	300	
Fair/Bad - FB▼	30	32	36		5.20	5.60	5.85													
Bad - B	-4	-2	0		9.20	9.60	10.00		2	3	3.5		8	12	15		100	300	1000	
Bad - B▼	32	36	40		4.75	5.20	5.60													
Very Bad - VB	-6	-4	-2		9.60	10.00	10.50		1	2	3		12	15	22		300	1000	6000	
Very Bad - VB▼	36	40	45		4.00	4.75	5.20													
Poor - P	-6	-6	-4		10.00	10.50	12.00		0	1	2		15	22	30		1000	6000	18000	
Poor - P▼	40	45	45		2.00	4.00	4.75													
Very Poor - P	-6	-6	-6		10.50	14.00	14.00		0	0	1		22	30	30		6000	18000	18000	
Very Poor - P▼	45	45	45		1.00	1.00	4.00													

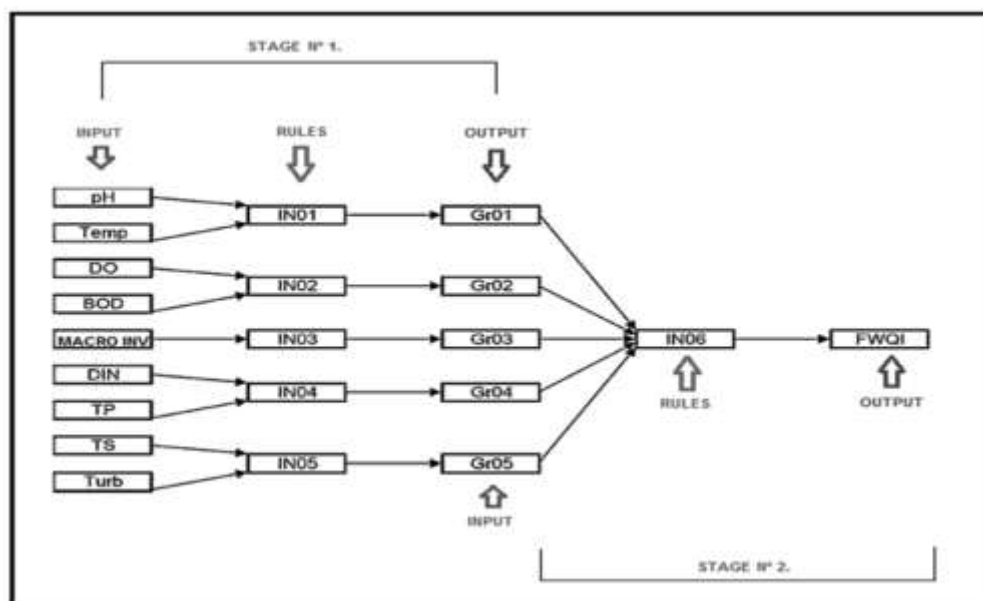
الجدول(2): المجموعات الضبابية والمفردات اللغوية في مدخلات البارامترات

من أجل المجموعات 5,4 ومخرجات البارامترات لجميع المجموعات [6,3]

Parameter	Gr04				Gr05				Group Output											
	Dissolved Inorg. Nitrogen				Total Phosphorus				Total Solids				Turbidity							
Symbol	DIN				TP				TS				Turb							
Unit	mg/l				mg/l				mg/l				mg/l							
Interval	0 - 100				0 - 10				0 - 750				0 - 150							
Linguistic Variable	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
Very Excellent - VE	0	0	0.5	2	0	0	0.1	0.2	0	0	5	50	0	0	0.5	2.5	0	0	1	10
Excellent - E	0	2	4		0.1	0.2	0.3		0	50	150		0.5	2.5	7.5		0	10	20	
Very Good - VG	2	4	6		0.2	0.3	0.4		50	150	250		2.5	7.5	12.5		10	20	30	
Good - G	4	6	8		0.3	0.4	0.6		150	250	320		7.5	12.5	22.5		20	30	40	
Fair/Good - FG	6	8	10		0.4	0.6	0.8		250	320	400		12.5	22.5	35		30	40	50	
Fair - F	8	10	15		0.6	0.8	1		320	400	450		22.5	35	50		40	50	60	
Fair/Bad - FB	10	15	25		0.8	1	1.5		400	450	550		35	50	70		50	60	70	
Bad - B	15	25	35		1	1.5	3		450	550	600		50	70	95		60	70	80	
Very Bad - VB	25	35	50		1.5	3	6		550	600	650		70	95	120		70	80	90	
Poor - P	35	50	100		3	6	10		600	650	750		95	120	150		80	90	100	
Very Poor - P	50	100	100		6	10	10		650	750	750		120	150	150		90	100	100	

وباستخدام تابع الانتماء الثلاثي والرابعي (الشكل3)، والبيانات الواردة في الجدولين (1و2) نقوم بإنشاء المجموعات الضبابية.

يبين الشكل (4) تسلسل مراحل معالجة البيانات في النظام الضبابي:



الشكل (4) : تسلسل مراحل معالجة البيانات في النظام الضبابي [6,3]

• المرحلة الأولى:

قسم الخبراء والمحكمين الاختصاصيين البارامترات التسعة إلى خمس مجموعات (Groups) موضحة في الجدول (3).

الجدول (3) تصنيف البارامترات ضمن المجموعات

المجموعة Group	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5
البارامتر Parameter	pH, T	DO, BOD ₅	F.C	NO ₃ , TP	Turb, TS

حيث تخضع كل مجموعة من المجموعات الخمس لقاعدة الحد الأدنى للمتغير (يكون تقييم المجموعة من تقييم البارامتر ذو الجودة الأسوأ)، قواعد التصنيف موضحة أدناه [3]:

إذا (FP) هو ممتاز و (SP) هو ممتاز يكون ناتج (GR) هو ممتاز.

إذا (FP) هو ممتاز و (SP) هو جيد جداً يكون ناتج (GR) هو جيد جداً.

إذا (FP) هو جيد جداً و (SP) هو ممتاز يكون ناتج (GR) هو جيد جداً.

إذا (FP) هو وسط و (SP) هو فقير جداً يكون ناتج (GR) هو فقير جداً.

إذا (FP) هو سيء و (SP) هو ممتاز يكون ناتج (GR) هو سيء.

حيث (FP): البارامتر الأول - (SP): البارامتر الثاني - (GR): المجموعة.

نتائج المجموعات نظّمها الخبراء والمحكمون بين (0 و 100)، كلما اقتربت نتيجة المجموعة من (0) في

المرحلة الأولى للمعالجة، كانت التقييم ممتاز. (نتائج المجموعات موضحة في الجدول (2)).

• المرحلة الثانية:

تتم معالجة المجموعات للمرة الثانية، وذلك باستخدام استدلال جديد (قواعد جديدة)، حيث تخضع نتائج معالجة

المتغيرات في المرحلة الأولى إلى مجموعة من القواعد تعبر عن رأي الخبراء والمحكمين الاختصاصيين والنتيجة

النهائية هي مؤشر جودة المياه الضبابي (FWQI)، نظام المنطق الضبابي المستخدم لحساب (FWQI) لديه

(3125) قاعدة ، وسنورد بعض الأمثلة أدناه [3]:

القاعدة (01):

إذا (Gr01) ممتازة و (Gr02) ممتازة و (Gr03) ممتازة و (Gr04) ممتازة و (Gr05) هو ممتاز يكون (FWQI) هو ممتاز.

القاعدة 830:

إذا (Gr01) ممتازة و (Gr02) هو جيد و (Gr03) هو سيء و (Gr04) ممتازة و (Gr05) هو ضعيف يكون (FWQI) هو جيد.

القاعدة 1214:

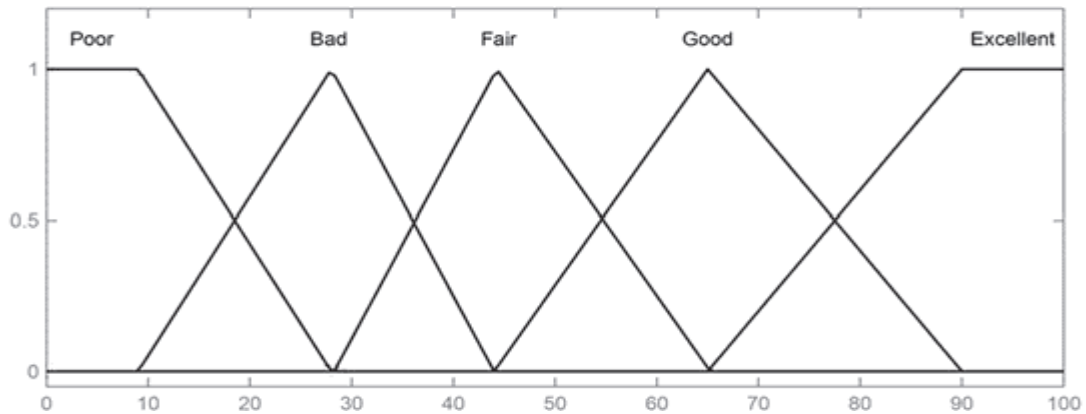
إذا (Gr01) هو جيد و (Gr02) هو ضعيف و (Gr03) هو سيء و (Gr04) معتدلة و (Gr05) هو سيء يكون (FWQI) هو سيئة.

القاعدة 2445:

إذا (Gr01) هو سيء و (Gr02) هو ضعيف و (Gr03) معتدلة و (Gr04) هو ضعيف و (Gr05) هو ضعيف ثم هو (FWQI) فقير.

في الأساليب التقليدية المستخدمة للحصول على مؤشر جودة المياه (WQI) يتم تنظيم البارامترات بمساعدة جداول أو منحنيات وعوامل الوزن ومن ثم تحسب بالطرق الرياضية التقليدية، بينما في هذه الدراسة، تم تنظيم البارامترات وتجميعها من خلال نظام الاستدلال الضبابي (Fuzzy Inference System) [15,16].

مخرجات المجموعات الضبابية السابقة التي تعبر عن مؤشر الجودة الضبابي (FWQI) تم إنشاؤها بواسطة تابع انتماء مضلع رباعي شبه منحرف لمجموعتي ممتاز وضعيف وتابع انتماء مثلثي لبقية المجموعات (الشكل 5). تصنيفات (FWQI) هي نفس معايير الجودة (WQI) موضحة في (الجدول 4)، حيث أن النظم الضبابية تبين عدم وجود حدود جامدة بين الطبقات.



الشكل (5) مخرجات تابع الانتماء

الجدول(4) مدخلات ومخرجات النظم الضبابية لاستنتاج تصنيف (FWQI) [4,2]

Gr 01, 02, 03, 04, 05 0-100	(FWQI) Classes
a b c d	

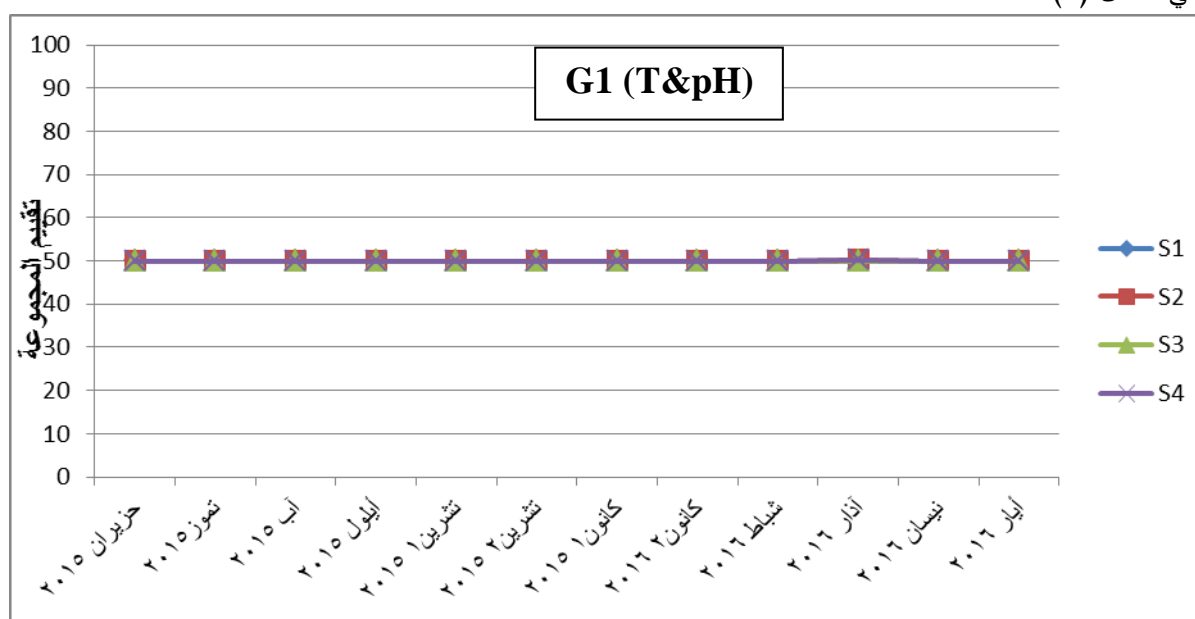
Excellent	65	90	100	100	$79 < (FWQI) \leq 100$
Good	44	65	90		$51 < (FWQI) \leq 79$
Fair	28	44	65		$36 < (FWQI) \leq 51$
Bad	0	28	44		$19 < (FWQI) \leq 36$
poor	0	0	9	28	$0 < (FWQI) \leq 19$

تم تجهيز جميع العمليات الحسابية باستخدام "صندوق أدوات المنطق الضبابي" للـ (MATLAB) [17].

النتائج والمناقشة:

(1) المرحلة الأولى من المعالجة:

• **المجموعة الأولى:** تضم هذه المجموعة البارامترين (pH, T)، حيث تراوحت درجة الحرارة في أشهر فصلي الصيف والخريف بين ($14.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ و $27.2\text{ }^{\circ}\text{C}$)، وبين ($9.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ و $16.7\text{ }^{\circ}\text{C}$) في أشهر فصلي الشتاء والربيع، وتراوحت قيم الرقم الهيدروجيني في جميع الأشهر بين (7.25 و 7.83). نتائج معالجة المتغيرات في المرحلة الأولى موضحة في الشكل (6).

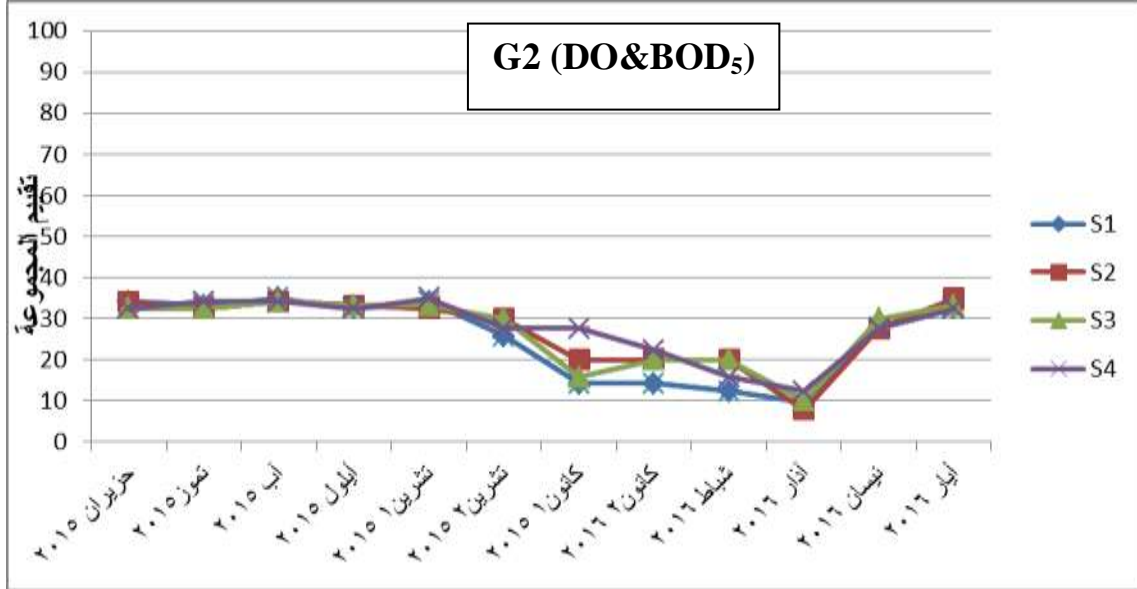


الشكل (6) نتائج المرحلة الأولى للمجموعة الأولى في مختلف محطات الاعتيان.

نتيجة المجموعة الأولى ثابتة عند القيمة (50)، و بالتالي تقييم جودة المجموعة الأولى هو وسط (F) بحسب

الجدولين (1 و 2).

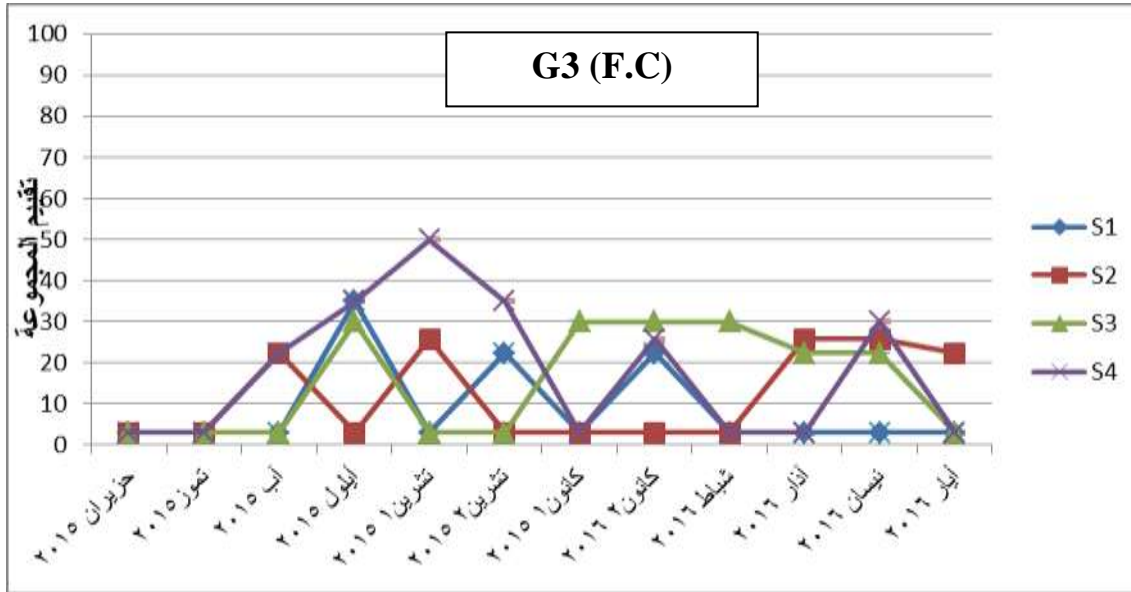
• **المجموعة الثانية:** تضم هذه المجموعة البارامترين (DO , BOD_5)، حيث كانت قيمة (BOD_5) تساوي الصفر في مختلف المحطات وفي جميع الأشهر باستثناء المحطة (S2) في شهر نيسان حيث بلغت قيمة الـ (BOD_5) (2 mg/l). نتائج المعالجة موضحة الشكل (7)



الشكل (7) نتائج المرحلة الأولى للمجموعة الثانية في مختلف محطات الاعتيان.

من المخطط السابق، أعلى قيمة في هذه المجموعة هي (7.91) في الموقع (S2)، وكانت في شهر آذار، وأدنى قيمة كانت في شهر أيار وبلغت (35) في الموقع (S1) وبالتالي تقييم المجموعة الثانية يتراوح بين الممتاز (E) والجيد (G) بحسب الجدولين (1 و 2).

• **المجموعة الثالثة:** تضم هذه المجموعة العصيات القولونية (F.C)، وقد أظهرت القياسات المائية في لبعض محطات الاعتيان على وجودها بنسب مختلفة، مما يدل على التلوث بمياه الصرف الصحي، حيث بلغت أعلى قيمة لها في الموقع (S4) خلال شهر تشرين 1 وقد سجلت (50 عضية في 100 ml)، وأدنى قيمة لها تساوي الصفر في باقي المحطات، الشكل (8).

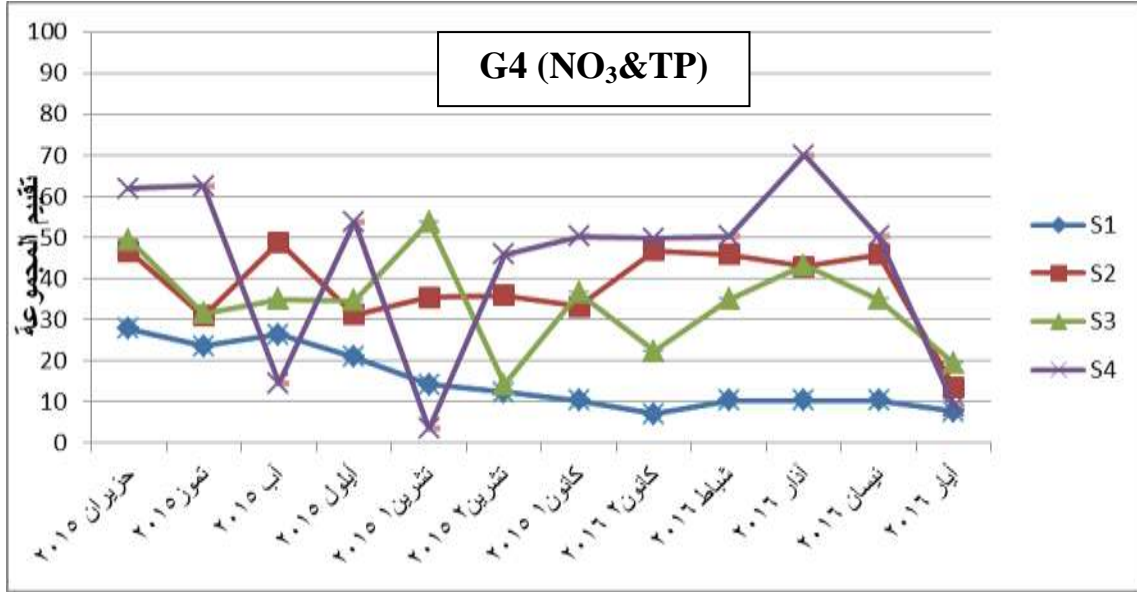


الشكل (8) نتائج المرحلة الأولى للمجموعة الثالثة في مختلف محطات الاعتيان.

يظهر المخطط وجود تلوث بالعصيات القولونية، وخاصة مع بداية موسم الأمطار، أعلى قيمة في المجموعة هذه هي (3.06) وكانت في معظم الأشهر وفي مختلف مواقع المحطات، وأدنى قيمة كانت في شهر تشرين الأول حيث بلغت (50) في المحطة (S4) وبالتالي تقييم المجموعة الثالثة يتراوح بين الممتاز (E) والمتوسط (F).

• المجموعة الرابعة: تضم هذه المجموعة البارامترين (NO_3, TP)، وتعبّر هذه المجموعة عن الإثراء الغذائي

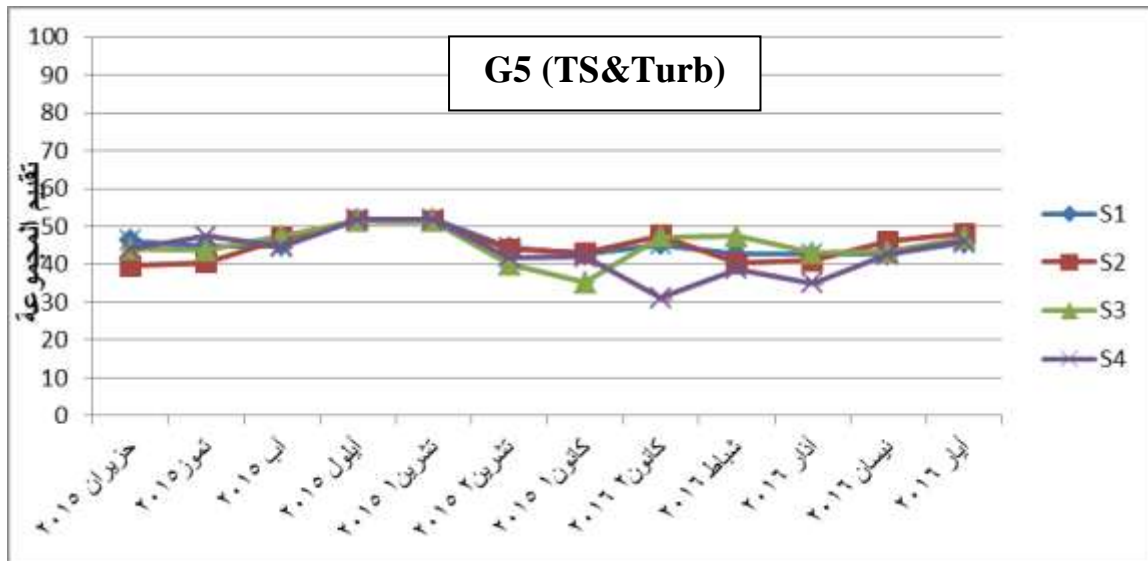
في البحيرة، وقد أظهرت قياسات النترات (NO_3) وجود نسب متفاوتة في مختلف محطات الرصد وعلى امتداد الدورة الهيدرولوجية، ويعزى ذلك لاستخدام الأسمدة الأزوتية في الأراضي الزراعية المنتشرة في منطقة تغذية نبع السن، فقد بلغت أعلى قيمة للنترات (25.41 mg/l) في الموقع (S4) في شهر آذار، وأدنى قيمة لها بلغت (1 mg/l) في الموقع (S1)، وبالنسبة للفوسفات (PO_4)، فإنه يدخل في تركيب الأسمدة أيضاً، وقد بلغت أعلى قيمة للفوسفات (0.14 mg/l) في الموقع (S2) في شهر تشرين الثاني، وأدنى قيمة لها تساوي الصفر في معظم المحطات على امتداد الدورة الهيدرولوجية. الشكل (9).



الشكل (9) نتائج المرحلة الأولى للمجموعة الرابعة في مختلف محطات الاعتيان.

من المخطط السابق، أعلى قيمة في هذه المجموعة هي (13.4) وكانت في شهر أيار، وأدنى قيمة كانت في شهر آب حيث بلغت (48.8) وبالتالي تقييم المجموعة الرابعة يتراوح بين الممتاز (E) و الوسط (F) بحسب الجدولين (1 و 2).

• **المجموعة الخامسة:** تضم هذه المجموعة البارامترين (TS, Turb)، وقد أظهرت القياسات وجود العكارة (Turb) في مياه البحيرة بتركيز منخفضة، فقد بلغت أعلى قيمة لها (2 NTU) مع بداية موسم الأمطار في شهر تشرين الثاني في المحطتين (S2، S3)، بينما أقل تركيز سجل في المحطة (S2) في شهر آذار حيث بلغ (0.3 NTU)، أما المواد الصلبة الكلية (TS)، فقد كان أعلى تركيز لها في شهر تموز في المحطة (S4) حيث بلغ (342.5 mg/l)، بينما أدنى تركيز بلغ (246.7 mg/l) في شهر تشرين الأول في المحطتين (S1، S3). الشكل (10)

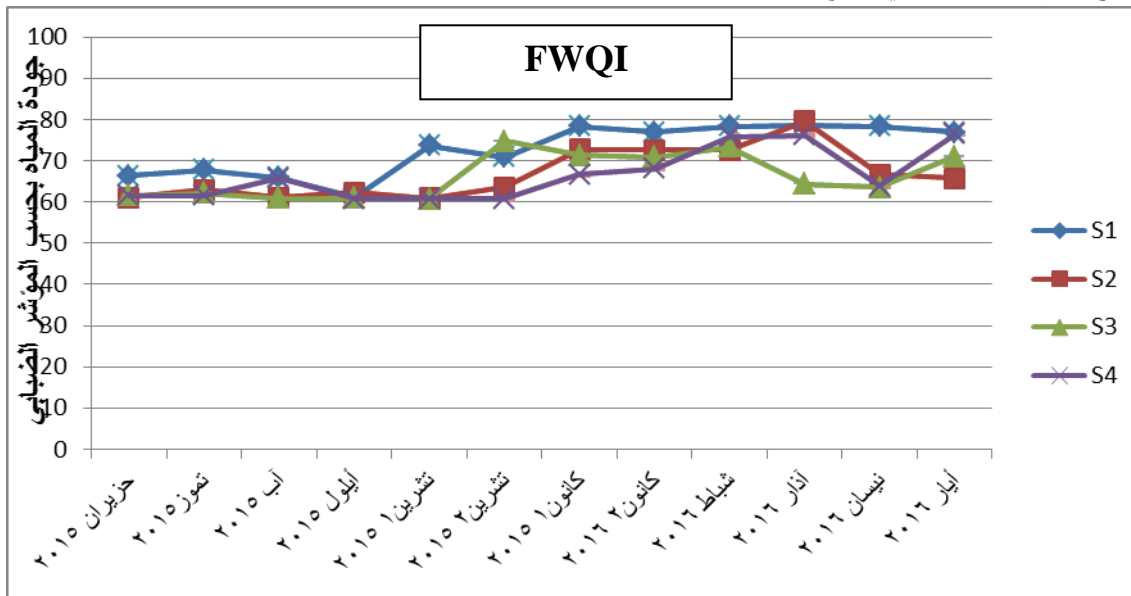


الشكل (10) نتائج المرحلة الأولى للمجموعة الخامسة في مختلف محطات الاعتيان.

من المخطط السابق، أعلى قيمة المجموعة الخامسة هي (39.6) وكانت في شهر حزيران، وأدنى قيمة كانت في شهر أيلول حيث بلغت (51.5) وبالتالي تقييم جودة المياه بحسب المجموعة الخامسة هو وسط (F) بحسب الجدولين (1 و 2).

2) المرحلة الثانية:

يتم دمج نتائج مجموعات المرحلة الأولى باستخدام مجموعة جديدة من القواعد تعبر عن رأي الخبراء والمحكمون للحصول على مؤشر جودة المياه الضبابي، وكلما اقترب مؤشر الجودة من الـ (100) كان تقييم المياه ممتاز، والشكل (10) يوضح تقييم جودة المياه في جميع المحطات.

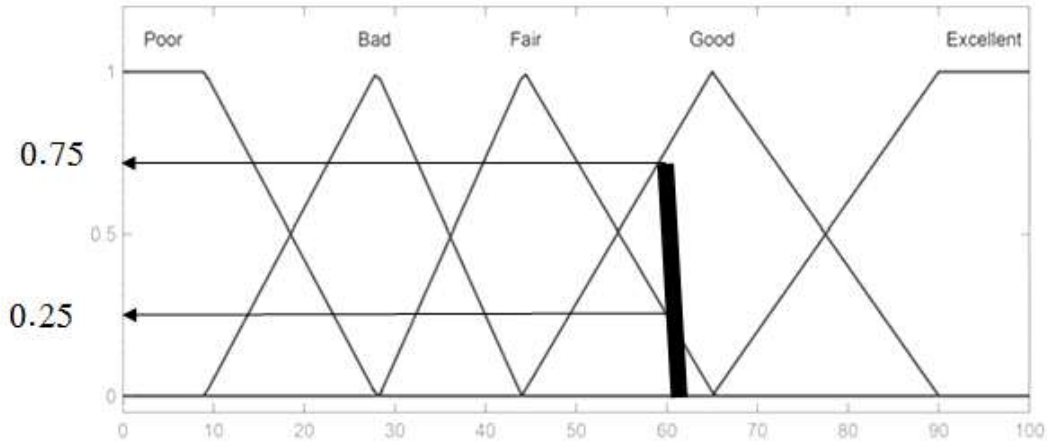


الشكل (11) تقييم جودة المياه وفق المؤشر الضبابي في مختلف محطات الاعتيان.

المخطط يبين أن جودة المياه تتراوح بين القيمة (60.8) في شهري حزيران وآب، والقيمة (79.6) في شهر آذار

وبناءً على ذلك يكون تقييم جودة المياه في البحيرة وفق مؤشر المنطق الضبابي ضمن المستوى جيد (G) بحسب الجدول (4).

النتيجة التي حصلنا عليها تشير إلى أن جودة المياه ليست بالمستوى الجيد بنسبة 100%، فالجودة ضمن المستوى الجيد بنسبة 75%، وضمن المستوى المتوسط بنسبة 25%، وهذه صفة الدقة التي يتميز بها المؤشر الضبابي عن غيره من المؤشرات التقليدية، والشكل (12) يوضح نسب مستويات الجودة لمياه البحيرة.



الشكل (12) نسب مستويات الجودة في بحيرة السن

الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث تطبيق مؤشر المنطق الضبابي في تقييم جودة مياه بحيرة السن بالاعتماد على بارامترات الجودة التقليدية التسعة وقد أظهرت الدراسة:

- تميز مؤشر المنطق الضبابي عن المؤشرات التقليدية باستخدام تصنيفات متعددة لجودة المياه ضمن المرحلة الأولى من عملية التقييم.
- جمع بارامترات الجودة ودمجها بشكل أكثر مرونة من خلال اعتماد المنطق الضبابي على توابع انتماء متداخلة فيما بينها.
- جودة المياه بحسب المحطة (S1) تراوحت بين [61-78.4]، وقد تجاوزت النسبة (70) في معظم أشهر السنة، وفي المحطة (S2) تراوحت بين [61-72.6]، وقد بلغت النسبة (79.6) في شهر آذار، وفي المحطة (S3) تراوحت بين [60.7-74.7]، وفي المحطة (S4) تراوحت بين [60.8-76.1].
- الوصف الدقيق لجودة المياه: عندما تكون قيمة مؤشر الجودة الضبابي 62 فهذا يعني أن المياه جيدة المستوى بنسبة 75% ومتوسطة المستوى بنسبة 25%.
- عملاً بالاستنتاجات المذكورة نقترح:
- إدخال بارامترات جودة أخرى في عملية التقييم مثل القساوة الكلية في عملية التقييم.
- دراسة تأثير معالجة مياه الصرف الصحي، وحل لمشكلة مكبات النفايات العشوائية في منطقة حوض نبع السن المغذي للبحيرة وخاصة في أماكن تكشف الصخور الحاملة للمياه الجوفية من الحوض.

المراجع:

- [1] SILVERT, W. *Fuzzy indices of environmental conditions. Ecological Modeling*, 130, 2000, pp.111–119.
- [2] NASIRI, F.; MAQSOOD, I.; HUANG, G and FULLER, N. *Water Quality Index: A Fuzzy River Pollution Decision Support Expert System, Journal Of Water Resources Planning and Management*, 133, 2007, pp. 95-105.
- [3] LERMONTOV, A ; YOKOYAMA, L ; LERMONTOV, M and MACHADO, M,A. *A Fuzzy Water Quality Index for Watershed Quality Analysis and Management, Brasil*, 20, 2011, pp. 388- 410.
- [4] CHAU, K. *A Review On Integration of Artificial Intelligence into Water Quality Modeling. Marine Pollution Bulletin*, 52, 2006, pp. 726-733.
- [5] PAUZI, M; SADIA, W; RAMAN , V and IJAZ - UL - MOHSIN. *Development of New Water Quality Model Using Fuzzy Logic System for Malaysia. Open Environmental Sciences*, 2, 2008, PP. 101-106.
- [6] GONZALEZ, H ; JUAN, D and CARVAJALS, L. *Water Quality Index Based On Fuzzy Logic Applied To The ABURRA RIVER BASIN IN THE JURISDICTION OF THE METROPOLITAN Area*. 171, 2012, pp. 50- 58.
- [7] DU, Q; REN, Z; LIU, Z; WANG, Y. *Prediction of Water Quality Using Fuzzy Logic*. 955, 2014, pp.3310-3313.
- [8] LIN, R. T; HUANG, W.C. *Fuzzy Assessment on Reservoir Water Quality, Journal of Marine Science and Technology*, 23, 2015, pp. 231-239.
- [9] CALDEIRA, A. M; MACHADO, M. S; SOUZA, R.C; TANSCHKEIT, R. *Intelligence Computational applied to administration, economy and engenharia em Matlab. São Paulo, Thomson Learning*. 2007, pp. 63.
- [10] ROSS, T. J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications, New York*, 2004, pp. 200.
- [11] ZADWHL, L. A. *Fuzzy Sets, Information and Control*, 8, 1965, pp.338–353.
- [12] RAMESH, S; SUKUMARAN, N; MURUGESAN, A.G; RAJAN, M. P. *An innovative approach of Drinking Water Quality Index – A case study from Southern Tamil Nadu, India, Ecological Indicators*, 10, 2010, pp. 857–868.
- [13] TANER, M. U; USTUN, B. ERDINCILER, A. *A Simple Tool for The Assessment of Water Quality in Polluted Lagoon Systems: A Case Study for Küçükçekmece Lagoon, Turkey, Ecological Indicators*, 11, 2011, Issue 2, pp.749–756.
- [14] MITCHELL, M. K; STAPP, W.B. *Field Manual for Water Quality Monitoring: an Environmental Education Program for Schools*. 1996, pp. 277.
- [15] LERMONTOV, A ; YOKOYAMA, L ; LERMONTOV, M and MACHADO, M,A. *River Quality Analysis Using Fuzzy Water Quality Index: Ribeira do Iguape River Watershed, Brasil Ecological Indicator*, 9, 2009, pp. 1188- 1197.
- [16] YILMAZ, I; *Fuzzy Evaluation of Water Quality Classification. Ecological Indicators*, 7, 2007, pp. 710-718.
- [17] MATLAB®, R2010a. The Language of Technical Computing, Version 7.10.0.499.