Selecting The Suitable Sites For Wastewater Treatment Plants Using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

Dr. Adel Awad[*]
Rasha Shleha[*]

(Received 15 / 12 / 2019. Accepted 4 / 5 / 2020)

□ ABSTRACT □

Selection of Sites for wastewater treatment plants depends on many factors and restrictions. Decision-makers take into account existing alternatives that have different specifications and characteristics and the final work is to choose the best. This process is complex because it requires a lot of data from different environmental, social and economical fields.

The Fuzzy AHP method, which integrates Analytical Hierarchy Process (AHP) and fuzzy logic, as a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) technique providing an effective scientific tool that assists and supports decision-making and allows us to determine the relative importance of the criteria taken into account.

This paper presents a theoretical review of FAHP, and a numerical application of this method in selecting Suitable Sites for wastewater treatment plants using a single decision maker.

Keywords: Multi Criteria Decision Making (MCDM), Fuzzy Analytical Hierarchy Process(Fuzzy AHP) ,Waste Water Treatment Plants.

[*] **Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria; E-mail: adel-a@scs-net.org**

[**] **Postgraduate Student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria; E-mail: narjesahmad332013@gmail.com**

اختيار المواقع المناسبة لإقامة محطات معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي Fuzzy AHP

د. عادل عوض*

رشا شليحة**

(تاريخ الإيداع 15 / 12 / 2019. قُبِل للنشر في 4/ 5 / 2020)

□ ملخّص □

تعتمد عملية اختيار مواقع محطات معالجة مياه الصرف الصحي على عدد كبير من العوامل والقيود، ويأخذ صنّاع القرار بعين الاعتبار البدائل الموجودة والتي تمتلك مواصفات وخصائص مختلفة والعمل النهائي هو اختيار الأفضل بينها، وهذه العملية معقّدة لأنها تتطلب الكثير من البيانات من مختلف الحقول البيئية والاجتماعية والاقتصادية ، ومن هنا تأتي طريقة التحليل الهرمي الضبابي Fuzzy AHP التي تدمج بين عملية التحليل الهرمي AHP كطريقة لصناعة القرار متعدد المعايير MCDM والمنطق الضبابي fuzzy logic لتقدم لنا أداة علمية فعالة تساعد وتدعم عملية اتخاذ القرار وتسمح لنا بتحديد الأهمية النسبية للمعايير المأخوذة بعين الاعتبار. هذه الورقة تقدم مراجعة نظرية لطريقة التحليل الهرمي الضبابي وتطبيق عملي لهذه الطريقة في اختيار المواقع المناسبة لإقامة محطات معالجة مياه الصرف الصحي بالاستعانة بصانع قرار وحيد.

الكلمات المفتاحية: صناعة القرار متعدد المعايير MCDM، محطات معالجة مياه الصرف الصحي، التحليل الهرمي الضبابي Fuzzy AHP.

* أستاذ – قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.E-mail: adel-a@scs-net.org

** طالبة دراسات عليا (ماجستير) – قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
E-mail: : narjesahmad332013@gmail.com

مقدمة:

يعتبر اختيار مواقع محطات معالجة مياه الصرف الصحي من القرارات الهامة في البلديات وشركات الصرف الصحي، ويتعامل متخذو القرار عادة في حلّ مشاكل إدارة الأراضي وتحديد مواقع محطات معالجة مياه الصرف الصحي مع عوامل معقّدة ، حيث تعتمد عملية اختيار مواقع محطات معالجة مياه الصرف الصحي على عدد كبير من العوامل والقيود أهمها: توفر الأرض المناسبة لتأسيس محطة المعالجة من حيث الميول وجيولوجية المنطقة وطبيعة الحوامل الجوفية والبعد عن مناطق الغمر وإمكانية الوصول إلى الموقع، وكذلك محافظة الموقع على حماية الموارد الطبيعية كالأنهار والبحيرات والسدود والبحار والمحميات بالإضافة إلى تحقيق قبول المجتمع والمحافظة على القيمة الجمالية والتاريخية للأرض، وكذلك تأمين البعد الكافي عن المناطق السكنية والطرق الرئيسية والمواقع الدينية والأثرية .

يوجد طرق مختلفة لاتخاذ القرار متعدد المعايير MCDM (Multi Criteria Decision Making) ومن أشهرها عند اختيار الموقع هي طريقة التدرج التحليلي AHP(Analytical Hierarchy Process) المقدمة من قبل العالم توماس ساعاتي عام 1980، والتي تلعب دوراً هاماً في اختيار البدائل، والتي تعتمد على المقارنات الثنائية بين المعايير والبدائل باعتماد مقياس نسبي [1]، إلى جانب ذلك لقيت طريقة التحليل الهرمي تطبيقات واسعة في صناعة القرار متعدد المعايير خاصة بالمجالات الهندسية ومنها الهندسة البيئية[3,2]. وعلى الرغم من انتشار طريقة AHP والتي تعتبر أداة فعالة في صناعة القرار متعدد المعايير MCDM من أجل المشاكل المكانية، إلا أنه يتم انتقادها غالباً بسبب عدم قدرتها على التعامل مع الشك والغموض في قرارات صناع القرار عند تحويلها إلى أرقام دقيقة، ومن أجل التغلب على تلك المشاكل وبما أن الضبابية والغموض تعتبران من الخصائص المعروفة في معظم مشاكل صناعة القرار، لذلك فقد تم إضافة المنطق الضبابي Fuzzy logic إلى طريقة AHP لتصبح FAHP والقادرة على تحمل الغموض.

تشير المراجع إلى أن منهجية دمج FAHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS تمّ استخدامها في عملية تحديد المواقع المختلفة، حيث تم استخدام طريقة FAHP لاستخلاص أوزان للمعايير المتبعة في اختيار مواقع محطات المعالجة واستخدامها ضمن الـ GIS لتوليد خريطة تضم المواقع المناسبة لإقامة محطات معالجة لمياه الصرف الصحي تعمل بنظام التهوية المديدة في محافظة طرطوس وأظهرت الدراسة أن الطريقة مفيدة من أجل مشاكل اختيار الموقع بما أن GIS يتعامل مع الخصائص المكانية للموقع و FAHP يمكن استخدامها لإعطاء أوزان للمعايير ولترتيب البدائل [4].

أهمية البحث وأهدافه:

يخضع إقامة محطة معالجة مياه الصرف الصحي لعدد كبير من المعايير من أجل تحديد المواقع المناسبة، حيث يتم اللجوء عادة إلى دراسات وأبحاث مشابهة تم إجراؤها في أماكن أخرى واعتماد نفس المعايير وأوزان التثقيل نفسها، ورغم أن هذا الأسلوب يعطي نتائج مقبولة إلا أن دراسة واقع الحال لدينا واعتماد معايير تناسب واقعنا واستنباط أوزان التثقيل وفقاً لآراء الخبراء المحليين وصناع القرار المحليين يمكن أن يعود بنتائج أفضل، وتأتي أهمية هذا البحث من كونه يستخدم طريقة التحليل الهرمي الضبابي بوصفه أداة علمية فعالة لتحديد الأولويات وإعطاء أوزان تثقيل لهذه المعايير وفقاً لأهميتها النسبية ليصار لاحقاً لاستخدامها في نظم المعلومات الجغرافية لتحديد المواقع المناسبة.

طرائق البحث ومواده:

في البداية تمت مراجعة أبرز الطرق والأساليب المتبعة عند اختيار المواقع المناسبة لإقامة محطات معالجة مياه الصرف الصحي، حيث تم وضع مجموعة من الشروط والمعايير التي يجب أن تحققها المواقع المقترحة لإقامة هذه المحطات، واستخدمت طريقة التحليل الهرمي الضبابي لتحديد الأهمية النسبية لهذه المعايير والحصول على أوزان تثقيل كل معيار وذلك بالاستفادة من أداة Excel Solver Tool ضمن برنامج Excel ، ومن ثم استخدام هذه الأوزان لاحقاً ضمن نظام المعلومات الجغرافية GIS في بناء نموذج يحدد المواقع المناسبة ومدى ملاءمة كل من المواقع المقترحة.

بناء مصفوفة مقارنة ثنائية ضبابية[5,4]:

بناء مصفوفة الحكم الضبابية $\{\tilde{a}_{ij}\}$: $\text{matrix}\,\tilde{A}$ لـ n معيار أو بديل يتم بواسطة مقارنة ثنائية للأرقام الضبابية المثلثية:(TFNs(Triangular Fuzzy numbers)) يأخذ الشكل التالي:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

حيث $\tilde{a}_{ij}$ هو رقم مثلثي ضبابي، $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}\ ,\ m_{ij}\ ,u_{ij})$ و $\tilde{a}_{ij} = 1/\tilde{a}_{ji}$ لكل TFNs $\tilde{a}_{ij}$ أو $M = (l\ ,\ m\ ,\ u)$ توابع علاقة العضوية الخاصة بها $\mu_{\tilde{a}}(x)$ أو $\mu_M(x)$ هي تخطيط مستمر من الأعداد الحقيقة $-\infty < x < +\infty$ إلى المجال المغلق [0,1] يمكن تحديده بواسطة المعادلة (1):

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}\ ,\ l \le x \le m \\ \frac{u-x}{u-m}\ ,\ m \le x \le u \\ 0\ ,\quad \text{otherwise} \end{cases} \quad \ldots.(1)$$

البارمترات l تدل على القيم الأصغرية الممكنة ، m المتوسطة و u الأعظمية في الحدث الضبابي.

العمليات في TFNs يمكن جمعها وضربها وعكسها. لنفترض M_1 و M_2

هي TFNs حيث $M_1 = (l_1\ ,\ m_1\ ,\ u_1)$ و$M_2 = (l_2,\ m_2\ ,\ u_2)$ عندها:

الجمع: (2) ..... $M_1 \oplus M_2 = (l_1 + l_2\ , m_1 + m_2\ , u_1 + u_2)$

الضرب:(3).....$M_1 \otimes M_2 = (l_1 \times l_2\ , m_1 \times m_2\ , u_1 \times u_2)$

العكس: (4)... $M_1{}^{-1} = (l_1\ , m_1\ , u_1)^{-1} = (1/u_1\ , 1/m_1, 1/l_1)$

يمكن تقديم العبارات اللغوية الحسية الشائعة المستخدمة في المقارنات الثنائية في Fuzzy AHP بواسطة أرقام ضبابية مثلثية [5,4]، و المقاربات الموجودة لاشتقاق الأولويات من Fuzzy AHP يمكن تصنيفها في فئتين اثنتين فئة تشتق مجموعة من الأوزان الضبابية من مصفوفة المقارنة الثنائية الضبابية، بينما الأخرى تشتق مجموعة من الأوزان التقليدية crispمن مصفوفة المقارنة الثنائية الضبابية.

تتضمن المقاربات التي تشتق أوزان ضبابية من مصفوفات المقارنات الثنائية الضبابية طريقة المتوسط الهندسي [6] طريقة المربعات الصغرى اللوغاريتمية الضبابية(LLSM) fuzzy logarithmic least-squares methods [7]، طريقةLambda-max [8] ، وطريقة البرمجة الخطية للهدف(LGP) linear goal programming [9].

إنّ المقاربات المستخدمة لاشتقاق الاوزان Crisp من مصفوفة المقارنة الثنائية تتضمن تحليل المدى[10] ، وبرمجة الأفضلية الضبابية (FPP)fuzzy preference programming المرتكزة على الطريقة اللاخطية.

يتم توصيف التعديلات اللاخطية لطريقة برمجة الأفضلية الضبابية (FPP) لاحقاً، كما تشتق أولويات crisp من أحكام المقارنة الضبابية، بالمقارنة مع طرق تحديد الأولويات الضبابية المعروفة في الـ AHP [11].

الطريقة المقترحة لا تحتاج لإجراء ترتيب ضبابي ويمكن أن تعطي أولويات crisp من مجموعة غير مكتملة من الأحكام الضبابية.

طريقة تحديد الأولويات الضبابية:

لنعتبر مسألة تحديد أولويات بـ n عنصر، حيث أحكام المقارنات الثنائية يتم تقديمها بمجموعات ضبابية طبيعية أو أعداد ضبابية . وفي التطبيق العملي تم استخدام المقياس المستخدم عالمياً [12] والمبين في الجدول(1)، وذلك لتحويل أحكام المقارنة من عبارات لغوية إلى أرقام ضبابية مثلثية *Triangular Fuzzy Numbers (TFNs)*. نقترح أن صانع القرار يمكن أن يعطي مجموعة $F = \{\tilde{a}_{ij}\}$ بـ $m \leq n(n-1)/2$ أحكام مقارنة ضبابية و *i=1, 2, …, n−1* و *j=2, 3, …, n* و *j>i* يتم تقديمها كأعداد ضبابية مثلثية $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ المسألة هي لاشتقاق شعاع الأولوية *crisp* $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ وهكذا تكون نسب الأولويات w_i/w_j هي تقريباً ضمن نطاق الأحكام الضبابية المبدئية أو

$$l_{ij} \lesssim \frac{w_i}{w_j} \lesssim u_{ij} \dots (5)$$

حيث الرمز $\lesssim$ يشير لعبارة (أقل أو يساوي ضبابياً)

الجدول(1): المقياس المستخدم في تحويل المقارنات الثنائية إلى أرقام ضبابية مثلثية TFNS [12]

Verbal Scales	Notations	CN	TFN	PLFN	GFN
Equally	$\bar{1}$	1	T(1/2,1,2)[a]	P(1,7)	G(1,3)
Weakly	$\bar{2}$	2	T(1,2,3)	P(2,7)	G(2,3)
Moderately	$\bar{3}$	3	T(2,3,4)	P(3,7)	G(3,3)
Moderately plus	$\bar{4}$	4	T(3,4,5)	P(4,7)	G(4,3)
Strongly	$\bar{5}$	5	T(4,5,6)	P(5,7)	G(5,3)
Strong plus	$\bar{6}$	6	T(5,6,7)	P(6,7)	G(6,3)
Very strongly	$\bar{7}$	7	T(6,7,8)	P(7,7)	G(7,3)
Very, very strongly	$\bar{8}$	8	T(7,8,9)	P(8,7)	G(8,3)
Extremely	$\bar{9}$	9	T(8,9,10)	P(9,7)	G(9,3)
Reciprocals of above	$\overline{1/r}, r = 2, \dots, 9$	From 1/2 to 1/9	From T(1/3,1/2,1) to T(1/10,1/9,1/8)	$P(\overline{1/r}, 100)$, $r = 2, \dots, 9$	$G(\overline{1/r}, 70)$, $r = 2, \dots, 9$

[a] When a object is compared by itself, i.e., $i = j$, "Absolutely equally" instead of "Equally" is applied, i.e., T(1,1,1).

CN crisp number, *TFN* triangular fuzzy number, *PLFN* potential-like fuzzy number, *GFN* Gaussian fuzzy number

افتراضات طريقة تحديد الأولويات الضبابية[12]:

يمكننا تقديم توابع العضوية التي تمثل قناعة أو رضا صانع القرار بنسب حل هشة مختلفة w_i/w_j، حيث أن كل شعاع أولوية w يستوفي عدم المساواة المزدوجة في العلاقة $l_{ij} \lesssim \frac{w_i}{w_j} \lesssim u_{ij}$ بدرجة ما، والتي يمكن قياسها بواسطة تابع العضوية الخطية وفقا للنسبة غير المعلومة w_i/w_j .

$$\mu_{ij}\left(\frac{w_i}{w_j}\right)=\begin{cases}\dfrac{\left(\frac{w_i}{w_j}-l_{ij}\right)}{m_{ij}-l_{ij}} & ,\ w_i/w_j \le m_{ij}\\ \dfrac{\left(u_{ij}-\frac{w_i}{w_j}\right)}{u_{ij}-m_{ij}} & ,\ w_i/w_j \ge m_{ij}\end{cases} \qquad \ldots\ldots\ (6)$$

لكي نتجنب التقسيم على صفر سنعتبر أن $u_{ij} > m_{ij} > l_{ij}$. في الواقع هذه فرضية ليست ملزمة، حيث يمكن لبعض الأحكام الأكيدة والمحددة أن تكون كأرقام ضبابية مع نطاق صغير جداً $\delta_{ij} = \left(u_{ij} - l_{ij}\right)$ ومن الواضح بأن نطاقات الأحكام الضبابية تتوافق مع درجة عدم التأكد لدى صانع القرار فيما يتعلق بنسب المقارنة. يتزايد تابع العضوية من المعادلة (6) خطياً من المجال $(-\infty, m_{ij})$ ويتناقص خطياً في المجال (m_{ij}, ∞)، و يأخذ قيم سلبية عندما يكون $\frac{w_i}{w_j} < l_{ij}$ أو $\frac{w_i}{w_j} > u_{ij}$ ولديه قيمة أعظمية $\mu_{ij} = 1$ عندما $\frac{w_i}{w_j} = m_{ij}$ ضمن المجال $\left(l_{ij}, u_{ij}\right)$ ، كما أن تابع العضوية (6) يتوافق مع الحكم الضبابي المثلثي $\tilde{a}_{ij} = \left(l_{ij},\ m_{ij},\ u_{ij}\right)$.

حل مسألة تحديد الأولويات الضبابية:

ويستند إجراء الحل في الأسلوب المقترح على قاعدة قرار maximin والمعروفة من نظرية الألعاب the game theory . كما تم تطبيق قاعدة maximin لحل مشاكل صنع القرار في بيئة ضبابية[13] .

يتم استخدم قاعدة القرار نفسها للمسائل الضبابية الخطية مع القيود الخفيفة[14] ، والتي تُظهر أنه إذا كانت وظائف العضوية والتي تمثل القيود الخفيفة هي خطية، يمكن تحويل مشكلة maximin إلى مشكلة برمجة خطية، ويتم إعطاء تركيبات خطية مشابهة لمشكلة تحديد الأولويات كما هو معلوم في المراجع المختصة [15].

يمكن التعبير عن مسألة تحديد الأولويات *maximin* بالطريقة التالية:

Maximize λ

subject to

$$\lambda \le \mu ij\,(wi/wj\,)$$

$$i = 1,2,\ldots,\ n-1\ ,\ \ j = 2,3,\ldots,\ n\ \ ,\ j > i$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1\ ,w_i\ \ge 0\ ,i = 1,2,\ldots,n$$

مع الأخذ بعين الاعتبار الشكل المحدد لتوابع العضوية في المعادلة (6) ويمكن تحويل المسألة السابقة إلى مسألة ثنائية الخط من الشكل:

Maximize λ

subject to

$$\left(m_{ij} - l_{ij}\right)\lambda w_j - w_i + l_{ij}w_{ij} \le 0$$

$$\left(u_{ij} - m_{ij}\right)\lambda w_j + w_i - u_{ij}w_{ij} \le 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1\ , w_i\ \ge 0\ , i\ =\ 1,2,\ldots,n$$

الحصول على الحل الأمثل للمسألة غير الخطية أعلاه (λ^*, w^*) يمكن الحصول عليه من خلال توظيف طرق عددية مناسبة للأمثلة الغير خطية. النتائج الواردة لاحقاً تم الحصول عليها باستخدام أداة Excel solver tool في برنامج Excel والتي تستند لخوارزمية رقمية للبحث التدرجي gradient search numerical algorithm . فعندما تكون القيمة المثالية λ^* موجبة هذا يعني أن جميع نسب الحل تحقق بالكامل الأحكام الضبابية، أي أن $l_{ij} \le \frac{w_i^*}{w_j^*} \le u_{ij}$

مما يعني أن مجموعة الأحكام الضبابية الأولية متسقة إلى حد ما. أما القيمة السالبة لـ λ^* فهي تشير إلى أن الأحكام الضبابية غير متناسقة بشدة. لذلك فإن القيمة المثالية λ^* يمكن أن تستخدم لقياس الاتساق في مجموعة الأحكام الضبابية الأولية.

إن وجود مؤشر اتساق هو ميزة جيدة لطريقة تحديد الأولويات الضبابية المقترحة وهذا ما سيشار إليه لاحقاً.

يمكن للطريقة المقترحة أن تشتق الأولويات من مجموعة غير كاملة من الأحكام في الجزء المثلث العلوي لمصفوفة المقارنة، وهي ميزة أخرى في طريقتنا هذه.

التطبيق العملي:

تم وضع عدد من المعايير لتحديد الموقع المناسب لإقامة محطة معالجة مياه الصرف الصحي وتم تصنيف هذه المعايير ضمن ثلاث فئات (معايير اقتصادية، معايير بيئية، معايير اجتماعية).

والمطلوب تحديد وزن تثقيل لكل من المعايير السابقة ليتم استخدامه ضمن نظم المعلومات الجغرافية GIS بغية الحصول على خريطة تبين مدى ملاءمة الأراضي لإقامة محطة المعالجة ضمنها وتسمح لنا بتقييم المواقع المقترحة لهذا الهدف أو اختيار الموقع الأمثل.

لإنجاز ما تمّ ذكره أعلاه تمّ تعريف المسألة المتعددة المعايير وتمثيلها على شكل بنية هرمية ، وذلك بغرض تبسيط المشكلة حيث تم تحديد المعايير من خلال استطلاع آراء الخبراء واقتراحاتهم ، وأيضا بالاستناد إلى المراجع العلمية المتعلقة بالموضوع [4].

وهي كالتالي: الهدف : وهو اختيار المواقع المناسبة لإقامة محطات معالجة مياه الصرف الصحي .

المستوى الأول: ويضم المعايير الأساسية التالية :

1. المعايير الاقتصادية 2. المعايير البيئية 3. المعايير الاجتماعية

المستوى الثاني:

يتضمن:

1. المعايير الاقتصادية:

- إمكانية الوصول إلى الموقع :إن الأماكن التي تفرض علينا اختيار موقع محطة المعالجة فيها تبعاً لنقط نهاية مصبات الصرف الصحي تكون عموماً بعيدة عن الطرق الرئيسية، لذلك يجب فتح طريق تخديمي من أجل تخديم المحطة في جميع مراحل الإنشاء والتشغيل والصيانة والاستثمار.
- القرب من شبكة الطرق العامة.
- القرب من شبكة خطوط الكهرباء: وهذا ما يوفر بالكلف اللازمة للتشغيل والاستثمار ضمن محطة المعالجة .
- الميول: وترتبط بخفض كلف الإنشاء الأولية للمحطة وتوفر الميول المناسبة يساعد في تأمين الجريان الحر للمياه بين منشآت محطة المعالجة.

2. المعايير بيئية:

- حماية مصادر مياه الشرب: وذلك بالابتعاد عن مصادر مياه الشرب من آبار وينابيع.
- استخدامات الأراضي: من المفضل انشاء محطة المعالجة على أرض غير مستثمرة لأغراض أخرى ذات أهمية زراعية أو سياحية أو صناعية أكبر من أهميتها كموقع لمحطة معالجة .
- حماية المصادر المائية: يجب أن يراعي موقع محطة المعالجة حماية مصادر المياه السطحية والجوفية .

- البعد عن الفوالق: يجب دراسة محطة معالجة مياه الصرف الصحي كي تكون مقاومة للزلازل ولتقليل الأضرار في حال حدوثها.

3. المعايير اجتماعية:

- البعد عن التجمعات السكنية: لمنع الإزعاج الممكن للسكان بسبب الروائح المحتملة والضجيج الذي قد ينجم عن المحطة.
- البعد عن المراكز السياحية والمواقع الأثرية والدينية: أيضاً منعاً للإزعاج بسبب الروائح.

وقد مثلنا البنية الهرمية الآنفة الذكر في المخطط الوارد على الشكل رقم (1):

الشكل (1) البنية الهرمية للمعايير

منهجية الوصول للحل الأمثل ونتائج الحساب:

بداية نقوم بتحديد أوزان التثقيل لفئات المعايير ضمن المستوى الأول باستخدام طريقة Fuzzy AHP، وذلك من خلال تشكيل مصفوفة المقارنة الثنائية وهنا يتعين على الخبير ملء هذه المصفوفة بالاستعانة بمقياس يحول تفضيلات الخبير من عبارات لغوية إلى أرقام ضبابية مثلثية كما هو موضح سابقاً في الجدول (1) فنحصل على المصفوفة المبينة في الجدول (2) التالي:

الجدول(2): مصفوفة المقارنة الثنائية

	معايير اقتصادية	معايير بيئية	معايير اجتماعية
معايير اقتصادية	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)
معايير بيئية	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(2,3,4)
معايير اجتماعية	(1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)

وبتطبيق المسألة غير الخطية التالية الموضحة أعلاه:

Maximize λ

subject to

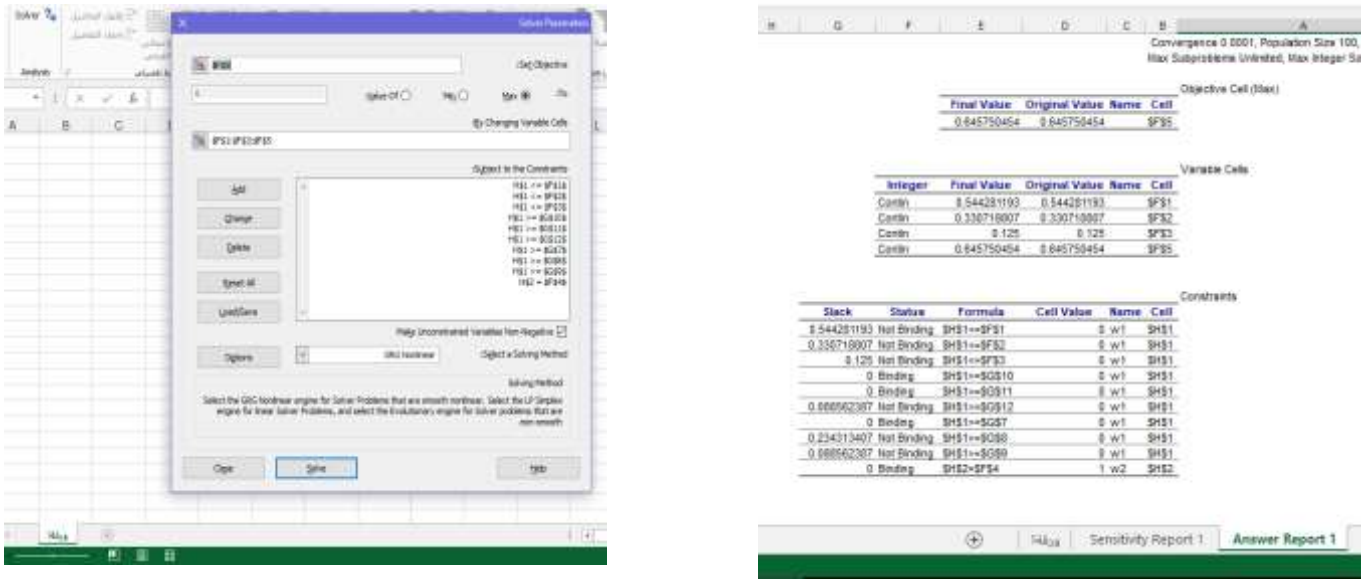
$$(m_{ij} - l_{ij})\lambda w_j - w_i + l_{ij}w_{ij} \le 0$$
$$(u_{ij} - m_{ij})\lambda w_j + w_i - u_{ij}w_{ij} \le 0$$
$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1\,, w_i \ge 0\,, i = 1,2,\dots,n$$

وبالتالي تكون أوزان التثقيل للمعايير السابقة هي الحل الأمثل للمسألة التالية:

Maximize λ

$$Subject\ to \begin{cases} \lambda w2 - w1 + w2 \le 0 \\ \lambda w2 + w1 - 3w2 \le 0 \\ \lambda w3 - w1 + 3w3 \le 0 \\ \lambda w3 + w1 - 5w3 \le 0 \\ \lambda w3 - w2 + 2w3 \le 0 \\ \lambda w3 + w2 - 4w3 \le 0 \\ w1 + w2 + w3 = 1 \\ w1\ ,\ w2\ ,w3 \ge 0 \end{cases}$$

وباستخدام أداة Excel solver tool في برنامج Excel و التي تستند لخوارزمية رقمية للبحث التدرجي gradient search numerical algorithm كما في الشكل(2)



الشكل (2) Excel solver tool

الجدول(3): أوزان المعايير في المستوى الثاني بالنسبة للمعايير الاقتصادية

	إمكانية الوصول إلى الموقع	القرب من شبكة الطرق العامة	القرب من شبكة خطوط الكهرباء	الميول	المعايير الاقتصادية
إمكانية الوصول إلى الموقع	(1,1,1)	(1,2,3)	(5,6,7)	(4,5,6)	
القرب من شبكة الطرق العامة	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(2,3,4)	
القرب من شبكة خطوط الكهرباء	(1/7,1/6,1/5)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	
الميول	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,2,3)	(1,1,1)	
الحل الأمثل*	0.49779	0.31594	0.07748	0.10879	λ^* =0.575571

يكون الحل الأمثل لهذه المسألة هي أوزان تثقيل المعايير المطلوبة وتكون كالتالي:

$(\lambda^* = 0.64575\,, W_1{}^* = 0.54428,\ W_2{}^* = 0.33071\,, W_3{}^* = 0.125)$

القيمة المثالية λ^* موجبة هذا يشير إلى أن جميع نسب الحل تحقق بالكامل الأحكام الضبابية أي $l_{ij} \leq \frac{w_i^*}{w_j^*} \leq u_{ij}$ مما يعني أن مجموعة الأحكام الضبابية الأولية متسقة.

وبصورة مشابهة نحصل على الأوزان لباقي المعايير في المستوى الثاني كما في الجداول (3،4،5):

الجدول(4): أوزان المعايير في المستوى الثاني بالنسبة للمعايير البيئية

	حماية مصادر الشرب	استخدامات الأراضي	حماية المصادر المائية	البعد عن الفوالق	المعايير البيئية
حماية مصادر الشرب	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(4,5,6)	
استعمالات الأراضي	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)	
حماية المصادر المائية	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	
البعد عن الفوالق	(1/6,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	
*الحل الأمثل	0.47145	0.30586	0.13631	0.08637	λ^* =0.54138

الجدول(5): أوزان المعايير في المستوى الثاني بالنسبة للمعايير الاجتماعية

المعايير الاجتماعية	البعد عن المراكز السياحية والمواقع الأثرية والدينية	البعد عن التجمعات السكنية	
	(3,4,5)	(1,1,1)	البعد عن التجمعات السكنية
	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	البعد عن المراكز السياحية والمواقع الأثرية والدينية
$\lambda^* = 1$	0.2	0.8	*الحل الأمثل

ولحساب أوزان التثقيل النهائية للمعايير نقوم بضرب الوزن الذي حصل عليه المعيار ضمن فئته في المستوى الثاني بوزن الفئة في المستوى الأول وعليه نحصل على الأوزان النهائية التالية:

الجدول(6): أوزان التثقيل النهائية لجميع المعايير

إمكانية الوصول إلى الموقع	0.27094	استخدامات الأراضي	0.10116
القرب من شبكة الطرق العامة	0.17196	حماية المصادر المائية	0.04508
القرب من شبكة خطوط الكهرباء	0.04217	البعد عن الفوالق	0.02856
الميول	0.05921	البعد عن التجمعات السكنية	0.1
حماية مصادر الشرب	0.15592	البعد عن المراكز السياحية والمواقع الأثرية والدينية	0.025

وهنا يستطيع الخبير استكمال بناء نموذج ضمن GIS يمكنه من دمج الخرائط التصنيفية للأراضي وفقاً للمعايير السابقة للخروج بخريطة ملاءمة الأراضي لإقامة محطة معالجة مياه صرف صحي وتبين المواقع المناسبة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

لقد تم اشتقاق ترتيب الأولويات بطريقة تحديد الأولويات الضبابية وتم التحقق من اتساق البيانات وتجدر الإشارة إلى أن قيم العناصر التي تحقق معدل اتساق مقبول تبين أن المدخلات من قيم عددية في مصفوفة المقارنة تتناغم فيما بينها دون تعارض، وتبين بأن رؤية الخبير واضحة وغير متناقضة وترتيب الأولويات الناتجة تعبر عن رأي صانع القرار والذي هو في هذه الحالة الخبير البيئي.

إن حساسية وثبات النتائج يرتبط بعدة عوامل منها:

1- اعتماد معايير ثابتة لتقييم مدى ملاءمة المواقع لإقامة محطات معالجة مياه الصرف الصحي ، حيث تم تحديد هذه المعايير وفقاً لرأي الخبير ، وإن حذف أو إدخال معايير أخرى بعين الاعتبار أو إشراك خبراء أخرين من شأنه الإفضاء لنتائج أخرى.

2- اعتماد وزن تثقيل ثابت للمعايير المأخوذة بعين الاعتبار يحافظ على ثبات النتائج.

التوصيات:

1. إشراك عدد أكبر من الخبراء وصنّاع القرار في عملية صناعة القرار الجماعي، وكذلك اعتماد النتائج الأكثر اتساقاً من شأنه الحصول على أوزان تثقيل تحظى بموثوقية أعلى وتنال رضا وقبول أكثر من اعتماد أوزان تثقيل تم الحصول عليها من دراسات وأبحاث سابقة جرت في ظروف وأماكن أخرى.
2. إدخال الطرق الضبابية في عملية التثقيل والمفاضلة بين البدائل لما لها من دور في التغلب على حالات الغموض لدى متخذي القرار.

References:

1. Saaty, T.L. The Analytic Hierarchy Process. *McGraw-Hill International, New York, NY, U.S.A.* 1980.
2. Nikša Jajac, Ivan Marovi´c, Katarina Rogulj and Jelena Kili´c. *Decision Support Concept to Selection of Wastewater Treatment Plant Location*—the Case Study of Town of Kutina, Croatia. Water. 2019, p. 717.
3. AWAD,A, JAFAR,R and KHALIL,F. *Use the analytical hierarchy process AHP method to determine the appropriate locations for the OMWW distribution*. Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research - Engineering Sciences Series ,Syria, Vol (41) No (4) ,2019, 155-174.
4. AWAD,A, WAZZAN,A and MANSOUR,R. *Using GIS and Fuzzy AHP for Selecting the Suitable Sites for Wastewater Treatment Plants in the City of Tartous*. Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research - Engineering Sciences Series ,Syria, Vol (36) No (6) , 2016, 347-366.
5. SRICHETTA, Phanarut ,THURACHON, Wannasiri. *Applying fuzzy analytic hierarchy process to evaluate and select product of notebook computers*. International Journal of Modeling and Optimization, vol.2, no. 2,2012,pp. 168.
6. Buckley, J. Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems.* 17, 1985, pp. 233-247.C.G.E. Boender, J.G. de Graan, F.A. Lootsma. *Multicriteria decision analysis with fuzzy pairwise comparisons*. Fuzzy Sets and Systems. 29, 1989, pp. 133-143.
7. CSUTORA, Robert; BUCKLEY, James J. *Fuzzy hierarchical analysis: the Lambda-Max method*. Fuzzy sets and Systems, vol.120, no. 2, 2001,pp. 181-195.
8. WANG, Ying-Ming; CHIN, Kwai-Sang. *A linear goal programming priority method for fuzzy analytic hierarchy process and its applications in new product screening*. International Journal of Approximate Reasoning, vol.49, no. 2, 2008,pp. 451-465.
9. Chang, D.A. *Application of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research.* 95, 1996, pp. 649-655.
10. Mikhailov, L. *A fuzzy programming method for deriving priorities in the analytic hierarchy process. Journal of Operational Research Society.* 51, 2000, pp. 341-349.
11. Yuen, Kevin Kam Fung. *Membership maximization prioritization methods*. Fuzzy Optimization and Decision Making. 11, 2012, pp. 113–133.
12. R. Bellman, L.A. Zadeh. *Decision-making in a fuzzy environment*. Management Science. 17, 1970, pp. 141-164.
13. Zimmermann, H.-J. *Fuzzy set theory and its applications. Kluwe.* 1990.
14. Mikhailov, L. *Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgements*. Fuzzy Sets and Systems , vol. 134, no. 3, 2003, pp. 365 -385.