Use the Analytical Hierarchy Process AHP Method to Determine the Appropriate Locations for the OMWW Distribution

Dr. Adel Awad*
Dr. Raed Jafar**
Feras Khalil***

(Received 6 / 12 / 2018. Accepted 1 / 7 / 2019)

□ ABSTRACT □

Olive Mill Wastewater OMWW is a major pollutant that threatens water sources at production sites due to quality and high concentration of pollutants, which are difficult to treat effectively within treatment plants. However, the method used to deal with these pollutants is distribution to agricultural land as fertilizer, according to a set of conditions and criteria. The Analytical Hierarchy Process (AHP) provides us an effective scientific tool that assists and supports the decision making process in determining the most suitable location for applying this method. This paper presents a theoretical review of AHP, and a numerical application of this method in determining the appropriate location for the distribution of OMWW using a single decision maker and based on the eigenvector approach to finding priorities. This paper also presents two additional methods to derive priority values and because most decisions affect the lives of a group of people, we ask a group of experts to evaluate alternatives to make final decision; this paper also presents two methods for aggregating individual judgments. Finally, some conclusions, recommendations and some future trends presented.

Key words: Olive Mill Wastewater, OMWW, Multi Criteria Decision Making, MCDM, Analytical Hierarchy Process, AHP, eigenvector method, EV.

* **Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria; E-mail: adel-a@scs-net.org**
** **Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria; E-mail: raedjafar@yahoo.fr**
*** **Postgraduate Student (M.A.), Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria; E-mail: ferasmkhalilferasmkhalil@gmail.com**

استخدام طريقة التحليل الهرمي AHP في تحديد المواقع الملائمة لتوزيع مياه الجفت OMWW

الدكتور عادل عوض*

الدكتور رائد جعفر**

فراس خليل***

(تاريخ الإيداع 6 / 12 / 2018. قُبِل للنشر في 1/ 7 / 2019)

□ ملخّص □

تعتبر مياه الجفت الناتجة عن صناعة زيت الزيتون من الملوثات السائلة الرئيسية التي تهدد مصادر المياه في أماكن الإنتاج، وذلك بسبب نوعية الملوثات وتراكيزها العالية والتي يصعب معالجتها بصورة فعالة ضمن محطات المعالجة، إلا أن الأسلوب المتبع في إدارة هذه الملوثات هو توزيعها على الأراضي الزراعية بطريقة الري التسميدي، وفقاً لمجموعة من الشروط والمعايير، وتأتي طريقة التحليل الهرمي AHP لتقدم لنا أداة علمية فعالة تساعد وتدعم عملية اتخاذ القرار في تحديد المواقع الأكثر ملائمة لتطبيق هذه الطريقة. هذه الورقة تقدم مراجعة نظرية لطريقة التحليل الهرمي وتطبيق عملي لهذه الطريقة في تحديد المواقع الملائمة لتوزيع مياه الجفت بالاستعانة بصانع قرار وحيد وبالاستناد لطريقة المتجه الذاتي لتحديد الأولويات، وتعرض هذه الورقة أيضاً طريقتين إضافيتين لاشتقاق قيم الأولوية، وكون أغلب القرارات تؤثر في حياة مجموعة من الأشخاص يتم اللجوء إلى مجموعة من الخبراء لتقييم البدائل وصناعة القرار النهائي، هذه الورقة تعرض أيضاً طريقتين لتجميع الأحكام الفردية. وفي النهاية تم عرض بعض الاستنتاجات والتوصيات وبعض الاتجاهات المستقبلية للبحث.

الكلمات المفتاحية: مياه الجفت OMWW، صناعة القرار متعدد المعايير MCDM، طريقة التحليل الهرمي AHP، المتجه الذاتي EV.

* أستاذ – قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
E-mail: adel-a@scs-net.org
** أستاذ مساعد – قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
E-mail: raedjafar@yahoo.fr
*** طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
E-mail: ferasmkhalilferasmkhalil@gmail.com

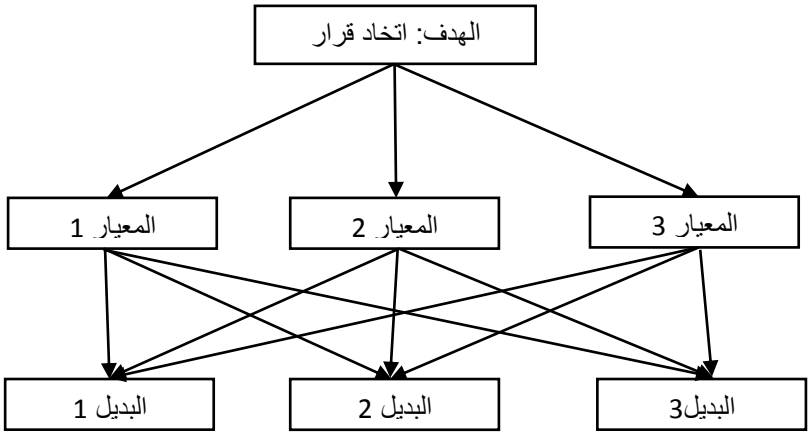
مقدمة:

كثيرا ما نصادف في حياتنا العملية أثناء عملية اتخاذ قرار ما بدائل عدة، وعلينا اختيار البديل الأفضل ولتحديد هذا البديل الأفضل، يجب أن نأخذ بعين الاعتبار مجموعة من المعايير والتي تتشارك وتتنافس بالتأثير على عملية اتخاذ القرار، ولأن هذه المعايير قد تصبح كثيرة وعديدة ومتناقضة نوعاً ما. كان لابد من اتباع منهج علمي دقيق لإيجاد أوزان تثقيل تمكننا من التعبير عن ترتيب الأولويات وتساعدنا في اتخاذ أفضل القرارات ومن هنا تأتي أساليب صناعة القرار متعدد المعايير.

يلعب صنع القرار متعدد المعايير دوراً حاسماً في العديد من مشاكل الحياة الحقيقية .وليس من قبيل المبالغة القول بأن أي حكومة أو صناعة أو نشاط تجاري محلي أو إقليمي تقريبا ينطوي، بطريقة أو بأخرى، على تقييم مجموعة من البدائل وفق مجموعة من معايير القرار. وفي كثير من الأحيان تتعارض هذه المعايير مع بعضها البعض.

ولعل أهم هذه الأساليب هو أسلوب التحليل الهرمي:

طريقة التحليل الهرمي هي طريقة لصناعة القرار متعدد المعايير تم تقديمها من قبل [1] [2]. استرعت طريقة التحليل الهرمي اهتمام العديد من الباحثين ويرجع ذلك بصورة رئيسية إلى الخصائص الرياضية الجميلة لهذه الطريقة وكون البيانات المطلوب إدخالها من السهل الحصول عليها. علماً بأن طريقة التحليل الهرمي هي أداة دعم قرار ويمكن استخدامها لحل مسائل القرار المعقدة. وهي تستخدم بناء هرمي متعدد المستويات من أهداف، معايير، معايير ثانوية، وبدائل. البيانات المتصلة يتم اشتقاقها باستخدام مجموعة من المقارنات الثنائية. هذه المقارنات تُستخدم للحصول على أوزان الأهمية لمعايير القرار والأداء النسبي يقيس البدائل وفقا لكل معيار فردي من معايير القرار. وإذا كانت المقارنات غير متسقة بصورة تامة، عندها تعطينا آلية لتحسين الاتساق.



الشكل (1) البناء الهرمي لعملية صناعة القرار

الشكل(1) السابق يوضح البناء الهرمي لعملية اتخاذ قرار بسيطة بثلاث معايير أولية فقط (المستوى الأول) وثلاث بدائل. إن طريقة التحليل الهرمي تسمح لنا بترتيب الأهمية والأولويات لكل من المعايير أو البدائل وذلك باستخدام المقارنات الثنائية فيما بينها وتعطي طريقة التحليل الهرمي أوزان تثقيل حسب الأهمية لكل معيار أو بديل في مستوى واحد مما يساعد في اتخاذ أفضل قرار.

أهمية البحث وأهدافه:

تعبر مياه الجفت الناتجة عن صناعة زيت الزيتون أحد أبرز مصادر الملوثات السائلة والتي تهدد مصادر المياه والبيئة في المناطق التي تنتشر فيها زراعة الزيتون وذلك بسبب خصائصها والتراكيز العالية للملوثات فيها والتي يصعب معالجتها بصورة فعالة ضمن محطات المعالجة. وتلجأ أغلب الدول المنتجة لزيت الزيتون ومنها سوريا إلى التعامل مع هذه المياه وتوزيعها على الأراضي الزراعية بطريقة الري التسميدي وفقا لمجموعة من الشروط والمعايير التي تؤمن قدر المستطاع حماية للمصادر المائية والبيئة. وتأتي أهمية هذا البحث من كونه يستخدم طريقة التحليل الهرمي بوصفه أداة علمية لتحديد الأولويات وإعطاء أوزان تثقيل لهذه المعايير وفقا لأهميتها النسبية ليصار إلى استخدامها ضمن نظام المعلومات الجغرافية لتحديد المواقع الملائمة لتوزيع مياه الجفت.

طرائق البحث ومواده:

تم تحديد المعايير المستخدمة في عملية توزيع مياه الجفت وفقا للشروط التي قامت وزارة الزراعة بوضعها ضمن قرارها رقم 190/ت وذلك لتحديد آلية تجميع وتوزيع مياه عصر الزيتون وتم استخدام طريقة التحليل الهرمي في تحديد الأهمية النسبية وإعطاء أوزان تثقيل لهذه المعايير ليصار إلى استخدامها ضمن نظم المعلومات الجغرافية GIS لتحديد المواقع الملائمة لتوزيع مياه الجفت. وقد تم إعداد استبيان باستخدام لغة البرمجة VBA وضمن برنامج Excel وبالاستناد للحسابات العائدة لطريقة التحليل الهرمي وطريقة المتجه الذاتي لاشتقاق الأولويات، وذلك من أجل السرعة والسهولة في الحصول على أوزان تثقيل المعايير المعتبرة وفقا لرأي كل خبير.

هيكلة مسألة القرار المأخوذة بعين الاعتبار:

هيكلة المسألة النمطية المعتبرة في هذه الورقة تتألف من رقم ما لنقل M للبدائل ورقم ما لنقل N لمعايير القرار. يتم تقييم كل البدائل وفقاً لكل معيار، الأهمية النسبية "أو وزن كل معيار" يمكن تقديره أيضاً وليكن لدينا أيضاً a_{ij} (i = 1, 2, 3, …. M, and j = 1, 2, 3, …, N) والتي ترمز لقيمة الأداء performance value للبديل ذو الترتيب i (أي A_i) وفقاً للمعيار ذو الترتيب j (أي C_j). أيضاً نرمز بالرمز W_j لوزن المعيار C_j وهكذا فإن نواة مسألة صناعة القرار متعدد المعايير النمطية يمكن عرضها كمصفوفة قرار decision matrix التالية:

	Criterion				
	C_1	C_2	C_3	…	C_N
Alt.	W_1	W_2	W_3	…	W_N
A_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	…	a_{1N}
A_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	…	a_{2N}
A_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	…	a_{3N}
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
A_M	a_{M1}	a_{M2}	a_{M3}	…	a_{MN}

الشكل (2) مصفوفة القرار

وبالنظر إلى مصفوفة القرار المذكورة أعلاه في الشكل(2) فإن مشكلة القرار التي تم النظر فيها في هذه الدراسة هو كيفية تحديد أفضل بديل. وهناك مشكلة مختلفة قليلاً هي تحديد الأهمية النسبية للبدائل M عندما يتم اختبارها من حيث معايير القرار N مجتمعة.

في حالة صناعة القرار متعدد المعايير كل المعايير يتم التعبير عنها وفقاً لنفس الواحدة (مثلاً، دولار). مع ذلك في العديد من مسائل صناعة القرار متعدد المعايير في الحياة العملية تعبر عن معايير مختلفة وبأبعاد مختلفة. ومن هذه الأمثلة عن هذه الأبعاد (العملات، الوزن، الوقت، التأثير السياسي، الأثر البيئي ...الخ). مسألة صناعة قرار متعدد المعايير بأبعاد مختلفة تجعل من مسألة صناعة القرار متعدد المعايير النمطية مسألة معقدة وطريقة التحليل الهرمي ومشتقاتها تقدم لنا مساعدة كبيرة في حل هذا النوع من المسائل.

مراجعة لطريقة التحليل الهرمي:

إن طريقة التحليل الهرمي واستخدامها للمقارنات الثنائية قد ألهمت بخلق العديد من أساليب صنع القرار الأخرى. وإلى جانب قبولها على نطاق واسع. إلا أنها خلقت أيضاً بعض النقد الكبير، سواء لأسباب نظرية أو عملية.

منذ البداية كان من الواضح أن هناك بعض المشاكل مع طريقة المقارنات الثنائية المستخدمة والطريقة التي يقوم بها التحليل الهرمي في تقييم البدائل. أولاً: [3]لاحظ أن طريقة التحليل الهرمي ربما تعكس ترتيب البدائل عندما يتم تقديم بديل مماثل لآخر موجود أصلاً ضمن البدائل. من أجل التغلب على هذا النقص، اقترح Belton and Gear أن يتم تقسيم كل عمود في مصفوفة القرار النهائي في طريقة التحليل الهرمي على المُدخل الأكبر قيمة في هذا العمود.

هم بذلك قدموا شكل آخر لطريقة التحليل الهرمي الأصلية. وتدعى (الـAHP المعدلة revised_AHP). لاحقاً [2] وافق على الشكل الجديد لطريقة التحليل الهرمي والآن تدعى (الوضع المثالي لطريقة التحليل الهرمي Ideal Mode AHP). إلى جانب AHP المعدلة، كُتّاب آخرون قدموا أشكال أخرى لـ AHP الأصلية. مع ذلك، الـ AHP (في الوضع الأصلي أو الوضع المثالي in original or in the ideal mode) هي الطريقة الأكثر قبول على نطاق واسع. وتعتبر من قبل العديد طريقة صناعة قرار متعدد المعايير الأكثر موثوقية.

إلى جانب ذلك لقيت طريقة التحليل الهرمي تطبيقات واسعة في صناعة القرار متعدد المعايير خاصة بالمجالات الهندسية ومنها الهندسة البيئية حيث تم دراسة مفهوم دعم اتخاذ القرار لاختيار موقع محطة معالجة لمياه الصرف الصحي وذلك في مدينة كوتينا، كرواتيا وذلك باستخدام طريقة AHP [4].

كما تم استخدام طريقة التحليل الهرمي AHP ودمجها مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وذلك لاختيار الموقع الأمثل والمستدام لمطمر صحي للنفايات في جوهور باهرو، ماليزيا وذلك لغرض الإدارة السليمة للنفايات الصلبة وتحقيق الاستدامة البيئية [5].

وتم إجراء دراسة باستخدام طريقة التحليل الهرمي AHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS وذلك لتقييم مدى ملاءمة مواقع المطامر الصحية القديمة المستثمرة وذلك بالتكامل عدد من المسوحات الهيدرولوجية والجيوفيزيائية وذلك في زنجان، إيران [6]

وتم إجراء تحليل مكاني لتحليل المواقع المثلى لإقامة محطة لإنتاج الغاز الحيوي باستخدام الهضم اللاهوائي كحل بديل لإدارة النفايات البلدية وذلك بالتكامل بين طريقة التحليل الهرمي AHP ونظم المعلومات الجغرافية GIS في مدينة دكا، بنغلاديش [7].

كما قامت الباحثة ريم منصور بدراسة لاختيار المواقع المناسبة لإقامة محطة معالجة لمياه الصرف الصحي في مدينة طرطوس وبذلك باستخدام طريقة التحليل الهرمي الضبابي FAHP وهي تطوير لطريقة AHP الكلاسيكية بإدخال المنطق الضبابي Fuzzy Logic وبالتكامل مع نظم المعلومات الجغرافية GIS [8]

الخطوة الأولى في التحليل الهرمي هي تقدير البيانات وثيقة الصلة. وهذا هو تقدير قيم a_{ij} و W_j لمصفوفة القرار النهائي. وهذا ما سيتم توصيفه في القسم التالي.

الجدول(1): مقياس الأهمية النسبية وفقاً لـ [9]

الشرح	التعريف	كثافة الأهمية
نشاطان اثنان يسهمان بصورة متساوية في الهدف	أهمية متساوية	1
التجربة أو الحكم يفضل قليلاً أحد النشاطان على الآخر	أهمية ضعيفة لأحدهم على الآخر	3
التجربة أو الحكم يفضل بصورة قوية أحد النشاطان على الآخر	ضروري أو أهمية قوية	5
أحد النشاطات مفضّل بصورة قوية وتظهر هيمنته عملياً	أهمية ظاهرة	7
الدليل الذي يفضل أحد النشاطات على الآخر هو أعلى درجة ممكنة للتأكيد	أهمية أكيدة	9
عند الحاجة إلى حل وسط	القيم المتوسطة بين حكمين متجاورين	2,4,6,8
	إذا كان النشاط i يحتوي على واحد من الأرقام غير الصفرية أعلاه المخصصة له عند مقارنته بالنشاطj ، عندئذ يكون j له قيمة متبادلة عند مقارنته مع i.	المبادلات من فوق الصفر "الكسور المعرفة الأكبر تماما من الصفر"

المقارنات الثنائية:

مقارنة الثنائيات تستخدم لتحديد الأهمية النسبية لكل بديل وفقاً لكل معيار. في هذه المقارنة على صانع القرار أن يعبر عن رأيه حول واحدة من المقارنات الثنائية ضمن وقت. عادةً، صانع القرار عليه أن يختار إجابته بين 10–17 خيار منفصل. كل خيار هو عبارة لغوية، بعض الأمثلة عن العبارات اللغوية ("A" أكثر أهمية من "B"، "A" بنفس أهمية "B" أو "A" أقل أهمية من "B") وهكذا (وفق الجدول 1)

المشكلة الأساسية مع مقارنات الثنائيات هي كيف نستطيع عد أو إحصاء الخيار اللغوي أي استبدال التعبير اللغوي الذي قام باختياره صانع القرار أثناء تقييماته بقيمة عددية.

كل الطرق التي تستخدم مفهوم المقارنات الثنائية في النهاية تعبر عن الإجابات النوعية لصانع القرار ببعض الأرقام والتي تكون في أغلب الأوقات نسب "أو كسور" لأعداد صحيحة.

حالة المقارنات الثنائية التي يتم التعبير عنها كاختلافات (بدلاً من النسب) تم استخدامها لتعريف علاقات التشابه وتم وصفها بواسطة [10]

المقاطع الآتية تشرح قضية إحصاء المقارنات الثنائية:

بما أن مقارنة الثنائيات تكون حجر الأساس لعمليات صناعة القرار فإن الإحصاء الصحيح لها يكون الخطوة الأكثر حسماً في طرق صناعة القرار متعدد المعايير والتي تستخدم بيانات وصفيةQualitative Data.

المقارنات الثنائية يتم إحصاؤها باستخدام مقياس Scale. وبما أن المقياس هو تخطيط واحد لواحد "one–to–one mapping" بين مجموعة الخيارات اللغوية المنفصلة المتوفرة لصانع القرار ومجموعة منفصلة من الأرقام التي تعطينا الأهمية أو الوزن لتلك الخيارات اللغوية. الخيار المقترح من قبل ساعاتي مبين في الجدول (1). مقاييس أخرى أيضاً تم اقتراحها من علماء آخرين. ومنها تقييم من 78 مقياس مختلف ظهرت في (Triantaphyllou et al , 1994).

في 1846 وضع Weber قانونه آخذاً بعين الاعتبار محفز stimulus من مقدار قابل للقياس. وفقاً لقانونه التغير في الحساسية يُلاحظ إذا كان المحفز يزداد بنسبة مئوية ثابتة وفقاً للمحفز ذاته(Saaty T., 1980) . وهكذا فإن الناس غير قادرين على الاختيار من مجموعة لانهائية. على سبيل المثال، الناس لا تستطيع التميز بين قيمتين قريبتين من حيث الأهمية مثلاً 3.00 و3.02. التجارب النفسية أيضاً تظهر أن الأفراد غير قادرين على مقارنة أكثر من 7 أشياء (زائد أو ناقص 2) معاً في وقت واحد [11] هذا هو السبب الرئيسي لاستخدام ساعاتي 9 كحد أعلى لمقياسه و1 كحد أدنى واختلاف موحد بين قيم المقياس المتلاحقة.

قيم المقارنات الثنائية في طريقة التحليل الهرمي يتم تحديدها وفقاً للمقياس المقدم من قبل ساعاتي 1980.

وفقاً لهذا المقياس، القيم المتوفرة للمقارنات الثنائية هي عناصر في المجموعة: {9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9}(كما في الجدول 1).

كمثال إيضاحي لبناء المقارنات الثنائية:

لنفترض أن على صانع القرار اتخاذ القرار بشأن اختيار الموقع الأفضل لإقامة مطمر صحي للنفايات الصلبة وأمامه مجموعة من المعايير التي صنفت ضمن ثلاث فئات: (A معايير بيئية، B معايير اجتماعية، C معايير اقتصادية) ورأي صانع القرار بأن المعايير البيئية أكثر أهمية من المعايير الاجتماعية. أما المعايير الاقتصادية تأتي أخيراً.

وبالتالي تكون مصفوفة الحكم judgment matrix التي تعبر عن المقارنات الثنائية بالشكل التالي:

المستوى الأول: المقارنة بين فئات المعايير	A معايير بيئية	B معايير اجتماعية	C معايير اقتصادية
A معايير بيئية	1	6	8
B معايير اجتماعية	1/6	1	4
C معايير اقتصادية	1/8	1/4	1

أي عندما نقارن A (المعايير البيئية) مع B (المعايير الاجتماعية) عندها يكون صانع القرار قد حدد بأن المعايير البيئية هي ضمن التصنيفين (7 أهمية ظاهرة، و5 ضرورية أو أهمية قوية) بالمقارنة مع المعايير الاجتماعية (الجدول (1)) وهكذا فإن المقارنة الموافقة تأخذ القيمة 6 وهكذا بصورة مماثلة لباقي المدخلات.

الأمر الذي يمكن التعبير عنه نظرياً بمصفوفة المقارنة الثنائية التالية:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{1,2} & \cdots & a_{1,n} \\ \frac{1}{a_{1,2}} & 1 & & a_{2,n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1,n}} & \frac{1}{a_{2,n}} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

والتي هي مصفوفة المقارنات الثنائية بـ n معيار(أو بديل)، القيم التبادلية صممت من أجل المقارنات العكسية أي لإيجاد القيمة العددية لمقارنة المعيار أو البديل الثاني مع الأول نأخذ معكوس القيمة العددية لمقارنة المعيار أو البديل الأول مع الثاني وهكذا. وعليه يكفي تحديد القيم العددية للمقارنات الثنائية التي تقع أعلى القطر الرئيسي في المصفوفة السابقة لإيجاد باقي عناصر المصفوفة.

المشكلة النظرية الرئيسية هي تحديد شعاع الأولوية والتي ترتب المعايير (أو البدائل). مصفوفة المقارنة A تكون متسقة إذا كان: $a_{i,j} * a_{j,k} = a_{i,k}$ من أجل i, j, k = 1,….,n

في هذه الحالة، المصفوفة A يكون لديها النسبة من $a_{i,j} = \frac{w_i}{w_j}\ ,\ i,j = 1,\ldots,n$ و Aw = nw حيث n هي قيمتها الذاتية Eigenvalue الرئيسية و $w = (w_1,\ldots,w_n)^T$ ومن شرط الاتساق الذي يتبع العلاقة $A^k = n^{k-1}A$. إذا كانت A مصفوفة غير متسقة، هذا يكون غير صحيح. في هذه الحالة الأولويات يتم اشتقاقها من شعاع المتجه الذاتي الرئيسي $Aw = \lambda_{max}\,.\,w$ حيث $\lambda_{\max}$ هو القيمة الذاتية العظمي للمصفوفة A،

تسمى هذه الطريقة طريقة المتجه الذاتي Eigenvector [9] وهي الطريقة التي سنستخدمها في التطبيق العملي وتحظى هذه الطريقة بالقبول في معظم التطبيقات العملية وتعتبر الأكثر موثوقية.

طرق عديدة أخرى لاشتقاق شعاع الأولوية تمت مناقشتها في المراجع. في هذه الورقة سنعرض طريقتين إضافيتين هما: طريقة التحليل التغليفي للبياناتData Envelopment Analysis method ، وطريقة المربعات الصغرى اللوغاريتمية Logarithmic Least Squares method طريقة التحليل التغليفي (Charnes et al., 1978) هي

طريقة تهدف إلى تحقيق أفضل قدر ممكن من الكفاءة من وحدات صناعة القرار التي تحول مدخلات متعددة إلى مخرجات متعددة يعتمد على البرمجة الخطية.

Wang and Chin (2009) اقترحا طريقة برمجة خطية LP لاشتقاق الأولويات بالاستناد إلى طريقة التحليل التغليفي. كل سطر من مصفوفة المقارنة تتم معالجته كوحدة صناعة قرار وكل عمود كمخرج وقيمة إدخال وهمية واحدة لجميع وحدات صناعة القرار [12].

تابع هدف: $\max w_0 = \sum_{j=1}^{n} a_{0j} x_j$

يخضع للشروط المقيدة التالية: $\sum_{j=1}^{n}\left(\sum_{i=1}^{n} a_{i,j}\right)x_j = 1$

$$\sum_{i=1}^{n} a_{i,j}\, x_j \geq n x_i \,, i = 1, \dots, n$$

$$x_j \geq 0 \,, j = 1, \dots, n$$

طريقة المربعات الصغرى اللوغاريتمية (Crawford and Williams, 1985) هي طريقة لاشتقاق الأولويات، والتي تحل مسألة الحل الأمثل التالية:

$$\min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j>i}^{n} (lna_{ij} - (lnw_i - lnw_j))^2$$

حلها هو تسوية المتوسط الهندسي لصفوف المصفوفة A

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}} \,, i = 1, \dots, n$$

التحقق من الاتساق: عندما يتم إجراء العديد من المقارنات الثنائية تظهر عادة بعض التناقضات. أحد الأمثلة هو التالي: لنفرض أنه لدينا 3معايير مأخوذة بعين الاعتبار وصانع القرار قيَّمَ المعيار الأول بأنه أهم قليلاً من المعيار الثاني بينما المعيار الثاني أهم قليلاً من المعيار الثالث.

يظهر تناقض واضح إذا قيّم صانع القرار بصورة خاطئة أن المعيار الثالث يساوي أو أكثر أهمية من المعيار الأول. ومن ناحية أخرى. تناقض قليل يظهر إذا قيم صانع القرار المعيار الأول أيضاً بأنه أهم قليلاً من المعيار الثالث. التقييم المتسق والمتناسق يمكن أن يتم مثلاً إذا كان المعيار الأول أكثر أهمية من المعيار الثالث.

وتشتمل طريقة التحليل الهرمي على تقنية فعالة للتحقق من اتساق التقييمات التي أجراها صانع القرار عند بناء كل مصفوفات المقارنة الثنائية المتضمنة في العملية. يتم الحصول على قرينة الاتساق consistency index (CI) عن طريق حساب الرقم القياسي x أولاً كمتوسط لعناصر الشعاع والذي يكون فيه العنصر ذو الترتيب j هو نسبة العنصر ذو الترتيب j من الشعاع A*w للعنصر المقابل من الشعاع w عندها وذلك حسب ما ورد في [9] .

$$CI = \frac{x-m}{m-1}$$

ملاحظة: في التطبيق العملي ولحساب معاملات الاتساق سيتم أخذ القيمة الذاتية λ_{max} بدلاً من القيمة x والتي تعطي قيما مختلفة بعض الشيء لمعاملات الاتساق دون أن تغير في مدى قبول المصفوفة أو رفضها من حيث الاتساق.

صانع القرار المتسق بصورة تامة يجب أن يحصل دائماً على CI = 0 لكن القيم الصغيرة من التناقض "أو عدم الاتساق" قد يمكن أن يتم التسامح معها خاصة إذا $\frac{CI}{RI} < 0.1$ وعليه فإن التناقضات التي يمكن تحملها. ويمكن أن يتوقع معها نتائج موثوقة من طريقة التحليل الهرمي.

في المعادلة السابقة RI هي القرينة العشوائية Random Index. يتم أخذ قيم RI حيث$(m \leq 10)$ من الجدول (2).

الجدول(2): قيم قرينة الاتساق العشوائية (RI) للمسائل الصغيرة

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

المصفوفات A المقابلة للحالات المعتبرة في المثال السابق تظهر أسفله معاً مع تقييمات الاتساق الخاصة بها والمستندة على حسابات قرينة الاتساق. نلاحظ أن الاستنتاجات كما هو متوقع

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \frac{CI}{RI} = 1.15 \Rightarrow \text{متناقض}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \frac{CI}{RI} = 0.118 \Rightarrow \text{قليلاً متناقض}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \frac{CI}{RI} = 0.033 \Rightarrow \text{متسقة}$$

- صناعة القرارات متعددة المعايير من قبل مجموعة من الخبراء:

غالباً ما تؤثر القرارات بشكل عام على مجموعة من الأفراد وليس على شخص محدد ومن هنا تبرز لدينا مشكلة حول كيف لنا أن نجمّع بين تفضيلات مجموعة من الأشخاص لنحصل على خيار جماعي[13] .

الانتقال من صانع قرار وحيد DM إلى صناع قرار DMs يضيف قدرا كبيرا من التعقيد للتحليل. لم تعد المشكلة هي اختيار البديل الأكثر تفضيلاً بين مجموعة غير محدودة من الحلول وفقاً لهيكلية تفضيل الفرد كما هو منصوص عليه في الجزء الأول من هذه الورقة.

بدلاً من ذلك يتم توسيع نطاق التحليل ليشمل التعارضات بين مجموعات المصالح المختلفة. أصحاب المصلحة والمالكون والمديرون وعلماء البيئة والجمهور الذين لديهم أهداف مختلفة أو على عملية المشاركة الجماعية التي يكون للمجموعات فيها مصالح مشتركة.

تشمل عملية صنع القرار الجماعي في إطار المعايير المتعددة: تحليل الأفضليات Preference analysis، نظرية المنفعة Utility theory، نظرية الاختيار الجماعي Social choice theory ونظرية التصويت Theory of voting ونظرية الألعاب Game theory وتحليل تقييم الخبراء Expert evaluation analysis وأساليب أخرى.

مع ذلك، فإن هذه الورقة معنية بطريقة AHP حيث يتم البحث عن تقييم الجماعي للبدائل من خلال الحلول التوفيقية، والتصويت والإجماع أو التجميع: تجميع الأولويات الفردية وتجميع الأحكام الفردية.

في عملية صناعة القرار الجماعي يوجد n معيار وm صانع قرار ومصفوفة المقارنة ذات الأبعاد $n \times n$

$$A^{(K)} = (a_{ij}{}^{(K)})_{n \times n}$$

وشعاع الأولوية الفردي $K = 1, \dots, m$

$w^k = (w_1{}^k, \dots., w_n{}^k)^T$ تعود لكل صانع قرار. و الأهمية ذات الترتيب k لرأي صانع القرار يشار إليها بالرمز a_k من أجل k=1,…,m مع $a_k > 0$ و $\sum_{k=1}^{m} a_k = 1$

شعاع الأولوية الجماعي يشار إليه بـ $w = (w_1, \dots, w_n)^T$

في صناعة القرار الجماعي يستخدم أسلوب المتوسط الحسابي الموزون (WAMM) في تجميع الأولويات الفردية يتم تطبيق طريقة EV للحصول على متجه الأولوية لكل DM يتم تركيب شعاع الأولوية الجماعي بواسطة المتوسط الحسابي الموزون $w_i = \sum_{k=1}^{m} a_k w_i{}^k \ , i = 1, \dots, n$

لتجميع الأحكام الفردية للخبراء ينبغي استخدام طريقة المتوسط الهندسي الموزون(WGMM). وتكون مصفوفة الحكم المعقدة ذات المتوسط الحسابي الموزون $A^{WGM} = \left(a_{ij}{}^{WGM}\right)_{n\times n}$

حيث كل عنصر هو المتوسط الهندسي الموزون للأحكام الفردية للخبراء $a_{ij}{}^{WGM} = \prod_{k=1}^{m} (a_{ij}{}^{(k)})^{a_k}$ تمثل الرأي الجماعي. يتم الحصول على متجه الأولوية الجماعي من A^{WGM} بطريقة EV.

التطبيق العملي:

تعتبر مياه الجفت التي تنتج عن صناعة عصر الزيتون مياه ملوثة وذلك بسبب الحمل العضوي الكبير والمركبات الكيميائية المعقدة فيها الأمر الذي يجعل من الصعوبة بمكان إيجاد طريقة معالجة فعالة تعالج هذه المياه وكان الحل في العديد من الدول المنتجة لزيت الزيتون ومنها سوريا هو توزيع هذه المياه على الأراضي الزراعية بطريقة الري التسميدي الأمر الذي يسمح بالاستفادة من الخصائص العضوية التسميدية لهذه المياه (كغناها بالآزوت والفوسفور والبوتاسيوم) ويحول دون تصريف تراكيز عالية من هذه المغذيات في المجسمات المائية الأمر الذي يؤدي إلى ظاهرة التشبع الغذائي وموت الحياة المائية فيها.

إلى أن عملية توزيع هذه المياه على الأراضي الزراعية تخضع لشروط واعتبارات عديدة نص عليها قرار وزارة الزراعة رقم 190/ت وكذلك قرار الهيئة العامة لشؤون البيئة رقم 119/ن والمرسوم رقم 2680 لعام 1977. منها:

- يمنع توزيع هذه المياه على الأراضي التي تبعد أقل من 1000 متر من مصادر مياه الشرب.
- يمنع توزيع هذه المياه على الأراضي التي تبعد أقل من 500 متر عن مراكز السكن.
- يمنع توزيع هذه المياه على الأراضي ذات منسوب المياه الجوفية بعمق /10/متر (وما دون).
- أراضي المسيل ومجاري الأنهار والينابيع.

وعلية فإن الخبير البيئي سيضع أمامه مجموعة من المعايير والتي سيتم تصنيفها ضمن ثلاث فئات (معايير اقتصادية وبيئية واجتماعية) وهي كالتالي:

معايير اقتصادية:

1- القرب من المعاصر: يرتبط بخفض تكاليف نقل مياه الجفت.

2- القرب من شبكة الطرق العامة: يرتبط بسهولة وخفض تكاليف توزيع مياه الجفت.

3- الميول: وترتبط أيضاً بسهولة وخفض تكاليف التوزيع.

معايير بيئية:

1- البعد عن مجاري الأنهار: يرتبط بحماية الأنهار والمجاري المائية.

2- البعد عن الآبار والينابيع: يرتبط بحماية مصادر مياه الشرب.

3- استعمالات الأراضي: يجب أن تراعي عملية التوزيع استخدامات الأراضي.

4- المياه الجوفية: يجب أن تبقى أعماق المياه الجوفية على عمق كاف يحول دون تسرب هذه المياه إليها.

5- البعد عن الفوالق: لمنع تسرب مياه الجفت للمياه الجوفية

معايير اجتماعية:

1- البعد عن أماكن السكن: لمنع الإزعاج الممكن بسبب الروائح المحتملة والحشرات.

2- البعد عن المواقع الأثرية والمراكز السياحية: أيضاً منعا للإزعاج بسبب الروائح والحشرات.

3- البعد عن دور العبادة: منعا للإزعاج الممكن.

وسيقوم الخبير البيئي بالاستعانة بنظم المعلومات الجغرافية GIS في استخراج خرائط تصنيفية للأراضي وفقا لكل معيار سابق وسيتعين على الخبير لدمج هذه الخرائط مع بعضها البعض في خريطة واحدة هي خريطة ملاءمة الأراضي المطلوبة إعطاء كل معيار وزن تثقيل وفقا لأهمية كل معايير وتأثيره في اتخاذ القرار النهائي ومن هنا تتأتى أهمية طريقة التحليل الهرمي AHP وفيما يلي الخطوات العملية:

1- البناء الهرمي للمسألة:

الهدف: تحديد المواقع المثلى لتوزيع مياه الجفت			
المستوى الأول:	معايير اجتماعية	معايير بيئية	معايير اقتصادية
المستوى الثاني:	البعد عن أماكن السكن	البعد عن مجاري الأنهار	القرب من المعاصر
	البعد عن المواقع الأثرية والمراكز السياحية	البعد عن الآبار والينابيع	القرب من شبكة الطرق العامة
	البعد عن دور العبادة	استخدامات الأراضي	الميول
		المياه الجوفية	
		الفوالق	

النتائج والمناقشة:

1- نبدأ بتحديد أوزان التثقيل لفئات المعايير ضمن المستوى الأول باستخدام طريقة AHP:

نبدأ بتشكيل مصفوفة المقارنة الثنائية: الآن يتعين على الخبير ملء هذه المصفوفة بالاستعانة بمقياس يحول تفضيلات الخبير من عبارات لغوية إلى قيمة عددية كما هو موضح سابقاً فنحصل على المصفوفة التالية:

	معايير اقتصادية	معايير بيئية	معايير اجتماعية
معايير اقتصادية	1	2	4
معايير بيئية	0.5	1	3
معايير اجتماعية	0.25	0.333	1

الآن نقوم بتسوية عناصر المصفوفة وذلك بتقسيم كل عنصر على مجموع العمود الذي يقع فيه

	معايير اقتصادية	معايير بيئية	معايير اجتماعية
معايير اقتصادية	0.571	0.6	0.5
معايير بيئية	0.286	0.3	0.375
معايير اجتماعية	0.143	0.1	0.125
المجموع	1.75	3.333	8

ملاحظة1: القيم العددية في سطر المجموع هي مجموع العناصر في مصفوفة المقارنة الثنائية الأولى أي قبل تسوية العناصر.

ملاحظة2: تم الاكتفاء بعرض ثلاث أرقام بعد الفاصلة.

بعد تسوية العناصر يكون مجموع كل صف في المصفوفة بعد تسويتها (أو بعبارة أخرى يكون المتوسط الحسابي لعناصر كل صف) هو عنصر في شعاع المتجه الذاتي EV وهو يمثل ترتيب الأولويات أو أوزان التثقيل كل معيار وهو المطلوب

	معايير اقتصادية	معايير بيئية	معايير اجتماعية	المتجه الذاتي
معايير اقتصادية	0.571	0.6	0.5	0.557
معايير بيئية	0.286	0.3	0.375	0.320
معايير اجتماعية	0.143	0.1	0.125	0.123
المجموع	1.75	3.333	8	1

حساب معاملات الاتساق: لحساب معاملات الاتساق نحتاج في البداية لحساب المتوسط الحسابي الأعظمي λ_{max} وذلك بضرب مجاميع الأعمدة بعناصر المتجه الذاتي أي

$$\lambda_{max} = 1.75 * 0.5571 + 3.333 * 0.320 + 8 * 0.123 \cong 3.023$$

ومنها نحسب قرينة الاتساق من العلاقة $CI = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1} = \frac{3.023-3}{3-1} \cong 0.012$

حيث أن n هي عدد المعايير في المصفوفة وحسب قيمة n نستخرج قرينة الاتساق العشوائي من الجدول (2) وهي $RCI = 0.58$

أما معدل الاتساق فيحسب كالتالي $CR = \frac{CI}{RCI} = \frac{0.012}{0.58} \cong 0.02 < 0.1$ مقبول

وهكذا نقوم بنفس الخطوات في حساب أوزان تثقيل المعايير ضمن المستوى الثاني

2- حساب أوزان التثقيل في المستوى الثاني:

3-

A- المعايير الاقتصادية

	القرب من المعاصر	القرب من شبكة الطرقات العامة	الميول
القرب من المعاصر	1	3	7
القرب من شبكة الطرقات العامة	0.333	1	4
الميول	0.143	0.250	1

- الحسابات العائدة لمصفوفة المقارنة لحساب المتجه الذاتي

	القرب من المعاصر	القرب من شبكة الطرقات العامة	الميول	المتجه الذاتي
القرب من المعاصر	0.677	0.706	0.583	0.656
القرب من شبكة الطرقات العامة	0.226	0.235	0.333	0.265
الميول	0.097	0.059	0.083	0.08
المجموع	1.476	4.25	12	1

- الحسابات العائدة لمعاملات الاتساق: معدل الاتساق مقبول

CI	0.0244	ymax	3.0489
CR	0.0421	RCI	0.5800

B- المعايير البيئية:

	البعد عن مجاري الأنهار	البعد عن الآبار والينابيع	استعمالات الاراضي	المياه الجوفية	الفوالق
البعد عن مجاري الأنهار	1	2	5	3	7

البعد عن الآبار والينابيع	0.5	1	3	2	5
استعمالات الاراضي	0.2	0.333	1	0.5	2
المياه الجوفية	0.333	0.5	2	1	3
الفوالق	0.143	0.2	0.5	0.333	1

- الحسابات العائدة لمصفوفة المقارنة لحساب المتجه الذاتي

	البعد عن مجاري الأنهار	البعد عن الآبار والينابيع	استعمالات الاراضي	المياه الجوفية	الفوالق	المتجه الذاتي
البعد عن مجاري الأنهار	0.460	0.496	0.435	0.439	0.389	0.444
البعد عن الآبار والينابيع	0.230	0.248	0.261	0.293	0.278	0.262
استعمالات الاراضي	0.092	0.083	0.087	0.073	0.111	0.089
المياه الجوفية	0.153	0.124	0.174	0.146	0.167	0.153
الفوالق	0.066	0.050	0.043	0.049	0.056	0.053
المجموع	2.176	4.033	11.5	6.833	18	1

- الحسابات العائدة لمعاملات الاتساق: معدل الاتساق مقبول

CI	0.0095	Ymax	5.0378
CR	0.0084	RCI	1.12

C- المعايير الاجتماعية:

	البعد عن أماكن السكن	البعد عن المواقع الأثرية والمراكز السياحية	البعد عن دور العبادة
البعد عن أماكن السكن	1	5	8
البعد عن المواقع الأثرية والمراكز السياحية	0.2	1	3
البعد عن دور العبادة	0.125	0.333	1

- الحسابات العائدة لمصفوفة المقارنة لحساب المتجه الذاتي

	البعد عن أماكن السكن	البعد عن المواقع الأثرية والمراكز السياحية	البعد عن دور العبادة	المتجه الذاتي
البعد عن أماكن السكن	0.755	0.789	0.667	0.737
البعد عن المواقع الأثرية والمراكز السياحية	0.151	0.158	0.250	0.186
البعد عن دور العبادة	0.094	0.053	0.083	0.077
المجموع	1.325	6.333	12	1

- الحسابات العائدة لمعاملات الاتساق: معدل الاتساق مقبول

CI	0.039	ymax	3.077
CR	0.067	RCI	0.58

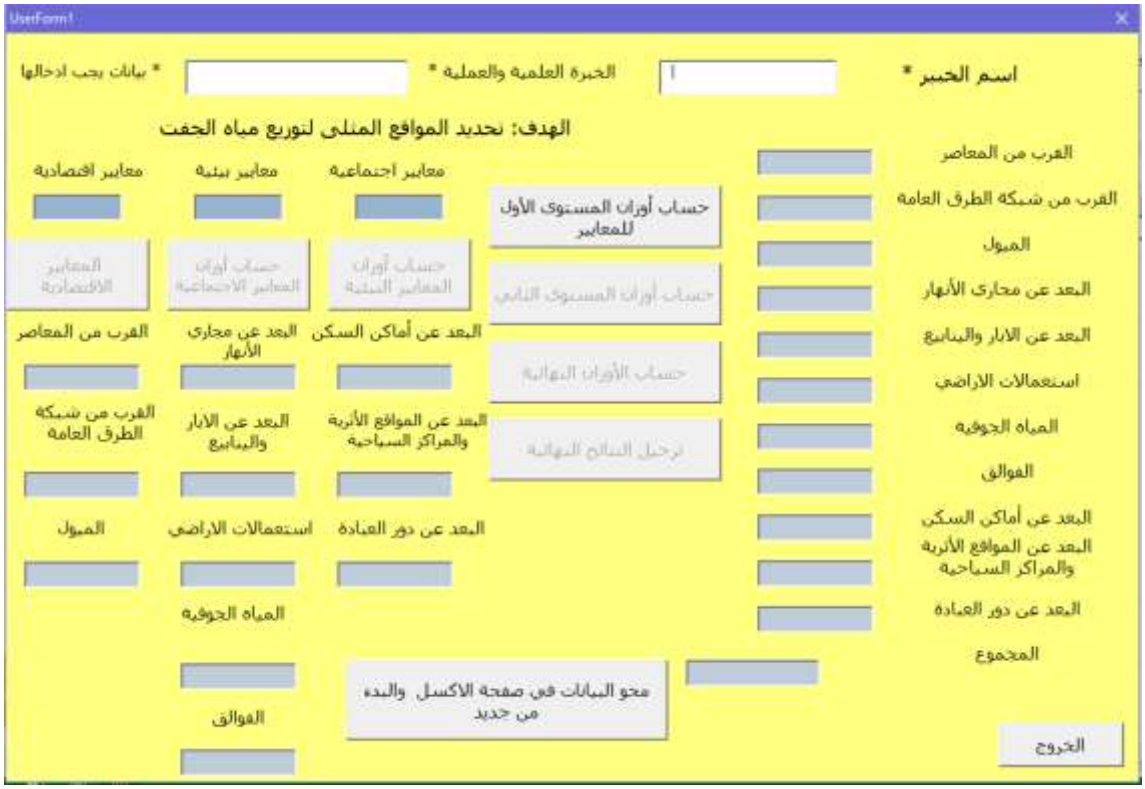
ولحساب أوزان التثقيل النهائية للمعايير نقوم بضرب الوزن الذي حصل عليه المعيار ضمن فئته في المستوى الثاني بوزن الفئة في المستوى الأول وعليه نحصل على الأوزان النهائية التالية:

القرب من المعاصر	0.3652	الميول	0.1475
القرب من شبكة الطرق العامة	0.0444	البعد عن مجاري الأنهار	0.1421
البعد عن الابار والينابيع	0.0838	استعمالات الاراضي	0.0286
المياه الجوفية	0.0489	الفوالق	0.0168
البعد عن أماكن السكن	0.0904	البعد عن دور العبادة	0.0094
البعد عن المواقع الأثرية والمراكز السياحية	0.0228		

وهنا يستطيع الخبير استكمال بناء نموذج ضمن GIS يمكنه من دمج الخرائط التصنيفية للأراضي وفقا للمعايير السابقة للخروج بخريطة ملاءمة الأراضي لتوزيع مياه الجفت وتبين المواقع المثلى لتوزيع مياه الجفت عليها.

لقد تم اشتقاق ترتيب الأولويات بطريقة المتجه الذاتي EV وتم التحقق من اتساق البيانات وتجدر الإشارة إلى أن قيم العناصر التي تحقق معدل اتساق مقبول لا تعني بأن القرارات الناتجة تمثل الحل الصحيح المطلق ولكن 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. لقد تمت برمجة الخطوات السابقة باستخدام واجهات المستخدم Userform بلغة البرمجة VBA وذلك ضمن برنامج الاكسل

Microsoft Excel الأمر الذي يسمح لنا باستبيان آراء مجموعة من الخبراء واشتقاق أوزان التثقيل وفقاً لرأي كل خبير بسرعة وسهولة. الشكل (3) تمثل الواجهة الرئيسية.



الشكل(3) الواجهة الرئيسية

حيث تم إعداد هذه الواجهات وتزويدها بمجموعة من مربعات النص TextBox والتي تسمح للمستخدم بإدخال المعلومات المطلوبة وأيضا بأزرار الأوامر CommandButton والتي تمت برمجتها بحيث تسمح للمستخدم بالانتقال وفق التسلسل ضمن الواجهات وإجراء الحسابات العائدة لطريقة التحليل الهرمي بسهولة ويسر.

إضافة لمربعات النص ضمن الواجهة الرئيسية التي تطلب من المستخدم أو الخبير المستهدف بالاستبيان إدخال اسمه وخبرته العلمية والعملية يوجد أزرار الأوامر ضمنها تسمح بالانتقال إلى الواجهات الأخرى والتي تمثل المقارنات الثنائية ضمن كل مستوى وذلك وفق تسلسل معتمد. ولاحقا تعرض هذه الواجهة نتائج المقارنات الثنائية لكل المستويات وأيضاً الأوزان النهائية.

الشكل(4) واجهة لإحدى المقارنات الثنائية

الواجهة السابقة تعرض أحد المقارنات الثنائية وتحوي على مربعات نص حيث يطلب من المستخدم إدخال قيم لعناصر مصفوفة المقارنة التي تقع فوق القطر الرئيسي. أما باقي المربعات فهي لعرض نتائج التحليل التي يتم إجراؤها باستخدام الأوامر التي تمت برمجتها في أزرار الأوامر وبالتسلسل المعتمد ضمن طريقة التحليل الهرمي.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم حل المسألة السابقة بالاستعانة بصانع قرار وحيد ولكن أغلب القرارات التي ترتبط بمجموعة من الأشخاص كاختيار موقع محطة معالجة أو مطمر صحي.... وغيرها يجب إشراك مجموعة من الخبراء في عملية اتخاذ القرار واتباع أساليب صناعة القرار الجماعي للوصول إلى حل وسط يجمع مختلف الآراء.

توفر الـ AHP طريقة مناسبة لحل مسائل صناعة القرار متعدد المعايير المعقدة ضمن الهندسة. وتجدر الإشارة إلى وجود حزمة برمجية تدعى Expert Choice (1990) والتي أسهمت بشكل واضح في القبول الواسع لطريقة AHP.

مع ذلك، كما أوضحت هذه الورقة مع الأمثلة الإيضاحية لاستخدام طريقة AHP في المسائل الهندسية إلا أن هذا الاستخدام يجب أن يكون استخدام حذر. هنالك أدلة كافية تشير إلى أن التوصيات التي يتم التوصل إليها بطريقة AHP لا ينبغي أن تؤخذ حرفياً. في واقع الأمر، كلما كانت قيم الأولويات النهائية أقرب إلى بعضها البعض، كلما كان على المستخدم أن يكون أكثر حذراً.

ينبغي استخدام طرق MCDM كأدوات لدعم اتخاذ القرار وليس كوسيلة لاستخلاص الجواب النهائي. إيجاد الحل الحقيقي الأفضل لمسألة MCDM قد لا يكون من ضمن الإمكانات البشرية. ولكن ينبغي أن تؤخذ استنتاجات الحل على محمل الجد ونستخدمها فقط كدليل على أفضل إجابة. مع هذا فإن البحث لإيجاد أفضل طريقة AHP يأتي

بأساليب وطرق جديدة لها ولعل أبرزها هو Fuzzy AHP التي تستخدم المنطق الضبابي في تحول العبارات اللغوية إلى أرقام ضبابية من أجل استنتاج الجواب النهائي وربما لن ينتهي البحث لإيجاد أفضل طريقة AHP أبداً، والبحوث في مجال صناعة القرار لاتزال حاسمة وقيّمة جداً في العديد من التطبيقات العلمية والهندسة.

المراجع:

[1] T. SAATY. *A Scaling Method For Priorities In Hierarchical Structures*, Journal of Mathematical Psychology, pp. 15: 57-68, 1977.

[2] T. SAATY. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP*, RWS Publications,Pittsburgh, PA, U.S.A, 1994.

[3] BELTON, V. AND GEAR, T. *On a Short-coming of Saaty's Method of Analytic Hierarchies*, Omega, pp. 228-230, 1983.

[4] 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, p. 717, 2019.

[5] MOHAMMED, HABIBA I AND MAJID, Z AND YAMUSA, YAMUSA B, *GIS based sanitary landfill suitability analysis for sustainable solid waste disposal,* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019.

[6] SAATSAZ, MASOUD AND MONSEF, IMAN AND RAHMANI, MOSTAFA AND GHODS, ABDOLREZA, *Site suitability evaluation of an old operating landfill using AHP and GIS techniques and integrated hydrogeological and geophysical surveys*, Environmental monitoring and assessment, p. 144, 2018.

[7] AKTHER, AFSANA AND AHAMED, TOFAEL AND NOGUCHI, RYOZO AND GENKAWA, TAKUMA AND TAKIGAWA, TOMOHIRO, *Site suitability analysis of biogas digester plant for municipal waste using GIS and multi-criteria analysis,* Asia-Pacific Journal of Regional Science, pp. 61--93, 2019.

[8] عادل عوض، أحمد وزان، ريم منصور ، *استخدام نظام المعلومات الجغرافية GISوطريقة التدرج التحليلي الضبابيةFAHP من أجل اختيار المواقع المناسبة لإقامة محطات معالجة مياه الصرف الصحي في مدينة طرطوس*،" سلسلة العلوم الهندسية Print ISSN: 2079-3081, Online ISSN: 2663-4279، 2016.

[9] T. SAATY, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill International, New York, NY, U.S.A., 1980.

[10] TRIANTAPHYLLOU, E., *A Quadratic Programming Approach in Estimating Similarity Relations,* IEEE Transactions on Fuzzy Systems, pp. 1: 138-145, 1993.

[11] MILLER, G.A., *The Magical Number Seven Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information,* Psychological Review, pp. 63: 81-97, 1956.

[12] WANG, Y.M. AND CHIN, K.S., *A new data envelopment analysis method for priority determination and group decision making in the analytic hierarchy process,* European Journal of Operational Research, pp. Vol. 195, pp. 239-250, 2009.

[13] LIDIJA ZADNIK STIRN, PETRA GROŠELJ, *Multiple Critera Methods With Focus On Analytic Hierarchy Process And Group Decision Making*, Croatian Operational Research Review (CRORR), p. Vol. 1, 2010.

[14] EVANGELOS TRIANTAPHYLLOU, STUART H. MANN, *Using The Analytic Hierarchy Process For Decision Making*, Inter'l Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice, pp. Vol. 2, No. 1, pp. 35-44,, 14 January 1995.

[15] TRIANTAPHYLLOU, E., LOOTSMA, F.A., PARDALOS, P.M., AND MANN, S.H., *On the Evaluation and Application of Different Scales For Quantifying Pairwise Comparisons in Fuzzy Sets*, Multi-Criteria Decision Analysis, pp. 3: 1-23.

[16] CHARNES, A., COOPER, W.W. AND RHODES, E., *Measuring the efficiency of decision making units*, European Journal of Operational Research, pp. Vol. 2, pp. 429-444, 1978.

[17] CRAWFORD, G. AND WILLIAMS, C., *A note on the analysis of subjective judgment matrices*, Journal of Mathematical Psychology, pp. Vol. 29, pp. 387-405, 1985.

[18] DYER, J.S., *Remarks on the Analytic Hierarchy Process*, Management Science, pp. 36: 249-258, 1990.

[19] DYER, J.S., AND WENDELL, R.E., *A Critique of the Analytic Hierarchy Process*, Working Paper. Department of Management, The University of Texas at Austin, Austin, TX., pp. 84/85-4-24, 1985.

[20] SAATY, T.L., *Axiomatic Foundations of the Analytic Hierarchy Process*, Management Science, pp. 32: 841-855, 1983.