

## استخدام التحليل الهرمي في تحديد الأهمية النسبية لبعض المعايير المكانية لتحديد مسار السكة الحديد

أيمن عبد الهادي عبدالموجود  
aymanmawjoud@uomosul.edu.iq

أسيل إبراهيم متي  
aseel.20enp116@student.uomosul.iq

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية - موصل - العراق

تاريخ القبول: 2022-10-17

استلم بصيغته المنقحة: 2022-9-14

تاريخ الاستلام: 2022-7-13

### المخلص

تم في هذه الدراسة تحديد اوزان عدد من المعايير التي تؤثر في اختيار مسار السكة الحديد بين مدينة الموصل ومنطقة فيشخابور على الحدود العراقية - السورية - التركية. هذه المعايير تضمنت ميل الأرض، المصادر المائية، قنوات الري، مسار العوارض الخدمية، استخدامات الأراضي، التأثير البيئي، وقوة تحمل التربة. تم اجراء استبيان لمجموعة من صانعي القرار والمتخصصين والمخططين. تم استخدام تقنية التحليل الهرمي (AHP) المطورة من قبل (Saaty) باستعمال طريقة المقارنة الزوجية بين المعايير تم اختيار هذه الطريقة لسهولة استخدامها ودقتها ووجود برنامج حاسوبي متخصص للقيام بالحسابات الرياضية وعمل دمج لأوزان جميع الاستمارات واستخلاص الوزن النهائي لاختيار المسار. أظهرت الدراسة ان أعلى أهمية نسبية كانت لمعيار المصادر المائية (29.7%) عند نسبة اجماع (57%) يليها معيار ميل الأرض (21.3%) عند نسبة اجماع (49%) وكانت اقل قيمة للأهمية النسبية لمعيار التأثير البيئي بمقدار (6.9%) عند نسبة اجماع بلغت (55%).

### الكلمات الدالة:

عملية التحليل الهرمي، مصفوفة المقارنة الزوجية، التقييم متعدد المعايير، تحديد مسار سكة الحديد.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

<https://renj.mosuljournals.com>

### 1. المقدمة

في كثير من الأحيان يكون من الصعب للغاية تعيين اوزان نسبية للمعايير المختلفة التي ينطوي عليها اتخاذ قرار بشأن مشكلة معينة كأن تكون ملائمة موقع او اختيار أفضل مسار وغيرها لذلك من الضروري اعتماد تقنية تسمح بتقدير الاوزان وهذه التقنية هي عملية التسلسل الهرمي التحليلي (Analytic Hierarchy Process) (AHP) باستخدام هذه التقنية يتم تحويل الاحكام المتعلقة بالمعايير المهمة الى اوزان [1].

تم تطوير عملية التسلسل الهرمي من قبل (Saaty 1980) وهي طريقة رياضية لتحليل القرارات المعقدة بمعايير متعددة يستخدم القرار هياكل هرمية لتمثيل مشكلة القرار كذلك تطوير الاولويات للبدائل بالاعتماد على حكم صانع القرار. أصبحت عملية التسلسل الهرمي التحليلي أكثر شعبية بين الأساليب المتبعة في عملية اتخاذ القرار لما تتميز به من بساطة، الدقة، المتانة، والقدرة على التعامل مع المعايير الملموسة وغير الملموسة. منهجية تطبيق عملية التسلسل الهرمي (AHP) تتضمن ثلاث خطوات تبدأ بتفكيك الهدف العام الى عدد من المعايير الأساسية ثم الى عدد من المعايير الفرعية، الهدف يمثل المستوى الأعلى من التسلسل الهرمي. المستوى الثاني يمثل المعايير الرئيسية من التسلسل الهرمي وتشكل المعايير الفرعية المستوى الثالث [1].

يقوم التحليل الهرمي على ثلاث أسس:

1 - بناء الشكل الهرمي

2 - تحديد الأولويات (الاوزان)

3 - الثبات (عدم التناقض) [2]

عملية التسلسل الهرمي هي نظرية للقياس من خلال المقارنات الزوجية وتعتمد على احكام الخبراء لاشتقاق مقاييس الأولوية. وهي تعتبر من اكثر طرق القرار متعدد المعايير شيوعا (Multi Criteria Decision Making) (MCDM) ولها

العديد من المزايا حيث يمكنها دعم قرارات معقدة ومتشابهة لمعايير غير ملموسة إضافة الى سهولة الاستخدام. [3]

### 2. الدراسات السابقة

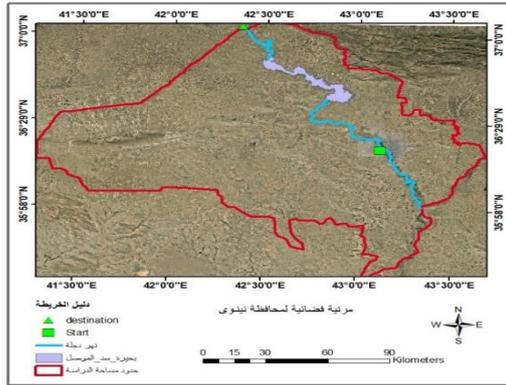
هناك عدد من الدراسات التي تناولت اختيار مسار السكة الحديد بالاعتماد على عملية التسلسل الهرمي التحليلي بالإضافة الى توظيف هذه التقنية في عدة مواضيع أخرى مثل اختيار مسارات للطرق ومسارات الانابيب واختيار المواقع الملائمة. سوف يتم استعراض بعض منها

أولاً: دراسة (Ali A. Darvishsefat, ahad Setoodeh, 2004)

شملت الدراسة اختيار أفضل مسار سكة حديد رشت- انزالي في شمال إيران وتم تحديد المعايير البيئية التي تؤثر على اختيار السكة الحديد كما شملت المنحدرات والجيولوجيا والغطاء الأرضي والتراث الثقافي. ومن اجل تحديد الأهمية النسبية لهذه المعايير تم جمع آراء الخبراء والمدنيين من خلال استبيان تم تصميمه. تم استخدام طريقة المقارنة الزوجية لتحديد وزن المعايير واستخدام عملية التسلسل الهرمي التحليلي لتحديد المسارات المثلى ومقارنتها بالطريقة التقليدية تم استخدام برامج التحليل في هذه الدراسة منها - EXPERTE CHOICE (IDRISI W2- Arcview 3.2) حيث تم ترتيب المعايير حسب الأولوية والأهمية النسبية لكل معيار. أظهرت الدراسة ان تحديد المسار الأمثل بطريقة المقارنة الزوجية افضل من استخدام الطرق التقليدية [4].

ثانياً: دراسة (Ngunyi, Mundia, and Gachari 2017)

اجري بحث اخر للمفاضلة بين المعايير واختيار أفضل مسار للسكة الحديد في كينيا يربط بين مدينتي مومباسا ونيروبي باستخدام التحليل متعدد المعايير وعملية التسلسل الهرمي التحليلي تم عمل تراكب للطبقات باستخدام اوزان ال AHP [5].



الشكل (1): مخطط لمنطقة الدراسة ونقطة البداية والوجهة

### أولاً: طريقة الترتيب (Ranking method)

طريقة بسيطة لحساب أهمية المعايير من خلال ترتيب المعايير (Rank) حسب الأهمية وحسب تفضيلات صانع القرار حيث يعطى للمعيار الأكثر أهمية القيمة (1) ويعطى للمعيار الثاني الأقل أهمية من المعيار الأول القيمة (2) وهكذا بالنسبة لبقية المعايير أو يكون الترتيب عكسي المعيار الأقل أهمية يعطى القيمة (1). هناك عدة طرق للحل واستخراج الأوزان (Rank sum, Rank reciprocal, rank exponent) كلما زاد عدد المعايير تصبح هذه الطريقة أقل ملائمة ويمكن انتقاد هذه الطريقة أيضاً لعدم وجود أساس نظري وتعتبر طريقة تقريبية لحساب الأوزان ويجب على صانع القرار ان يكون دقيق في تفضيل معيار على آخر [8].

### ثانياً: طريقة التصنيف (Rating method)

تتطلب طريقة التصنيف من صانع القرار تقدير الأوزان على أساس مقياس محدد مسبقاً على سبيل المثال باستخدام مقياس من (0) إلى (100) حيث القيمة صفر تشير إلى انه يمكن تجاهل المعيار. يتم تقسيم وزن كل معيار على المعيار الأقل أهمية ذات عدد النقاط الأقل بعدها يتم جمع القيم وتقسيم كل قيمة على المجموع واستخراج الأوزان. يتم انتقاد هذه الطريقة لافتقارها إلى الأساس النظري قد يكون من الصعب على صانع القرار تحديد الوزن المخصص لكل معيار [8].

### ثالثاً: طريقة المقارنة الزوجية (Pairwise comparison method)

تم تطوير طريق المقارنة الزوجية من قبل ( Saaty (1980 في سياق عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP). تتضمن هذه الطريقة مقارنات زوجية لإنشاء مصفوفة النسبة. تدخل المقارنات الزوجية كمدخل وينتج الأوزان النسبية كنتيجة. يتم الاستعانة بصانع القرار والخبراء ليتم الحكم على المعايير وإعطاء الأهمية لكل معيار حسب وجهة نظرهم وخبراتهم. وهناك برنامج حاسوبي يسمى خيار الخبراء (Expert choice) يهدف إلى تسهيل العمليات الحسابية وجعلها في متناول الجميع يقوم بالتفاعل مع مدخلات الشخص وتفضيلاته من أجل اتخاذ القرار.

### رابعاً: طريقة المفاضلة (Trade-off analysis)

تستخدم هذه الطريقة التقييمات المباشرة للمفاضلة بين أزواج من البدائل، هذه الطريقة تسمح لجميع البدائل المفضلة بشكل متساو بالحصول على نفس النتيجة الإجمالية / المنفعة. تتطلب هذه الطريقة مقارنة بين بديلين على سبيل المثال (A) و(B) ولكل بديل معيارين وتحديد ما إذا كان البديل A مفضلاً على البديل B أو البديل B مفضلاً على البديل A أو لا يوجد اختلاف بين البدائل من مساوي هذه الطريقة صعوبتها في التطبيق [8].

### ثالثاً: دراسة (Nataraj,2005)

كما قام الباحث (Nataraj,2005) باختيار مسار خط انابيب البترول باتباع طريقة التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process) (AHP) وقام بتوضيح عدة أهداف والتي شملت عمق المياه، حالة الأرض والنمو السكاني. أما المستوى الثاني من الأهداف تمثل بطول خط الانابيب، قابلية التشغيل، قابلية الصيانة، وسهولة الوصول. كل هذه العوامل لها عوامل فرعية والتي تم تضمينها في التحليل والتي شملت التقليل من الاضرار البيئية، ضمان الوصول، وتجنب المناطق ذات الكثافة السكانية العالية. كما قام بتكوين مصفوفة المقارنة الزوجية للتعبير عن القيم النسبية [6].

### رابعاً: دراسة (Brunner et al., 2011)

اعتمد الباحثون (Brunner et al., 2011) في دراستهم لاختيار أفضل مسار لسكة حديد في منطقة هونولولو هاواي - الولايات المتحدة على عدة عوامل الكثافة السكانية، موقع العمل، استخدامات الأراضي ومواقع الأنشطة التجارية وغيرها من الأنشطة العامة. اعتمدت هذه الدراسة على التسلسل الهرمي التحليلي مع أنظمة المعلومات الجغرافية. قدمت هذه الدراسة نهج يسمح بالتعاون مع الخبراء وأعضاء المجتمع مما يمكن الخبراء من ان يلعبوا دوراً مهماً في تقديم الخرائط للمسارات البديلة والبيانات الداعمة ويمكن لأعضاء المجتمع المشاركة بنشاط اختيار البديل الأفضل مما يؤدي إلى تحسين النتائج.

### 3. أساليب تحديد الأوزان

هناك عدة أساليب لحساب اوزان المعايير المعتمدة لتحديد مسار السكة الحديد بين مدينة الموصل ومنطقة فيشخابور والموضحة في الشكل (1) الغرض من هذه الأساليب التعبير عن أهمية كل معيار بالنسبة للمعيار الأخرى. بعض الأساليب الأكثر شعبية لحساب الأوزان هي طريقة الترتيب، طريقة التصنيف، طريقة المقارنة الزوجية، وطريقة تحليل المفاضلة وهذه الطرق تختلف من حيث الدقة ودرجة سهولة الاستخدام ودرجة الفهم من جانب صانع القرار وفي الأساس النظري ومن حيث توافر برامج الكمبيوتر والطريقة التي يمكن بها دمجهم في قرار متعدد المعايير قائم على نظم المعلومات الجغرافية [8].

القرار متعدد المعايير يتضمن مجموعة من المعايير التي تتباين في درجة الأهمية بالاعتماد على صانع القرار. والتالي المعلومات حول الأهمية النسبية للمعايير مطلوبة وعادة يمكن تحقيقها من خلال إيجاد الوزن لكل معيار واشتقاق الأوزان هي خطوة رئيسية في استنباط تفضيلات صانع القرار. يمكن تعريف الوزن بأنه القيمة المخصصة لتقييم المعيار الذي يشير إلى أهميته بالنسبة إلى المعايير الأخرى قيد الدراسة. كلما زاد الوزن زادت أهمية المعيار مجموع الأوزان للمعايير يجب ان تساوي (1) في حال n من المعايير. تعرف مجموعة الأوزان كالتالي:

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n) \dots$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \dots$$

مقارنة أكثر من سبعة أشياء (زائد أو ناقص واحد) وهذا هو السبب لاختيار (Saaty) الرقم (9) كحد أقصى لمقياسه والرقم (1) كحد أدنى لمقياسه [2]. يتم الحكم على المعايير من خلال مجموعة من الخبراء والمختصين حسب وجهة نظرهم وخبرتهم. يحدد المقياس الأهمية النسبية لكل معيار عند مقارنته مع معيار آخر كلما زاد قيمة العدد المعطى للمعيار أثناء التقييم زادت قيمة المعيار.

جدول (1): الأهمية للحكم بين المعايير المقترح من قبل Saaty [9]

| التعريف                       | شدة الأهمية | معكوس القيم (أقل أهمية) |
|-------------------------------|-------------|-------------------------|
| أهمية متساوية                 | 1           | 1                       |
| أهمية متساوية إلى معتدلة      | 2           | 1/2                     |
| أهمية معتدلة                  | 3           | 1/3                     |
| أهمية معتدلة إلى قوية         | 4           | 1/4                     |
| أهمية قوية                    | 5           | 1/5                     |
| أهمية قوية إلى قوية جدا       | 6           | 1/6                     |
| أهمية قوية جدا                | 7           | 1/7                     |
| أهمية قوية جدا إلى أهمية قصوى | 8           | 1/8                     |
| أهمية قصوى                    | 9           | 1/9                     |

#### 4. المقارنة بين طرق حساب الأوزان

تختلف أساليب المقارنة بين طرق حساب الأوزان في عدة نواحي مهمة كما يمكن اختيار الطريقة المناسبة من خلال المفاضلة التي يرغب بها المرء حسب صفات كل طريقة. إذا كانت ميزة سهولة الاستخدام والتكلفة والوقت المتضمنة في إنشاء مجموعة المعايير هي الاهتمامات الرئيسية يجب تطبيق طريقة التصنيف أو طريقة الترتيب. أما إذا كانت الدقة والاسس النظرية هي الاهتمامات الرئيسية يجب اختيار طريقة المقارنة الزوجية أو طريقة المفاضلة حيث تعتبر هذه الطرق الأكثر ملائمة. تشير التطبيقات التجريبية إلى أن طريقة المقارنة الزوجية هي واحدة من أكثر التقنيات فعالة لاتخاذ القرار المكاني وبناء على تجربة أجريت أظهرت أن طريقة المقارنة الزوجية أفضل من طريقة المفاضلة من حيث الوقت. في هذه الدراسة تم الاعتماد على طريقة المقارنة الزوجية نظرا لدقتها وسهولة استخدامها ووجود برامج قائمة على هذه الطريقة [8].

#### 5. منهجية عملية التسلسل التحليلي الهرمي

تتمثل الخطوة الأولى لبناء نموذج التحليل الهرمي في تحديد المعايير التي سيتم استخدامها والمتمثلة في هذه الدراسة بميل الأرض، المصادر المائية، قنوات الري، مسار العوارض الخدمية، استخدامات الأراضي/الغطاء الأرضي، التأثير البيئي، وقوة تحمل التربة. يبدأ تطبيق التحليل الهرمي بالمشكلة أو الهدف والمتمثل باختيار أفضل مسار للسكة الحديدية ويتحلل هذا الهدف إلى تسلسل هرمي والمتمثل بترتيب المعايير ليسهل المقارنة بينها وتحليلها بعد القيام بعملية بناء الهيكل الهرمي للمعايير. يمكن لصانعي القرار من الخبراء تقييم البدائل بشكل منهجي عن طريق إجراء مقارنات زوجية بين المعايير لمعرفة مدى أهمية كل معيار بالنسبة لمعيار آخر ومدى تأثيره على تحديد المسار الأمثل.

#### 6. مقياس المقارنة الزوجية

مقياس الأهمية النسبية بين معيارين اقترحتها (Saaty). حيث يتم المقارنة بين المعايير من خلال تكوين مصفوفة المقارنة الزوجية وترتيب المعايير وإعطاء قيم للمفاضلة بين المعايير تتمثل بالأرقام التالية (1-2-3-4-5-6-7-8-9-1/2-1/3-1/4-1/5-1/6-1/7-1/8-1/9) وحسب أهمية كل معيار والموضحة في الجدول (1). على اعتبار أن الأرقام تعطي تفاوت أعمق مما تقدم الالفاظ حيث أن هذه الأرقام ليست أرقام اعتباطية إنما تم اشتقاقها بدقة باستخدام نظرية التحفيز والاستجابة في علم النفس حيث أظهرت التجارب أن الناس غير قادرين على الاختيار من مجموعة لا نهائية وأنه يمكن للأفراد

7. حساب الأهمية النسبية للمعايير  
تتمثل الخطوة الأولى في حساب الأوزان بتكوين مصفوفة المقارنة الزوجية ليسهل على الخبراء وذوي الاختصاص الحكم على المعايير.

| العوامل | A               | B               | C               |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
| A       | a <sub>11</sub> | a <sub>12</sub> | a <sub>13</sub> |
| B       | a <sub>21</sub> | a <sub>22</sub> | a <sub>23</sub> |
| C       | a <sub>31</sub> | a <sub>32</sub> | a <sub>33</sub> |

A, B, C: تمثل المعايير المعتمدة في الدراسة

a<sub>ij</sub>: تمثل مقاييس المقارنة بين المعايير

عند مقارنة المعيار A مع نفسه يأخذ القيمة 1 أي أهمية متساوية وبذلك تكون عناصر القطر لهذه المصفوفة تساوي 1 لأنه يمثل مقارنة المعيار مع نفسه وعند مقارنة المعيار A في العمود الأول مع المعيار B في الصف الأول يتم وضع عدد صحيح من (1-9) إذا كان المعيار A في العمود الأول أكثر أهمية من المعيار B في الصف الأول حسب رأي أصحاب القرار وبالاعتماد على جدول الأهمية النسبية للمقارنة بين المعايير أما إذا كان المعيار A في العمود الأول أقل أهمية من المعيار B في الصف الأول يتم وضع عدد كسري (1/2، 1/3، 1/4، 1/5، 1/6، 1/7، 1/8، 1/9) يتم عكس القيم للمعايير في أسفل القطر أي أن العناصر أسفل القطر مقلوب القيم لأعلى القطر.

بعد الحصول على آراء صناع القرار وتشكيل المصفوفة نقوم بالخطوة الثانية وهي جمع وزن كل عمود من أعمدة المصفوفة

$$\left. \begin{aligned} \sum \text{coloum1} &= a_{11} + a_{21} + a_{31} \dots\dots\dots \\ \sum \text{coloum2} &= a_{12} + a_{22} + a_{32} \dots\dots\dots 2 \\ \sum \text{coloum n} &= a_{1j} + a_{2j} + \dots + a_{ij} \dots\dots \end{aligned} \right\}$$

الخطوة الثالثة: تتمثل بقسمة قيمة كل رقم في العمود على مجموع العمود

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum \text{coloum}} \dots\dots 3$$

| العوامل | A               | B               | C               |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
| A       | b <sub>11</sub> | b <sub>12</sub> | b <sub>13</sub> |
| B       | b <sub>21</sub> | b <sub>22</sub> | b <sub>23</sub> |
| C       | b <sub>31</sub> | b <sub>32</sub> | b <sub>33</sub> |

وحساب معامل الاتساق (Consistency Index) وحساب نسبة الاتساق (Consistency Ratio) بالاعتماد على قيمة معامل العشوائية (Random index) الموضح في الجدول (2). حيث يتم اختيار قيمة معامل العشوائية حسب عدد المعايير المعتمدة ويجب ان تكون نسبة الاتساق اقل من (10%) لكي يكون القرار متسقاً والمعايير مترابطة مع بعضها. ان من المهم في مشكلات صانع القرار معرفة مقدار الثبات لأننا لا نريد ان ننهي قراراً ضعيفاً يجعل الاحكام تظهر وكأنها عشوائية حيث ان هناك ضرورة لدرجة معينة من الثبات في حساب الأولويات للعناصر بناء على معيار معين من اجل الحصول على نتائج مقبولة في الواقع.

الخطوة الرابعة: نقوم بجمع كل صف من صفوف المصفوفة

$$\left. \begin{aligned} \sum \text{Row 1} &= b_{11} + b_{12} + b_{13} + \dots \\ \sum \text{Row 2} &= b_{21} + b_{22} + b_{23} + \dots + 4 \\ \sum \text{Row n} &= b_{i1} + b_{i2} + \dots + b_{ij} + \dots \end{aligned} \right\}$$

الخطوة الخامسة: نقوم بقسمة مجموع الصف على عدد المعايير (n)

$$W_{ij} = \frac{\text{Row } ij}{n} \dots \dots 5$$

الخطوة السادسة: حساب نسبة الاتساق (الثبات) للمعايير ايان تكون المعايير خالية من التناقض، حيث يعتبر التحقق من جودة التقييمات التي اجراها صانعو القرار جانب مهم لكي يكون القرار أكثر ملائمة يجب ان يكون متسقاً ومتماسكاً مع النتائج. ان يتم حساب عدم التناقض رياضياً من خلال إيجاد قيمة (Lambda λ) جدول (2): دليل العشوائية (Random index) مع عدد المعايير. [2].

| Number of Criteria | 1    | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|--------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Random Index       | 0.00 | 0.00 | 0.58 | 0.9 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 |

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{21} \\ w_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} aw_{11} \\ aw_{21} \\ aw_{31} \end{bmatrix}$$

expert choice)) برنامج نظام الخبراء نتيجة لكثرة العناصر الداخلة في المصفوفات والتي تمثل مشاكل معقدة حيث تم الاستعانة بالبرنامج الخاص بالنموذج لحساب اوزان المعايير ونسبة الاتساق لكل استثمار وبعدها تم عمل دمج للاستثمارات (combined) للحصول على الاوزان النهائية وحساب نسبة الاتساق للأوزان النهائية. شكل (2) يوضح الاوزان النهائية للمعايير بالاعتماد على برنامج نظام الخبراء مرتبة حسب الأهمية النسبية لكل معيار الناتجة من عملية دمج الاوزان لجميع الاستثمارات الداخلة في الاستبيان. تم استبعاد الاستثمارات ذات نسبة اتساق أكبر من (0.1)، تم اختبار النتائج احصائياً ضمن فترة ثقة (99) (Confidence interval) لمعرفة درجة التطابق حيث تم اهمال النتائج غير المنطقية التي لا تقع ضمن الحد الأعلى والادنى عند درجة الثقة المحددة.

### 9. تحليل الاستثمارات

تم تحليل احدى الاستثمارات لصانع القرار يدويا وتم حساب أهمية كل معيار مع نسبة الاتساق ولصعوبة تحليل كل الاستثمارات يدويا تمت الاستعانة ببرنامج نظام الخبراء لتحليل بقية النتائج. جدول (3) يبين مصفوفة المقارنة الزوجية لحد أصحاب القرار، بينما جدول (4) يوضح طريقة حساب اوزان المعايير من مصفوفة المقارنة الزوجية، كذلك جدول (5) يوضح حساب نسبة الاتساق.

$$\left. \begin{aligned} av_{11} &= \frac{1}{w_{11}} [aw_{11} + aw_{21} + aw_{31}] \dots \dots \\ av_{21} &= \frac{1}{w_{21}} [aw_{21} + aw_{22} + aw_{23}] \dots \dots \\ av_{31} &= \frac{1}{w_{31}} [aw_{31} + aw_{32} + aw_{33}] \dots \dots \end{aligned} \right\} 6$$

لحساب قيمة (λ) ومعامل الاتساق (CI) ونسبة الاتساق (CR)

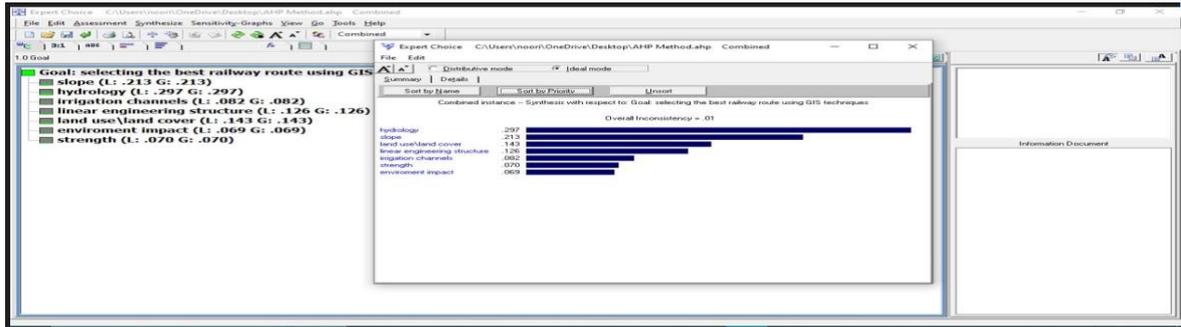
$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n av}{n} \dots \dots 7$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \dots \dots 8$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots \dots 9$$

### 8. عملية الاستبيان

تمت عملية تحديد الاوزان للمعايير من خلال عملية الاستبيان لمجموعة من المختصين والخبراء للحكم على المعايير. تم اجراء الاستبيان للمهندسين في الشركة العامة للسكك الحديدية ولمجموعة أخرى من المهندسين والمخططين ذوي الخبرة في هذا المجال. تم القيام بتحليل النتائج عن طريق برنامج حاسوبي



الشكل (2): الأهمية النسبية للمعايير المحسوبة بالاعتماد على برنامج ال EXPERT CHOICE.

جدول (3): مصفوفة المقارنة الزوجية لأحد أصحاب القرار

| المعايير             | STEP 2    |                 |            |                      |                   |                |                 | الأوزان                                               |
|----------------------|-----------|-----------------|------------|----------------------|-------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
|                      | ميل الأرض | المصادر المائية | قنوات الري | مسار العوارض الخدمية | استخدامات الأراضي | التأثير البيئي | قوة تحمل التربة |                                                       |
| ميل الأرض            | 0.321     | 0.358           | 0.313      | 0.367                | 0.313             | 0.218          | 0.192           | $(0.321+0.358+0.313+0.367+0.313+0.218+0.192)/7=0.298$ |
| المصادر المائية      | 0.160     | 0.179           | 0.209      | 0.183                | 0.209             | 0.164          | 0.154           | $(0.160+0.179+0.209+0.183+0.209+0.164+0.154)/7=0.180$ |
| قنوات الري           | 0.107     | 0.090           | 0.104      | 0.092                | 0.104             | 0.164          | 0.154           | $(0.107+0.090+0.104+0.092+0.104+0.164+0.154)/7=0.116$ |
| مسار العوارض الخدمية | 0.160     | 0.179           | 0.209      | 0.183                | 0.209             | 0.218          | 0.192           | $(0.160+0.179+0.209+0.183+0.209+0.218+0.192)/7=0.193$ |
| استخدامات الأراضي    | 0.107     | 0.090           | 0.104      | 0.092                | 0.104             | 0.164          | 0.154           | $(0.107+0.090+0.104+0.092+0.104+0.164+0.154)/7=0.116$ |
| التأثير البيئي       | 0.080     | 0.060           | 0.035      | 0.046                | 0.035             | 0.055          | 0.115           | $(0.080+0.060+0.035+0.046+0.035+0.055+0.115)/7=0.061$ |
| قوة تحمل التربة      | 0.064     | 0.045           | 0.026      | 0.037                | 0.026             | 0.018          | 0.038           | $(0.064+0.045+0.026+0.037+0.026+0.018+0.038)/7=0.036$ |
| مجموع الأعمدة        | 1.000     | 1.000           | 1.000      | 1.000                | 1.000             | 1.000          | 1.000           | 1.000                                                 |

جدول (4): حساب اوزان المعايير من مصفوفة المقارنة الزوجية

| المعايير             | STEP 1    |                 |            |                      |                   |                |                 |
|----------------------|-----------|-----------------|------------|----------------------|-------------------|----------------|-----------------|
|                      | ميل الارض | المصادر المائية | قنوات الري | مسار العوارض الخدمية | استخدامات الاراضي | التأثير البيئي | قوة تحمل التربة |
| ميل الارض            | 1         | 2               | 3          | 2                    | 3                 | 4              | 5               |
| المصادر المائية      | 0.5       | 1               | 2          | 1                    | 2                 | 3              | 4               |
| قنوات الري           | 0.333     | 0.5             | 1          | 0.5                  | 1                 | 3              | 4               |
| مسار العوارض الخدمية | 0.5       | 1               | 2          | 1                    | 2                 | 4              | 5               |
| استخدامات الاراضي    | 0.333     | 0.5             | 1          | 0.5                  | 1                 | 3              | 4               |
| التأثير البيئي       | 0.25      | 0.333           | 0.333      | 0.25                 | 0.333             | 1              | 3               |
| قوة تحمل التربة      | 0.2       | 0.25            | 0.25       | 0.2                  | 0.25              | 0.333          | 1               |
| مجموع الاعمدة        | 3.116     | 5.583           | 9.583      | 5.45                 | 9.583             | 18.333         | 26              |

جدول (5): حساب نسبة الاتساق

| المعايير             | STEP 1                                                                                | STEP 2                |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| ميل الارض            | $(0.298*1+0.180*2+0.116*3+0.193*2+0.116*3+0.061*4+0.036*5) = 2.166$                   | $2.166/0.298 = 7.279$ |
| المصادر المائية      | $(0.298*0.5+0.180*1+0.116*2+0.193*1+0.116*2+0.061*3+0.036*4) = 1.314$                 | $1.314/0.180 = 7.314$ |
| قنوات الري           | $(0.298*0.333+0.180*0.5+0.116*1+0.193*0.5+0.116*1+0.061*3+0.036*4) = 0.846$           | $0.846/0.116 = 7.270$ |
| مسار العوارض الخدمية | $(0.298*0.5+0.180*1+0.116*2+0.193*1+0.116*2+0.061*4+0.036*5) = 1.412$                 | $1.412/0.193 = 7.314$ |
| استخدامات الاراضي    | $(0.298*0.333+0.180*0.5+0.116*1+0.193*0.5+0.116*1+0.061*3+0.036*4) = 0.846$           | $0.846/0.116 = 7.270$ |
| التأثير البيئي       | $(0.298*0.25+0.180*0.333+0.116*0.333+0.193*0.25+0.116*0.333+0.061*1+0.036*3) = 0.430$ | $0.430/0.061 = 7.075$ |
| قوة تحمل التربة      | $(0.298*0.2+0.180*0.25+0.116*0.25+0.193*0.2+0.116*0.25+0.061*0.333+0.036*1) = 0.258$  | $0.258/0.036 = 7.091$ |

$$\lambda = \frac{7.279 + 7.314 + 7.270 + 7.314 + 7.270 + 7.075 + 7.091}{7} = 7.230$$

من المعادلة (8) تم حساب نسبة الاتساق (CI)

$$CI = \frac{7.230 - 7}{7 - 1} = 0.038$$

ومن المعادلة (9) والجدول (2) تم حساب قيمة نسبة الاتساق (CR)

$$CR = \frac{0.038}{1.32} = 0.029 < 0.1$$

قيمة نسبة الاتساق اقل من (0.1) لذا تعتبر هذه الاستثمارة مقبولة والقرار متنسق والمعايير مترابطة مع بعضها.

#### 10. نتائج التحليل باستخدام برنامج ال (EXPERT CHOICE)

تم تحليل نتائج بقیة الاستثمارات وإيجاد الأوزان ونسب الاتساق بالاعتماد على برنامج خيار الخبراء. يوضح الجدول (6) نتائج اوزان المعايير لأصحاب القرار مع قيم الانحراف المعياري للعينات بينما الجدول (7) يوضح صافي العينة من عملية الاستبيان للقرار.

جدول (6): نتائج اوزان المعايير لأصحاب القرار وقيم الانحراف المعياري ونسبة التوافق

| الاستثمارات | ميل الارض | المصادر المائية | قنوات الري | المسارات العوارض الخطية | استخدامات الاراضي | التأثير البيئي | قوة تحمل التربة | نسبة الاتساق |
|-------------|-----------|-----------------|------------|-------------------------|-------------------|----------------|-----------------|--------------|
| 1           | 0.194     | 0.173           | 0.126      | 0.205                   | 0.131             | 0.083          | 0.088           | 0.0931       |
| 2           | 0.218     | 0.288           | 0.053      | 0.152                   | 0.159             | 0.07           | 0.06            | 0.0756       |
| 3           | 0.202     | 0.181           | 0.198      | 0.134                   | 0.107             | 0.105          | 0.074           | 0.0870       |
| 4*          | 0.249     | 0.238           | 0.179      | 0.14                    | 0.082             | 0.078          | 0.035           | 0.7316       |
| 5*          | 0.467     | 0.194           | 0.05       | 0.129                   | 0.095             | 0.043          | 0.022           | 0.1506       |
| 6           | 0.299     | 0.181           | 0.116      | 0.194                   | 0.116             | 0.059          | 0.036           | 0.0282       |
| 7           | 0.084     | 0.235           | 0.089      | 0.107                   | 0.147             | 0.156          | 0.183           | 0.0697       |
| 8           | 0.142     | 0.209           | 0.166      | 0.146                   | 0.07              | 0.148          | 0.119           | 0.0944       |
| 9*          | 0.324     | 0.202           | 0.05       | 0.107                   | 0.132             | 0.086          | 0.098           | 0.4750       |
| 10          | 0.224     | 0.324           | 0.08       | 0.112                   | 0.133             | 0.079          | 0.047           | 0.0803       |
| 11          | 0.144     | 0.33            | 0.047      | 0.058                   | 0.322             | 0.039          | 0.061           | 0.0760       |
| 12          | 0.216     | 0.284           | 0.106      | 0.099                   | 0.152             | 0.065          | 0.077           | 0.0658       |
| 13          | 0.217     | 0.344           | 0.107      | 0.106                   | 0.099             | 0.058          | 0.068           | 0.0944       |
| 14          | 0.215     | 0.275           | 0.069      | 0.133                   | 0.181             | 0.05           | 0.077           | 0.0856       |
| 15          | 0.295     | 0.319           | 0.07       | 0.099                   | 0.147             | 0.036          | 0.034           | 0.0877       |
| 16          | 0.253     | 0.317           | 0.076      | 0.116                   | 0.159             | 0.047          | 0.032           | 0.0924       |
| 17          | 0.2       | 0.341           | 0.036      | 0.151                   | 0.155             | 0.038          | 0.08            | 0.0843       |

|                               |        |        |        |        |        |        |       |        |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 18                            | 0.206  | 0.262  | 0.047  | 0.206  | 0.155  | 0.06   | 0.064 | 0.0858 |
| 19                            | 0.191  | 0.41   | 0.07   | 0.077  | 0.094  | 0.08   | 0.077 | 0.0892 |
| 20                            | 0.224  | 0.281  | 0.049  | 0.192  | 0.121  | 0.069  | 0.063 | 0.0633 |
| 21                            | 0.265  | 0.279  | 0.044  | 0.129  | 0.155  | 0.065  | 0.063 | 0.0786 |
| 22                            | 0.21   | 0.282  | 0.07   | 0.117  | 0.153  | 0.062  | 0.105 | 0.0866 |
| 23                            | 0.221  | 0.263  | 0.127  | 0.111  | 0.178  | 0.032  | 0.068 | 0.0737 |
| 24                            | 0.246  | 0.296  | 0.083  | 0.113  | 0.113  | 0.074  | 0.076 | 0.0685 |
| 25*                           | 0.218  | 0.335  | 0.14   | 0.078  | 0.101  | 0.063  | 0.065 | 0.4650 |
| 26                            | 0.317  | 0.222  | 0.074  | 0.063  | 0.203  | 0.069  | 0.051 | 0.0728 |
| 27                            | 0.066  | 0.271  | 0.228  | 0.167  | 0.205  | 0.031  | 0.033 | 0.0272 |
| 28                            | 0.274  | 0.293  | 0.042  | 0.13   | 0.144  | 0.064  | 0.052 | 0.0831 |
| 29                            | 0.222  | 0.281  | 0.06   | 0.128  | 0.211  | 0.037  | 0.062 | 0.0899 |
| 30                            | 0.225  | 0.289  | 0.12   | 0.123  | 0.127  | 0.054  | 0.062 | 0.0826 |
| 31                            | 0.311  | 0.28   | 0.067  | 0.09   | 0.112  | 0.07   | 0.071 | 0.0605 |
| 32                            | 0.198  | 0.289  | 0.092  | 0.133  | 0.155  | 0.068  | 0.064 | 0.0925 |
| 33                            | 0.211  | 0.291  | 0.063  | 0.122  | 0.157  | 0.078  | 0.078 | 0.0510 |
| 34                            | 0.246  | 0.273  | 0.071  | 0.127  | 0.152  | 0.067  | 0.063 | 0.0899 |
| 35                            | 0.246  | 0.297  | 0.073  | 0.121  | 0.128  | 0.079  | 0.061 | 0.0745 |
| 36                            | 0.217  | 0.277  | 0.059  | 0.151  | 0.156  | 0.061  | 0.08  | 0.0804 |
| 37                            | 0.145  | 0.349  | 0.059  | 0.182  | 0.074  | 0.079  | 0.074 | 0.0846 |
| 38                            | 0.214  | 0.294  | 0.103  | 0.092  | 0.16   | 0.075  | 0.063 | 0.0888 |
| 39                            | 0.296  | 0.286  | 0.076  | 0.115  | 0.093  | 0.0666 | 0.067 | 0.0338 |
| 40                            | 0.145  | 0.279  | 0.118  | 0.122  | 0.109  | 0.098  | 0.129 | 0.0894 |
| 41                            | 0.21   | 0.287  | 0.084  | 0.11   | 0.137  | 0.092  | 0.079 | 0.0808 |
| 42                            | 0.213  | 0.285  | 0.082  | 0.123  | 0.13   | 0.073  | 0.095 | 0.0893 |
| 43                            | 0.123  | 0.293  | 0.078  | 0.11   | 0.195  | 0.072  | 0.129 | 0.0915 |
| 44                            | 0.273  | 0.284  | 0.117  | 0.074  | 0.115  | 0.072  | 0.066 | 0.0639 |
| 45                            | 0.19   | 0.285  | 0.07   | 0.093  | 0.193  | 0.119  | 0.05  | 0.0947 |
| 46                            | 0.199  | 0.289  | 0.078  | 0.164  | 0.135  | 0.063  | 0.073 | 0.0941 |
| 47                            | 0.025  | 0.572  | 0.044  | 0.083  | 0.111  | 0.066  | 0.098 | 0.0912 |
| Combined(Relative importance) | 0.213  | 0.297  | 0.082  | 0.126  | 0.143  | 0.069  | 0.07  | 0.0129 |
| Average                       | 21.00  | 28.93  | 8.57   | 12.51  | 14.53  | 7.04   | 7.33  | 100    |
| St.dv                         | 6.16   | 6.22   | 3.97   | 3.56   | 4.34   | 2.59   | 2.79  | -----  |
| a                             | 23.453 | 31.400 | 10.153 | 13.925 | 16.256 | 8.070  | 8.440 | -----  |
| b                             | 18.557 | 26.460 | 6.995  | 11.098 | 12.809 | 6.016  | 6.221 | -----  |
| نسبة التوافق                  | 49%    | 57%    | 40%    | 38%    | 47%    | 55%    | 57%   | -----  |

\*: تم اهمال الاستمارة لان نسبة الاتساق أكبر من 0.1

جدول (7): صافي العينة من أصحاب القرار.

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| عدد المقيمين من أصحاب القرار      | 47    |
| عدد المقيمين خارج الحدود (CR>0.1) | 4     |
| صافي العينة                       | 43    |
| نسبة القرار السليم                | 91.5% |

لتحديد درجة التطابق لكل معيار من المعايير السبعة تم اعتماد فترة ثقة (99%) (Confidence interval)، جدول (8) يوضح أهمية المعايير مع درجة التطابق لكل معيار.

جدول (8): أهمية المعايير مع درجة التطابق ضمن فترة ثقة (99%).

| قوة تحمل التربة         | التأثير البيئي | استخدامات الأراضي | مسار العوارض الخدمية | قنوات الري | المصادر المائية | ميل الأرض |
|-------------------------|----------------|-------------------|----------------------|------------|-----------------|-----------|
| 7%                      | 6.9%           | 14.3%             | 12.6%                | 8.2%       | 29.7%           | 21.3%     |
| عدد المطابقين من أصل 47 | 26             | 22                | 18                   | 19         | 27              | 23        |
| نسبة التطابق            | 55%            | 47%               | 38%                  | 40%        | 57%             | 49%       |

in Engineering Applications: Some Challenges,” *The International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, vol. 2, pp. 35–44, 02 1995.

- [3] M. Velasquez and P. Hester, “An analysis of multi-criteria decision making methods,” *Int. J. Oper. Res.*, vol. 10, no. 2, pp. 56–66, 2013.
- [4] A. A. Darvishsefan, A. Setoodeh, and M. Makhdum, “Environmental consideration in railway route selection with GIS (Case study: Rasht-Anzali railway in Iran),” *Map Asia*, pp. 1–12, 2004.
- [5] J. Ngunyi, C. N. Mundia, and M. K. Gachari, “Analysis of Standard Gauge Railway Using GIS and Remote Sensing,” *Am. J. Geogr. Inf. Syst.*, vol. 6, no. 2, pp. 54–63, 2017, doi: 10.5923/j.ajgis.20170602.02.
- [6] S. Nataraj, “Analytic Hierarchy Process As a Decision-Support,” *Inf. Syst.*, vol. VI, no. 2, pp. 16–21, 2005.
- [7] I. M. Brunner, K. Kim, and E. Yamashita, “Analytic hierarchy process and geographic information systems to identify optimal transit alignments,” *Transp. Res. Rec.*, no. 2215, pp. 59–66, 2011, doi: 10.3141/2215-06.
- [8] J. Malczewski, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Canada.: John Wiley & Sons, Inc, 1999.
- [9] T. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw\_Hill, New York, 1980.

### 11. الاستنتاجات والتوصيات

من خلال نتائج هذه الدراسة يمكن التوصل الى الاستنتاجات والتوصيات التالية:

- 1- أظهرت نتائج الاستبيان ان الأهمية النسبية للمعايير المعتمدة في تحديد مسار السكة الحديد وهي ميل الأرض، المصادر المائية، قنوات الري، مسار العوارض الخدمية، استخدامات الأراضي، التأثير البيئي، قوة تحمل التربة كانت متفاوتة. اعلى أهمية نسبية كانت للمصادر المائية والتي بلغت (29.7%) عند درجة تطابق (57%) يليها الميل بقيمة مقدارها (21.3%) عند درجة تطابق (49%) مما يظهر التأثير الكبير لهذين المعيارين في اختيار مسار السكة بينما كانت اقل قيمة للأهمية النسبية لمعيار التأثير البيئي بقيمة 6.9% عند درجة تطابق (55%) مما يدل على قلة تأثير هذا العامل حسب آراء الخبراء في اختيار المسار.
- 2- بلغت قيمة الأهمية النسبية لبقية المعايير قنوات الري، مسار العوارض الخدمية، استخدامات الأراضي، قوة تحمل التربة (8.2%)، (12.6%)، (14.3%)، (6.9%) على التوالي.
- 3- هناك أهمية واضحة باستخدام برنامج ال (CHOICE) EXPERT في حساب الأوزان وفي عملية دمج الأوزان للحصول على القيم النهائية لأوزان المعايير وتسهيل العمليات الرياضية وجعلها في متناول الجميع .
- توصي الدراسة باستخدام طريقة المقارنة الزوجية في تحديد أهمية المعايير في تحديد المسارات مع إمكانية استخدام الطرق الأخرى في تحديد اوزان المعايير واجراء المقارنة بينهم لكي يتم اتخاذ القرار الصائب من قبل أصحاب القرار في تحديد أهمية المعايير الداخلة والتي تعتبر الأساس في اختيار المسار.

### 11-المصادر

- [1] T. T. Duc, “Using GIS and AHP Technique for Land-Use Suitability Analysis,” *Int. Symp. Geoinformatics Spat. Infrastruct. Dev. Earth Allied Sci.*, 2006.
- [2] E. Triantaphyllou and S. Mann, “Using the Analytic Hierarchy Process for Decision Making

## Using the Analytic Hierarchical Process in Determining the Relative Importance of some Spatial Criteria to Locate Railway Track

Aseel Ibrahim Matti

[aseel.20enp116@student.uomosul.iq](mailto:aseel.20enp116@student.uomosul.iq)

Ayman A. Abdulmawjoud

[aymanmawjoud@uomosul.edu.iq](mailto:aymanmawjoud@uomosul.edu.iq)

Civil Engineering Department, Collage of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq

Received: 2022-7-13

Received in revised form: 2022-9-14

Accepted: 2022-10-17

### **ABSTRACT**

*In this study, the weights of a number of criteria that affect the selection of the railway track between Mosul and Fishkhabur on the Iraqi- Syrian- Turkish border are determined. These criteria include ground slope, water resources, irrigation canals, infrastructure services routes, land use, environmental impact, and soil bearing strength. A questionnaire is conducted for a group of decision makers, specialists and planners. The Analytic Hierarchical Process (AHP) technology developed by Saaty is implemented by using pairwise comparison among the criteria. This method is chosen due to its ease, accuracy and the existence of a specialized computer program to perform the mathematical calculations, incorporating weights for all forms, and extracting the final weight for choosing the path. The study shows that the water resources criterion of (29.7%) at a consensus rate of (57%) gets the highest relative importance followed by the ground slope criterion (21.3%) at a consensus of (49%). The environmental impact criterion of (6.9%) at a consensus rate of (53%) gets the lowest value of the relative importance.*

### **Keywords:**

*Analytical Hierarchy Process (AHP), Pairwise Comparison, Multi-Criteria Evaluation, Locating railway track.*