

## استخدام تقنيات صنع القرار وتصميم التجارب الإحصائية في التنبؤ بآثار العوامل العشوائية على تنفيذ خطة مشروع التشييد

د. نزار نعمان إسماعيل، مدرس

قسم الهندسة المدنية

د. سالم عبد الله صالح، استاذ مساعد

قسم الهندسة الميكانيكية

جامعة تكريت

### الخلاصة

لقد تسارع تطوير واستخدام تقنية صنع القرار ومنها عملية التدرج التحليلية AHP ذات الوثوقية العالية في حل معظم المسائل ذات الطبيعة غير المؤكدة وتلبية متطلباتها العملية، مما مكنها من الاستخدام في عدد من التطبيقات الهندسية والإدارية. وتعتبر تقنية تصميم التجارب الإحصائية من المفاتيح الأساسية للتعامل مع البيانات العشوائية. تلك السمات المهمة لهاتين التقنيتين تمكنا من الجمع بينهما في سيناريو ملائم للتنبؤ باحتمالات ونسب العوامل العشوائية وتحديد مدى تأثيرها في تأخير مدة تنفيذ مشروع معين.

من خلال هذا البحث تم التحقق والتوصل إلى إمكانية استخدام هاتين التقنيتين في استنباط التأثير المتبادل بين كل من العوامل العشوائية، التي أثبتت وجود ارتباط قوي جدا فيما بينها حيث كان معامل الارتباط بينها مساويا للقيمة (1)، وبناء النماذج الرياضية التي تحكم تلك التأثيرات من خلال استخدام التحليلات الإحصائية للتباين Anova والانحدار الخطي المتعدد للتوصل إلى النماذج الرياضية ذات الدقة الكبيرة من خلال فحصها بمعايير  $R^2$  و F اللذين أعطيا نتائج ( $R^2=1, F \geq 1.18E+32$ )، وقد استخدمت تلك النماذج في بناء سيناريو للتنبؤ بالتوقعات المحتملة لتصرف تلك العوامل خلال أشهر السنة ومعالجتها وتجنب تأثيراتها العشوائية على تنفيذ المشروع وانجازه بالوقت المخطط.

الكلمات الدالة: عملية التدرج التحليلية، تصميم التجارب الإحصائية، العوامل العشوائية، خطة تشييد المشروع

### *Using the Techniques of Decision-Making and Statistical Experiments Design in Prediction of the Random Factors Impacts on Implementation of Construction Project Plan*

#### Abstract

Accelerated development and use of decision-making technology, including the analytical hierarchy process (AHP) which has a high reliability to solve most of the uncertainty problems and meet their practical requirements, which enabled it to be used in a number of engineering and administrative applications. Statistical design of experiments technology is considered essential keys to deal with random data. Their important features enables us to combine them in a appropriate scenario to predict the prospects and rates of random factors and determine the extent of their impact on the delay for the implementation of a project.

This research was verify and reach the possibility of using these two techniques in the development of mutual influence between each of random factors, a very high correlation has been proved among such factors, where the correlation coefficient between them is equal to the value (1), a mathematical models that govern random factors effects was built by using of Statistical analysis of variance (Anova) and multiple linear regression to find mathematical models that found to be had a high resolution through  $R^2$  and F tests which gave ( $R^2 = 1$ ,  $F > = 1.18E +32$ ) results. These models are used to build a scenario to predict the expectations of potential for the disposal of these factors during the annual monthly plan, and treatment to avoid random effects on the implementation of the project and the planned completion time.

**Keywords:** Analytical hierarchy process AHP, statistical design of experiments DOE, random factors, construction project plan.

وفي قطاع الصناعة وإدارة الموارد فقد تسارع تطوير واستخدام تقنية صنع القرار ومنها عملية التدرج التحليلية التي وضعها العالم <sup>[4]</sup>Saaty، وطورت لتصبح بشكلها النهائي في عام 1992<sup>[5,6]</sup> وتكون ذات وثوقية عالية في حل اغلب المسائل ذات الطبيعة غير المؤكدة وتلبية متطلباتها العملية، فقد استخدمت في تحليل مشاكل تصميم المكائن إلى وحدات اصغر ووضع الأوزان المعيارية لتلك الوحدات ثم وضع المراتب المناسبة لها وصولاً إلى الحلول المختلفة لتلك المعايير الأمر الذي يؤدي إلى الوصول إلى التصميم الأمثل<sup>[7]</sup>. وفي جانب إدارة الموارد فقد تم استخدامها كوسيلة لتحليل بيئة نهر هاي في الصين وبناء نظام حاسوبي لتخطيط موارد ذلك النهر<sup>[8]</sup>، كذلك تم استخدامها في بناء نموذج تأهيل مسبق للمكاتب الاستشارية الهندسية للمشاريع الحكومية السعودية<sup>[9]</sup>.

من جانب آخر تعتبر تقنية تصميم التجارب الإحصائية من المفاتيح الأساسية للتعامل مع البيانات العشوائية والتي تقع ضمنها كل العوامل ذات الطبيعة

## المقدمة

يواجه مديرو التخطيط والتشييد عموماً تحديات كثيرة للوصول إلى نتائج ناجحة للمشروع، ذلك بسبب الطبيعة المعقدة وغير المؤكدة لبيئة المشروع، وتعدد العوامل التي تؤدي إلى إحداث تغييرات غير متوقعة تكون نتائجها المؤكدة حدوث تأخير زمني في التنفيذ وارتفاع كلفة المشروع.

يلجأ الباحثون عادة إلى تحليل مختلف العوامل المؤثرة، ومحاولة بناء نماذج رياضية قد تساعد في التنبؤ المسبق بالتأثير المحتمل لهذه العوامل.

لقد انتشر مؤخراً تطوير واستخدام تقنيات النماذج غير المؤكدة ذات الطبيعة الاحتمالية في القطاعات الإدارية والصناعية والتي يقع ضمنها قطاعي التشييد والإنتاج، ففي قطاع التشييد فقد تسارع استخدام تقنيات المنطق الضبابي (Fuzzy)، حيث استخدم تارة كوسيلة تقييم مناسبة لاختيار المقاول الأكفأ لتنفيذ احد المشروعات<sup>[1]</sup> واستخدم تارة أخرى للتنبؤ بارتفاع كلفة تصميم المشروعات الهندسية<sup>[2]</sup>، واستخدم كذلك للتنبؤ بالزيادة المحتملة لمدة تنفيذ المشروع عن المدة المقدرة في الظروف الطبيعية<sup>[3]</sup>.

القوية، أو الانخفاض الكبير في درجات الحرارة الأمر الذي يمنع العمال من تنفيذ أعمالهم.

ب- غير المباشر والذي يظهر من خلال انخفاض إنتاجية العمال، بسبب انخفاض درجات الحرارة، زيادة سرعة الرياح، أو زخات المطر الخفيفة.... الخ.

وقد بينت الدراسات الإحصائية السابقة والمعتمدة في هذا البحث<sup>[3]</sup>، إن نسبة توقفات العمل الناجمة عن الظروف الجوية قد وصلت إلى 93% في بعض الأشهر، الأمر الذي يفرض على مهندس المشروع اخذ ذلك بالاعتبار عند إعداد الخطة الزمنية اللازمة لتنفيذ المشروع.

2- غياب العمال، ويعود لأحد الأسباب التالية:

أ- بعد موقع المشروع عن أماكن التجمع السكني للعمال، يكون ذو تأثير مباشر في تأخر انجاز فعاليات المشروع.

ب- الجهد الفيزيائي العضلي للوصول إلى موقع المشروع، يكون ذو تأثير غير مباشر.

ت- حالات المرض الطارئة التي تعيق العامل من انجاز عمله.

ث- شيوع غياب العمال غير المهرة والشباب منهم عن المشروع، نتيجة لظروفهم المختلفة والمتقلبة، وقد ارتبطت زيادة نسبة الغياب مع بدء الموسم الزراعي<sup>[3]</sup> لانشغال هذه الفئة من العمال بأعمالهم الزراعية الخاصة وتناقص نسبيا في فصلي الربيع والصيف.

غير المؤكدة، فقد استخدمت تلك التقنية في تحليل الأضرار البيئية الناتجة من تراكم القمامة ووضع الأساليب المناسبة للاستفادة منها في صناعة إعادة التدوير<sup>[10]</sup>، كذلك فقد استخدمت تلك التقنية في تحليل الخطأ للوظائف ثنائية وثلاثية الأبعاد للمتغيرات العشوائية وتطبيقها على معالج مواقع الإنسان الآلي وتصحيحها خلال مساره<sup>[11]</sup>.

يقدم هذا البحث بسيناريو مطور للربط بين تقنيتي صنع القرار وتصميم التجارب الإحصائية واستخدامهما في التحليل المنفرد والجمعي للبيانات المتيسرة عن العوامل العشوائية التي تواجه تنفيذ مشروع إنشائي معين. استخدام تلك التحليلات في استنباط التأثير المتبادل بين كل من العوامل العشوائية وبيان النموذج الرياضي الذي يحكم ذلك التأثير واستخدامه للتنبؤ بالتوقعات المحتملة لتصرف تلك العوامل لمعالجتها وتجنب تأثيراتها العشوائية على تنفيذ المشروع وانجازه بالوقت المخطط.

### العوامل العشوائية المؤثرة على مدة تنفيذ المشروع الهندسي

يواجه مدير المشروع ( المهندس المقيم ) خلال فترة تنفيذ المشروع العديد من العوامل العشوائية ذات التأثير المباشر وغير المباشر في عملية التنفيذ، وقد اقتصر هذا البحث على دراسة تأثير العوامل التالية:

1- الطقس والظروف الجوية: ويكون تأثيره على نوعين:

أ- مباشر من خلال إيقاف عملية التنفيذ بصورة كلية أو جزئية، بسبب هطول الأمطار، أو تأثير الرياح

والجدول رقم (1) يوضح متوسط نسب التعطل خلال أشهر السنوات (1999-2003) والناجمة عن العوامل العشوائية المعنية بالدراسة<sup>[3]</sup>.

### عملية التدرج التحليلية في صنع القرار

يستخدم صنع القرار عدة تقنيات، منها عملية التدرج التحليلية (Analytic Hierarchy Process (AHP) والتي تتألف من الخطوات المتعاقبة التالية<sup>[6,7]</sup>:  
تكوين القرار

يتم في هذه الخطوة تقرير الحالة اعتماداً على التعبير الواصف للمسألة، حيث تمثل المستوى الأول لجدول الحل والذي يمكن تجزئته لاحقاً إلى عدة مراحل اعتماداً على المعايير المتعلقة به، فالمعايير العشوائية تمثل المستوى الأول للجدول، وهذه المعايير العشوائية يمكن تحليلها وتفكيكها إلى عناصر المستوى الثاني الذي يمثل المعايير (غياب العمال، تعطل الآليات، والظروف الجوية) ذات التأثير في تعطل وتأخير عملية تنفيذ فعاليات المشروع. وإن استوجب تحليل كل من عناصر المستوى الثاني إلى عناصره من المستوى الثالث فمثلاً تعطيل الآليات يتألف مستواه الثالث من (بسبب الآلية ذاتها، غياب سائقها، دخولها الصيانة... الخ) وهكذا لباقي العناصر إن استوجب التحليل إلى المستويات الأدنى، ولأغراض الجانب التطبيقي في هذا البحث سنكتفي بالمستويين الأول والثاني، وكما موضح في الشكل رقم (1).

تستوجب عملية التدرج التحليلية AHP توزيع الاهتمام على جميع المستويات بالتساوي وعدم التحيز بأي قدر لأي منها، هذه الخاصية لتقنية AHP تسمح بصنع القرارات ذات المستويات والترتيبات المختلفة بحيث يأخذ كل مستوى منها وزنه حسب قيمته من

ج- الظروف الأمنية الطارئة التي تفرض تقييد حركة العمال في مناطق السكن وموقع المشروع.

3- تعطل آليات البناء: يؤثر تعطل بعض المعدات والآليات في الأعمال الإنشائية بشكل كبير على مدة التنفيذ، نظراً للاستخدام الكثيف للمكنة في أعمال التشييد في السنوات الأخيرة، ويعود تعطل آليات البناء إلى الأسباب التالية:

أ- قدم المعدات المستخدمة،

ب- عدم إجراء الصيانة الدورية والمستمرة لها فضلاً عن الاستخدام السيئ للآليات من قبل سائقيها،  
ت- عوامل تتعلق بالآلية نفسها، وقد تصل نسبة تعطل الآليات في بعض الأشهر إلى 40%<sup>[3]</sup>.

يحاول هذا البحث تحليل هذه العوامل منفردة ومجمعة من خلال استخدام تقنيتي صنع القرار وتصميم التجارب الإحصائية بغية معرفة التأثير المحتمل لها على مدة تنفيذ المشروع .

### بيانات العوامل العشوائية المدروسة

يختلف تأثير العوامل المدروسة على مدة تنفيذ المشروع باختلاف الفعاليات المكونة له، فقد يكون لبعض الآليات تأثير كبير على بعض فعاليات المشروع، في الوقت الذي يتضاءل أو يندمج تأثيرها على فعاليات أخرى لنفس المشروع، الأمر الذي يتعلق بملائمة استخدام الآلية في هذه الفعالية أو تلك. وكذلك قد يختلف تأثير غياب العمال حسب نوع المهن التي يتقونها، أما تأثير الظروف الجوية فقد يكون تأثيرها معدوماً في بعض الفعاليات والأشهر ويتناقص أو يزداد هذا التأثير باختلاف الفعاليات والفصول أيضاً.

نحصل على الوزن النسبي الطبيعي للمشكلة بذاتها وكما موضح في الجدول رقم (4).  
والطريقة المعتمدة تحقق تماسك وثبات القرارات ومصفوفتها بمعيار دليل الثباتية ( CI ) الذي يعتمده متخذ القرار<sup>[12]</sup>، حيث يساعده بالتعرف على الأخطاء المحتملة بقراراته، وهذا المعيار قد تم حسابه وفقا للعلاقة التالية<sup>(4)</sup>:

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \dots\dots\dots(2)$$

حيث أن:

$\lambda_{\max}$  يمثل القيمة الذاتية العظمى ( Max EigenValue).

n يمثل حجم المصفوفة المتماثلة، لذلك فإن المصفوفة ذات الثباتية الكاملة يكون فيها  $(\lambda_{\max} - n = 0)$  ، وكلما اقترب دليل الثباتية ( CI ) من 0 ( $\rightarrow$ ) تكون المصفوفة ذات ثباتية أعلى.

ولحساب القيمة الذاتية العظمى  $\lambda_{\max}$  تؤخذ القيم من الجدولين (3، 4)

$$\lambda_{\max} = 8.872 \times 0.113 + 2.272 \times 0.44 + 2.236 \times 0.447 = 3.0017$$

بذلك تعطينا العلاقة (2) دليل الثباتية  $(CI = 0.0017/2 = 0.00085)$ ، والثباتية يمكن حسابها من خلال معدل الثباتية ( Consistency Ratio CR ) أو تدعى معدل اللاتباتية ( Inconsistency Ratio IR ) واللذان يقيسان اللاتباتية من خلال العلاقة التالية:

$$\text{Consistency Ratio, (CR) or Inconsistency Ratio, (IR) = CI/RI}$$

الكل، يتم ذلك من خلال وضع كل عامل (معيار) في موقعه المناسب ضمن مصفوفة جدول الحل. بذلك تكون مصفوفة المستوى الثاني للعوامل العشوائية المؤثرة في خطة تنفيذ المشروع مصفوفة ثلاثية وكما موضح بالجدول رقم (2).

#### وزن الأهمية للقرار

يتم في هذه الخطوة إجراء عملية المقارنة لأوزان الأهمية بين العوامل (المعايير) العشوائية وعلى كلا المحورين للمصفوفة، يتم دائما مقارنة العامل في المحور الأفقي مع العامل المناظر من المحور العمودي فعامل نسبة غياب العمال يمتلك نفس وزن الأهمية عند مقارنته مع نفسه لذلك يتم وضع الرقم (1) في خلية الزاوية اليمنى العليا من المصفوفة واعتمادا على استخدام المعادلة رقم (1) التالية.

$$w_{j,k} = \frac{a_{l,k}}{a_{l,j}} \dots\dots(1)$$

حيث إن (a) يمثل حصة العامل من قيم المجموع في الجدول رقم (1)، لذلك يكون (w) وزن أهمية العامل، حيث يكون وزن أهمية عامل غياب العمال عند مقارنته مع ذاته (  $1=94/94$  ) أما عند مقارنته مع الظروف الجوية سيكون وزن أهميته (  $0.256=367/94$  ) وهكذا لباقي العوامل العشوائية لنحصل على مصفوفة وزن الأهمية للعوامل العشوائية للمستوى الثاني وكما موضحة في الجدول رقم (3).

ولأجل الحكم على رصانة القرار، يستوجب منا تحويل أوزان أهمية العوامل إلى أوزان نسبية لكل من العوامل العشوائية، يتم ذلك من خلال قسمة كل خلية من الجدول رقم (3) على مجموع عمودها وبذلك

### تحليل التباين Anova

تم إجراء اختبارات تحليل التباين بالاتجاه والاتجاهين على البيانات المعتمدة بشكلها الفعلية والمتوقعة تحت الفرضيات التالية :

فرضية العدم :  $H_0$

1- عدم وجود اختلاف في تأثير معدل نسب العوامل التي تحدث خلال أشهر السنة،

2- عدم وجود تأثير لأشهر السنة على نسب العوامل.

الفرضية البديلة:  $H_1$

1- وجود اختلاف في تأثير معدل نسب العوامل التي تحدث خلال أشهر السنة،

2- وجود تأثير لأشهر السنة على نسب العوامل.

وباستخدام برنامج Microsoft Excel فقد أظهرت النتائج التي تم إجمالها في الجدول رقم (7) ما يأتي:

1- بالنسبة للاختبار أحادي الاتجاه رفض فرضية العدم  $H_0$  وقبول الفرضية البديلة  $H_1$  ، وذلك لكون  $(F_{est} > F_{crit})$ ، لوجود فرق واختلاف بين تأثير العوامل العشوائية خلال أشهر السنة لكل من البيانات الفعلية والمولدة بطريقة AHP .

2- بالنسبة للاختبار بالاتجاهين تبين وجود اختلاف بنتائج الاختبار لكل من نوعي البيانات، وكالاتي:

أ- بالنسبة للبيانات الفعلية، أظهرت الاختبارات قبول فرضية العدم  $H_{01}$  لتساوي تأثير العوامل العشوائية خلال أشهر السنة، وذلك لكون  $(F_{est} < F_{crit})$ ، ورفض فرضية العدم  $H_{02}$  وقبول البديلة  $H_{12}$  لوجود تأثير لأشهر السنة على نسب واحتمالية حدوث العوامل العشوائية، وذلك لكون  $(F_{est} > F_{crit})$ .

حيث ان (Random Index RI) تم جمعه بالجدول رقم (5) من قبل البروفسور ساتي<sup>(12)</sup>. وتكون ثابتية المصفوفة مقبولة عندما يكون  $(0.10 < CR=CI/RI)$ <sup>(4)</sup>. بذلك ينتج لدينا  $(CR=0.00085/0.58=0.001466)$  وهو اقل بكثير من  $(0.10)$  لذلك فان مصفوفة القرارات تكون ذات ثباتية عالية جدا، حينما أعطت العوامل العشوائية وزنها المناسب من القرارات والتي سيتم اعتمادها في حساب متوسط تلك العوامل العشوائية خلال أشهر السنة والتي يمكن إجمالها في الجدول رقم (6).

### تصميم التجارب الإحصائية

تتخصص قواعد تصميم التجارب في محورين أولهما تحديد أهداف الدراسة الإحصائية والتي تتمثل في هذا البحث ببيان تأثير العوامل العشوائية ومنها (غياب العمال، عطل وتوقف المكائن، الطقس) على خطة تنفيذ المشروع، والثاني اختيار الطريقة الإحصائية المناسبة لعرض وتحليل البيانات ومنها تحليل التباين بنوعيه الأحادي والمتعدد (باتجاه وبتجاهين) . فمن خلال عملية التدرج التحليلية لاحظنا إن أسبقية تأثير تلك العوامل يقع ضمن التسلسل (توقف الآليات، الظروف الجوية أو الطقس، وغياب العمال) وكما موضح بالجدول رقم (6)، هذا التسلسل اعتمد إحصائيا لأجل تحديد نسبة تأثير كل من تلك العوامل في تلك العمل ومقارنة تلك النسب مع النسب الفعلية الناتجة عن البيانات مما يظهر هذا التأثير في المخططين الموضحين في الشكل رقم (2).

1- النموذج B2 والذي يمثل علاقة الانحدار الخطي لتأثير عامل غياب العمال مستندا على عاملي الطقس والآليات حسب البيانات المولدة بطريقة AHP ليكون نموذجها الخطي وفق العلاقة الآتية:

$$LAB_{AHP} = -1.776E - 15 + 0.252 * MACH_{AHP} \dots\dots\dots(3)$$

2- النموذج A2 وتمثله علاقة الانحدار الخطي لتأثير عامل تعطيل الآليات مستندا على عامل الطقس حسب البيانات المولدة بطريقة AHP ليكون نموذجها الخطي وفق العلاقة الآتية:

$$MACH_{AHP} = 1.42E - 14 + 1.0164 * WETHR_{AHP} \dots\dots\dots(A2)$$

3- وأخيرا النموذج B1 بين غياب العمال وبين باقي العوامل للبيانات الحقيقية، وتمثله علاقة الانحدار الخطي الآتية:

$$LAB = 8.4 + 0.1233 * ID(Month) + 0.06247 * WATR - 0.1055 * MACH \dots\dots\dots(B1)$$

ولأجل زيادة الوثوقية بالنماذج الرياضية التي تمثل علاقة تلك العوامل بعامل الطقس فقد تم إعادة فحص نماذج الانحدار المتعدد باستخدام برنامج IBM SPSS الذي حقق تطابق النتائج بالنموذجين ( B1 ; A1) واختلافها اختلافا بسيطا بالنموذجين (B2; A2) وكما موضح بالجدول رقم (10)، ومنها تصبح النماذج بالشكل الآتي:

$$LAB_{AHP} = 0.005 + 0.252 * MACH_{AHP} \dots\dots(B2')$$

$$MACH_{AHP} = 0.007 + 5.110E - 005 * ID(month) + 1.016 WATHR_{AHP} \dots(A2')$$

ب- بالنسبة للبيانات المولدة بطريقة AHP ، فقد أظهرت الاختبارات رفض فرضيتي العدم ( $H_{01}, H_{02}$ ) وقبول الفرضيتين البديلتين ( $H_{11}, H_{12}$ ) لوجود اختلاف بتأثير العوامل العشوائية خلال أشهر السنة ولوجود تأثير للأشهر على نسب واحتمالية حدوث العوامل العشوائية، وذلك لكون ( $F_{est} > F_{crit}$ ) لكل من الحالتين.

### الانحدار الخطي المتعدد Multiple Regression

لكون حالات الطقس لا يمكن التحكم فيها وتكون مستقلة وتخمن قيمها بالتوقعات الاستباقية من محطات الأنواء الجوية، عليه يمكن أخذها الأساس الذي تتبعه باقي العوامل العشوائية، حيث تم إجراء الانحدار الخطي المعروف على كل من البيانات الفعلية والمولدة بطريقة AHP باستخدام برنامج الإكسل نفسه بالاستناد على هذه الفرضية وظهرت النتائج التي تم إجمالها بالجدول رقم (8).

ولأجل التوثق من قوة العلاقة بين هذه العوامل لكل البيانات تم اختبار الارتباط بينها وإجمال معاملات الارتباط في الجدول رقم (9)، والذي يظهر إن عامل الطقس ذو تأثير قوي جدا على العوامل الأخرى وذلك لكون عامل الارتباط بينها يساوي 1 في البيانات المولدة بطريقة AHP .

من خلال النتائج الموضحة بالجدول رقم (8) يتضح لنا انه بالإمكان ترتيب نماذج الانحدار الخطي المقبولة حسب معياري  $R^2$  و Fest بالتسلسل الآتي:

$$LAB_{AHP} \% = (0.005 + 0.252 * 0.581324 \\ * 100) / 100 = 0.146544$$

5- نستخدم العلاقتين  $C_1$  ,  $C_2$  لإيجاد النسب اللازمة لتنفيذ الخطة والتعويض عن النقص في الخطة لتكون

$$PlanLAB_{new} = (1 + 0.146544) * 100 \\ = 114.6544$$

$$PlanMACH_{new} = (1 + 0.581324) * 100 \\ = 158.1324$$

#### الاستنتاجات

من خلال البحث تم التحقق والتوصل من إمكانية استخدام تقنية عملية التدرج التحليلية في صنع القرار AHP وتصميم التجارب الإحصائية في التحليل المنفرد والجمعي للبيانات المتيسرة عن العوامل العشوائية التي تواجه تنفيذ مشروع إنشائي معين. حيث استخدمت تلك التقنيات في استنباط التأثير المتبادل بين كل من العوامل العشوائية وبناء النماذج الرياضية التي تحكم تلك التأثيرات واستخدام تلك النماذج للتنبؤ بالتوقعات المحتملة لتصرف تلك العوامل ومعالجتها وتجنب تأثيراتها العشوائية على تنفيذ المشروع وإنجازه بالوقت المخطط.

#### المصادر

1- Van Uu Nguyen, M. " Tender evaluation by fuzzy sets", J. Construction engineering and management, ASCE, Vol. 111, No. 3, 1985, PP. 231-243.

$$LAB = 8.40032 + 0.1233 * id(Month) + 0.062 \\ 47 * WETHR - 0.10549 * MACH \dots\dots(B1')$$

#### خطة التعويض للتنفيذ السليم

1- معرفة احتمالية توقعات الطقس ( $WETHR_{AHP}$ ) من الأنواء الجوية لشهر معين،

2- استخدام العلاقتين

$$MACH_{AHP} \% = (0.007 + 5.11E - 5 * \\ ID(Month) + 1.016 * WETHR_{AHP}) / 100 \\ \dots\dots\dots(A2') \\ LAB_{AHP} \% = (0.005 + 0.252 * MACH_{AHP} \% \\ * 100) / 100 \dots\dots\dots(B2')$$

على التوالي لغرض احتساب النسب المحتملة

لعطل المعدات والعمال بالعلاقات الآتية:

$$PlanLAB_{new} = (1 + LAB_{AHP} \% ) \\ * PlanLAB_{AHP} \% \dots\dots\dots(C1) \\ PlanMACH_{new} = (1 + MACH_{AHP} \% ) \\ * PlanMACH_{AHP} \% \dots\dots\dots(C2)$$

وبذلك نكون قد عوضنا عن نسب العطل المحتملة والتي قد تؤدي إلى التلكؤ في تنفيذ خطة انجاز المشروع.

#### مثال

لنأخذ خطة الشهر الأول ( id=1 ) ونفرض أن

1- معطيات الأنواء الجوية إن النسبة المعطلة للظروف الجوية هي  $WETHR_{AHP} = 57.21$

2- الخطة لكل من العمال والآليات هي 100%

3- نستخدم العلاقة  $A_2'$  لاحتساب احتمال عطل الآليات  $MACH_{AHP}$

$$MACH_{AHP} \% = (0.007 + 5.11E - 5 * \\ 1 + 1.016 * 57.21) / 100 = 0.581324$$

4- نستخدم العلاقة  $B_2'$  لاحتساب احتمال عطل

العمال  $LAB_{AHP}$



الحكومية"، رسالة ماجستير هندسة مدنية، جامعة الملك سعود ، 1426 هج (2005 م).

10- الشويح، فؤاد محمد، " تقليل الأضرار البيئية الناتجة من تراكم القمامة في أمانة العاصمة، صنعاء ومدى الاستفادة من إعادة تدويرها"، 2008

11- Kotulski Z. A., Szczepinsid W., " Error Analysis with Applications in Engineering", Springer , 1<sup>st</sup> ed., 2010.

12- Seng, L. H. , " The selection of Construction project manager by using Analytical Hierarchy Process (AHP)", MSc Thesis in Construction Mangement, University of Technology Malaysia, May 2006.

2- Karia Knight, Amina R. F., " Use of fuzzy logic for predicting design cost overruns on building projects", J. Construction engineering and management, ASCE, Vol. 128, No. 6, 2001, PP. 503-512.

3- Ganoud A., Ali H. A., & Ibrahim S., " Studying the influence of Random Factors on the planning of Building Works", Tishreen U. J. Eng. Science Series Vol. 27, No. 3, 2005.

4- Saaty T. L., " The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, Inc., 1980, Reprinted by RWS Publications, 1996, Pittsburgh.

5- Saaty T.L., 1986. Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process, Management Science, 32(7), 841-855.

6- Saaty T.L., 1992. Decision making for leaders, RWS Publications, Pittsburgh, USA.

7- Marsh et. Al. DRAFT, " Hierarchical Decision Making in Machine Design", July, 1993.

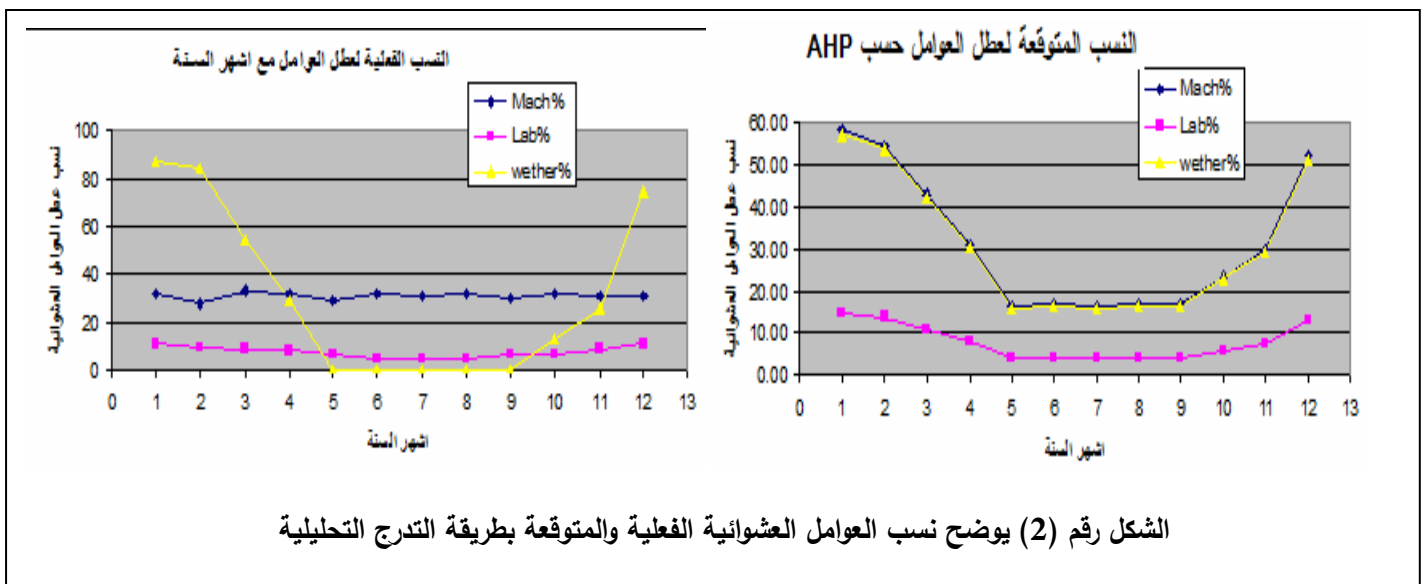
8- Weng S. , " A SCENARIO-BASED MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION METHOD FOR WATER RESOURCES MANAGEMENT", MSc Thesis in Env System Eng., University of Regina, Oct 2005.

9- الختلان، يوسف بن زيد، " نموذج تأهيل

مسبق للمكاتب الاستشارية الهندسية للمشاريع



الشكل رقم (1) المستويين الاول و الثاني لعملية التدرج التحليلي في صنع القرار



جدول رقم (1) متوسط نسب التعطل الناجمة عن العوامل العشوائية المدروسة

المجموع السنوي	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	الشهر	العامل العشوائية
94	11	9	7	7	5	5	5	7	8	9	10	11	غياب العمال %	
367	74	26	13	0	0	0	0	0	29	54	84	87	ظروف جوية %	
373	31	31	32	30	32	31	32	29	32	33	28	32	تعطل الآليات %	
834	116	66	52	37	37	36	37	36	69	96	122	130	المجموع الشهري	

الجدول رقم (2) مصفوفة المستوى الثاني للعوامل العشوائية المؤثرة في خطة تنفيذ المشروع

المجموع	تعطل الآليات %	الظروف الجوية %	غياب العمال %	المستوى الثاني
94				غياب العمال %
367				الظروف الجوية %
373				تعطل الآليات %

الجدول رقم (3) مصفوفة وزن العوامل العشوائية للمستوى الثاني

	373	367	94	
تعطل الآليات %				
0.252	0.256	1.000	غياب العمال %	94
0.984	1.000	3.904	الظروف الجوية %	367
1.000	1.016	3.968	تعطل الآليات %	373
2.236	2.272	8.872	المجموع	

الجدول رقم (4) مصفوفة الوزن النسبي الطبيعي للعوامل العشوائية

المعدل	تعطل الآليات %	الظروف الجوية %	غياب العمال %	
0.113	0.113	0.113	0.113	غياب العمال %
0.440	0.440	0.440	0.440	الظروف الجوية %
0.447	0.447	0.447	0.447	تعطل الآليات %
1.000	1.000	1.000	1.000	المجموع

الجدول رقم (5) الدليل العشوائي Random Index RI<sup>(12)</sup>

Size of matrix n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Random Index RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.57	1.58

الجدول رقم (6) متوسط نسب التعطل الناجمة عن العوامل العشوائية وحسب

## تحليل AHP

مجموع سنوي	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	الشهر	وزن العامل
94.2	13.1	7.5	5.9	4.2	4.2	4.1	4.2	4.1	7.8	10.8	13.8	14.7	غياب العمال %	0.113
367.0	51.0	29.0	22.9	16.3	16.3	15.8	16.3	15.8	30.4	42.2	53.7	57.2	ظروف جوية %	0.44
372.8	51.9	29.5	23.2	16.5	16.5	16.1	16.5	16.1	30.8	42.9	54.5	58.1	تعطل الآليات %	0.447
834.0	116.0	66.0	52.0	37.0	37.0	36.0	37.0	36.0	69.0	96.0	122.0	130.0	المجموع الشهري	1.00

جدول رقم (7) مقارنة لاختبارات ANOVA بين البيانات الحقيقية والمولدة بطريقة صنع القرارات AHP

		Anova								
		Single Factor				Two Factor Wout Rep				
		SS	df	Fest	F crit	SOV	SS	df	Fest	F crit
Actual Data البيانات الفعلية	B Groups	6733.50	3	7.209	2.816	Rows	3508.00	11	1.033	2.093
	Within Groups	13698.50	44			Columns	6733.50	3	7.268	2.892
	Total	20432.00	47	معنوياً نرفض H0 ونقبل H1 وجود فرق بين تأثيرها		Error	10190.50	33	قبول العدم بنسبواي تأثيرها خلال الأشهر رفض العدم لوجود تأثير للأشهر على نسبتها	
					Total	20432.00	47			
AHP Predicted Data البيانات المولدة بعملية التحليل التدريجية	B Groups	6733.50	3	15.817	2.816	Rows	3508.00	11	3.847	2.093
	Within Groups	6243.85	44			Columns	6733.50	3	27.073	2.892
	Total	12977.35	47	معنوياً نرفض H0 ونقبل H1 وجود فرق بين تأثيرها		Error	2735.85	33	رفض العدم لاختلاف تأثيرها خلال الأشهر رفض العدم لوجود تأثير للأشهر على نسبتها	
					Total	12977.35	47			

جدول رقم (8) يوضح الانحدار الخطي المتعدد للعوامل العشوائية الثلاثة وأشهر السنة

A		Mach% Depandant Var; id,Lab%,&Wethr% are Independent Vars.							
		SS	df	Fest	F crit	R Sqr	Adj R Sq	Coeff.	
Actual Data البيانات الفعلية	Regrsion	1.01863	3	0.124045	0.943267	0.04445	-0.31388	32.87903	Intrcpt
	Residual	21.89804	8					0.05641	id
	Total	22.91667	11	-0.35103	Lab%				
				0.01921	wethr%				
AHP Predicted Data البيانات المولدة بعملية التحليل التدريجية	Regrsion	2820.944	3	1.18E+32	6.5E-127	1	0.88889	1.421E-14	Intrcpt
	Residual	1.08E-28	9					0	id
	Total	2820.944	12					0	Lab%
								1.01635	wethr%
B		Lab % Depandant Var; id,Wethr %,&Mach% are Independent Vars.							
		SS	df	Fest	F crit	R Sqr	Adj R Sq	Coeff.	
Actual Data البيانات الفعلية	Regrsion	47.08606	3	19.08075	3.1E+32	0.87738	0.831398	8.40032	Intrcpt
	Residual	6.580602	8					0.12330	id
	Total	53.66667	11	0.06247	wethr%				
				-0.10549	Mach%				
AHP Predicted Data البيانات المولدة بعملية التحليل التدريجية	Regrsion	190.7177	3	3.1E+32	1.3E-128	1	0.888889	-1.78E-15	Intrcpt
	Residual	2.77E-30	9					0	id
	Total	190.7177	12					0	wethr%
								0.25201	Mach%

الجدول رقم (9) الارتباط بين العوامل العشوائية للبيانات الحقيقية والمولدة بطريقة AHP

Actual Data					AHP Predicted Data				
	<i>id</i>	<i>Mach</i>	<i>Lab</i>	<i>Wethr</i>		<i>id</i>	<i>Mach</i>	<i>Lab</i>	<i>Wethr</i>
<i>id</i>	1				<i>id</i>	1			
<i>Mach</i>	0.0611	1			<i>Mach</i>	-0.3836	1		
<i>Lab</i>	-0.1941	-0.1378	1		<i>Lab</i>	-0.3836	1	1	
<i>Wethr</i>	-0.3951	-0.0820	0.9161	1	<i>Wethr</i>	-0.3836	1	1	1

جدول رقم (10) يوضح الانحدار الخطي المتعدد للعوامل العشوائية الثلاثة وأشهر السنة باستخدام SPSS

		Mach% Dependant Var; id,Lab%,&Wethr% are Independent Vars.							
		SS	df	Fest	F crit	R Sqr	Adj R Sq	Coeff.	
Actual Data البيانات الفعلية	Regrsion	1.01863	3	0.124	0.943267	0.044 45	-0.31388	32.87903	Intrcpt
	Residual	21.89804	8					0.05641	id
	Total	22.91667	11	-0.35103	Lab%				
								0.01921	wethr%
AHP Predicted Data البيانات المولدة بعملية التحليل التدريجية	Regrsion	3002.651	2	7473 2997. 821	0.000	1.00 0	1.000	.007	Intrcpt
	Residual	0.000	9	5.110E-005		id			
	Total	3002.651	11	1.016	wethr%				
		Lab % Dependant Var; id,Wethr %,&Mach% are Independent Vars.							
		SS	df	Fest	F crit	R Sqr	Adj R Sq	Coeff.	
Actual Data البيانات الفعلية	Regrsion	47.08606	3	19.08075	0.001	0.87	0.831398	8.40032	Intrcpt
	Residual	6.580602	8					0.12330	id
	Total	53.66667	11	0.06247	wethr%				
								-0.10549	Mach%
AHP Predicted Data البيانات المولدة بعملية التحليل التدريجية	Regrsion	190.604	2	32500999.621	0.000	1.0 00	1.000	0.005	Intrcpt
	Residual	0.000	9	0.000		id			
	Total	190.604	11	0.252	Mach%				