

# محاولة تحسين منهجية الحصول على الحل الأساسي في مسائل النقل من خلال تعديل الطرق الحالية لبعض الحالات الخاصة

عبد السلام زيدان<sup>1</sup>

قبول النشر : ٢٠١٢/٢/٢٧

تاريخ الاستلام : ٢٠١١/٥/٢٥

## الخلاصة (Abstract)

يهدف هذا البحث إلى تحسين طرق الوصول إلى الحل الأساسي الممكن لمسائل نماذج النقل، والتي تعتبر من محاور بحوث العمليات الهادفة إلى إيجاد الحل الاقتصادي لخطة نقل منتجات بين مجموعة من مراكز الإنتاج ومجموعة من مراكز الاحتياج.

من المجالات المهمة لتطبيق مسألة النقل هي مسألة نقل المواد الأولية لمشروعات التشييد (مثل الخرسانة الجاهزة) والتي يتوفر لها عادة مجموعة من الخيارات لمراكز الإنتاج فيما يوجد مجموعة من مراكز الاحتياج (مواقع التشييد).

استعرضنا طرائق الحل المعتمدة حالياً ثم حددنا العوامل التي لا تؤخذ بعين الاعتبار في هذه الطرائق، وبناء على ذلك قمنا بتطوير طريقتين للحصول على الحل الأساسي الممكن، الطريقة الأولى تعتمد على مؤشر الكلف العظمى للنقل بين المراكز، فيما تركز الطريقة الثانية على مؤشر الكلفة والكمية المنقولة (الكلفة الفعلية) كمؤشر لتحديد خطة النقل في الحل الأساسي الممكن، وتكمن الأهمية العلمية لهذه الطريقة بكونها تتوافق مع كامل متغيرات تابع الهدف للنموذج المدروس وليس لجزء منها كما هو متبع في الطرائق المعتمدة حالياً، كما أن طريقة مؤشر الكلفة الفعلية أعطتنا غالباً الحل الأمثل، أو أدت إلى الحل الأساسي ذو الكلفة الدنيا مقارنة بالطرائق الأخرى، واختتم البحث بدراسة مثال لتوضيح طريقة وجدوى استخدام هذه الطرائق إذ أنها أدت إلى خطط نقل اقتصادية أقل كلفة من الحلول الناتجة عن طرائق الحل الحالية.

الكلمات المفتاحية : التخطيط، إدارة الموارد، بحوث عمليات، نماذج النقل، الاقتصاد الهندسي، نظم دعم القرار.

## An attempt to enhance the methods of obtaining the basic solution of the transportation model by introducing some alteration to such method

Abdulsalam Zidan<sup>1</sup>

### Abstract

This research aims to propose a new methodology of obtaining the basic solution of the transportation model, which is one of the operations research. Transportation model aimed to find

<sup>1</sup> مدرس- قسم الإدارة الهندسية والإنشاء - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

the economic solution to the plan of allocation of products from production centers to consumption centers.

One of the important issues of application the transportation model is the issue of transfer raw materials for construction projects (such as ready-mix concrete) and for which there is usually a set of options for production centers as there is always a group of consumption centers (construction sites). This application was chosen because of the wide use of it and due to its impacts on macroeconomic level.

Started by reviewing the current methods of obtaining the basic solution of the transportation model, then the factors that are not taken into account in these methods have been identified and, accordingly, two methods have been developed to obtain the basic solution of the transportation model. The first method depends on the indicator of the biggest costs of transport between the centers, while the second method uses the cost multiplied by the amount transmitted (actual cost) as an indicator to determine the basic solution of the transportation model. Unlike other methods, this method considers all variables mentioned in the objective function.

Finally, the proposal method has been illustrated by the use of an empirical example.

**Keywords: planning, resource management, operations research, transportation models, engineering economy, decision support systems.**

## ١ - المقدمة

يعتمد اتخاذ القرار في تخطيط موارد المشروعات على أساس علمي، دعامة التحليل والبحث، ويعتبر استخدام الأسلوب الكمي وبحوث العمليات من أهم الأدوات للتوصل إلى قرارات مثلى. وتعتبر عملية اتخاذ القرار اليوم نوعاً من التحدي الناتج عن تعدد المعايير المتعلقة بها، وعدم استقرار الظروف والعوامل المحيطة بها. وتزيد الحاجة إلى استخدام هذه التقنيات في الدول النامية والتي تحتاج إلى الاستثمار الأمثل لمواردها المحدودة.

يعتبر نموذج مسألة النقل من تطبيقات بحوث العمليات المهمة بإيجاد خطة النقل ذات الكلفة الدنيا بين مجموعة من مراكز الإنتاج ومجموعة من مراكز الاحتياج أو الطلب [1]. وسنهتم بشكل خاص في مجال تطبيق نماذج النقل في اختيار خطط توريد الموارد لمشروعات التشييد، ونلاحظ توفر عدد كبير من المشروعات في صناعة التشييد مما يتيح إمكانية الاستفادة من نماذج النقل في تطوير خطط اقتصادية لتوريد موادها واحتياجاتها. وحيث يتوفر عدة خيارات (مراكز إنتاج) لتزويد المشروع باحتياجاته من المواد الأولية أو المواد المعدة للاستخدام ضمن موقع المشروع، كما يتوفر العديد من المشروعات (مراكز احتياج) المستهلكة لهذه المواد.

## ٢ - مسائل النقل في بحوث العمليات

تهتم مسائل النقل في توزيع المنتجات من مراكز الإنتاج مثل المعامل والمصانع إلى مراكز الاحتياج مثل المخازن ومراكز التوزيع والتسويق.

مراكز الإنتاج أو التوزيع تنتج بضاعة محددة وبطاقة محددة وتنقل هذه البضائع إلى نقاط الطلب أو الاحتياج والتي لها احتياج محدد. كما تفترض المسألة المدروسة إمكانية النقل بين جميع مراكز الإنتاج والاحتياج حيث يوجد كلفة نقل بين كل مركزين تعتمد على المسافة والجهد المطلوبين، وتبحث مسألة نماذج النقل في إيجاد خطة نقل وتوزيع المواد التي تهدف إلى الإقلال من الكلفة الكلية لنقل المنتجات بين نقاط التوريد أو الإنتاج وبين نقاط الاستهلاك أو الاحتياج وفقاً للمتطلبات والشروط الأساسية الآتية [2]:

١. لكل من مواقع الإنتاج أو التوزيع (مصانع، مستودعات) طاقة محددة (طاقة الإنتاج).
٢. لكل من مواقع الاحتياج أو الطلب (مواقع مشاريع، مراكز تجارية وزبائن محددة مواقعهم) طلب محدد.
٣. يوجد كلفة نقل محددة مسبقاً لنقل وحدة واحدة من البضاعة من مواقع الإنتاج إلى مواقع الاحتياج.
٤. في صياغة المسألة يجب أن تكون كميات الإنتاج تساوي تماماً كميات الاحتياج.

ويمكن تمثيل نموذج النقل رياضياً كما يلي [3]:

نرمز لعدد مراكز الإنتاج أو التوريد بـ  $m$  ولعدد مراكز أو نقاط الاحتياج بـ  $n$ ، ولمستوى الإنتاج في كل مركز إنتاج بـ  $a_i$  واحتياج كل نقطة استهلاك بـ  $b_j$ ، كذلك نستخدم المتغير  $X_{ij}$  لرمز لكمية البضاعة المنقولة من مركز الإنتاج  $(i)$  إلى نقطة الاستهلاك  $(j)$  حيث  $i = 1, 2, \dots, m$  و  $j = 1, 2, \dots, n$  ولكلفة نقل وحدة البضاعة المنقولة من المركز  $(i)$  إلى النقطة  $(j)$  بـ  $C_{ij}$  ونشكل الجدول (١) الذي يعبر عن نموذج المسألة:

الجدول (١): نموذج عام لمسألة النقل

الإنتاج \ الاحتياج	D1	D2	...	Dn	طاقة الإنتاج
S1	c11 x11	c12 x12		c1n x1n	a1
S2	c21 x21	c22 x22		c2n x2n	a2
:					:
Sm	cm 1 xm 1	cm2 xm2		cm n xm n	am
قيمة الاحتياج	b1	b2	...	bn	

هذا النموذج يفترض أن مجموع الإنتاج  $a_i$  لدى  $(m)$  مركز إنتاج أو توريد يساوي مجموع الاحتياجات

$b_j$  في جميع مراكز نقاط الاستهلاك  $(n)$ ، أي :

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \dots\dots\dots(1)$$

كما نفترض أن مجموع المنقول من مركز إنتاج معين إلى مراكز استهلاك يساوي مجموع ما ينتجه ذلك المركز أي:

$$a_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}; i = 1,2,\dots,m \dots\dots\dots(2)$$

وكذلك نفترض أن مجموع ما ينقل إلى مركز استهلاك معين من مراكز إنتاج مختلفة يساوي الكمية التي يحتاجها مركز الاستهلاك أو الإنتاج.

$$b_j = \sum_{i=1}^m x_{ij}; j = 1,2,\dots,n \dots\dots\dots(3)$$

والشرط الأخير يفترض أن الكمية المنقولة موجبة:

$$x_{ij} \geq 0 \dots\dots\dots(4)$$

والهدف الذي يسعى إليه النموذج هو إيجاد خطة توزيع أو نقل ذات كلفة أصغرية ويمكن التعبير عن تابع الهدف بالعلاقة:

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij} \dots\dots\dots(5)$$

**٣- طرق إيجاد الحل الممكن الأساسي لنموذج النقل**

يعتمد الحل في نماذج النقل على إيجاد حل أساسي ممكن ومن ثم تحسين هذا الحل بهدف الوصول إلى الحل الأمثل، يعبر الحل الأساسي الممكن عن خطة نقل بين المراكز بحيث تحقق الشروط الواردة في المعادلات (١) و(٢) و(٣) و(٤). ولإيجاد الحل الممكن الأساسي توجد هناك مجموعة من الطرائق التي تعطي خطط نقل مختلفة ولا شك نفضل استخدام الطريقة التي تعطي كلفة نقل دنيا للنموذج المدروس. هذا البحث يركز على هذه الخطوة ويهدف لتطوير طرائق إيجاد الحل الأساسي الممكن وتدارك بعض النقاط التي لا تأخذها بعين الاعتبار.

وسنعرض بإيجاز الطرائق المعتمدة ثم نوضح المنهجية الجديدة المقترحة، حيث يوجد أربع طرائق رئيسية معتمدة لإيجاد الحل الممكن الأساسي لنموذج النقل هي [4]:

- طريقة الركن الشمالي الغربي.
- طريقة الخلية ذات الكلفة الأصغرية في كل عمود.
- طريقة الخلية ذات الكلفة الأصغرية في الجدول.

- طريقة الفروقات العظمى ( طريقة فوجل).

### ١-٣ إيجاد الحل الممكن الأساسي بطريقة الركن الشمالي الغربي

بعد تشكيل جدول يبين فيه كميات الاحتياج والإنتاج وكلف النقل كما يوضح الجدول (١). نتبع الخطوات التالية لإيجاد الحل الأساسي الممكن:

١- نختار الخلية في الركن الشمالي الغربي في الجدول (أعلى ويسار الجدول) وننقل لها أكبر كمية ممكنة، يجب أن لا تتجاوز كمية الاحتياج في العمود الموافق وكمية الإنتاج في السطر الموافق.

٢- نعدل كمية الإنتاج في السطر الموافق وكمية الاحتياج في العمود الموافق.

٣- نعود للخطوة (١) حتى نستهلك كميات الإنتاج ونحقق كميات الاحتياج، وبالتالي نحصل على خطة النقل للحل الممكن الأساسي.

٤- نوجد كلفة هذه الخطة بحساب مجموع جداء الكميات المنقولة لكل خلية بكلفة نقل واحدة البضاعة فيها.

### ٢-٣ إيجاد الحل بطريقة الخلية ذات الكلفة الأصغر في كل عمود

هنا يتم البحث عن الخلايا ذات كلف النقل الدنيا في العمود وتعطى أفضلية في عملية التخصيص، وتتلخص خطوات الحل بما يلي:

نختار في العمود الأول في الجدول (من جهة اليسار) الخلية ذات الكلفة الأصغر وننقل إليها أكبر كمية ممكنة بحيث لا تتجاوز كمية الإنتاج والاحتياج في السطر والعمود الموافق.

إذا كانت كمية الاحتياج في ذلك العمود لم تتحقق نختار الخلية ذات الكلفة الأصغر التالية وننقل إليها الكمية التي لا تتجاوز كلاً من الإنتاج والاحتياج في السطر والعمود الموافق، ويتم تكرار هذه الخطوة حتى يتم تلبية الاحتياج في العمود.

نعدل كمية الإنتاج في المراكز التي تم التخصيص منها ثم ننتقل إلى العمود التالي ونكرر العمليات من ١-٣.

نوجد كلفة الخطة الناتجة.

### ٣-٣ إيجاد الحل بطريقة الخلية ذات الكلفة الأصغر في الجدول

تعتبر هذه الطريقة شبيهة بالطريقة السابقة غير أنها تتعامل مع كل خلايا الجدول، وفق الخطوات التالية: نختار الخلية ذات الكلفة الدنيا في الجدول وننقل لها أكبر كمية ممكنة، يجب أن لا تتجاوز كمية الاحتياج في العمود الموافق وكمية الإنتاج في السطر الموافق.

نعدل كمية الإنتاج في السطر الموافق وكمية الاحتياج في العمود الموافق للخلية المخصصة.

نعود للخطوة (١) ونكرر العملية حتى يتم توزيع كامل كميات الإنتاج وكميات الاحتياج للجدول. نوجد كلفة الخطة الناتجة.

### ٣-٤ إيجاد الحل الممكن الأساسي بطريقة الفروقات ( طريقة فوجل)

تعتمد هذه الطريقة منهجية مختلفة حيث تقارن الفروق بين الكلف الدنيا في الأسطر والأعمدة وتعطي الأفضلية بالتخصيص للسطر أو العمود الحاوي للفروق الأعظمي، وتتخلص خطوات الحل بما يلي:

- ١- نوجد الفرق بين أقل كلفتين في كل سطر.
- ٢- نوجد الفرق بين أقل كلفتين لكل عمود.
- ٣- نختار العمود أو السطر الذي فيه أكبر فرق.
- ٤- نختار الخلية في السطر أو العمود المحدد في الخطوة السابقة والتي تحوي الكلفة الدنيا.
- ٥- ننقل لهذه الخلية أكبر كمية ممكنة.
- ٦- نعدل كمية الإنتاج في السطر الموافق وكمية الاحتياج في العمود الموافق.
- ٧- نكرر الخطوات من ١-٦ دون اعتبار السطر أو العمود الذي حقق الاحتياج أو الإنتاج وحتى نوزع كافة الكميات.
- ٨- نوجد كلفة الخطة الناتجة.

### ٤- توضيح حول الطرق المعتمدة للحصول على الحل الممكن الأساسي لمسائل النقل

نلاحظ أن هناك تنوعاً في الطرق الممكنة للحصول على الحل الأساسي الممكن، وتعتمد هذه الطرق

منهجيتين رئيسيتين، نلخصهما بما يلي:

أ- تعبئة الخلايا تبعاً لموقعها

حيث نجد أن طريقة الركن الشمالي الغربي، تعتمد في عملية التخصيص على موقع الخلية ولا تهتم بالبحث عن التخصيص للخلايا ذات الكلف الدنيا، مما يعني احتمال عدم الحصول على نتيجة مثلى (كلفة أصغرية) وقد تم تطويرها بسهولة برمجتها في البرمجيات المستخدمة في بحوث العمليات.

ب- تعبئة الخلايا تبعاً للكلفة لوحدة النقل الدنيا

حيث نلاحظ أن طريقة الخلية ذات الكلفة الأصغرية في كل عمود وطريقة الخلية ذات الكلفة الأصغرية في الجدول تهتم بالبحث عن الخلية ذات الكلفة الدنيا لنقل واحدة الكمية، إن الاهتمام بالتخصيص لهذه الخلايا لا يعني بالضرورة عدم التخصيص للخلايا ذات الكلف العالية والتي تضطر في بعض الحالات إلى تخصيص كميات لها في المراحل النهائية من الحل، حينما لا نملك الكثير من المرونة في اختيار الخلايا.

لذا يتوجب البحث عن التخصيص للخلايا ذات الكلف المنخفضة وبنفس الوقت تجنب التخصيص للخلايا ذات الكلف العالية.

#### ج- تعبئة الخلايا تبعاً للتباين بين كلف الخلايا

وتمثلها طريقة فوجل والتي تتميز بأخذها بعين الاعتبار فرق الكلف، وتعطي حلاً ممكناً أفضل من الطرائق السابقة لأخذها مؤشرات التباين بين الكلفة الدنيا والكلفة الأكبر منها مباشرة في الجدول، أي تعطي أولوية للأسطر أو الأعمدة ذات المخاطرة الأعلى من حيث انتقال التخصيص من خلية ذات كلفة محددة إلى خلية ذات كلفة أعلى منها بكثير، إلا أن هذه الطريقة طويلة نسبياً لإيجاد الحل الأساسي.

### ٤-٢ تطوير طرق الحصول على الحل الأساسي الممكن

لتلافي الملاحظات المذكورة آنفاً تبين إمكانية تطوير طرائق أخرى تمكننا من الحصول على حل ممكن

أساسي، حيث قمنا بتطوير طريقتين هما:

#### أ- طريقة مؤشر الكلفة العظمى

والتي تأخذ بعين الاعتبار الكلف العظمى للكلفة بهدف تجنب التخصيص لها وتعتبر طريقة شبيهة بطريقة الكلفة الدنيا بالجدول من حيث الخطوات المتبعة، مع اختلاف بفكرة الحصول على الحل.

#### ب- طريقة مؤشر كلفة النقل الفعلية

جميع الطرق السابقة تهتم بالبحث عن التخصيص للخلايا ذات الكلف الدنيا لنقل واحدة الكمية، وبملاحظة أن الكلفة هي حاصل جداء كلفة الخلية بالكمية المنقولة فعلاً نجد أن الأسلوب الأمثل للحصول على خطة نقل ذات كلفة دنيا هو الذي يأخذ بعين الاعتبار الكمية المنقولة إضافة لكلفة نقل الواحدة في كل خلية، وهذا يتوافق مع متغيرات تابع الهدف للنموذج المدروس وليس لجزء منها كما هو متبع في الطرائق المعتمدة حالياً. وسنشرح فيما يلي كلاً من هاتين الطريقتين بالتفصيل.

### ٤-١ شرح طريقة مؤشر الكلفة العظمى لإيجاد الحل الأساسي الممكن

سوف نعتمد على منهجية مخالفة للطرائق السابقة وذلك بالبحث على الخلايا ذات الكلف المرتفعة لتجنب

نقل كميات إليها، ونوضح خطوات الحل فيما يلي:

١. نختار الخلية ذات الكلفة العظمى ثم نبحث في السطر والعمود الموافقين لها عن الخلية ذات الكلفة الدنيا وننقل لها أكبر كمية ممكنة، يجب أن لا تتجاوز كمية الاحتياج في العمود الموافق وكمية الإنتاج في السطر الموافق.

٢. نعدل كمية الإنتاج في السطر الموافق وكمية الاحتياج في العمود الموافق.

٣. نعود للخطوة (١) حتى نستهلك كميات الإنتاج ونحقق كمية الاحتياج ونكون قد حصلنا على الحل الممكن الأساسي

٤. نوجد كلفة الخطة الناتجة.

٥. مجال التطبيق: يمكن اعتماد هذه الطريقة في حال وجود كلفة نقل عالية مميزة في الجدول يفضل تجنبها في المراحل المبكرة من الحل، أما طريقة الخلية ذات الكلفة الأصغر في الجدول فيفضل اعتمادها في حال وجود كلفة نقل دنيا مميزة في الجدول يفضل البدء بالتخصيص لها. ونقترح استخدام الطريقتين بنفس الوقت بحيث يتم التخصيص للخلايا بالتناوب بين المنهجيتين بأن نبدأ بالتخصيص للخلية ذات الكلفة الأصغر ثم ننتقل إلى استخدام طريقة مؤشر الكلفة العظمى لاختيار الخلية التالية التي يجب التخصيص لها وهكذا حتى يتم استكمال الحل الأولي للمسألة المدروسة.

#### ٤-٢ شرح طريقة مؤشر كلفة النقل الفعلية لإيجاد الحل الأساسي الممكن

ذكرنا بأن الطرائق السابقة بما فيها طريقة مؤشر الكلفة العظمى تعتمد على معيار كلفة النقل في الخلية (أي كلفة نقل واحدة البضاعة بين مركز الإنتاج ومركز الاحتياج) كمؤشر لاختيار الخلية المخصصة، ولا تأخذ بعين الاعتبار كمية المادة التي يمكن نقلها (وبالتالي كلفة النقل الفعلية) بعين الاعتبار عند تحديد الخلية المخصصة، وحيث أن تابع الهدف في المسألة هو المبين في المعادلة (٥)

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

إن إدخال كمية المادة المنقولة إضافة إلى الكلفة سيعطي خياراً أفضل لاختيار الخلية المخصصة والوصول إلى حل بكلفة أقل من الطرائق الحالية. حيث أن البحث عن القيمة الدنيا لقيمة هذا التابع C يتمثل بالبحث عن القيمة الدنيا لحاصل ضرب الكلفة بالكمية  $C_{ij} X_{ij}$  وهو الأساس الرياضي الذي يمكن الاعتماد عليه كدليل للحصول على حل أمثل باستخدام هذه الطريقة مقارنة بالطرق المستخدمة حالياً.

الطريقة التي قمنا بتطويرها والتي تم تسميتها طريقة مؤشر كلفة النقل الفعلية تعتمد على إعادة صياغة نموذج النقل بحيث يتم إدخال حاصل ضرب كل من كلفة النقل والكمية كمؤشر لاختيار الخلية المخصصة. ولإنجاز هذه الخطوة يتم إعادة تشكيل نموذج بحيث نستبدل كلف النقل الأساسية لنقل واحدة الكمية من مركز إنتاج إلى مركز احتياج بحاصل ضرب الكمية الممكن نقلها إلى هذه الخلية بكلفة نقل واحدة الكمية، وذلك وفق الخطوات التالية:

١- نقوم بنقل أكبر كمية ممكنة لكل خانة (الكمية الدنيا بين الاحتياج والإنتاج الموافقين)، مع إهمال شرط التوازن بالنموذج.

- ٢- الحصول على كلفة النقل الفعلية بضرب كل من الكمية المنقولة لكل خزانة بقيمة الكلفة الموافقة لها.
- ٣- إعادة صياغة المسألة باعتماد كلف النقل الفعلية والبحث عن حل أساسي ممكن، حيث يمكن متابعة خطوات الحل وفق أي من الطرائق المعتمدة (باستثناء طريقة الركن الشمالي الغربي).
- ٤- الحصول على كلفة النقل باعتماد الكلف الموجودة في النموذج الأصلي للمسألة المدروسة.
- ويمكن التلخيص بأن الفكرة الأساسية في هذه الطريقة تتمثل بإعادة صياغة نموذج مسألة النقل بحيث تأخذ بعين الاعتبار كلاً من كلفة نقل واحدة البضاعة المنقولة والكمية الممكن نقلها بين كل مركز إنتاج واحتياج، وبعد هذه الصياغة للنموذج المدروس يتم الحصول على الحل وفق الطرائق المتبعة حالياً، ونعتبر بأن هذه المنهجية تتوافق مع تابع الهدف للمسألة وبالتالي تؤدي لكلفة نقل أقل من تلك التي نحصل عليها بالطرائق الحالية، ورغم أن طبيعة المسألة تستلزم استكمال تحسين الحل الأساسي الممكن، إلا أننا نطور المنهج العلمي المتبع في حل المسألة من خلال صياغة المسألة في مرحلة الحل الأولي بشكل أفضل.
- وسنبين خطوات الحل التفصيلية لهذه الطريقة من خلال دراسة مثال يوضح الخطوات المشروحة أعلاه، كما يتيح مقارنة الكلفة الناتجة من هذه الطريقة بالكلف الناتجة من الطرائق السابقة.

#### ٥- مثال تطبيقي لطرق الحل والمقارنة بين نتائجها

بفرض لدينا ثلاث مراكز إنتاج للخرسانة وأربع مشروعات تمثل مراكز الاحتياج، ونفترض المعطيات المتعلقة بطاقات الإنتاج والاحتياج وكلف النقل، حيث سنقوم بإيجاد الحل الأساسي الممكن لنموذج النقل وفق طريقة مؤشر الكلفة الفعلية مع توضيح خطوات الحل، ثم نقوم بحل المثال وفق جميع الطرائق الحالية مع حساب كلفة كل حل بهدف المقارنة. وبيين الجدول (٢) صياغة النموذج للمثال.

الجدول (٢): نموذج صياغة مسألة النقل المدروسة

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٥	7	٣	6	١٠
S2	3	2	٩	9	١٥
S3	13	١١	10	12	٢٠
كمية الاحتياج	8	12	18	7	45

#### ٥-٢ إيجاد الحل الأساسي الممكن بطريقة مؤشر كلفة النقل الفعلية

سنقوم بالحل مع شرح الخطوات التفصيلية لهذه الطريقة:

١- نقوم بنقل أكبر كمية ممكنة لكل خاينة (الكمية الدنيا بين الاحتياج والإنتاج الموافقين)، ويبين الجدول (٣) الكميات المنقولة (مبينة في أسفل الخاينة).

الجدول (٣): نقل الكميات الممكنة لكل خاينة

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٥ 8	7 10	٣ 10	6 7	١٠
S2	3 8	2 12	٩ 15	9 7	١٥
S3	13 8	١١ 12	10 18	12 7	٢٠
كمية الاحتياج	8	12	18	7	45

٢- الحصول على جدول كلفة النقل الفعلية: نقوم بضرب كل كمية في كل خاينة بقيمة الكلفة الموافقة لها، كما يبين الجدول (٤).

الجدول (٤): جدول كلف النقل الفعلية

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٥ 40	7 70	٣ 30	6 42	١٠
S2	3 24	2 24	٩ 135	9 63	١٥
S3	13 104	١١ 132	10 180	12 84	٢٠
كمية الاحتياج	8	12	18	7	45

٤- نعيد صياغة نموذج النقل بحيث نعتمد الكلف الناتجة من الخطوة السابقة كمؤشرات للخلايا، وسنبعث عن إيجاد خطة النقل لهذه المسألة بأحد الطرائق المستخدمة حالياً و يبين الجدول (٥) نموذج المسألة الجديدة حيث تم استبدال كلف النقل في النموذج الأصلي بالقيم الناتجة من الخطوة السابقة.

## الجدول (٥): النموذج الجديد بعد إعادة الصياغة لمسألة النقل

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٤٠	٧٠	٣٠	٤٢	١٠
S2	٢٤	24	135	63	١٥
S3	104	132	180	84	٢٠
كمية الاحتياج	8	12	18	7	45

وبذلك نحصل على صياغة للمسألة معتمدة على حاصل ضرب الكلفة بالكمية ويمكن الحصول على الحل الأساسي الممكن اعتماداً على واحدة من الطرائق الحالية أو بطريقة مؤشر الخلية ذات الكلفة العظمى التي تم اقتراحها في هذا البحث، وسنتابع الحل باستخدام طريقة الخلية ذات الكلفة الأصغر في الجدول، حيث سنهتم بمقارنة الكلفة الناتجة من هذه الطريقة مع الكلفة الناتجة من استخدامها للنموذج الذي تم إعادة صياغته بطريقة مؤشر الكلفة الفعلية.

نختار من الجدول الخلية الحاوية على أقل كلفة، وهي التي يتم التخصيص لها: ومن ثم نطرح القيمة المخصصة لهذه الخلية من قيمة كمية الإنتاج والاحتياج الموافق لهذه الخلية، ثم نحذف السطر أو العمود الموافق للقيمة صفر، ومن ثم نعدل فقط السطر أو العمود الذي تم تغيير كمية الإنتاج أو الاحتياج .

الكلفة الدنيا في الجدول هي 24 (هناك خليتان لها نفس القيمة 24 سنختار الخلية  $S2-D1$ ) وسننقل لهذه الخلية أكبر كمية ممكنة وهي الكمية الأصغر من طاقة الإنتاج وكمية الاحتياج في السطر والعمود المرافقين. وسننقل للخلية  $(S2-D1)$  الكمية 8 ثم نعدل كميتي الإنتاج والاحتياج الموافقين، حيث نطرح القيمة 8 من كمية الاحتياج في المركز D1 (والمعادلة للقيمة 8) ومن طاقة الإنتاج للمركز S2 (والمعادلة للقيمة 15) لنحصل على القيم 0 و 3 على التوالي، لن يتم تخصيص كميات إضافية للمركز (D1) للحصول على الكمية 0 للاحتياج المتبقي وبالتالي نقل كمية الاحتياج المطلوبة له وتلبية شرط الحل المبين بالعلاقة (3)، و سنحذف (نهمل) العمود الموافق للمركز (D1) في الخطوات التالية، كما نعدل طاقة الإنتاج في السطر الموافق للمركز S2 من 15 إلى 7 لاستهلاك الكمية 8 منها، ونعيد توضيح الخطوة في الجدول (6) حيث ظللنا الخلية المخصصة.

الجدول (٦): حذف العمود D١ و تعديل الإنتاج للسطر S2

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٤٠	٧٠	٣٠	٤٢	١٠
S2	٣٤ 8	24	135	63	7
S3	104	132	180	84	٢٠
كمية الاحتياج	0	١٢	18	7	45

نكرر الخطوة السابقة بالبحث عن الخلية ذات مؤشر الكلفة الأصغر، وهي الخلية S2-D2، ننقل إليها الكمية الأصغر من طاقة الإنتاج وكمية الاحتياج في السطر والعمود المرافقين وهي الكمية ٧ ونطرح هذه الكمية من طاقة الإنتاج وكمية الاحتياج، حيث حذفنا السطر S2 وعدلنا كمية الاحتياج في العمود D2 من القيمة 12 إلى القيمة 5. ويبين الجدول (٧) الخطوة المنفذة.

الجدول (٧): حذف السطر S2 وتعديل الاحتياج للعمود D١

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٤٠	٧٠	٣٠	٤٢	١٠
S2	٣٤ 8	24 7	135	63	0
S3	104	132	180	84	٢٠
كمية الاحتياج	0	5	18	7	45

الخلية ذات الكلفة الدنيا في الجدول (٧) هي S1-D3 ننقل لها الكمية العظمى الممكنة (١٠) ونكرر نفس المنهجية بتعديل الكميات حيث حذفنا السطر S1 وعدلنا الاحتياج للعمود D3 كما هو مبين بالجدول (٨).

الجدول (٨): حذف السطر S1 و تعديل الاحتياج للعمود D3

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٤٠	٧٠	٣٠ 10	٤٢	0
S2	٢٤ 8	24 7	135	63	0
S3	104	132	180	84	٢٠
كمية الاحتياج	0	5	8	7	45

وبمتابعة خطوات الحل سيتم تخصيص كميات للخلايا S3-D4 ثم S3-D2 ثم S3-D3 حيث نحصل على الكميات المخصصة المبينة في الجدول (٩).

الجدول (٩): الكميات المخصصة للنموذج المدروس

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٤٠	٧٠	٣٠ 10	٤٢	10
S2	٢٤ 8	24 7	135	63	15
S3	104	132 5	180 8	84 7	٢٠
كمية الاحتياج	8	12	18	7	45

ونستبدل الكلف الموجودة في الجدول (٩) والتي كانت المؤشر المعتمد لتخصيص الخلايا بكلف النقل المحددة في معطيات المسألة الأساسية، مع توضيح الكميات المخصصة من خطة النقل الناتجة من الخطوات السابقة، ويوضح الجدول (١٠) الكلف الأساسية للنقل مع الكميات المنقولة من مراكز الإنتاج إلى المشروعات (مراكز الاحتياج).

الجدول (١٠): الكميات المخصصة للنموذج والكلف الأساسية

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	5	7	3 10	6	10
S2	3 8	2 7	9	9	15
S3	13	11 5	10 8	12 7	٢٠
كمية الاحتياج	8	12	18	7	45

ونحصل على كلفة النقل الإجمالية (Cost) بطريقة مؤشر الكلفة الفعلية بضرب الكميات المخصصة

للخلايا بكلفة النقل الأساسية:

$$12 \times 7 = 287 \text{ Cost} = 3 \times 10 + 3 \times 8 + 2 \times 7 + 11 \times 5 + 10 \times 8$$

سنقوم بمقارنة هذا كلفة الحل مع كلفة الحلول من الطرائق الأخرى المذكورة في الفقرة (3)، بهدف

تحديد ما إذا حصلنا على حل أساسي ممكن بكلفة اقل من كلف الحلول للطرائق المستخدمة حالياً. في الخطوة

اللاحقة سنبين نتيجة الحل مباشرة حيث لا يعتبر شرح الحل جزءاً من البحث.

### ٣-٥ إيجاد الحل الأساسي الممكن بطريقة الركن الشمالي الغربي

يبين الجدول (١١) الكميات المخصصة للخلايا والنااتجة عن تطبيق هذه الطريقة.

الجدول (١١): الكميات المخصصة بطريقة الركن الشمالي الغربي

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	5 8	7 2	3	6	١٠
S2	3	2 10	9 5	9	١٥
S3	13	١١	10 13	12 7	٢٠
كمية الاحتياج	8	12	18	7	45

وكلفة النقل الإجمالية بطريقة الركن الشمالي الغربي:

$$\text{Cost} = 5 \times 8 + 7 \times 2 + 2 \times 10 + 9 \times 5 + 10 \times 13 + 12 \times 7 = 333$$

## ٥-٤ إيجاد الحل الأساسي الممكن بطريقة فوجل

يبين الجدول (١٢) الكميات المخصصة للخلايا والنواتجة عن تطبيق طريقة فوجل.

الجدول (١٢): الكميات المخصصة بطريقة فوجل

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٥	7	3	6	١٠
S2	3	2	٩	9	١٥
S3	13	١١	10	12	٢٠
كمية الاحتياج	8	12	18	7	45

وكلفة النقل الإجمالية بطريقة فوجل:

$$\text{Cost} = 7 \times 5 + 3 \times 5 + 3 \times 8 + 2 \times 7 + 10 \times 13 + 12 \times 7 = 302 \text{ وحدة نقدية}$$

## ٥-٥ إيجاد الحل الأساسي الممكن بطريقة الخلية ذات الكلفة الأصغرية في الجدول

يبين الجدول (١٣) الكميات المخصصة للخلايا والنواتجة عن تطبيق طريقة الخلية ذات الكلفة الأصغرية

في الجدول.

الجدول (١٣): الكميات المخصصة بطريقة الخلية ذات الكلفة الأصغرية

الاحتياج الإنتاج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٥	7	3	6	١٠
S2	3	2	٩	9	١٥
S3	13	١١	10	12	٢٠
كمية الاحتياج	8	12	18	7	45

وكلفة النقل الإجمالية بطريقة الخلية ذات الكلفة الأصغرية في الجدول:

$$\text{Cost} = 3 \times 10 + 3 \times 3 + 2 \times 12 + 13 \times 5 + 10 \times 8 + 12 \times 7 = 292 \text{ وحدة نقدية}$$

## ٥-٦ إيجاد الحل الأساسي الممكن بطريقة مؤشر الكلفة العظمى

يبين الجدول (١٤) الكميات المخصصة للخلايا والنااتجة عن تطبيق طريقة مؤشر الكلفة العظمى.

الجدول (١٤): الكميات المخصصة بطريقة مؤشر الكلفة العظمى

الإنتاج \ الاحتياج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٥	7 3	٣	6 7	١٠
S2	3 8	2 7	٩	9	١٥
S3	13	١١ 2	10 18	12	٢٠
كمية الاحتياج	8	12	18	7	45

وكلفة النقل الإجمالية بطريقة طريقة مؤشر الكلفة العظمى:

$$C = 3 \times 7 + 6 \times 7 + 3 \times 8 + 2 \times 7 + 11 \times 2 + 10 \times 18 = 303 \text{ وحدة نقدية}$$

في حال تم التخصيص بالتناوب بين طريقتي الكلفة الأصغرية في الجدول ومؤشر الكلفة العظمى (مع

البدء بطريقة الكلفة الأصغرية) نحصل على التخصيص المبين في الجدول (١٥).

الجدول (١٥): الكميات المخصصة باستخدام طريقتي الخلية ذات الكلفة الأصغرية ومؤشر الكلفة العظمى

الإنتاج \ الاحتياج	D1	D2	D3	D4	طاقة الإنتاج
S1	٥	7	٣ 10	6	١٠
S2	3 3	2 12	٩	9	١٥
S3	13 5	١١	10 8	12 7	٢٠
كمية الاحتياج	8	12	18	7	45

وكلفة النقل الإجمالية بهذه الطريقة:

$$C = 3 \times 10 + 3 \times 3 + 2 \times 12 + 5 \times 13 + 8 \times 10 + 7 \times 12 = 292 \text{ وحدة نقدية}$$

حيث نجد تحسناً للحل مقارنة باستخدام فقط طريقة مؤشر الكلفة العظمى.

## ٥-٧ مقارنة نتائج طرائق الحل

يلخص الجدول (١٦) قيم الكلف الناتجة من طرائق الحل المتبعة.

الجدول (١٦) : مقارنة الكلفة طرائق الحل المختلفة

الطريقة	الكلفة
الركن الشمالي الغربي	333
فوجل	302
الخلية ذات الكلفة الأصغر في الجدول	292
مؤشر الكلفة العظمى	303
مؤشر الكلفة الفعلية	287

حيث نلاحظ بأن طريقة مؤشر الكلفة الفعلية المقترحة في هذا البحث قد أعطت الحل الاقتصادي الأفضل (الكلفة الدنيا) بكلفة مقدارها 287 وحدة نقدية، يليها طريقتي فوجل ومؤشر الكلفة العظمى بكلفة ٣٠٢ و٣٠٣ وحدة نقدية على التوالي. فيما أدت طريقة الركن الشمالي الغربي إلى الحل الأكثر كلفة ومقدارها ٣٣٣ وحدة نقدية وهذا متوقع نظراً لاعتمادها على موقع الخلية وليس كلفتها في تحديد الخلية المخصصة. ونلاحظ بشكل خاص أن استخدام طريقة الخلية ذات الكلفة الأصغر في الجدول أعطى كلفة مقدارها 292 فيما أدى استخدام هذه الطريقة بعد إعادة صياغة المسألة بطريقة مؤشر الكلفة الفعلية إلى كلفة أقل وهي ٢٨٧. وقد تم متابعة الحل للحصول على الحل الأمثل حيث تبين أن الحل الناتج عن طريقة مؤشر الكلفة الفعلية هو حل أمثلي للنموذج، فيما تحتاج جميع الطرائق الأخرى إلى متابعة تحسين الحل للوصول إلى الحل الأمثل، وقد تحققنا من عدد من الأمثلة التي وصلنا في غالبيتها مباشرة إلى الحل الأمثل باستخدام هذه الطريقة وفي الحالات الأخرى أعطت الحل الأساسي الممكن ذو الكلفة الأقل مقارنة بالطرائق الأخرى. وتكمن النتيجة الأساسية لهذا البحث بإمكانية تطوير طرق جديدة للحصول على الحل الأساسي الممكن في مسائل النقل مبنية على أساس علمي يحقق شروط المسألة ويعطي حلاً أفضل من تلك النتيجة عن الطرق الحالية.

## ٦- النتائج

- يمكن تحسين الطرق المعتمدة حالياً لإيجاد الحل الأساسي الممكن في مسائل النقل من خلال تطوير مقارنة تعتمد على دراسة إدخال جميع المتحولات الموجودة في تابع الهدف
- البحث لا يهدف إلى إيجاد حلول لمسائل النقل والتي توفرها الطرائق المتوفرة، ولكن يهدف إلى تطوير منهجية تفكير منطقية لطرق الحصول على هذه الحلول.

## ٧- الخاتمة

رغم بساطة المسألة المدروسة فإن الهدف تطوير منهجية تفكير جديدة لها تحسن أسلوب التفكير العلمي للحل، حيث نجد بأن الطرائق المعتمدة حالياً في الحصول على الحل الأساسي الممكن في نماذج النقل تهمل بعض المؤشرات في طريقة الحل والمتمثلة بالخلايا ذات كلف النقل العظمى، وتهمل أيضاً كمية المنتجات التي يمكن نقلها والتي تعتبر معياراً أساسياً لتحديد كلفة النقل، وقد تم اقتراح طريقتي مؤشر الكلفة العظمى ومؤشر الكلفة الفعلية للنقل لإدخال هذه المؤشرات بعين الاعتبار، حيث أدت طريقة مؤشر الكلفة الفعلية إلى الحصول مباشرة على الحل الأمثل، أو على الحل الأساسي ذو الكلفة الدنيا مقارنة بالطرائق الأخرى، يمكن القول بأن جودة الحل الأساسي الممكن تختصر مراحل الحل اللاحقة في البحث عن الحل الأمثل، إضافة لكون تطوير منهجية حل وفق مؤشر الكلفة الفعلية في إعادة صياغة النموذج في مرحلة إيجاد الحل الأساسي الممكن يعتبر أمراً مهماً لدى تدريس طرائق الحل، بهدف صياغة المسألة بطريقة علمية تتوافق مع تابع الهدف الأساسي للمسألة والمتمثل بالبحث عن الكلفة الدنيا لكمية المنتجات المنقولة بين مراكز الإنتاج ومراكز الاحتياج.

## ٨- المراجع

- [1]- مقدمة في بحوث العمليات، زيد البلخي، جامعة الملك سعود، ١٩٩٨، ص ٢٦٩ - ٢٩٦.
- [2]- التقنيات الكمية في الإدارة، أديب كولو، مطبعة طربين دمشق، ١٩٩٨، ص ٢٦٣ - ٢٧٧.
- [3]- بحوث العمليات، صباح الدين بوجه جي، وائل معلا، محمد نايفة، حسام مراد، محمد نوار العواء، المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر، ١٩٩٨، ص ٧٣ - ٨٨.

[4]- Problems in operations research principles and solutions, Prem Kumar Gupta and D.S. Hira, Chand

•& Company LTD. 2002, pp 406- 485