مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (1) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (1) 2016

أمثلة مسألة توزيع الكتل الترابية متعددة الأنواع باستخدام البرمجة الخطية

الدكتور فايز علي جراد*

(تاريخ الإيداع 18 / 8 / 2015. قُبِل للنشر في 21/ 1 / 2016)

□ ملخّص □

تمثل أعمال نقل التربة جزءاً أساسياً من أعمال المشاريع الهندسية ، كما تمثل تكلفة بنود تلك الأعمال الجزء الأكبر في مشروعات السدود والطرق والمطارات. ولما كانت التكلفة تعتمد على مجموعة من العوامل المؤثرة في تلك التكلفة فان التكلفة من المسائل الهامة في إدارة المشاريع. تناول هذا البحث عرضاً موجزاً لمختلف الطرق التي استخدمت في حساب تكلفة أعمال التربة والعوامل المؤثرة على هذه التكلفة. تم تطوير النماذج الرياضية القديمة بحيث يمكنها التعامل مع وجود أكثر من نوع من التربة في أماكن الحفر والردم كما عالج النموذج المطور مشكلة نقل التربة عند تواجد أنواع من التربة في أماكن الحفر لابد من ترحيلها لأنها غير صالحة للردم بحيث تم استخدام البرمجة الخطية لصياغة النموذج الرياضي وتكوين دالة الهدف والشروط المقيدة مع الأخذ بعين الاعتبار جميع الحالات التي يمكن تواجدها في المشروع. تم إعداد برنامج حاسوبي لتكوين المشكلة بشكل قياسي واستخدام برنامج (LINDO) لحل النموذج المشكل من البرنامج الحاسوبي وإعطاء الحل الأمثل.

الكلمات المفتاحية: إدارة مشاريع، نقل تربة، الحل الأمثل، برمجة خطية

*مدرس – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية –جامعة تشرين– اللاذقية– سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (1) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (1) 2016

Optimization Of Earthmoving Problem With Multiple Soil Types Using Linear Programing

Dr. Fayez A. Jrad*

(Received 18 / 8 / 2015. Accepted 21 / 1 / 2016)

□ ABSTRACT □

Earthmoving is the process of moving and processing soil from one location to another to alter an existing land surface into a desired configuration. Highways, dams, and airports are typical examples of heavy earthmoving projects. Over the years, construction managers have devised ways to determine the quantities of material to be moved from one place to another. Various types of soil (soft earth, sand, hard clay, …, etc.) create different level of difficulty of the problem. Earthmoving problem has traditionally been solved using mass diagram method or variety of operational research techniques. However, existing models do not present realistic solution for the problem. Multiple soil types are usually found in cut sections and specific types of soil are required in fill sections. Some soil types in cut sections are not suitable to be used in fill sections and must be disposed of. In this paper a new mathematical programming model is developed to find-out the optimum allocation of earthmoving works. In developing the proposed model, different soil types are considered as well as variation of unit cost with earth quantities moved. Suggested borrow pits and/or disposal sites are introduced to minimize the overall earthmoving cost. The proposed model is entirely formulated using the programming capabilities of VB6 while LINDO is used to solve the formulated model to get the optimum solution. An example project is presented to show how the developed model can be implemented.

Key Words: Construction Management, Earthmoving Problem, Optimization, linear Programming.

***Assistant Professor- Department of Construction Engineering and Management – Facility of Civil Engineering – Tishreen University- Syria.**

مقدمة:

تمثل أعمال نقل التربة جزءاً كبيراً من أعمال المشاريع الهندسة بحيث تكتسب بنود أعمل التربة أهمية خاصة في مشاريع الطرق والسدود والمطارات. وخلال تطور علوم الإدارة اقترح مدراء المشاريع والمهندسون مجموعة من الطرق لتحديد كميات التربة التي يجب نقلها من مكان إلى آخر لتغيير معالم الأرض الطبيعية وصولاً لمنسوب المشروع. تتضمن أعمال نقل التربة عمليات الحفر والتحميل والنقل والتفريغ وعمليتي التسوية والرص. وقد نجد أنواع مختلفة من التربة ضمن المشروع نفسه (رملية – غضارية – كلسيه – صخرية شديدة القساوة ...الخ) وهذا يولد مستويات مختلفة من الصعوبة للتعامل مع كل نوع. إن كلفة شراء واحدة الحجم من التربة تختلف باختلاف نوعها من تربة عادية إلى ترب صخرية وهذا يؤدي إلى كلفة مختلفة لبنود التربة أو قد تكون أنواع محددة من التربة مطلوبة في المشروع وغير متوفرة في مقاطع الحفر في المشروع أو قدت تكون هناك أنواع من التربة غير صالحة للردم ولابد من ترحيلها خارج المشروع. إن الإدارة الفعالة لعمليات نقل التربة وحساب تكاليفها يتطلب تقدير دقيق للكميات وكلفة واحدة الحجم لكل نوع من أنواع التربة بالإضافة للتوزيع الأمثل لهذه الكتل الترابية بين مناطق المشروع أو مناطق أخرى خارج المشروع.

إن توفر أماكن لتأمين التربة للمشروع تسمى أماكن الإعارة (borrow pits) بالإضافة إلى أماكن لرمي الفائض من التربة (disposal sites) يساهم في تقليل الكلفة الإجمالية لعمليات نقل التربة في المشروع، وفي كثير من الأحيان يكون هناك مجموعة من البدائل لأماكن الإعارة وأماكن رمي الفائض وقد يكون من المفيد والمجدي اقتصادياً للمشروع إنشاء مناطق جديدة (غير معمول بها) للإعارة أو رمي الفائض بحيث نطلق على هذه المناطق الجديدة الأماكن المقترحة للإعارة (suggested borrow pits)،كذلك الأماكن المقترحة لرمي الفائض (suggested disposal sites). إن اقتراح أماكن جديدة للإعارة أو رمي الفائض يعتمد على عوامل عديدة منها كلفة امتلاك الموقع، وكلفة تجهيز الموقع أو إنشاء طرق جديدة تصل للموقع او صيانة طرق موجودة ...الخ. ولابد من الإشارة إلى انه في كثير من الأحيان فان المقاول لا يدفع ثمن لشراء التربة او ثمن لرمي الفائض وقد يرمي هذه التربة بشكل عشوائي في مناطق قريبة من المشروع.

أهمية البحث وأهدافه

تعد الأعمال الترابية أساسية في المشاريع الهندسية وتشكل جزءاً لا يتجزأ من بنود أعمال المشروع الهندسي وبالتالي تكاليف المشروع. أثناء دراسة المشروع يكون هناك حيره من قبل الدارس في الوصول لحل أمثل لكيفية تأمين احتياجات المشروع من التربة المطلوبة وبمختلف أنواعها أو ترحيل الفائض منها أو ترحيل أنواع من التربة لا تصلح مواصفاتها للاستخدام داخل المشروع ، وكذلك الأمر إجراء أعمال الحفر والردم المطلوبة وكل ذلك ضمن حدود الكلفة الدنيا. هذا يتطلب ايجاد طريقة لتقديم حلول جيده لهذه المسألة وسهلة الاستخدام لتمكين الدارس من اتخاذ القرار السليم.

في هذا البحث سوف يتم تطوير نموذج رياضي يقوم بنمذجة مشكلة نقل التربة وحلها لنحصل على التوزيع الأمثل للكتل الترابية بأقل كلفة ممكنة. يضم النموذج المطور تواجد عدة أنواع من التربة بنفس الوقت في المشروع كما يأخذ بعين الاعتبار تغير كلفة واحدة الحجم من التربة بحسب كمية التربة المطلوبة ومسافة النقل كما يمكن للنموذج اقتراح مناطق جديدة للإعارة ومناطق جديدة لرمي الفائض وفقاً لبرنامج حاسوبي تم إعداده لغرض البحث. وكاختبار للنموذج تم تطبيق النموذج على مثال افتراضيي يحوي جميع الحالات السابقة.

طرائق البحث ومواده

يقوم البحث على تطوير طريقة رياضية ونمذجة مسألة نقل التربة داخل وخارج المشروع بحيث يجعل هذه المسألة مرنة وقابلة للتطوير و الحل ، واتخاذ قرار بشأنها بطريقة علمية وتحقق أحد ركائز المشروع الأساسية وهي تقليل تكاليف هذا المشروع ، كم يعتمد البحث على البرمجيات العالمية المستخدمة في هذا النوع من المسائل وتطوير واجهات لهذه البرمجيات وكذلك تطوير أشكال التقارير الناتجة عنها.

الدراسة المرجعية:

تم تطوير عدة طرق لإيجاد حلول منطقية لمشكلة نقل التربة في المشاريع الهندسية ويمكن تصنيف هذه الطرق إلى عدة نماذج منها ما تمت مناقشته من قبل (Stark and Mayer, 1983) وهو نموذج تخطيطي يتضمن طريقة يدوية لمعالجة توزيع التربة لكنه لا يعطي نتيجة دقيقة متضمنةً كميات التربة التي يجب أن توزع بين المقاطع المختلفة ولأنواع هذه التربة، كما توصل البحث المذكور الى ان كلفة التربة متناسبة مع مسافة النقل، وهذا النموذج لا يصلح لمشروع حقيقي تتغير فيه أنواع التربة والذي يؤدي بدوره لتغير معامل انتفاخ التربة ومعامل تقلصها هذا بالإضافة إلى أن كميات من التربة قد ترحل خارج المشروع أو قد ‘يحتاج إلى كميات إضافية من التربة في المشرع.

ولمعالجة النقص في الطريقة السابقة تم تطوير نموذج برمجة خطية من قبل (Easa, 1987) بحيث يقدم ها النموذج طريقة لتوزيع الكتل الترابية في المشروع الذي يحوي نوع وحيد من التربة.

أما طريقة المحاكاة فقد تم استخدامها بشكل واسع في مسائل نقل التربة وتركزت الدراسات حول اختيار عدد المعدات الأمثل التي تعمل مع بعضها البعض (Smith et al., 1995) بالإضافة لاختيار حجم الشاحنات والحفارات (Willenbrok, 1982) أو الربط بين حجم المشروع ومسألة نقل التربة (Osama, 2009). هناك بعض النماذج الأخرى التي قاربت مشكلة نقل التربة مثل نظرية الأرتال (O'Shea et al., 1964) ونظرية السلاسل (Ringwald, 1987) وطرقة التحليل التراجعي (Smith, 1999).

وفي السنوات الأخيرة لوحظ العودة لمناقشة موضوع نقل التربة باستخدام تقنية المحاكاة (Shawki, 2015) أو الاهتمام بمعدات نقل التربة لتقليل التكاليف (Remon et all. 2015) ، وفي جميع الأحوال فان الهدف هو تقليل تكاليف المشروع.

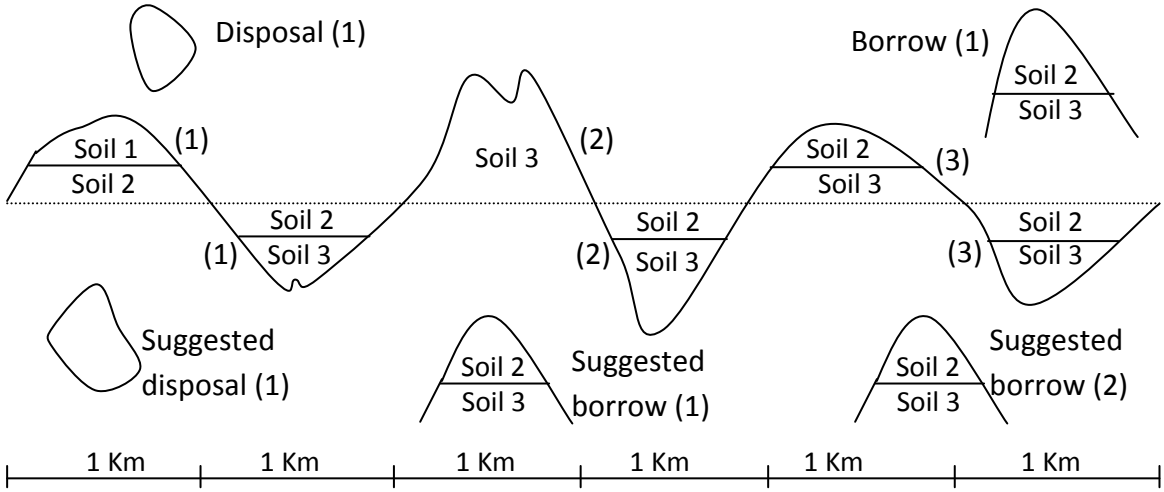
وقبل صياغة النموذج الجديد لابد من التعرف كيف تتم صياغة مشكلة نقل التربة باستخدام البرمجة الخطية وهي الطريقة المستخدمة في بحثنا. يكون لدينا في أي مشروع هندسي المخطط الطبوغرافي للمشروع المطلوب دراسته والمشكلة هي تحديد كميات التربة التي يجب نقلها ومن اين وكيف لنحصل على المنسوب التصميمي وبأقل كلفة ممكنة. ان تابع الهدف هو تقليل كلفة كميات التربة المنقولة كما صيغت من قبل (Stark and Mayer, 1983). ثم وضع الشروط المقيدة للمسألة مستخدماً كميات التربة المطلوبة للحفر والردم وكذلك بإدخال معاملات انتفاخ وتقلص التربة. ولكن النماذج السابقة لم تناقش حالة وجود انواع مختلفة من التربة في المشروع كما لم تأخذ بعين الاعتبار كلف مختلفة للتربة بحسب الكميات المطلوبة كما أنها لم تقترح في الحل أماكن جديدة للإعارة ورمي الفائض.

النتائج والمناقشة

سنبدأ بعرض النتائج بشكل متسلسل وموجز لمحدودية الصفحات المسموح بها في المجلة بحيث نبدأ تشكيل تابع الهدف ثم الشروط المقيدة وننتهي بأتمتة النموذج ، ولكن سنوضح كل المعادلات الرياضية من خلال مثال توضيحي وافتراضي يتناول جميع الحالات المدروسة والتي تتم مناقشتها في النموذج والتي ليس بالضرورة أن تجتمع جميع هذه الحالات في نفس المشروع، ولكن يستطيع النموذج حل المسألة سواء اجتمعت جميع الحالات أو البعض منها.

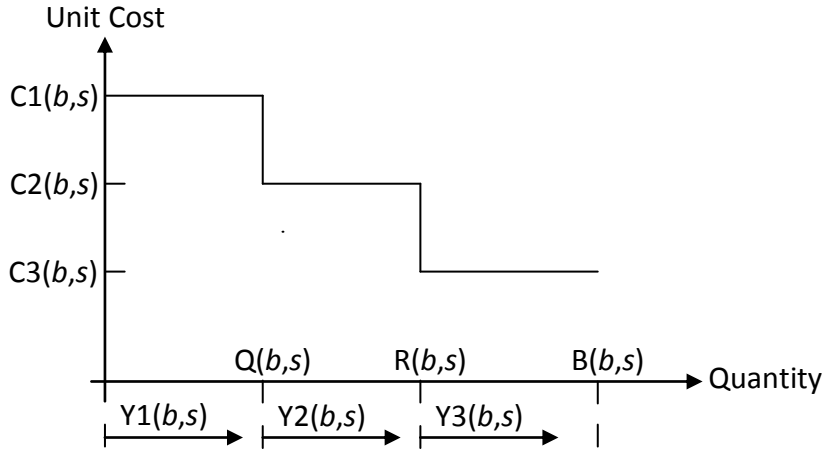
تشكيل النموذج الرياضي الجديد

تتضمن مسالة نقل التربة مجموعة من العمليات مثل مجموعة الحفر التي تتضمن حفر التربة في مقاطع المشروع المختلفة والحفر في أماكن الإعارة والحفر في الأماكن المقترحة للإعارة كما هو مبين في الشكل رقم (1)، والذي يبين شرح للنموذج المقترح بشكل نموذجي لمقطع طريق يحوي عدة مقاطع حفر(Cut sections)، عدة مقاطع ردم (fill sections)، أماكن للإعاره (Borrow pit)، وأماكن مقترحة للإعارة (Suggested borrow pit)، وأماكن رمي الفائض (Dispoasl site)، وأماكن مقترحة لرمي الفائض (Suggested disposal)، وأنواع مختلفة من التربة (Soil 1,2,3) يمكن مشاهدتها في مقاطع الحفر والردم في المناطق المختلفة للمشروع.



الشكل (1) مقطع طولي لطريق مع اماكن اعارة ورمي فائض

إن كلفة حفر وشراء واحدة الحجم من التربة سوف تؤخذ في النموذج الجديد كتابع للكمية المطلوبة في مقاطع الردم وأماكن رمي الفائض كما هو مبين في الشكل رقم (2) ولن تؤخذ كقيمة ثابته فكما نعلم أن كلفة شراء التربة من الموردين (قد تكون ردميات أساس الطريق مثلاً) تنخفض مع ازدياد الكميات المطلوبة من قبل المقاول. يبين الشكل انه اذا كانت كمية التربة المطلوب توريدها من مكان الإعارة (b) ومن التربة ذات النوع (S) وهذه الكمية هي أقل من حد معين هو Q(b, s) عندها تكون كلفة واحدة الحجم C1(b, s) وبنفس الطريقة نجد انه إذا ازدادت كمية التربة إلى R(b, s) فان الكلفة سوف تنخفض إلى C2(b,s) وهكذا نجد أن كلفة واحدة الحجم يمكن اعتبارها بانخفاض متدرج كلما ازدادت كميات التربة المطلوبة ويعني هذا عدة عروض أسعار للتربة بحسب الكمية الموردة.



الشكل (2) تدرج كلفة شراء وحفر واحدة الحجم من التربة كتابع لكمية التربة

لصياغة تابع الهدف تم اختيار المتغيرات الأولية والتي هي كميات التربة المطلوب نقلها من مكان الى آخر في المشروع أما الشروط المقيدة فهي كميات التربة المطلوب حفرها في مقاطع الحفر والكميات المطلوبة للردم وكميات التربة المتوفرة في أماكن الإعارة والسعة الاستيعابية لأماكن رمي الفائض وهو ما سيوضح بشكل مفصل في الفقرات القادمة.

تم استخدام نوعان من متغيرات القرار هما:

- متغيرات القرار الكمية لإيجاد التوزيع الامثل للتربة بين المناطق المختلفة والتي أشير إليها بالرمز X, Y أما الأدلة السفلية لها فقد استخدمت للإشارة إلى الحالات المختلفة لتواجد التربة في المشروع فعلى سبيل المثال نستخدم الرمز Xsb(n,j,s) للإشارة إلى كمية التربة التي تنقل من مكان الإعارة المقترح (n) إلى مقطع الردم رقم (j) ومن التربة ذات النوع (s) بينما يمثل متغير القرار Y2(b,s) كمية التربة من النوع (s) والموردة من مكان الإعارة (b) والتي تتمتع بعرض أسعار من النوع (2).
- المتغيرات من النوع صفر– واحد $\lambda(b,s)$ و $\gamma(b,s)$ فقد استخدمت لتمثيل التغير في كلفة شراء وحفر واحدة الحجم من التربة من مكان الإعارة (b) ومن التربة ذات النوع (S). من الناحية العملية فان مكان وحيد مقترح للإعارة ومكان وحيد مقترح لرمي الفائض يمكن اختياره في النموذج الجديد لان الأماكن المقترحة يكون لها كلفة إنشاء أو امتلاك كبيرة كما وضحنا في بداية البحث وقد استخدم المتغير من النوع صفر– واحد (δ) للتعبير عن هذه الحالة.
- فيما يلي الشكل النهائي للنموذج الرياضي الجديد:

تابع الهدف:

$$Z=\sum_{i=1}^{Nc}\sum_{j=1}^{Nf}\sum_{s\varepsilon(i\ j)=1}^{Ns}C(i,j,s)X(i,j,s)+\sum_{b=1}^{Nb}\sum_{j=1}^{Nf}\sum_{s\varepsilon(p,j)=1}^{Ns}Cb(b,j,s)Xb(b,j,s)+$$

$$\sum_{n=1}^{Nsb}\sum_{j=1}^{Nf}\sum_{s\varepsilon(n,j)=1}^{Ns}Csb(n,j,s)Xsb(n,j,s)+\sum_{i=1}^{Nc}\sum_{k=1}^{Nd}\sum_{s\varepsilon(i)=1}^{Ns}Cd(i,k,s)Xd(i,k,s)+$$

$$\sum_{i=1}^{Nc}\sum_{m=1}^{Nsd}\sum_{s\varepsilon(i)=1}^{Ns}Csd(i,m,s)Xsd(i,m,s)+\sum_{m=1}^{Nsd}Ksd(m)\delta sd(m)$$

$$+\sum_{n=1}^{Nsb} \mathrm{Ksb}(n)\mathrm{Ysb}(n) + \sum_{b=1}^{Nb} \sum_{s\varepsilon(b,j)=1}^{Ns} \mathrm{C1}(b,s)*\mathrm{Y1}(b,s) + \mathrm{C2}(b,s)*\mathrm{Y2}(b,s) + \mathrm{C3}(b,s)*\mathrm{Y3}(b,s) +$$

$$[\mathrm{C2}(b,s) - \mathrm{C1}(b,s)]*\mathrm{Q}(b,s)*\lambda(b,s) + [\{\mathrm{C2}(b,s) - \mathrm{C1}(b,s)\}*\mathrm{Q}(b,\mathrm{s}) + \{\mathrm{C3}(b,s) - \mathrm{C2}(b,s)\}*\mathrm{R}(b,s)]*\gamma(b,\mathrm{s})\}$$

حيث :

Nc: عدد مقاطع الحفر، Nf: عدد مقاطع الردم، Ns: عدد أنواع التربة في المشروع، Nb: عدد أماكن الإعارة، Nd: عدد أماكن رمي الفائض، Nsb: عدد المناطق المقترحة للإعارة، Ksb(n): كلفة إنشاء مكان الإعارة المقترح (n)، δsb(n): متغير من النوع صفر– واحد لاختيار مكان مقترح وحيد للإعارة، Nsd: عدد المناطق المقترحة لرمي الفائض، Ksd(m): كلفة إنشاء مكان رمي الفائض المقترح (m)، λ(b,s) و γ(b,s) متغيران من النوع صفر – واحد لشراء وحفر التربة من النوع (S) لمكان الإعارة (b).

حساب تكاليف ترحيل واحدة الحجم من التربة

ان حساب تكلفة واحدة الحجم (الحجم) لمختلف أنواع التربة وفي جميع حالات الترحيل للتربة والتي تتضمن عادة ثلاث تكاليف وهي تكاليف الحفر والنقل والرص لواحدة الحجم، وإذا ما اخذنا بعين الاعتبار التوريد من أماكن الإعارة فسيضاف للعناصر السابقة تكلفة شراء واحدة الحجم. كما لابد من الإشارة الى أن تكلفة النقل لواحدة الحجم في نموذجنا مرتبطه بمسافة النقل.تتضمن تكلفة تحريك واحدة الحجم من التربة في نموذجنا خمس بدائل وهي:

- من مقاطع الحفر الى مقاطع الردم
- من أماكن التوريد الى مقاطع الردم
- من الأماكن المقترحة للتوريد الى مقاطع الردم
- من مقاطع الحفر الى أماكن رمي الفائض
- من مقاطع الحفر الى الأماكن المقترحة لرمي الفائض.

وستحسب التكاليف في كل حالة من الحالات السابقة كما هو موضح في الفقرات التالية:

تكلفة واحدة الحجم من مقاطع الحفر الى مقاطع الردم

تتضمن عناصر حساب تكلفة واحدة الحجم في هذه الحالة تكلفة الحفر متضمنةً التحميل Ue وتكلفة النقل لواحدة المسافة (Km) Uh وتكلفة التسوية و الرص Uc وهكذا فان تكلفة ترحيل واحدة الحجم من التربة من مقطع الحفر i الى مقطع الردم j هي C(i,j) وتحسب بالعلاقة.

$$\mathrm{C}(i,j) = \mathrm{Ue} + \mathrm{Uh}*\mathrm{d}(i,j) + \mathrm{Uc}$$

مع العلم أن d(i, j) هي المسافة بين مراكز الكتل الترابية لهذه المقاطع. عادة في المشروع الهندسي هناك أنواع مختلفة من التربة قسم منها يرحل وقسم يتم استخدامه في مناطق الردم وقسم يتم توريده الى مناطق الردم كتربة محسنة أو غير ذلك فإذا أدخلنا نوع التربة (s) في العلاقة السابقة ومعامل انتفاخ (خلخلة) التربة عندها ستصبح العلاقة بالشكل الجديد التالي:

$$\mathrm{C}(i,j,s) = \mathrm{Ue}(s) + \mathrm{Sw}(s)\{\mathrm{Uh}(s)*\mathrm{d}(i,j) + \mathrm{Uc}(s)\}$$

حيث يشير الرمز C(i,j,s) الى تكلفة واحدة الحجم من التربة ذات النوع (s) من مقطع الحفر i الى مقطع الردم j.

تكلفة واحدة الحجم من أماكن الإعارة الى مقاطع الردم

في هذه الحالة فإن عنصر جديد لتكلفة الترحيل يمكن إضافته وهو كلفة شراء واحدة الحجم من التربة ففي كثير من المشاريع يتم الاحتياج الى أنواع من التربة المحسنة التي يتم شراؤها ويمكن أن تأخذ هذه المركبة من المعادلة القيمة صفر في حال استخدام تربة من مناطق محلية لا يتم شراؤها وبالتالي يصبح الشكل النهائي للمعادلة كما يلي:

$$Cb(b,j,s) = Upu(s) + Ue(s) + Sw(s)\ \{Uh(s)*d(b,j) + Uc(s)\}$$

يشير الرمز Cb(b, i, s) الى تكلفة واحدة الحجم من التربة ذات النوع (s) ومن مكان التوريد رقم b الى مقطع الردم j . Upu(s) تكلفة شراء واحدة الحجم من التربة s . d(b,j) هو مسافة النقل بين مكان التوريد b ومقطع الردم j .

كما لابد من الإشارة الى أن تكلفة الشراء ذات عروض أسعار متعددة كما يوضح الشكل (2) فإذا كان أكبر حجم ممكن للتوريد من مكان التوريد b من التربة s هو B(b, s) و Y(b,s) هي كمية التربة الموردة من النوع s فيمكننا أن نشاهد ثلاث حالات هي:

1- $0 < Y1(b,s) \le Q(b,s)$, then:

$Y2(b,s) = 0$, $Y3(b,s) = 0$, and Total Cost = $C1(b,s)*Y1(b,s)$

2- $0 < Y2(b,s) \le [R(b,s) - Q(b,s)]$, then:

$Y1(b,s) = Q(b,s)$, $Y3(b,s) = 0$, and Total Cost = $C2(b,s)*[Q(b,s) + Y2(b,s)]$

3- $0 < Y3(b,s) \le [B(b,s) - R(b,s)]$, then:

$Y1(b,s) = Q(b,s)$, $Y2(b,s) = [R(b,s) - Q(b,s)]$, and

Total Cost = $C3(b,s)*[R(b,s) + Y3(b,s)]$

علماً أن Y(b,s) هي مجموع Y1(b,s), Y2(b,s)و Y3(b,s) .

وهكذا وبطريقة مشابهة يمكن ايجاد تكاليف واحدة الحجم للحالات المختلفة

تكلفة واحدة الحجم من الأماكن المقترحة للتوريد الى مقاطع الردم

في الأماكن المقترحة للإعارة فان المقاول يدفع تكلفة انشاء هذا الموقع للضرورة (انشاؤه يخفف التكاليف)، لذلك لا يوجد هنا تكلفة شراء وإنما كلفة اجمالية تضاف على انها كلفة انشاء الموقع المقترح في تابع الهدف وبقية الشروط المقيده وتكون العلاقة لحساب تكلفة واحدة الحجم.

$$Csb(n,j,s) = Ue(s) + Sw(s)\ \{Uh(s)*d(n,j) + Uc(s)\}$$

ويشير الرمز d(n, j) مثلاً لمسافة النقل من المكان المقترح للاعارة n الى مقطع الردم j أما كلفة انشاء الموقع n فقد تم الاشارة لها بالرمز Ksb(n) في تابع الهدف والشروط المقيدة.

تكلفة واحدة الحجم من مقاطع الحفر الى أماكن رمي الفائض

وهنا يمكن أن نميز حالتين أولها لا يطلب فيها الرص والتسوية في أماكن رمي الفائض وتكون قيمة (U`c(s) = 0) والحالة الثانية يكون هناك كلفة للرص والتسوية وبالتالي نحصل على المعادلتين:

$$Cd(i,k,s) = Ue(s) + Sw(s)\ \{Uh(s)*d(i,k)\}$$

$$Cd(i,k,s) = Ue(s) + Sw(s)\ \{Uh(s)*d(i,k) + U`c(s)\}$$

يشير الرمز Cd(i, k, s) الى تكلفة ترحيل واحدة الحجم من التربة ذات النوع s و من مقطع الحفر i الى مكان رمي الفائض k.

تكلفة واحدة الحجم من التربة من مقاطع الحفر الى الأماكن المقترحة لرمي الفائض.

كما في الحالة السابقة فاننا يمكن أن نشاهد حالتين إما لا يطلب تسوية ورص للتربة المرحلة للأماكن المتقرحة لرمي الفائض أو يمكن رصها وبالتالي ستكون معادلة حساب التكلفة احدى الحالتين:

$$Csd(i,m,s) = Ue(s) + Sw(s)\ \{Uh(s)*d(i,m)\}$$

$$Csd(i,m,s) = Ue(s) + Sw(s)\ \{Uh(s)*d(i,m) + U`c(s)\}$$

كما لابد من الإشارة الى أن تكلفة انشاء المكان المقترح لرمي الفائض هو Ksd(m) والذي يظهر في دالة الهدف والشروط المقيدة.

الشروط المقيدة للمسألة: هناك شروط مقيدة عديدة للمسألة تتعلق بكميات التربة وهي:

1. **مقاطع الحفر:** إن كميات التربة من النوع (s) التي يجب أن تنقل من مقطع الحفر (i) الى كل مقطع من مقاطع الردم (j) و مناطق رمي الفائض (k) والمكان المقترح لرمي الفائض (m) يجب ان تكون مساوية لكمية التربة التي يجب حفرها من المقطع رقم (i) ومن نفس نوع التربة (s) وهذا ما يعبر عنه بـ Qc(i,s), and (s ε i,j) : أي Qc(i,s) كمية التربة التي يجب حفرها في المقطع (i) ومن النوع (s) والشرط (s ε i,j) يعني ان التربة من النوع (s) موجوده في مقطع الحفر (i) ومطلوبة في مقطع الردم (j)، وبالتالي يمكن كتابة الشروط المقيدة بالنسبة لمقاطع الحفر وفقاً للمعادلة رقم (1) كما يلي:

$$\sum_{j=1}^{Nf} X(i,j,s) + \sum_{k=1}^{Nd} Xd(i,k,s) + \sum_{m=1}^{Nsd} Xsd(i,m,s) = Qc(i,s) \quad i=1,2,\ldots,Nc,\ s=1,2,\ldots,Ns \quad (1)$$

ان وجود الشرط i=1,2,…,Nc, يعني ان الشرط المقيد يتكرر لكل مقطع حفر والشرط s=1,2,…,Ns أي ان الشرط المقيد يتكرر بالنسبة لكل نوع من أنواع التربة في المشروع كما سنرى لاحقاً في تطبيق النموذج.

2. **مقاطع الردم:** ان كمية التربة التي تنقل من مقاطع الحفر وأماكن التوريد والأماكن المقترحة للتوريد الى مقطع الردم يجب ان تساوي الكمية المطلوبة من التربة لهذا المقطع وهنا يمكن ان نميز حالتين: الحالة الاولى أن جميع انواع التربة يمكن ان تستخدم في مقطع الردم ويكون عندها الشرط المقيد هو:

$$\sum_{i=1}^{Nc}\sum_{s\varepsilon(i)=1}^{Ns} Sh(s)X(i,j,s) + \sum_{b=1}^{Nb}\sum_{s\varepsilon(b)=1}^{Ns} Sh(s)Xb(b,j,s) + \sum_{n=1}^{Nsb}\sum_{s\varepsilon(n)=1}^{Ns} Sh(s)Xsb(n,j,s) = Qf(j)$$

$$j=1,2,\ldots,Nf \quad (2)$$

حيث: Qf(j) هي الطاقة الاستيعابية (الكمية المطلوبة) لمقطع الردم (j)، sh(s) هو معامل تقلص التربة (الرص) من النوع (s).

أحياناً يكون نوع معين من التربة المحفورة لا يمكن استخدامه في مقاطع الردم وهي الحالة الثانية في الشرط المقيد لمقاطع الردم، هنا لابد من ترحيل هذه التربة لعدم صلاحيتها وبالتالي تكون الطاقة الاستيعابية (كمية التربة المطلوبة) لمقطع الرم (j) من نوع التربة (s) هو Qf(j,s) بحيث يكون هذا النوع من التربة متوفر في مقاطع الحفر وأماكن الإعارة والأماكن المقترحة للإعارة ومطلوب في مقطع الردم (j) ويعبر عن ذلك sεi,j, sεb,j, sεn,j، وتكون الصيغة النهائية للحالة الثانية من الشروط المقيدة لمقاطع الردم هي:

$$\sum_{i=1}^{Nc} \mathrm{Sh}(s)\mathrm{X}(i,j,s) + \sum_{b=1}^{Nb} \mathrm{Sh}(s)\mathrm{Xb}(b,j,s) + \sum_{n=1}^{Nsb} \mathrm{Sh}(s)\mathrm{Xsb}(n,j,s) = \mathrm{Qf}(j,s)$$

$s\varepsilon\ (i,j)$, (b,j), and $(n,j) = 1,2,\ldots,Ns, \quad j = 1,2,\ldots,Nf$ (**3**)

3. **أماكن الإعارة:** كمية التربة الموردة من أي مكان من أماكن الإعارة الى مناطق الردم ومن أنواع الترب المختلفة مقيدة بكميات التربة المتوفرة في مكان الإعارة. لهذا فانه لكل مكان إعارة (b) شرط مقيد هو كمية التربة المتوفرة في هذا المكان ومن التربة ذات النوع (s) والممثلة بالرمز Qb(b,s)، وتكون الصيغة النهائية للشروط المقيدة لمناطق الاعارة هي:

$$\sum_{j=1}^{Nf} \mathrm{Xb}(b,j,s) \le \mathrm{Qb}(b,s) \qquad s\varepsilon(b,j) = 1,2,\ldots,Ns, \quad b = 1,2,\ldots,Nb \qquad (\mathbf{4})$$

اذا كان هناك كلفة شراء وكلفة حفر للتربة في اماكن الاعارة وفقاً لأسعار متدرجة كما يبين الشكل(2) فان شرط مقيد جديد يجب ان يضاف وهو ان كمية التربة في مكان الاعارة (b) ومن الأسعار المتدرجة المختلفة يجب ان يكون مساوٍ لكمية التربة المطلوبة في مقاطع الردم كما يوضح الشرط التالي:

$$\mathrm{Y1}(b,s) + \mathrm{Y2}(b,s) + \mathrm{Y3}(b,s) = \sum_{j=1}^{Nf} \mathrm{Xb}(b,j,s) \qquad s\varepsilon(b,j) = 1,2,\ldots,Ns, \ b = 1,2,\ldots,Ns \qquad (\mathbf{5})$$

نستخدم المتغيرات من النوع صفر – واحد λ(b,s) وγ(b,s) من أجل كل مكان إعارة (b) لكل نوع من التربة (sεb) وذلك لاختيار التدرج المناسب للسعر بحسب كمية التربة المطلوبة وفقاً للشكل (2)، وسنستعرض الشروط المقيده ثم نناقشها وهي:

$$\mathrm{Y1}(b,s) \le \mathrm{Q}(b,s) \qquad s\varepsilon(b,j) = 1,2,\ldots,Ns, \ b = 1,2,\ldots,Nb \qquad (6)$$

$$\mathrm{Y1}(b,s) - [\lambda(b,s) + \gamma(b,s)] * \mathrm{Q}(b,s) \ge 0 \qquad s\varepsilon(b,j) = 1,2,\ldots,Ns, \ b = 1,2,\ldots,Nb \qquad (7)$$

$$\mathrm{Y2}(b,s) - [\lambda(b,s) + \gamma(b,s)] * [\mathrm{R}(b,s) - \mathrm{Q}(b,s)] \le 0 \qquad s\varepsilon(b,j) = 1,2,\ldots,Ns, \ b = 1,2,\ldots,Nb \qquad (8)$$

$$\mathrm{Y2}(b,s) - \gamma(b,s) * [\mathrm{R}(b,s) - \mathrm{Q}(b,s)] \ge 0 \qquad s\varepsilon(b,j) = 1,2,\ldots,Ns, \ b = 1,2,\ldots,Nb \qquad (9)$$

$$\mathrm{Y3}(b,s) - \gamma(b,s) * [\mathrm{B}(b,s) - \mathrm{R}(b,s)] \le 0 \qquad s\varepsilon(b,j) = 1,2,\ldots,Ns, \ b = 1,2,\ldots,Nb \qquad (10)$$

$$\lambda(b,s) + \gamma(b,s) \le 1; \quad \lambda(b,s) \text{ and } \gamma(b,s)\ \varepsilon\ (0,1) \qquad s\varepsilon(b,j) = 1,2,\ldots,Ns, \ b = 1,2,\ldots,Nb \qquad (11)$$

ان التراكيب المختلفة للمتغيرات λ(b,s) و γ(b,s) معطاة في المعادلة

[λ(b,s) = 0, γ(b,s) = 0], [λ(b,s) = 1, γ(b,s) = 0], and [λ(b,s) = 0, γ(b,s) = 1] وهذه التراتيب توافق الحالات التي تكون فيها كميات التربة المنقولة من مكان الإعارة (b) وفقاً للتدرج الأول أو الثاني أو الثالث المبين في الشكل (2) فعلى سبيل المثال إن وجود النموذج الثالث [λ(b,s)=0, γ(b,s)=1] يتوافق مع

المعادلات من (6) إلى (11) والتي تعطي $Y3(b,s) \le B(b,s)-R(b,s)$ وما يوافق ذلك من كلفة كما هو مبين بجزء من معادلة تابع الهدف كما يلي $C3(b,s)\{R(b,s)+Y3(b,s)\}$.

4. **أماكن الإعارة المقترحة:** ان كميات التربة التي يمكن ان تورد من مكان الاعارة المقترح (n) مقيدة بكمية التربة الموجودة في مكان الاعارة هذا والتي يرمز لها بالرمز Qsb(n). ان المتغير من النوع صفر –واحد $\delta sb(n)$ يستخدم لحذف المتغير $Xsb(n,j,s)$ عندما لا يساهم مكان الاعارة المقترح في تقليل الكلفة الاجمالية لنقل التربة. وتكون المعادلة النهائية لهذا الشرط المقيد هي:

$$\sum_{j=1}^{Nf} Xsb(n,j,s) \le Qsb(n,s)\delta sd(n)$$

$$\text{Or,} \quad \sum_{j=1}^{Nf} Xsb(n,j,s) - Qsb(n,s)\delta sb(n) \le 0 \quad s\epsilon(n,j)=1,2,\ldots,Ns, \quad n=1,2,\ldots,Nsb \qquad \textbf{(12)}$$

وبما أن هناك كلفة لإنشاء المناطق المقترحة الجديدة للإعارة فانه سوف نختار مكان إعارة وحيد مقترح في هذا النموذج في حال وجود أكثر من مكان مقترح ، ومكان الإعارة المقترح الذي سوف يتم اختياره سوف يساهم في تقليل الكلفة و إلا لن يختاره النموذج. إن المتغير من النوع صفر – واحد $\delta sb(n)$ هو المستخدم لاختيار مكان مقترح وحيد وبالتالي الشرط المقيد هو:

$$\sum_{n=1}^{Nsb} \delta sb(n) \le 1 \qquad \textbf{(13)}$$

5. **مناطق رمي الفائض:** إن كمية التربة التي يمكن أن تنقل إلى مكان رمي الفائض (k) مقيدة بسعة مكان رمي الفائض والتي طاقته الاستيعابية يرمز لها بالرمز Qd(k). يمكن صياغة الشرط المقيد الذي يفي بهذا الغرض ومن اجل تربة من النوع (s) والتي معامل تقلصها هو Sw(s) كما يلي:

$$\sum_{i=1}^{Nc} \sum_{S\epsilon(i)=1}^{Ns} Sw(s)Xd(i,k,s) - Qd(k) \le 0 \qquad k=1,2,\ldots,Nd \qquad \textbf{(14)}$$

6. المناطق المقترحة لرمي الفائض: بشكل مشابه للأماكن المقترحة للإعارة فانه من اجل كل مكان مقترح لرمي الفائض (m) ومن اجل كل نوع من التربة (s) وبطاقة استيعابية لمكان رمي الفائض المقترح Qsd(m) فاالشروط المقيدة يمكن تمثيلها بالمعادلة التالية:

$$\sum_{i=1}^{Nc} \sum_{s\epsilon(i)=1}^{Ns} Sw(s)Xsd(i,m,s) - Qsd(m)\delta sd((m) \le 0 \qquad m=1,2,\ldots,Nsd \qquad \textbf{(15)}$$

كما لابد من إضافة شرط مقيد جديد من النوع صفر – واحد للتأكيد على انه سوف يتم اختيار مكان مقترح وحيد أيضاً لرمي الفائض إذا كان بمقدوره المساهمة في تقليل تكلفة أعمال التربة، ويمكن تمثيل هذا الشرط بالمعادلة التالية:

$$\sum_{m=1}^{Nsd} \delta sd(m) \le 1 \qquad \textbf{(16)}$$

اختبار النموذج

لكي نستطيع اختبار تشكيل النموذج وفهم مكوناته سوف نأخذ المثال البسيط الموضح في الشكل رقم (1) وهو عبارة عن طريق مؤلف من ثلاث مقاطع حفر وثلاث مقاطع ردم و مكان وحيد للاستعارة ومكان وحيد لرمي الفائض وكذلك مكان مقترح وحيد لرمي الفائض ومكان مقترح وحيد للإعارة هناك ثلاثة انواع مختلفة من التربة. كميات التربة

وبقية البيانات المرتبطة بالمثال معطاة بالجداول 1، 2 و 3. المسافات بين المقاطع المختلفة وأماكن الاعارة ورمي الفائض معطاة بالجداول 4 و 5 . تقاس المسافات بين المراكز للكتل. كلفة انشاء المناطق المقترحة للإعارة ورمي الفائض هي (2100) و (2000) وحدة نقدية ولتكن (دولار مثلاً) على التوالي، مع العلم أنه تم اخذ الارقام افتراضيه وبسيطة للإيضاح ولأن معادلات النموذج كثيرة ولا يوجد فيما بعد مشكله بأي أرقام للكلف أو عدد المقاطع أو عدد أنواع التربة لأنه سيتم أتمتة النموذج.

الجدول (1) كميات التربة المقدرة لمقاطع الحفر والردم وطاقة انتاج واستيعاب أماكن التوريد ورمي الفائض (m^3)

أنواع التربة المتوفرة	رقم مقاطع الحفر			رقم مقاطع الردم			رقم مكان الاعارة	رقم المكان المقترح للإعارة	رقم مكان رمي الفائض	المكان المقترح لرمي الفائض
أو المطلوبة	1	2	3	1	2	3	1	1	1	1
1	30	–	–	–	–	–	–	–	6000	5000
2	50	–	250	35	58	110	500	300		
3	–	200	300	100	290	260	800	350		

الجدول (2) نقاط تدرج الاسعار لأماكن الاعارة (1)

نوع التربة	كمية التربة الموافقة لعرض السعر (1)	كمية التربة لعرض السعر (2)	كلفة واحدة الحجم الموافقة لعرض السعر (وحدة نقدية)		
			C1	C2	C3
2	50	100	5	4	3
3	200	300	7	6	4

الجدول رقم (3) كلفة واحدة الحجم ومعاملات الانتفاخ والرص لأنواع التربة المختلفة

نوع التربة	معاملات		كلفة واحدة الحجم		
	الانتفاخ (الخلخلة)	الرص	للحفر	للنقل	للرص
1	1.5	0.95	2	1.5	– (لايوجد رص)
2	1.1	0.8	2	1.5	2.5
3	1.2	0.85	2	1.5	2.5

جدول (4) المسافات (Km) أماكن توريد التربة و أماكن الردم

رقم مقطع الردم	أرقام مقطع الحفر			رقم مكان الاعارة	رقم المكان المقترح للإعارة
	1	2	3	1	1
1	1	1	3	4	4
2	3	1	1	2	2
3	5	3	1	1	1

جدول (5) المسافات (Km) بين أماكن الحفر ورمي الفائض

رقم مقطع الحفر	رقم مكان رمي الفائض	رقم المكان المقترح لرمي الفائض
	1	1
1	1	1
2	2	1
3	4	3

متغيرات القرار للمثال:

نلاحظ في المثال الذي نتناوله أن عدد أنواع التربة في المشرع هي ثلاثة أنواع (Ns =3) وأن عدد الاماكن المقترحة للإعارة ورمي الفائض هي واحد لكل منهما (Nsb=1, Nsd=1) وعدد أماكن رمي الفائض واحد(Nd =1) وعدد أماكن الاعارة واحد (Nb =1) وعدد مقاطع الردم ثلاثة (Nf =3) وعدد مقاطع الحفر ثلاثة (Nc =3). وسنورد عدة أمثلة على متغيرات القرار ويكون تعريف بقية المتغيرات بنفس الاسلوب فمثلاً:

X(3,1,2) يشير هذا المتغير الى كمية التربة التي سيتم نقلها من مقطع الحفر 3 الى مقطع الردم 1 ومن التربة ذات النوع 2 الموجودة في مقطع الحفر.

Xb(1,2,3) يشير هذا المتغير الى كمية التربة التي سيتم شراؤها من من مكان الإعارة 1 وستورد الى مقطع الردم 2 ومن التربة ذات النوع 3 والمتوفرة في مكان الاعارة رقم واحد.

Xd(3,1,2) يشير الى كمية التربة التي سترحل من مقطع الحفر 3 الى مكان رمي الفائض 1 من التربة نوع 2.

Xsb(1,2,3) يشير الى كمية التربة التي سوف تورد من المكان المقترح للتوريد رقم 1 الى مقطع الردم رقم 2 ومن التربة نوع 3.

Xsd(2,1,3) يشير لكمية التربة التي سترحل من مقطع الحفر 2 الى المكان المقترح لرمي الفائض 1 ومن التربة نوع 3.

Y1(1,2) يشير الى كمية التربة ذات عرض الاسعار الأول من مكان الاعارة رقم 1 ومن النوع 2.

Y2(1,2) يشير الى كمية التربة ذات عرض الاسعار الثاني من مكان الاعارة رقم 1 ومن التربة نوع 2.

Y3(1,2) يشير الى كمية التربة ذات عرض الاسعار الثالث من مكان الاعارة رقم 1 ومن التربة نوع 2.

δsb (1) يشير الى المتغير من النوع صفر – واحد لمكان الاعارة المقترح رقم 1.

(1) δsd يشير الى المتغير من النوع صفر – واحد لمكان رمي الفائض المقترح رقم 1.

λ(1,2), γ(1,2) يشيران الى المتغير من النوع صفر – واحد لمكان الاعارة رقم 1 والموافقة للتربة ذات النوع 2.

وبنفس الطريقة يمكن ان نعرف جميع المتغيرات ليكون تابع الهدف للمثال المتناول هو:

MIN Z = 6.4X1,1,2 + 9.7X1,2,2 + 13X1,3,2 + 6.8X2,1,3 + 6.8X2,2,3 + 10.4X2,3,3 + 9.7X3,1,2 + 6.4X3,2,2 + 6.4X3,3,2 + 10.4X3,1,3+ 6.8X3,2,3 + 6.8X3,3,3 + 9.35Xb1,1,2 + 10.2Xb1,1,3 + 6.05Xb1,2,2 + 6.6Xb1,2,3 + 4.4Xb1,3,2 + 4.8Xb1,3,3 + 11.35Xsb1,1,2 + 12.2Xsb1,1,3 + 8.05Xsb1,2,2 + 8.6Xsb1,2,3 + 6.4Xsb1,3,2 + 6.8Xsb1,3,3 + 4.25Xd1,1,1 + 3.65Xd1,1,2 + 5.6Xd2,1,3 + 6.95Xd3,1,2 + 7.4Xd3,1,3 + 4.25Xsd1,1,1 + 3.65Xsd1,1,2 + 3.8Xsd2,1,3 + 4.75Xsd3,1,2 + 5Xsd3,1,3 + 2000δsd(1) + 2100δsb(1) + 5Y1(1,2) + 7Y1(1,3) + 4Y2(1,2) + 6Y2(1,3) + 3Y3(1,2) + 4Y3(1,3) -50λ(1,2) - 200λ(1,3) - 150γ(1,2) - 800γ(1,3)

ان الثوابت أمام متغيرات القرار مثلاً 6.4X1,1,2 وبقية المتغيرات هي تكاليف واحدة الحجم للكميات، وللرمز المتناول هي تكلفة واحدة الحجم لتحريك واحد متر مكعب من مقطع الحفر رقم 1 الى مقطع الردم رقم 1 ومن التربة ذات النوع وتحسب التكاليف لواحدة الحجم بعلاقات رياضية تم شرحها في النموذج المقترح معرفة في المراجع وهي وهي مجموع كلفة الحفر والنقل والرص وبتطوير هذه العلاقة لتناسب النموذج المقترح يكون لدينا:

وبتطبيق العلاقة على المثال نجد قيمة الثابت أمام المتغير الأول:

C(1,1,2) = 2 + 1.1(1.5*1 + 2.5) = 6.4, where,

Ue(2) =2, Uh(2) =1.5, Uc(2) =2.5, d(1,1) =1, and Sw(2) =1.1

وبنفس الطريقة بالنسبة لبقية الثوابت أما الشروط المقيدة للمسألة فتكون:

الشروط المقيدة لمقاطع الحفر: كمية التربة التي سترحل من مقاطع الحفر والتي سوف ترحل الى مقاطع الردم أو أماكن رمي الفائض يجب ان تكون مساوية لكمية الحفر المطلوبة في مقطع الحفر. فعلى سبيل المثال كمية التربة المرحلة من مقطع الحفر 1 الى مكان رمي الفائض 1 والمكان المقترح لرمي الفائض 1 ومن التربة ذات النوع 1 هي 30 متر مكعب وبالتالي يصبح الشرط المقيد هو:

Xd1,1,1 + Xsd1,1,1 = 30

من أجل بقية مقاطع الحفر ولأنواع التربة المختلفة تكون الشروط المقيدة المطلوبة للمثال هي:

X1,1,2 + X1,2,2 + X1,3,2 + Xd1,1,2 + Xsd1,1,2 = 50

X2,1,3 + X2,2,3 + X2,3,3 + Xd2,1,3 + Xsd2,1,3 = 200

X3,1,2 + X3,2,2 + X3,3,2 + Xd3,1,2 + Xsd3,1,2 = 250

X3,1,3 + X3,2,3 + X3,3,3 + Xd3,1,3 + Xsd3,1,3 = 300

الشروط المقيده لمقاطع الردم: كمية التربة الموردة لمقاطع الردم يجب أن تكون مساوية للكمية والنوع المطلوب في هذا المقطع ولابد من الأخذ بعين الاعتبار في مقاطع الردم معامل الرص (التقلص) للتربة. فعلى سبيل المثال ان 35 متر مكعب من تربة الردم مطلوبة لمقطع الردم 1 ومن التربة ذات النوع 2 (معامل الرص لهذا النوع 0.8) ومن مختلف أماكن الحفر والإعارة وبهذه الطريقة يصبح الشرط المقيد كما يلي.

0.80 X1,1,2 + 0.80 X3,1,2 + 0.80 Xb1,1,2 + 0.80 Xsb1,1,2 = 35

أما الشروط المقيدة لبقية مقاطع الردم ومن مختلف أنواع الترب فستكون كما يلي:

0.80 X1,2,2 + 0.80 X3,2,2 + 0.80 Xb1,2,2 + 0.80 Xsb1,2,2 = 58

$$0.80\ X1,3,2 + 0.80\ X3,3,2 + 0.80\ Xb1,3,2 + 0.80\ Xsb1,3,2 = 110$$
$$0.85\ X2,1,3 + 0.85\ X3,1,3 + 0.85\ Xb1,1,3 + 0.85\ Xsb1,1,3 = 100$$
$$0.85\ X2,2,3 + 0.85\ X3,2,3 + 0.85\ Xb1,2,3 + 0.85\ Xsb1,2,3 = 290$$
$$0.85\ X2,3,3 + 0.85\ X3,3,3 + 0.85\ Xb1,3,3 + 0.85\ Xsb1,3,3 = 260$$

الشروط المقيدة لأماكن الاعارة : الكمية الموردة من التربة للمقاطع المختلفة مقيدة بحجم مكان الاعارة سوتكون الشروط المقيدة لمثالنا هي:

$$Xb1,1,2 + Xb1,2,2 + Xb1,3,2 \le 500$$
$$Xb1,1,3 + Xb1,2,3 + Xb1,3,3 \le 800$$
$$Y1(1,2) + Y2(1,2) + Y3(1,2) - Xb1,1,2 - Xb1,2,2 - Xb1,3,2 = 0$$
$$Y1(1,3) + Y2(1,3) + Y3(1,3) - Xb1,1,3 - Xb1,2,3 - Xb1,3,3 = 0$$

الشروط المقيده للاماكن المقترحة للاعارة: بشكل مشابه لاماكن الإعارة تكون الشروط المقيدة هي:

$$Xsb1,1,2 + Xsb1,2,2 + Xsb1,3,2 - 300\delta sb(1) \le 0$$
$$Xsb1,1,3 + Xsb1,2,3 + Xsb1,3,3 - 350\delta sb(1) \le 0$$

الشروط المقيدة لأماكن رمي الفائض: كميات التربة المرحلة الى اماكن رمي الفائض مقيدة بحجم الاستيعاب لكل مكان من أماكن رمي الفائض وفي مثالنا فان حجم استيعاب مكان رمي الفائض هو $5000m3$ وسيكون الشرط المقيد لمكان رمي الفائض في المثال هو:

$$1.5Xd1,1,1 + 1.1Xd1,1,2 + 1.2Xd2,1,3 + 1.1Xd3,1,2 + 1.2Xd3,1,3 \le 5000$$

الشروط المقيدة للأماكن المقترحة لرمي الفائض: بشكل مشابه لمعادلة أماكن رمي الفائض فان الشرط المقيد للأماكن المقترحة محدد بقدرتها الاستيعابية (سيتم اختيار مكان وحيد فقط) ستكون معادلة الشرط هي:

$$1.5Xsd1,1,1 + 1.1Xsd1,1,2 + 1.2Xsd2,1,3 + 1.1Xsd3,1,2 + 1.2Xsd3,1,3 - 6000\delta sd(1) \le 0$$

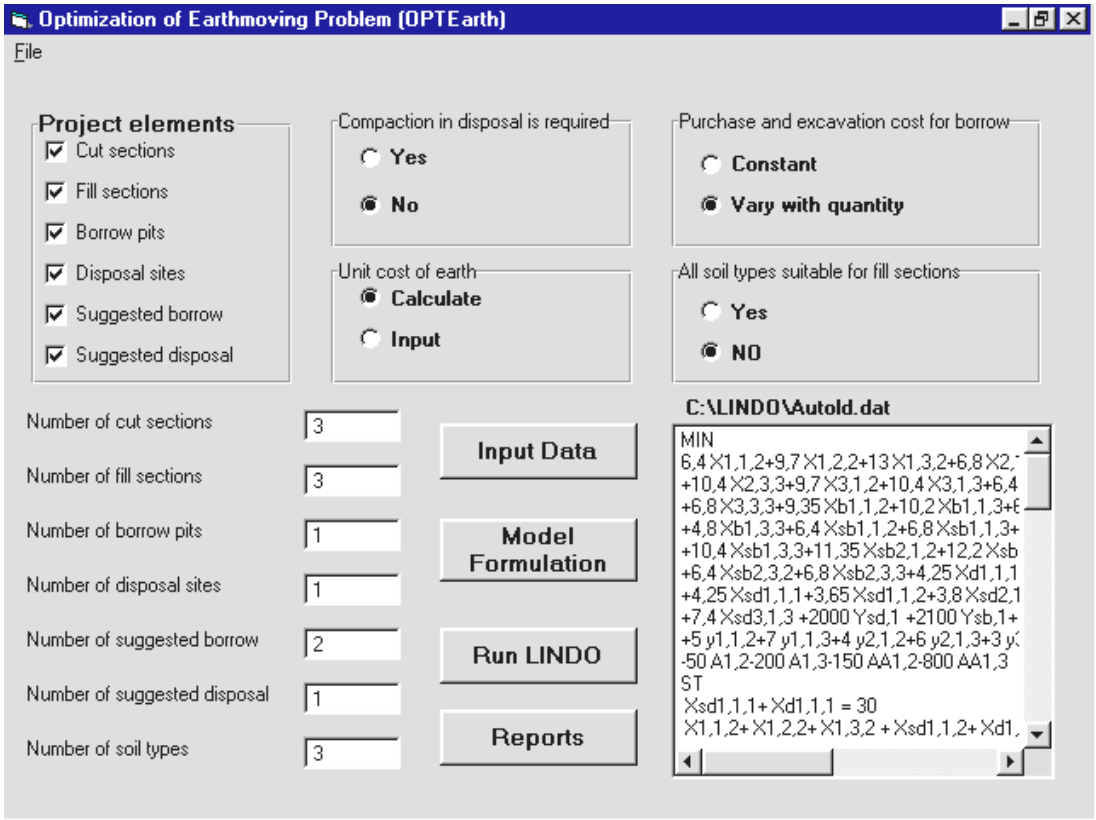
المتغيرات من النوع صفر–واحد لاختيار مكان مقرح وحيد للتوريد ومكان مقترح وحيد لرمي الفائض والمعادلات هي:

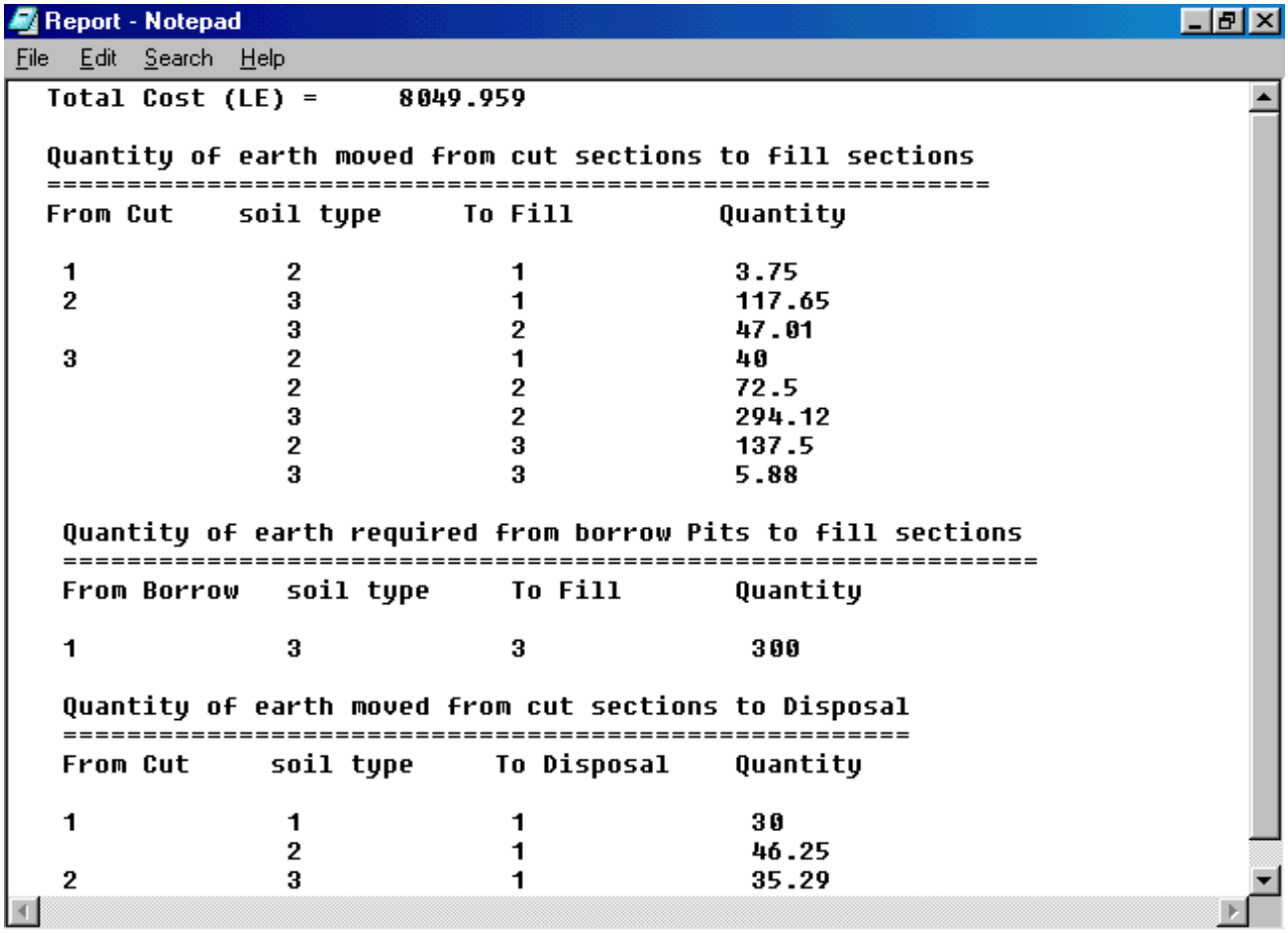
$$Y1(1,2) \le 50$$
$$Y1(1,3) \le 200$$
$$Y1(1,2) - 50\lambda(1,2) - 50\gamma(1,2) \ge 0$$
$$Y1(1,3) - 200\lambda(1,3) - 200\gamma(1,3) \ge 0$$
$$Y2(1,2) - 50\lambda(1,2) - 50\gamma(\ 1,2) \le 0$$
$$Y2(1,3) - 100\lambda(1,3) - 100\gamma(1,3) \le 0$$
$$Y2(1,2) - 50\gamma(1,2) \ge 0 \qquad : Y2(1,3) - 100\gamma(1,3) \ge 0$$
$$Y3(1,2) - 400\gamma(1,2) \le 0 \qquad : Y3(1,3) - 500\gamma(1,3) \le 0$$
$$\lambda(1,2) + \gamma(1,2) \le 1 \qquad : \lambda(1,3) + \gamma(1,3) \le 1$$
$$\delta sd(1) \le 1 \qquad : \delta sb(1) \le 1$$

أتمتة النموذج

ان برمجة النموذج المقترح للحصول على الحل الأمثل لتوزيع الكتل الترابية تصبح ضرورة في هذه النماذج لكثرة معادلاتها وتشعبها ولنقدم لمدير المشروع اداة سهلة وبسيطة يعرف مدخلاتها ونتائجها. تم استخدام Visual Basic لتنفيذ النموذج وبواجهة استخدام بسيطة متوافقة مع البرامج الحديثة حيث نقوم بإدخال البيانات الاساسية للبرنامج من واجهة الاستخدام المصممة ومن قاعدة بيانات مصممصة لاستقبال البيانات الخاصة بالمشروع ومعطياته ثم يقوم البرنامج الذي تم اعداده بناءً على بيانات المشروع بحساب التكاليف المختلفة وتشكيل تابع الهدف والشروط المقيدة للمشكلة أتوماتيكياً ثم ارسال الشكل النهائي للنموذج المشكل الى برنامج LINDO كما يبين الشكل (3). بعد ارسال النموذج يقوم برنامج LINDO بحل المسألة واعطاء قيم لتابع الهدف ومتغيرات القرار ولكن يصب فهم هذه الرموز رياضياً من قبل المستخدم ،لذلك تم تبسيط المسألة من خلال أخذ النتائج من برنامج LINDO ثم قراءة النتائج وربطها مع البرنامج المصمم لإعطاء النتائج على شكل تقرير كما يوضح الشكل 4 والتي هي بعض نتائج المثال المدروس.

ونظراً لمحدودية عدد الصفحات المسموح بها في المجلة فلن نستطيع الاسهاب والإطالة في شرح اتمتة النموذج ولكننا يمكن أن نلخص بأن عملية الأتمتة أتت لتسهيل صياغة تابع الهدف وقراءة النتائج الصادرة عن برنامج اللندو.





الشكل (4) التقرير النهائي لتوزيع الكتل الترابية

الاستنتاجات والتوصيات

تم حل مسائل توزيع الكتل الترابية بين أجزاء المشروع بطرق مختلفة منها الطرق المعتمدة في بحوث العمليات ولكن لم نجد بالأبحاث السابقة نموذجاً رياضياً متكاملاً ويأخذ بعين الاعتبار جميع الحالات والأنواع المختلفة للتربة حيث توصلنا في هذا البحث الى:

1. صياغة نموذج رياضي لتوزيع الكتل الترابية بين أجزاء المشروع المختلفة.
2. يأخذ النموذج المقترح أماكن جديدة لرمي الفائض وأماكن جديدة مقترحة للإعارة بالإضافة للاماكن الموجودة سلفاً اذا كان المكان المتقرح سوف يخفض كلفة نقل التربة
3. يأخذ النموذج الجديد عدة عروض أسعار من التربة الموردة وبما يتناسب مع كميات هذه التربة.
4. يأخذ النموذج المقترح لأنواع مختلفة من التربة في المشروع سواء في مناطق الحفر أو المطلوبة لمناطق الردم أو غير ذلك وبتكاليف مرتبطة بنوع التربة وهذا يمثل كلف فعلية لأن ليس لجميع أنواع الترب نفس التكاليف.
5. تمت اتمتة النموذج وربطه ببرنامج LINDO بحيث تتم صياغة تابع الهدف والشروط المقيدة تلقائياً والحصول على نتائج توزيع الكتل الترابية على شكل تقرير سهل الفهم والقراءة.

لذلك نوصي باستخدام النموذج المقترح من قبل مدير المشروع لأنه يزوده باداة فعالة وسهلة الاستخدام لمعرف كميات وتكاليف نقل التربة بالشكل الامثل في المشروع.

المراجع:

BRENTWOD, T. B. C., and WEBER. S. L. (1999). "*Effect of Truck Payload Weight on Production.*" J. of Construction Engrg. and Mngt., ASCE, 125(1), 1-7.

EASA, S. M. (1987). "*Earthwork Allocations with Nonconstant Unit Costs.*" J. of Construction Engrg. and Mngt., ASCE, 113(1), 34-50.

JARAD. F. (2002). "*Analysis of Earthmoving Systems by Optimization*." Faculty of Engineering, Alexandria University, Egypt.

LINDO SYSTEMS, Inc. (2014). "*LINDO User's Manual*." LINDO Systems, Inc. Chicago, USA.

MAYER, R. H., AND STARK, R. M. (1981). " *Earthmoving Logistics.*" J. of Construction Engrg. And Mngt., ASCE, 107(2), 297-312.

MOHIELDIN, Y. A. (1989). "*Analysis of Construction Processes with Nonstationary Work Task Duration.*" Ph. D. Thesis. Maryland University, USA.

NANDGAONKAR, S. M. (1981). " Earthwork *Transportation Allocations: Operation Research.*" J. of Construction Division , ASCE, 107(2), 373-392.

NUNNALLY, S. W. (1977) "*Managing Construction Equipment.*" Englewood Cliffs, N. J. Prentice-Hall.

OSHEA, J. F., SLUTKIN, G. N., SHAFFER, L. R. (1964) *" An Application of the Theory of Queues to the Forecasting of Shovel-Truck Fleet Productions*." Construction Research Series No.3, University of Illinois.

OSAMA M. (2009), "*Optimization of Earthmoving Operations in Heavy Civil Engineering"* , J. of construction Engineering and Management , P(43-57)

RINGWALD, R. C. (1987). "*Bunching Theory Applied to Minimize Cost.*" J. of Construction Engrg. and Mngt., ASCE, 113(2), 315-321.

REMON F. AZIZ1 , YASSER R. ABOEL-MAGD, (2015), *" Suitably selection for earthwork equipment In Egyptian sites*" International Journal of Education and Research Vol. (3), p. 102-122.

SCARPA, A., AND GATES, M. (1996). "*Earthwork Quantities by Random Sampling.*" J. of Construction Engrg. and Mngt., ASCE, 95(1), 65-83.

SHAWKI K. (2015), "*Analysis of earth-moving systems using discrete-event simulation*", Alexandria Engineering Journal, Egypt.

SMITH, S. D. (1999). "*Earthmoving Productivity Estimation Using Linear Regression Techniques.*" J. of Construction Engrg. and Mngt., ASCE, 125(3), 133-141.

STARK, R. M., AND MAYER, R. H. (1983)." *Quantitative Construction Management, Uses of Linear Optimization."* Wiley, J. & sons, Inc. USA.

WILLENBROCK, J. H. (1971). "*Estimating Costs of Earthwork via Simulation.*" J. of Construction Division, ASCE, 98(1), 49-60.