مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

إعداد برنامج لتصميم المسألة الأولى للشبكات الجيوديزية باستخدام الواجهات التخاطبية في بيئةMATLAB

الدكتور محسن أحمد*

الدكتورة ندى محفوض**

تمام حماد***

(تاريخ الإيداع 24 / 2 / 2016. قُبِل للنشر في 16/ 1 / 2017)

□ ملخّص □

يعتبر التصميم الملائم والأفضل للشبكات الجيوديزية جزءاً أساسياً لمعظم الأعمال المساحية و المشاريع الهندسية، ويتم ذلك قبل إجراء أي قياسات فعلية. وبركز هذا البحث على دراسة و برمجة المسألة الأولى لتصميم الشبكات الجيوديزية التي تهدف إلى تعيين الشكل الأفضل للشبكات من حيث مواقع نقاطها و نوع أرصادها بما يحقق معايير الجودة المطلوبة (دقة و موثوقية) و بأقل كلفة ممكنة و ذلك باستخدام طريقة التكرار و التجريب. وتم برمجة هذه المسألة في برنامج الماتلاب (Matlab) باستخدام الواجهات التخاطبية، حيث أنه يوجد العديد من التعليمات و المعادلات و الصيغ البرمجية الجاهزة التي تسهل البرمجة بشكل كبير.

يسعى المساح دائما لأن تكون كلفة العمل المساحي من حيث الزمن والمصاريف أقل ما يمكن مع الحفاظ علىجودة الشبكة الممثلة بدقتها و موثوقيتها وهذا ما يقوم به البرنامج المصمم،حيث أظهر تحليل نتائج الدراسة توفيراً في الوقت و الجهد المبذول من قبل فريق العمل قبل إجراء أي قياسات فعلية مما يتيح التحقق من صحة التصميم قبل تنفيذه، و يساعد المسّاح على اختيار تقنية القياس الأنسب وجهاز القياس الأفضل.

الكلمات المفتاحية: المسألة الأولى لتصميم الشبكات الجيوديزية، الدقة، الموثوقية، الكلفة، طريقة التكرار والتجريب، الواجهات التخاطبية، Matlab.

* أستاذ – قسم الهندسة الطبوغرافية–كلية الهندسة المدنية–جامعة تشرين – اللاذقية– سورية.

**أستاذ مساعد–قسم الهندسة الطبوغرافية–كلية الهندسة المدنية–جامعة تشرين – اللاذقية– سورية.

***طالب ماجستير–قسم الهندسة الطبوغرافية–كلية الهندسة المدنية–جامعة تشرين – اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

A Program to Design of the First Issue of the Geodesic Networks Using Graphical User Interface in Environment of Matlab

Dr. Mohsen Ahmad*
Dr. Nada Mahfoud**
Tammam Hammad***

(Received 24 / 2 / 2016. Accepted 16 / 1 / 2017)

□ ABSTRACT □

The appropriate and best design for geodetic networks is an essential part of the most of the topographic works and engineering projects, this is done before any actual measurements. this research focuses on studying and programming the first issue for the design of geodesic networks, which aims to set the best shape of the networks in terms of points position and best type in order to achieve the required quality standards sites (accuracy and reliability) and the possible lowest cost using the method of repetition and experimentation. This issue has been programming in Matlab by using graphical user interface, there are many instructions and equations and formulas ready-made software that facilitates programming significantly.

Surveyor is always trying to be the cost of surveying work in terms of time and costs as little as possible while maintaining the quality of the network represented by its accuracy and reliability and this what the designer program, where he showed the analysis of the results of the study in order to save the time and effort spent by the team before making any measurements effectively allowing verification of the validity of the design before implementation, and helps surveyor to choose the most appropriate measurement technology and a better measurement.

Keywords: The first issue for the design of geodesic networks, accuracy, reliability, cost, repetition and experimentation way, graphical user interfaces, matlab.

***Professor- Tabograveh Engineering Department- Faculty of civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria .**
****Assistant Professor -Tabograveh Engineering Department- Faculty of civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.**
*****Postgraduate Student – Tabograveh Engineering Department- Faculty of civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.**

مقدمة:

يعتبر التصميم الأفضل و المناسب للشبكات الجيوديزية خطوة هامة جداً في المشاريع المساحية، حيث تشكل هذه الشبكات سواءً كانت شبكات محلية أو شبكات عامة الإطار المرجعي اللازم لتوقيع عناصر المنشآت الهندسية وإعداد وتجهيز الخرائط التي تغطي البلاد وفي الدراسات الجيوفيزيائية أو الجيولوجية، لذلك فإنه قبل البدء بتثبيت نقاط الشبكة و إجراء القياسات بشكل فعلي، لابد من التأكد من أن هذا العمل سيحقق متطلبات المستخدم في الحصول على معايير جودة محددة مسبقاً لهذه الشبكة و الممثلة في معياري الدقة (Precision) والموثوقية (Reliability) بالإضافة إلى تحقيق أقل كلفة ممكنة و هذا ما يعرف بتصميم الشبكات الجيوديزية.

تصنف مسائل الحل الأفضل للشبكات الجيوديزية تبعاً لتصنيف (Grafarend) وفق مايلي: [1]،[2]

1- المسألة الصفرية للتصميم:

إن المسألة الصفرية للتصميم (Zero Order Design)و اختصاراً(ZOD) تعرف بالمسألة المرجعية (Datum Problem)،وتختص بالتصميم الأمثل لمستوي المقارنة أو نظام إحداثيات الشبكة، أي تهتم بالنظام المرجعي المثالي وتحل بواسطة ضبط الشبكة الحرة و التحويلات المشابهة بين أنظمة الإحداثيات.

2- المسألة الأولى للتصميم:

إن المسألة الأولى للتصميم(First Order Design)واختصاراً(FOD)تسمى أحياناً بمسألة الشكل العام للشبكة (Configuration Problem)، تهتم هذه المسألة بتعيين الشكل الأمثل للشبكة ممثلاُ بتحديد مواضع النقاط و خطة القياس (نوع الأرصاد وتوزعها على كامل الشبكة) و ذلك مع افتراض وجود معايير دقة مطلوبة و محددة مسبقاً. هذه المسألة هي موضوع مقالتنا.

3- المسألة الثانية للتصميم:

إن المسألة الثانية للتصميم (Second Order Design)واختصاراً(SOD) تعرف أحياناًبمسألة الوزن (The Weight Problem) و تبحث في تعيين الأوزان المثلى للأرصاد بافتراض الشكل العام للشبكة ثابت و دقة نقاطها محددة. ويتبع تعيين هذه الأوزان تعيين الدقة اللازمة للأرصاد، و بالتالي تحديد الأجهزة الملائمة للعمل و الطرق الواجب استخدامها. إذاً هي مسألة تحديد الدقة المطلوبة في الأرصاد لكي نحقق الدقة المطلوبة في البارامترات الأخيرة.

4- المسألة الثالثة للتصميم:

إن المسألة الثالثة للتصميم(Third Order Design)واختصاراً(THOD) تسمى أحياناً بمسألة التحسين (The Improvement Problem) وتهتم بتحسين معايير جودة الشبكات في بعض أماكن القصور بها وذلك عن طريق إضافة أرصاد و(أو) نقاط جديدة بالشبكة.

أهمية البحث و أهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة وبرمجه المسألة الأولى لتصميم الشبكات الجيوديزية بحيث تحقق الدقة والموثوقية المطلوبة بأقل كلفة ممكنة باستخدام لغة (Matlab) لاختيار الحل الأفضل من بين الحلول المقترحة.

طرائق البحث و مواده:

يتألف البحث من ثلاثة مراحل:

I - دراسة نظرية لتصميم المسألة الأولى في الشبكات الجيوديزية.

II - تطوير برنامج باستخدام الواجهات التخاطبية للغة Matlab من أجل تصميم الشبكات الجيوديزية.

III - تطبيق عملي.

إن الضبط الأولي للشبكات الجيوديزية بطريقة التربيعات الصغرى (Pre-Analysis) يعني التحليل المسبق لها، بحيث يتم تصميم الشبكة قبل إنجاز أي قياسات فعلية في الحقل، والتأكد من أنها تحقق مواصفات الجودة المطلوبة وذلك من خلال معرفة مواقع نقاط الشبكة وخطة الرصد (الشكل الهندسي للشبكة) و من دون الحاجة لمعرفة الكميات المرصودة،أما عملية الضبط بطريقة التربيعات الصغرى فهي تهدف إلى إيجاد قيمة المجاهيل (X) الممثلة بالشعاع ($x_1, x_{2,\dots} x_u$) بشكل مباشر أو غير مباشر بواسطة الأرصاد (L) الممثلة بالشعاع ($L_1, L_{2,\dots} L_N$).

يتطلب حساب شعاع المجاهيل من شعاع الأرصاد كل من النموذج التابعي (Functional Model) الذي يعبر عن العلاقة بين المجاهيل (x) و الأرصاد (L)، و أيضاً النموذج العشوائي (stochastic Model) واصفاً دقة الأرصاد اعتماداً على مواصفات الأجهزة المستخدمة، و بالتالي يمكن الحصول على دقة المجاهيل من النموذج الرياضي(Mathematical Model) الذي يحدد مصفوفة التباين(Variance Matrix) للكميات المجهولة و التي هي الإحداثيات وسيتم عرض هذه النماذج وفق الآتي: [3]

النموذج العشوائي (stochastic model):

اعتبرت القياسات الجيوديزية متغيرات عشوائية ذات توزيع طبيعي (توزيع غاوص) يتم التعبيرعن تأثيراتها العشوائية بنموذج عشوائي محتوياً معلومات عن دقتها النسبية المحددة في مصفوفة التباين (Covariance Matrix-Variance)وعند الضبط بطريقة التربيعات الصغرى يتم التعبير عن النموذج العشوائي ل(n) رصده بواسطة مصفوفة التباين(C_l) المتناظرة (n*n):

$$C_l = \begin{bmatrix} \sigma_{l1}^2 & \sigma_{l1l2} & \cdots & \sigma_{l1ln} \\ \sigma_{l1l2} & \sigma_{l2}^2 & \cdots & \sigma_{l2ln} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \sigma_{l1ln} & \sigma_{l1ln} & \cdots & \sigma_{ln}^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

حيث σ_i^2 التباين للقياسات .

σ_{li-lj} تمام التباين لكل زوج $l_i - l_j$.

تقدر قيمة تباين القياسات σ_i^2 اعتماداً على دقة الأجهزة المستخدمة لإنجاز ذلك (مبينة في كتيب التصنيع و التيهي دقة اسمية (NominalAccuracies) محددة في شروط مختلفة عن الشروط الفعلية للقياسات.

للحصول على المصفوفة Q_l(CofactorMatrix) يجب ضرب مصفوفة التباين C_l بمعامل التباين لواحدة الوزن σ_0^2(وهو في التحليل المسبق للدقة مساوياً الواحد)كمايلي:

$$Q_l = \frac{1}{\sigma_0^2} C_L = \frac{C_L}{1} = C_L \quad (2)$$

وبالتالي فإن مصفوفة الوزن للأرصاد (p) تساوي:

$$p = Q_1^{-1} \quad (3)$$

-النموذج التابعي: (FunctionalModel):

تستخدم القياسات غالباًلاستخراج إحداثيات نقاط الشبكة، إن العلاقة التابعية بين القياساتوالإحداثيات تسمى النموذج التابعي لضبط الشبكة (FunctionalModel). إذا كان النموذج التابعي مؤلفاً من معادلات غير خطية، فيجب استخدام نظرية تايلور لتحويلها إلى معادلات خطية، ولإنجاز ذلك لابد من معرفة الإحداثيات التقريبية لنقاط الشبكة و إجراء الحل اللازم لحساب التصحيحات الواجب إضافتها للإحداثيات التقريبية.

في هذه الدراسة، سيتم استخدام الطريقة البارامترية (معادلات الرصد) لإجراء عملية الضبط، وبالتالي سيكون عدد معادلات الرصد مساوياً لعدد الأرصاد، و الحصول على مصفوفة الشكل (A) التالية:

$$A = \begin{bmatrix} (\partial_{f1/}\partial_{x1}) & (\partial_{f1/}\partial_{x2}) \dots & (\partial_{f1/}\partial_{xU}) \\ (\partial_{f2/}\partial_{x1}) & (\partial_{f2/}\partial_{x2}) \dots & (\partial_{f2/}\partial_{xU}) \\ (\partial_{fn/}\partial_{x1}) & (\partial_{fn/}\partial_{x2}) \dots & (\partial_{fn/}\partial_{xU}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

حيث أن :

fi: العلاقة بين المجاهيل و الأرصاد.

Xi: الإحداثيات التقريبية للمجاهيل.

لابد من التأكيد على أنه لابد من أن يكون عدد الأرصاد أكبر من عدد المجاهيل لتأمين أرصاد فائضة تسمح بتطبيق طريقة التربيعات الصغرى.

-النموذج الرياضي: (MathematicalModel):

إن الهدف من عملية الضبط الأولي للشبكة (تصميم الشبكة) هو تحديد مصفوفة التباين للمجاهيل (في هذه المقالة هي الإحداثيات ثنائية البعد) والتي تحتوي على كل المعلومات الضرورية لوصف جودة الشبكة المدروسة، يمكن تقدير مصفوفة التباين للمجاهيل كايلي:

$$N = (A^T P A) \quad (5)$$

$$C_{\hat{x}} = \sigma_0^2 (N^{-1}) = N^{-1} = Q_{\hat{X}} \quad (6)$$

حيث أن:

$Q_{\hat{x}}$: مصفوفة التباين للمجاهيل.

σ_0^2: مصفوفة التباين لواحدة الوزن و تساوي (1) في حالة الضبط الأولي.

وتعطى مصفوفة التباين للأرصاد المضبوطة $C_{\hat{l}}$ بالعلاقة:

$$C_{\hat{l}} = A.C_{\hat{x}}.A^T \quad (7)$$

وأما مصفوفة التباين للتصحيحات $C_{\hat{v}}$ فهي:

$$C_{\hat{v}} = C_l - C_{\hat{l}} \quad (8)$$

ومما سبق يمكن تفسير عملية الضبط (AdjustmentProcess) على أنها تحويل خطي من القياسات الأصلية إلى القياسات المصححة. أما عملية الضبط الأولي (PrioriAdjustment) فهي الانتقال من دقة القياسات إلى دقة المجاهيل.

إن تأسيس الشبكات الجيوديزية يعني تحديد قيم بعض المتغيرات ($x_i : i = 1,2, \dots, u$) عن طريق قياس (n) من الأرصاد ($L_j : j = 1,2, \dots, n$) المرتبطة مع هذه المتغيرات بعلاقات محددة. لتقليل تأثير أخطاء الأرصاد على

قيم المتغيرات المحسوبة فإنه يتم رصد عدد من الأرصاد فائض عن الحاجة لضبط الشبكة بطريقة التربيعات الصغرى. بعد إنجاز عملية الضبط نحصل على المتغيرات والأرصاد المضبوطة بشكل نهائي، بالإضافة الى دقتهم التي تؤخذ كمقياس لجودة الشبكة (QualityMeasure).

تمثل المعايير المختلفة لجودة الشبكات الجيوديزية بمعيارين أساسيين هما: الدقة (Precision)، الموثوقية (Reliability) مع الأخذ بالاعتبار الكلفة الأقل.

1- معيار الدقة:PrecisionCriteria:

معيار الدقة هو معيار جودة يبين خصائص انتشار الأخطاء العرضية، إذ يعبرعن مدى اقتراب القياسات المتكررة لكمية مقيسة من القيمة الأكثر احتمالاً لها(المتوسطة الحسابية) وهذا ماتوضحه مصفوفة التباين لإحداثيات الشبكة (Variance-Covariance) والتي تعرف بالرمز $\sum x$.

يوجد كميات عديده لقياس الدقة وجميعها مستخرجة من مصفوفة تباين متغيرات الشبكة (إحداثياتها) والتي تعطى بالعلاقة:

$$\Sigma_x = \sigma_0^2 (A^T . P . A)^{-1} \qquad (9)$$

يتبين من هذه المعادلة أن الدقة تعتمد على مصفوفة الشكل (A) وعلى جودة الأرصاد المعبر عنها بمصفوفة الوزن (p)، من هذه المعايير:[4]،[5]،[6]

A- معيار الدقة المحلية (LocalPrecision):

إن الدقة المحلية هي معيار جودة يعبر عن مدى تأثير أخطاء الأرصاد على موضع (إحداثيات) كل نقطة من نقاط الشبكة الجيوديزية بمفردها، و لها أنواع عديدة :

- الانحراف النظامي للمتغيرات (الاحداثيات):

وهو يمثل الانحراف النظامي للإحداثيات في اتجاه (x) أو (y) أو (z) إلا أنه لا يعبر عن الانحراف المثالي الممثل في أكبر أو أصغر قيمه للخطأ حول النقطة.

يتم حساب الانحراف النظامي لمتغيرات أي نقطة في الشبكة كجذر تربيعي للتباين الموافق لها في القطر الرئيسي لمصفوفة التباين Σ_x.

- القطع الناقص المطلق للخطأ :

هو مقياس الخطأ في كل الاتجاهات حول نقطة محددة من الشبكة الجيوديزية، وبحيث يتم تحديد أكبر و أصغر قيمة للخطأ حول النقطة، ويتم حسابه من مصفوفة التباين Σ_x كما يلي:

$$a^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{xi}^2 + \sigma_{yi}^2 + \mathrm{k})) = \text{مربع المحور الرئيسي الصغير} \qquad (10)$$

$$b^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{xi}^2 + \sigma_{yi}^2 - \mathrm{k})) = \text{مربع المحور الثانوي الصغير} \qquad (11)$$

$$\tan 2\emptyset_i = \frac{2\sigma_{xi}\sigma_{yi}}{\sigma_{xi}^2 - \sigma_{yi}^2} = \text{اتجاه المحور الرئيسي} \qquad (12)$$

حيث:

$$k = \sqrt{(\sigma_{xi}^2 - \sigma_{yi}^2)^2 + 4(\sigma_{xi}\sigma_{yi})^2} \qquad (13)$$

- القطع الناقص النسبي للخطأ:

وهو يعبر عن اللامركزية في المواضع النسبية لنقطتين من نقاط الشبكة الجيوديزية كل بالنسبة الى الأخرى.

تحسب عناصر القطع الناقص النسبي للخطأ من مصفوفة التباين لفروقات الإحداثيات $c_{\Delta i,j}$:

$$c_{\Delta i,j} = \begin{bmatrix} \sigma^2_{\Delta x} & \sigma_{\Delta x \Delta y} & \sigma_{\Delta x \Delta z} \\ . & \sigma^2_{\Delta y} & \sigma_{\Delta y \Delta z} \\ . & . & \sigma^2_{\Delta z} \end{bmatrix} \quad (14)$$

أما من أجل نقطة في شبكة ثنائية البعد فيكون:

$$c_{\Delta i,j} = \begin{bmatrix} \sigma^2_{\Delta x} & \sigma_{\Delta x \Delta y} \\ \sigma_{\Delta Y \Delta X} & \sigma^2_{\Delta y} \end{bmatrix} \quad (15)$$

حيث أن :

$$\sigma^2_{\Delta X} = \sigma^2_{Xi} + \sigma^2_{Xy} - 2\sigma_{xixj} \quad (16)$$

$$\sigma^2_{\Delta y} = \sigma^2_{yi} + \sigma^2_{yj} - 2\sigma_{yiyj} \quad (17)$$

$$\sigma_{\Delta x \Delta y} = \sigma_{xiyi} - \sigma_{xiyj} - \sigma_{xjyi} - \sigma_{yjxi} \quad (18)$$

عندئذ، تحسب عناصر القطع الناقص النسبي للخطأ في نقطة من نقاط الشبكة الجيوديزية وفق المعادلات الآتية:

$$a^2_r = \frac{1}{2}(\sigma^2_{\Delta x} + \sigma^2_{\Delta y} + k)) = \text{مربع المحور الصغيرالرئيسي} \quad (19)$$

$$b^2_r = \frac{1}{2}(\sigma^2_{\Delta x} + \sigma^2_{\Delta y} - k)) = \text{مربع المحور الصغير الثانوي} \quad (20)$$

$$\tan 2\emptyset_i = \frac{2\sigma_{\Delta x}\sigma_{\Delta y}}{\sigma^2_{\Delta x} - \sigma^2_{\Delta y}} = \text{اتجاه المحور الرئيسي} \quad (21)$$

حيث أن:

$$k = \sqrt{(\sigma^2_{\Delta x} - \sigma^2_{\Delta y})^2 + 4(\sigma_{\Delta x}\sigma_{\Delta y})^2} \quad (22)$$

B-معيار الدقة الإجمالية (Globalprecision):

يبين معيار الدقة الإجمالية تأثير دقة الأرصاد على المواضع المحسوبة لجميع نقاط الشبكة بأكملها، ويستخدم هذا لمقارنه الأشكال المختلفة للشبكات الجيوديزية. ولهذا المعيار أنواع عديدة منها:

- التباين المتوسط لجميع نقاط الشبكة:

إنه قيمة وحيدة تصف دقة الشبكة كاملة، ويعبر عن التباين المتوسط في الشبكة الجيوديزية المؤلفة من (m) نقطة بالعلاقة الآتية:

- في حالة الشبكة ثنائية البعد (2-D):

$$\sigma^2_{av} = \frac{1}{2m} trac\left(\sum x\right) \quad (26)$$

- في حالة الشبكة ثلاثية البعد (3-D):

$$\sigma^2_{av} = \frac{1}{3m} trac\left(\sum x\right) \quad (27)$$

$trac\left(\sum x\right)$: مجموعهو عناصر القُطر للمصفوفةالرئيسي $\sum x$

هذا المعيار لا يعطي معلومات كافية عن دقة الشبكة و لكنه يعتبر معيار عام.

- القطع الناقص المطلق المتوسط للخطأ:

يمكن التعبير عن قيمة القطع الناقص للخطأ المطلق بقيمة وحيدة تمثل مساحة القطع الناقص للخطأ. تحسب هذه المساحة في جميع المحطات و من ثم يؤخذ المتوسط.هذا المعيارلا يعطي معلومات كافية عن الشبكة الجيوديزية.

2- معيار الموثوقية: (ReliabilityCriteria) :

إن معيار الدقة (Precision) هو أهم العوامل المستخدمة لتحديد جودة الشبكات الجيوديزية، إلا أنه ليس كاف بمفرده و ذلك لأن الأرصاد يمكن أن تحتوي خطأ نظامي (SystematicError) أو غلط (GrossError=Blunder) غير مكتشف، وبالتالي سيؤثر ذلك على دقة المجاهيل المحسوبة (إحداثيات نقاط الشبكة). فمثلا شبكة تضليع مرصودة بجهاز (EDM) يمكن أن تعطي معيار دقة جيد إلا أن الإحداثيات المضبوطة لهذه الشبكة منزاحة عن القيمة الحقيقية(القيمة الأكثر احتمالاً) نتيجة أخطاء لم يتم اكتشافها في الأرصاد و بالتالي فهي ليست موثوقة.

يتم التعبير عادة عن موثوقية الشبكة الجيوديزية كما عرفها (Baarrada1968) بموثوقية داخليةInternal(Reliability) و موثوقية خارجية (ExternalReliability).

A- الموثوقية الداخلية:(InternalReliability) :

تشير هذه الموثوقية الى مقدرة الشبكة الجيوديزية على اكتشاف الأخطاء النظامية (SystematicErrors) أو الأغلاط (GrossErrors) في الأرصاد، وذلك عن طريق اختبارات إحصائية. يمكن التعبيرعن الموثوقية الداخلية باستخدام مفهوم العدد الفائض (RedundancyNumber) والذي يمكن تلخيصه بمايلي على اعتبار أن معادلة الرصد الخطية(LinearizedObservationEquation) تكتب بالشكل التالي :

$$v = Ax + L \qquad (28)$$

وأما مصفوفة تباين الأخطاء العرضية فتعطى بالعلاقة:

$$Q_v = Ql_o - Ql_a \qquad (29)$$

أو بالشكل:

$$Q_v = p^{-1} - AN^{-1}A^T \qquad (30)$$

حيث أن :

Ql_o: مصفوفة تباين الأرصاد المقاسه.

Ql_a: مصفوفة تباين الأرصاد المضبوطة.

$(A^T.P.A)^{-1}: N^{-1}$

وباستخدام (TraceOperator) نجد:

$$\mathrm{Tr}(Q_v\mathrm{P}) = \mathrm{Tr}(\mathrm{I} - \mathrm{A}N^{-1}A^T\mathrm{P}) \qquad (31)$$

$$= \mathrm{Tr}(\mathrm{I}) - \mathrm{Tr}(\mathrm{A}N^{-1}A^T\mathrm{P}) \qquad (32)$$

$$= n - \mathrm{Tr}(N^{-1}.A^T.\mathrm{P}.\mathrm{A}) \qquad (33)$$

$$= n - u = r = degreeoffreedom \qquad (34)$$

وبترميز عناصر القطر الرئيسي للمصفوفة ($Q_v\mathrm{P}$) بالرمز (r_i) فيكون:

$$\sum r_i = n - u \qquad (35)$$

أي مجموع العناصر القطرية للمصفوفة(Q_vP) يساوي عدد درجات الحرية. ويسمى العنصر (r_i) العدد الفائض للرصدة (i) والذي يعبر عن القيمة التي تساهم فيها الرصدة (i) في عدد درجات الحرية للشبكة ككل.

وعلى اعتبار أن مصفوفة الوزن (p) مصفوفة قطرية، فإنه عندئذ يمكن كتابة:

$$r_i = q_i p_i = \frac{\sigma_{vi}^2}{\sigma_{li}^2} \quad (36)$$

حيث أن:

q_i : العنصر القطري للرصدة (i) في مصفوفة تباين الأخطاء العرضية Q_v.

σ_{li}^2: دقة الرصده (i).

بالتالي نجد أن :

$$0 \le q_i \le \frac{1}{p_i} \quad (37)$$

وبضرب المعادلة ب p_i نجد أن:

$$0 \le r_i \le 1 \quad (38)$$

واعتماداً على المعادلة:

$$Q_{la} = Q_{lo} - Q_v \quad (39)$$

نجد مايلي:

1- إذا قيمة (r_i) تقترب من قيمة الواحد (1)، فإن قيمة الخطأ المتوسط التربيعي لخطأ الرصدة (σ_{vi}) سيقترب من قيمة الخطأ المتوسط التربيعي للرصدة المرصودة Q_{lo}، وبالتالي فإن الخطأ المتوسط التربيعي للرصدة المضبوطة (Q_{la}) فسيقترب من قيمة الصفر (0). وهذا يشير إلى موثوقية داخلية عالية.

2- إذا قيمة (r_i) تقترب من قيمة الصفر (0)، فإن قيمة (σ_{vi}) تقترب من قيمة الصفر، و بالتالي فإن قيمة (σ_{la}) ستقترب من قيمة (σ_{lo})، وهذا يشير إلى موثوقية داخلية منخفضة جداً.

إذا لقياس الموثوقية الداخلية بواسطة العدد الفائض، فإنه يجب حساب (r_i) لكل رصدة، و من ثم أخذ القيمة الأكبر (r_{imax}) كمقياس للموثوقية الداخلية.

ومن الأفضل لمقارنة موثوقية الشبكات استخدام مقياس الموثوقية الداخلية الإجمالية(GlobalInternalReliability) والذي يمثل القيمة المتوسطة لمجموع الأعداد الفائضة للأرصاد.

$$r_{av} = \frac{\sum r_i}{n} \quad (40)$$

وحيث حدد (pope) أن العدد الفائض المتوسط للشبكة الجيوديزية ذات الموثوقية الجيدة يجب أن لا يقل عن 0.5 أي (50%):

$$r_{av} \ge 0.5 \quad (41)$$

B- الموثوقية الخارجية (ExternalReliability):

تبين الموثوقية الخارجية مدى تأثير أخطاء الأرصاد النظامية أو الأغلاط غير المكتشفة على المتغيرات المحسوبة (المجاهيل) و أي توابع لهم.

اقترح (Baarda1967) معيار الموثوقية الخارجية الإجمالية (λ_{0i}) التالي:

$$\lambda_{0i}{}^2 = \frac{1-ri}{ri}\delta_0{}^2 \quad (42)$$

حيث أن:

δ_0 : تعبر عن متغير اللامركزية و تحسب من الاختبارات الاحصائية.

يتبين من العلاقة (42) أن قيمة الموثوقية الخارجية تعتمد على الأعداد الفائضة، و لذلك كلما قلت قيمة العدد الفائض (ri) فإن قيمة الموثوقية الخارجية (λ_{0i}) ستكون كبيرة، و هذا مؤشر على تأثير الأغلاط أو الأخطاء النظامية على المجاهيل، مع ملاحظة أنه فيما إذا كانت قيمة λ_{0i} متساوية تقريباً في كل الارصاد فهذا يشير الى تجانس الشبكة الجيوديزية بالنسبة للموثوقية الخارجية و أن الأخطاء النظامية تحديداً لم تكتشف في الأرصاد و بالنتيجة فإنه يوصى بالابتعاد عن الأعداد الفائضة الصغيرة.

3 – الكلفة :Cost:

تعتبر الشبكات الجيوديزية من وجهة النظر الاقتصادية على أنها منتج (سلعة) يتطلب إنتاجه كلفة مادية محددة، إلا أن المساح يسعى لأن تكون هذه الكلفة (بالزمن والمصاريف) أقل ما يمكن مع الحفاظ على جودة الشبكة الممثلة بدقتها و موثوقيتها.

من الناحية الاقتصادية يعتبر تصميم شبكة جيوديزية منتجاً ونرمز له(p). يتطلب إنتاجه كلفة مادية قدرها $c_{(p)}$ وبحيث يحقق جودة محددة Q(p) ممثلة في الجيوديزيا بدقة و موثوقية هذه الشبكة. يسعى المساح إلى تقليل الكلفة المادية $c_{(p)}$ لكن لابد أن تواجهه بعض المتطلبات الدنيا(أو العظمى) لتحقيق الجودة المحددة Q(p) . يمكن تقسيم إنتاج $c_{(p)}$ الى عدد من الخطوات الفردية (المنتجات الثانوية)ولنرمز لها $(p1, p2, \dots, pm)$ والتي يقسم كل منها أيضاً إلى نشاطات أصغر و لنرمز لها $(a1, a2, \dots., an)$ [7]

لذلك يجب أن نحدد في كل خطوة أي النشاطات ستكون متغيرات و ماهي كلفة كل بديل من بدائل تصميم الشبكة. في البداية يجب تحديد الكلفة لكل قياس من القياسات الممكنة (قياس اتجاه أفقي أو قياس مسافة الكترونية) ويتم التعبير عن تابع الكلفة ب $c(p)$:

$$c(p) = \Sigma c_{(pm)} \quad (43)$$

$$c_{(pm)} = \Sigma\big(c(an)\big) \quad (44)$$

حيث أن :

m: طريقة الرصد و سنناقش هنا فقط m=1,2 فقط والتي ستعبر عن:

P1 :كل أرصاد الشبكة هي اتجاهات أفقية (dir).

P2: كل أرصاد الشبكة هي مسافات مقاسه الكترونياً (EDM) .

$c(pm)$: كلفة كل خطوة ومحسوبة من مجموع تكاليف نشاطات هذه الخطوة $c(an)$.

an : النشاطات اللازمة لإنجاز الخطوة pm.

عموماً فإن كلفة المنتج $c_{(pm)}$ هي مجموع الكلف الثابتة والكلف المتغيرة وتنقسم الكلفة المتغيرة إلى قسمين أساسيين هما القسم الأول الذي يمثل كلفة الوصول إلى محطة الرصد وإجراء القياسات والقسم الثاني هو الوصول إلى نقطة الهدف و الفترة الزمنية التي ينتظرها فريق العمل حتى الانتهاء من القياسات عند هذه النقطة .

وبالتالي تعطى كلفة كل خطوة بالعلاقة:

$$c_{(pm)} = c_{\text{fix}} + c_s + c_T \quad (45)$$

مع العلم أن :

c_s : كلفة الوصول إلى محطة الرصد و إجراء القياسات.

c_T : كلفة الوصول الى نقطة الهدف و الفترة الزمنية التي ينتظرها فريق العمل.

c_{fix}: الكلفة الثابتة.

- **الكلفة الثابتة: FixedCost:**

تتضمن الكلفة الثابتة لكل خطوة رسوم شراء أو تأجير أجهزة القياس متضمناً التأمين مثل (تيودوليت أو محطة رصد متكاملة لقياس الاتجاهات الأفقية أو قياس المسافات) وأحيانا يعتبر المستأجر مسؤولاً عن صيانة الأجهزة خلال مدة الإيجار فيكون هناك تأمين إضافي خلال فترة الاستئجار. ويعبر عن التكاليف الثابتة بالعلاقة:

$$c_{fix}(p_m) = t_r . c_r \quad (46)$$

حيث أن : t_r مدة الإيجار.

c_r: رسوم التأجير متضمنة التأمين.

إن التكاليف الثابتة يمكن أن تظهر أو تختفي تبعا لبدائل الشبكة المتوفرة.

- **كلفة احتلال محطة الرصد :(CostForOccupyingaStation):**

إن شعاع الكلفة (C_S)سيكون ممثلا لشعاع النشاط a(ns,1) حيث j=1…ns وتحسب كلفة العنصر jبالعلاقة:

$$C_S = 2.\left[d_{car}.k_m + \left[\frac{d_{car}}{v} + T_{walk}\right].w.n_{0-team}\right] + (t_{set} + 2.k_{meteo}.t_{meteo} + t_{dis}).w.n_{0-team} \quad (47)$$

حيث أن:

k_{meteo} : معامل يساوي (1) إذا كان قياس الأرصاد الجوية ضرورياً و إلا قيمته (0).

d_{car} : المسافة الممكن الوصول إليها إلى المحطة (i) بالسيارة .

km :كلفة الكيلومتر الواحد.

V : متوسط السرعة.

T_{walk}: الزمن المستغرق سيرا على الأقدام إلى المحطة (i) وذلك بعد مغادرة السيارة.

W: متوسط أجر كل شخص.

n_{o-team} : عدد الأشخاص في فريق الأرصاد.

t_{set} الزمن اللازم لتركيب جهاز القياس المساحيوالمعدات الأخرى في المحطة (i).

t_{meteo} الزمن اللازم لإجراء قياس الأرصاد الجوية.

t_{dis} الزمن اللازم لفك أجهزة القياس و المعدات في المحطة (i).

- **كلفة احتلال نقطة الهدف:CostOccupyingaTargetPoint:**

تتضمن كلفة احتلال نقطة هدف زمن الانتظار لإجراء القياس في المحطة المحددة. ويلاحظ أنه يمكن إلغاء زمن الانتظار في حالة قياس الزوايا وذلك بوضع أعمدة (قضبان) إشارة وتركهم أثناء حملة القياس كاملة.

إن شعاع الكلفة C_tسيكون ممثلا للنشاط a(ns..1) حيث j=1…ns وتحسب كلفته من العلاقة التالية:

$$C_t = 2.\left[d_{car}.km + \left[\frac{d_{car}}{v} + t_{walk}\right].w.n_{t-team}\right] + (t_{set-t} + t_{dis-t} + k_w.(2.k_{meteo}.t_{meteo} + t_{meas}.n_t.n_{set})).w.n_{t-team} \quad (48)$$

حيث أن :

k_{meteo} : معامل يساوي(1) في حال وجود ضرورة لقياس الأرصاد الجوية وإلا قيمته (0).

k_w : معامل يساوي (1) فيما إذا كان ضرورياً بقاء فريق العمل عند نقطة الهدف إلا أن يتم إجراء القياسات وإلا قيمته (0).

d_{car}:المسافة إلى نقطة الهدف (j) باستخدام السيارة.

km:كلفة الكيلومتر الواحد.

V : السرعة المتوسطة.

t_{walkX}: الزمن اللازم للسير مشياً إلى نقطة الهدف بعد مغادرة السيارة.

W : معدل الأجرة لكل شخص.

n_{t-team} :عدد الأشخاص في فريق العمل عند الهدف.

t_{set-t} :الزمن اللازم لتركيب الهدف أو العاكس عند نقطة الهدف (j) .

t_{dis-t} :الزمن اللازم لفك الهدف.

t_{meteo} :الزمن اللازم لتثبيت معدات متعلقة بالأرصاد الجوية.

t_{meas} :الزمن اللازم لإجراء مجموعة قياس واحدة.

n_t :عدد الأرصاد المنفذة من محطات رصد مختلفة إلى نقطة الهدف (j).

n_{set} :عدد مجموعات القياس.

و بشكل عام فإن الحل الأمثل لتصميم الشبكات الجيوديزية يعني إيجاد المواضع المثالية لنقاط الشبكة و أنواع الأرصاد، و أماكن الأرصاد في الشبكة و التحديد المسبق للخطأ المتوسط التربيعي، التي تحقق متطلبات التصميم في أقل كلفة.

و يوجد العديد من الحلول البديلة لتصميم شبكة جيوديزية في موقع ما، و بذلك تكون مهمة مصمم الشبكة هي تحديد الحل العملي و الاقتصادي الذي يحقق معايير الجودة المطلوبة للشبكة من بين هذه الحلولولحل مسائل التصميم الأمثل للشبكات الجيوديزية يوجد طريقتان:[8]،[9]،[10]

1- طريقة الخطأ و التجريب (TrialandErrorMethod).

2- الطريقة التحليلية (AnalyticalMethod)

سيتم التركيز على الطريقة الأولى.

1- طريقة الخطأ و التجريب:

تسمى أحياناً (المحاكاة على الكمبيوتر ComputerSimulation)، و تلخص خطواتها وفق مايلي:

- تعيين معياري الدقة و الموثوقية المطلوبين.
- اختيار خطة الأرصاد (مواقع المحطات، الأرصاد و دقتها).
- حساب قيم الكميات المحددة للدقة و الموثوقية وفق مايلي:

-حساب كل من مصفوفة التصميم DesignMatrix (مصفوفة الشكل) و يرمز لها (A) ومصفوفة الوزن للأرصاد (p).

-اعتماداً على مصفوفة التصميم (A) و مصفوفة الوزن (P) يتم حساب مصفوفة تمام التباين (Co–Variance) لإحداثيات النقاط من العلاقة ($\sum x = (A^T.P.A)^{-1}$).

-من مصفوفة تمام التباين $(A^T.P.A)^{-1}$ يتم حساب معيار الدقة (القطوع الناقصة للخطأ)، ويتم فحص معيار الموثوقية.

- مقارنة قيم الكميات المحسوبة في البند (3) لكل من معياري الدقة و الموثوقية مع المحددة في البند (1).
- فإذا كانت القيم المحسوبة أقل أو تساوي القيم المحددة في البند (1) ننتقل للخطوة التالية (خطوة 5)، وإلا إنه يجب استبدال خطة الرصد بحيث أنه إذا كانت غير محققة فيجب إضافة أرصاد أو زيادة أوزانها، أما إذا كانت مثالية أكثر مما يجب فيجب حذف أرصاد أو إنقاص أوزانها ومن ثم العودة إلى البند (3) وتكرر العمليةو تفحص المعايير في كل خطوة حتى الوصول إلى المعايير المطلوبة.
- حساب كلفة الشبكة.
- العودة للبند (2) باختيار خطة رصد مختلفة بشكل كامل (مثلا شبكة تضليع بدل شبكة تثليث).
- يتم التوقف عند الاعتقاد أن الحل الأفضل للشبكة قد تم الحصول عليه (الكلفة الأقل).

تكمن الفائدة الأساسية لهذه الطريقة في أنه يمكن استخدام أي نوع اختياري لمعياري الدقة و الموثوقية لإيجاد التصميم الأمثل (الأفضل)، حيث لايوجد ضرورة للتعبير عن هذين المعيارين بعلاقات رياضية معقدة و من سلبياتها أنه على الرغم من إمكانية إيجاد التصميم المرضي (الأفضل) للشبكة إلا أنه قد لا يكون الحل المثالي و لاسيما من حيث الكلفة، إضافة إلى أنها تحتاج إلى مهارة و خبرة كبيرة للمصمم.

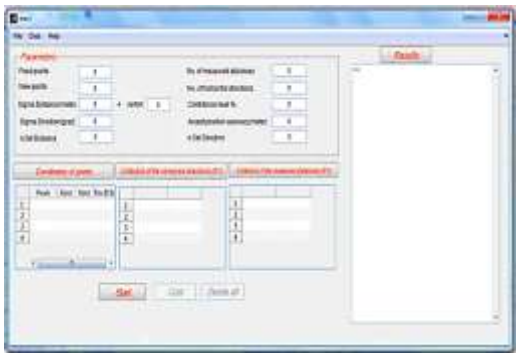
2- الطريقة التحليلية:

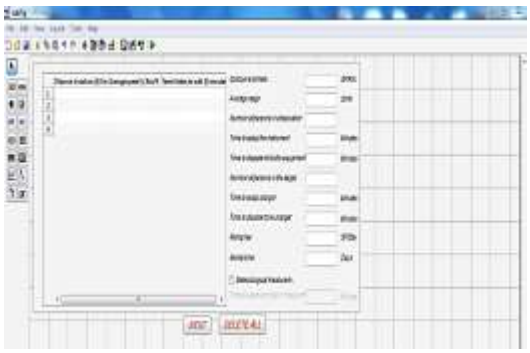
تقدم هذه الطريقة خطوة محددة لحل مسألة التصميم من دون تدخل بشري، و بالتالي يستخدم مصطلحالتصميم بالطريقة التحليلية لوصف الطريقة التي تحل مسألة التصميم المحددة بواسطة سلسلة وحيدة من الخطوات الرياضية معتمدة على ما يسمى البحوث العملياتية (البرمجة العددية) التي تبحث عن الحل الذي يحقق كل من قيود (شروط) تخضع لها عناصر التابع، ومثالية تابع الهدف (القيم العظمى للدقة و القيم الصغرى للكلفة). تكمن فائدة هذه الطريقة بإمكانية استخدامها للحل في حال كانت المسألة معقدة و تتطلب نموذج رياضياً محدداً.

النتائج و المناقشة:

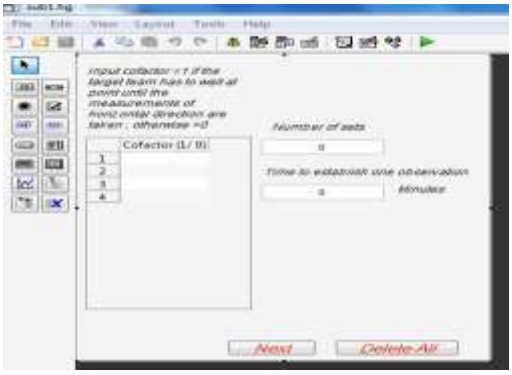
II- إعداد برنامج باستخدام الواجهات التخاطبية للغة MATLABلتصميم شبكه مساحية:

ينفذ البرنامج المختبر(main) التصميم المطلوب للشبكة المساحية حيث يُظهر الشكل التالي الواجهة التخاطبية الرئيسية للبرنامج(main)والواجهات الفرعية، تظهر نتائج جميع الواجهات في الواجهة الرئيسية (main):





الشكل(1) الواجهة الرئيسية(main)الشكل(2) الواجهة (sub)



الشكل (3) الواجهة (sub1) الشكل (4) الواجهة (sub2)

III- تطبيق عملي:

يطلب حساب الدقة و الموثوقية لشبكة المثلثات المنجزة ضمن جملة محلية في الحالات التالية:

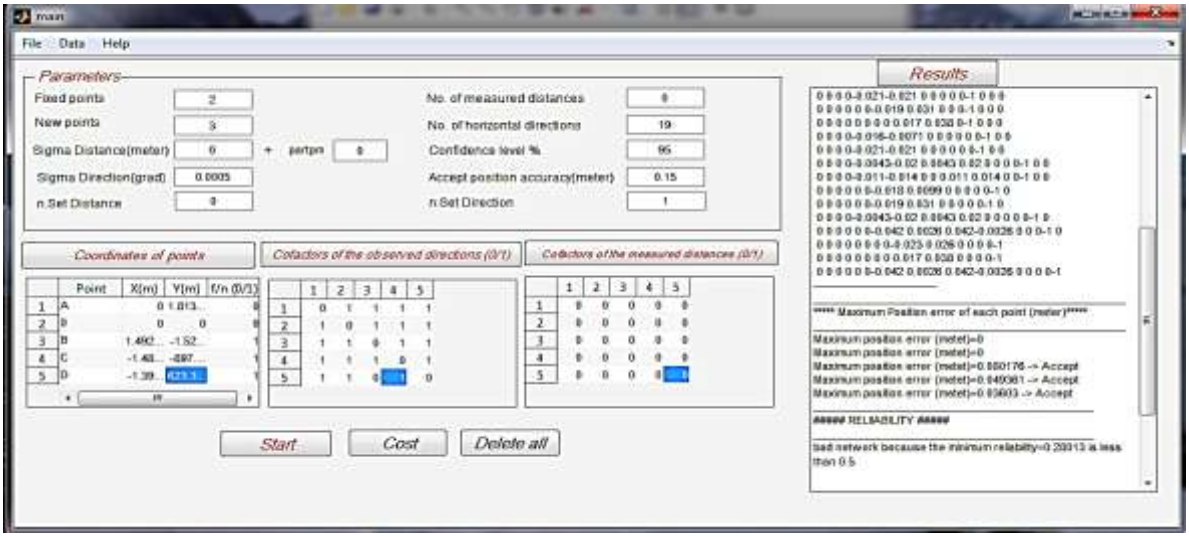
1- قياس اتجاهات فقط.

2- قياسات مسافات فقط.

3- قياسات مختلطه (اتجاهات- مسافات)حيث تم تنفيذ 19 قياس اتجاه و 19 قياسمسافة معاعتبار أن مجال الثقة هو 95% و الدقة الموضعية المقبولة هي 15cm.

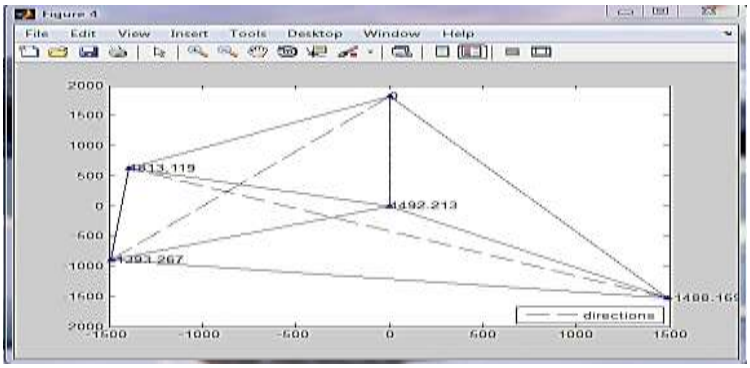
اسم النقطة	X	Y
A	0	1813.119
O	0	0
B	1492.213	-1527.64
C	-1488.169	-897.724
D	-1393.267	623.358

-الحالة الأولى: قياس اتجاهات فقط:



الشكل (5) نتائج تصميم الشبكة المطلوبة في حال قياس الاتجاهات فقط

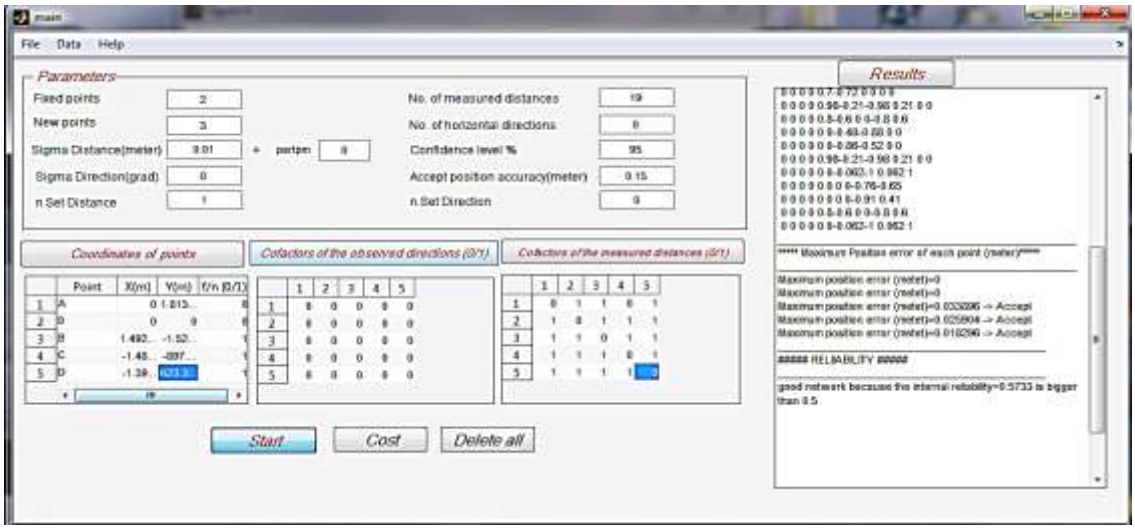
رسم الشبكة:



الشكل(6) الشبكة المساحية المقيسة في حال قياس الاتجاهات فقط

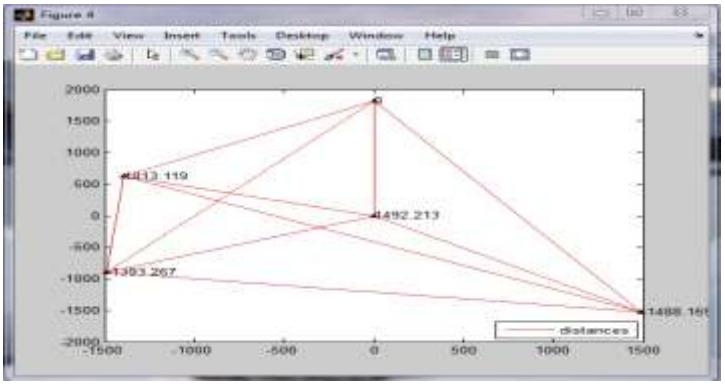
تظهر نتيجة البرنامج أن التصميم مرفوض حيث نجد أن الدقة ضمن الحدود المقبولة أما الموثوقية فهي 0.3 و هي غير محققة (أقل من 0.5).

-الحالة الثانية: قياس مسافات:



الشكل (7) نتائج تصميم الشبكة المطلوبة في حال قياس المسافات فقط

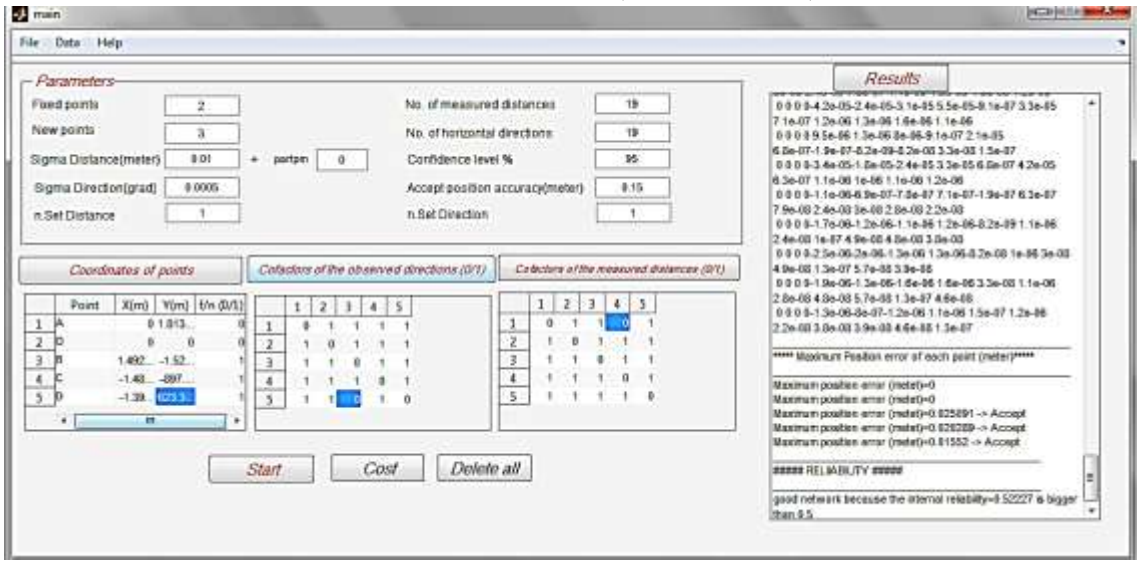
رسم الشبكة:



الشكل(8)الشبكة المساحية المقيسة في حال قياس المسافات فقط

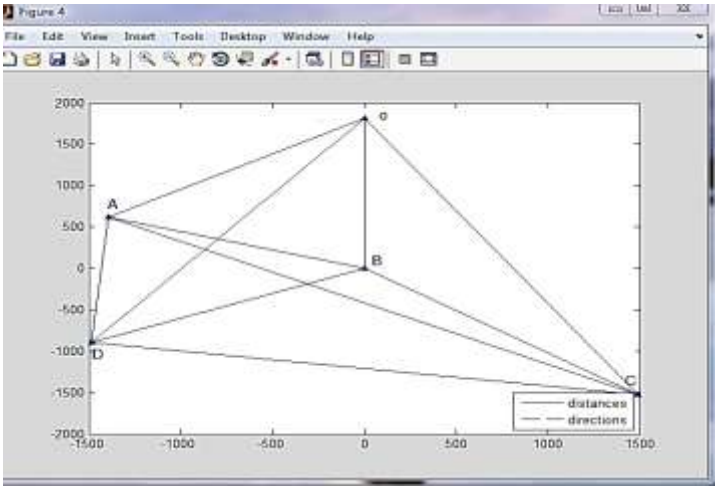
تظهر نتيجة البرنامج أن التصميم مقبول نظراً لتحقق الدقة و الموثوقية و المطلوبة حيث أن جميع قيم الدقة ضمن الحدود المقبولة و كذلك الموثوقية 0.57 (أكبر من 0.5).

-الحالة الثالثة: قياساتمختلطة (اتجاهات ومسافات):



الشكل(9) نتائج تصميم الشبكة المطلوبة في حالة القياسات المختلطة (اتجاهات و مسافات)

رسم الشبكة:



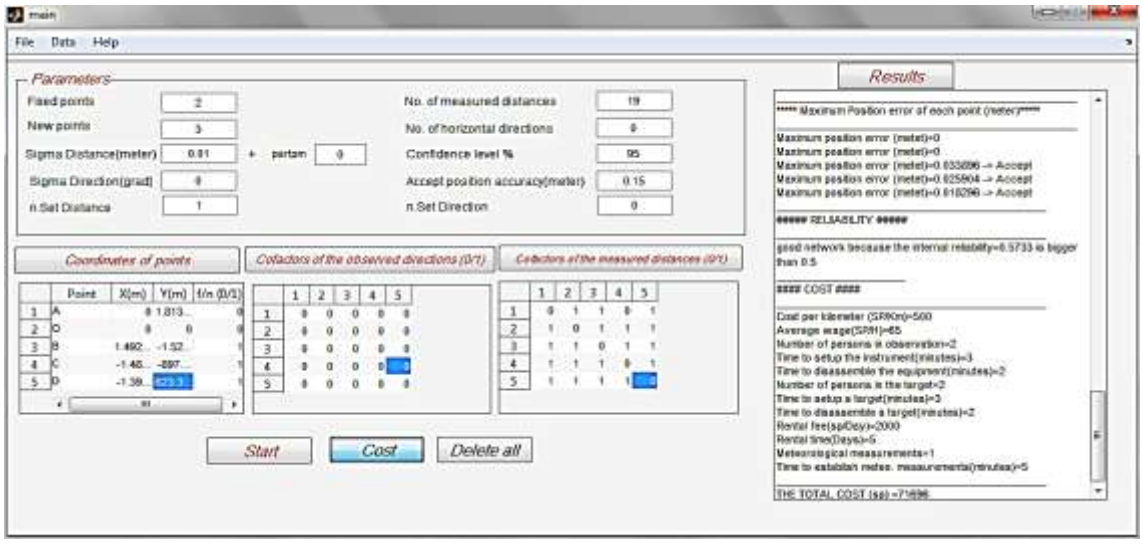
الشكل(10)الشبكة المساحية المقيسة في حالة القياسات المختلطة (اتجاهات و مسافات)

تظهر نتيجة البرنامج أن التصميم مقبول نظراً لتحقق الدقة و الموثوقية و المطلوبةحيث أن جميع قيم الدقة ضمن الحدود المقبولة و كذلك الموثوقية 0.52 (أكبر من 0.5).

إذا فالحالة الثانية(قياس مسافات) و الحالة الثالثة (قياسات مختلطة) مقبولتان و تحققان الدقة و الموثوقية المطلوبة.

من أجل اختيار الحل الأفضل يتم حساب الكلفة لكل حالة :

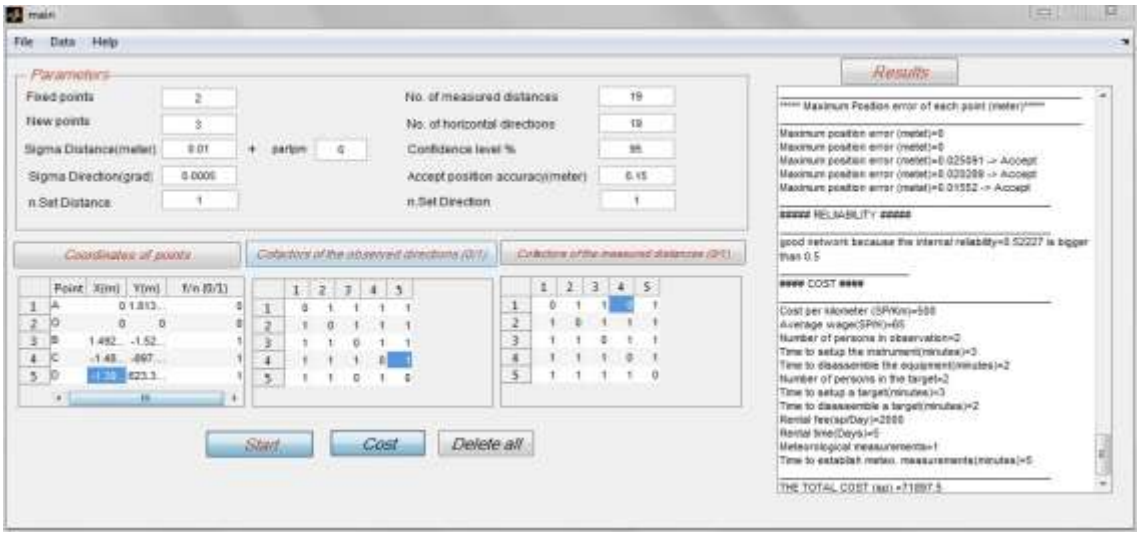
-حالة قياس مسافات**:**



الشكل (11) حساب الكلفة في حالة قياس المسافات فقط

قيمة الكلفة المحسوبة هي 71696 ليرة سورية.

-حالة القياسات المختلطة:



الشكل (12) حساب الكلفة في حالة القياساتالمختلطة

قيمة الكلفة المحسوبة هي 71898 ليرة سورية.

تبين نتيجة الحساب أن الحالة الثانية(قياس مسافات فقط) هي التي تحقق الكلفة الأخفض و بالتالي فهي تحقق الحل الأفضل.

الاستنتاجات و التوصيات:

الاستنتاجات:

1 إن تصميم المسألة الأولى للشبكات الجيوديزية والذي يمثل التحليل المسبق لدقة و موثوقية الشبكة الجيوديزيةبأقل كلفة يوفر كثيراً من الوقت و الجهد و الكلفة لأنه يتم بدون الحاجة لأي قياسات فعلية.

2 تم اختبار موثوقية البرنامج المصمم عن طريق الحل اليدوي.

3 +ختيار الحل الأفضل تم عن طريق مقارنة الكلفة حيث حقق كلا التصميمين المقبولين الدقة المطلوبة و موثوقية 0.6 أكبر من 0.5 ولكن الحل الأفضل هو الحل الذي الكلفة الأخفض71696 ليرة سورية.

4 يساعد البرنامج المختبر المسَّاح على اتخاذ القرار المناسب إمَّا لاستئجار جهاز أو شرائه من خلال حساب الكلفة.

5 يساعد البرنامج على اتخاذ القرار حول تقنية القياس المناسبة و تحديد جهاز القياس الملائم.

التوصيات:

1 توصي بضرورة التحليل المسبق للشبكات الجيوديزية قبل إجراء أي قياس.

2 +عتماد البرنامج المصمم من أجل توفير الوقت والجهد و الكلفة.

3 إدخال معايير أخرى للجودة في عملية البرمجة.

4 تطوير البرنامج ليشمل تصميم الشبكات الارتفاعية.

5 تطوير برامج لدراسة مسائل التصميم الأخرى.

المراجع:

[1]-SIIMKOOEI,A.*AnalyticalFirst OrderDesign of Geodetic Networks* .Iranian Journal of Engineering Sciences,vol.1,No.1,December2007,1-12.

[2]-MISHIMA,K.*The Method of the Design for Survey Network by Q Matrices*.Japan,vol.51,2012,500-512.

[3]- MOHAMED,M.N.*Adjustment Computations*.Ain Shams Univ , Faculty of Eng, No.4, 1984,220.

[4]- SIIMKOOEI,A. *Comparison of Reliability and Geometrical Strength Criteria in Geodetic Networks*. Journal of Geodesy ,The University of Isfahan,vol75, No.4,2001,227-223.

[5]- SIIMKOOEI,A. *StrategyFor Designing Geodetic Network With HighReliability and Geometrical Strength*.JournalofSurveyingEngineering,vol127, 2012,104-117.

[6]-RearAdm.John D,"*Standards and specifications for geodetic control networks*",1984,20-50.

[7]-STAUDINGER,M.*A Cost Orientated Approach to GeodeticNetwork Optimization*.Vienna University of Technology,july20,1999,150.

[8]-ALZUBAIDY,R;MAHDI,H;HANOOKA,H.*Optimized Zero and First Order Design of Micro Geodetic Networks*. Journal of Engineering, University of Baghdad,vol18,No12, december2012,1344-1352.

[9]-ACHARYA,B; ZEL TALBERT,W.*Choosing an Optimal Surveying Technique*. Surveying and Land Information Systems, vol.52,No.4,1992,pp.215-218.

[10]-SIIMKOOEI,A; ASGARI,J;ZANGENEH,F; ZAMINPARDAZ,S. *Basic Concepts of Optimization and Design of Geodetic Networks*. Journal of Surveying Engineering,2012,172-183.