

إعداد وضبط شبكات النقاط الضبط الأرضي في مدينة مصراتة كبديل لمحطات البث الدائم

*د. محمد صبري علي عكريش

الملخص:

تعتبر أجهزة التمركز الأرضي (GPS) الأكثر استخداماً في شتى المجالات المساحية والملاحية في تحديد المواقع، حيث يتم استخدامها بدون معرفة كاملة من المستخدمين الغير مؤهلين، وهذا يسبب أخطاء كبيرة في القياسات أثناء الرصد؛ كذلك لا تتوفر محطات دائمة الرصد في ليبيا مما يزيد المشكلة صعوبة للمستخدم. يعرض هذا البحث دراسة تكوين نقاط ضبط أرضي ذات دقة عالية تحاكي محطات الرصد الدائمة (CORS)، حيث تم دراسة مدينة مصراتة ووضع لها نقاط تغطي المدينة والمناطق المجاور لها باستخدام شبكة جيوديسية بطريقة التثليث لست نقاط منها نقطة واحدة رئيسية مرصودة من قبل مصلحة المساحة على مرجع الإسناد (LGD2006)؛ وطريقة التثليث المستخدمة تختلف عن الطريقة التقليدية، حيث تم تحويل البيانات المتحصل عليها من أجهزة التمركز الأرضي من الإحداثيات الجغرافية إلى زوايا و مسافات، بحيث يبقى خط القاعدة ثابت مع الانحراف الدائري في كيلا الاتجاهين، كذلك تكوين مصفوفة أوزان بطريقة جديدة تعتمد على زمن التأخير الناتج من عملية الرصد، المسافات تم تحديدها باستخدام طرق المسائل الجيوديسية العكسية، بينما الزوايا كانت دقتها تساوي واحد من مائة ألف من الثانية لتناظر قياسات أجهزة التمركز الأرضي للشبكة. تم ضبط نتائج الشبكة الجيوديسية باستخدام طريقة أقل فرق في المربعات للزوايا؛ كذلك استخدمت طريقة المسائل الجيوديسية الأمامية لتحويل البيانات من زوايا ومسافات مصححة إلى شكلها الأصلي وهي الإحداثيات الجغرافية على مرجع الإسناد العالمي (WGS84 - ITRF2000)، ثم تحويلها إلى مرجع الإسناد الليبي (LGD2006).

أظهرت طريقة التثليث بالأسلوب الجديد بأنها طريقة متميزة ومترابطة في نتائجها، كذلك أعطت دقة عالية لنقاط الضبط الأرضي المربوطة مع النقطة الرئيسية المرصودة من قبل مصلحة المساحة، وبهذا تكون الشبكة هي المرجع الأساسي للعقارات والرفع المساحي في المدينة لجميع المستخدمين بدون الحاجة للرصد من الأقمار الصناعية مباشرة.

الكلمات المفتاحية: أجهزة التمركز الأرضي GPS، التثليث، المسائل الجيوديسية، الإحداثيات الجغرافية.

* عضو هيئة تدريس، كلية الهندسة، جامعة طرابلس - ليبيا

• المقدمة

تعتبر ليبيا دولة ذات مساحة كبيرة ويصعب فيها إنشاء محطات ضبط أرضي دائمة على طول ساحلها وعمق جنوبها، وتكون مكلفة مالياً وتحتاج برامج خاصة لتفادي زمن التأخير بين أجهزة التمركز الأرضي و الأقمار الصناعية المرسله للإشارات الكهرومغناطيسية من قنواتها.

قامت مصلحة المساحة الليبية سنة 2006 بإنشاء مرجع الإسناد الليبي (LGD2006)، حيث وزعت خمس محطات رئيسية هي: طرابلس، غات، طبرق، سرت و الكفرة، منها رصدت 61 نقطة موزع على كامل ليبيا رصد منفرد بدون تكوين شبكات جيوديسية مربوطة مع بعضها البعض. (مصلحة المساحة LGD2006) عند استخدام أجهزة التمركز الأرضي (GPS) فإن كل نوع له أخطاء تنتج عند القياس، منها أخطاء طبيعية كالانكسار في الضوء والساعات المستخدمة في قياس الزمن والأخطاء البشرية، لهذا يكون كل جهاز مرفق ببعض البيانات وطريقة الرصد المستخدمة، الرصد الثابت المستقر يكون فيه الخطأ 0.0005 متر لكل كيلومتر، الرصد بطريقة الثابت الغير مستقر (RTK) يكون 0.001 متر لكل كيلومتر في درجة 20 مئوية. ضبط الشبكات الجيوديسية المرصودة باستخدام أجهزة التمركز الأرضي (GPS) يعتبر مهم جداً في تحقيق الدقة المكانية لنقاط الضبط الأرضي، ولكن جميع المهندسون يعطوا ثقة كبيرة فيها بأن الخطأ فيها لا يتجاوز المليمتر، وهذا يخالف الواقع والعمل الجيوديسي، لهذا يجب ضبط النقاط بعد رصدها حتى يتم ضبط وتحليل النقاط بالأسلوب العلمي الصحيح.

تعتبر الشبكات الجيوديسية من الطرق القديمة في عملية تكوين نقاط الضبط الأرضي، وتنقسم إلى طريقتين: طريقة التثليث وطريقة التضليع، التثليث تتم فيها قياس الزوايا للشكل المرصود فقط مع قياس خط القاعدة، بينما طريقة التضليع يقاس فيها المسافات الواصلة بين النقاط المراد رصدها، ويكون شرطها بسيطة في عملية الضبط بحيث يحدد شرط مثلثي واحد لشكل المقطور أو ذو مركز، ثم تحدد قيمة الخطأ لكل زاوية دخلت في الضبط عن طريقة قانون جيب تمام الزاوية؛ وتصنف الشبكات الجيوديسية إلى ثلاثة درجات: الدرجة الأولى وهي أدقها وتستخدم في ربط الحدود والنقاط الحيوية، بينما الدرجة الثانية تتفرع من الدرجة الأولى وتستخدم في المدن وأخيراً الدرجة الثالثة وعادت تستخدم في الأرياف. (شكري وآخرون، 1989) ولكن بالنسبة للرصد بطريقة التمركز الأرضي (GPS) فهي تختلف قليلاً من حيث المبدأ، إذ يتم تحويل البيانات الأقمار الصناعية و محطات الرصد إلى إحداثيات فراغية جيوديسية ثم إلى إحداثيات جغرافية وترىعية في مسقط مركبتور العالمي، وذلك بعد عملية ضبط البيانات من خلال البرامج المزود بها (GPS)؛

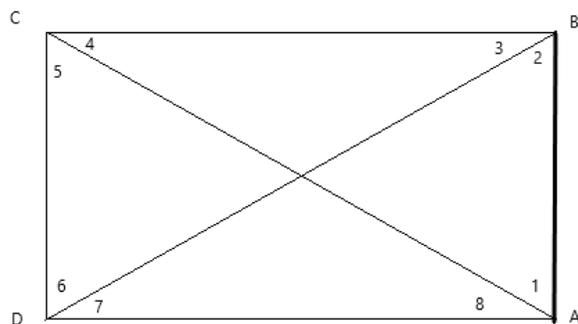
هذا البحث يعمل على تحويل الإحداثيات الجغرافية المتحصل عليها من (GPS) للنقاط المرصودة إلى مسافات وزوايا والانحراف الدائري لكل ضلع "الازيموت"، وبهذا يمكن إجراء عملية الضبط للنقاط المرصودة باستخدام إحدى الطرق المتبعة والمذكورة سلفاً.

محطات الرصد الدائم (CORS) هي عبارة عن محطة رصد وبث في آن واحد، يتم تحديد موقعها بدقة عالية باستخدام أجهزة رصد خاصة من قبل الشركات التي تملك رخصة في هذا المجال. (باترك، 2015) والسبب يرجع إلى أن أجهزة تحديد المواقع (GPS) المتوفرة في السوق غير دقيقة عندما ترصد الإشارات مباشرة من الأقمار الصناعية بخطأ يقدر (2 - 3 متر)؛ وهذا ناتج من زمن التأخير عند الرصد، ويسمى بخطأ الإزاحة، بينما النقاط المستحدثة منها فتكون دقيقة وتملك خطأ مليمتر لكل كيلومتر؛ لا توجد محطة رصد دائمة في ليبيا، والتي تبث في طرابلس هي مستحدثة من نقاط الضبط الأرضي من قبل مصلحة المساحة الليبية.

يعرض هذا البحث طريقة التثليث بطريقة جديدة في ضبط البيانات المتحصل عليها من الأقمار الصناعية، وذلك من خلال شروطها الكامل واستخدام مصفوفة أوزان " مقدار الثقة في القياس" بطريقة جديدة، بعد عملية التصحيح تتم عملية الرجوع إلى نظام الإحداثيات الجغرافية ويتم اعتمادها. هذه الشبكة المراد تحديدها وضبطها توفر للمدن الكبيرة على طول الساحل الليبي و كذلك الجنوب الليبي نقاط ضبط دقيقة وذات متانة قوية بحيث تحاكي محطات الرصد الدائمة (CORS) وترصد في أماكن محمية كالمباني وغيرها لوضع فيها أجهزة التمركز الأرضي ويتم البث منها كمحطات دائمة البث بمعرفة مصلحة المساحة؛ بهذه الطريقة تصبح العقارات مربوطة مع بعضها وبدقة عالية حسب تصنيف مصلحة المساحة الليبية.

منهجية البحث

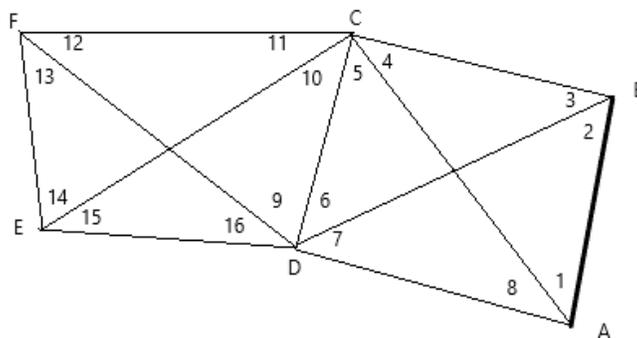
عتمد منهجية البحث على استخدام المساحة الجيوديسية، والتي يتم من خلالها إعطاء نماذج من الأشكال الهندسية ذات متانة قوية في زواياها، وهذه الأشكال تختلف حسب الهدف المراد منها "أي الدقة المكانية". الأشكال القوية في عملية تكوين الشبكات الجيوديسية هو الشكل الرباعي المقطور، والشكل (1) يوضح ذلك.



AB - خط القاعدة

شكل 1. الشكل الرباعي المقطور

البحث يعرض سلسلة من شكلين ويتم ضبطها بطريقة التثليث، وتكون عملية تحليل البيانات وضبطها باستخدام طريقة أقل فرق في المربعات بالقياس المباشرة بالنسبة للإحداثيات الجغرافية، ثم يستنتج منها جميع الزوايا وخط القاعدة، حيث تتم عملية تحويل الإحداثيات الجغرافية إلى مسافات ثم باستخدام طرق المسائل الجيوديسية العكسية، وأخيراً إلى زوايا باستخدام قاعد الجيب والشكل (2) يوضح ذلك.



شكل 2. شبكة جيوديسية قيست زواياها

تكون الزوايا المقاسة في الشكل (2) ستة عشرة زاوية قياس مباشر وعدد الأضلاع هو 11 ضلع، وبما أن تستخدم طريقة المراقبة أو المباشرة يتم تحديد القياس الضروري لإظهار الشكل وهي

(-2) Points $n=2(N)$ ، ويرمز للقياسات برمز m ، وعدد الشروط الهندسية للسلسلة R يمكن تحديده من المعادلة (1):

$$R = m - n + c = 16 - 8 + 0 = 8 \quad (1)$$

حيث C شروط إضافية في حالة لم تكفي القياسات أو لزيادة الدقة المكانية.

عدد المعادلات الأساسية في السلسلة 8 منها شرطين ضلعيين و6 شروط مثلثية، أما بالنسبة لطريقة التضليح يكتفي بالشرطين الضلعيين. (شكري وآخرون، 1989) الشروط الضلعية لشبكة التثليث لها طريقتين في تكوين معادلاتها منها طريقة القطب أو بطريقة تقسيم حاصل ضرب جيوب الزوايا الفردية على حاصل ضرب جيوب الزوايا الزوجية للشكل، وهي كالآتي:

$$\frac{\sin(1) \sin(3) \sin(5) \sin(7)}{\sin(2) \sin(4) \sin(6) \sin(8)} = 1 \quad \frac{\sin(9) \sin(11) \sin(13) \sin(15)}{\sin(10) \sin(12) \sin(14) \sin(16)} = 1 \quad (2)$$

بالنسبة للقطب يختار لكل شكل قطب والأفضل يكون عند D مثلاً وهي كالآتي:

$$\left. \begin{aligned} \frac{EF*EA*EB}{EB*EA*EF} &= \frac{\sin(3) \sin(7+6) \sin(1)}{\sin(6) \sin(2+3) \sin(8)} = 1 \\ \frac{ED*EC*EB}{EB*EC*ED} &= \frac{\sin(16) \sin(12+13) \sin(10)}{\sin(13) \sin(16+9) \sin(11)} = 1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

أما بالنسبة لشروط المثالية يجب أن تكون مكملة لبعضها حسب المعادلات التالية:

$$\left. \begin{aligned} 1 + v_1 + 2 + v_2 + 3 + v_3 + 4 + v_4 &= 180^\circ \\ 3 + v_3 + 4 + v_4 + 5 + v_5 + 6 + v_6 &= 180^\circ \\ 5 + v_5 + 6 + v_6 + 7 + v_7 + 8 + v_8 &= 180^\circ \\ 9 + v_9 + 10 + v_{10} + 11 + v_{11} + 12 + v_{12} &= 180^\circ \\ 11 + v_{11} + 12 + v_{12} + 13 + v_{13} + 14 + v_{14} &= 180^\circ \\ 13 + v_{13} + 14 + v_{14} + 15 + v_{15} + 16 + v_{16} &= 180^\circ \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

هذه الشروط المعتاد استخدامها في عملية ضبط وتحليل البيانات لشروط الهندسية عندما تكون سلسلة مكونة من شكلين، بينما الشرطين الضلعين في المعادلة (2) غير خطية، وكذلك المعادلة (3) هي الأخرى غير خطية، لذلك يتم تحويلهما إلى خطيتين بتفاضلهما بإحدى الطرق المتبعة نيوتن أو لاجرانج في الصورة الرياضية التالية: (زوبوف، 2016)

$$\left. \begin{aligned} f(x)' + f(x)_0 &= 0 \\ f(x)_0 = W &= \frac{\sin(1) \sin(3) \sin(5) \sin(7)}{\sin(2) \sin(4) \sin(6) \sin(8)} - 1 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

تتم عملية تفاضل المعادلات الضلعية لكل متغير أي لكل زاوية، كما هو موضح في المعادلة (6)

$$\frac{d}{d\theta_1} (\sin\theta_1) \frac{\sin(3)\sin(5)\sin(7)}{\sin(2)\sin(4)\sin(6)\sin(8)} + \frac{d}{d\theta_2} \left(\frac{1}{\sin\theta_2} \right) \frac{\sin(1)\sin(3)\sin(5)\sin(7)}{\sin(4)\sin(6)\sin(8)} + \dots + \left(\frac{\sin(1)\sin(3)\sin(5)\sin(7)}{\sin(2)\sin(4)\sin(6)\sin(8)} - 1 \right) = 0 \quad (6)$$

بهذا يمكن تحديد المعادلات الخطية حيث البسط تكون قيمته \cot بالموجب والمقام \cot بالسالب، بينما يتم تعويض الشطر الأخير بقيمه مباشرة للمعادلة قبل التفاضل والمعادلة (7) توضح ذلك كنموذج للجزء الأول للمعادلة (2).

$$\cot(1) - \cot(2) + \cot(3) - \cot(4) + \cot(5) - \cot(6) + \cot(7) - \cot(8) + w = 0 \quad (7)$$

بعد استكمال الشروط الهندسية تتم عملية ضبط البيانات باستخدام طريقة أقل فرق في المربعات (المصفوفات) كما في الصيغة المعادلة (8) تو وتعتبر أفضل طريقة يتعامل معها الحاسب، حيث يستخدم برنامج مات كاد (Mathcad).

$$Q_e = AQA^T, \quad K = Q_e^{-1}F, \quad V = QA^T K \quad (8)$$

حيث:

A- مصفوفة المرافقات المتحصل عليها من المعادلات؛

Q- مصفوفة الأوزان؛

F- مصفوفة أخطاء القفل في المثلث؛

V- مصفوفة القيم التصحيحية.

بعد ذلك يتم البحث على مصفوفة الانحراف المعياري (S_{LL})، حيث منها يتم تحديد الأفضلية بين الطرق المستخدمة؛ كلما صغرت قيمة الانحراف المعياري تكون النتيجة أفضل. (إدوارد، 1981) حيث R عدد المعادلات الداخلة في الضبط؛ مصفوفة الأوزان المستخدمة هنا هي غير مسبقة، حيث يتم تحديد زمن التأخير للضلع المقابل لكل زاوية في التقدير المثوي وبهذا تكون جميع الزوايا وزنت.

$$Q_{vv} = QA^T Q_e^{-1} A Q \quad , \quad (\sigma_0)^2 = \frac{V^T Q^{-1} V}{R} \quad , \quad Q_{II} = (\sigma_0)^2 [Q - Q_{vv}]$$

عملية التحويلات من الإحداثيات الجغرافية للنقاط المتحصل عليها من أجهزة التمركز الأرضي (GPS) تتم بواسطة المسائل الجيوديسية العكسية والأمامية بطريقة العناصر المتوسط للمسافة القصيرة ورنج- كوتا. (Edward, 1981) وعكريش، (2012)

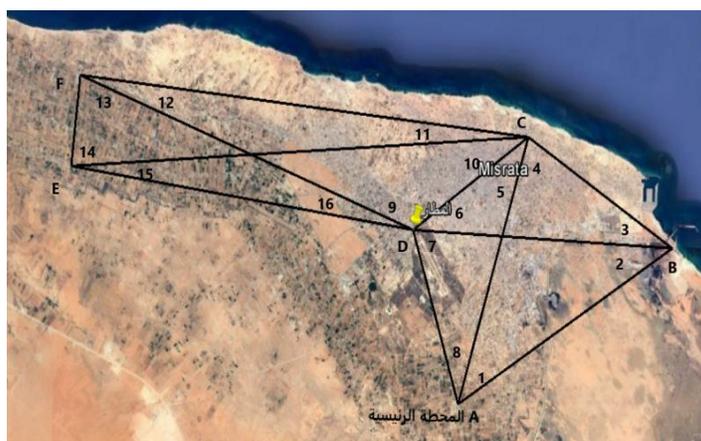
• منطقة الدراسة والتطبيق عليها:

إنشاء شبكة جيوديسية لمدينة مصراتة مكونة من ست نقاط ضبط ارضي تكون في مواقع مناسبة للرصد، بحيث يمكن لكل مستخدم الوصول إليها بسهولة، وتشمل المحطة الرئيسية الواقعة جنوب مصراتة، وهي إحدى المحطات 61 المرصودة والمعتمدة من مصلحة المساحة الليبية على مرجع الإسناد الليبي (LGD 2006)، وتتكون الشبكة من 11 ضلعا و 16 زاوية الشكل (3) يوضح ذلك؛ جميع هذه النقاط تم محاكاتها للقياس الواقعي بأجهزة التمركز الأرضي، حيث تم تحويل الإحداثيات الجغرافية للمحطة الرئيسية إلى مرجع الإسناد العالمي (WGS 84-G1150 ITRF2000)؛ (عكريش) الشكل 3 والجدول (1) يوضحان مواقع النقاط وقيمتها.

جدول (1) الإحداثيات الجغرافية للنقاط

ITRF2000 WGS84-G1150		
خط الطول	خط العرض	النقاط
15° 04' 48.5290" E	32° 15' 26.1574" N	A
15° 14' 13.8600" E	32° 20' 17.1000" N	B
15° 07' 42.6800" E	32° 23' 29.1000" N	C

15° 02' 39.1500" E	32° 20' 36.1100" N	D
14° 47' 40.3600" E	32° 24' 54.2200" N	F
14° 47' 21.5600" E	32° 22' 10.5100" N	E



شكل 3. مواقع النقاط المرصودة

النقاط الخمس الجديدة يتم ضبطها بحيث تتوفر فيها شروط الدقة العالية التي تنطبق مع شروط تحديد محطات الرصد المعتمدة للمدينة بالنسبة للنقطة الرئيسية؛ تكوين مصفوفة الأوزان غير مسبقة، والتي تعتمد على زمن التأخير للمسافة المقابلة عند الرصد لكل زاوية، وبهذا تكون تكافئ مكثف الثواني في الأجهزة الحديثة؛ ثم تستخدم طريقة التثليث لضبط وتحليل البيانات كما ذكر في منهجية البحث.

• الضبط بطريقة التثليث:

يتم ضبط البيانات الموضح في الجدول (1) والموزعة كما في الشكل (3)؛ تحديد المسافات بين النقاط جميعها باستخدام طريقة العناصر المتوسطة للمسافة القصيرة وتدخل فيها الزيادة الكروية [إعكريش]، وهذه الزيادة لا تؤثر على الأشكال المستوية لأنها لا تتجاوز 0.5 المليمتر بالنسبة للمسافات الواقعة بين النقاط في الشكل (3)؛ الجدول (2) يوضح المسافات التي تم تحويلها من الإحداثيات الجغرافية .

جدول (2) حساب المسافات بين نقاط الشبكة

المرجع المستخدم WGS84-G1150		
الانحراف الدائري - Azimuth	المسافة - (متر)	ترميز
AB=58.7455220922°	17294.011	AB
AC=17.0110117692°	15558.107	AC
AD=340.4891694159°	10129.903	AD
BC=300.0703041341°	11813.883	BC
BD=271.8977798937°	18176.492	BD
CD=236.1398481142°	9558.344	CD
CE=265.7535996837°	32010.650	CE
CF=274.8598414406°	31528.910	CF
FD=108.6298457401°	24802.772	FD
FE=185.5664170230°	5066.770	FE
ED=96.8425899150°	24166.908	ED

يتم تحديد الزوايا الستة عشر باستخدام قانون جيب تمام الزاوية من القيم المدرجة في الجدول (2)؛
كذلك تحديد قيم جيب الزاوية وظل تمام الزاوية لجميع الزوايا وجميعها مدرجة في الجدول (3).

جدول (3) حساب الزوايا من خلال المسافات المرصودة

الزاوية	القيمة في التقدير المئوي	جيب الزاوية	ظل تمام الزاوية
1	41°44'03.23698"	0.6656763	1.121026
2	33°04'06.83730"	0.5456422	1.535838
3	28°10'20.91439"	0.4721273	1.867145
4	77°01'28.98497"	0.9744670	0.230413
5	39°06'10.57616"	0.6307155	1.230370
6	35°41'59.19296"	0.5835380	1.391658
7	68°40'30.46741"	0.9315334	0.390383

1.350347	0.5951287	36°31'18.52300"	8
-0.76265	0.7951435	127°19'52.2599"	9
1.759336	0.4941501	29°36'49.42081"	10
6.238882	0.1582649	9°06'22.33415"	11
4.026069	0.2410567	13°56'56.10183"	12
0.232034	0.9741204	76°56'11.68517"	13
0.176176	0.9848330	80°00'30.02298"	14
5.017903	0.1954431	11°16'14.21143"	15
4.793200	0.2042315	11°47'04.26013"	16

مصنوفة الأوزان يتم استنتاجها من خلال زمن التأخير الناتج عن القياسات عند الرصد وذلك من خلال سرعة الضوء $2.997952 * 10^8$ متر لكل ثانية في الفراغ، أما في الهواء فحسب الوسط الواقع فيه، ويكون المعامل مابين (1.0004 - 1.0001) وبهذا يمكن تحديد المسافة المقطوعة من قانون نيوتن، والذي ينص على أن المسافة تساوي الزمن في السرعة؛ الشكل البيضاوي المستخدم هو (G1150 WGS84) حيث نصف القطر الأكبر يساوي 6378137 مترا ونصف القطر الأصغر يساوي 6356752.314 مترا، منهما يتحصل على متوسط نصف قطر الأرض 6367444.657 مترا، ومحيط الكرة الأرضية هو 40007834.7 مترا وبقسمة القيمة على 4 يتم تحديد مسافة خطوط العرض من خط الاستواء إلى القطب الشمالي، هذه القيم تقريبية، بهذا تكون متوسط مسافة الدرجة الواحدة تساوي 111132.87 مترا والدقيقة 1852.2 مترا والثانية 30.87 مترا، ولتحديد الخطأ المتوقع لكل زاوية يتم أخذ قيمة الضلع المقابل لها بحيث تكون قيمة الخطأ في القياس هي المراد استخدامها ويرمز له ds وباستخدام قانون النسب والتناسب ($ds/x=30.87/1$)، تحدد جميع قيم الأخطاء الناتجة من زمن التأخير للأضلاع، الحسابات مدرجة في الجدول (4).

الجدول (4) تحديد قيم الأخطاء في القياس للزوايا

الضلع	AB	CB	DC	DA	CF	FE	ED
الخطأ mm	17	12	9.5	10	32	5	24
الخطأ في الثواني	0.0005	0.0003	0.0003	0.0003	0.001	0.0001	0.0007
	5	9	1	2		6	8

تحدد الأوزان حسب القيم المدرجة في الجدول 4 وذلك باعتبارها قيم الانحراف المعياري، ومن قانون الأوزان الذي ينص مربع أكبر انحراف معياري على مربع كل انحراف معياري فيقال بأنه الزاوية موزونة، والجدول (5) يبين أوزان الزوايا الستة عشرة.

الجدول (5) أوزان الزوايا المرصودة والمستخدم في ضبط الشبكة

W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
7.11	10.24	11.35	3.54	10.24	7.11	3.54	11.35
W9	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16
1	1.78	40.96	11.35	1.78	1	11.35	40.96

بعد تحديد جميع البيانات المطلوبة و تحليلها، تبدأ عملية الضبط للزوايا وذلك بالرجوع للمعادلة (4-5) وتكوين الشروط الأساسية وهي 8 معادلات منها 6 مثلثية و 2 ضلعية، هنا يجب مراعاة أن تكون الشروط المثلثية 180 درجة وليس 360 درجة حتى يكون لها معكوس للمصفوفة ويتلاشى خطأ القفل في الشكل، عند تحويل قيمة جيب الزاوية إلى الثواني يتم ضربها في المعامل الناتج من العملية الحسابية التالية:

$$206265 = \frac{180 \times 3600}{\pi}$$

• طريقة الضبط باستخدام شروط التثليث المتوالية:

طريقة الضبط باستخدام شروط التثليث المتوالية هي تعمل بأسلوب الضبط المنفرد، حيث يعمل كل شكل في ضبط زواياه الثمانية على حدة؛ تنص شروطها على أن يتم تكوين الشروط المثلثية بشرط قفل مثلثي 180 درجة، وهي كالاتي:

• الشروط المثلثية؛

$$\begin{aligned} v_1 + v_2 + v_3 + v_4 &= 180^\circ - 179^\circ 59' 59.97364'' = 0.02636'' \\ v_5 + v_6 + v_7 + v_8 &= 180^\circ - 179^\circ 59' 58.75953'' = 1.24047'' \\ v_1 + v_2 + v_7 + v_8 &= 180^\circ - 179^\circ 59' 59.06469'' = 0.93531'' \\ v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12} &= 180^\circ - 180^\circ 00' 00.11669'' = -0.11669'' \\ v_9 + v_{10} + v_{15} + v_{16} &= 180^\circ - 180^\circ 00' 00.15227'' = -0.15227'' \\ v_{13} + v_{14} + v_{15} + v_{16} &= 180^\circ - 180^\circ 00' 00.17971'' = -0.17971'' \end{aligned}$$

1. الشرط الضلعي الأول:

$$W=(0.9999977762269916-1)*206265=-0.45868$$

تعويض قيم ضل تمام الزاوية من الجدول 3 في المعادلة (5)؛

$$1.121026181v_1 - 1.5358380v_2 + 1.86714528v_3 - 0.23041383v_4 + \dots + \\ 1.230370821v_5 - \dots - 1.39165874854v_6 + 0.39038384097v_7 - \\ 1.35034703009v_8 = 0.45868$$

2. الشرط الضلعي الثاني :

$$W= (1.00000000004988-1)*206265=0.00001-0.76265630v_9 - \\ 1.759336711v_{10} + 6.2388827v_{11} - 4.026069184v_{12} + 0.232034389v_{13} - \\ 0.176176903 v_{14} + 5.01790346014 v_{15} - 4.79320044193 v_{16} = -0.00001$$

يحدد من خلال المعادلات الثمانية السابقة مصفوفة المرافقة A ومصفوفة قفل الأخطاء لكل معادلة

"خطأ القفل لكل مثلث" F، أخيرا مصفوفة الأوزان (Q=W⁻¹) W.

تتم عملية الضبط باستخدام المعادلة 6 و 7، حسب الشروط الهندسية السابقة من خلال

مصفوفاتها.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1.12 & -1.53 & 1.86 & -0.23 & 1.23 & -1.39 & 0.39 & -1.35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.76 & -1.75 & 6.23 & -4.02 & 0.23 & -0.17 & 5.01 & -4.79 \end{pmatrix}$$

$$F = (0.02636 \ 1.24047 \ 0.93531 \ -0.11669 \ -0.15227 \ -0.17971 \ 0.45868 \ -0.00001)^T$$

$$W := \begin{pmatrix} 7.11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10.24 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11.35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.54 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10.24 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7.11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.54 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 11.35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.78 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40.96 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 11.35 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.78 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 11.35 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40.96 \end{pmatrix}$$

عند ضبط البيانات السابقة باستخدام طريقة أقل فرق في المربعات بالطريقة القياس المباشر يتم ضبط البيانات جميعها، بما في ذلك مصفوفة الأوزان الجديدة، والتي تستخدم مرة أخرى للتكرار الثاني، البرنامج في عملية الضبط البيانات هو برنامج (MathCad) والنتائج كالآتي:

$v_a^T =$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0.1175	-0.04022	0.05403	-0.10495	0.22767	0.15477	0.70892	0.14911

8	9	10	11	12	13	14	15
-0.08284	-0.04039	-0.00074	0.00728	-0.05581	-0.09486	-0.0248	-0.00424

البيانات السابقة هي نتائج عملية الضبط، حيث V_a هي مصفوفة التصحيح للزوايا، وبالرجوع للبرنامج المستخدم في الحسابات، توضح أن الزوايا الثمانية الأولى بأنها تملك ترابط بينها فقط وتمثل الشكل الرباعي المقطور الأول، بينما باقي الزوايا هي أيضا تملك ترابط مع بعضها فقط وتمثل الشكل الرباعي الثاني، Q_{II} مصفوفة المعاملات الجديدة التي تدخل في عملية التكرار الثاني، وأخير مصفوفة الانحراف المعياري للزوايا، حيث قطر المصفوفة يمثل مربع الانحراف المعياري للزوايا، بينما باقي القيم تمثل الترابط بينها.

• تصحيح الزوايا وضبط الاحداثيات الجغرافية:

عملية تصحيح الزوايا تعتبر مهمة جدا ويجب ان يتم اختبارها بحيث كل مثلث دخل في التصحيح يكون مجموع زواياه 180° ؛ كذلك يتم اختبار الشكل الأول من السلسلة لزواياه الثمانية ويجب ان يكون مجموعهم الكلي 360° ، وهذا مأتشير إليه النتائج؛ في حالة كان وجد خطأ القفل في أي منهم، عندها يجب تكرار العملية حتى يتلاشى خطأ القفل؛ الجدول (6) يوضح الزوايا المصححة.

جدول 6. تصحيح الزوايا الداخلة في تكوين الشبكة

ت	الزوايا عند الرصد	التصحيح في	الزوايا المصححة
1	41°44'03.23698"	0.1175	41°44'03.35448"
2	33°04'06.83730"	-0.0402	33°04'06.79708"
3	28°10'20.91439"	0.05403	28°10'20.96842"
4	77°01'28.98497"	-0.1049	77°01'28.88002"
5	39°06'10.57616"	0.22767	39°06'10.80383"
6	35°41'59.19296"	0.15477	35°41'59.34773"
7	68°40'30.46741"	0.70892	68°40'31.17633"
8	36°31'18.52300"	0.14911	36°31'18.67211"
9	127°19'52.2599"	-0.0828	127°19'52.17706"
10	29°36'49.42081"	-0.0404	29°36'49.38042"
11	9°06'22.33415"	-0.0007	9°06'22.33341"
12	13°56'56.10183"	0.0073	13°56'56.10257"
13	76°56'11.68517"	-0.0558	76°56'11.62936"
14	80°00'30.02298"	-0.0948	80°00'29.92812"
15	11°16'14.21143"	-0.0248	11°16'14.18663"
16	11°47'04.26013"	-0.0042	11°47'04.25589"

الزوايا المصححة تدخل في حساب المسافات المكونة للشبكة الجيوديسية، بحيث يبقى خط القاعدة AB ثابت " مصحح " معرف بالانحراف الدائري الأمامي والعكسي؛ يستخدم قانون الجيب " قاعدة لامي " في حساب المسافات لشبكة بالكامل لتحديد المسافات المصححة، والتي تدخل في تحديد الانحراف الدائري

الأمامي والعكسي لجميع الأضلاع باستخدام طرق المسائل الجيوديسية الأمامية، والنتائج مدرجة في الجدول (7) على النحو التالي:

جدول 7 تصحيح المسافات والانحراف الدائري لشبكة

النتائج تكون على المرجع المستخدم WGS84-G1150					
الانحراف الدائري المصحح Azimuth	المسافة المصححة	ترميز	الانحراف الدائري المصحح Azimuth	المسافة المصححة	ترميز
CE=265.7537869° EC=85.57213195°	32010.591	CE	AB=58.7455220° BA=238.829429°	17294.011	AB
CF=274.85999070° FC=94.681020558°	31528.849	CF	AC=17.01125695° CA=197.0371240°	15558.068	AC
FD=108.63007292° DF=288.76377275°	24802.728	FD	AD=340.48940359° DA=160.4701997°	10129.886	AD
FE=185.56663663° EF=5.5638389189°	5066.7605	FE	BC=300.07047549° CB=120.0123086°	11813.866	BC
ED=96.842846132° DE=276.97925723°	24166.864	ED	BD=271.89798427° DB=91.79475186°	18176.455	BD
			CD=236.1400701° DC=56.09493305°	9558.324	CD

تستخدم البيانات المصححة في الجدول (7) في تحديد الإحداثيات الجغرافية لنقاط الضبط الأرضي المربوطة بالشبكة، وذلك عن طريق المسائل الجيوديسية الأمامية بطريقة رنج - كوتا (عكريش، 2012)، حيث يتم تعويض خط الطول والعرض للنقطة الأساسية والمسافة الواصلة بالنقاط والانحراف الدائري؛ وتكون النقطة A هي النقطة الأساسية في تحديد باقي النقاط، ثم تعين النقطة D في تحديد النقاط الباقية، حيث تم أخذ بعين الاعتبار المسافات كلما كانت المسافات قصيرة كانت الثقة أكبر؛ النتائج المصحح لنقاط الضبط الأرضي مدرجة في الجدول (8) على النحو التالي:

جدول 8 إحداثيات الجغرافية لنقاط الشبكة المصححة في النظام ITRF2000

ITRF2000 WGS84-G1150		
خط الطول	خط العرض	النقاط
15° 04' 48.5290" E	32° 15' 26.1574" N	A
15° 14' 13.8600" E	32° 20' 17.1000" N	B
15° 07' 42.68198" E	32° 23' 29.10079" N	C
15° 02' 39.15174" E	32° 20' 36.11255" N	D
14° 47' 40.36487" E	32° 24' 54.22501" N	F
14° 47' 21.56412" E	32° 22' 10.51584" N	E

جميع نقاط الضبط الأرضي لشبكة التي تم ضبطها حسب مرجع الإسناد العالمي (ITRF2000) (G1150)-(WGS84)؛ عملية تحويل الإحداثيات الجغرافية من النظام (ITRF2000) إلى النظام الليبي (LGD2006)، تستخدم إحدى الطرق الشائعة في التحويل بين الأشكال البيضاوية وهي طريقة بورشا- ولف أو طريقة مولدنسكي الرياضية (structure.mil.ru/files/pz-90.pdf)؛ النتائج مدرجة في الجدول (9) على النحو التالي:

جدول 9 إحداثيات الجغرافية لنقاط الشبكة المصححة في النظام الليبي

LGD2006		
خط الطول	خط العرض	النقاط
15° 04' 50.51066" E	32° 15' 24.9199" N	A
15° 14' 15.81941" E	32° 20' 15.85470" N	B
15° 07' 44.65922" E	32° 23' 27.85365" N	C
15° 02' 41.14087" E	32° 20' 34.86992" N	D
14° 47' 42.39387" E	32° 24' 52.98162" N	F
14° 47' 23.59290" E	32° 22' 9.27554" N	E

• الخلاصة والتوصيات:

يستخلص من عملية ضبط وتحليل البيانات للشبكة الجيوديسية المستخدمة في تحديد نقاط ضبط أرضي جديدة لمدينة مصراتة النقاط التالية:

- النتائج المتحصل عليها متماسكة وتملك قوة متانة عالية في شبكتها؛
 - يجب أن تكون أضلاع الشبكة في حدود 20000 مترا ولا تزيد عن ذلك لتعطي نتائج جيدة ؛
 - طريقة التثليث بطريقتها الجديدة تدخل فيها جميع الأضلاع من خلال زوايا الشبكة في التحليل والضبط بثمانية شروط هندسية تعطي نتائج أفضل من طريقة التصلع التي تقتصر فيها شرطين هندسيين وجزء من الزواياها في التحليل والضبط .
 - تعطي شبكة متكاملة لمدينة مصراتة في نظامين العالمي والليبي بدقة لا تزيد عن 2ملمتم .
 - استخدام مصفوفة أوزان غير مسبقة في تكوينها .
- يوصى بإنشاء شبكات مترابطة لجميع المدن الليبية وتكثيف نقاط الضبط الأرضي من مرجع الإسناد الليبي. كذلك يوصى بمعايرة الشبكات الجيوديسية بعد تكوينها.

• المراجع :

1. مصلحة المساحة "مشروع الربط الجيوديسي ونظم إسقاط الخرائط ,مرجع الإسناد الجيوديسي الليبي" 2006
2. علي شكري وآخرون " المساحة الجيوديسية " منشأة المعارف الإسكندرية، 1989.
3. باترك " تحسين اساسيات نظام الإحداثيات في جمهورية بنين " اطروحة دكتوراه، جامعة موسكو الحكومية للجيوديسية والتخريط، 2015
4. زوبوف " نظرية التحليل الرياضي في قياس الأعمال الجيوديسية" دار النشر جامعة الموارد المعدنية – سانت بتربروك، 2016.
5. محمد صبري عكريش "المساحة الجيوديسية المتقدمة وعلم التخريط الجديد لنظم المعلومات الجغرافية" دار المستقبل ، طبعة الأولى، ص187، 2012.
6. Edward M. "Analysis and Adjustment of Survey Measurements" van nostrand, Reinhold company– New York, 1981.
7. <https://structure.mil.ru/files/pz-90.pdf>