

إعداد جهاز الرسم التجسيمي التمثيلي للقياس

(٦،١) مقدمة

إن عملية تشغيل جهاز الرسم التجسيمي لعمليات القياس المساحي التي تشمل إنتاج الخرائط الطبوغرافية وإنتاج النموذج الرقمي لسطح الأرض **Digital Terrain Model (DTM)** تبدأ بوضع كل واحدة من الصورتين المتداخلتين اللتين تغطيان منطقة مشتركة في وحدة الإسقاط الخاصة بها بصورة تعيد الخصائص الهندسية لكل من الصورتين وقت التقاطهما ، هذه العملية تسمى التوجيه الداخلي للصورتين ثم تغيير وضع كل وحدة إسقاط بالنسبة للوحدة الأخرى حتى يكون وضعهما بالنسبة لبعضهما البعض هو نفس الوضع النسبي حين التقاط كل منهما و ينتج من ذلك نموذج ثلاثي الأبعاد ، هذه الخطوة يطلق عليها التوجيه النسبي . أما الخطوة الإعدادية الأخيرة فهي عملية نقل النموذج الجسم إلى لوحة الرسم عن طريق تغيير مقياس النموذج الجسم و ضبط ارتفاعاته حتى نحصل على نموذج مجسم يمثل الأرض بمقياس هو نفسه مقياس الخريطة المطلوبة وارتفاعات هي نفسها ارتفاعات الأهداف الحقيقية ، و تسمى هذه العملية عملية التوجيه المطلق. وفيما يلي تفصيل لكل من هذه العمليات التي تجعل النموذج الجسم في وضع جاهز لرسم الخريطة المطلوبة.

(٦،٢) التوجيه الداخلي

Interior Orientation

إن الهدف الأساسي من التوجيه الداخلي هو وضع الصورتين داخل الجهاز بحيث تمثلان تماماً وضع آلة التصوير وقت التقاطهما في الحقل وتتم خطوات عملية التوجيه الداخلي على النحو التالي :

١- إعداد الصورتين المتداخلتين على شكل فيلم موجب preparation of overlapping dispositives : بعد التقاط الصور الجوية في الجو تعاد إلى مختبر التصوير و يتم معالجتها كيميائياً للحصول على الصور وهي على شكل فيلم سالب. ومن بعد ذلك يتم الطبع للحصول على الفيلم الموجب و بالمقياس المطلوب استعماله . هنالك نوعان من أشكال الطبع : أ) الطبع المباشر حيث تكون النتيجة موجب بذات مقياس السالب دون تغيير. ب) الطبع غير المباشر للحصول على مقياس مختلف من مقياس السالب.

٢- تجهيز الصورتين بحيث يمكن وضعهما بالتوجيه المطلوب داخل وحدتي الإسقاط . ويتم ذلك على النحو التالي :

أ) تصحيح التشوهات والإزاحات التي تحدث في كل من الصورتين.
ب) وضع كل من الصورتين في حالة تمركز تام داخل وحدتي الإسقاط (تطابق نقطة أساس الصورة ومركز وحدة الإسقاط) ويمكن أن يتم ذلك خارج الجهاز بوضع اللوح الزجاجي الحامل للصورة على طاولة مضيئة وتثبيت الفيلم عليها بحيث تنطبق علامات الإسناد في الصورة على نظيراتها في اللوح الزجاجي كما هو مبين في الشكل رقم (٦،١) .



الشكل رقم (٦,١). وضع الصورة على اللوح الزجاجي [16].

٣- ضبط المسافة الأساسية للجهاز في كل من وحدتي الإسقاط لتساوي البعد البؤري لأداة التصوير التي استخدمت في التقاط الصورتين.

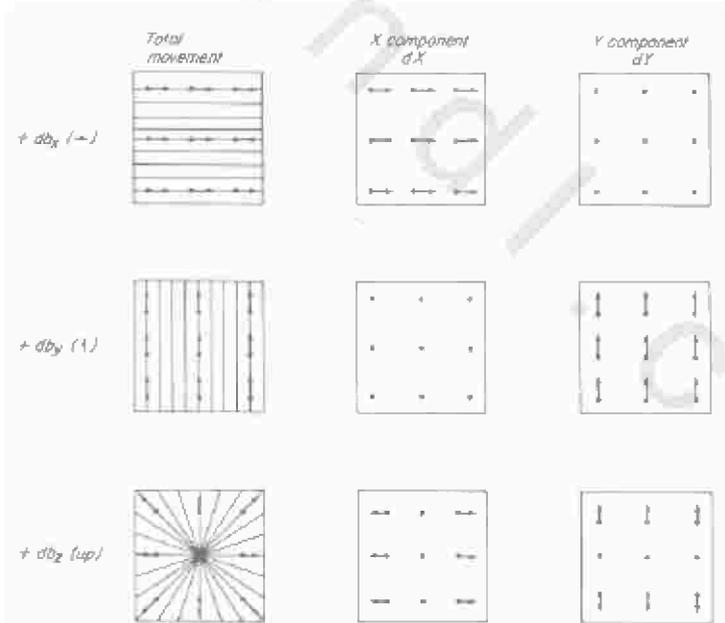
(٦,٣) التوجيه النسبي

Relative Orientation

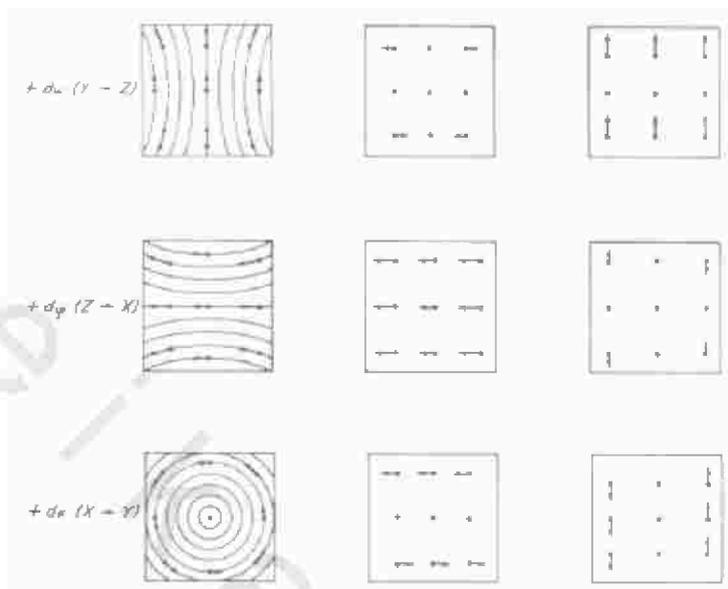
المقصود من التوجيه النسبي هو وضع وحدتي الإسقاط بجهاز الرسم التجميعي وهما تحملان الصورتين المتداخلتين في وضع مماثل تماماً لوضع آلة التصوير حين التقاط الصورتين من الجو. وذلك يقتضي وجود آليات تستعمل في تحريك كل وحدة من وحدتي الإسقاط حركات طولية وحركات دائرية حول المحاور الثلاثة للوحدة يعني ذلك أن يكون لكل وحدة إسقاط ستة عناصر للحركة : ثلاثة عناصر للحركة الطولية على كل من المحاور x ، y ، z هي على التوالي : dx ، dy ،

db_z وثلاثة عناصر دائرية حول المحاور ذاتها هي على التوالي: ω ، ϕ ، χ .
ويطلق على هذه العناصر عناصر التوجيه النسبي *relative orientation elements* .
يوضح الشكل رقم (٦,٢) حركة الأشعة الساقطة على سطح مستوى الإسقاط والتي تحدث نتيجة تحريك كل عنصر من عناصر التوجيه النسبي الطولية db_x ، db_y ، db_z .

لقد تم اختيار تسع نقاط على مستوى الصورة المسقطه موزعة على هذا السطح كما هو ظاهر في الشكل رقم (٦,٢) والشكل رقم (٦,٣) لتبيين تأثير عناصر التوجيه على هذه النقاط وبالتالي يظهر التأثير على جميع نقاط الصورة بعد الإسقاط . ويوضح الشكل رقم (٦,٣) تأثير تحريك عناصر التوجيه النسبي الدائرية ω ، ϕ ، χ على النقاط المسقطه على مستوى الإسقاط أو النموذج المسطحي.



الشكل رقم (٦,٢). تأثير عناصر التوجيه النسبي الطولية على النقاط المسقطه [1].



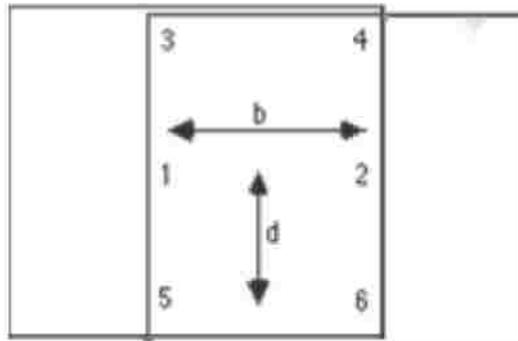
الشكل رقم (٦,٣). تأثير عناصر الترجمة السبي الدائرية على النقاط المسقطة [1].

إن النموذج المجسم الذي يستطيع أن يراه مشغل جهاز الرسم التجميعي يتم إنشاؤه على سطح المشاهدة viewing plane بتقاطع الأشعة الساقطة من النقاط المتناظرة من الصورتين المتداخلتين على هذا السطح. ولا يتم هذا التقاطع عند المرحلة الأولى من وضع الصورتين على وحدتي الإسقاط. بل إنه من الطبيعي أن لا تقاطع هذه الأشعة عند الوهلة الأولى للإسقاط بل يكون هنالك إزاحة يمكن تحليلها إلى: إزاحة (dx) في الاتجاه السيني، أي على المحور السيني لنظام إحداثيات سطح النموذج المرئي وهو المحور الموازي للمحور السيني لنظام إحداثيات الصورة (المحور المطابق لاتجاه الطيران كما تم تعريفه من قبل)؛ وإزاحة (dy) في المحور الصادي المتعامد مع المحور السيني عند نقطة الأصل لنظام الإحداثيات. يوضح الشكل رقم (٦,٢) والشكل رقم (٦,٣) هذه الإزاحة والتي يطلق عليها اسم بارالاكس *parallax*: فالإزاحة التي في اتجاه المحور السيني يطلق عليها *x-parallax* والتي في الاتجاه العمودي يطلق عليها اسم

y -parallax. إن النموذج المجسم الذي يتم رؤيته من خلال نظام المشاهدة في أجهزة الرسم التجسيمي يمكن إنشاؤه بعد إزالة هاتين الإزاحتين عند كل نقطة تتكون على مستوى المشاهدة نتيجة تقاطع الشعاعين الساقطين من نقطتين متناظرتين من وحدتي الإسقاط اللتين تحملان الصورتين المتداخلتين.

إن إزالة الإزاحة في اتجاه المحور السيني (x -parallax (p_x) يمكن أن تتم بتحريك وحدتي الإسقاط حركة متعكبة إلى أعلى أو إلى أسفل أو بتحريك مستوى المشاهدة إلى أعلى أو إلى أسفل. ويمكن متابعة إزالة الإزاحة بواسطة العلامة العائمة ، ويتم ذلك بوضع العلامة اليسرى على النقطة الساقطة من وحدة الإسقاط اليسرى ثم يتم تحريك العلامة اليمنى حتى تطابق العلامة اليسرى فتكون نقطة النموذج المطلوبة.

أما إزالة الإزاحة في اتجاه المحور الصادي (y -parallax (p_y) فتحتاج إلى عملية خاصة يتم فيها إزالة هذه الإزاحة عند النقاط 1, 2, ..., 6 ، والتي يتم اختيار مواضعها كما في الشكل رقم (٦, ٤) ويطلق عليها نقاط التوجيه النسبي ، وذلك باستخدام عناصر التوجيه النسبي المناسبة ولذلك يطلق على هذه العملية التوجيه النسبي. إن هذه العملية يمكن أن تتم بإزالة الإزاحة p_y عند خمس نقاط فقط من النقاط الست و تستخدم النقطة السادسة في التحقق من اكتمال العملية.



الشكل رقم (٦, ٤). النقاط المختارة لعملية التوجيه النسبي.

إن عملية التوجيه النسبي يمكن أن تتم آلياً بالاستخدام المطلق لمسامير التوجيه و يطلق عليها التوجيه النسبي التمثيلي (الآلي) *analogous relative orientation* أو بطريقة حسابية يتم فيها حساب قيم تحريك كل من عناصر التوجيه بعد قياس مقدار الإزاحة عند كل من النقاط الست الموضحة في الشكل رقم (٦،٤) ومن ثم تحريك كل عنصر الحركة المطلوبة لإزالة الإزاحة و يطلق عليها التوجيه النسبي الحسابي *numerical relative orientation* ، والطريقة الأخيرة هي الطريقة التحليلية التي تعتمد على النموذج الرياضي وتستخدم في المساحة التصويرية التحليلية ومع أجهزة الرسم التحليلي . وفيما يلي تفصيل لعمليات التوجيه النسبي التمثيلي والحسابي.

(٦،٤) التوجيه النسبي التمثيلي

تعتمد هذه الطريقة على استخدام خمسة من عناصر التوجيه النسبي لإزالة الإزاحة p عند خمس من نقاط التوجيه النسبي المختارة و التي تم توضيح مواقعها في الشكل رقم (٦،٤). وهناك طرق عديدة لاختيار عناصر التوجيه الخمسة . نختار منها طريقتين ؛ تعتمد الأولى فيهما على استخدام خمسة عناصر لتحريك إحدى وحدتي الإسقاط مع تثبيت الوحدة الأخرى دون تحريك. و يطلق على هذه الطريقة : التوجيه النسبي التمثيلي المستقل *analogous dependant relative orientation* . والطريقة الثانية يتم فيها استخدام عناصر توجيه مختارة لتحريك كل من وحدتي الإسقاط بالنسبة للوحدة الأخرى. و يطلق عليها : التوجيه النسبي التمثيلي غير المستقل *analogous independent relative orientation* . وفيما يلي تفصيل لكل من هاتين الطريقتين.

(٦،٥) التوجيه النسبي التمثيلي المستقل

إذا تركنا وحدة الإسقاط اليسرى ثابتة بدون أي تحريك و قمنا بتحريك وحدة الإسقاط اليمى مستخدمين خمساً من عناصر التوجيه لإزالة الإزاحة p عند كل من

نقاط التوجيه النسبي الخمسة ثم استخدمنا النقطة السادسة للتأكد من إزالة الإزاحة عندها عندئذ نتأكد من أن جميع النقاط في النموذج الجسم خالية من الإزاحة p_7 و تبقى الإزاحة p_8 التي يمكن إزالتها عند كل نقطة يرفع أو خفض طاولة المشاهدة كما ذكرنا من قبل. (من الممكن أيضاً تثبيت وحدة الإسقاط اليمنى وتحريك الوحدة اليسرى للحصول على الوضع النسبي المطلوب).

إن عناصر التوجيه التي سنستخدمها لإزالة الإزاحة p_8 عند النقاط الخمسة هي: ω ، φ ، χ ، ψ ، θ الخاصة بوحدة الإسقاط اليمنى ، ونشير إلى ذلك بعلامة (*) .

إن اختيار عنصر التوجيه المناسب لإزالة الإزاحة عند كل من النقاط الخمسة يتم على أساس هي:

١- لكل نقطة يستخدم عنصر التوجيه الذي ينتج من استخدامه أكبر حركة ممكنة عند تلك النقطة .

٢- يتم اختيار عنصر التوجيه في الخطوة التالية على أساس أن لا يسبب تغير كبير في النقطة التي أزيل فيها الإزاحة في الخطوة السابقة لها.

و يتم إزالة الإزاحة p_8 عند النقاط الخمس باستخدام الخطوات التالية:

(أ) إزالة الإزاحة p_8 عند النقطة 2 باستخدام عنصر التوجيه ψ .

(ب) إزالة الإزاحة p_8 عند النقطة 1 باستخدام عنصر التوجيه χ .

(ج) إزالة الإزاحة p_8 عند النقطة 4 باستخدام عنصر التوجيه θ .

(د) إزالة الإزاحة p_8 عند النقطة 3 باستخدام عنصر التوجيه φ .

(هـ) إزالة الإزاحة p_8 عند النقطة 6 باستخدام عنصر التوجيه ω ، وعند

هذه النقطة ندخل حركة زائدة في اتجاه التصحيح: مقدار هذه الحركة يكون حوالي نصف مقدار الإزاحة التي تم إزالتها وذلك بالنسبة للصور الجوية العادية (البعد البؤري

= 150 مم ، طول لوح الصورة = 230 مم) وتسمى هذه الزيادة في التصحيح : الزيادة التصحيحية overcorrection .

(و) إعادة الخطوات السابقة بنفس الترتيب حتى لا يبقى أي أثر للإزاحة عند النقاط الست.

(ز) التحقق من علم وجود إزاحة عند النقطة 5 .

يلاحظ أنه في الخطوات ب ، ج ، د لم تتأثر النقاط التي أزيلت عندها الإزاحة من قبل وأن استخدام العنصر "هـ" في الخطوة (د) قد أثر على النقاط 1 - 4 . كذلك فإن الزيادة التصحيحية التي استخدمت في الخطوة (هـ) تم استخدامها على ألا يكون هنالك إزاحة عند النقطة 5 بعد الدورة الثانية من إزالة الإزاحة بالخطوات من أ إلى د.

كما وأن مقدار الزيادة التصحيحية للإزاحة المتبقية عند النقطة 6 يمكن حسابه من معامل الزيادة التصحيحية k overcorrection factor (الزيادة التصحيحية عند نقطة $k \cdot p_{i6} = 6$) والذي يمكن حسابه بالتقدير من العلاقة :

$$k = 1/2 [1 + (f/d)^2] - 1$$

حيث إن :

f = البعد البؤري لعنسة آلة التصوير ، d = المسافة على مستوى الصورة من النقطة 2 إلى النقطة 6.

معال (٦، ١)

إنما تم قياس الإزاحة p_{i6} للنقاط 6, 3, 2, 1 = i بعد وضع الصورتين المتداخلتين داخل وحدتي الإمقاط وإحكام التوجيه الداخلي فكانت قيم الإزاحة عند كل من النقاط الستة على الوجه التالي :

6	5	4	3	2	1	النقطة
+5	-2	-1	+4	+3	+2	p_x

المطلوب توضيح الخطوات لإجراء التوجيه النسبي التمثيلي المستقل للحصول على النموذج الجسم .

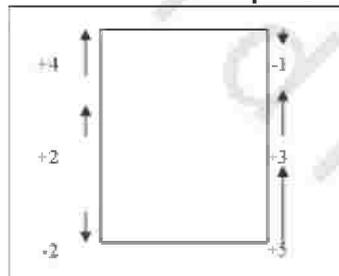
لاحظ أن قيم الإزاحة عند النقاط الست لا بد من أن تحقق الشرط التالي والذي يطلق عليه توازن الإزاحة :

$$2p_{y1} + p_{y4} + p_{y6} = 2p_{y2} + p_{y3} + p_{y5}$$

وإننا لم نتحقق هذا الشرط في قيم الإزاحة التي تم قياسها ستبقى إزاحة عند النقطة الأخيرة مقدارها يساوي الفرق بين جانبي المعادلة الشرطية (هذه المعادلة الشرطية سيتم استنتاجها لاحقاً عند الحديث عن التوجيه النسبي الحسابي).

الحل

أولاً نبدأ بتمثيل قيم الإزاحة على النقاط الست على رسم تخطيطي يبين مستوى الإسقاط كما في الشكل رقم (٦.٥) .

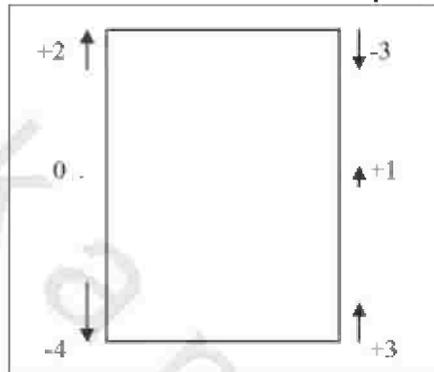


الشكل رقم (٦.٥). الإزاحة p_x عند النقطة المسقطة.

لحل هذا المثال نستخدم عناصر توجيه الصورة اليسرى ω ، ϕ ، χ ، ρ ، γ ونحافظ على بقاء الصورة اليمنى ثابتة دون تحريك وذلك عكس ما تم تقديمه في الشرح أعلاه.

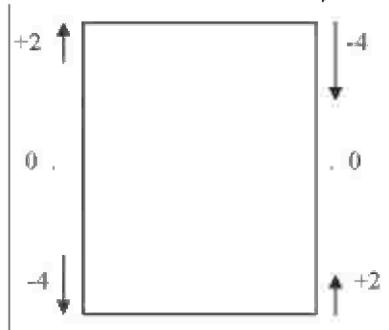
الخطوة الأولى: استخدام عنصر التوجيه ρ بإزالة الإزاحة عند النقطة 1 وذلك يعني تحريك مسمار العنصر ρ حركة تؤدي إلى تحريك الشعاع الساقط من

النقطة 1 في الصورة اليسرى مقدارها 2- حتى يكون ناتج الإزاحة p_{y1} عند النقطة 1 يساوي 0. بالنظر إلى الشكل رقم (٦,٢) فإن تحريك المسامير الخاص بعنصر التوجيه 'b' يحرك كل النقاط المسقطة على مستوى الإسقاط حركة متساوية في المقدار والاتجاه وهي (2-) في هذه الحالة. وتكون نتيجة الإزاحة في النقاط الست بعد إزالة الإزاحة عند النقطة 1 هي المثلة في الشكل رقم (٦,٦).



الشكل رقم (٦,٦). الإزاحة في نقاط النموذج بعد تحريك العنصر 'b'.

الخطوة التالية: إزالة الإزاحة (+1) عند النقطة 2 باستخدام عنصر التوجيه 'x' (تؤثر هذه الحركة على النقطتين 4 و 6 بالإضافة إلى النقطة 2 بالمقدار نفسه) فنتج الإزاحة الموضحة في الشكل رقم (٦,٧).

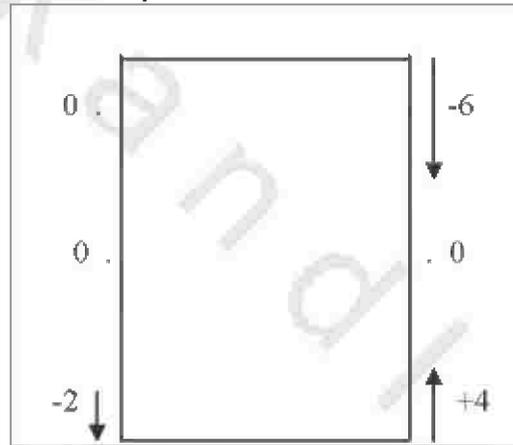


الشكل رقم (٦,٧). نتيجة تحريك العنصر 'x'.

لاحظ أن إزالة الإزاحة عند النقطة 2 باستخدام العنصر ω لم يؤثر على الإزاحة عند النقطة 1 التي تمت الإزاحة فيها في الخطوة السابقة.

الخطوة الثالثة: إزالة الإزاحة ρ عند النقطة 3 باستخدام عنصر التوجيه ω .

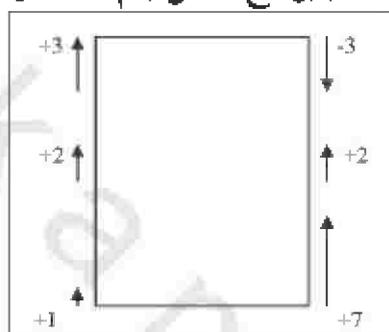
في هذه الخطوة تحرك مسمار العنصر ω بحيث يتحرك الشعاع الساقط من وحدة الإسقاط اليسرى عند وضع العلامة العائمة على النقطة 3 حركة بمقدار 2- لتصبح الإزاحة عند هذه النقطة 0 ، هذه الحركة تؤثر على النقطتين 3 و 4 بمقدار متساوي في القيمة والاتجاه وهو 2- وتؤثر على النقطتين 4 و 6 بنفس المقدار ولكن في اتجاه معاكس وهو +2 ، فتصبح الإزاحة الناتجة بعد هذه الخطوة هي المثلثة في الشكل رقم (٦، ٨).



الشكل رقم (٦، ٨). الإزاحة المتبقية بعد الخطوة الثالثة.

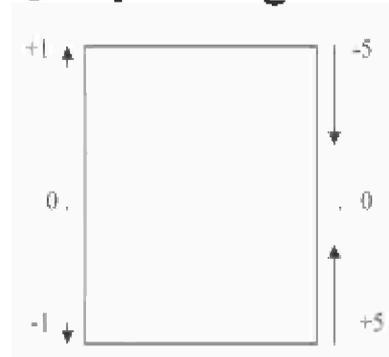
الخطوة الرابعة: إزالة الإزاحة عند النقطة 5 باستخدام عنصر التوجيه ω ومواصلة تحريك هذا العنصر في الاتجاه نفسه حتى نحصل على إزاحة تساوي نصف الإزاحة التي كانت في النقطة 5 وفي الاتجاه العكس (الزيادة التصحيحية overcorrection). إن الإزاحة ρ التي كانت في النقطة 5 بنهاية الخطوة الثالثة هي 2- كما يظهر ذلك في الشكل رقم (٦، ٨) و عليه فإننا نقوم بتحريك مسمار العنصر ω

بمقدار +2 لتصحيح الإزاحة عند النقطة 5 والاستمرار في تحريك المسار في الاتجاه نفسه حتى نحصل على إزاحة مقدارها +1 عند نفس النقطة ، فتكون حركة النقطة المسقطة على مستوى الإسقاط نتيجة تحريك عنصر التوجيه هي +3 . من المعلوم أن تحريك العنصر w يؤثر على النقاط 3 و 4 و 5 و 6 بنفس المقدار والاتجاه كما يؤثر على النقطتين 1 و 2 في الاتجاه نفسه ولكن بمقدار أقل (ثلثي مقدار الحركة تقريباً) ، يتضح ذلك من الشكل رقم (٦,٣) . ويوضح الشكل رقم (٦,٩) نتيجة الخطوة الرابعة.



الشكل رقم (٦,٩). نتيجة الخطوة الرابعة.

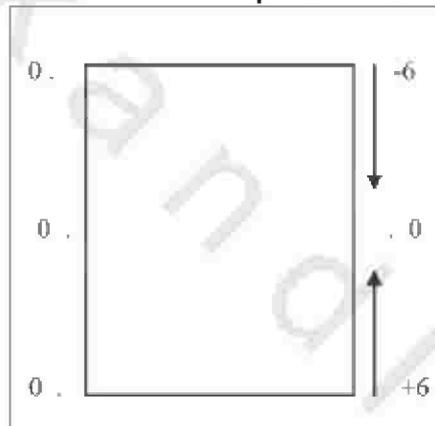
الخطوة الخامسة: إعادة الخطوة الأولى بإزالة الإزاحة عند النقطة 1 باستخدام العنصر rb (تحريك مسار هذا العنصر حركة -2 ، هذه الحركة تؤثر على كل النقاط بنفس المقدار في نفس الاتجاه) فتصبح النتيجة كما في الشكل رقم (٦,١٠) .



الشكل رقم (٦,١٠). الإزاحة بعد الخطوة الخامسة.

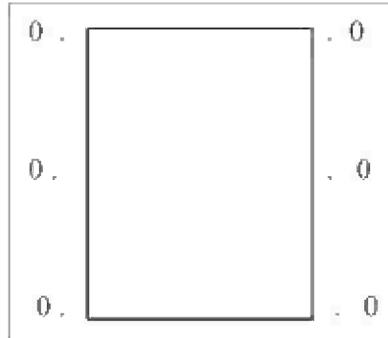
أصبحت الإزاحة في كل من النقطتين 1 و 2 مساوية للقيمة صفر. ولذلك لا حاجة لإعادة الخطوة الثانية.

الخطوة السادسة: إعادة الخطوة الثالثة لإزالة الإزاحة المتبقية عند النقطة 3 باستخدام العنصر b_2 و ذلك بتحريك هذا المسامير ليحدث حركة 1- عند النقطة 3 ليصبح مقدار الإزاحة عندها 0. هذه الحركة تؤثر على النقطة 5 بمقدار الإزاحة نفسه ولكن في اتجاه مختلف +1 فتصبح بالتالي الإزاحة عند النقطة 5 مساوية للصفر. وتتأثر النقطة 4 بالمقدار نفسه وفي الاتجاه نفسه (-1) والنقطة 6 بالمقدار نفسه وفي اتجاه عكسي (+1) ، وتظهر نتيجة ذلك في الشكل رقم (٦, ١١).



الشكل رقم (٦, ١١). الإزاحة المتبقية بعد الخطوة السادسة.

الخطوة السابعة: إزالة الإزاحة عند النقطة 4 باستخدام العنصر a_2 الذي يؤثر على النقطتين 4 و 6 بنفس المقدار وفي اتجاه مختلف ، فإذا حركنا مسامير هذا العنصر لتحريك النقطة 4 حركة +6 ليصبح الناتج في الإزاحة 0 فإن الحركة التي ستحدث في النقطة 6 هي -6 فيصبح ناتج الإزاحة عند النقطة 6 هو 0 أيضاً. وبهذه الخطوة نكون قد أزلنا الإزاحة b_2 في النقاط الست جميعها كما يظهر في الشكل رقم (٦, ١٢).



الشكل رقم (٦, ١٢). نتيجة الخطوة السابقة لإزالة كاملة للإزاحة في نقاط النموذج.

(٦, ٦) التوجيه النسبي التمثيلي غير المستقل

لاستخدام طريقة التوجيه النسبي التمثيلي المستقل لا بد من وجود عناصر توجيهي تحرك وحدة الإسقاط حركة مستقيمة على المحور z : (b_2) وأخرى على المحور z : (b_3) ، وهذا الشرط غير متحقق في كل أجهزة الرسم التجسيمي. في طريقة التوجيه النسبي التمثيلي غير المستقل يمكن استخدام عناصر التوجيه التي تدور كل من وحدتي الإسقاط حول محاورها الثلاث. وعلى سبيل المثال يمكن استخدام عناصر التوجيه: z ، z' ، φ ، φ' ، ω أو ω' (حيث أن ω' و ω لهما نفس التأثير).

إننا رجعنا إلى الطريقة السابقة في حل المثال نجد أننا استخدمنا العنصر b_2 لإزالة الإزاحة عند النقطة 1 ، ومن الممكن استخدام العنصر z' لإزالة هذه الإزاحة ، واستخدمنا في الخطوة الثالثة العنصر b_3 لإزالة الإزاحة عند النقطة 3 ومن الممكن استخدام العنصر φ' لإزالة هذه الإزاحة.

ويمكن اتباع الخطوات التالية لاستخدام طريقة التوجيه النسبي غير المستقل :

(أ) إزالة الإزاحة p_{01} عند النقطة 1 باستخدام عنصر التوجيه z'

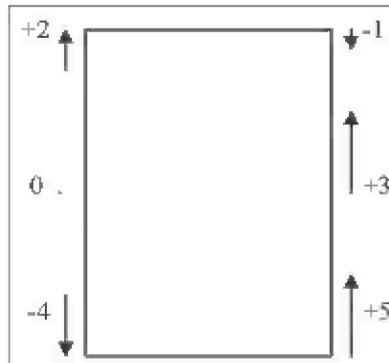
(ب) إزالة الإزاحة p_{02} عند النقطة 2 باستخدام عنصر التوجيه z'

ج) إزالة الإزاحة p عند النقطة 3 باستخدام عنصر التوجيه φ
 د) إزالة الإزاحة p عند النقطة 4 باستخدام عنصر التوجيه φ
 هـ) إزالة الإزاحة p عند النقطة 5 باستخدام عنصر التوجيه φ مع الزيادة التصحيحية مثلما تم في الخطوة هـ في الطريقة السابقة.

و) إعادة الخطوات أ إلى هـ حتى يتم إزالة الإزاحة في نقاط النموذج الخمسة والتأكد من أن الإزاحة في النقطة 6 أصبحت أيضاً تساوي صفر.
 مثال (٦, ٢)

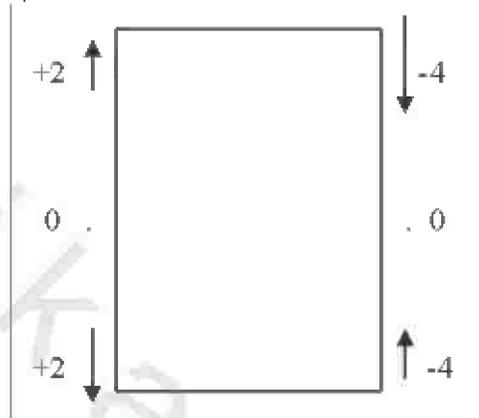
استخدم طريقة التوجيه النسبي التمثيلي غير المستقل لإزالة الإزاحة p في نقاط النموذج المعطى في المثال السابق (٦, ١).
 الحل

يمثل الشكل رقم (٦, ٥) الإزاحة الموجودة عند كل من النقاط الست. الخطوة الأولى: إزالة الإزاحة عند النقطة 1 باستخدام العنصر φ الذي يؤثر على النقاط 1 و 3 و 5 بالمقدار نفسه وفي الاتجاه نفسه (الحركة المطلوبة 2- حتى تصبح الإزاحة عند النقطة 1 تساوي صفر) وتظهر نتيجة ذلك في الشكل رقم (٦, ١٣).



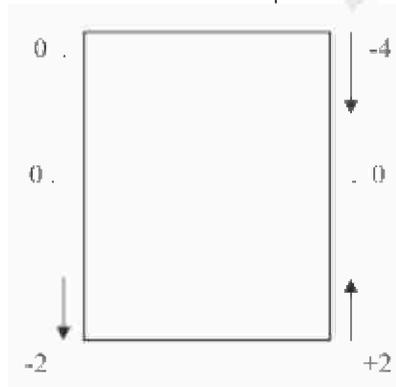
الشكل رقم (٦, ١٣). نتيجة إزالة الإزاحة عند النقطة 1.

الخطوة التالية: إزالة الإزاحة عند النقطة 2 باستخدام العنصر ϕ الذي يؤثر على النقاط 2 و 4 و 6 بالمقدار نفسه وفي الاتجاه نفسه (الحركة المطلوبة 3- حتى تصبح الإزاحة عند النقطة 2 تساوي صفر) والنتيجة مبيّنة في الشكل رقم (٦, ١٤).



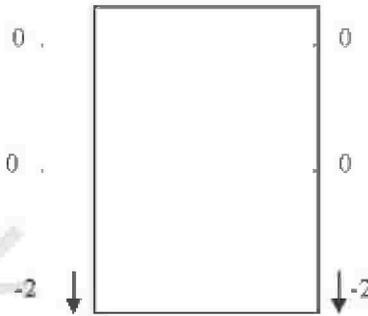
الشكل رقم (٦, ١٤). نتيجة إزالة الإزاحة عند النقطة 2 .

الخطوة الثالثة: إزالة الإزاحة عند النقطة 3 باستخدام العنصر ϕ ، ويؤثر على النقطتين 3 و 5 بالمقدار نفسه وفي اتجاه مختلف (الحركة المطلوبة هي -2 عند النقطة 3 لتصبح الإزاحة فيها صفر و تكون الحركة المصاحبة لها عند النقطة 5 هي +2 فتصبح الإزاحة فيها -2). يوضح الشكل رقم (٦, ١٥) النتيجة بعد هذه الحركة.



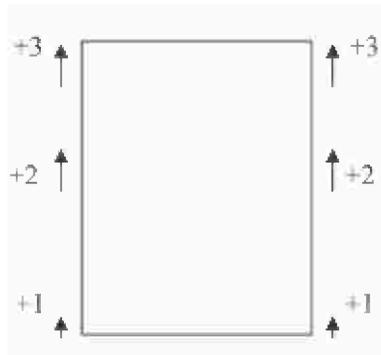
الشكل رقم (٦, ١٥). إزالة الإزاحة عند النقطة 3 .

الخطوة الرابعة: إزالة الإزاحة عند النقطة 4 باستخدام عنصر التوجيه النسبي φ الذي تؤثر حركته على النقطتين 4 و 6 بالمقدار نفسه وفي اتجاه مختلف لتصحيح نتيجة هذا التصحيح كما هو مبين في الشكل رقم (٦, ١٦).



الشكل رقم (٦, ١٦). الإزاحة المتبقية بعد الخطوة الرابعة

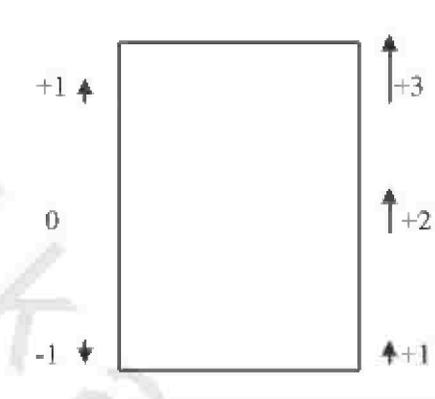
الخطوة الخامسة: إزالة الإزاحة عند النقطة 5 مع الزيادة في التصحيح - بمعنى الاستمرار في تحريك المسامير الذي يحرك العنصر ω' في نفس اتجاه التصحيح - حتى يكون هنالك إزاحة في النقطة 5 مقدارها نصف الإزاحة التي كانت فيها قبل تصحيحها وفي اتجاه مختلف (+1) - لتكون الحركة الكلية الناتجة +3. هذه الحركة بكاملها تتم في النقاط 4 و 5 و 6 كما هي في النقطة 3 ويتم جزء منها (2/3) في النقطتين 1 و 2 (الشكل رقم (٦, ١٧)).



الشكل رقم (٦, ١٧). نتيجة إزالة الإزاحة عند النقطة 5 مع الزيادة في التصحيح.

الخطوة السادسة: إعادة الخطوة الأولى لإزالة الإزاحة عند النقطة 1

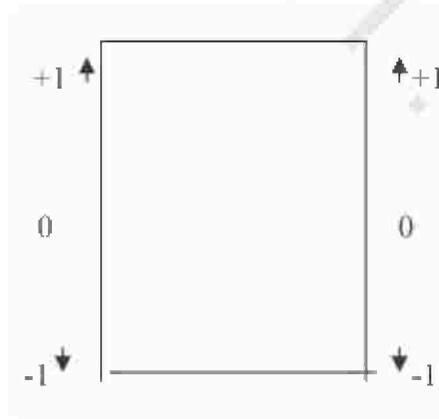
باستخدام العنصر γ وتتأثر بهذه الحركة أيضاً النقطتان 3 و 5 ، الشكل رقم (٦,١٨) يبين الناتج.



الشكل رقم (٦,١٨). الإزاحة بعد الخطوة السادسة.

الخطوة السابعة: إعادة الخطوة الثانية لإزالة الإزاحة عند النقطة 2 باستخدام

العنصر γ والذي تؤثر حركته على النقطتين 4 و 6 وتظهر النتيجة كما في الشكل رقم (٦,١٩).



الشكل رقم (٦,١٩). الإزاحة بعد الخطوة السابعة.

الخطوة الثامنة: إعادة الخطوة الثالثة لإزالة الإزاحة عند النقطة 3 باستخدام العنصر ψ^3 وتزول كذلك الإزاحة عند النقطة 5 .

الخطوة التاسعة: إعادة الخطوة الرابعة لإزالة الإزاحة عند النقطة الرابعة باستخدام العنصر ψ^4 وتزول كذلك الإزاحة عند النقطة 6 ، وتصبح كل النقاط في هذا النموذج من دون إزاحة وهو المطلوب.

يجب أن نلاحظ أن ما قمنا به من توجيه نسبي تمثيلي في هذين المثالين هو تطبيق نظري . أما من الناحية العملية فإن هذه الخطوات قد تستمر لأكثر من دورتين أو ثلاث حتى نحصل على إزالة كاملة للإزاحة في كل النقاط.

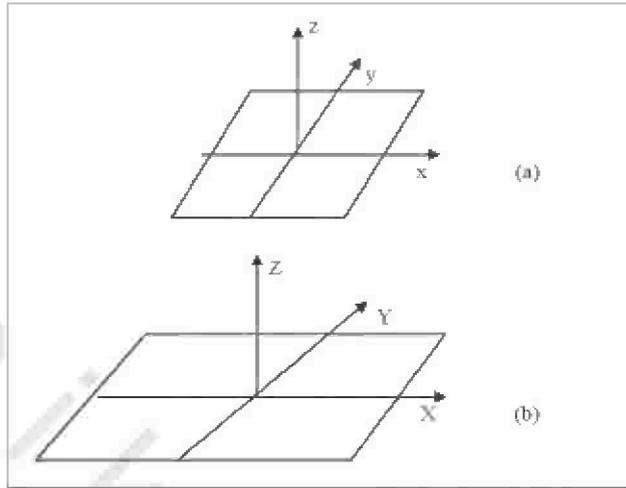
(٦,٧) التوجيه النسبي الحسابي

Numerical Relative Orientation

لاستخدام هذه الطريقة لا بد من وجود وسيلة لقياس قيم الإزاحة p عند كل من النقاط الست وبعد إيجاد علاقة رياضية بين قيم الإزاحة في هذه النقاط ومقدار واتجاه الحركات المطلوبة لعناصر التوجيه يتم حساب هذه الحركات ثم يتم إدخال كل حركة بواسطة المسامير المحرك للعنصر في الجهاز.

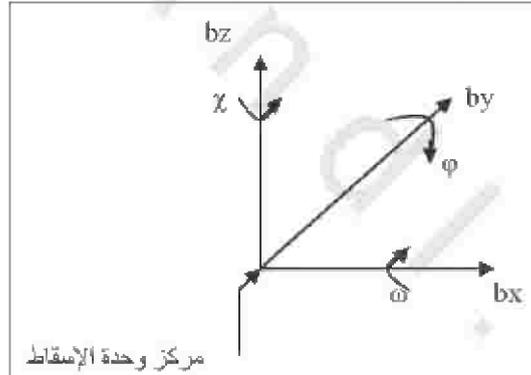
لإيجاد هذه العلاقة نبدأ بدراسة التغير في قيم X و Y (إحداثيات النقاط المسقط من إحدى وحدتي الإسقاط على مستوى النموذج أو الإسقاط) الذي يحدث نتيجة تغيير صغير جداً في وحدة الإسقاط نتيجة تحريك كل عنصر من عناصر التوجيه حركة صغيرة .

يبين الشكل رقم (٦,٢٠) نظام إحداثيات الصورة (x,y,z) ونظام إحداثيات مستوى الإسقاط (X,Y,Z) حيث تسقط الأشعة من وحدتي الإسقاط.



الشكل رقم (٦,٢٠). نظام الإحداثيات في الصورة (a) وفي مستوى الإسقاط (b).

ويبين الشكل رقم (٦,١٢) الحركات التي سيتم إحداثها في مركز وحدة الإسقاط .



الشكل رقم (٦,٢١). الحركات الطولية و الدائرية لمركز وحدة الإسقاط.

إذا افترضنا أن البعد البؤري لعدسة وحدة الإسقاط (وهو المسافة من مركز العدسة إلى مستوى الصورة) $p =$ وأن ارتفاع الإسقاط (و هو بعد مستوى الإسقاط من مركز وحدة الإسقاط) $h =$ كما هو مبين في الشكل رقم (٦,٢٢) فمن الممكن أن نقول : إن تحريك وحدة الإسقاط في اتجاه x حركة صغيرة تساوي h فإن كل النقاط

إذا أجرينا عملية اشتقاق بالنسبة لـ h نحصل على :

$$(٦,٣) \dots\dots\dots dX = (x/p) dh = (X/h) dh = (X/h) db_x$$

$$(٦,٤) \dots\dots\dots dY = (y/p) dh = (Y/h) dh = (Y/h) db_y$$

باعتبار أن حركة وحدة الإسقاط db_x هي الحركة dh نفسها.

تأثير تحريك وحدة الإسقاط حركة دائرية صغيرة حول المحور x مقدارها $d\omega$:

من الشكل رقم (٦,٢٢) :

$$(٦,٥) \dots\dots\dots X = h \tan \varphi / \cos \omega$$

ويأجراء التفاضل على هذه المعادلة بالنسبة لـ ω نحصل على :

$$(٦,٦) \dots\dots\dots dX = (h \tan \varphi \sin \omega / \cos^2 \omega) d\omega$$

ومن الشكل رقم (٦,٢٢) :

$$\tan \varphi = X / (Y^2 + h^2)^{1/2}$$

ويتعويض هذه القيمة في المعادلة (6.6) وإجراء بعض الاختصارات نحصل

على :

$$(٦,٧) \dots\dots\dots dX = (X * Y / h) d\omega$$

ومن الشكل رقم (٦,٢٢) أيضاً :

$$(٦,٨) \dots\dots\dots Y = h \tan \omega$$

ويأجراء التفاضل بالنسبة لـ ω نحصل على :

$$(٦,٩) \dots\dots\dots dY = (h / \cos^2 \omega) d\omega$$

ويتعويض [$h^2 / (Y^2 + h^2)$] في المعادلة (٦,٩) نحصل على :

$$(٦,١٠) \dots\dots\dots dY = [(h * (1 + Y^2/h^2))] d\omega$$

وبهذه الطريقة أيضاً يمكن إيجاد تأثير العنصر φ :

$$(٦, ١١) \dots\dots\dots dX = -h[1 + X^2/h^2] dp$$

$$(٦, ١٢) \dots\dots\dots dY = -[(X*Y)/h] dp$$

وللتعرف على تأثير تحريك العنصر z نقوم بعمل حركة دائرية صغيرة ($d\chi$) لوحدة الإسقاط حول المحور z و بإجراء اشتقاق لكل من العلاقتين التاليتين بالنسبة ل $d\chi$:

$$Y = R \sin \chi \quad \text{و} \quad X = R \cos \chi$$

$$(٦, ١٣) \dots\dots\dots dX = -R \sin \chi d\chi = -Y d\chi$$

$$(٦, ١٤) \dots\dots\dots dY = R \cos \chi * d\chi = X d\chi$$

ويتجمع تأثير كل الحركات على وحدة الإسقاط نجد أن كل نقطة مسقطة على مستوى الإسقاط تتعرض للحركتين التاليتين في X و Y :

$$(٦, ١٥) \dots\dots\dots dX = db_x + (X/h) db_x + (X*Y/h) d\alpha - h[1 + X^2/h^2] dp - Y d\chi$$

$$(٦, ١٦) \dots\dots\dots dY = db_y + (Y/h) db_y + h(1 + Y^2/h^2) d\alpha - (X*Y/h) dp + X d\chi$$

هاتان المعادلتان تطبقان على كل من وحدتي الإسقاط ، فإذا أشرنا لوحدة الإسقاط اليسرى بالعلامة (') ولليمنى بالعلامة (") فإن ناتج تحريك الوحدتين يكون:

$$(٦, ١٧) \dots\dots\dots dX = dX' - dX'' = p_x$$

$$(٦, ١٨) \dots\dots\dots dY = dY' - dY'' = p_y$$

وتسمى الأولى الابتعاد في X والثانية الابتعاد في Y . يجب التنبيه هنا إلى أن قيمة X في معادلة الإزاحة للصورة اليمنى تستبدل بالقيمة $(X-b)$ ، أي في حالة dX'' و dY'' ؛ لأن العلاقتين (٦, ١٥) و (٦, ١٦) تم استنتاجهما على أساس أن نقطة الأصل لإحداثيات نقاط النموذج المسقط هي النقطة المسقطة من مركز وحدة الإسقاط اليسرى وحيث إن b هي طول قاعدة الجهاز أو المسافة بين مركزي وحدتي الإسقاط .

أما الابتعاد في X فإنه دلالة على ارتفاع النقطة في مستوى الإسقاط ويمكن استخدامه في دراسة تأثير تغيير وضع وحدة الإسقاط على ارتفاعات نقاط النموذج

التجسيمي و بالتالي في دراسة تأثير عدم اكتمال التوجيه النسبي في ارتفاعات النموذج كما سيأتي لاحقاً.

وأما الابتعاد في Y فهو الذي يستخدم في حساب التغيير المطلوب في عناصر التوجيه الخمسة (اختيارها يتم بناءً على الطريقة المستخدمة) بمعلومية الإزاحة في Y في كل من نقاط التوجيه النسبي الستة. إن المعادلة (٦, ١٨) التي تمثل الابتعاد في Y تضم عشرة عناصر توجيه ، سيتم اختيار خمسة منها لعملية التوجيه النسبي الحسابي . إن الخطوة الأولى في عملية التوجيه النسبي الحسابي هي قياس الإزاحة dY_i في كل من النقاط الست ، حيث

$$. i = 1,2,3,4,5,6$$

ويمكن أن يتم ذلك باستخدام المسامير الذي يحرك العنصر b_k سواءً أكان لوحدة الإسقاط اليمنى أو اليسرى . فإذا تم تثبيت كل عناصر التوجيه لوحدتي الإسقاط فإن تحريك العنصر b_k لأحدهما يحرك كل النقاط في مستوى الإسقاط في الاتجاه Y . ونبدأ بقراءة المقياس لهذا العنصر ثم نحرك المسامير الخاص به إلى أن نزيل الإزاحة b_p عند النقطة i ونقرأ المقياس مرة أخرى وتسجل قيمة الإزاحة عند النقطة . هذه الطريقة تحتاج إلى وجود العنصر b_k في الجهاز . وفي حالة عدم وجود هذا العنصر يستخدم العنصر m . فإذا أثبتنا جميع عناصر التوجيه لوحدتي الإسقاط فإن علاقة العنصر m بالإزاحة هي :

$$(٦, ١٩) \dots\dots\dots p_y = b(1 + Y^2/b^2) \text{ } d\theta$$

بقراءة حركة العنصر m التي تزيل الإزاحة عند النقطة المعينة ذات الإحداثي المعروف وبالتعويض في هذه المعادلة نوجد الإزاحة b_p في هذه النقطة .

مثال (٦,٣)

أوجد الإزاحة عند النقطة 1 و النقطة 4 من نقاط التوجيه النسبي (انظر الشكل رقم ٦,٤) إذا كانت قيم الحركة في العنصر ω التي تزيد الإزاحة في كل من النقطتين هي: 0.01 و 0.009 راديان على التوالي. ارتفاع مركزي وحدتي الإسقاط من مستوى النموذج $h = 300$ مم والمسافة بين النقطتين 1 و 3 هي: $d = 100$ مم، والمسافة بين النقطة 1 والنقطة 2 هي: $b = 100$ مم.

الحل

إحداثيات النقطة 1 هي: $X = 0.0$ و $Y = 0.0$ وبالتعمييض في المعادلة (٦,١٩)

لحصول على:

$$P_{y1} = 300 * (1 + 0.0/300^2) * 0.01 = 300 * 0.01 = 3.00 \text{ mm.}$$

إحداثيات النقطة 4 هي: $X = 100$ مم ، $Y = 100$ مم

وبالتعمييض في المعادلة (٦,١٩) :

$$P_{y4} = 300 * (1 + (100^2/300^2)) * 0.009 = 3.00 \text{ mm}$$

(٦,٨) التوجيه النسبي الحسابي المستقل

إننا أردنا استخدام طريقة التوجيه النسبي المستقل *dependent relative*

orientation فنستخدم عناصر التوجيه الخمسة الخاصة بإحدى وحدتي الإسقاط $(\omega'' , \varphi'' , \gamma'' , db_y'' , db_x'')$ أو $(\omega' , \varphi' , \gamma' , db_y' , db_x')$ ونترك الأخرى دون تغيير كما فعلنا ذلك في التوجيه النسبي التمثيلي المستقل. فإذا اخترنا تحريك عناصر الوحدة اليمنى مع تثبيت عناصر توجيه الوحدة اليسرى دون تغيير، حيثئذ تكون معادلة الابتعاد في Y هي:

$$P_y = dY'' - dY' = 0 - dY'$$

$$= -db_y'' - (Y/h) db_x'' - h(1 + Y^2/h^2) d\omega'' + [(X-b) * Y/h] d\phi'' - (X-b) dx''$$

وإذا تم تعويض قيم الإزاحة و الإحداثيات لكل من النقاط الست في معادلة الابعاد في Y نحصل على التالي :

$$(١) \dots\dots\dots P_{y1} = -db_y'' - h d\omega'' + b dx''$$

$$(٢) \dots\dots\dots P_{y2} = -db_y'' - h d\omega''$$

$$(٣) \dots\dots\dots P_{y3} = -db_y'' - h(1 + d^2/h^2) d\omega'' + b dx'' - (d/h) db_x'' - (b*d/h) d\phi''$$

$$(٤) \dots\dots\dots P_{y4} = -db_y'' - h(1 + d^2/h^2) d\omega'' - (d/h) db_x''$$

$$(٥) \dots\dots\dots P_{y5} = -db_y'' - h(1 + d^2/h^2) d\omega'' + b dx'' + (d/h) db_x'' + (b*d/h) d\phi''$$

$$(٦) \dots\dots\dots P_{y6} = -db_y'' - h(1 + d^2/h^2) d\omega'' + (d/h) db_x''$$

الآن المطلوب هو حل هذه المعادلات الست للتعرف على القيم المطلوبة لتحريك عناصر التوجيه لإزالة الإزاحة في نقاط النموذج الست . إن قيم تحريك عناصر التوجيه ستكون بدلالة إحداثيات النقاط الست في نظام إحداثيات النموذج بالإضافة إلى قيمة h و هي ارتفاع مركز وحدة الإسقاط من متوسط مستوى النموذج. ولحل هذه المعادلات :

أ) نقوم بطرح المعادلتين (4) و (6) :

$$(٦) - (٤) : \quad P_{y6} - P_{y4} = (2*d/h) db_x''$$

ومن هذه النتيجة نحصل على :

$$(٧) \dots\dots\dots db_x'' = (h/2*d) * (P_{y6} - P_{y4})$$

ب) ويطرح المعادلتين (٣) و (٥) :

$$(٥) - (٣) : \quad P_{y5} - P_{y3} = (2*d/h) db_x'' + (2*b*d/h) d\phi''$$

ومن هذه العلاقة وبتعويض قيمة db_x'' من المعادلة (٧) نحصل على :

$$(A) \dots\dots\dots dp^* = [h/(2*b*d)] * [p_{y5} - p_{y6} - p_{y8} + p_{y4}]$$

ج) ويطرح المعادلتين (١) و(٣) نحصل على :

$$(٩) \dots\dots\dots dm^* = [h/(2*d^2)] * [2*p_{y1} - p_{y3} - p_{y5}]$$

ويطرح المعادلتين (٢) و(٤) نحصل على قيمة أخرى للعنصر dm^* :

$$(١٠) \dots\dots\dots dm^* = [h/(2*d^2)] * [2*p_{y2} - p_{y4} - p_{y6}]$$

ومن متوسط القيمتين في المعادلتين (٩) و(١٠) نحصل على قيمة متوسطة للعنصر dm^* :

$$(١١) \dots\dots\dots dm^* = [h/(4*d^2)] * [2p_{y1} + 2p_{y2} - p_{y3} - p_{y4} - p_{y5} - p_{y6}]$$

د) ويطرح كل من المعادلتين (١) و(٢) و المعادلتين (٣) و(٤) والمعادلتين

(٥) و(٦) وجمع الناتج نحصل على :

$$(١٢) \dots\dots\dots dx^* = [1/3*b] * [p_{y1} - p_{y2} + p_{y3} - p_{y4} + p_{y5} - p_{y6}]$$

هـ) ومن جمع المعادلات (٢) و(٣) و(٦) نحصل على :

$$(١٣) \dots\dots\dots db_{y^*} = [(1/3) * (-p_{y2} - p_{y4} - p_{y6})] - h*[1 + 2d^2/(3*h^2)] dm^*$$

حيث أن :

dm^* معلومة من المعادلة (١١). إذن المعادلات (٧) و(٨) و(١١) و(١٢) و(١٣) تعطي قيم عناصر التوجيه الختمسة المطلوبة بدلالة إحداثيات النقاط الست في النموذج وقيم الإزاحة p_{y} المقاسة.

مثال (٤, ٦)

بعد إجراء عملية التوجيه الداخلي لزوج من الصور الجوية المتداخلة تم قراءة قيم الإزاحة p_{y} (حيث z هي نقاط النموذج من ١ - ٦) بالمليمتر وسجلت في الجدول التالي. احسب القيم المطلوبة لتفسير عناصر التوجيه لإكمال التوجيه النسبي الحسابي المستقل. علماً بأن أبعاد النموذج هي :

$$b=100\text{mm}, d=100\text{mm}, h=400\text{mm}$$

القطر	1	2	3	4	5	6
الإزاحة p_y	1.0	-3.0	4.0	2.0	5.0	-1.0

الحل

يتم تعويض القيم المعطى في المعادلات (٧) و (٨) و (١١) و (١٢) و (١٣):

$$db_z'' = (h/2*d) * (p_{y6} - p_{y1}) = [400/(2*100)] * (-1-2) = -6 \text{ mm}$$

$$dp'' = [h/(2*b*d)] * [p_{y5} - p_{y3} - p_{y6} + p_{y4}]$$

$$= [400/(2*100*100)] * [5.0-4.0+1+2] = 0.08 \text{ radians}$$

$$d\alpha'' = [h/(d^2*4)] * [2p_{y1} + 2p_{y2} - p_{y3} - p_{y4} - p_{y5} - p_{y6}]$$

$$= [400/(100^2*4)] * [2*1.0+2*(-3.0)-4.0-2.0-5.0+1.0]$$

$$= -0.14 \text{ rad}$$

$$dx'' = [1/(3*100)] * [1.0+3.0+4.0-2.0+5.0+1.0] = 12.0/300$$

$$= 0.04 \text{ radians}$$

$$db_y'' = (1/3) * [3.0-2.0+1.0] - 400 * [1+2*100^2/(3*400^2)] * (-0.14)$$

$$= 0.67 - 58.33 = -57.66 \text{ mm.}$$

وبعد حساب هذه القيم يتم إدخال كل منها في الجهاز باستخدام المسامير الذي

يحرك العنصر المعين من العناصر الخمسة وبالتالي يكون الجسم خالي من الإزاحة.

وكما ذكرنا آنفاً فإن هنالك بعض الأجهزة التي لا يوجد بها عناصر توجيه

بحركة مستقيمة في كل من الاتجاهين y و z وحينئذ يتم استخدام التوجيه النسبي

الحسابي غير المستقل باستخدام خمسة من عناصر توجيه الدوران والذي سيتم شرحه

في الفقرة التالية.

(٦,٩) التوجيه النسبي الحسابي غير المستقل

بما أن هذه الطريقة لا تستخدم فيها عناصر التوجيه ذات الحركة المستقيمة

لوحدي الإسقاط فإن القيم:

$$db_y'' , db_z'' , db'' , db_y'' , db'' , db_y''$$

$$P_y = dY' - \text{وهي : في معادلة الإزاحة في Y وهي :}$$

$$dY''$$

فتأخذ هذه المعادلة الشكل التالي :

$$P_7 = h(1 + Y^2/h^2) d\omega' - (X*Y/h) d\varphi' + X* d\chi' + [(X-b)*Y/h] d\varphi'' - (X-b) d\chi''$$

وتعويض إحداثيات نقاط التوجيه النسبي الست في هذه المعادلة نحصل على قيم الإزاحة في كل نقطة :

$$(١٤) \dots\dots\dots P_{71} = h* d\omega' + b* d\chi''$$

$$(١٥) \dots\dots\dots P_{72} = h* d\omega' + b* d\chi'$$

$$(١٦) \dots\dots\dots P_{73} = h*(1+d^2/h^2) d\omega' - (b*d/h)* d\varphi'' + b* d\chi''$$

$$(١٧) \dots\dots\dots P_{74} = h*(1+d^2/h^2) d\omega' - (b*d/h)* d\varphi' + b* d\chi'$$

$$(١٨) \dots\dots\dots P_{75} = h*(1+d^2/h^2) d\omega' + (b*d/h)* d\varphi'' + b* d\chi''$$

$$(١٩) \dots\dots\dots P_{76} = h*(1+d^2/h^2) d\omega' + (b*d/h)* d\varphi' + b* d\chi'$$

من هذه المعادلات نوجد قيم تغيير عناصر التوجيه كالتالي :

$$(١٩) - (١٧): \dots\dots\dots P_{76} - P_{74} = 2 (b*d/h)* d\varphi'$$

$$(٢٠) \dots\dots\dots d\varphi' = [h/(2*b*d)] * (P_{76} - P_{74})$$

$$(١٨) - (١٦): \dots\dots\dots P_{75} - P_{73} = (2*b*d/h) * d\varphi''$$

$$(٢١) \dots\dots\dots d\varphi'' = [h/(2*b*d)] * (P_{75} - P_{73})$$

ومن حاصل طرح (١٦) - (١٤) وحاصل طرح (١٧) - (١٥) وتعويض قيمتي $d\varphi'$ و $d\varphi''$ نحصل على :

$$d\omega' = (h/d^2)* [P_{73} - P_{71} + (P_{75} - P_{73})/2]$$

$$d\omega' = (h/d^2)* [P_{74} - P_{72} + (P_{76} - P_{74})/2]$$

ومن متوسط القيمتين :

$$(٢٢) \dots\dots\dots d\omega' = [h/(4*d^2)] * [-2P_{71} - 2P_{72} + P_{73} + P_{74} + P_{75} + P_{76}]$$

و بمجموع المعادلات (١٥) و (١٧) و (١٩) :

$$(٢٣) \dots\dots\dots d\chi' = [1/(3*b)] * [P_{72} + P_{74} + P_{76} - (3*h + 2*d^2/h)* d\omega']$$

ويجمع المعادلات (١٤) و(١٦) و(١٨) لمحصل على :

$$(٢٤) \dots\dots\dots dx'' = [1/(3*b)] * [p_{y1} + p_{y3} + p_{y5} - (3*h + 2*d^2/h)* dm']$$

وبذلك يكون قد تم إيجاد قيم عناصر التوجيه الخمسة بدلالة إحداثيات النقاط الست والإزاحة فيها وارتفاع وحدة الإسقاط من مستوى الإسقاط.

مثال (٦،٥)

مستخدماً البيانات في المثال السابق (٦،١) أوجد التغيير في عناصر التوجيه

النسبي (غير المستقل) لإكمال التوجيه النسبي الحسابي (غير المستقل).

الحل

بالتعويض في المعادلات الخمس الأخيرة من (٢٠) إلى (٢٤) :

$$dp' = [h/(2*b*d)] * (p_{y5} - p_{y4}) = [400/(2*100*100)] * (-1.0-2.0) \\ = -3.00*0.02 = -0.06 \text{ radian}$$

$$dp'' = [h/(2*b*d)] * (p_{y5} - p_{y3}) = [400/(2*100*100)] * (5.0-4.0) \\ = 1.0*0.02 = 0.02 \text{ radian}$$

$$d\alpha' = [h/(4*d^2)] * [-2p_{y1} - 2p_{y2} + p_{y3} + p_{y4} + p_{y5} + p_{y6}] \\ = [400/(4*100^2)] * [-2.0+6.0+4.0+2.0+5.0-1.0] \\ = (1/100) * [14.0] = 0.14 \text{ radian}$$

$$dx' = [1/(3*b)] * [p_{y2} + p_{y4} + p_{y6} - (3*h + 2*d^2/h)* dm'] \\ = [1/(3*100)] * [-3.0+2.0-1.0 - (3*400 + 2*100^2/400)*0.14] \\ = -0.59 \text{ radian}$$

$$dx'' = [1/(3*b)] * [p_{y1} + p_{y3} + p_{y5} - (3*h + 2*d^2/h)* dm'] \\ = [1/300]*[1.0+4.0+5.0 - (3*400 + 2*100^2/400)*0.14] \\ = -0.55 \text{ radian}$$

(٦،١٠) معادلة شرط توازن الإزاحة

ومن فوائد معادلة الإزاحة إيجاد شرط التوازن في الإزاحة والذي قد أشرنا إليه في بداية الحديث عن التوجيه النسبي التمثيلي . وهو أنه بعد إدخال الصورتين المتداخلتين في وحدتي الإسقاط وإكمال التوجيه الداخلي فإن الإزاحة في نقاط

التوجيه الست يجب أن تحقق شرطاً معيناً لإكمال عملية التوجيه النسبي هي المعادلة التالية :

$$2p_{y1} + p_{y4} + p_{y6} = 2p_{y2} + p_{y3} + p_{y5}$$

ولبرهان هذه المعادلة :

ب طرح ضعف المعادلة (١٤) من حاصل جمع المعادلتين (١٤) و (١٤) ينتج :

$$(٢٥) \dots\dots\dots p_{y3} + p_{y5} - 2p_{y1} = (2 \cdot d^2/h) \cdot d\omega'$$

وب طرح ضعف المعادلة (١٥) من حاصل جمع المعادلتين (١٧) و (١٩) ينتج :

$$(٢٦) \dots\dots\dots p_{y4} + p_{y6} - 2p_{y2} = (2 \cdot d^2/h) \cdot d\omega'$$

وعليه فإن الجانب الأيسر لكل من المعادلتين (٢٥) و (٢٦) متساوي :

$$p_{y3} + p_{y5} - 2p_{y1} = p_{y4} + p_{y6} - 2p_{y2}$$

ويمكن إعادة ترتيب هذه المعادلة لتكون على نفس شكل المعادلة الشرطية

لتحقيق توازن الإزاحة :

$$2p_{y1} + p_{y4} + p_{y6} = 2p_{y2} + p_{y3} + p_{y5}$$

(٦,١١) معامل زيادة التصحيح

Overcorrection Factor

من الجدير بالذكر أن معادلة الإزاحة في الاتجاه Y يمكن استغلالها أيضاً لإيجاد

معامل زيادة التصحيح k الذي استخدمناه في عمليات التوجيه النسبي التمثيلي .

وبالرجوع إلى عملية التوجيه النسبي التمثيلي غير المستقل في الفقرة ٦,٦ ،

وبعد الخطوة (د) حيث تم إزالة الإزاحة عند النقاط الأربع الأولى وقد تبقت النقطة

الخامسة وعندها سنستخدم العنصر ω لإزالة الإزاحة في هذه النقطة مع الزيادة في

التصحيح في نفس الاتجاه بمعامل تصحيح k ، وهي الخطوة (هـ) . هذا المعامل هو

الذي نريد أن نوجد مقداره باستخدام معادلة الإزاحة في Y . إذا افترضنا أن

مقدار الإزاحة p_{y5} الناتج في النقطة 5 بعد إجراء التصحيح للإزاحة الأصلية p_{y5}

ويأجرا الزيادة في التصحيح فإن الحركة الكلية في النقطة 5 الناتجة من تحريك مسمار
العنصر ω' هي $k p_{y5}$ وتعطى بهذه العلاقة:

$$k p_{y5} = p_{y5} + p_{y5}'$$

وعلاقة هذه الحركة الكلية بمقدار الحركة الكلية في ω' نجدتها من معادلة

الإزاحة في Y :

$$k p_{y5} = h [1 + (Y_5/h)^2] * d\omega'$$

حيث إن كل عناصر التوجيه ثابتة ما عدا العنصر ω' المستخدم في تحريك النقطة 5 . من
هذه العلاقة يمكن أن نستنتج أن الحركة اللازمة في العنصر ω' للحصول على الزيادة في
التصحيح عند النقطة 5 هي :

$$d\omega' = k p_{y5} / \{ h [1 + (Y_5/h)^2] \}$$

وبما أن الحركة في هذا العنصر تؤثر على بقية النقاط ، فمن معادلة الإزاحة في Y فإن

الإزاحة الناتجة من هذه الحركة في النقطة 1 هي :

$$p_{y1}' = h * d\omega' = k p_{y5} / [1 + (Y_5/h)^2]$$

والحركة الناتجة في النقطة 3 هي :

$$p_{y3}' = h [1 + (Y_3/h)^2] * d\omega' = k p_{y5}$$

باعتبار أن $Y_3 = Y_5$.

بعد استخدام العنصر ω' في الخطوة الأخيرة التي تم فيها إزالة الإزاحة مع
الزيادة في التصحيح عند النقطة 5 نرجع لإزالة الإزاحة الناتجة في النقطة 1 باستخدام
العنصر ω'' ، وتؤثر هذه الحركة على كل من النقطتين 3 و 5 ، فتكون نتيجة هذه
الخطوة :

$$p_{y5}'' = p_{y5}' - p_{y1}' \quad \text{و} \quad p_{y3}'' = p_{y3}' - p_{y1}'$$

الخطوة التالية هي إزالة الإزاحة p_{y3}'' عند النقطة 3 باستخدام عنصر التوجيه ω''' ، وهذه
بدورها تؤثر على النقطة 5 أيضاً. وتكون الإزاحة في النقطة 5 بعد هذه الخطوة هي :

$$\begin{aligned} p_{y5}''' &= p_{y5}'' + p_{y3}'' \\ &= p_{y5}' - p_{y1}' + p_{y3}' - p_{y1}' \\ &= k p_{y5} - p_{y5} - 2 p_{y1}' + p_{y3}' \end{aligned}$$

$$= k p_{ys} - p_{ys} - 2 k p_{ys} / [1+(Y/h)^2] + k p_{ys}$$

وبما أن المقصود هو إزالة الإزاحة في النقطة S عند هذه الخطوة بعد أن أزلنا

الإزاحة في النقاط السابقة (١ إلى ٤) فإن قيمة p_{ys} يجب أن تكون صفراً:

$$p_{ys}'' = 2 k p_{ys} - p_{ys} - 2 k p_{ys} / [1+(Y/h)^2] = 0$$

ومن هذه العلاقة نوجد معامل زيادة التصحيح:

$$k = (1/2) * [1 + (h/Y)^2]$$

بالنسبة لأداة تصوير ذات عدسة بعدها البؤري $f = 150 \text{ mm}$ والمسافة من خط قاعدة

الصورة إلى النقطة S في الصورة تساوي $d_s = 106 \text{ mm}$ (باعتبار الإطار المستخدم ذو

الأبعاد $23 \times 23 \text{ cm}$) فإن أبعاد النموذج الجسم المقابل لذلك:

$$(h/Y)^2 = (f/d_s)^2 = (150/106)^2$$

وعليه فإن قيمة المعامل لهذه الصورة:

$$k = (1/2) * [1 + (150/106)^2] = 1.5$$

وهي القيمة التي تم استخدامها في المثال لحل السؤال في التوجيه النسبي التمثيلي.

بعد إكمال عملية التوجيه النسبي يكون النموذج الجسم الذي يمثل شكل الأرض المصورة قد تم تكوينه ولكن بقياس يعتمد على قاعدة الجهاز المستخدم (المسافة بين وحدتي الإسقاط) وارتفاع وحدتي الإسقاط من سطح أو مستوى النموذج الجسم. ولكن لا بد من ربط هذا النموذج بقياس الخريطة المطلوب إنتاجها سواء أكان للمسافات الأفقية أم للارتفاعات. هذه العملية تسمى التوجيه المطلق و ستكون موضوع الفصل التالي.

(٦,١٢) تمارين

- ١- ما هو الهدف من عملية التوجيه الداخلي؟
- ٢- وضح مستعيناً بالرسم حركة نقاط الصورة الجوية عند تحريك عناصر التوجيه النسبي الدائرية في جهاز الرسم التجسيمي.

٣- استخدمت آلة تصوير بعدها البؤري 152.40 مم في التقاط صور جوية لتكون نموذج مجسم . إذا علم أن المسافة بين تقطعي التوجيه 1 و 5 على الصورة تساوي 20 مم فأوجد معامل الزيادة التصحيحية .

٤- إذا تم قياس الإزاحة في اتجاه γ عند نقاط التوجيه النسبي 1 إلى 6 بعد وضع صورتين متداخلتين داخل جهاز الرسم التجميعي وبعد إكمال عملية التوجيه الداخلي وكانت نتائج القياس كما في الجدول التالي :

النقطة	١	٢	٣	٤	٥	٦
γ	٣	- ١	٥	٢	٦	١

هل تحقق هذه القيم شرط توازن الإزاحة ؟

٥- اشرح بالتفصيل خطوات التوجيه النسبي التمثيلي المستقل للبيانات في السؤال ٤ .

٦- اشرح بالتفصيل خطوات التوجيه النسبي التمثيلي غير المستقل للبيانات في السؤال ٤ .

٧- أحسب القيم المطلوبة لتغيير عناصر التوجيه النسبي لإكمال التوجيه النسبي الحسابي المستقل للبيانات في السؤال ٤ ، علماً بأن أبعاد النموذج هي :
 $b=98\text{mm}$, $d=102\text{mm}$, $h=380\text{mm}$

٨- مستخدماً البيانات في السؤال ٤ و السؤال ٧ أحسب التغيير المطلوب في عناصر التوجيه النسبي غير المستقل لإكمال التوجيه النسبي للنموذج.

٩- أوجد الإزاحة γ عند كل من تقطعي التوجيه النسبي 1 و 3 إذا تم تحريك العنصر w بمقدار 0.015 راديان وكانت أبعاد النموذج هي نفسها كما في السؤال ٧ .