الفصل السادس

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 المجسم إلى لوحة الرسم عن طريق تغيير مقياس النموذج المجسم و ضبط ارتفاعاته حتى نحصل على نموذج مجسم يمثل الأرض بمقياس هو نفسه مقياس الخريطة المطلوبة وبارتفاعات هي نفسها ارتفاعات الأهداف الحقيقية ، و تسمى هذه العملية عملية التوجيه المطلق. وفيما يلي تفصيل لكل من هذه العمليات التي تجعل النموذج المجسم 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 كيمائياً للحصول على الصور و هي 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 . و يتم 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 [Ik].

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

(٦,٣) التوجيه النسبي
Relative Orientation

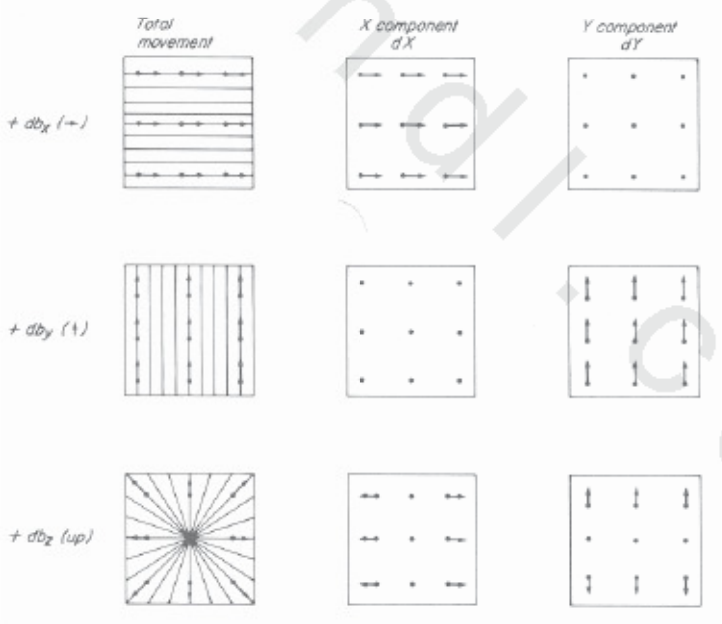
المقصود من التوجيه النسبي هو وضع وحدتي الإسقاط بجهاز الرسم التجسيمي وهما تحملان الصورتين المتداخلتين في وضع مماثل تماماً لوضع آلة التصوير حين التقاط الصورتين من الجو . و ذلك يقتضي وجود آليات تستعمل في تحريك كل وحدة من وحدتي الإسقاط حركات طولية و حركات دائرية حول المحاور الثلاثة للوحدة يعني ذلك أن يكون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

db_x وثلاثة عناصر دائرية حول المحاور ذاتها هي على التوالي : ω ، φ ، χ .
ويطلق على هذه العناصر عناصر التوجيه النسبي relative orientation elements .

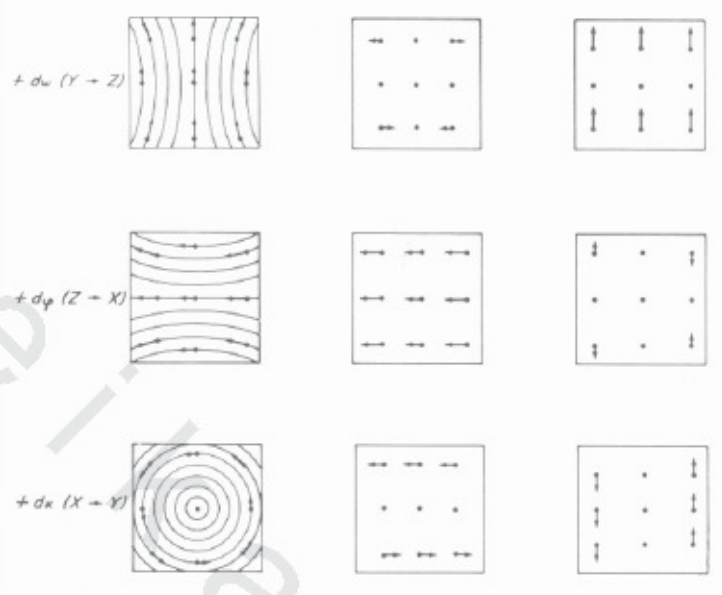
يوضح الشكل رقم (٦,٢) حركة الأشعة الساقطة على سطح مستوى الإسقاط و التي تحدث نتيجة تحريك كل عنصر من عناصر التوجيه النسبي الطولية db_x ، db_y ، db_z .

لقد تم اختيار تسع نقاط على مستوى الصورة المسقطة 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 المسقطة على مستوى الإسقاط أو النموذج السطحي.



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



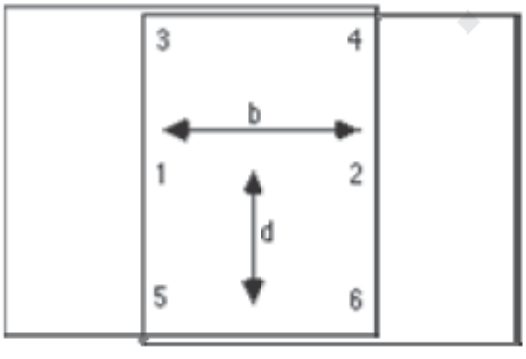
الشكل رقم (٦,٣). تأثير عناصر التوجيه التسعي الدائرية على النقاط المسقطة [1].

إن النموذج المجسم الذي يستطيع أن يراه مشغل جهاز الرسم التجسيمي 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 تتقاطع 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) و الشكل 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 (p_x) x-parallax يمكن أن تتم بتحريك وحدتي الإسقاط حركة متماثلة 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 (p_y) y-parallax 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) analogue 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 ويطلق 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 . و فيما 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_y عند خمس من نقاط التوجيه النسبي المختارة و التي تم توضيح مواقعها في الشكل رقم (٦,٤). وهنالك 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. ويطلق على هذه الطريقة: التوجيه النسبي التمثيلي المستقل analogue dependant relative orientation . والطريقة الثانية يتم فيها استخدام عناصر توجيه مختارة لتحريك كل من وحدتي الإسقاط بالنسبة للوحدة الأخرى. ويطلق عليها: التوجيه النسبي التمثيلي غير المستقل analogue 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 اليمنى مستخدمين خمساً من عناصر التوجيه لإزالة الإزاحة p_y عند كل من

نقاط التوجيه النسبي الخمسة ثم استخدمنا النقطة السادسة للتأكد من إزالة الإزاحة عندها عندئذ نتأكد من أن جميع النقاط في النموذج المجسم خالية من الإزاحة p_y و تبقى الإزاحة p_x التي يمكن إزالتها عند كل نقطة برفع 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_y عند النقاط الخمسة هي:

ω'' ، φ'' ، χ'' ، db_y'' ، db_x'' الخاصة بوحدة الإسقاط اليمنى ، ونشير إلى ذلك بعلامة (") .

إن اختيار عنصر التوجيه المناسب لإزالة الإزاحة عند كل من النقاط الخمسة يتم على أسس 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_y عند النقاط الخمس باستخدام الخطوات التالية:

أ) إزالة الإزاحة p_{y2} عند النقطة 2 باستخدام عنصر التوجيه b_y'' .

ب) إزالة الإزاحة p_{y1} عند النقطة 1 باستخدام عنصر التوجيه χ'' .

ج) إزالة الإزاحة p_{y4} عند النقطة 4 باستخدام عنصر التوجيه b_x'' .

د) إزالة الإزاحة p_{y3} عند النقطة 3 باستخدام عنصر التوجيه φ'' .

هـ) إزالة الإزاحة p_{y6} 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 و ذلك بالنسبة للصور الجوية العادية (البعد البؤري

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

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

ز) التحقق من عدم وجود إزاحة عند النقطة 5 .

يلاحظ أنه في الخطوات ب ، ج ، د لم تتأثر النقاط التي أزيلت عندها الإزاحة من قبل وأن استخدام العنصر "ω 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 6 = $k . p_{y6}$) والذي يمكن حسابه بالتقدير من العلاقة :

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

حيث إن :

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

مثال (٦,١)

إذا تم قياس الإزاحة p_{yi} للنقاط i = 1,2,3, ...6 بعد وضع الصورتين المتداخلتين داخل وحدتي الإسقاط و إحكام التوجيه الداخلي فكانت قيم الإزاحة عند كل من النقاط الستة على الوجه التالي :

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

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

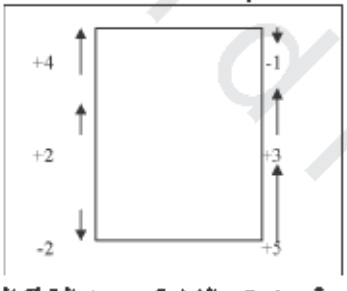
لاحظ أن قيم الإزاحة عند النقاط الست لا بد من أن تحقق الشرط التالي والذي يطلق عليه توازن الإزاحة :

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

وإذا لم يتحقق هذا الشرط في قيم الإزاحة التي تم قياسها ستتبقى 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) .

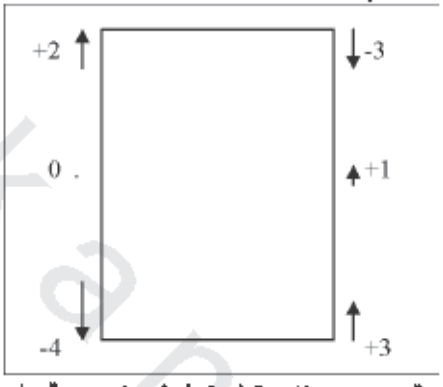


الشكل رقم (٦.٥). الإزاحة p_y عند النقطة المسقطة.

لحل هذا المثال سنستخدم عناصر توجيه الصورة اليسرى ω' ، φ' ، χ' ، b_{yt} ، b_{zt} ونحافظ على بقاء الصورة اليمنى ثابتةً دون تحريك و ذلك عكس ما تم تقديمه في الشرح أعلاه.

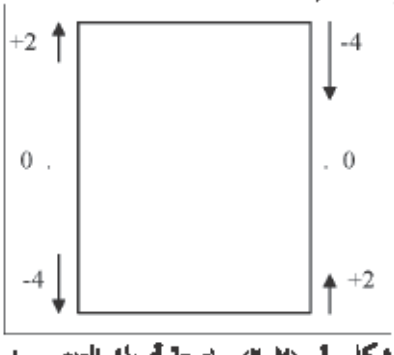
الخطوة الأولى: استخدام عنصر التوجيه b_{xt} لإزالة الإزاحة عند النقطة 1 وذلك يعني تحريك مسمار العنصر b_{xt} حركةً تؤدي إلى تحريك الشعاع الساقط من

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 المسمار 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 الممثلة في الشكل رقم (٦,٦).



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

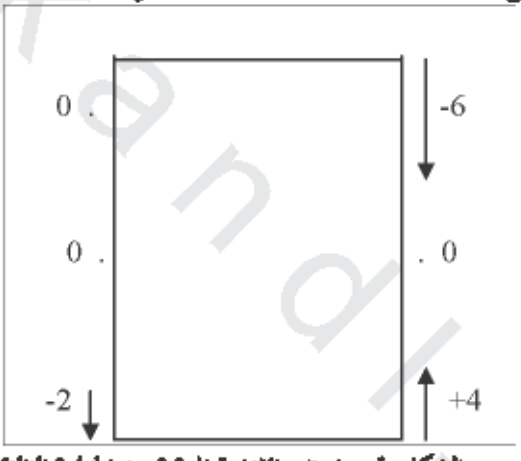
الخطوة التالية: إزالة الإزاحة (+1) عند النقطة 2 باستخدام عنصر التوجيه 'x (تؤثر هذه الحركة على النقطتين 4 و 6 بالإضافة إلى النقطة 2 بالمقدار نفسه) فتنتج الإزاحة الموضحة في الشكل رقم (٦,٧).



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

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

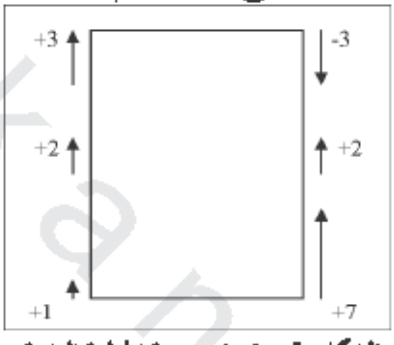
الخطوة الثالثة: إزالة الإزاحة p_{y3} عند النقطة 3 باستخدام عنصر التوجيه 'b . في هذه الخطوة نحرك مسمار العنصر 'b بحيث يتحرك الشعاع الساقط من وحدة الإسقاط اليسرى عند وضع العلامة العائمة على النقطة 3 حركة بمقدار 2- لتصبح الإزاحة عند هذه النقطة 0 ، هذه الحركة تؤثر على النقطتين 3 و 4 بمقدار متساوي في القيمة و الاتجاه وهو 2- وتؤثر على النقطتين 4 و 6 بنفس المقدار ولكن في اتجاه معاكس وهو 2+ ، فتصبح الإزاحة الناتجة بعد هذه الخطوة هي الممثلة في الشكل رقم (٨,٦).



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

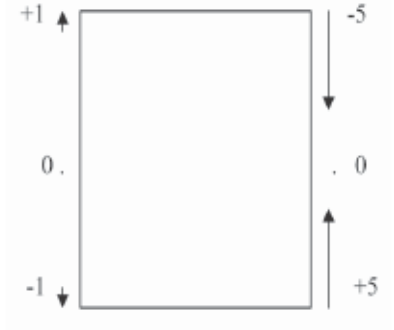
الخطوة الرابعة: إزالة الإزاحة عند النقطة 5 باستخدام عنصر التوجيه 'ω ومواصلة تحريك هذا العنصر في الاتجاه نفسه حتى نحصل على إزاحة تساوي نصف الإزاحة التي كانت في النقطة 5 وفي الاتجاه العكس (الزيادة التصحيحية overcorrection) . إن الإزاحة p_{y3} التي كانت في النقطة 5 بنهاية الخطوة الثالثة هي 2- كما يظهر ذلك في الشكل رقم (٨,٦) و عليه فإننا نقوم بتحريك مسمار العنصر 'ω

بمقدار 2+ لتصحيح الإزاحة عند النقطة 5 والاستمرار في تحريك المسمار 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 'm 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). و يوضح الشكل رقم(٦,٩) نتيجة الخطوة الرابعة.



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

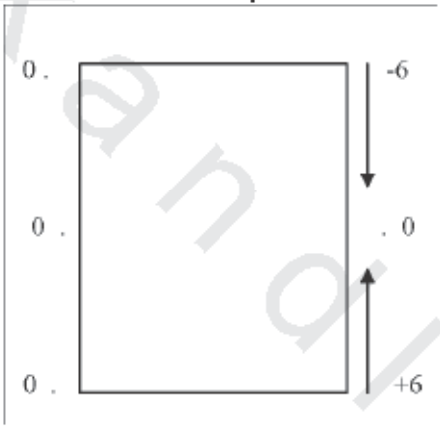
الخطوة الخامسة: إعادة الخطوة الأولى بإزالة الإزاحة عند النقطة 1 باستخدام العنصر 'a (تحريك مسمار هذا العنصر حركة 2- ، هذه الحركة تؤثر على كل النقاط بنفس المقدار في نفس الاتجاه) فتصبح النتيجة كما في الشكل رقم (٦,١٠) .



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

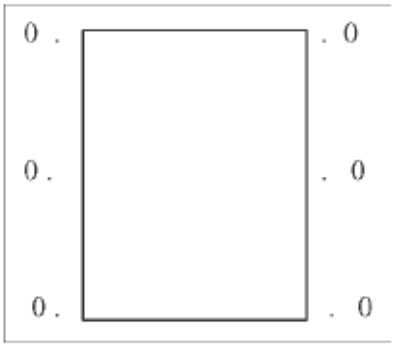
أصبحت الإزاحة في كل من النقطتين 1 و 2 مساوية للقيمة صفر. ولذلك لا حاجة لإعادة الخطوة الثانية.

الخطوة السادسة: إعادة الخطوة الثالثة لإزالة الإزاحة المتبقية عند النقطة 3 باستخدام العنصر b_1' و ذلك بتحريك هذا المسمار 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-) و النقطة 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 مسمار 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 y_6 في النقاط الست جميعها كما يظهر في الشكل رقم (٦,١٢).



الشكل رقم (٦,١٢). نتيجة الخطوة السابعة إزالة كاملة للإزاحة في نقاط النموذج.

(٦,٦) التوجيه النسبي التمثيلي غير المستقل

لاستخدام طريقة التوجيه النسبي التمثيلي المستقل لا بد من وجود عناصر توجيه تحرك وحدة الإسقاط حركة مستقيمة على المحور y : (b_y) وأخرى على المحور z : (b_z) ، 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: "χ ، "χ ، "φ ، 'φ ، 'ω أو "ω (حيث أن 'ω و "ω لهما نفس التأثير).

إذا رجعنا إلى الطريقة السابقة في حل المثال نجد أننا استخدمنا العنصر 'by لإزالة الإزاحة عند النقطة 1 ، ومن الممكن استخدام العنصر "χ لإزالة هذه الإزاحة ، واستخدمنا في الخطوة الثالثة العنصر 'bz 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_{y1} عند النقطة 1 باستخدام عنصر التوجيه "χ

ب) إزالة الإزاحة p_{z2} عند النقطة 2 باستخدام عنصر التوجيه 'χ

ج) إزالة الإزاحة p_{y3} عند النقطة 3 باستخدام عنصر التوجيه "φ

د) إزالة الإزاحة p_{y4} عند النقطة 4 باستخدام عنصر التوجيه 'φ

هـ) إزالة الإزاحة p_{y5} عند النقطة 5 باستخدام عنصر التوجيه ω 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 و التأكد من أن الإزاحة في النقطة 6 أصبحت أيضاً تساوي صفر.

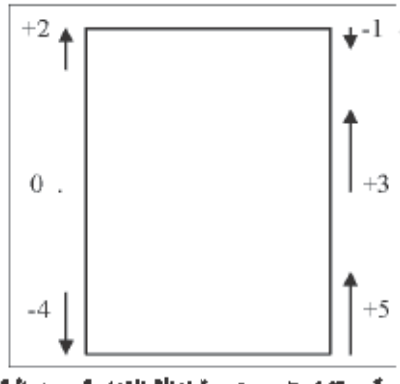
مثال (٦,٢)

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

الحل

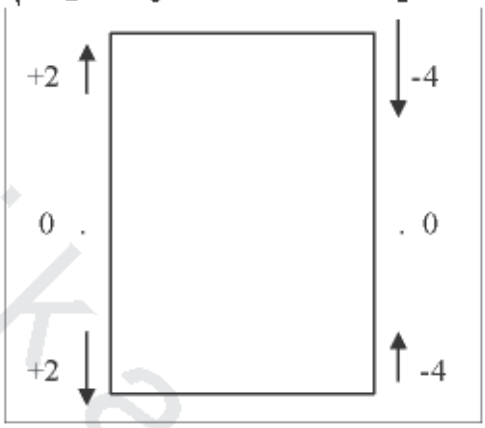
يمثل الشكل رقم (٦,٥) الإزاحة الموجودة عند كل من النقاط الست.

الخطوة الأولى: إزالة الإزاحة عند النقطة 1 باستخدام العنصر"χ 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).



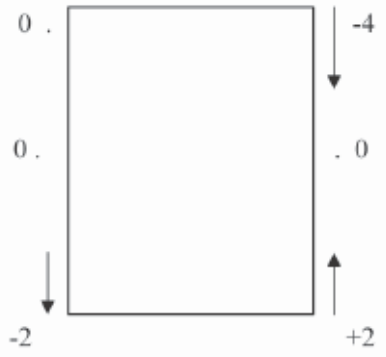
الشكل رقم (٦,١٣). نتيجة إزالة الإزاحة عند النقطة 1.

الخطوة الثانية: إزالة الإزاحة عند النقطة 2 باستخدام العنصر ℵ 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 مبينة في الشكل رقم (٦,١٤).



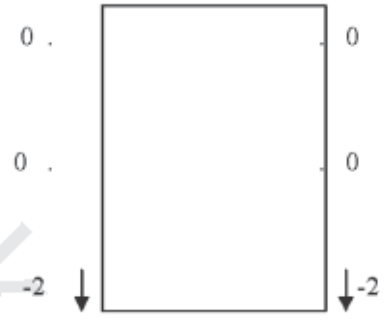
الشكل رقم (٦,١٤). نتيجة إزالة الإزاحة عند النقطة 2 .

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.



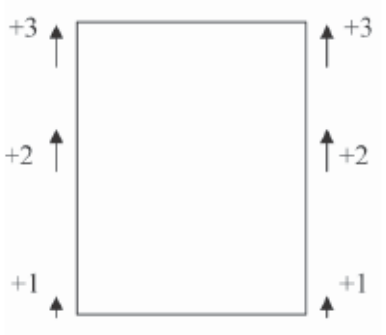
الشكل رقم (٦,١٥). إزاحة الإزاحة عند النقطة 3

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



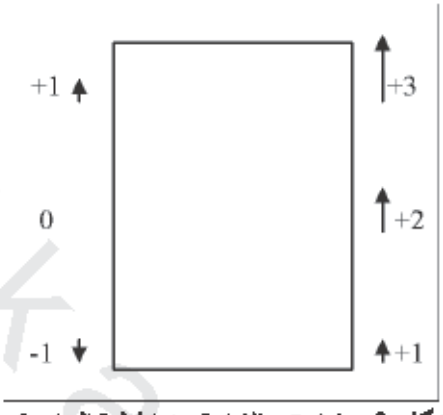
الشكل رقم (٦,١٦). الإزاحة المتبقية بعد الخطوة الرابعة.

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



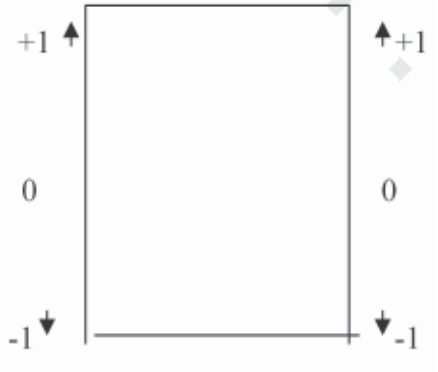
الشكل رقم (٦,١٧). نتيجة إزالة الإزاحة عند النقطة 5 مع الزيادة في التصحيح.

الخطوة السادسة: إعادة الخطوة الأولى لإزالة الإزاحة عند النقطة 1 باستخدام العنصر "χ 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 χ 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 φ وتزول كذلك الإزاحة عند النقطة 5 .

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

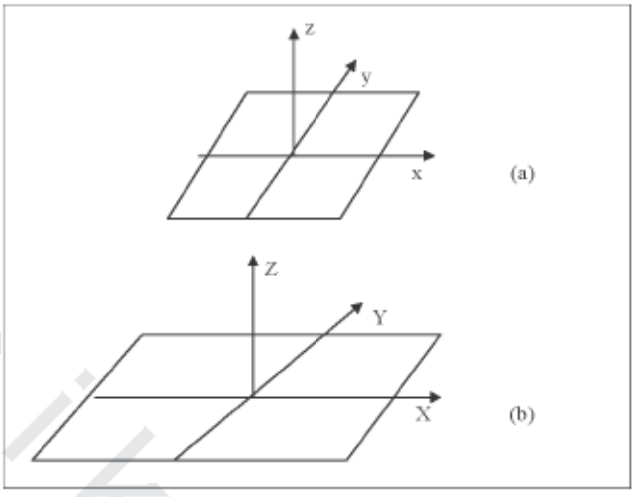
يجب أن نلاحظ أن ما قمنا به من توجيه نسبي تمثيلي في هذين المثالين هو تطبيق نظري . أما من الناحية العملية فإن هذه الخطوات قد تستمر لأكثر من دورتين أو ثلاث حتى نحصل على إزالة كاملة للإزاحة في كل النقاط.

(٦,٧) التوجيه النسبي الحسابي
Numerical Relative Orientation

لاستخدام هذه الطريقة لا بد من وجود وسيلة لقياس قيم الإزاحة p_y 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 المسمار المحرك للعنصر في الجهاز.

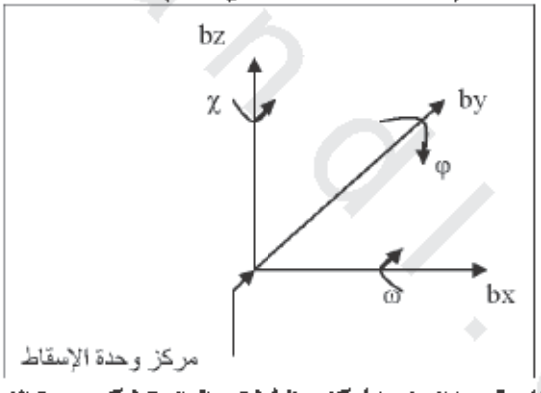
لإيجاد هذه العلاقة نبدأ بدراسة التغير في قيم X و Y (إحداثيات النقاط المسقطة من إحدى وحدتي الإسقاط على مستوى النموذج أو الإسقاط) الذي يحدث نتيجة تغيير صغير جداً في وحدة الإسقاط نتيجة تحريك كل عنصر من عناصر التوجيه حركة صغيرة .

يبين الشكل رقم (٦,٢٠) نظام إحداثيات الصورة (x,y,z) و نظام 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).

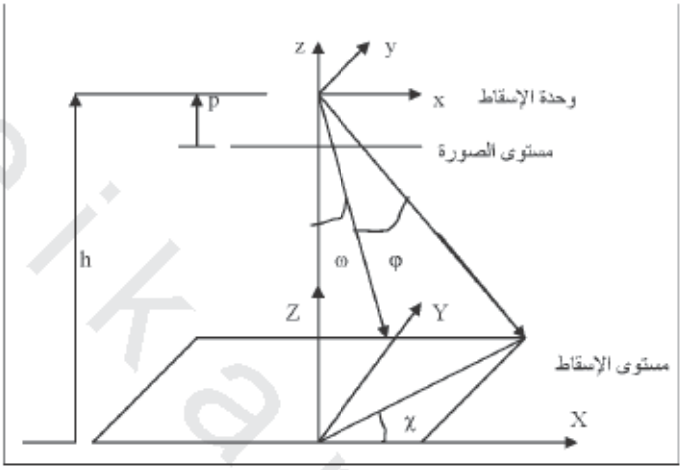
ويبين الشكل رقم (٦,١٢) الحركات التي سيتم إحداثها في مركز وحدة الإسقاط .



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 bx فإن كل النقاط

المسقطة من وحدة الإسقاط على مستوى الإسقاط تتحرك في الاتجاه X حركة مقدارها db_x وليست هنالك حركة ناتجة في الاتجاه Y ونعبر عن هذه الحركة في مستوى الإسقاط كالتالي:



الشكل رقم (٦,٢٢). الإسقاط على المستوى X,Y,Z.

$$dX = db_x \qquad dY = 0 \qquad \text{.....} \quad (٦,١)$$

وإذا حركنا وحدة الإسقاط في الاتجاه y حركة مقدارها db_y فإن الناتج على مستوى الإسقاط يكون:

$$dX = 0 \qquad dY = db_y \qquad \text{.....} \quad (٦,٢)$$

وإذا حركنا وحدة الإسقاط في الاتجا z حركة صغيرة مقدارها db_z فستنتج حركة في كل من الاتجاهين X و Y إذ إن حركة وحدة الإسقاط إلى أعلى أو أسفل تغير في مقياس النقاط المسقطة. وللحصول على مقدار هذا التأثير في مستوى الإسقاط سنقوم بإيجاد العلاقة بين ارتفاع وحدة الإسقاط من مستوى الإسقاط h و بين إحداثيات النقاط المسقطة فمن الشكل رقم (٦,٢٢) ومن تشابه المثلثات:

$$X = (x/p)\,h \quad \text{و} \quad Y = (y/p)\,h$$

إذا أجرينا عملية اشتقاق بالنسبة لـ h نحصل على:

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

$$dY = (y/p)\,dh = (Y/h)\,dh = (Y/h)\,db_x \quad (٦,٤)$$

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):

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

وبإجراء التفاضل على هذه المعادلة بالنسبة لـ ω نحصل على:

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

ومن الشكل رقم (٦,٢٢):

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

وبتعويض هذه القيمة في المعادلة (6.6) وإجراء بعض الاختصارات نحصل على:

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

ومن الشكل رقم (٦,٢٢) أيضاً:

$$Y = h \tan\omega \quad (٦,٨)$$

وبإجراء التفاضل بالنسبة لـ ω نحصل على:

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

وبتعويض $\cos^2\omega = [\,h^2 / (Y^2 + h^2)\,]$ في المعادلة (٦,٩) نحصل على:

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

وبهذه الطريقة أيضاً يمكن إيجاد تأثير العنصر φ :

$$dX = -h[1+X^2/h^2]\,d\varphi \quad (٦,١١)$$

$$dY = -[(X*Y)/h]\,d\varphi \quad (٦,١٢)$$

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

$$X = R\cos\chi \quad و \quad Y = R\sin\chi$$

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

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

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

$$dX = db_x + (X/h)\,db_z + (X*Y/h)\,d\omega - h[1+X^2/h^2]\,d\varphi - Y\,d\chi \quad (٦,١٥)$$

$$dY = db_y + (Y/h)\,db_z + h(1+Y^2/h^2)\,d\omega - (X*Y/h)\,d\varphi + X\,d\chi \quad (٦,١٦)$$

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

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

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

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 و يمكن 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 التغير 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 المسمار الذي يحرك العنصر db_y سواءاً أكان لوحدة الإسقاط اليمنى أو اليسرى . فإذا تم تثبيت كل عناصر التوجيه لوحدتي الإسقاط فإن تحريك العنصر db_y لأحدهما يحرك كل النقاط في مستوى الإسقاط في الاتجاه Y . ونبدأ بقراءة المقياس لهذا العنصر ثم نحرك المسمار الخاص به إلى أن نزيل الإزاحة p_y عند النقطة i ونقرأ المقياس مرة أخرى وتسجل قيمة الإزاحة عند النقطة . هذه الطريقة تحتاج إلى وجود العنصر b_y في الجهاز . وفي حالة عدم وجود هذا العنصر يستخدم العنصر ω . فإذا أثبتنا جميع عناصر التوجيه لوحدتي الإسقاط فإن علاقة العنصر ω بالإزاحة هي :

$$p_y = h(1 + Y^2/h^2)\, d\omega \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٦,١٩)$$

فبقراءة حركة العنصر ω التي تزيل الإزاحة عند النقطة المعينة ذات الإحداثي المعرف وبالتعويض في هذه المعادلة نوجد الإزاحة p_y في هذه النقطة .

مثال (٦,٣)

أوجد الإزاحة عند النقطة 1 و النقطة 4 من نقاط التوجيه النسبي (انظر الشكل رقم٦.٤) إذا كانت قيم الحركة في العنصر ω التي تزيل 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 وبالتعويض في المعادلة (٦,١٩) نحصل 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

وبالتعويض في المعادلة (٦,١٩) :

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

(٦,٨) التوجيه النسبي الحسابي المستقل

إذا أردنا استخدام طريقة التوجيه النسبي المستقل dependant relative orientation فسنستخدم عناصر التوجيه الخمسة الخاصة بإحدى وحدتي الإسقاط (ω'' ، φ'' ، χ'' ، db_y'' ، db_x'') أو (ω' ، φ' ، χ' ، 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 ، حينئذ تكون معادلة الابتعاد في Y هي:

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

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

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

(١) ..... $p_{y1} = - db_y'' - h\, d\omega'' + b\, d\chi''$

(٢) ..... $p_{y2} = - db_y'' - h\, d\omega''$

(٣) ..... $p_{y3} = - db_y'' - h(1 + d^2/h^2)\, d\omega'' + b\, d\chi'' - (d/h)\, db_z'' - (b*d/h)\, d\varphi''$

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

(٥) ..... $p_{y5} = -db_y'' - h(1 + d^2/h^2)\, d\omega'' + b\, d\chi'' + (d/h)\, db_z'' + (b*d/h)\, d\varphi''$

(٦) ..... $p_{y6} = -dby'' - h(1 + d^2/h^2)\, d\omega'' + (d/h)\, db_z''$

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) : $p_{y6} - p_{y4} = (2*d/h)\, db_z''$

ومن هذه النتيجة نحصل على :

(٧) ..... $db_z'' = (h/2*d) * (p_{y6} - p_{y4})$

ب) وبطرح المعادلتين (٣) و (٥) :

(٥) — (٣) : $p_{y5} - p_{y3} = (2*d/h)\, db_z'' + (2*b*d/h)\, d\varphi''$

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

$$d\varphi'' = [h/(2*b*d)] * [p_{y5} - p_{y3} - p_{y6} + p_{y4}] \quad \text{..... (٨)}$$

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

$$d\omega'' = [h/(2*d^2)] * [2*p_{y1} - p_{y3} - p_{y5}] \quad \text{..... (٩)}$$

ويطرح المعادلتين (٢) و(٤) نحصل على قيمة أخرى للعنصر $d\omega''$:

$$d\omega'' = [h/(2*d^2)] * [2*p_{y2} - p_{y4} - p_{y6}] \quad \text{..... (١٠)}$$

ومن متوسط القيمتين في المعادلتين(٩) و(١٠) نحصل على قيمة متوسطة للعنصر $d\omega''$:

$$d\omega'' = [h/(4*d^2)] * [2p_{y1} + 2p_{y2} - p_{y3} - p_{y4} - p_{y5} - p_{y6}] \quad \text{..... (١١)}$$

د) ويطرح كل من المعادلتين(١) و (٢) و المعادلتين (٣) و(٤) والمعادلتين (٥) و (٦) وجمع الناتج نحصل على:

$$d\chi'' = [1/3*b] * [p_{y1} - p_{y2} + p_{y3} - p_{y4} + p_{y5} - p_{y6}] \quad \text{..... (١٢)}$$

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

$$db_y'' = [(1/3) * (-p_{y2} - p_{y4} - p_{y6})] - h*[1 + 2d^2/(3*h^2)]\, d\omega'' \quad \text{..... (١٣)}$$

حيث أن:

$d\omega''$ معلومة من المعادلة (١١). إذن المعادلات (٧) و(٨) و (١١) و(١٢) و (١٣) تعطي قيم عناصر التوجيه الخمسة المطلوبة بدلالة إحداثيات النقاط الست في النموذج و قيم الإزاحة p_y المقاسة.

مثال(٦,٤)

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

.b=100mm, d=100mm, h=400mm

النقطة	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):

$$db_x'' = (h/2*d) * (p_{y6} - p_{y4}) = [400/(2*100)]*(-1-2) = -6 \text{ mm}$$

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

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

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

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

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

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

$$= 0.04 \text{ radians}$$

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

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

وبعد حساب هذه القيم يتم إدخال كل منها في الجهاز باستخدام المسمار الذي يحرك العنصر المعين من العناصر الخمسة و بالتالي يكون المجسم 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 و الذي سيتم شرحه في الفقرة التالية.

(٦,٩) التوجيه النسبي الحسابي غير المستقل

بما أن هذه الطريقة لا نستخدم فيها عناصر التوجيه ذات الحركة المستقيمة لوحدتي الإسقاط فإن القيم:

$P_y = dY' - dY''$ تأخذ القيمة 0 في معادلة الإزاحة في Y وهي: db_y' ، db_y'' ، db_y' ، db_y''

فتأخذ هذه المعادلة الشكل التالي :

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

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

(١٤) ..... $P_{y1} = h*\, d\omega' + b*\, d\chi''$

(١٥) ..... $P_{y2} = h*\, d\omega' + b*\, d\chi'$

(١٦) ..... $P_{y3} = h*(1+d^2/h^2)\, d\omega' - (b*d/h)*\, d\varphi'' + b*\, d\chi''$

(١٧) ..... $P_{y4} = h*(1+d^2/h^2)\, d\omega' - (b*d/h)*\, d\varphi' + b*\, d\chi'$

(١٨) ..... $p_{y5} = h*(1+d^2/h^2)\, d\omega' + (b*d/h)*\, d\varphi'' + b*\, d\chi''$

(١٩) ..... $p_{y6} = h*(1+d^2/h^2)\, d\omega' + (b*d/h)*\, d\varphi' + b*\, d\chi'$

من هذه المعادلات نوجد قيم تغيير عناصر التوجيه كالتالي :

(١٩) –(١٧) : $p_{y6} - p_{y4} = 2\,(b*d/h)*\, d\varphi'$

(٢٠) ..... $d\varphi' = [h/(2*b*d)] * (p_{y6} - p_{y4})$

(١٨) –(١٦) : $p_{y5} - p_{y3} = (2*b*d/h) * d\varphi''$

(٢١) .... $d\varphi'' = [h/(2*b*d)]*(p_{y5} - p_{y3})$

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

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

ومن متوسط القيمتين :

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

و بجمع المعادلات (١٥) و(١٧) و (١٩) :

(٢٣) ..... $d\chi' = [1/(3*b)] * [\, p_{y2} + p_{y4} + p_{y6} - (3*h + 2*d^2/h)*\, d\omega']$

obeikandi.com

وبجمع المعادلات (١٤) و(١٦) و(١٨) نحصل على :

$$d\chi'' = [1/(3*b)] * [\, p_{y1} + p_{y3} + p_{y5} - (3*h + 2*d^2/h)* d\omega'] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٢٤)$$

وبذلك يكون قد تم إيجاد قيم عناصر التوجيه الخمسة بدلالة إحداثيات النقاط الست والإزاحة فيها و ارتفاع 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) :

$$d\varphi' = [h/(2*b*d)] * (p_{y6} - p_{y4}) = [400/(2*100*100)] * (-1.0-2.0)$$
$$= -3.00*0.02 = -0.06 \text{ radian}$$
$$d\varphi'' = [h/(2*b*d)]*(p_{y5} - p_{y3}) = [400/(2*100*100)] * (5.0-4.0)$$
$$= 1.0*0.02 = 0.02 \text{ radian}$$
$$d\omega' = [h/(4*d^2)] * [-2p_{y1} - 2p_{y2} + p_{y3} + p_{y4} + p_{y5} + p_{y6}]$$
$$= [400/(4*100^2)] * [-2.0 +6.0 +4.0 +2.0 +5.0-1.0]$$
$$= (1/100) * [14.0] = 0.14 \text{ radian}$$
$$d\chi' = [1/(3*b)] * [\, p_{y2} + p_{y4} + p_{y6} - (3*h + 2*d^2/h)* d\omega']$$
$$= [1/(3*100)] * [-3.0+2.0-1.0 - (3*400 + 2*100^2/400)*0.14]$$
$$= -0.59 \text{ radian}$$
$$d\chi'' = [1/(3*b)] * [\, p_{y1} + p_{y3} + p_{y5} - (3*h + 2*d^2/h)* d\omega']$$
$$= [1/300]*[1.0+4.0+5.0- (3*400 + 2*100^2/400)*0.14]$$
$$= -0.55 \text{ radian}$$

(٦,١٠) معادلة شرط توازن الإزاحة

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

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

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

ولبرهان هذه المعادلة :

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

$$p_{y3} + p_{y5} - 2p_{y1} = (2*d^2/h) * dm' \quad \text{..... (٢٥)}$$

وبطرح ضعف المعادلة (15) من حاصل جمع المعادلتين (17) و (19) ينتج :

$$p_{y4} + p_{y6} - 2\,p_{y2} = (2*d^2/h) * dm' \quad \text{..... (٢٦)}$$

وعليه فإن الجانب الأيسر لكل من المعادلتين(٢٥) و(١٤) متساوي :

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

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 و قد تبقت النقطة الخامسة وعندها سنستخدم العنصر m' 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 مقدارالإزاحة p_{y5}' الناتج في النقطة 5 بعد إجراء التصحيح للإزاحة الأصلية p_{y5}

وبإجراء الزيادة في التصحيح فإن الحركة الكلية في النقطة 5 الناتجة من تحرك مسمار العنصر ϖ' هي $k\,p_{y5}$ و تعطى بهذه العلاقة :

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

وعلاقة هذه الحركة الكلية بمقدار الحركة الكلية في ϖ' نجدها من معادلة الإزاحة في Y :

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

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

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

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 :

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

والحركة الناتجة في النقطة 3 هي :

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

باعتبار أن $Y_3 = Y_5$.

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

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

الخطوة التالية هي إزالة الإزاحة p_{y3}'' عند النقطة 3 باستخدام عنصر التوجيه "φ ، 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 5 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 لآلة تصوير ذات عدسة بعدها البؤري $f = 150$ mm و المسافة من خط قاعدة الصورة إلى النقطة 5 في الصورة تساوي $d_5 = 106$ mm (باعتبار الإطار المستخدم ذو الأبعاد 23x23 cm) فإن أبعاد النموذج المجسم المقابلة لذلك :

$$(h/Y)^2 = (f/d_5)^2 = (150/106)^2$$

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 المجسم الذي يمثل شكل الأرض المصورة قد تم تكوينه و لكن بمقياس يعتمد على قاعدة الجهاز المستخدم (المسافة بين وحدتي الإسقاط) وارتفاع وحدتي الإسقاط من سطح أو مستوى النموذج المجسم . ولكن لا بد من ربط هذا النموذج بمقياس الخريطة المطلوب إنتاجها سواءاً 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 لتكوين نموذج مجسم . إذا علم أن المسافة بين نقطتي التوجيه 1 و 5 على الصورة تساوي 20 مم فأوجد معامل الزيادة التصحيحية .

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

النقطة	١	٢	٣	٤	٥	٦
p_y	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- اسرح 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=98mm, d= 102mm, h= 380mm .

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 y عند كل من نقطتي التوجيه النسبي 1 و 3 إذا تم تحريك العنصر ω بمقدار 0.015 راديان وكانت أبعاد النموذج هي نفسها كما في السؤال ٧ .

obeikandl.com