الفصل الخامس

أجهزة الرسم التجسيمي

(٥,١) مقدمة

تتطلب العديد من المجالات الهندسية والعلوم الأرضية وضع مخططات وخرائط طبوغرافية تمثل فيها تضاريس الأرض وكل الظواهر الطبيعية من أنهار وغابات ووديان وجبال والظواهر المدنية من طرق وبنايات وحقول زراعية وخلافه مما شيدته المدنية على سطح الأرض.

ومن أهم استخدامات المساحة التصويرية الجوية وضع المخططات المساحية المستوية plans والخرائط الطبوغرافية التي تظهر تضاريس سطح الأرض topographic maps . وذلك للأغراض العسكرية و المدنية على السواء . و يتم ذلك بالتقاط صور جوية تغطي المنطقة المطلوب عمل خرائط لها بحيث تكون هذه الصور متداخلة بشكل يحقق الإبصار المجسم (الرؤية ثلاثية الأبعاد) و تصمم أجهزة خاصة بالمساحة التصويرية يطلق عليها أجهزة الرسم التجسيمي stereo plotting instruments يوضع بداخلها زوج من الصور المتداخلة وبعد إجراء عمليات إعدادية بالجهاز يطلق عليها عمليات التوجيه orientation يتم نقل المعلومات من زوج الصور المتداخلة إلى لوحة الرسم المرتبطة بالجهاز لعمل الخريطة المطلوبة. وقد كانت أجهزة الرسم التجسيمي من الصور الجوية ولا تزال هي الطريقة الأمثل لإنتاج الخرائط التفصيلية والطبوغرافية على حد

سواء في جميع أنحاء العالم. ولنبدأ بتقديم النظرية التي يقوم عليها الرسم التجسيمي ومن ثم نستعرض آلات الرسم التجسيمي: أنواعها وتركيبها وطرق تشغيلها وتوجيهها.

(٥,٢) نظرية الرسم التجسيمي

لقد أوضحنا في الفصل السابق كيفية استخدام الصور المتداخلة لتحقيق الرؤية المجسمة من خلال جهاز الإبصار المجسم stereoscope . هذه الفكرة نفسها وغيرها يتم استخدامها هنا لتحقيق الإبصار المجسم . تقوم نظرية الرسم التجسيمي على إعادة وضع التقاط الصورتين المتداخلتين في الحقل إلى المختبر عن طريق جهاز يقوم بحمل الصورتين وإسقاط أشعة ضوئية على الصورتين لتمر عن طريق عدسة مشابهة لعدسة آلة التصوير في خصائصها الفيزيائية ولا بد من توجيه الصورتين لتكون على نفس الوضع الذي كانتا عليه حين التقاطهما. ومن ثم مشاهدة المجسم الناتج و الذي يمثل سطح الأرض المصورة وما عليه من تضاريس و ظواهر طبيعية و مدنية ، وعمل القياسات المطلوبة والتي يمكن أن يكون من ضمنها عمل الخريطة الطبوغرافية أو تسجيل الإحداثيات ثلاثية الأبعاد لتكوين النموذج المجسم لسطح الأرض المصورة.

إن مثل هذا العمل يحتاج لنظام لحمل الصورتين و إسقاط أشعة ضوئية عليهما تمر من خلال عدسة مماثلة لعدسة آلة التصوير. هذا النظام يطلق عليه نظام الإسقاط projection system (projector) كما يحتاج إلى نظام لمشاهدة هذه الأشعة يطلق عليه نظام الرؤية أو المشاهدة viewing system ونظام لتوجيه الصورتين بحيث تحقق الأشعة الساقطة من نظام الإسقاط الوضع النسبي للأشعة المنعكسة من سطح الأرض و التي تمر من خلال عدسة آلة التصوير لتكوين الصورة على الفيلم. ويطلق على هذا النظام: نظام التوجيه النسبي relative orientation system وهو عبارة عن عدة مسامير لتحريك كل من جهازي الإسقاط أو أحدهما مع تثبيت الآخر للحصول على النموذج المجسم . وأخيراً لا بد من

نظام تحويل ما نراه كنموذج مجسم إلى نموذج مطابق في التوجيه و المقياس للخريطة المطلوبة وعمل القياس أو التوقيع ويطلق عليه نظام القياس أو الرسم measuring or plotting system . إن كل هذه النظم مطلوبة لتكوين جهاز الرسم التجسيمي وإن كانت تختلف في تصميمها من جهاز إلى آخر. وسنقوم بتصنيف آلات الرسم التجسيمي حسب تصميمها قبل أن نشرح عناصر تكوينها ومن ثم طريقة تشغيلها لعمل القياسات المساحية والخرائط الطبوغرافية والنماذج الرقمية المطلوبة.

(٥,٣) تصنيف أجهزة الرسم التجسيمي حسب التصميم

يمكن تصنيف آلات الرسم التجسيمي حسب تصميمها و الذي هو نفسه يتم حسب التدرج التاريخي لإنتاجها إذ إن التصميم يتم تطويره بعد كل فترة من الزمن . وقد بدأ تصميم هذه الأجهزة و استخدامها في الأعمال المساحية في العقد الثالث من القرن العشرين. وكان أول ما أنتج من أجهزة هو أجهزة الرسم التجسيمي التمثيلي analogue stereo plotters ، وهذه أيضاً تنقسم إلى أجهزة إسقاط ضوئي optical projection و أجهزة إسقاط ضوئي – ميكانيكي optical-mechanical projection وأجهزة إسقاط ميكانيكي mechanical projection . وفي العقد السادس من القرن العشرين تم تطوير نوع جديد من الأجهزة ليحل محل أجهزة الرسم التمثيلي أطلق عليها اسم أجهزة الرسم التجسيمي التحليلي analytical stereo plotters. وبعد استخدام لم يزد على عقدين من الزمان تم تصميم أجهزة الرسم الرقمية digital plotters استصحاباً للتطور في أجهزة الحاسوب.

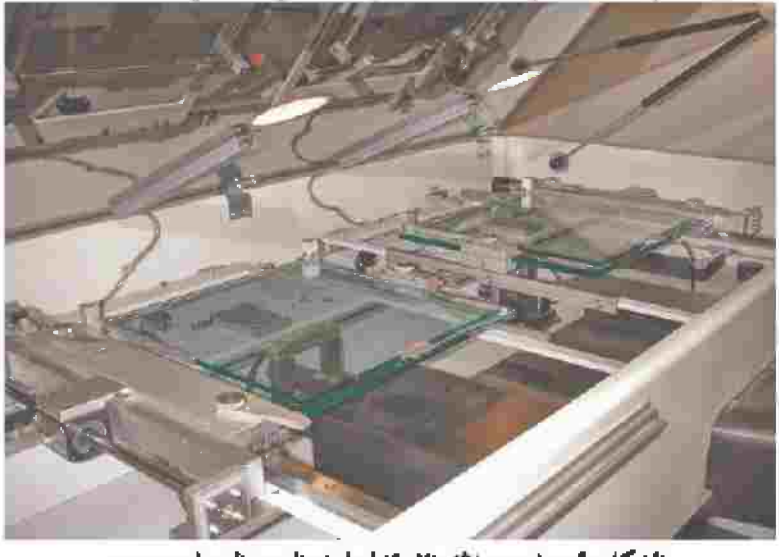
و فيما يلي نبذة عن أجهزة الرسم التمثيلي و التي تشكل العنصر المهم في هذا الكتاب ، إذ إن أجهزة الرسم التحليلي والرقمي يجدها الدارس في الكتب التي تبحث في المساحة التصويرية التحليلية و المساحة التصويرية الرقمية [1] ,[17].

(٥,٤) أجهزة الإسقاط الضوئي

ويطلق عليها أجهزة الإسقاط الضوئي المباشر Direct Optical Projection (DOP) ، ومن أمثلتها جهاز ملتبلكس Multiplex و بالبلكس Balplex و كيلش Kelsh . وكما ذكرنا في وصف نظرية الرسم التجسيمي فإن كل أجهزة الرسم التجسيمي لا بد من أن تحتوي على النظم الخمسة المذكورة وذلك على النحو التالي:

١- نظام الإسقاط

يتكون نظام الإسقاط من وحدتي إسقاط تتكون كل منهما من مصدر للضوء وإطار لحمل إحدى الصورتين المتداخلتين وهما على شكل طبعة موجبة من فيلم وهو الأكثر استخداماً أو لوح زجاج. إضافة إلى ذلك فإن لكل وحدة إسقاط عدسة مماثلة لعدسة آلة التصوير التي تم التقاط الصور بها ومسمار لضبط وتعديل البعد البؤري للعدسة ومسامير لتعديل وحدة الإسقاط كوحدة واحدة تستخدم في عملية التوجيه النسبي . يوضح الشكل رقم (٥,١) نظام الإسقاط في جهاز الرسم التمثيلي .



الشكل رقم (٥,١). نظام الإسقاط لجهاز الرسم التمثيلي [16].

٢- نظام التوجيه النسبي

وهو عبارة عن نظام يشمل مسامير لتحريك كل من الإطارين حركات دائرية (ω, φ, χ) حول كل من المحاور الثلاث x, y, z على التوالي وحركات طولية أو انتقالية (bx, by, bz) في اتجاه كل من المحاور الثلاث. تسمح هذه الحركات الست بتحريك كامل الإطار الحامل لكل صورة حتى نحصل على وضع نستطيع أن نشاهد فيه نموذجاً ممثلاً للمنطقة المصورة يسمى النموذج المجسم (stereo model).

٣- نظام المشاهدة

تعتمد هذه الأجهزة نظام الإسقاط المباشر حيث تسقط الأشعة من المصدر على الفيلم ثم عن طريق العدسة إلى طاولة المشاهدة والرسم. وكما هو معلوم فإن مشاهدة الأشعة الساقطة من الصورتين المتداخلتين بهدف مشاهدة نموذج ثلاثي الأبعاد يستوجب تحقيق بعض الشروط من أهمها أن تشاهد كل من عيني الشخص المشغل للجهاز الأشعة الساقطة من العدسة أو الإطار المقابل لها فقط (العين اليمين تستقبل الأشعة الساقطة من الصورة اليمين و تستقبل العين اليسار الأشعة الساقطة من الصورة اليسار فقط). ولتحقيق ذلك تم تصميم ثلاثة أنواع من نظم المشاهدة:

أ) نظام النظارات الملونة anaglyphic system

و هو عبارة عن نظام يستخدم في كثير من الأجهزة (مثل جهاز تعدد وحدات الإسقاط multiplex) . وفيه يتم وضع مرشح (filter) بلون أزرق مثلاً في وحدة الإسقاط اليمنى بين مصدر الضوء والإطار الذي يحمل الفيلم ، ويوضع مرشح بلون مختلف أحمر مثلاً في وحدة الإسقاط اليسرى كذلك. ويستخدم مشغل الجهاز أو المشاهد نظارة من عدستين ملونتين إحداهما بلون أزرق بحيث تكون على العين اليمنى لاستقبال الأشعة الزرقاء التي تسقط من الصورة اليمنى و يضع العدسة ذات اللون الأحمر على العين اليسرى لاستقبال الأشعة الحمراء التي تسقط من الصورة اليسرى

ذات المرشح الأحمر (الشكل رقم ٥,٢) ، وبهذه الطريقة تشاهد العين اليمنى الأشعة التي تسقط من الصورة اليمنى فقط وتشاهد العين اليسرى الأشعة التي تسقط من الصورة اليسرى فقط فيتكون النموذج ثلاثي الأبعاد.

الشكل رقم (٥,٢). النظارات الملونة لمشاهدة النموذج التجسيمي.

ب) نظام تبادل الصور المتداخلة stereo image alternator

في هذا النظام يوضع غالق shutter أمام كل من عدستي نظام الإسقاط ، وينظر مشغل الجهاز إلى الأشعة الساقطة من خلال نظام مشاهدة مكون من عينيتين يوضع أمام الطاولة التي تسقط عليها الأشعة ، يثبت على كل عينية (eye piece) غالق مرتبط بالغالق الذي يقابله في نظام الإسقاط . فلما يفتح الغالق أمام الصورة اليمنى ويغلق الغالق أمام الصورة اليسرى يفتح غالق عينية المشاهدة اليمنى وينغلق غالق العينية اليسرى فتستقبل العين اليمنى الأشعة التي تسقط من الصورة اليمنى فقط ، ثم يغلق غالق الصورة اليمنى وغالق العينية اليمنى في تزامن مع انفتاح غالق كل من الصورة اليسرى و العينية اليسرى. هذا التبادل في الانفتاح والانغلاق يتم بسرعة عالية جداً بحيث لا يشعر المشاهد بعدم استمرارية في مشاهدة الأشعة الساقطة و بالتالي يتمكن المشاهد من استقبال أشعة الصورة اليمنى بالعين اليمنى وأشعة الصورة اليسرى بالعين اليسرى دون تداخل فيتحقق شرط أساسي من شروط الرؤية المجسمة . إن من سلبيات هذا النظام الطاقة الإضافية المطلوبة لتشغيل الغالق.

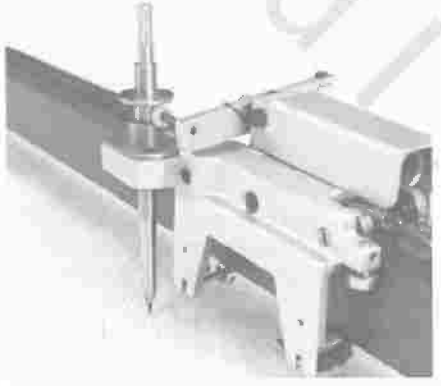
ج) نظام اللوحة أو الطاولة المستقطبة polarized platen

هذا النظام شبيه جداً بنظام النظارات الملونة الذي يستخدم مرشحين بلونين مختلفين إذ إن هذا النظام يستخدم مرشحين لكل منهما نظام استقطاب معاكس للآخر ويستخدم المشاهد نظارة لكل عدسة استقطاب شبيه باستقطاب المرشح المقابل له حتى يستطيع أن يشاهد الأشعة من الصورة اليمنى بالعين اليمنى والأشعة من الصورة اليسرى بالعين اليسرى دون تداخل.

من مميزات النظام الأخير والنظام السابق له عدم فقدان طاقة ضوئية أثناء عملية التشغيل إضافة إلى إمكانية استخدام الصور الملونة.

٤ – نظام القياس و الرسم

يتكون نظام القياس و الرسم من طاولة متحركة (tracing table) تتكون من علامة القياس (measuring mark) أو العلامة الطافية (floating mark) وقلم للرسم يوضع مباشرة أسفل العلامة الطافية و يثبت على حامل متحرك كما في الشكل رقم (٥,٣)، بالإضافة إلى نظام ميكانيكي وإلكتروني لتحريك العلامة الطافية إلى أعلى أو أسفل حتى يتم تقاطع الأشعة المتناظرة من وحدتي الإسقاط على مستوى الإسقاط.

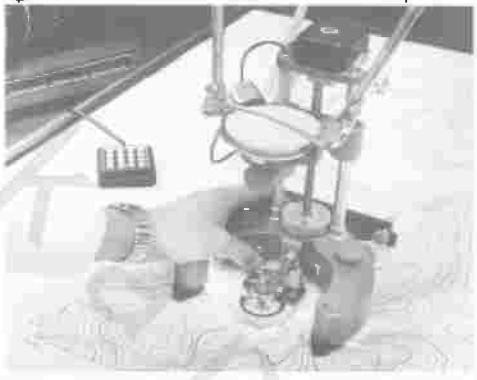


الشكل رقم (٥,٣). قلم الرسم المثبت على حامل لنقل البيانات من النموذج المجسم إلى لوحة الرسم [16].

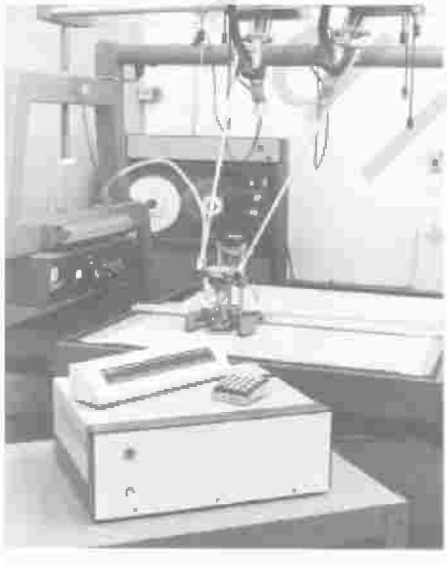
ومن ثم إسقاط نقاط و تفاصيل النموذج المجسم على لوحة الرسم التي يتم تثبيتها على طاولة الرسم أو القياس (drawing table) كما في الشكل رقم (٥,٤) . ويتم

تحريك الطاولة المتحركة على المستوى الأفقي يدوياً مع متابعة العلامة الطافية التي ترسو على التفاصيل المشاهدة على النموذج المجسم مع تحريكها إلى أعلى أو أسفل بواسطة مسمار خاص ، في الوقت الذي يقوم فيه القلم بنقل هذه الحركة إلى لوحة الرسم ، وفي كثير من الأحيان تكون طاولة الرسم هي نفسها التي توضع عليها الطاولة المتحركة.

يوضح الشكل رقم (٥,٥) أجزاء جهاز الإسقاط الضوئي (جهاز Kelsh).



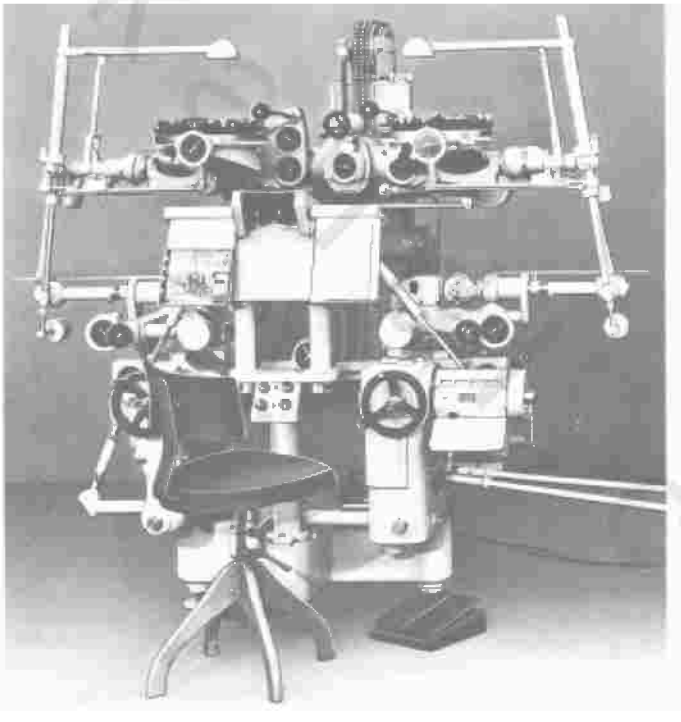
الشكل رقم (٥,٤). طاولة الرسم المتحركة على لوحة الرسم مباشرة [18].



الشكل رقم (٥,٥). جهاز الإسقاط الضوئي — Kelsh [18].

(٥,٥) أجهزة الإسقاط الضوئي–الميكانيكي

إن أجهزة الإسقاط الضوئي الميكانيكي ليست كثيرة الاستخدام وقد تم تصميم واستخدام القليل من هذا النوع في عمل الخرائط الطبوغرافية منها جهاز C-8 Stereo planigraph صناعة شركة Zeiss الألمانية (الشكل رقم ٥,٦) . ويختص هذا الجهاز بنظام إسقاط تتشكل فيه حزم الأشعة داخل وحدة الإسقاط بشكل ضوئي ومن ثم استخدام قضبان معدنية منزلقة متصلة بوحدات بصرية للرؤية ، وتدور هذه القضبان المنزلقة حول مركز الإسقاط لتكوين النموذج المجسم بعد استخدام عناصر التوجيه النسبي.

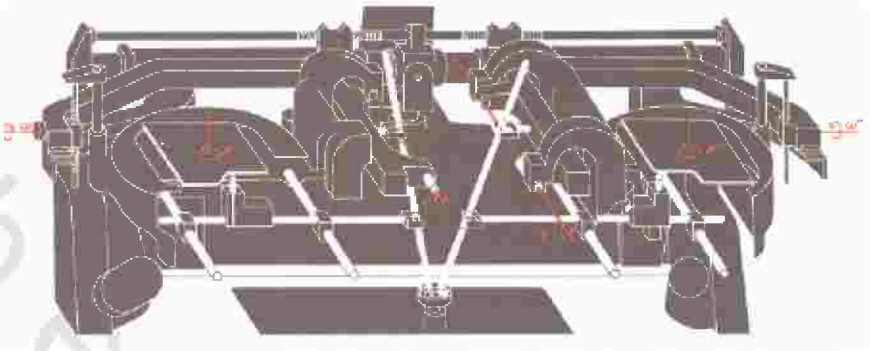


الشكل رقم (٥,٦). جهاز الإسقاط الضوئي الميكانيكي stereoplanigraph [19].

(٥,٦) أجهزة الإسقاط الميكانيكي

يعتمد هذا النوع من الأجهزة على طريقة ميكانيكية في إجراء عملية تقاطع الأشعة الضوئية الساقطة من وحدتي الإسقاط لتكوين النموذج المجسم داخل نظام الرؤية. تتمثل هذه الطريقة الميكانيكية في ذراعين معدنيين يتحركان في فضاء الجهاز space rods يمثل أحدهما الحزمة الضوئية الساقطة من وحدة الإسقاط اليسرى ويمثل الآخر الحزمة الضوئية الساقطة من وحدة الإسقاط اليمنى (الشكل رقم ٥,٧). في نفس الوقت فإن الحزم الضوئية الساقطة من وحدتي الإسقاط تمر من خلال مسار ضوئي يتم توجيهه بواسطة مسامير التوجيه المتصلة بكل من الوحدتين كما هو مبين في الشكل رقم (٥,٨) [16].

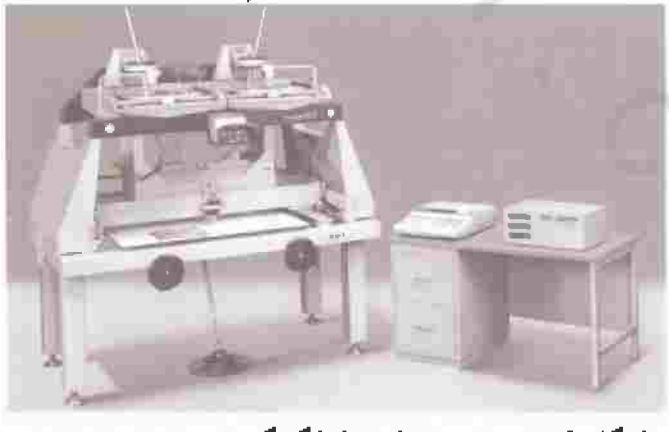
الشكل رقم (٥,٧). جهاز الإسقاط الميكانيكي – Wild B8-S [16].



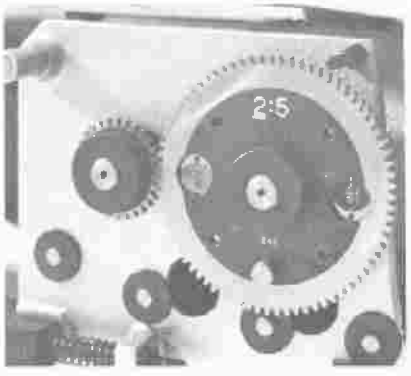
الشكل رقم (٥,٨). نظام التوجيه النسبي والذراع المعدني في جهاز الإسقاط الميكانيكي [16].

ويتم الرسم أيضاً مباشرة على طاولة الرسم على قاعدة الجهاز وذلك لنقل التفاصيل من النموذج المجسم داخل الجهاز إلى اللوحة التي هي تحت الطاولة المتحركة كما يظهر ذلك في جهاز الإسقاط الميكانيكي الألماني بلانيكارت Zeiss Planicart (الشكل رقم ٥,٩) [20].

وفي أحيان أخرى تكون هنالك طاولة رسم مجاورة يتم ربطها بالطاولة المتحركة بواسطة منساخ انظر إلى الشكل رقم (٥,٧) أو ناقل مقياس (pantograph) للتحكم في مقياس الرسم الذي ستوقع به التفاصيل على الخريطة إذ يتم ذلك من خلال نظام تروس لتغيير المقياس كما في الشكل رقم (٥,١٠).



الشكل رقم (٥,٩). جهاز الإسقاط الميكانيكي – Zeiss Planicart [20].



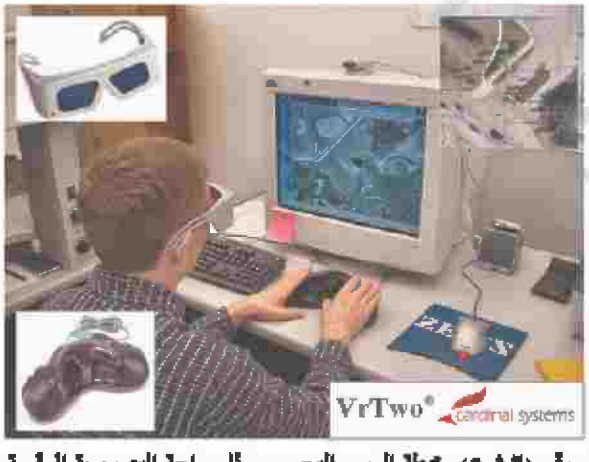
الشكل رقم (٥,١٠). نظام تروس لنقل مقياس النموذج إلى مقياس الخريطة [16].

كما هو واضح فإن أجهزة الرسم التجسيمي التمثيلي سواء الضوئية أو الميكانيكية تواجه نوعاً من المحدودية في الاستعمال ، من ذلك: محدودية البعد البؤري لعدسة آلة التصوير و بالتالي عدسة وحدتي الإسقاط ، حيث إن البعد البؤري الذي يمكن استخدامه يتراوح في ما بين 88 – 300 مم ولا تستوعب هذه الأجهزة صوراً ملتقطة بواسطة آلة تصوير ذات بعد بؤري خارج هذا المجال. ومن ذلك أيضاً أنها لا تستوعب صوراً ملتقطة بآلة تصوير مائلة إلا أن يكون الميل في حدود الخمس درجات فقط ، و عليه لا يمكن استخدامها في حالة الصور الأرضية أو الصور الجوية ذات الميل الكبير.

وقد تم تصميم أجهزة الرسم التحليلي التي تستخدم النموذج الرياضي في تمثيل النموذج المجسم و ذلك في ستينيات القرن الماضي لتحل محل الأجهزة التمثيلية تدريجياً مثل جهاز Alpha 2000 (الشكل رقم ٥,١١) [21] . وهي أجهزة تستخدم الصور العادية ولكن مزودة بحاسب يساعد كثيراً في عمليات التوجيه والرسم.

الشكل رقم (٥,١١). جهاز الرسم التحليلي – Alpha 2000 [31].

ومع تقدم تقنيات الحاسوب والصور الرقمية دخلت تقنية المساحة التصويرية الرقمية لتنافس الأجهزة التحليلية في إنتاج الخرائط الرقمية والخطية. ويوضح الشكل رقم (٥,١٢) محطة الرسم التصويرية الرقمية والتي تشمل جهاز الحاسوب الشخصي وأدوات مشاهدة النموذج التجسيمي [21] . أما تفصيل الحديث عن هذه الأجهزة وطريقة استخدامها فيمكن الإطلاع عليه في المراجع التي تتحدث عن المساحة التصويرية التحليلية والمساحة التصويرية الرقمية [1], [17] .



الشكل رقم (٥,١٢). محطة الرسم التجسيمي للمساحة التصويرية الرقمية [21].

سنقدم في الفصل السادس شرحاً كاملاً لتشغيل الأجهزة التجسيمية التمثيلية يشمل وضع الصورتين المتداخلتين في الجهاز وعمليات توجيه الصورتين بتحريك وحدتي الإسقاط (التوجيه النسبي) وربط النموذج المجسم الناتج باتجاهات ومقياس الخريطة المطلوبة (التوجيه المطلق). ومع أن هذا النوع من الأجهزة قد تم استبداله في كثير من مؤسسات عمل الخرائط بالأجهزة التحليلية ثم الرقمية لكنه يظل الأساس للتعريف بعلم المساحة التصويرية التجسيمية التي تعتمد عليها التقنيات الحديثة التي تتعامل مع الصور الجوية الرقمية.

(٥,٧) تمارين

١- أذكر أنواع أجهزة الرسم التجسيمي ومثل لكل نوع منها.

٢- اشرح الفرق بين نظام النظارات الملونة و نظام الصور المتداخلة .

٣- وضح الفرق في التصميم بين أجهزة الإسقاط الضوئي وأجهزة الإسقاط الميكانيكي.

٤- ما هي أوجه القصور في أجهزة الرسم التجسيمي التمثيلي؟

٥- اشرح عملية تطوير جهاز الرسم التجسيمي التمثيلي.