



جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة

محاضرات

التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب

Computer Aided Design and Manufacturing

الدكتور عبد الوهاب الوتار المهندسة ايمان شريحي

1443-1444هـ

2022-2023م

العام الدراسي

١.١ مقدمة :

لقد كان ظهور تقنية التحكم الرقمي بمثابة التحول الجذري في طريقة التحكم في ماكينات العدد، وذلك استجابة لما بدأ جلياً من وجود محدودية في إمكانيات هذه الماكينات ، مما يفرض قيوداً ثقيلة على التصميمات الهندسية ومتطلباته المتصاعدة من حيث الدقة والتعقيد ، وفي السنوات التي تلت الحرب الكونية الثانية ثبت بوجه خاص عجز الماكينات التقليدية عن تحقيق متطلبات صناعة المعدات الجوية ، مما فتح الباب على مصراعيه لظهور ما سمي بالتحكم الرقمي .

ونحاول في هذا التمهيد عرض التطورات التاريخية التي لازمت تطور تقنية التحكم الرقمي والتعرف على الفروق بين ماكينات العدد التقليدية وماكينات العدد ذات التحكم الرقمي ، وأيضاً بيان الجدوى الفنية والاقتصادية لاستخدام ماكينات التحكم الرقمي .

ومن المفيد أن نحدد من البداية أن التركيز سيكون بشكل كامل على تطبيق تقنية التحكم بالحاسب على ماكينات العدد ، بحسبان أن هذا هو المجال التاريخي الذي ظهرت فيه ، وأيضاً هو المجال الأهم بالنسبة لتقنية الإنتاج ، هذا بالرغم من وجود تطبيقات أخرى لهذه التقنية .

وقبل الشروع في تناول التعامل مع هذه التقنية وإنشاء برامج التشغيل اللازمة يكون من الضروري التعرف على الإطار الذي تعمل فيه تقنية التحكم الرقمي بالحاسب ، ومتى يكون استخدامها مجدياً اقتصادياً وفنياً ، وهذا ما يؤكد على أهمية هذا التمهيد .

٢.١ الآلية :

إن الآلية أو الأتوماتية (Automation) هي عبارة عن تقنية مختصة بتطبيق نظم ميكانيكية وإلكترونية ونظم قائمة على استخدام الكمبيوتر " الحاسب الآلي " لتشغيل عملية الإنتاج والتحكم فيها ، وتمثل الآلية (الأتوماتية) تقنية متجددة تستمر فيها عملية الإبداع التي بدأت منذ عدة عقود مضت .

٤.١ تعريف لنظم التحكم الرقمي والمقارنة بينها :

١.٤.١ التحكم الرقمي (NC) :

هو صورة من صور الآلية القابلة للبرمجة حيث يتم التحكم في معدات التصنيع بواسطة برنامج خاص بالقطعة المراد إنتاجها ، ويكون البرنامج في شكل أرقام وحروف ورموز ، ويحفظ على هيئة شريط مثقب تتم قراءته بواسطة جهاز التحكم في الماكينة .

عندما تتغير القطعة المطلوب تصنيعها يتغير أيضاً البرنامج ، وهذه القابلية لتغيير البرنامج هي التي تجعل ماكينات التحكم الرقمي مناسبة للإنتاج المنخفض والمتوسط الحجم ، وتمتد تطبيقات التحكم الرقمي لتشمل ماكينات العدد بمختلف أنواعها مثل الفرايز والمخارط ... إلخ ، وماكينات القياس ، وماكينات التجميع (Assembly) وغيرها . وتقوم قاعدة التشغيل لكل هذه الأنواع من ماكينات التحكم الرقمي على مبدأ مشترك وهو التحكم في موقع أداة القطع (أو ما يقوم مقامه في التطبيق المعين) بالنسبة للقطعة تحت التشغيل (أو ما يقوم مقامها) .

١.٤.٢ التحكم الرقمي بالكمبيوتر (CNC) :

وهو عبارة عن نظام تحكم رقمي يستخدم فيه كمبيوتر - له ذاكرة لحفظ البرامج التي تسجل فيه - للتحكم في ماكينة التحكم الرقمي . ويمثل الكمبيوتر جزءاً لا يتجزأ من الماكينة ، ويمكن برمجة ماكينة التحكم الرقمي مباشرة باستخدام لوحة مفاتيح الكمبيوتر أو بواسطة شريط مثقب

(Punched Tape) يقوم الكمبيوتر بقراءته كما أن بعض ماكينات الـ (CNC) يستطيع فيها الكمبيوتر بالإضافة إلى ما ذكر قراءة البرامج المسجلة على اسطوانات .

٣.٤.١ التحكم الرقمي المباشر (DNC) :

وهو عبارة عن نظام تصنيع يقوم فيه كمبيوتر واحد بالتحكم في عدة ماكينات تحكم رقمي بصورة مباشرة وحية ، حيث ينتقل برنامج القطعة المعينة المراد إنتاجها من ذاكرة الكمبيوتر مباشرة إلى ماكينة التحكم الرقمي .

رغم إنه يستخدم كمبيوتر في كلاً من نظامي الـ (CNC) والـ (DNC) يجب ملاحظة الفروق التالية :

١. الكمبيوتر في الـ (CNC) يتحكم في ماكينة واحدة ، في حين أنه يسيطر على عدد كبير من الماكينات في حالة الـ (DNC) .
 ٢. الكمبيوتر يكون في مكانه بعيداً عن الماكينات التي يعمل معها في نظام الـ (DNC) ولكننا نجده مباشرة مع الماكينة في حالة الـ (CNC) .
 ٣. الكمبيوتر في حالة الـ (DNC) ليس هدفه الوحيد التحكم في الماكينات التي تعمل معه بل هو يمثل أيضاً جزءاً من نظام توفير المعلومات لإدارة المصنع ، أما بالنسبة لـ (CNC) فالكمبيوتر يحصر إمكانياته لخدمة الماكينة التي تعمل معه .
 ٤. نسبة لمشاكل التنسيق التي ترافق نظام الـ (DNC) فإنه لا يكون مجدياً من الناحية الاقتصادية إلا في حالة الشركات الكبرى .
- والأشكال المبسطة التالية تبين الأجزاء التي تكون الأنظمة الثلاثة التي عرفناها أعلاه (DNC و CNC و NC) : (أنظر الأشكال : ١- ١ ، ٢- ١ ، ٣- ١) .

أما إذا قارنا بين التحكم الرقمي (NC) والتحكم الرقمي بالحاسب (CNC) فإننا نجد أن الـ (CNC) يتميز على الـ (NC) بالآتي :

١. يمكن إدخال البرامج مباشرة من على الماكينة وحفظها في ذاكرة الحاسب الملحق بالماكينة .
٢. سهولة تصحيح ومراجعة البرنامج وبالتالي توفير في زمن تصميم البرنامج المطلوب لتصنيع قطع الشغل .
٣. التخفيض في كمية المعلومات اللازم إدخالها في برنامج التصنيع ، وكذلك السرعة في تنفيذ البرنامج .

٥.١ المقارنة بين ماكينات العدد التقليدية وماكينات الـ (CNC) :

يوجد تشابه في الشكل العام لماكينات العدد التي تعمل بنظام الـ (CNC) وماكينات العدد التقليدية ولكن يوجد فرق أساسي في مصدر إيجاد الحركة في الاتجاهات المختلفة التي تتحرك فيها الماكينة . فإذا أخذنا ماكينة الفريزة (Milling M/C) كمثال فإننا نجد أن الفريزة العادية بها محرك واحد ذي تيار متردد في حين أن الفريزة من نوع الـ (CNC) يتحكم في التحركات المختلفة بها محركات خاصة تسمى المحركات المؤازرة (Servomotors) من نوع محركات التيار المستمر أو محرك الخطوة (Stepping motor) أو المحركات الهيدروليكية ، فماكينة الفريزة (CNC) المبينة في شكل (١-٤) بها أربعة محركات من نوع التيار المستمر كالآتي :

١. محرك واحد للحركة الطولية المنضدة الماكينة .
 ٢. محرك واحد لتحريك المنضدة إلى الداخل أو الخارج بعيداً عن الماكينة .
 ٣. محرك واحد لتحريك المنضدة رأسياً إلى أعلى أو أسفل .
 ٤. محرك واحد لإدارة عامود السكاكين "أو أدوات القطع" يمثل المحرك الأساسي .
- وكل هذه المحركات يتحكم فيها كمبيوتر ماكينات الـ (CNC) أما ماكينة الفريزة العادية فيمكن تحريك منضدتها طولياً أو في الاتجاه المستعرض أو رأسياً يدوياً أو ميكانيكياً ، فإذا تعتمد دقة العمليات التي تنفذ على الفريزة العادية على مهارة العامل الذي يقوم بتشغيل الماكينة ، أما في ماكينة الـ (CNC) فإن الدقة تعتمد على مقدرة نظام التحكم ونوعه ويمكن أن نلخص المقارنة بين فريزة تقليدية وأخرى ذات تحكم رقمي بالحاسب في الجدول التالي :

وجه المقارنة	الفريزة العادية	الفريزة (CNC)
١. الشكل العام	يشابه الفريزة (CNC)	يشابه الفريزة العادية
٢. بعض تفاصيل التصميم مثل : أ. الهيكل	أقل قساوة (مقاومة لقوى التشغيل) من الفريزة (CNC)	أكثر قساوة
ب. عمود نقل الحركة الطولية	شكل القلووظ شبه منحرف	شكل القلووظ شبه كروي وبه كرات محملية (أنظر الشكل (١.٥))
٣. مصدر الحركة	محرك واحد ذو تيار متردد (A.C)	محرك خاص بكل اتجاه حركة تسمى المحركات المؤازرة (Servo-Motors) من نوع

وجه المقارنة	الفريزة العادية	الفريزة (CNC)
٤. دقة عمليات التشغيل	يمكن أن تبلغ ٠.٠١ مم وتعتمد على مهارة العامل	محركات الخطوة (Stepper Motors) أو المحركات الهيدروليكية يمكن أن تبلغ 0.001 مم وتعتمد على مقدرة ونوع نظام التحكم
٥. التكلفة	منخفضة نسبياً	مرتفعة تبلغ حوالي خمسة أضعاف الفريزة العادية
٦. التحكم في الحركة	يدوياً أو ميكانيكياً	برنامج التحكم الرقمي

للتعرف على ماكينات الـ (CNC) المتوفرة بورش الكليات التقنية انظر شكل (١- ٦) الذي يبين فريز (CNC) من نوع MH500W وهي ذات نظام تحكم من نوع MAHO 232 ، وكذلك الشكل (١- ٧) الذي يوضح مخرطة (CNC) من نوع emcoTurn 242 وهي ذات نظام تحكم من نوع EMCOTRONIC TM 02 .

٦.١ المزايا والعيوب الاقتصادية لمكينات التحكم الرقمي بالحاسب (CNC) :

توجد عدة أسباب أدت إلى الانتشار الواسع لاستخدام ماكينات التحكم الرقمي بالكمبيوتر (CNC) في الصناعة . لقد هيا ظهور الـ (CNC) وسيلة لتخفيض تكلفة الإنتاج للصناعات التي تتميز بحجم إنتاج منخفض مثل صناعة القطع المساعدة في صناعة الطائرات وقطع الدوائر الهيدروليكية وصناعة ماكينات العدد نفسها ، ففي كل هذه الصناعات التي ذكرناها وغيرها من الصناعات ذات المتطلبات الشبيهة ، نجد أنه من الضروري أن يكون المنتج عالي الجودة ومضمون عند استعماله . ونجد أيضاً أن حجم الإنتاج في هذه الحالات يعد غالباً بالعشرات أو المئات وفي بعض الحالات بالآلاف ولكن يندر أن يصل حجم الإنتاج فوق ذلك . فاستعمال الـ (CNC) في مثل هذه المجالات المذكورة يمكن أن يحقق المزايا التالية :

١. تقليل الزمن الضائع بدون إنتاج فعلي للماكينة .
٢. استخدام تجهيزات تثبيت (Fixtures) أكثر بساطة من المستخدمة مع الماكينات التقليدية .
٣. تحقيق نظام إنتاج أكثر مرونة للتغيرات في جداول الإنتاج .

٤. السهولة في تقبل أي تغييرات في تصميم القطع المنتجة لأن ذلك يحتاج فقط إلى تغيير في البرنامج السابق للقطع .

٥. زيادة دقة التصنيع والتقليل من الأخطاء التي يقع فيها العاملون .

ويتضح من هذا المذكور أعلاه أن الـ (CNC) يكون مناسب لحالات معينة ولكن ليس في كل الحالات ويمكن أن نستنتج أن عمليات التشغيل التي يمكن أن يحقق فيها الـ (CNC) فوائد اقتصادية لها الصفات التالية :

١. القطع التي تصنع مكررة في شكل دفع صغيرة أو متوسطة الحجم .

٢. هندسة القطع معقدة (من ناحية الشكل) .

٣. الأزواج المطلوبة لتصنيع القطع ضيقة .

٤. تشغيل القطع يحتاج لعدة عمليات .

٥. كميات المعدن المطلوب إزالته (الرائش) للتصنيع كبيرة .

٦. التغييرات في التصميم متوقعة .

٧. القطع عالية التكلفة بحيث أن حدوث أخطاء في التصنيع سيكون باهظ التكلفة.

٨. الحاجة لفحص جودة المنتج بنسبة ١٠٠٪ .

وليس بالضرورة يشترط أن تكون القطع المناسبة للتصنيع بنظام الـ (CNC) مستوفية لكل الصفات الثمان التي ذكرناها ولكن بالطبع كلما حققت عدد أكبر من هذه الصفات كلما كانت تطبيقاً جيداً لاستخدام ماكينات الـ (CNC) في الإنتاج .

ولكن كل هذا يجب أن لا ينسينا أنه إذا أدخلنا نظام الـ (CNC) للإنتاج في مصنع ما ستواجه

المشاكل التالية :

١. زيادة الصيانة الكهربائية وتنوعها داخل المصنع .

٢. ارتفاع التكلفة الابتدائية لماكينات الـ (CNC) .

٣. ارتفاع تكلفة تشغيل الماكينات .

٤. إجراء تدريب جديد للعاملين على كل المستويات لاستيعاب نظام الـ (CNC) ومتطلباته من برمجة

وتشغيل وصيانة .

أنواع الآلات المبرمجة:

1-آلة الخراطة

2-آلة التفريز

3-آلة الحفر بالشرارة:

نستخدم الكترود أو سلك من الذهب أو الفضة أو النحاس الاحمر

ويجب ان يتمتع بالصفات التالية:

1-ناقلية جيدة للكهرباء

2-مقاومة الصهر (مقاومة درجات الحرارة العالية)

عند تقريب السطحين من بعضهما تولد شرارة وتولد حرارة عالية
تصهر المشغولة وتفتت المعدن قليلا

تستخدم عندما نريد الحصول على زويا حادة او قائمة

4-آلة القص بالسلك:

وهي آلة حفر بالشرارة ويجب ان تكون القطعة نافذة.

تتألف من بكرة ملفوف عليها سلك ويوجد بكرة بالجهة المقابلة يلف عليها السلك وبينها توجد المشغولة التي
نقوم بثقبها لتمرير السلك منها وبعد ذلك تبدا عملية التشغيل
يتراوح قطر السلك المستخدم (0.1 , 0.3 , 0.25)

5-آلة الحفر بالليزر:

من اهم الآلات حيث يتم اختصار وقت هائل عند التشغيل بهذه الآلة
وهو عبارة عن شعاع ليزر يمكنه من اجراء تلميع و تنعيم او اجراء ثقب او قص وذلك حسب طاقة
الليزر وسرعة بقاء أشعة الليزر بمكانها.

6-آلة الحفر بالماء:

تقوم باعطاء ضغوط عالية على المشغولة فتقوم بقص المعدن تصل قيمة الضغط الى ٤٠٠٠ ضغط جوي

7-آلة قص بالبلازما:

تستخدم خليط من الغازات المساعدة (استيلين مع أوكسجين – ازوت – أرغون) تحدث هذه الطريقة
درجات حرارة عالية جداً.

الأجزاء الأساسية في الفارزة المبرمجة:

1-محرك خاص لكل محور من محاور الآلة.

2-مساطر رقمية لكل محور مسطرة (لتحديد موضع أداة القطع بعد انتقالها على أحد المحاور.)

3 - قارئ احداثيات.

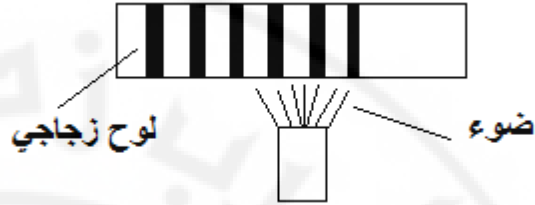
4- حاسب.

5- دائرة قيادة المحركات.

6- لوائب ذات الكرات (لنقل الحركة :) الهدف منها التخلص من الخلوصات الناتجة والتي تؤدي الى
خطأ في القياس.

7- برامج خاصة

المسطرة الرقمية : هي عبارة عن لوح زجاجي مكون من خطوط مظلمة (غير شفافة) وخطوط مضيئة (شفافة) البعد بين كل خطين يتراوح ضمن المجال (0.005 و 0.001) مم حسب دقة الآلة التي ستركب عليها المساطر ، وتتكون من جزأين أحدهما ثابت على الطاولة والآخر متحرك يخترق شعاع ضوئي المسطرة ثم ينقطع ويعطي الحساس المقابل 10 10 من خلال عدد مرات تكرار 1 يتم التعرف كم هي عدد المرات التي تم انقطاع الضوء ومعرفة القياس وتحديد احداثيات أداة القطع في كل لحظة .



محاور آلات التشغيل:

- هي المحاور التي يمكن ان تتحرك آليا بدون تدخل العامل وهي (x,y,z) أنواعها :
- ١ - 2D : ثنائي البعد أي التحرك بمحورين بنفس اللحظة (x,y) بالنسبة للفارزة ويكون المحور z يدوي . أما بالنسبة للمخرطة فهم (x , z)
 - ٢ - 2.5 D : نتحكم ب (x , y) لفترة ثم نعطي ل z عمق .
 - ٣ - 3D : آلة التشغيل تعمل وفق ثلاثة محاور أي أن أداة القطع يمكن أن تتحرك باتجاه (x , y , z)
 - ٤ - 4D : التحكم بأربعة محاور حيث المحور الرابع يكون دوران حول x
 - ٥ - 5D : تحوي محوران للدوران حول x,y

النقاط المرجعية في آلات التشغيل :

١- النقطة المرجعية للآلة MRP :

هي النقطة التي نأخذ منها جميع الأبعاد الناتجة عن حركة أداة القطع أو العربة تعود إليها الآلة في بداية التشغيل ، تثبت الاحداثيات عن هذه النقطة (تتحرك أداة القطع نسبة الى هذه النقطة من خلال المسطرة الرقمية بحسب مقدار انتقال أداة القطع)
تحدد من قبل المصنع حسب تصميم الآلة وبعد الانتهاء من التشغيل يجب العودة عليها .

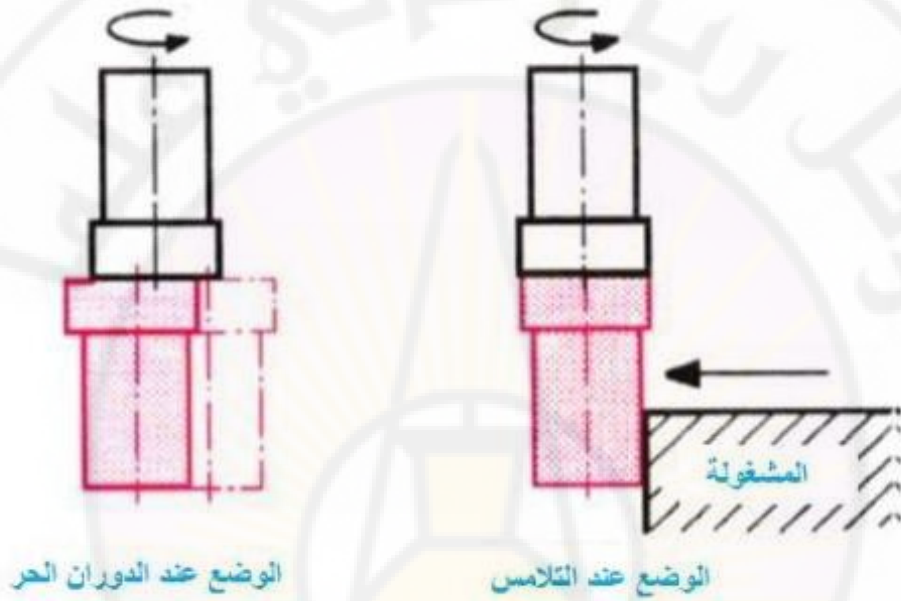
٢- نقطة صفر الآلة MZP :

عند الوصول الى هذه النقطة تقف الآلة عن العمل وتحدد من قبل المصنع حسب تصميم الآلة.

٣- نقطة صفر المشغولة WZP : لكل مشغولة نقطة صفر كمرجع لقياس الابعاد ، يتحكم بموضع هذه النقطة المبرمج حسب شكل المشغولة .

تحديد نقطة صفر المشغولة WZP :

نقوم بجلخ أحد أوجه المشغولة ووضعها بحيث يلامس هذا الوجه سطح الطاولة ، ثم نقوم بتحريك أداة القطع الحاملة لحساس نابضي أو ضوئي على الحواف حتى يتم التلامس ، عند التلامس يقوم قارئ الاحداثيات بتحديد مكان تحرك أداة القطع وبذلك نحدد صفر على المحورين X, Y .



المهام التي يجب على المبرمج القيام بها لكتابة ملف التشغيل لقطعة معينة :

- ١- رسم القطعة وتحديد الأبعاد عليها .
- ٢- تحديد معدن الخامة .
- ٣- تحديد الخطة التكنولوجية لتشغيل القطعة .
- ٤- تحديد آلات التشغيل التي يجب استخدامها للحصول على القطعة .
- ٥- تحديد أدوات القطع (معدنها وابعادها ، وتحديد سرعة القطع V وعمق القطع و التغذية F) :

$$V = \frac{\pi D n}{100}$$

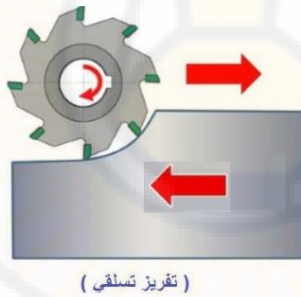
$$F = F_z * Z * n$$

عدد الدورات
التغذية
عدد الأسنان
التغذية للسنة

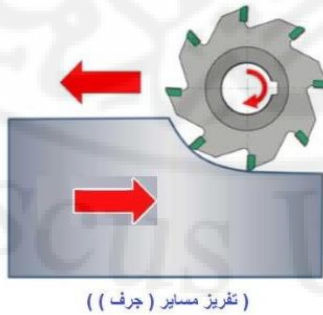
٦- تحديد طريقة التفريز :

١- التفريز التسلقي :

يتم تحديد نوع التفريز حسب نوع المعدن او عملية التشغيل (تخشين او تنعيم)
بالتخشين نستطيع ان نأخذ اكبر سرعة قطع ممكنة .



٢- التفريز الجرفي : تستعمل مع المعادن القاسية .



٧- تحديد طريقة تثبيت المشغولة (ملزمة - كالات)

٨- كتابة البرنامج .

طريقة كتابة برنامج (ملف التشغيل):

يحتوي ملف التشغيل رموز معينة يقوم متحكم في الآلة بتحويل هذه الرموز الى أوامر (اما أوامر تنفيذية ، او أوامر مساعدة)

الأوامر التنفيذية G-code : وهي التي تحدد الاعمال التي ستنفذها الآلة .

G00 أمر الانتقال السريع : يتم تحريك أداة القطع بأقصى سرعة ممكنة صممت عليها الآلة ، لا يكتب هذا الامر الا عندما تكون أداة القطع في الهواء لتجنب حدوث أي تصادم بين أداة القطع وتجهيزات الآلة .

G00 X_ Y_ Z_ ،

الاحداثيات المطلقة G90 :

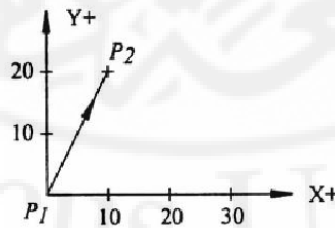
في هذه الحالة تكون جميع الاحداثيات مأخوذة بالنسبة إلى مبدأ الاحداثيات والحركة في الاتجاه السالب للمحاور تتطلب وضع إشارة (-).

الاحداثيات النسبية G91 :

في هذه الحالة يكون كل قياس او بعد مرتبط بالقياس الذي سبقه . والابعاد تمثل المسافات بين نقطتين متتاليتين.

أمر الانتقال الخطي البطيء (حركة مستقيمة لأداة القطع) G01 :

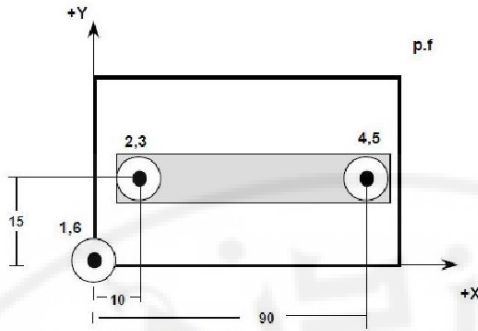
يستخدم امر الانتقال الخطي لتحريك أداة القطع من النقطة p1 الى النقطة p2 وفق احد المحاور او كلا المحورين x,y ووفق مسار مستقيم للحركة وبسرعة تغذية محددة F .



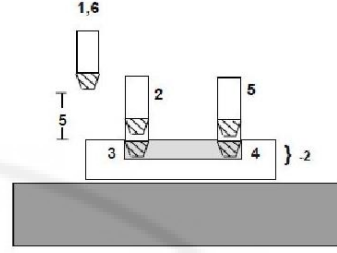
G01 X10. Y20. F250

مثال يوضح استخدام الامر G00 والامر G01 :

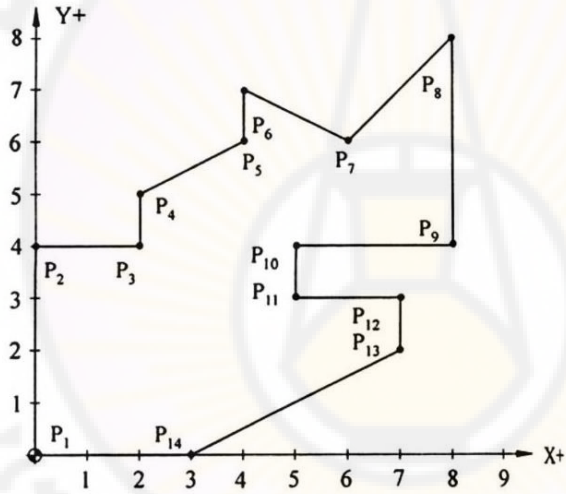
G01 X__ Y__ Z__ F__;



1 G00 X0 Y0 Z5;
2 G00 X10 Y15 Z0;
3 G01 Z-2 F100;
4 G01 X90 ;
5 G01 Z0;
6 G00 X0 Y0 Z5;



إحداثيات النقاط على المخطط سواء كانت في نظام الإحداثيات المطلقة G90 أو نظام الإحداثيات النسبية G91:



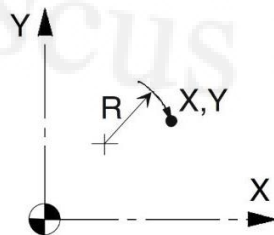
For G90		For G91	
P ₁	G90 X0 Y0	P ₁	G91 X0 Y0
P ₂	G90 X0 Y4	P ₂	G91 X0 Y4
P ₃	G90 X2 Y4	P ₃	G91 X2 Y0
P ₄	G90 X2 Y5	P ₄	G91 X0 Y1
P ₅	G90 X4 Y6	P ₅	G91 X2 Y1
P ₆	G90 X4 Y7	P ₆	G91 X0 Y1
P ₇	G90 X6 Y6	P ₇	G91 X2 Y-1
P ₈	G90 X8 Y8	P ₈	G91 X2 Y2
P ₉	G90 X8 Y4	P ₉	G91 X0 Y-4
P ₁₀	G90 X5 Y4	P ₁₀	G91 X-3 Y0
P ₁₁	G90 X5 Y3	P ₁₁	G91 X0 Y-1
P ₁₂	G90 X7 Y3	P ₁₂	G91 X2 Y0
P ₁₃	G90 X7 Y2	P ₁₃	G91 X0 Y-1
P ₁₄	G90 X3 Y0	P ₁₄	G91 X4 Y-2
P ₁	G90 X0 Y0	P ₁	G91 X-3 Y0

أمر الانتقال الدائري (G02 و G03) :

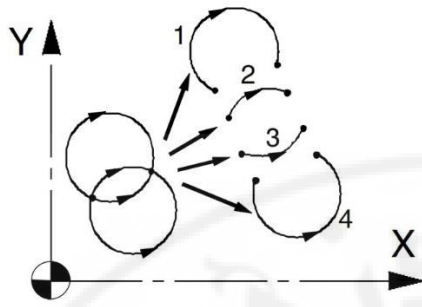
تسمح أوامر الحركة الدائرية ببرمجة انتقالات الأداة لتحرك وفق مسار قوس أو دائرة .

G02 حركة قوس مع عقارب الساعة

G03 حركة قوس عكس عقارب الساعة



G02 **X_ Y_** **R+**
الدوران مع عقارب الساعة
نصف قطر القوس
إحداثيات نقطة نهاية القوس



1 G02 X__ Y__ R-__

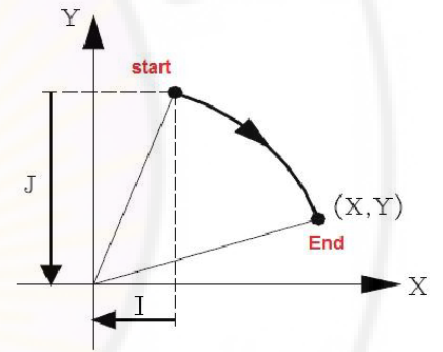
2 G02 X__ Y__ R__

3 G03 X__ Y__ R__

4 G03 X__ Y__ R-__

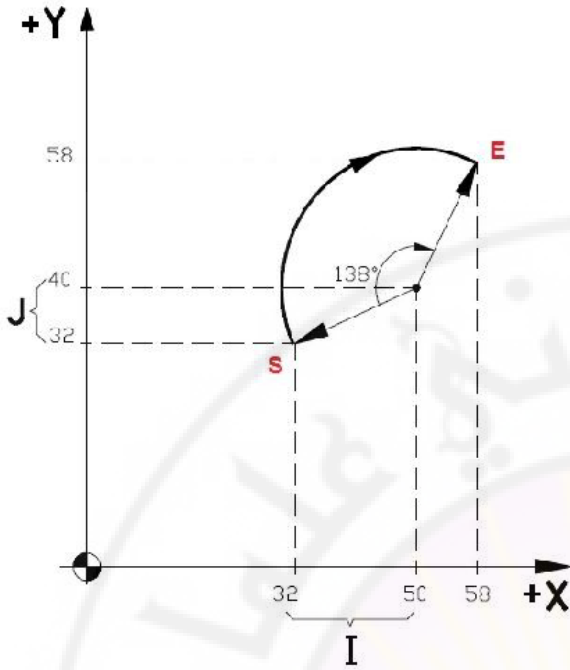
رسم الاقواس بدلالة I و J :

حيث I و J هما احداثيات مركز القوس نسبة إلى نقطة بداية القوس .

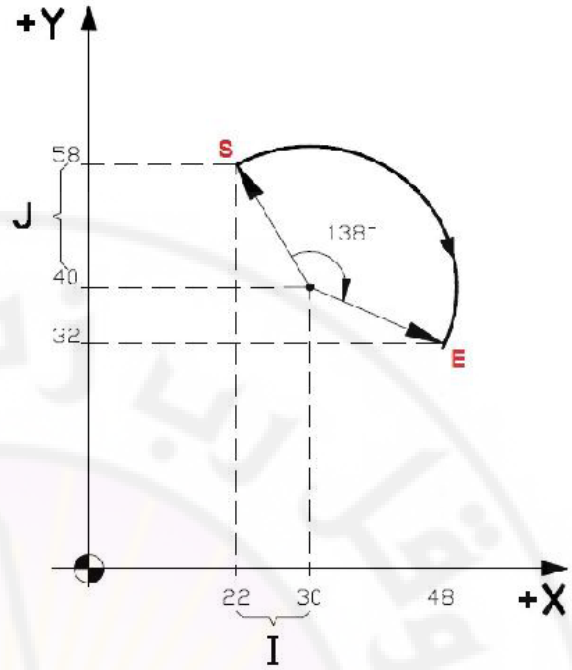


أمثلة توضيحية :

Damascus University



G02 X58 Y58 I18 J8 ,



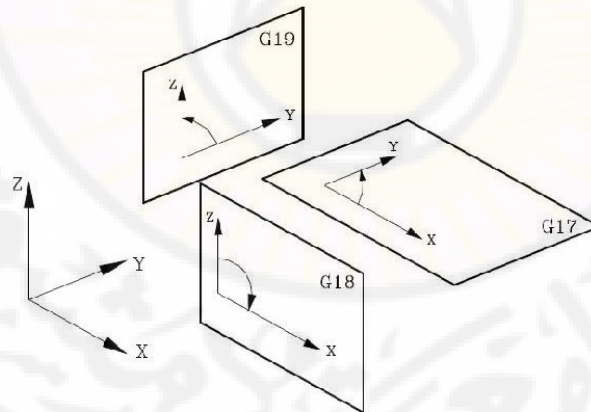
G02 X48 Y32 I8 J-18,

مستويات التشغيل :

G17 المستوي XY

G18 المستوي XZ

G19 المستوي YZ



الامر G21 للدلالة على النظام الملمتري المستخدم و الامر G20 للدلالة على نظام الواحدات الانجليزي (الانش)

يمكن تحديد اكثر من نقطة مرجعية للآلة باستخدام الأوامر :

G54 , G55 , G56 , G57 , G58 , G59

الأوامر المساعدة :

M03 دوران أداة القطع باتجاه عقارب الساعة

M04 دوران أداة القطع عكس جهة عقارب الساعة

M06 تبديل أداة القطع بشكل آلي

M66 تبديل أداة القطع بشكل يدوي

T رقم أداة القطع

M08 تشغيل سائل التبريد

M09 اغلاق سائل التبريد

M30 انتهاء البرنامج

H تعويض طول أداة القطع

D تعويض قطر أداة القطع



كتابة برنامج التشغيل :

يستدل على كل برنامج برقم معين او اسم معين يستخدم الحرف الكبير O مثلا للدلالة على رقم البرنامج ويتبع عادة بأربع خانات من الأرقام تحدد الرقم الحقيقي للبرنامج ، مثال 00001

ويستخدم الحرف الكبير N للدلالة على تسلسل اسطر البرنامج ثم يليه اية معلومات تنفيذية في هذا السطر من البرنامج وبالتالي يوجد رقم لكل سطر من البرنامج .

مثال :

```
O0001
N0001 G54 X.. Y..
N0002 ...
N0003...
...
.
.
..
N000..... M30
```

البرنامج الجزئي او الفرعي :

يستخدم اذا كان هناك جزء من البرنامج يتطلب استخدامه بشكل متكرر ضمن البرنامج الرئيسي حيث يستدعي البرنامج الفرعي بالامر M98 على الشكل التالي :

عدد مرات التكرار

M98 P_ H_ L_

رقم البرنامج

رقم السطر المطلوب تكراره

برنامج رئيسي

برنامج جزئي

O0001

N0001 G54 X.. Y..

N0002 ...

N0003 ...

...

N0125 M98 P0012

N0126 ...

...

...

...

N0287 M30

O00012

N0001 ...

N0002

...

...

...

N0075 M99

بدل الامر M99 على نهاية البرنامج الفرعي والانتقال الى البرنامج الرئيسي ، في المثال أعلاه تم استدعاء البرنامج الفرعي رقم 12 في سطر البرنامج الرئيسي N0125 عندها يتم تنفيذ اسطر البرنامج الفرعي حتى يصل الى السطر N0075 M99 بالبرنامج الفرعي ثم يعود البرنامج بعدها الى البرنامج الرئيسي .

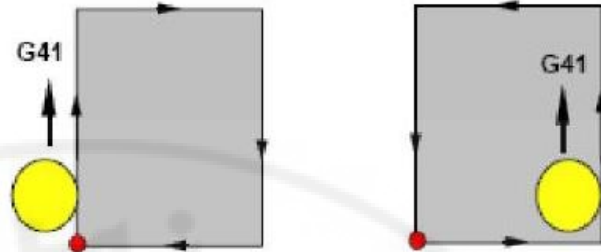
الأوامر G40 و G41 و G42 :

تعويض نصف قطر أداة القطع من اليسار G41

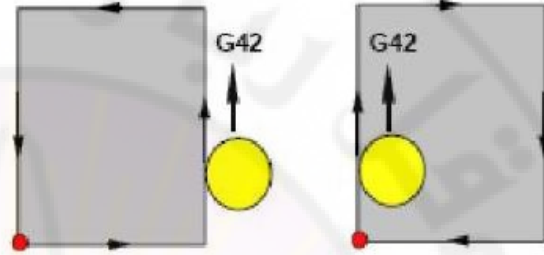
تعويض نصف قطر أداة القطع من اليمين G42

الغاء تعويض نصف قطر أداة القطع G40

عند التعويض من اليسار نستخدم G41

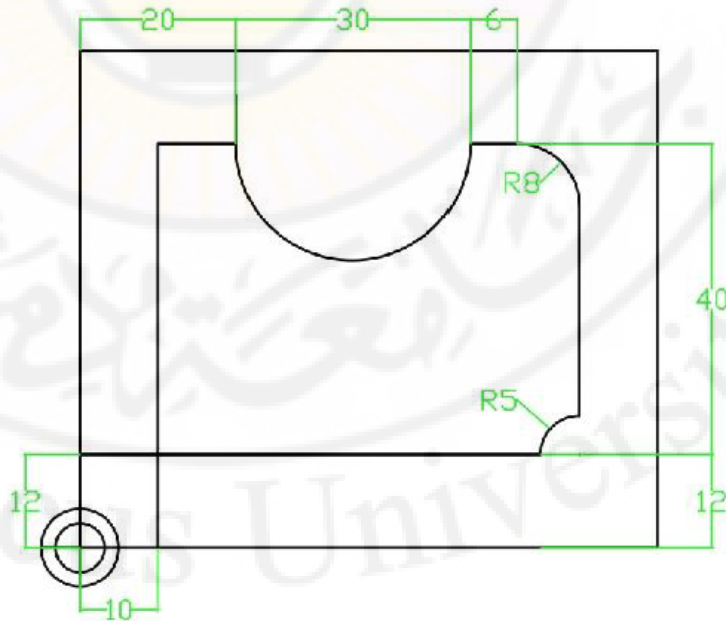


عند التعويض من اليمين نستخدم G42



ملاحظة : عند استخدام أي من G41 او G42 فانه يبقى فعالا الى ان يتم الغاء تفعيله بواسطة الامر G40

مثال :



يراد تشغيل انهائي لقطعة من الالمنيوم وذلك باستخدام آلة تقريز مبرمجة باستخدام أداة قطع نصف قطرها 10mm وعمق قطع 1mm

N5 X25 ;

N6 Y52 ;

N7 G03 X45 R10 ; (I10)

N8 G01 Y57 ;

N9 X56 ;

N10 G02 X69 Y44 R13 ; (J-13)

N11 G01 Y12 ;

N12 X64 ;

N13 Y7 ;

N14 X5 ;

N15 G00 Z200 ;

M30

وبكتابة البرنامج السابق على شكل برنامج أساسي وفرعي مع تعويض نصف قطر أداة القطع
البرنامج الرئيسي

N1 G54 G17 G90 G21 T7 M03 S3000

N2 G00 X0 Y0 ;

N3 Z+1 ;

N4 G41 ;

N5 M98 **PO1136** L7 ;

N7 G00 Z100 ;

M30;

البرنامج الفرعي

Damascus University

O1136

N1 G91 G01 Z-2 ;

N2 G90 ;

N3 G01 X10 Y12 ;

N4 Y52 ;

N5 X20 ;

N6 G03 X50 R15 ; (I15)

N7 G01 X56 ;

N8 G02 X64 Y44 R8 ; (J-8)

N9 Y17 ;

N10 G03 X59 Y12 R5 ;

N11 G01 X0 Y0 ;

N12 M99

العمل بالاحداثيات القطبية بدلا من الديكارتية :

يتم تفعيل الاحداثيات القطبية عبر الامر G16 وذلك عندما يكون من الصعب تحديد احداثيات الهدف ديكارتيا حيث تعبر X عن طول الشعاع و تعبر Y عن الزاوية مع المحور X .
ويتم الغاء تفعيل الاحداثيات القطبية والعودة للاحداثيات الديكارتية عبر الامر G15

التثقيب :

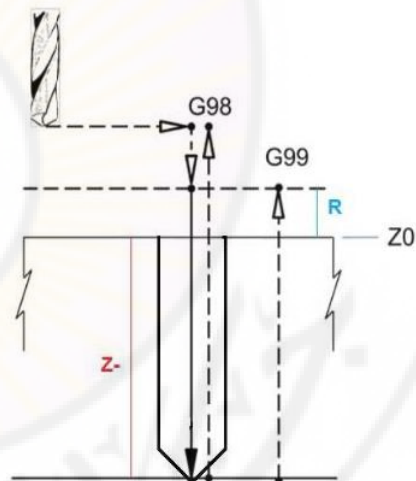
G81 دالة تثقيب غير عميق

G81 X_ Y_ Z- R **F**

احداثيات مركز الثقب عمق الثقب مسافة امان

G99 عودة أداة التثقيب بحركة سريعة الى
مسافة الأمان R

G98 عودة أداة التثقيب بحركة سريعة الى
سوية وجود الأداة قبل بدء التثقيب .



G82 دالة تثقيب غير عميق مع بقاء أداة التثقيب اسفل الثقب مدة من الزمن قبل خروجها من الثقب .

G82 X_ Y_ Z- R P

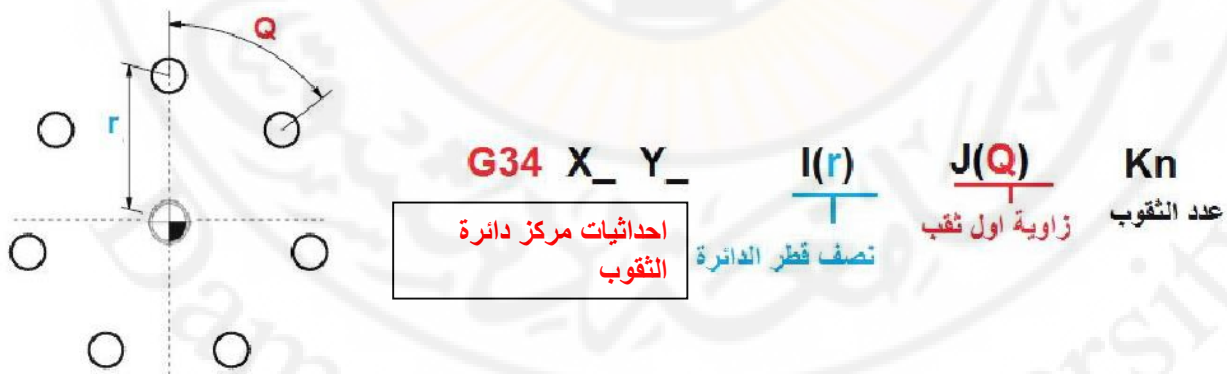
احداثيات مركز الثقب عمق الثقب مسافة امان زمن بقاء أداة القطع

G83 دالة تنقيب عميق على مراحل باستخدام زمن بقاء p

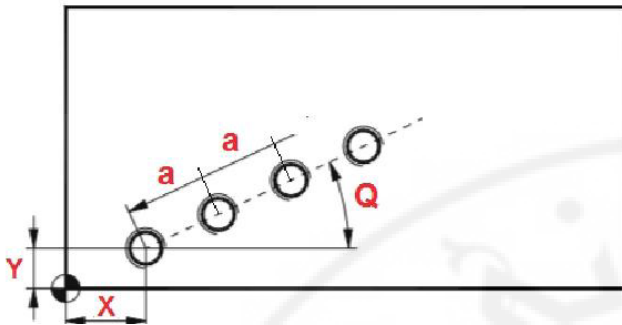
G83 **X_** **Y_** **Z-** **R** **Q**
مقدار نزول الشوط

ولتنفيذ امر التنقيب على مجموعة من الثقوب تتبع توضع مصفوفي معين كأن تتوضع مجموعة الثقوب على محيط دائرة او جزء من دائرة او على خط مستقيم . نستخدم الأوامر التالية :

التنقيب على محيط دائرة :

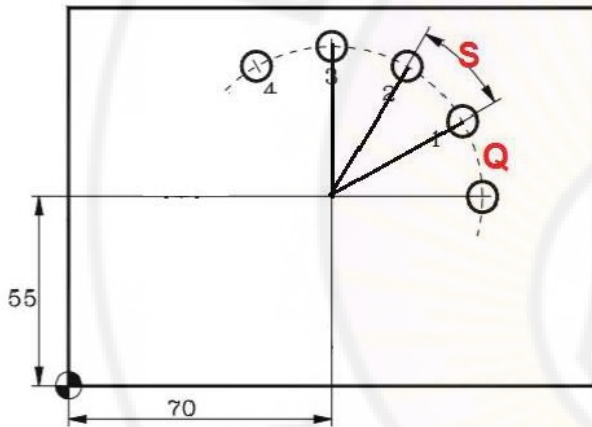


التثقيب على خط مستقيم :



G35 X_ Y_ I(a) J(Q) Kn
عدد الثقوب

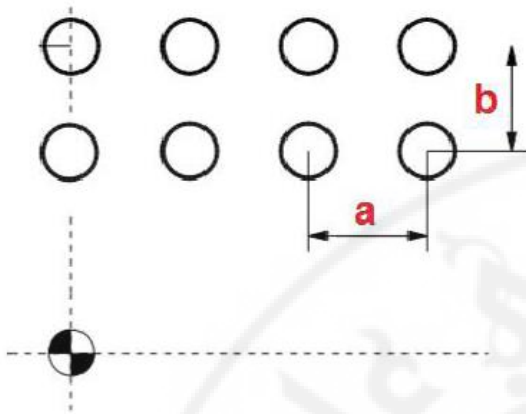
التثقيب على جزء من دائرة :



G36 X_ Y_ I(r) J(Q) P(S) Kn

Damascus University

التثقيب بشكل مصفوفة مستطيلة :



G37 X_ Y_ I(a) Pn J(b) Qn

عدد الثقوب على المحور X

عدد الثقوب على المحور Y

Damascus University

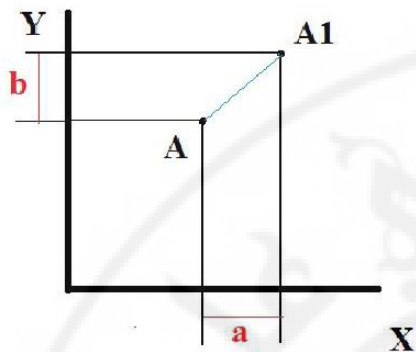
التحويلات الهندسية

التحويلات الهندسية هي عمليات رياضية تستخدم في الهندسة لتحويل شكل أو موقع شكل هندسي إلى شكل آخر. يمكن استخدام التحويلات الهندسية في العديد من التطبيقات في الحياة اليومية وفي العلوم والهندسة، وبعض الأمثلة على ذلك على النحو التالي:

- 1- الانسحاب (Translation): يمكن نقل الشكل الهندسي من مكانه الأصلي إلى موقع آخر من خلال تحريك كل نقطة في الشكل بنفس المسافة وفي نفس الاتجاه.
- 2- الدوران (Rotation): يمكن تدوير الشكل الهندسي حول محور معين. يتم تحديد محور الدوران بواسطة خط يمر عبر الشكل.
- 3- التناظر (Symmetry): يمكن تحويل الشكل الهندسي إلى شكل متطابق عن طريق الانعكاس حول خط توازن. يكون الشكل المتطابق مع الشكل الأصلي في جميع الجوانب والزوايا.
- 4- التصغير والتكبير (Scaling) : يمكن تصغير أو تكبير الشكل الهندسي بالنسبة لنقطة ثابتة تنتمي إلى هذا الشكل أو لا تنتمي .
- 5- الإسقاط (project) يمكن إسقاط المجسمات على أحد المستويات وتحويلها إلى أشكال ثنائية البعد .

الانسحاب (Translation) :

ليكن لدينا النقطة $A(x, y)$ وأردنا تحريكها بحيث تصبح في الموقع $A1(x, y)$



مصفوفة الانسحاب :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ a & b & 1 \end{bmatrix}$$

$$[A_1] = [A] * [Tr]$$

[A] مصفوفة النقاط

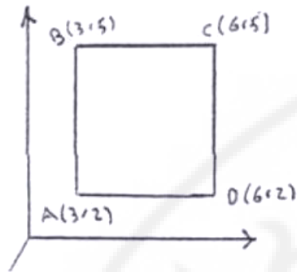
[Tr] مصفوفة الانسحاب

$$X_{A1} = X + a$$

$$Y_{A1} = Y + b$$

Damascus University

مثال : أوجد إحداثيات رؤوس المربع المبين بالشكل بعد التحريك على :



جملة إحداثيات ثلاثية

$$\begin{pmatrix} X \rightarrow 2 \\ Y \rightarrow -3 \\ Z \rightarrow 1 \end{pmatrix}$$

الحل :

$$\begin{bmatrix} A' \\ B' \\ C' \\ D' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ a & b & c & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 3 & 2 & 0 & 1 \\ 3 & 5 & 0 & 1 \\ 6 & 5 & 0 & 1 \\ 6 & 2 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & -3 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & -1 & 1 & 1 \\ 5 & 2 & 1 & 1 \\ 8 & 2 & 1 & 1 \\ 8 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

وبالتالي تكون الإحداثيات الجديدة لرؤوس المربع المعطى هي :

$$\begin{array}{ll} A'(5, -1, 1) & B'(5, 2, 1) \\ C'(8, 2, 1) & D'(8, -1, 1) \end{array}$$

التكبير أو التصغير (Scaling) :

➤ 3D Scaling

$$[T_s] = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

الإسقاط على XY ، $Z=0$:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

الإسقاط على ZY ، $X=0$:

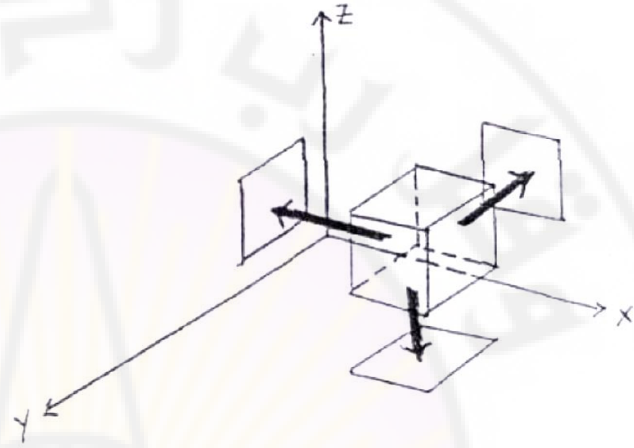
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

الإسقاط على XZ ، $Y=0$:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

٥. الإسقاط (Orthographic Projections) :-

بشكل مبسط : ليكن لدينا المكعب المبين بالشكل وأردنا أن نقوم بعملية إسقاط على المستويات الثلاثة عند ذلك تكون مصفوفات الإسقاط كما يلي :



التناظر : REFLECTIONS

$$\text{محور التناظر } Z \quad [T_{xy}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{محور التناظر } X \quad [T_{xz}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{محور التناظر } Y \quad [T_{yz}] = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{التناظر بالنسبة للمبدأ} : \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

التناظر بالنسبة لمنصفات الارباع :

منصف الربع الأول والثالث :

$$\begin{array}{l} X = y \\ Y = x \end{array} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

منصف الربع الثاني والرابع :

$$\begin{array}{l} X = -y \\ Y = -x \end{array} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

الدوران :

الدوران حول المحور x

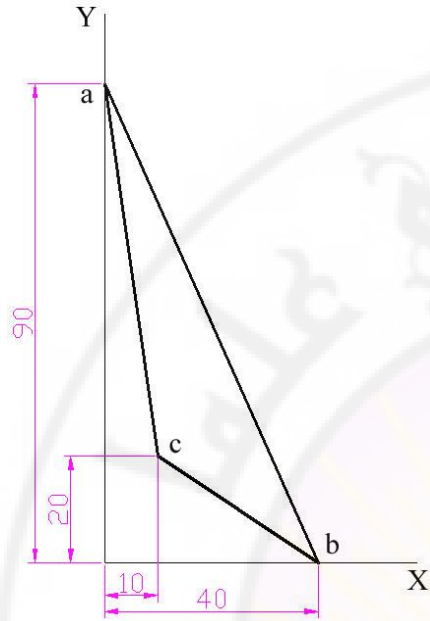
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

الدوران حول المحور Y

$$\begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

الدوران حول المحور z

$$\begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



تمرين

- لدينا مثلث abc إحداثيات نقاط رؤوسه مبينة في الشكل والمطلوب
- إيجاد إحداثيات نقاط رؤوس نظير المثلث بالنسبة لمبدأ الإحداثيات
 - إيجاد إحداثيات نقاط رؤوس نظير المثلث abc بالنسبة لضلعه ab
 - إيجاد إحداثيات نقاط رؤوس المثلث بعد تدويره حول المحور X بزاوية 90 درجة.

تمرين

لدينا رباعي a b c d إحداثيات نقاط رؤوسه هي:

$A(5, 7)$, $b(45, 7)$, $c(40, 27)$, $d(15, 27)$

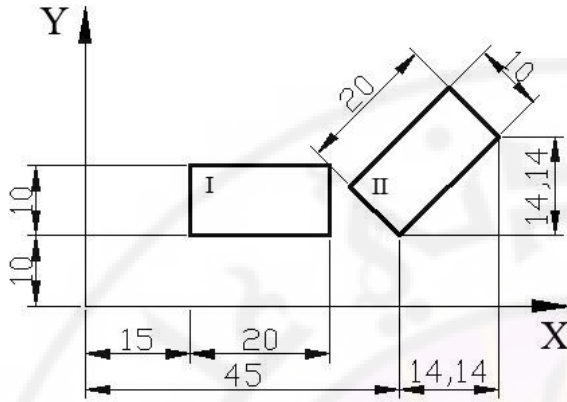
والمطلوب:

- 1- إيجاد إحداثيات نظير الشكل بالنسبة لمستقيم يمر من النقطتين a و c.
- 2- إيجاد إحداثيات الشكل بعد دورانه بزاوية 30 درجة حول محور يوازي المحور Z ويمر من النقطة b.
- 3- ارسم الشكل بعد إجراء التحويلات الهندسية السابقة وبعد تكبيره بمقدار 2 نسبةً للنقطة a.

تمرين

رسم مثلث في المستوي yz إحداثيات رؤوسه $A(2, 4)$, $B(10, 6)$, $C(8, 12)$ يراد إظهار المثلث في المستوي XY بأبعاده الحقيقية وبحيث ينطبق الضلع A_1B_1 على المستقيم المار من النقطتين ذات الإحداثيات $(4, 2)$, $(1.5, 7.5)$. والمطلوب كتابة المصفوفات اللازمة ، وتعيين الإحداثيات النهائية للمثلث الناتج .

تمرين



لدينا مستطيلين متساويين يراد نقل المستطيل II ليتم وضعه ضمن المستطيل I بحيث تتطابق محاورهما وبمقياس يساوي نصف مقاسه والمطلوب:

- تحديد إحداثيات المستطيل II الذي أصبح ضمن المستطيل I .

- اكتب المصفوفات اللازمة لتدوير المستطيل I والمستطيل II الموضوع داخل المستطيل I حول المحور x بزاوية 60 درجة.

الحل:

لنحسب إحداثيات مركز المستطيل II

$$X = \frac{(10 + 20)\cos 45}{2} + 45 - 10\cos 45 = 45 + 5\cos 45 = 48.536$$

$$Y = \frac{(10 + 20)\sin 45}{2} + 10 = 20.607$$

إحداثيات المستطيل II هي: $A_2(45, 10)$, $B_2(49.14, 24.14)$,

$C_2(52.069, 31.211)$, $D_2(37.929, 17.071)$

لنسحب المستطيل II من مركزه إلى مركز إحداثيات ثم نقوم بتدويره بزاوية -45 درجة ثم نصغره ثم نسحبه إلى مركز المستطيل I وفق المصفوفات التالية و بضربها فنحصل على الإحداثيات المطلوبة.

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} A_1 \\ B_1 \\ C_1 \\ D_1 \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} 45 & 10 & 1 \\ 49.14 & 24.14 & 1 \\ 52.069 & 31.211 & 1 \\ 37.929 & 17.071 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -48.536 & -20.607 & 1 \end{vmatrix} \\ &\cdot \begin{vmatrix} \cos 45 & 0 \sin 45 & 0 \\ -\sin 45 & \cos 45 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 25 & 15 & 1 \end{vmatrix} \\ &= \begin{vmatrix} 20 & 12.5 & 1 \\ 30 & 12.5 & 1 \\ 30 & 17.5 & 1 \\ 20 & 17.5 & 1 \end{vmatrix} \end{aligned}$$

$$A_1(20, 12.5, 0), B_1(30, 12.5, 0), C_1(30, 17.5, 0), D_1(20, 17.5, 0)$$

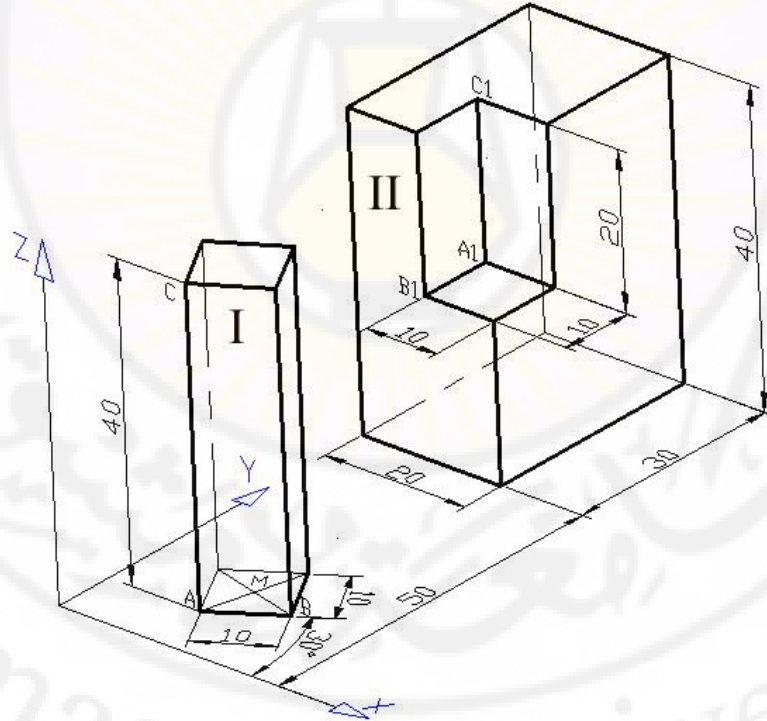
الطلب الثاني

درجة نقوم بضرب مصفوفة نقاط 60 للحصول على إحداثيات المستطيلين الواقعين داخل بعضهما بعد إدارتهما بزاوية وهما: X المستطيلين مع مصفوفة الدوران حول المحور

$$\begin{bmatrix} A_2 \\ B_2 \\ C_2 \\ D_2 \\ E_2 \\ F_2 \\ G_2 \\ H_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 & 12.5 & 0 & 1 \\ 30 & 12.5 & 0 & 1 \\ 30 & 17.5 & 0 & 1 \\ 25 & 17.5 & 0 & 1 \\ 15 & 10 & 0 & 1 \\ 35 & 10 & 0 & 1 \\ 35 & 20 & 0 & 1 \\ 15 & 20 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 60 & \sin 60 & 0 \\ 0 & -\sin 60 & \cos 60 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

تمرين

لدينا شكل فراغي II و موقعه مبينة على الشكل . يراد نقل متوازي مستطيلات I بحيث تنطبق نقاطه A B C A1 B1 C1 بحيث تمتلئ فجوة الشكل الفراغي II . اكتب المصفوفات اللازمة لذلك ، علماً أن احداثيات النقطة M مركز متوازي مستطيلات I هي : M(15,15,0) .
- اكتب المصفوفات اللازمة لتحديد احداثيات مسقط الشكل الفراغي II (الأساسي) بعد اسقاطه على المستوي . XZ

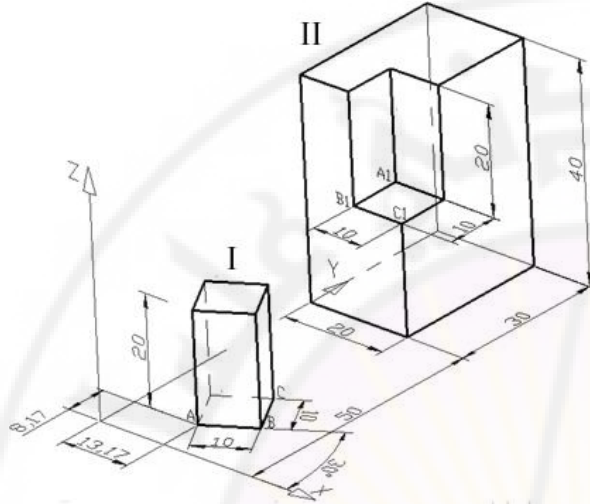


تمرين

شكلين II، I موقعهما وأبعادهما مبينة جانبا. يراد نقل الشكل الفراغي II إلى موقع متوازي مستطيلات I بحيث تنطبق نقاطه A B C على A1 B1 C1 على الترتيب، والمطلوب:

- اكتب المصفوفات اللازمة لذلك .
- عين احداثيات مسقط الشكل الفراغي I على المستوى YZ .

الطلب الأول :



$$\begin{matrix} A_1 \\ B_1 \\ C_1 \\ D_1 \\ E_1 \\ F_1 \\ G_1 \\ H_1 \\ K_1 \\ L_1 \\ M_1 \\ N_1 \\ O_1 \\ P_1 \end{matrix} = \begin{vmatrix} 10 & 60 & 20 & 1 \\ 10 & 50 & 20 & 1 \\ 20 & 50 & 20 & 1 \\ 20 & 60 & 20 & 1 \\ 20 & 60 & 40 & 1 \\ 20 & 80 & 40 & 1 \\ 0 & 80 & 40 & 1 \\ 0 & 50 & 40 & 1 \\ 10 & 50 & 40 & 1 \\ 10 & 60 & 40 & 1 \\ 0 & 50 & 0 & 1 \\ 20 & 50 & 0 & 1 \\ 20 & 80 & 0 & 1 \\ 0 & 80 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -10 & -60 & -20 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \cos 120 & \sin 120 & 0 & 0 \\ -\sin 120 & \cos 120 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 13.17 & 8.17 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

الطلب الثاني

$$\begin{matrix} A_2 \\ B_2 \\ C_2 \\ D_2 \\ E_2 \\ F_2 \\ G_2 \\ H_2 \end{matrix} = \begin{vmatrix} 13.17 & 8.17 & 0 & 1 \\ 21.83 & 13.17 & 0 & 1 \\ 16.83 & 21.83 & 0 & 1 \\ 8.17 & 16.83 & 0 & 1 \\ 13.17 & 8.17 & 20 & 1 \\ 21.83 & 13.17 & 20 & 1 \\ 16.83 & 21.83 & 20 & 1 \\ 8.17 & 16.83 & 20 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 8.17 & 0 & 1 \\ 0 & 13.17 & 0 & 1 \\ 0 & 21.83 & 0 & 1 \\ 0 & 16.83 & 0 & 1 \\ 0 & 8.17 & 20 & 1 \\ 0 & 13.17 & 20 & 1 \\ 0 & 21.83 & 20 & 1 \\ 0 & 16.83 & 20 & 1 \end{vmatrix}$$

$$A_2(0, 8.17, 0),$$

$$B_2(0, 13.17, 0), C_2(0, 21.83, 0), D_2(0, 16.83, 0), E_2(0, 8.17, 20), F_2(0, 13.17, 20)$$

$$G_2(0,21.83,20), H_2(0,16.83,20)$$

تمرين

رسم مثلث في المستوي XZ إحداثيات رؤوسه $A(2, 0, 4)$, $B(10, 0, 6)$, $C(8, 0, 0)$ (12) يراد إظهار المثلث في المستوي XY بأبعاده الحقيقية وبحيث ينطبق الضلع A_1B_1 على المستقيم المار من النقطتين ذات الإحداثيات $(4, 2, 0)$, $(1.5, 7.5, 0)$. والمطلوب كتابة المصفوفات اللازمة، ثم عيّن الإحداثيات النهائية للمثلث الناتج.

الحل:

لذلك سنكتب المصفوفات C_1 معلومتين يبقى حساب النقطة $A_1 B_1$, بما أن إحداثيات النقطتين اللازمة أولاً

حساب زاوية الضلع AB

$$m_{AB} = \frac{6-4}{10-2} = 0.25 \Rightarrow \theta = 14$$

حساب زاوية الضلع A_1B_1

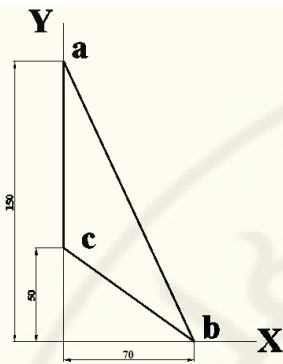
$$m_{A_1B_1} = \frac{7.5-5}{1.5-4} = -1 \Rightarrow \theta_1 = -49$$

يجب تدوير الضلع بزاوية 57 لينطبق على المستقيم المار من النقطتين ذات الإحداثيات $(1.5, 7.5, 0)$, $(4, 2, 0)$.

$$\begin{vmatrix} XA_1 & YA_1 & ZA_1 & 1 \\ XB_1 & YB_1 & ZB_1 & 1 \\ XC_1 & YC_1 & ZC_1 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 2 & 0 & 4 & 1 \\ 10 & 0 & 6 & 1 \\ 8 & 0 & 12 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & -4 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos -90 & \sin -90 & 0 \\ 0 & -\sin -90 & \cos -90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \cos 100 & \sin 100 & 0 & 0 \\ -\sin 100 & \cos 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 4 & 2 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & 2 & 0 & 1 \\ 0.64 & 9.53 & 0 & 1 \\ -4.92 & 6.52 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$A_1(4, 2, 0) \text{ و } B_1(0.64, 9.53, 0) \text{ و } C_1(-4.92, 6.52, 0)$$

تمرين



- لدينا مثلث abc إحداثيات نقاط رؤوسه $a(0,150,0)$, $b(70,0,0)$, $c(0,50,0)$ كما يبينه الشكل والمطلوب :
- اكتب المصفوفات اللازمة للحصول على مثلث $a_1b_1c_1$ متعامد مع المثلث abc وأبعاده تساوي ربع أبعاد المثلث abc بحيث ينطبق منتصف الضلع a_1b_1 على منتصف الضلع ab .
 - إيجاد إحداثيات نظير المثلث abc بالنسبة لمركز الاحداثيات بعد تكبيره بمقدار 1.25 مرة.

الحل:

إيجاد (M_X, M_Y) إحداثيات منتصف الضلع ab وزاويته مع المحور y

$$M_X = \frac{0 + 70}{2} = 35, \quad M_Y = \frac{150 + 0}{2} = 75$$

$$\alpha = \arctang \frac{70}{150} = 25.02$$

$$\begin{vmatrix} xa_1 & ya_1 & za_1 & 1 \\ xb_1 & yb_1 & zb_1 & 1 \\ xc_1 & yc_1 & zc_1 & 1 \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} 0 & 150 & 0 & 1 \\ 70 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 50 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -35 & -75 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \cos -25.02 & \sin -25.02 & 0 & 0 \\ -\sin -25.02 & \cos -25.02 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\cdot \begin{vmatrix} 0.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos -90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \cos 25.02 & \sin 25.02 & 0 & 0 \\ -\sin 25.02 & \cos 25.02 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 35 & 75 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

- إن إحداثيات نظير المثلث abc بالنسبة لمركز الاحداثيات هي $a_2b_2c_2$:

$$\begin{vmatrix} xa_2 & ya_2 & 1 \\ xb_2 & yb_2 & 1 \\ xc_2 & yc_2 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 150 & 1 \\ 70 & 0 & 1 \\ 0 & 50 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1.25 & 0 & 0 \\ 0 & 1.25 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 187.5 & 1 \\ 87.5 & 0 & 1 \\ 0 & 62.5 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} 0 & -187.5 & 0 \\ -87.5 & 0 & 0 \\ 0 & -62.5 & 1 \end{vmatrix}$$

$$a_2(0, -187.5, 0), b_2(-87.5, 0, 0), c_2(0, -62.5, 0)$$