



علوم الهندسية

المناهج الدراسية السودانية



المرحلة الثانوية
الصف الثالث

+971544600874
info@ebttikarworld

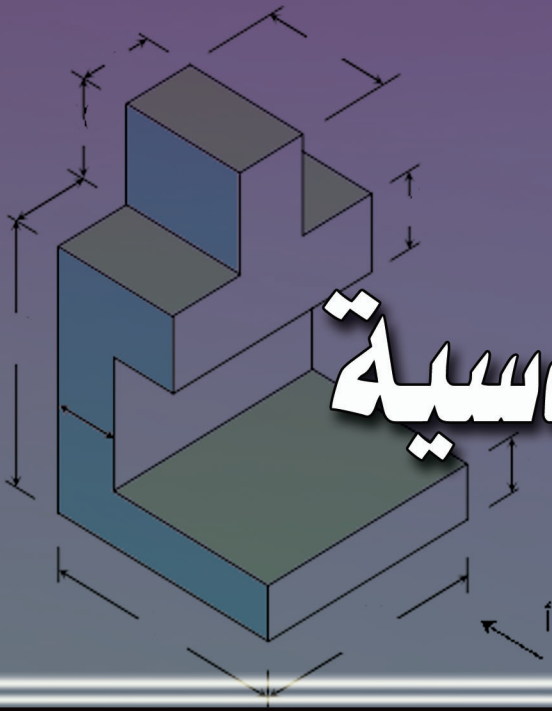
أفضل موقع لخدمات طلاب الشهادة السودانية
www.ebtikarworld.com



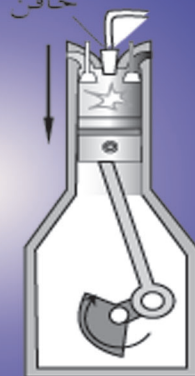
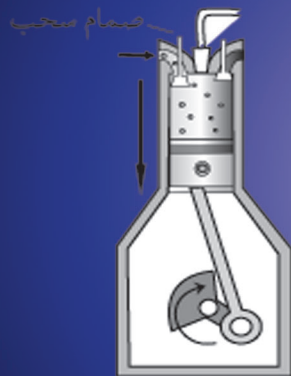
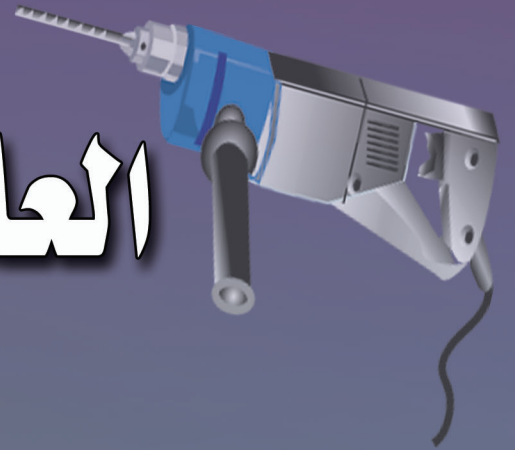


بخت الرضا

التعليم الثانوي



العلوم الهندسية



الصف الثالث

بسم الله الرحمن الرحيم
جمهورية السودان
المركز القومي للمناهج والبحث التربوي
بخت الرضا
التعليم الثانوي

العلوم الهندسية

الصف الثالث

إعداد لجنة بتكليف من المركز القومي للمناهج والبحث التربوي من الأساتذة :

- أ. عبد الرحيم سعيد محمد نور : المركز القومي للمناهج والبحث التربوي
أ. د عصام محمد عبد الماجد : جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا
د. علي محمد علي : جامعة الخرطوم
أ. أبو القاسم عبد القادر صالح : خبير تربوي
أ. محمد عبد الله خير الله : الخبير الوطني للتعليم الفني

تنقيح وإثراء :

- د. عبد الرؤوف خضر محمد : المركز القومي للمناهج والبحث التربوي
أ. د عصام محمد عبد الماجد : جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا
أ. محمد عثمان عبد الله : جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا
أ. عبد الله محمد علي طه : المدرسة البلجيكية

التصميم والإخراج الفني:

- أ. مجدي محبوب فتح الرحمن : المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

ردمك ISBN 978-99942-53-15-9

مقدمة الطبعة الثانية

انبثقت « العلوم الهندسية » استجابة لمواكبة متغيرات العصر ومفززات العولمة ومنتجات التجارة الإلكترونية وانفتاح السوق ، سيما وتعتمد هذه الأنماط الحياتية على الإنتاج الهندسي الصناعي وترتبط بالتكنولوجيا المهنية وتلك المفرطة في الصغر. ففي إطار تملك نواصي المهنة وامتهان الصناعة لا بد من الامام بالمفاهيم الهندسية ومعرفة المبادئ الفنية إبتداء بلغة الهندسة ولسانها « الرسم الهندسي » بشقيه التقليدي التطبيقي والافتراضي الرقمي مروراً بأشكال الهندسة المتباينة ونظمها المتعددة والتي ظلت و ما برحت في اتساع لعقد تتزين به كافة العلوم الانسانية والاجتماعية والثقافية والتربوية من أمثال الهندسة: المدنية و الميكانيكية و الالكترونية و الحاسوبية والكهربائية والنفطية و التعدينية والزراعية والمعلوماتية والمساحية والمرورية والإيضاحية و المائية والبيئية والصحية والطبية والحيوية والكيميائية والتشييدية والانشائية والمعمارية والبلاستيكية والجلدية والنسيجية والهيدرولوجية والصناعية والبحرية وتقانة المعلومات وتكنولوجيا النانو وهندسة الطرق و الأنفاق و الطيران و المباني و الري و الموارد المائية و الأمن والسلامة و الميكاترونكس و غيرها من مخرجات الهندسة التطبيقية التنموية والتكنولوجيا العصرية المعاصرة من مبتكرات الحاضنات الصناعية وملهمات الدهليز الرقمية والمنتجات التقنية . قال محمود سامي البارودي:

وَلَجَّ هِنْدَسَةٌ تَجْرِي بِحُكْمَتِهِ جَدَاوِلُ الْمَاءِ فِي هَالٍ مِنْ الْأَكْمِ
وَلْنَعْمَلْ مَعَ عَلِي الْجَارِمِ :

عَجَائِبُ صُنْعِ يَصْغُرُ الدَّهْرُ دُونَهَا وَكُلُّ فَعَالٍ الْخَالِدِينَ عُجَابُ

من ثمّ عني منهج « العلوم الهندسية » باختيار نماذج منتقاة لبعض هذه الأنواع المتطورة من الهندسة الميكانيكية و المدنية و الكهربائية و الالكترونية في هذا الطرح الموجز لوصف الطريق الهندسي، وتعبيد المسار التقني، و تبين الاطار المهني، و توضيح القالب الفني بغية تبسيط سحر العلوم الهندسية، وادخال جوهر الفنون المهنية روع الطالب، و تنزيل لب التكنولوجيا في وجدان المتلقي أملاً في استقطاب العقول النيرة ، والأذهان الفطنة، والأدمغة الذكية ، والقلوب المستنيرة ، والأفكار الملهمة ليرتاد بها السودان دنيا التصنيع الراقى ، ويلج بها مجد الابتكار القيم ، ويصل بها لاكتشاف الاختراع المذهل ، وينقش بهافي سجل التاريخ الانساني ، ويتغني ببني الوطن المجد الحضاري ومن ثم

تتقدم الأمة ، وترتقي القبيلة ، وتسمو الأسرة ، ويشمخ الفرد ، و يسطر التاريخ ،
و تصطاد جوائز العلم و المعرفة .
ونقول للطالب مثلما نوه أمير الشعراء أحمد شوقي :
ما زلت تذهبُ في السمو بركنه حتى تجاوز ركنه الجوزاءُ
ولله دره إبراهيم طوقان من قائل :
مرحى لشبان البلاد فما لهم إلا السمو إلى العلى من ديدن
ونشد مقالة أبي عبادة البحراني :
سموٌ إلى أعلى الفعال و خطوة إلى المجد مرمى العين في الجو قيدها
و نرجو مع معروف الرصافي :
شباب مشوا للمكرمات بعزيمة تقاعس عنها الكوكب المتوقد
وبالله التوفيق «...وقل رب زدني علماً»^١ صدق الله العظيم .
سبحانك اللهم ، لا إله إلا أنت نستغفرك ونتوب إليك .
.. المنقحون ..

١ . سورة طه ، الآية ١١٤ .

المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع
	المقدمة
	الباب الأول : أساسيات الرسم الهندسي
١	الإسقاط المتوازي :
١	— توزيع المساقط على ورقة الرسم
١	— رسم المساقط من المنظور المجسم
٧	— تمارين (١-١)
٩	— استنتاج المسقط الثالث بمعلومية مسقطين
١٣	— تمارين (٢-١)
	المنظور الهندسي :
١٤	— المنظور التصويري
١٤	— المنظور المائل على وجهين (الايسومتري)
١٥	— رسم المنظور الايسومتري من مساقط معلومة
١٨	— المنظور المائل على وجه واحد (الأوبليك)
١٨	— رسم المنظور الأوبليك
٢٠	— تمارين (٣-١)
	الإفراد :
٢٣	— رسم مساقط الأسطوانة وإفراد سطحها
٢٤	— رسم مساقط المخروط وإفراد سطحه
٢٦	— رسم مساقط المنشور وإفراد سطحه
٢٨	— المنشور الثلاثي
٢٩	— رسم مساقط هرم سداسي وإفراد سطحه
٣١	— تمارين (٤-١)

	الباب الثاني :أساسيات الهندسة الميكانيكية :
٣٣	الآلات :.....
٣٣	— فوائد الآلات البسيطة
٣٤	— الفائدة الميكانيكية
٣٥	— كفاءة الآلة
٣٥	— الآلة المثالية
٣٦	— نسبة السرعة
٣٨	— الرافعة الميكانيكية
٤٦	— تمارين (١-٢)
٤٨	— البكرات
٥٨	— الملفاف
٦٠	— المستوى المائل
٦٣	— المرفاع اللولبي
٥٦	— تمارين (٢-٢)
	نقل الحركة :
٦٧	— مفهوم الحركة
٧٠	— نقل الحركة بوساطة السيور
٧١	— نقل الحركة بالمسننات
٧٢	— نقل الحركة بالسلال والجننازير
٧٣	— تمارين (٣-٢)
	الآلات التشغيل :
٧٤	— الآلات الثقيب
٧٤	— آلات الثقيب المتحركة
٧٥	— آلات الثقيب الرأسية
٧٥	— آلات الثقيب الدف
٧٦	— آلة الثقيب الحساسة
٧٧	— حساب سرعة القطع لآلات الثقيب
٧٩	— حساب زمن التشغيل
٨٢	— تمارين (٤-٢)

	محركات الديزل
٨٣	— مقدمة
٨٣	— الأجزاء الرئيسية لمحرك الديزل
٨٣	— دورة الديزل الرباعية
٨٥	— نسبة الانضغاط
٨٩	— تمارين (٢-٥)
	الباب الثالث : أساسيات الهندسة الكهربائية
٩١	— الآلات الكهربائية :
٩١	— ماكينات التيار المستمر
٩٢	— أجزاء ماكينات التيار المستمر
٩٤	— معادلة (ق . د . ك) المنتجة في موصلات عضو الإنتاج
٩٦	— تمارين (٣-١)
٩٧	— مواصفات أداء المولد مع الحمل الكهربائي
٩٩	— محرك التيار المستمر
١٠٢	— تمارين (٣-٢)
١٠٤	— مولدات التيار المتردد :
١٠٤	— مقدمة
١٠٤	— مقدار (ق . د . ك) المنتجة في مولد التيار المتردد
١٠٥	— أثر الأقطاب المغناطيسية والسرعة على التردد
١٠٨	— تمارين (٣-٣)
١٠٩	— دوائر التيار المتردد
١٠٩	— التيار المتردد
١١٣	— التيار المتردد في دائرة بها مواسعة فقط
١١٣	— المفاعلة السعوية
١١٤	— التيار المتردد في دائرة بها محاثة فقط
١١٥	— المفاعلة الحثية
١١٦	— التيار المتردد في دائرة بها مواسعة ومقاومة موصلتا على التوالي
١٢١	— تمارين (٣-٤)

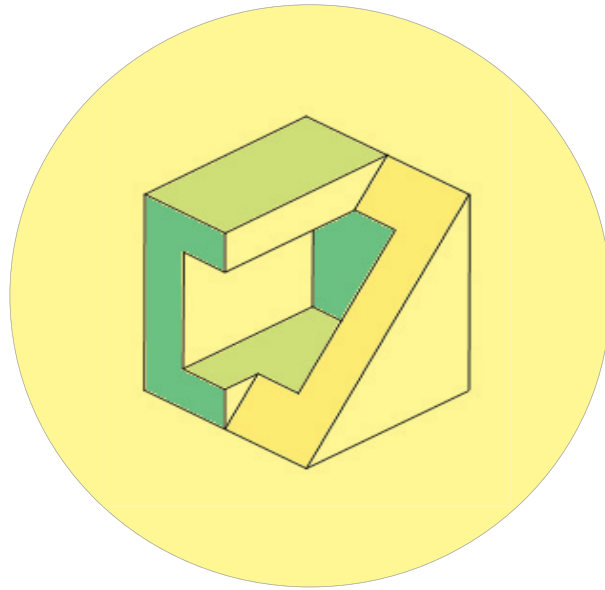
١٢٢	مولد التيار المتردد ثلاثي الأطوار
١٢٢	— أنواع مولدات التيار المتردد ثلاثي الأطوار.....
١٢٤	— تقنين المولدات
١٢٤	— توليد القدرة في مولدات التيار المتردد ثلاثي الأطوار
١٢٥	— توصيل أطراف المولد.....
١٢٨	— تمارين (٥-٣)
١٢٩	المحولات :
١٢٩	— أجزاء المحول الرئيسية.....
١٣١	— فكرة عمل المحول ومعادلات المحول
١٣٤	— فواقد المحول والكفاءة
١٣٥	— أنواع المحولات.....
١٣٧	— تمارين (٦-٣)
١٣٨	هندسة الإلكترونيات :
١٣٨	— الثنائي الداود.....
١٣٨	— أنواع الثنائي
١٣٩	— تطبيقات الثنائي.....
١٤١	الترانزستور :
١٤٣	— تمارين (٧-٣)

١٤٧	الباب الرابع : أساسيات الهندسة المدنية
١٤٧	— تعريفات ومصطلحات
١٤٨	— محصلة القوة
١٥٠	— تحليل القوة
١٥٤	— العزوم
١٥٧	— تمارين (١-٤)
	أساسيات هندسة الإنشاءات :
١٥٨	— الاتزان السكوني (الإستاتيكي)
١٦٠	— تمارين (٢-٤)
١٦١	— الجملونات
١٦٧	— تمارين (٣-٤)
١٦٨	— تحليل الجملون
١٧٢	— قوى القص
١٧٧	— تمارين (٤-٤)
١٧٨	أساسيات هندسة الموائع :
	— مقدمة
١٧٩	— قانون الغاز المثالي
١٨٢	— تمارين (٥-٤)
١٨٣	— الموائع الساكنة
١٨٤	— أجهزة قياس الضغط
١٩٠	— تمارين (٦-٤)
	التساقط :
١٩٤	— قياس التساقط
١٩٥	— التوزيع المساحي للإمطار
١٩٦	— تمارين (٧-٤)
٢٠٠	

٢٠٢	أساسيات هندسة الطرق والمرور
٢٠٢	— مقدمة
٢٠٤	— التخطيطي
٢٠٦	— السرعة
٢٠٨	— مسافة النظر للتجاوز
٢٠٩	— الانحناء الأفقي
٢١٤	— تمارين (٤-٨)

الباب الأول

أساسيات الرسم الهندسي



الباب الأول

أساسيات الرسم الهندسي

(١-١) الإسقاط المتوازي Orthographic Projection

(١-١-١) توزيع المساقط على ورقة الرسم :

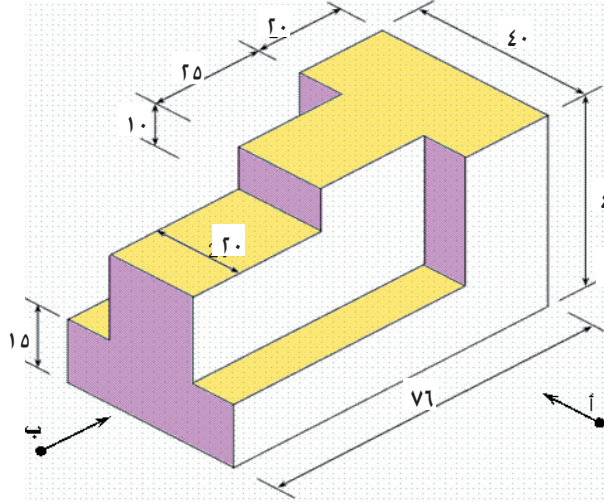
عند رسم مساقط أي جسم يجب إتباع الخطوات التالية :

- ١ . تثبت ورقة الرسم على اللوحة بضبطها بالمسطرة (حرف T) حتى تكون حافة الورقة متطابقة مع سلاح المسطرة حرف (T) تماماً ، ثم تثبت الورقة على اللوحة بواحدة من طرق التثبيت المعروفة (الدبوس أو ورق اللزق أو المشابك) وبذلك يمكن رسم خطوط أفقية متوازية على ورقة الرسم عن طريق المسطرة حرف (T) في أي مكان من الورق . كما يمكن رسم خطوط رأسية متوازية أو خطوط مائلة على زوايا ٣٠° ، ٤٥° ، ٦٠° ، أو ٩٠° باستخدام المثلثين (٣٠° / ٦٠°) أو (٤٥°) مع المسطرة حرف (T) في الوضع الصحيح .
- ٢ . يرسم إطار على الورقة يبعد عن حوافها بمقدار ١٠ ملم .
- ٣ . تدرس مساقط الجسم بصورة أولية لتحديد أبعاد المساقط على الورقة .
- ٤ . تحسب الأبعاد في ورقة غير ورقة الرسم لمعرفة توزيع المساقط على الورقة ، بحيث تكون الفراغات بين المساقط متساوية بقدر الإمكان ، ويكون مظهر المساقط مترابطاً ومتناسقاً .
- ٥ . يرسم في الجانب الأسفل من الورقة على الناحية اليمنى جدولاً صغيراً يبين اسم المدرسة واسم الطالب والصف واسم اللوحة ورقم اللوحة ومقياس الرسم والتاريخ ، لا يتعدى طول هذا الجدول ٢٠٠ ملم ويكون ارتفاعه ٢٠ مم .

(٢-١-١) طريقة رسم المساقط من المنظور المجسم :

عندما يراد رسم مساقط أي منظور يجب إتباع الخطوات التالية :

- ١ . دراسة المنظور بصورة عامة لتحديد أبعاده الرئيسية (الطول ، العرض والارتفاع) .
- ٢ . تحديد طريقة توزيع المساقط على ورقة الرسم حتى تكون متناسقة ومترابطة .
- ٣ . الانتباه للتعليمات المطلوبة لنظام الإسقاط (الزاوية الأولى ام الثالثة) .
- ٤ . تحديد أسهم النظر إلى المنظور لتحديد موقع المسقط الجانبي (أيمن ام أيسر)

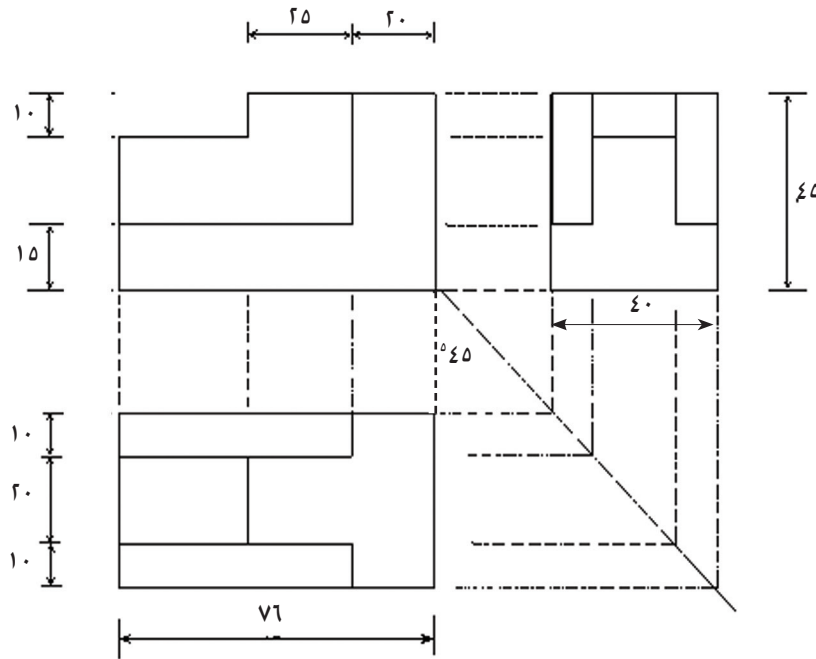


مثال (١-١) :

من المنظور في الشكل (١-١) وينظام الزاوية الأولى ارسـم مسقطاً رأسياً ٤٥ ناظراً في اتجاه السهم (أ) ، ومسقطاً جانبياً في اتجاه السهم (ب) ، ثم مسقطاً أفقياً . المقاسات بالمليمتر ومقياس الرسم ١ : ١ .

شكل (١-١) منظور ايسومتري

الحل :

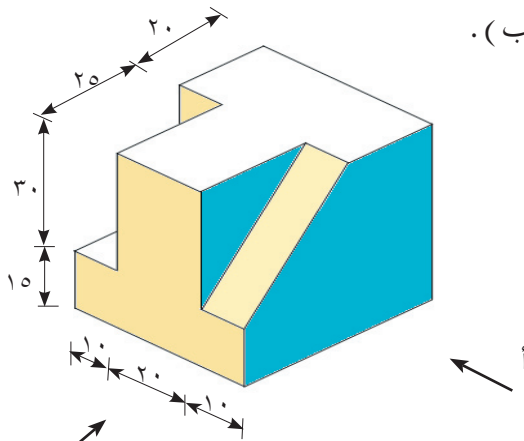


شكل (٢-١) : مساقط مرسومة بالزاوية الأولى

مثال (۱-۲) :

من المنظور في الشكل (١-٣) ارسم بمقياس رسم كامل الأتي :

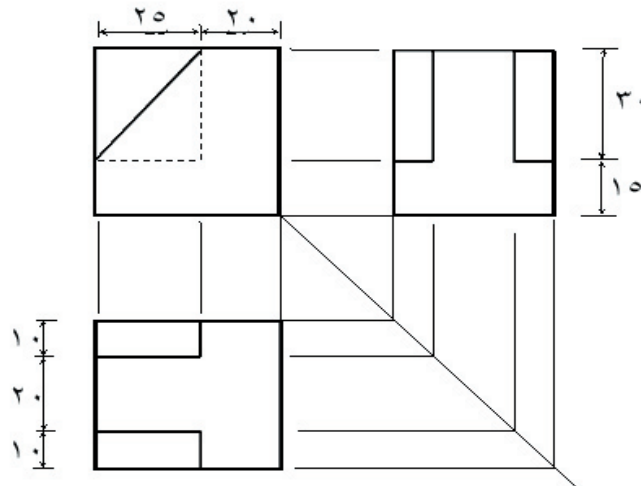
- ١- مسقطاً أمامياً في اتجاه السهم (أ) .
 - ٢- مسقطاً جانبي في اتجاه السهم (ب) .
 - ٣- مسقطاً أفقياً .
- (المقاسات بالملليمتر) .



شکل (۱-۳) : منظور له سطح مائل

(المقاسات بالملمتر).

الحل :



شكل (١ - ٤) : مساقط المنظور

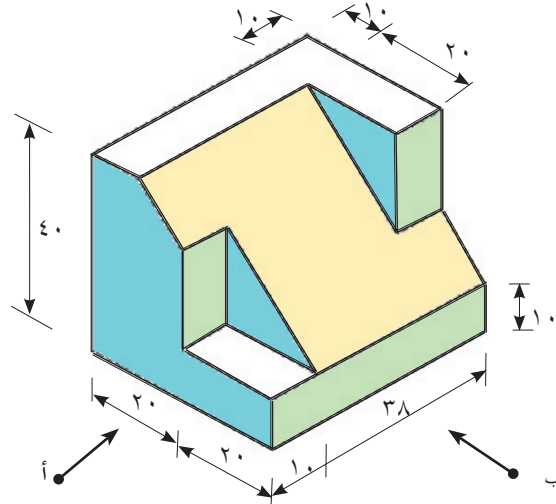
مثال (٣-١) :

ارسم من المنظور المبين في شكل (٥-١) وبمقياس رسم كامل الآتي :

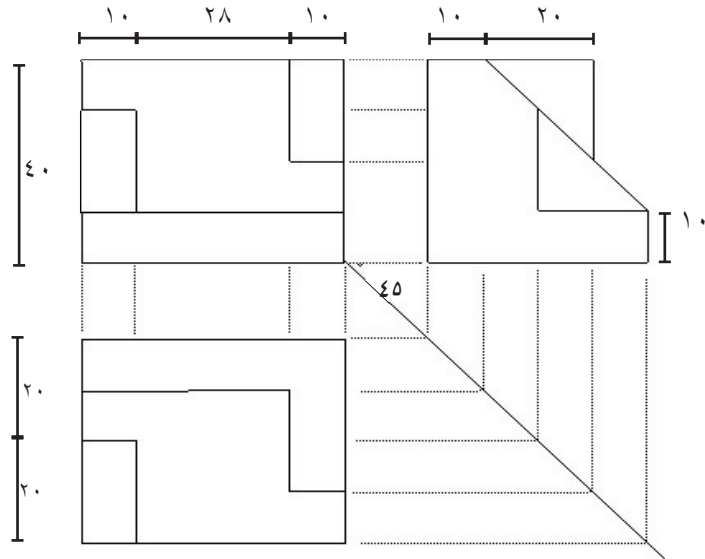
١. مسقطاً جانبياً في اتجاه السهم (أ).

٢. مسقطاً أفقياً.

٣. مسقطاً رأسياً.

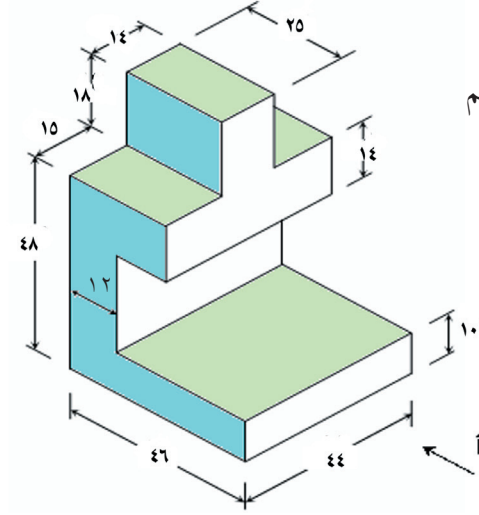


شكل (٥-١) : منظور ايسومتري



الحل :

شكل (٦-١) : المساقط الرئيسية الثلاثة للمنظور

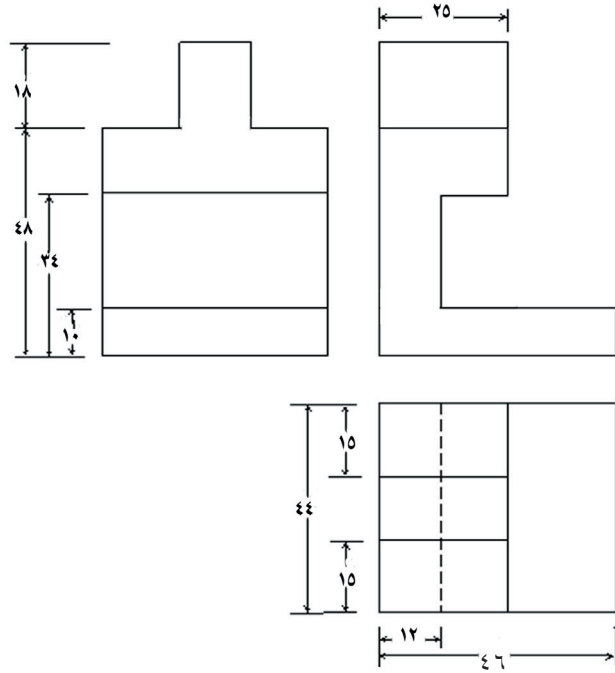


مثال (١-٤) :

من المنظور في شكل (١-٧) أرسم
مسقط جانبياً في اتجاه السهم (أ)
و مسقط امامياً، و مسقط أفقياً.
كل المقاسات بالمليمتر.
مقياس الرسم ١:١

شكل (١-٧) : منظور ايسومتري

الحل :



شكل (١-٨) مساقط المنظور .

مثال (١-٥) :

من المنظور في الشكل (١-٩) أرسم بمقياس

رسم ١ : ١ المساقط الآتية مستخدماً نظام

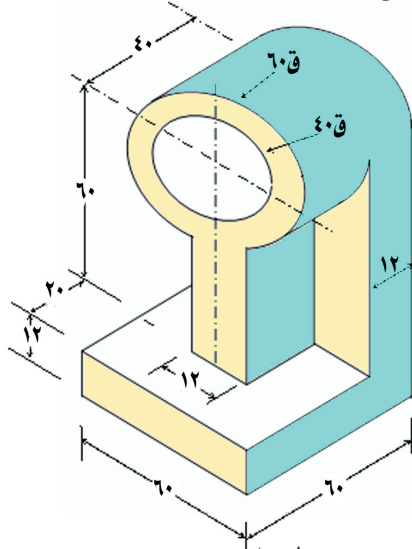
الزاوية الأولي :

١ . مسقط أمامي أيمن .

٢ . مسقط جانبي .

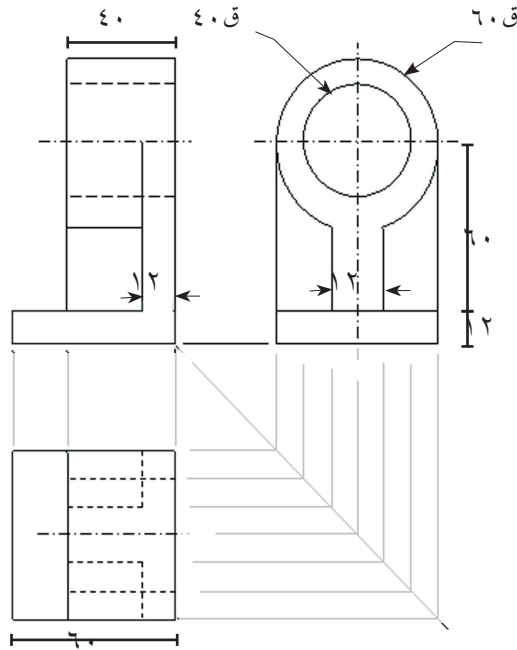
٣ . مسقط أفقي .

كل المقاسات بالمليمتر .



شكل (١-٩) : منظور ايسومتري

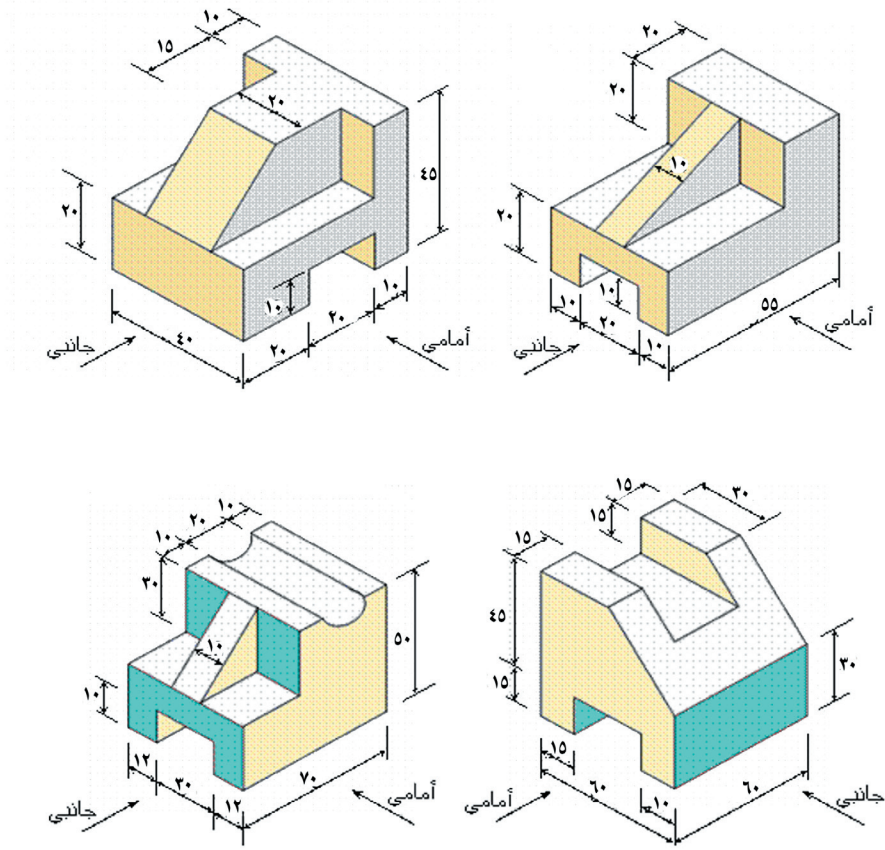
الحل :



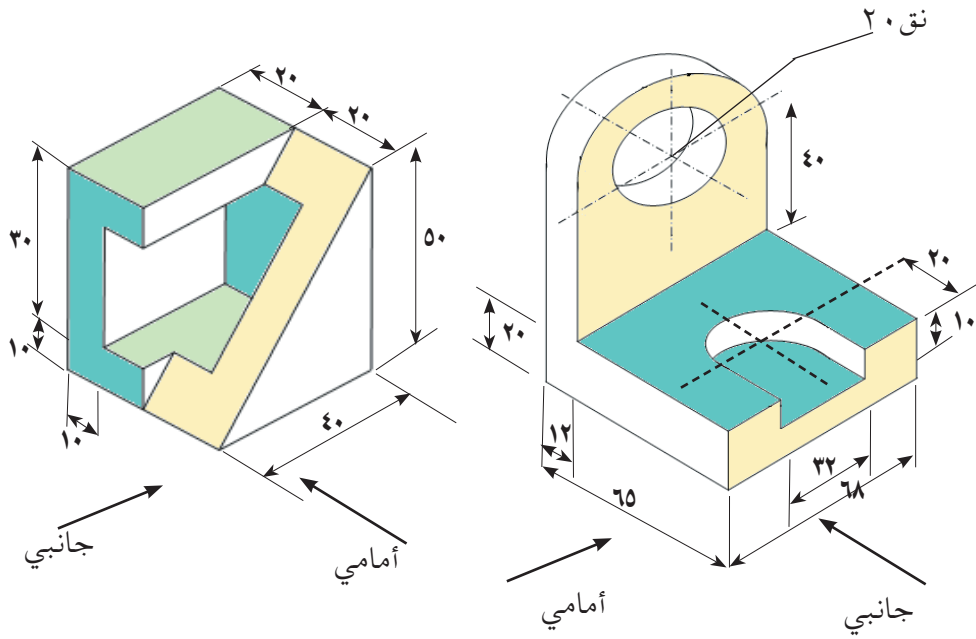
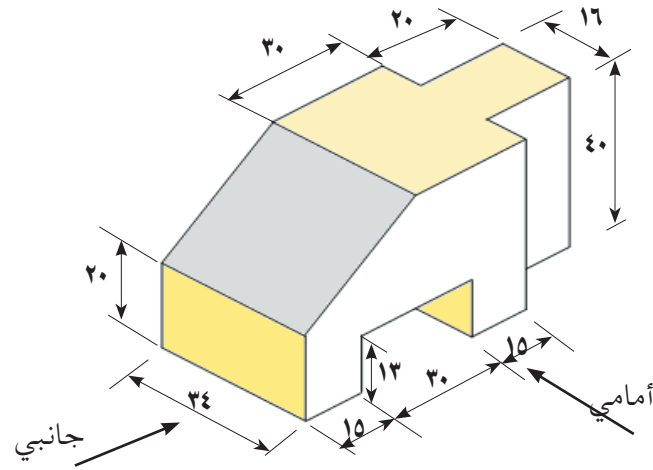
شكل (١-١٠) : المساقط الرئيسة للمنظور

تمارين (١-١)

١. ارسم من الأشكال الهندسية المجسمة الموضحة بالشكل (١١-١) التالي بمقياس رسم كامل المساقط الرأسية والأفقية والجانبية ناظراً من الأسهم الموضحة أمام كل من الأشكال . بين المقاسات على المساقط .



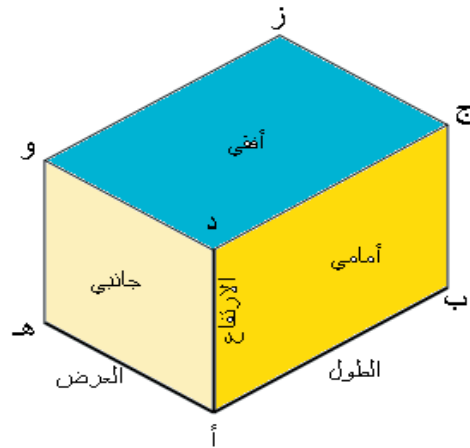
شكل (١-١) : (أ)



شكل (١١-١) : (ب)

(٣-١-١) استنتاج المسقط الثالث بمعلومية مسقطين :

المنظور الهندسي في شكله البسيط ، عبارة عن مكعب يتكون من ستة سطوح مستوية، كل سطح يتعامد مع الذي يجاوره ويوازي الذي لا يجاوره. الشكل (١٢-١) يبين منظور هندسي بسيط (مكعب).



شكل (١٢-١) : منظور هندسي بسيط

من الشكل (١٢-١) يلاحظ أن للمنظور ثلاثة أبعاد رئيسية (الطول والعرض والارتفاع) تتكون منها المساقط الرئيسية (الأمامي والأفقي والجانبي).
المسقط الأمامي (الرأسي) يحده الطول والارتفاع، المسقط الجانبي يحده العرض والارتفاع، المسقط الأفقي يحده الطول والعرض. وبمعرفة أي مسقطين من الثلاثة مساقط يمكن معرفة أبعاد المنظور الرئيسية الثلاثة كلها. وعليه يمكن استخدامها في رسم (استنتاج) المسقط الثالث.

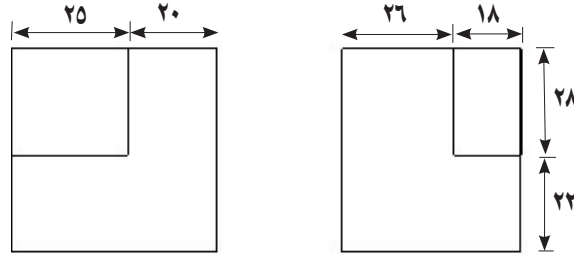
لاستنتاج المسقط الثالث من مسقطين معلومين يجب مراعاة الاتي :
أولاً : دراسة نقاط تحديد الأبعاد في المسقطين المعلومين بدقة، وربط كل نقطة أو خط أو سطح في أحد المسقطين المعلومين بصورتها في المسقط المعلوم الآخر حتى يمكن استنتاج المسقط المطلوب بإسقاط النقاط المختلفة.

ثانياً: أي سطح يوازي أي مستوى يظهر بشكله الحقيقي وأبعاده الحقيقية سواء أكان الشكل منتظماً أم غير منتظم بينما يظهر على المستويين الآخرين كخط فقط. أما إذا كان السطح مائلاً على أي مستوى فإنه لا يظهر بشكله الحقيقي وأبعاده الأصلية على جميع المستويات.

مثال (١-٦) :

استنتج المسقط الأفقي من المسططين الأمامي والجانبى المبيين في الشكل

(١-١٣).



الشكل (١-١٣) : مسططين أمامي وجانبى .

الحل :

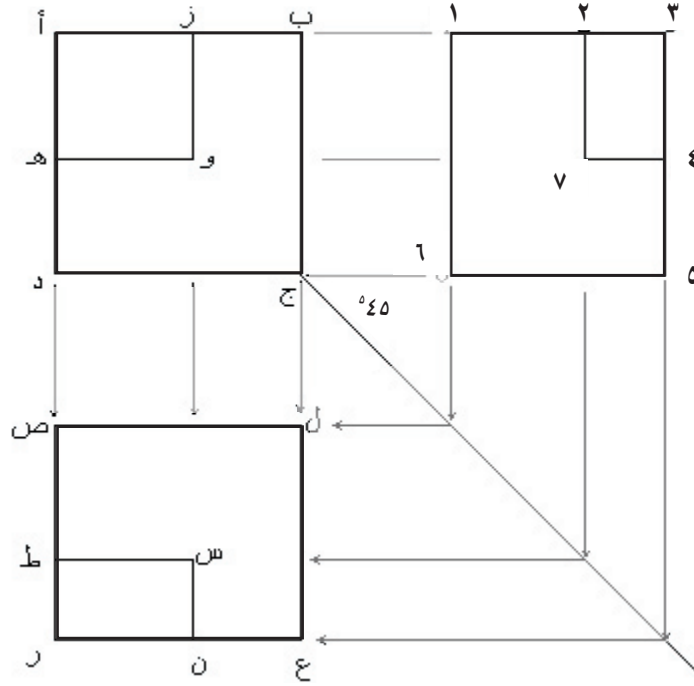
ارسم المسططين الأمامي والأفقي ثم سمي المسقط الأمامي (أ ب ج د هـ و ز) ،
و المسقط الجانبى (١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧) ، كما بالشكل (١-١٣) . ادرس المسططين
بعناية ستجدهما مسقطان لمنظور يتكون من جزئين .

الجز الأول مسقطه الأمامي (أ ب ج د) ومسقطه الجانبى (١ ٢ ٣ ٤)
المسقطين لهما نفس الارتفاع .

الجز الثانى مسقطه الأمامي (أ ز و هـ) ومسقطه الجانبى (٢ ٣ ٤ ٥)
المسقطين لهما نفس الارتفاع .

اسقط نقاط الجزء الأول (أ ب ج د) و (١ ٢ ٣ ٤) في اتجاه موقع المسقط
الأفقي المراد رسمه، ستجد خطوط الإسقاط هذه تتقاطع في أربع نقاط سمها
(ل ص ر ع) . النقاط (ل ص ر ع) تمثل المسقط الأفقي للجزء الأول .

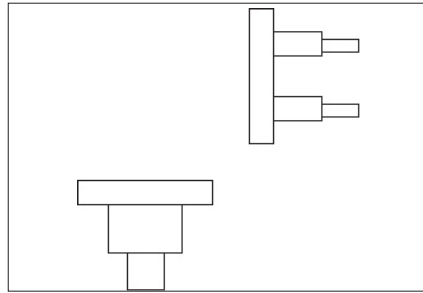
اسقط نقاط الجزء الثانى (أ ز و هـ) و (٢ ٣ ٤ ٥) في اتجاه موقع المسقط الأفقي
المراد رسمه، ستجد خطوط الإسقاط هذه تتقاطع أيضاً في أربع نقاط أخرى سمها
(س ط ر ن) . النقاط (س ط ر ن) تمثل المسقط الأفقي للجزء الثانى . بذلك يكون المسقط
الأفقي للمنظور قد اكتمل كما في الشكل (١-١٤) .



الشكل (١٤-١) إستنتاج المسقط الثالث .

مثال (٧-١) :

جد المسقط الرأسي من المسقطين الجانبي والأفقي المبينين في الشكل (١٥-١) .

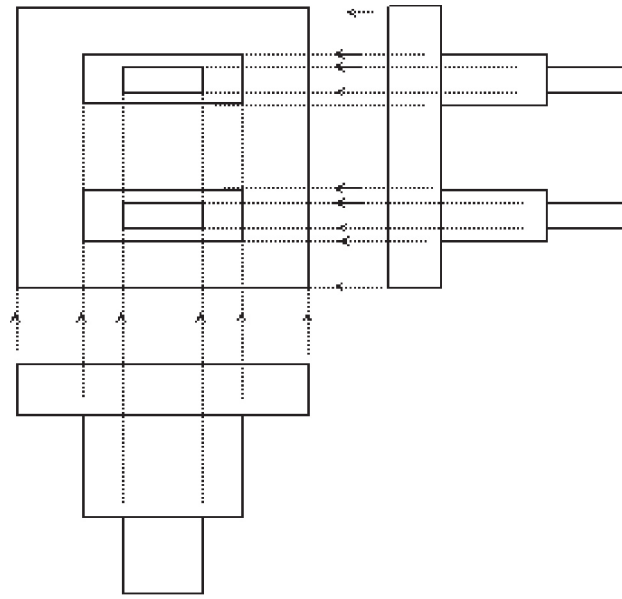


شكل (١٥-١) : مسقطين أفقي وجانبي

الحل :

لإيجاد المسقط الرأسي لا حاجة لاستعمال البرجل أو طريقة النقل على خط مائل على زاوية ٤٥ درجة كما في حالتني إيجاد المسقطين الأفقي والجانبي .

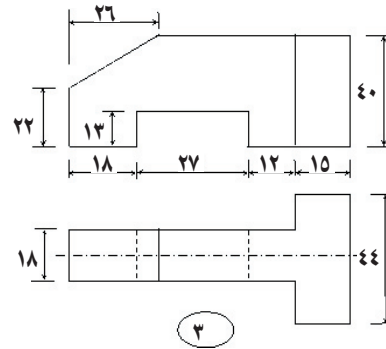
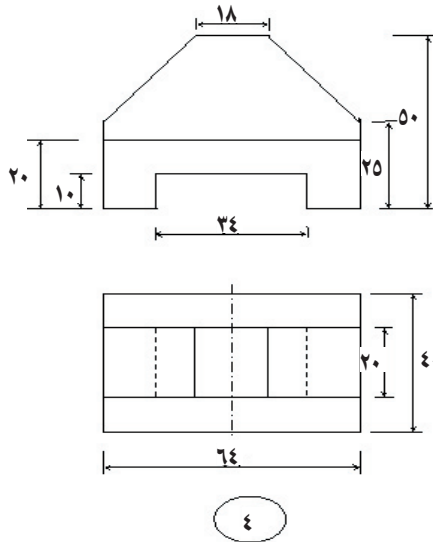
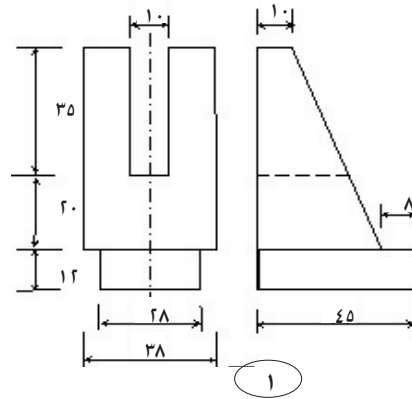
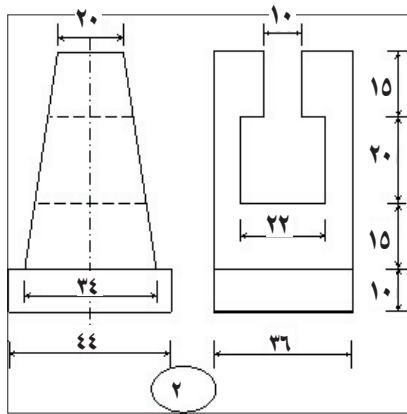
١. ارسم خطوط إسقاط أفقية من نقاط حدود المسقط الجانبي إلى موقع المسقط الرأسي.
٢. ارسم خطوط إسقاط رأسية من نقاط حدود المسقط الأفقي لتتقاطع مع الخطوط الأفقية المسقطة من المسقط الجانبي.
٣. بعد دراسة المسقطين الجانبي والأفقي جيداً، صل نقاط التقاطع بخطوط ظاهرة لتحصل على المسقط الرأسي كما مبين في الشكل (١ - ١٦).



شكل (١-١٦) : استنتاج المسقط الثالث .

تمارين (٢-١)

استنتج من كل مسقطين معطيين المسقط الثالث المفقود مع وضع المقاسات الصحيحة في الثلاثة مساقط بتوزيع مناسب . جميع المقاسات بالمليمتر :



شكل (١-١٧)

(٢-١) المنظور الهندسي

المنظور عبارة عن هيكل أو مجسم هندسي يبين الأوجه المختلفة للجسم في رسم واحد، ويظهر الشكل وكأنه في صورته الحقيقية التي نراه بها في الطبيعة. ويساعد على فهمه بصورة كاملة شاملة. وللمنظور الهندسي ثلاثة أنواع رئيسية :

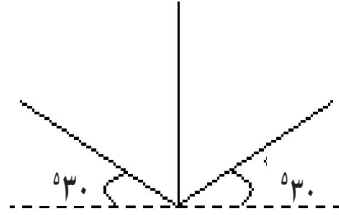
١. المنظور الفوتوغرافي أو التصويري.
٢. المنظور المائل على وجهين على زاوية 30° (إيسومتري).
٣. المنظور المائل على وجه واحد على زاوية معينة.

(١-٢-١) المنظور التصويري : Perspective

يرسم المنظور التصويري على حسب رؤية العين المجردة للجسم ، وفيه تظهر الأجزاء القريبة من النظر اكبر من الأجزاء البعيدة ، وتظهر فيه كذلك الأجزاء المتوازية متقاربة ، وتتقابل إذا بعدت عن النظر وامتدت على استقامتها. هذا النوع من المنظور لا يصلح في الرسوم التنفيذية إذ انه لا يبين الأبعاد الحقيقية للشكل.

(٢-٢-١) المنظور المائل على وجهين (الأيسومتري) : Isometric

يُرسم هذا المنظور على ثلاثة محاور رئيسة أحداها رأسي والآخران يميل كل منهما على الخط الأفقي بزاوية مقدارها 30° درجة كما بالشكل (١-١٨). على هذه المحاور الثلاثة يقاس طول الشكل وعرضه وارتفاعه.



شكل (١-١٨) : المحاور الرئيسة للأيسومتري

عند رسم المنظور ذا الوجهين المائلين (الأيسومتري) لا ضرورة لرسم خطوط الحواف غير المرئية إلا بمقدار توضيح الأجزاء غير الظاهرة من الجسم.
من خصائص المنظور الأيسومتري الآتي :

١. كل الارتفاعات ترسم عمودياً.

- ٢ . كل المقاسات الطولية والعرضية ترسم بزاوية مقدارها 30° على الخط الأفقي .
 - ٣ . الارتفاعات والمقاسات العرضية ترسم بنفس مقياس الرسم .
 - ٤ . الحواف المتوازية للجسم الأصلي ترسم متوازية في الأيسومتري .
 - ٥ . من السهل بناء هيكل الجسم مبتدئاً من الركن الأمامي الأسفل .
- يحتاج رسم المنظور لمعرفة مسقطين فقط من الثلاثة مساقط الرئيسة لاحتوائها على جميع الأبعاد .

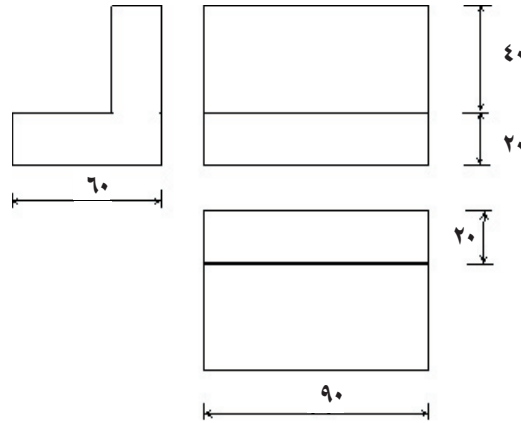
(٣-٢-١) طريقة رسم المنظور الايسومتري من مساقط معلومة :

لرسم المنظور الأيسومتري المائل على زاوية 30° يُتبع الخطوات التالية :

- ١ . ادرس المساقط من حيث :
 - أ . نظام الرسم (الزاوية الأولى أم الزاوية الثالثة) .
 - ب . حدد الأبعاد الكلية للشكل من حيث الطول والعرض والارتفاع .
 - ج . حدد المنظور المجسم المطلوب من حيث الميل (30° ، 45°) .
- ٢ . أبدا برسم المسقط الأوضح والأسهل للمنظور بخطوط راسية وأخرى مائلة على الأفقي بزاوية مقدارها 30° (نحو اليمين أو اليسار حسب موقع المسقط في المنظور) .

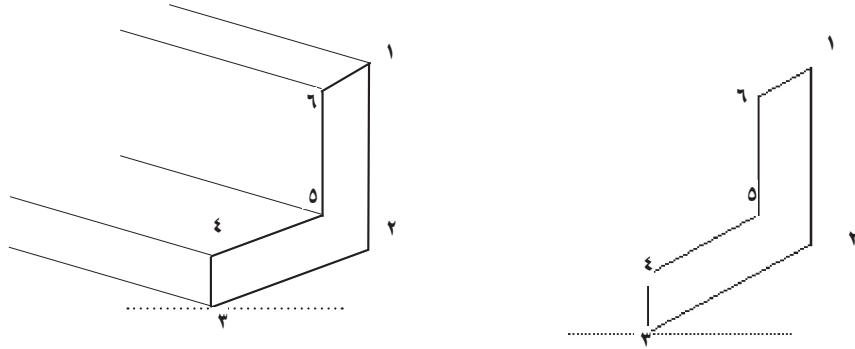
مثال (٨-١) :

ارسم المنظور المجسم المائل على زاوية 30° (الأيسومتري) للمساقط المبينة في شكل (١٩-١) موضحاً عليها جميع المقاسات .



شكل (١٩-١) : ثلاثة مساقط لمنظور رُسمت بالزاوية الأولى

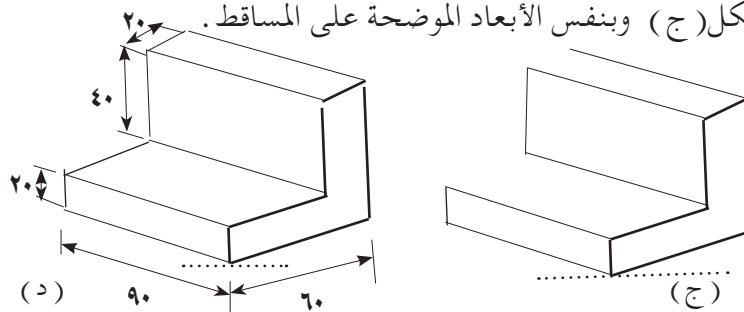
١. أ. نظام رسم المساقط أعلاه نظام الزاوية الأولى .
 ب. الأبعاد الكلية للشكل ٩٠ مم، ٦٠ مم، ٦٠ مم.
 ج. المنظور المجسم المطلوب (٣٠°، ٣٠°).
 ٢. المسقط الأكثر وضوحاً والأسهل لهذا المنظور هو المسقط الجانبي الأيمن. إذن سيبدأ رسم المنظور يرسم هذا المسقط بخطوط عمودية وأخرى مائلة على الأفقي بزاوية مقدارها ٣٠° نحو اليمين. وسنُرقم جميع نقاطه، كما مبين في الشكل (أ) أدناه.



(ب)

(أ)

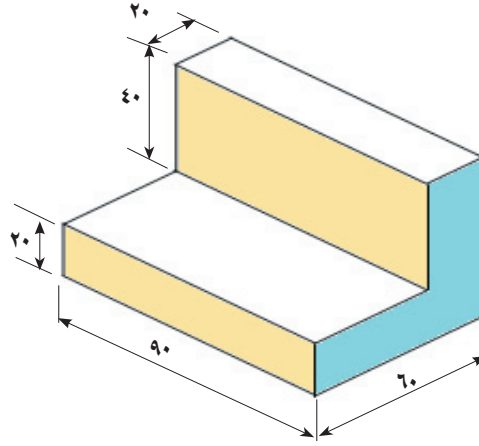
٣. من النقاط (١، ٣، ٤، ٥، ٦) ارسم خطوطاً مائلة على الخط الأفقي بزاوية ٣٠° نحو اليسار كما بالشكل (ب) الموضح أعلاه. هذه الخطوط تمثل الخطوط الأفقية للمسقط الأمامي.
 ٤. ادرس المسقط الأمامي جيداً وحاول ربطه مع الشكل (ب). ستجد ان المسقط الأمامي يتكون من مستطيلين وان الخط (٣، ٤) في الشكل (ب) يمثل ارتفاع المستطيل السفلي للمسقط الأمامي بينما الخط (٥، ٦) يمثل ارتفاع المستطيل العلوي. مستفيداً من الخطين (٣، ٤) و (٥، ٦) ارسم المستطيلين كما موضح بالشكل (ج) وبنفس الأبعاد الموضحة على المساقط.



(د)

(ج)

٥. الآن وضحت صورة الشكل الايسومتري. أكمل السطوح الأفقية للمنظور من الخيال دون الرجوع للمسقط الأفقي كما موضح بالشكل (د). (الخطوط الرئيسة التي يتكون منها المسقط الأفقي ترسم جميعها في المنظور الايسومتري مائلة بزاوية ٣٠° نحو اليمين أو نحو اليسار.) ثم ارجع للمسقط الأفقي للتحقق من رسمك .
٦. ضع المقاسات الأساسية بصور جيدة على المنظور كما بالشكل (٢٠-١).



شكل (٢٠-١) : رسم المنظور الآيسومتري

(١-٢-٤) المنظور المائل على وجه واحد (الاوليليك) : Oblique

يؤدي المنظور المائل على وجه واحد نفس الأغراض التي يؤديها المنظور المجسم المائل على وجهين. والمنظور المائل على وجه واحد شبيه بالمنظور المائل على وجهين حيث أنه يبنى على ثلاثة محاور تؤخذ عليها المقاسات (الطول والعرض والارتفاع) اثنان من هذه المحاور يكونان زاوية قائمة، أما المحور الثالث فيميل على الخط الأفقي بأي زاوية (مثلاً ٣٠° أو ٤٥° أو ٦٠°).

سمات المنظور المائل على وجه واحد (الاوليليك) :

أ. تظل الخطوط العمودية في الجسم الأصلي عمودية عند رسم هذا المنظور.
ب. الخطوط الأفقية لأحد وجهي الجسم الأصلي تظل أفقية عند رسم المنظور.

ج. أما الخطوط الأفقية للوجه الآخر للجسم الأصلي فترسم على ميل أي زاوية ولكن يفضل أن تكون ٤٥ درجة ، ويرسم الوجه المائل بنصف المقياس الحقيقي عند اختيار الميل بزاوية ٤٥ درجة أو ثلثي المقاسات الحقيقية عند اختيار ميلان الوجه على زاوية ٣٠ درجة أو ثلث المقاس الأصلي للوجه في حالة اختيار ميلان الوجه على زاوية ٦٠ درجة. لذلك ينصح أن يؤخذ طول الجسم (الوجه الأطول) على هذا الوجه المائل حتى لا يختل شكل الجسم كثيراً.

(١-٢-٥) طريقة رسم المنظور الاوليليك :

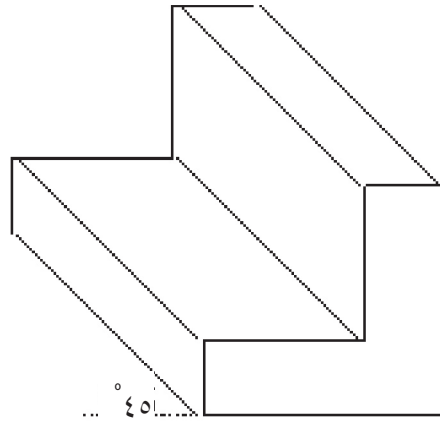
مثال (١-٩) :

من المساقط المبينة في المثال (١-٨) شكل (١-١٩) السابق ارسم المنظور الاوليليك المجسم المائل على زاوية مقدارها ٤٥° .

الحل :

١. ارسم المحاور الثلاثة للجسم بحيث يكون محور أفقي وآخر رأسي ويميل المحور الثالث على الخط الأفقي بزاوية مقدارها ٤٥° .
٢. حدد الأبعاد على هذه المحاور (الطول والعرض والارتفاع) بحيث يؤخذ نصف المقاس الحقيقي في الجسم الأصلي على المحور المائل ويفضل أن يكون الطول.

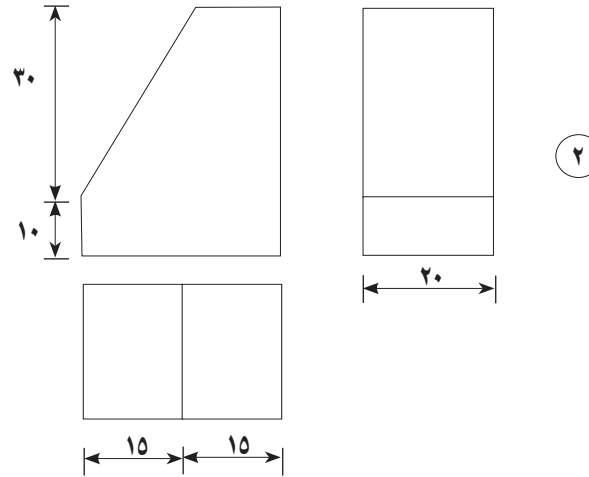
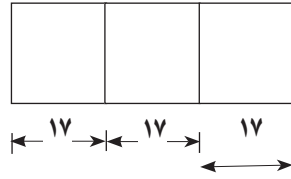
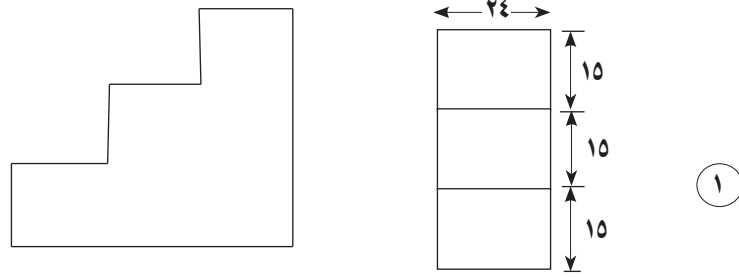
٣. حدد المسقط الأسهل والأكثر تعبيراً ووضوحاً (المسقط الأيمن) لبدأ الرسم ثم اتبع نفس الخطوات التي أُتبعَت في المثال السابق للحصول على المنظور الاوبليك المطلوب كما موضح بالشكل (٢٢-١).

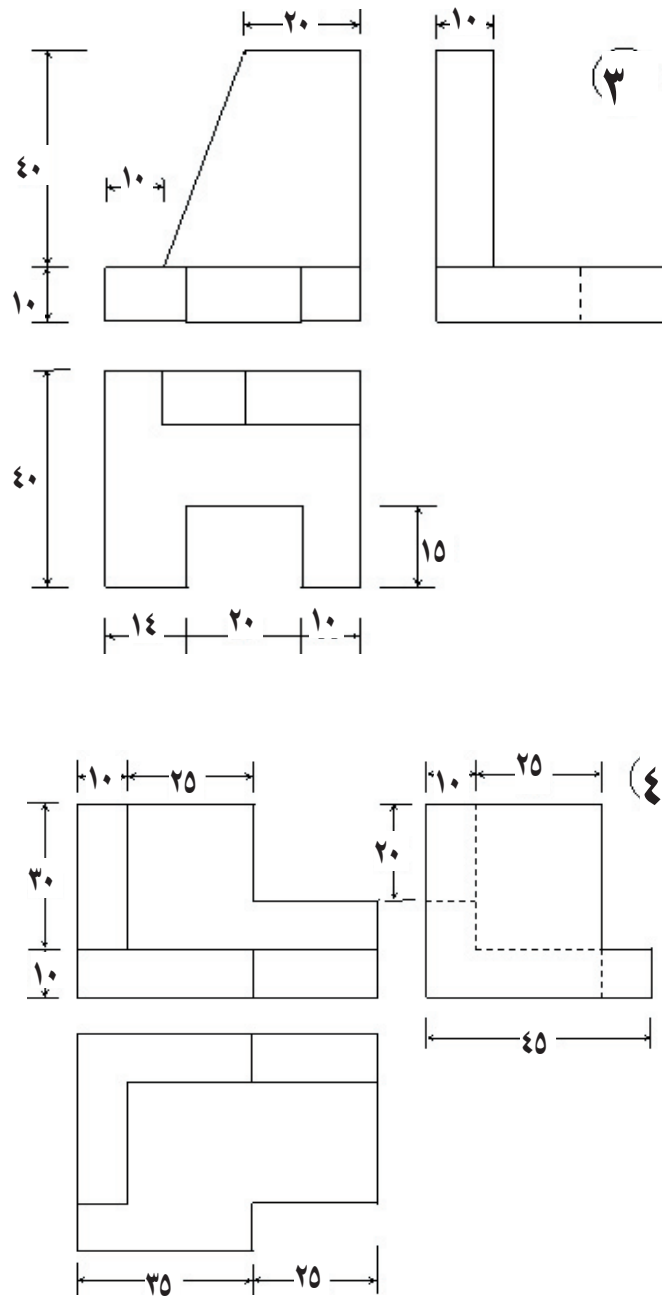


الشكل (٢٢-١) المنظور الاوبليك.

تمارين (٣-١)

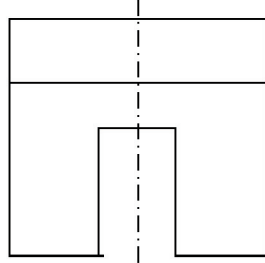
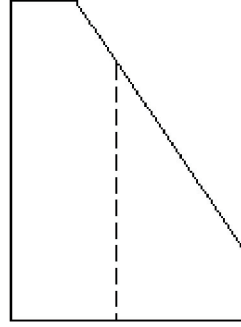
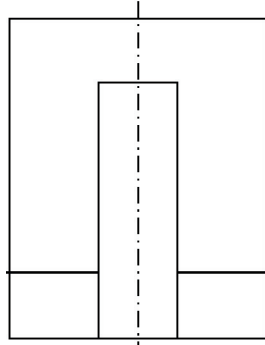
ارسم المنظور الايسومتري والمنظور الاوبليك المائل بزاوية 45° للأشكال (٢٣-١) التالية مع اختيار الأبعاد المناسبة إن لم توجد .





شكل (٢٣-١)

٥



ضع مقاسات مناسبة

Developments (٣-١) الأفراد

يُقصد من عملية الأفراد بسط السطوح الخارجية لجسم من الأجسام المراد تصنيعها من الصفائح المعدنية، والورق، وغيرها. وتتم عملية البسط لهذه السطوح على مستوى واحد لبيان أشكالها الحقيقية.

قد يلزم أحيانا في الحياة العملية تصنيع نموذج لجسم معين يُفَصَّل من الصفيح ثم يُلف ويُنشئ بعدها ليشكل النموذج المطلوب. ولعملية الأفراد هذه أهمية كبيرة في الرسم الهندسي لتكوين أوجه النماذج وقصها من ألواح الصفيح الخام. وذلك لإعدادها للوصل واللحام اللازمين. يجب أن تراعى النواحي الاقتصادية في عملية القص بان يتم بأقل ما يمكن من ضياع في المواد الخام.

يمكن رسم أفراد الأجسام ذوات السطوح المنحنية إذا كان من بين مقاطعها مقطع على شكل خطوط مستقيمة كالاسطوانة والمخروط مثلاً. ويستنتج من ذلك ان الكرة لا يمكن رسم أفرادها لان كافة مقاطعها عبارة عن دوائر ولا تحتوي على خطوط مستقيمة.

(١-٣-١) طريقة رسم مساقط الاسطوانة وافراد سطحها :

الاسطوانة مجسم منشوري قاعدته وقمته عبارة عن دائرتين متساويتين وجوانبه سطح منحنى بانتظام.

أ- لرسم مساقط الاسطوانة نتبع الخطوات التالية :

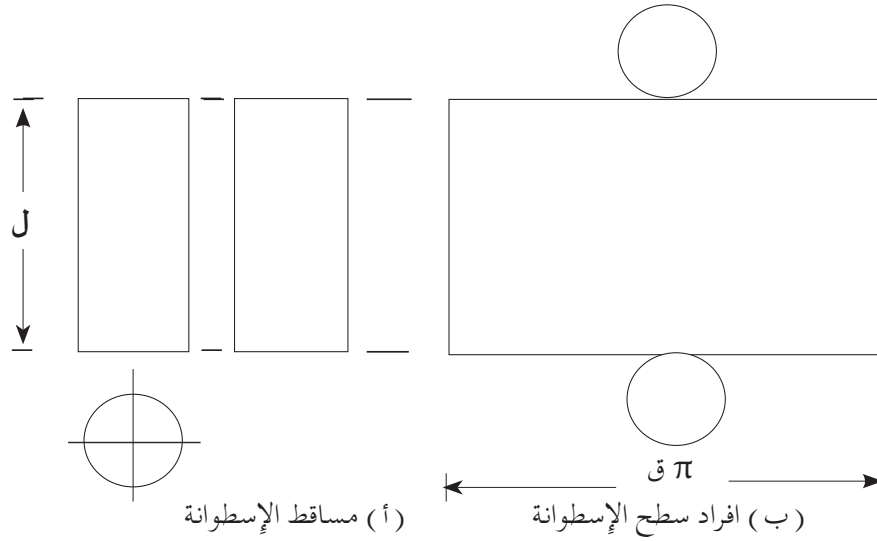
١. ارسم دائرة قطرها يساوي قطر قاعدة الاسطوانة لتمثل المسقط الأفقي للأسطوانة.

٢. اسقط عمودين من طرفي قطر الدائرة في اتجاه المسقط الأمامي.

٣. حدد ارتفاع الاسطوانة في العمودين ثم صلها بخطوط أفقية ، وبذلك يصبح إسقاط الاسطوانة في المسقط الأمامي عبارة عن مستطيل عرضه قطر الاسطوانة وارتفاعه ارتفاع الاسطوانة.

٤. لا يختلف شكل المسقط الجانبي للأسطوانة عن شكل المسقط الأمامي في شيء ، إذ أن عرض المسقط الجانبي هو قطر الاسطوانة بينما ارتفاعه هو نفس ارتفاع المسقط الأمامي كما مبين - انظر المثال التالي .

ب- يرسم أفراد الاسطوانة بقطعها عند أي خط على سطحها يوازي محورها. وان أفراد السطح الجانبي للاسطوانة عبارة عن مستطيل طوله يساوي محيط الاسطوانة (2π نق) أو (π ق)، وارتفاعه (ل) هو ارتفاع الاسطوانة كما هو واضح من الشكل (٢٤-١).



شكل (٢٤-١) : مساقط وأفراد الإسطوانة.

تمرين :

ارسم المساقط الثلاثة الأفقي، والرأسي، والجانبي لاسطوانة قائمة قطرها ٣٠ مم وارتفاعها ٥٠ مم. ثم ارسم أفراد سطحها.

(٢-٣-١) طريقة رسم مساقط المخروط وأفراد سطحه :

المخروط مجسم منشوري قاعدته دائرة وقمته نقطة وله سطح منحنى بانتظام بين القمة والقاعدة.

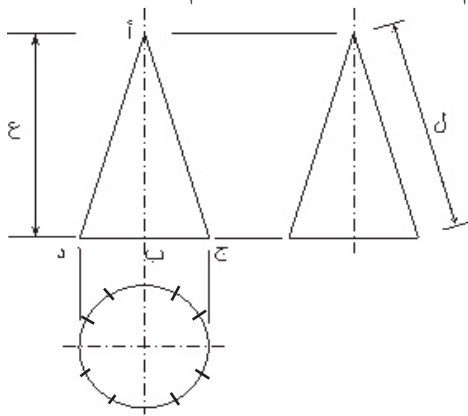
أ- لرسم مساقط المخروط نتبع الخطوات التالية :

١. ارسم قاعدة المخروط في المسقط الأفقي، وهي عبارة عن دائرة مركزها (م) وقطرها (ق).

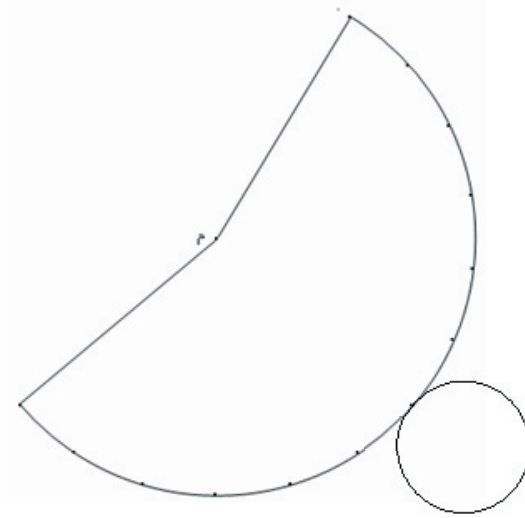
٢. ارسم المحور الرأسي للدائرة ومدّه على استقامته في اتجاه موقع المسقط الرأسي، ثم حدّد عليه ارتفاع المخروط (أ ب) حيث (أ) تمثل قمة المخروط و(ب)

- نقطة على القاعدة. هذا الارتفاع يطلق عليه الارتفاع العمودي (ع).
٣. أسقط خطين رأسيين من طرفي قطر القاعدة في اتجاه المسقط الأمامي ليقطع الخط الأفقي المار بالنقطة (ب) عند (ج، د)، وبذلك يكون (ج، ب، د) هو قاعدة المسقط الأمامي للمخروط.
٤. صل طرفي قاعدة المسقط الأمامي (ج)، (د) بالنقطة (أ) ليتحدد شكل المسقط الأمامي (مثلث). يطلق على الخط (أ ج) أو (أ د) راسم المخروط (ل).
٥. شكل المسقط الجانبي للمخروط لا يختلف عن شكل المسقط الأمامي ذلك لأن عرض المسقط الجانبي هو قطر قاعدة المخروط وإن ارتفاع المسقط الجانبي هو نفس ارتفاع المسقط الأمامي. شكل (١-٢٥).

- ب- من الممكن رسم أفراد المخروط بسهولة، لأن جميع الخطوط التي تمثل راسم المخروط (الخط الواصل من رأس المخروط إلى أي نقطة من نقاط محيط قاعدته) هي خطوط مستقيمة ومتساوية في الطول. وبمعلومية ارتفاع المخروط (ع) ونصف قطر قاعدته (نق) يمكن رسم أفراد المخروط تبعا للخطوات التالية.
١. يرسم المسقط الأمامي والمسقط الأفقي للمخروط أولاً.
 ٢. تُقسم قاعدة المخروط إلى عدد من الأقسام المتساوية وليكن (١٢)قسماً مثلاً (مع العلم أنه كلما كانت الأقسام أكثر كان رسم الأفراد أكثر دقة)
 ٣. يُفتح البرجل فتحة تساوي طول راسم المخروط (ل) ويرسم قوس من دائرة مركزها (م).
 ٤. يفتح البرجل فتحة تساوي قسماً واحداً من أقسام قاعدة المخروط لتحديد أقسام على القوس تساوي عدد أقسام القاعدة.
 ٥. توصل نقطتي البداية والنهاية على القوس بالمركز (م) للحصول على أفراد سطح المخروط.
- كما في شكل (١-٢٥).



شكل (١-٢٦): مساقط المخروط



شكل (٢٦-١) : افراد سطح المخروط

تمرين :

أرسم المساقط الرئيسة لمخروط قائم قطر قاعدته ٦ سم وارتفاعه العمودي ٥ سم، ثم ارسم أفراد سطحه .

(٣-٣-١) طريقة رسم مساقط المنشور وافراد سطحه :

المنشور عبارة عن شكل ثلاثي الأبعاد له قاعدتان مضلعتان (ثلاثية أو رباعية أو خماسية أو سداسية الخ) يتساوى فيه شكل القاعدة والقمة ، وله سطوح جانبية مستطيلة .

أ- المنشور السداسي :

لرسم مساقط المخروط السداسي أتبع الخطوات التالية :

١- ارسم قاعدة المنشور على المسقط الأفقي ثم رَقم أضلاعه (أ ، ب ، ج ، د ، هـ ، و) بالترتيب، كما بالشكل (٢٧-١) .

٢- اسقط خطوطاً رأسية من النقاط (أ ، ب ، ج ، د) على المسقط الأفقي في اتجاه موقع المسقط الأمامي .

٣- اترك مسافة (فراغ) معقولة من المسقط الأفقي ثم ارسم خط أفقي ليقطع خطوط الإسقاط الرأسية تلك في النقاط (أ ، ب ، ج ، د) ، هذا الخط يمثل قاعدة المسقط الأمامي .

٤- حدد ارتفاع المنشور في المسقط الرأسي بنقطة واحدة على احد خطوط الإسقاط الرأسية، ثم ارسم خط أفقي من هذه النقطة ليقطع بقية خطوط الإسقاط الرأسية لتحصل على النقاط (أ، ب، ج، د) والتي تمثل قمة المسقط الأمامي للمنشور.

٥- وصل بين النقاط (أ، ب، ج، د) والنقاط (أ، ب، ج، د) لتحصل على ثلاثة مستطيلات هي بمثابة المسقط الأمامي للمنشور.

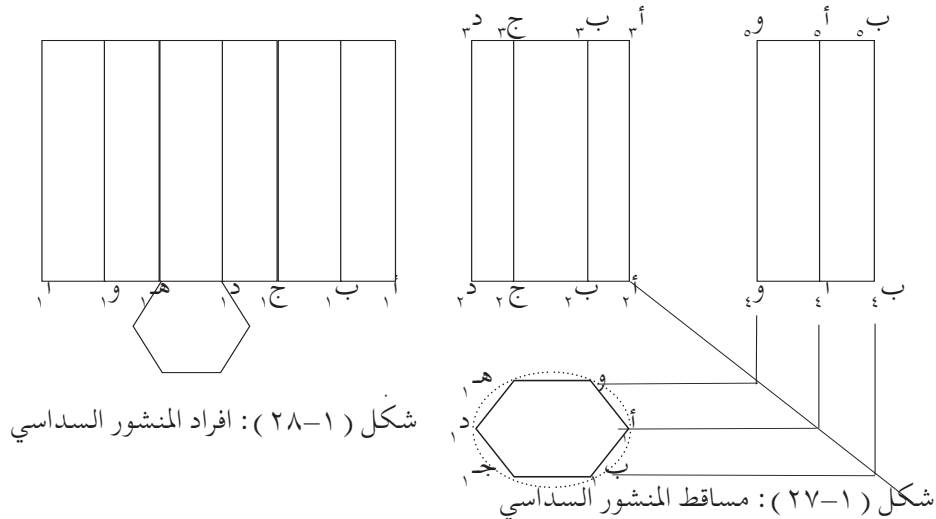
٦- ارسم خط إسقاط يميل بزاوية ٤٥° ابتداءً من النقطة (أ) الواقعة على المسقط الأمامي.

٧- أسقط بخط إسقاط واحد النقاط (أ، ب، ج، د) أفقياً في اتجاه موقع المسقط الجانبي، وكذلك افعل بالنقاط (أ، ب، ج، د).

٨- أسقط النقاط (أ، ب، ج، د) أفقياً حتى تتقاطع مع الخط المائل بزاوية ٤٥° ثم مدها رأسياً نحو موقع المسقط الرأسي لتقاطع مع الخطوط الأفقية المرسومة في الخطوة السابقة رقم (٧)، وسمي نقاط التقاطع هذه (أ، ب، ج، د) للقاعدة و (أ، ب، ج، د) للقمة.

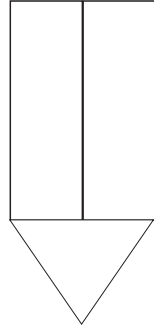
٩- وصل بين هذه النقاط لتحصل على مستطيلين هما بمثابة المسقط الجانبي للمنشور السداسي.

ب- إفراد المنشور السداسي عبارة عن سطح يتكون من ستة مستطيلات متساوية ومتجاورة. بالإضافة إلى مساحة سداسية تمثل القاعدة والقمة الشكل (٢٨-١).



ب- المنشور الثلاثي :

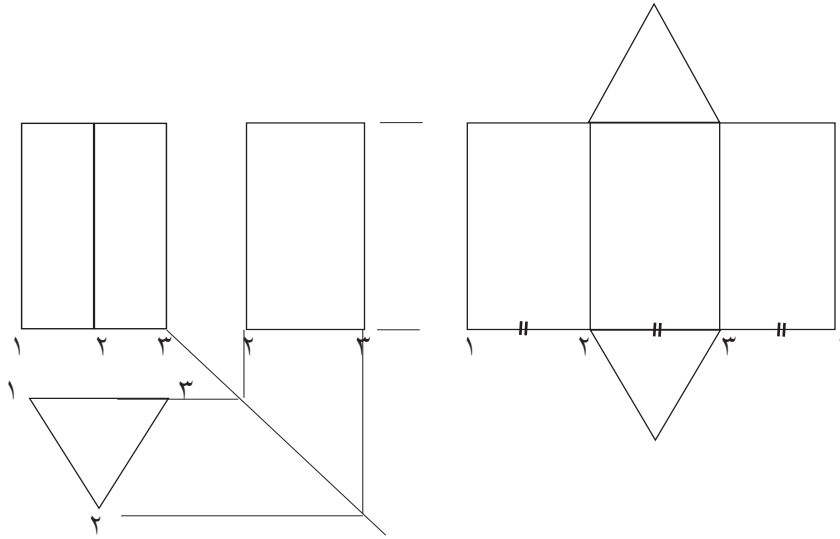
الشكل (٢٩-١) يمثل مسقطين أمامي وأفقي لمنشور ثلاثي طول ضلع قاعدته ٢٠ مم وارتفاعه ٣٠ مم .



شكل (٢٩-١) : مسقطين لمنشور ثلاثي .

لرسم المساقط الرئيسة للمنشور وإفراد سطحه اتبع نفس الطريقة المتبعة للمنشور السداسي .

الشكل (٣٠-١) يبين مساقط وإفراد سطح المنشور الثلاثي ويلاحظ أن سطح القاعدتين المثلثتين يتصلان بالسطح الجانبي في الأفراد .



شكل (٣٠-١) : مساقط وإفراد المنشور الثلاثي .

(١-٣-٤) طريقة رسم مساقط هرم سداسي وافرد سطحه :

الهرم هو جسم منشوري له قاعدة مضلعة (مثلث ، مربع ، خماسي ، ...) وقمة في شكل نقطة وله جنبات كلها مثلثات بعدد أضلاع القاعدة .

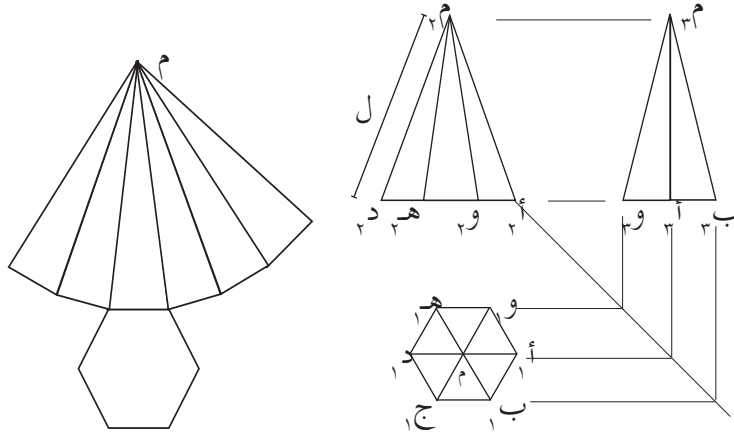
أ- لرسم المساقط الرئيسة لهرم سداسي أتبع الخطوات التالية :

- ١ . ارسم محورين متعامدين يتقاطعان عند النقطة (م) . شكل (١-٣١) .
- ٢ . ارسم القاعدة السداسية للهرم على المحورين المتعامدين بحيث النقطة (م) تقع على مركز السداسي ، ثم سمي رؤوس القاعدة (أ ، ب ، ج ، د ، هـ ، و) ، وبخطوط ظاهرة صل النقطة (م) بجميع رؤوس القاعدة . ويمثل هذا الشكل المسقط الأفقي للهرم .
- ٣ . اسقط أعمدة من النقاط (أ ، ب ، ج ، د ، هـ ، و ، م) في اتجاه موقع المسقط الأمامي .
- ٤ . على مسافة مناسبة من المسقط الأفقي ارسم خط أفقي ليقطع هذه الأعمدة في (أ ، د ، هـ ، و) . هذا الخط الواصل بين النقاط (أ ، د ، هـ ، و) يمثل قاعدة الهرم في المسقط الأمامي .
- ٥ . على امتداد المحور الرأسي المار بمركز القاعدة (م) حدد نقطة رأس الهرم (م) .
- ٦ . صل جميع نقاط القاعدة بالنقطة (م) للحصول على شكل المسقط الرأسي للهرم .
- ٧ . اسقط بخط إسقاط أفقي قاعدة الهرم من المسقط الأمامي في اتجاه المسقط الجانبي .
- ٨ . اسقط قمة الهرم (م) بخط إسقاط أفقي في اتجاه المسقط الجانبي .
- ٩ . ارسم خط إسقاط يميل بزاوية 45° ابتداءً من النقطة (أ) الواقعة على المسقط الأمامي .
- ١٠ . اسقط أفقياً جميع نقاط المسقط الأفقي (أ ، ب ، ج ، د ، هـ ، و) . بخطوط إسقاط لتلاقي الخط المائل بزاوية 45° . ثم اسقط نقاط التلاقي هذه رأسياً إلى أعلى بخطوط إسقاط لتتقاطع عند النقاط (أ ، ب ، و) مع الخط المسقط من قاعدة المسقط الأمامي . الخط الواصل بين النقاط (أ ، ب ، و) يمثل قاعدة الهرم في المسقط الجانبي .

١١. اسقط أفقياً النقطة (م) في المسقط الأفقي بخط إسقاط يلاقي الخط المائل بزاوية ٤٥°، ومن نقطة التلاقي هذه يسقط خطاً رأسياً في اتجاه المسقط الجانبي ليتقاطع عند النقطة (م) مع الخط المُسقط من قمة الهرم (م). النقطة (م) تمثل قمة الهرم في المسقط الجانبي. صل (م) بالنقاط القاعدة للحصول على المسقط الأفقي.

ب- افراد الهرم هو عبارة عن سطح مكون من عدة مثلثات متجاورة بعدد أضلاع القاعدة. يمكن رسم افراد الهرم بإتباع الخطوات التالية.

١. يرسم المسقط الأمامي والمسقط الأفقي للهرم كما سبق.
٢. يفتح البرجل فتحة تساوي طول الارتفاع المائل للهرم (ل) ويرسم بخط رفيع قوس من دائرة مركزها (م).
٣. يفتح البرجل فتحة تساوي طول ضلع القاعدة السداسية لتحديد ستة أقسام على القوس (بسبعة نقاط).
٤. توصل جميع هذه النقاط السبعة مع بعضها ومع المركز (م) بخطوط مستقيمة. الشكل الناتج يمثل افراد سطح الهرم والذي يتكون من ستة مثلثات. كما في شكل (٣٢-١).

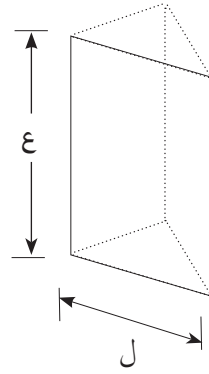


شكل (٣١-١) : مسقط هرم سداسي شكل (٣٢-١) : افراد هرم سداسي

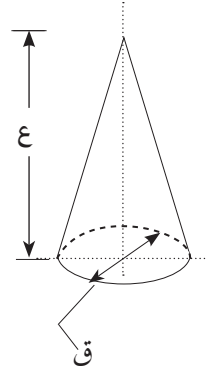
تمارين (٤-١)

١- أرسم المساقط الرئيسة لهرم سداسي القاعدة طول ضلع القاعدة ٢٠ مم ، وارتفاعه ٥٠ مم .

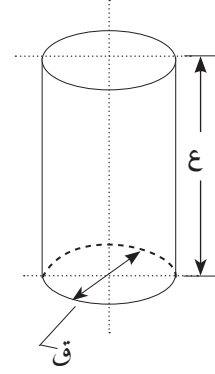
٢- ضع مقاسات مناسبة ثم أرسم المساقط الرئيسة وإفراد سطوح الأشكال الهندسية الموضحة في الشكل التالي :



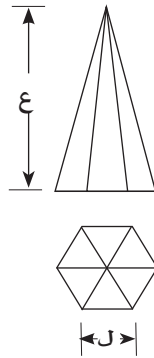
(ج) منشور ثلاثي .



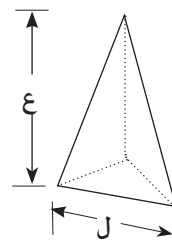
(ب) مخروط .



(أ) اسطوانة .



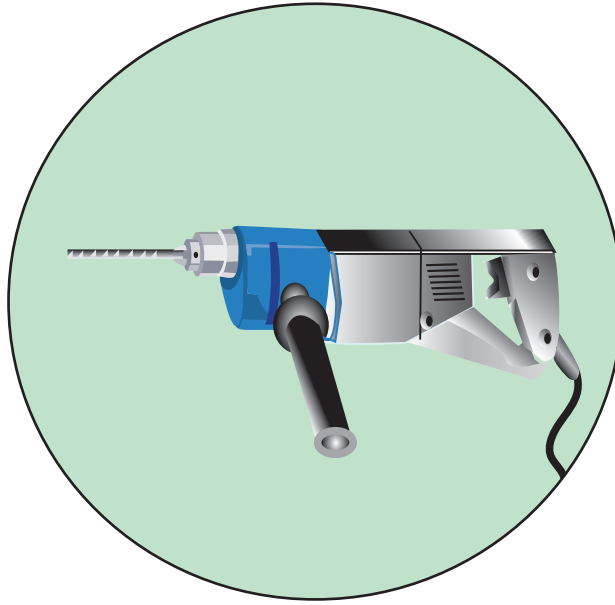
(هـ) هرم سداسي



(د) هرم ثلاثي

الباب الثاني

أساسيات الهندسة الميكانيكية Mechanical Engineering Principles



الباب الثاني

أساسيات الهندسة الميكانيكية

Mechanical Engineering Principles

(١-٢) الآلات: Machines

تعرف الآلة بأنها جهاز يستقبل الطاقة ليستخدمها أو يقوم بتحويلها إلى شغل بصورة أفضل يستفيد منه الإنسان .
توجد الآلات بصور متعددة في حياتنا اليومية ، مثلاً المفتاح البلدي بطوله المعهود يقلل الجهد العضلي المبذول من الإنسان عندما يقوم برباط عزقة (صامولة) معينة ، وآلات الاحتراق الداخلي تستخدم الطاقة الحرارية الناتجة من احتراق الوقود فتقوم بتحويلها إلى طاقة ميكانيكية بواسطة المكبس (Piston) وذراع التوصيل وعمود المرفق، فتصل إلى الإطارات التي تدفع العربة إلى السير في الطريق . كما يمكن أن تكون الروافع بأنواعها المختلفة مثل رافعة السيارة والروافع الثقيلة (الونش) أمثلة أخرى للآلات . وكذلك معدات الثقيب والمخارط والمكاشط والفرايز فإنها جميعاً تعتبر آلات تستخدم نفس النظريات الموجودة في الآلات البسيطة .

(١-١-٢) فوائد الآلات البسيطة :

للآلات البسيطة فوائد عديدة نذكر منها :

- ١ . مضاعفة القوة المبذولة .
- ٢ . تغيير اتجاه الحركة .
- ٣ . زيادة سرعة أداء العمل .
- ٤ . رفع الأثقال .
- ٥ . قطع الصلب .

(٢-١-٢) الفائدة الميكانيكية (ف.م) : Mechanical Advantage

يمكن وصف الآلة على أنها منظومة تساعد القوة المؤثرة (المجهود) في نقطة محددة عليها للتغلب على المقاومة (الحمل أو الجسم) في نقطة أخرى . ومن ثم يمكن

تعريف الفائدة الميكانيكية (ف.م) على انها النسبة بين ثقل الجسم (المقاومة أو الحمل) والقوة المؤثرة (المجهود) لتحريكه .

$$\text{الفائدة الميكانيكية (ف.م)} = \frac{\text{المقاومة}}{\text{المجهود}} \dots (1-2)$$

والفائدة الميكانيكية نسبة لا تميز لها . وفي الغالب تُصمم الآلات لكي يتغلب مجهود صغير على مقاومة كبيرة .

مثال (١-٢) :

آلة يمكنها رفع ٥ طن باستخدام مجهود مقدارة ٤٠٠ نيوتن . جد الفائدة الميكانيكية .

الحل :

$$\text{ثقل الجسم} = ٥ \text{ طن} \times ١٠٠٠ \times ١٠ = ٥٠٠٠٠ \text{ نيوتن} .$$

$$\text{المجهود} = ٤٠٠ \text{ نيوتن} .$$

$$\frac{\text{المقاومة}}{\text{المجهود}} = \text{الفائدة الميكانيكية (ف.م)}$$

$$\underline{\underline{١٢٥ = ٤٠٠ \div ٥٠٠٠٠ = \text{ف.م}}}$$

(٣-١-٢) كفاءة الآلة : Efficiency

إنَّ كمية الشغل المبذول في الآلة يُفقد بعض منه داخل الآلة لمقاومة الاحتكاك بين الأجزاء المتحركة للآلة ، وبعض منه يفقد نتيجة لزيادة الحرارة في أجزاء الآلة المتحركة ، وبعض آخر يستغل لرفع بعض أجزاء الآلة . ومن ثم فإن الشغل المبذول المفيد (الشغل المبذول في المقاومة) عادة اقل من الشغل المبذول بوساطة المجهود . وحسب قانون بقاء الطاقة (الشغل المبذول بوساطة الآلة لا يزيد عن ذلك المبذول فيها) ، ومن ثم يمكن تعريف كفاءة الآلة بانها النسبة بين كمية الشغل الناتج من الآلة وكمية الشغل المبذول فيها .

.....(٢-٢)

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{الشغل المبذول علي المقاومة (الناتج)}}{\text{الشغل المبذول بالمجهود (المبذول)}}$$
$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{المقاومة} \times \text{المسافة التي تحركتها المقاومة}}{\text{المجهود} \times \text{المسافة التي تحركها المجهود}}$$

الآلة المثالية :

الآلة التي كفاءتها تساوي الوحدة (١٠٠٪) تسمى آلة مثالية أو آلة مكتملة، و يفترض فيها أن يكون جميع أجزائها خفيفة جداً وينعدم فيها الاحتكاك، ولا توجد آلة مثالية في الطبيعة. وكل الآلات الحقيقية الموجودة في الطبيعة كفاءتها اقل من الوحدة كثيراً (اقل من ١٠٠٪). ولكن إذا أهمل الاحتكاك فيمكن من الناحية النظرية اعتبار الآلة مثالية كفاءتها ١٠٠٪.

مثال (٢-٢) :

استخدمت آلة لرفع جسم كتلته واحد طن مسافة رأسية مقدارها ٣ ملم ، بواسطة قوة مقدارها ١٠٠ نيوتن. إذا تحركت القوة مسافة ٤٠ سم. أوجد كفاءة الآلة.

الحل :

$$\begin{aligned} \text{كتلة الجسم} &= ١٠٠٠ \text{ كجم} , \text{ المسافة التي تحركتها} = ٠,٠٠٣ \text{ متر.} \\ \text{الشغل الناتج من الآلة} &= \text{ثقل الجسم} \times \text{المسافة التي تحركها في نفس اتجاه حركته} \\ &= ١٠٠٠ \times ١٠ \times ٠,٠٠٣ = ٣٠ \text{ نيوتن. متر} = ٣٠ \text{ جول.} \\ \text{القوة المؤثرة (المجهود)} &= ١٠٠ \text{ نيوتن لمسافة } ٠,٤ \text{ م} \\ \text{الشغل المبذول على الآلة} &= \text{القوة المؤثرة} \times \text{المسافة التي تحركتها في اتجاه حركتها} \\ &= ١٠٠ \text{ نيوتن} \times ٠,٤ \text{ م} = ٤٠ \text{ جول} \\ \text{كفاءة الآلة} &= \frac{\text{الناتج}}{\text{المبذول}} = ٤٠ \div ٣٠ = ٠,٧٥ = \underline{\underline{٧٥\%}} \end{aligned}$$

(٢-١-٤) نسبة السرعة (ن.س) : Velocity Ratio

وهي النسبة بين المسافة التي تتحركها القوة والمسافة التي يتحركها المجهود. و تعرف ايضا بالنسبة السرعةية.

$$\text{نسبة السرعة (ن.س)} = \frac{\text{المسافة التي تحركها المجهود}}{\text{المسافة التي تحركها الحمل}} \quad \dots (٢-٣)$$

يمكن تعديل قانون الكفاءة ليُصبح بدلالة الفائدة الميكانيكية والسرعة النسبية كما يلي:

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{الحمل} \times \text{المسافة التي تحركها الحمل}}{\text{المجهود} \times \text{المسافة التي تحركها المجهود}}$$

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{الحمل}}{\text{المجهود}} \times \frac{\text{المسافة التي تحركها الحمل}}{\text{المسافة التي تحركها المجهود}}$$

$$\text{الكفاءة} = \text{الفائدة الميكانيكية} \times \frac{1}{\text{نسبة السرعة}}$$

$$\therefore \text{الكفاءة} = \frac{\text{الفائدة الميكانيكية}}{\text{نسبة السرعة}} \quad \dots (٢-٤)$$

للاّلات المثالية التي كفاءتها الواحد الصحيح (١٠٠٪):

$$1 = \frac{\text{الفائدة الميكانيكية}}{\text{نسبة السرعة}}$$

وبالضرب العكسي نجد:

نسبة السرعة = الفائدة الميكانيكية

$$(٥-٢)..... \frac{\text{المقاومة}}{\text{المجهود}} = \frac{\text{المسافة التي تحركها المجهود}}{\text{المسافة التي تحركها المقاومة}}$$

العلاقة (٥-٢) اعلاه تصلح فقط للآلات المثالية (كفاءة ١٠٠ ٪)

(ملحوظة : مقدار النسبة السرعة للآلة يتوقف على تصميم الآلة فقط ولا يرتبط بالاحتكاك والكفاءة، وهو مقدار ثابت حسب التصميم الذي صُممت عليه الآلة . بينما مقدار الفائدة الميكانيكية للآلة يتوقف على تصميم الآلة وعلى مقدار الاحتكاك بين أجزاء الآلة وبالتالي على كفاءة الآلة) .

مثال (٣-٢) :

استخدمت آلة لرفع جسم وزنه ٢٠ نيوتن ، فإذا كانت نسبة سرعة الآلة ٤ وكفاءتها ٧٠ بالمائة، اوجد القوة اللازمة لرفع الجسم .

الحل :

المعطيات :

وزن الجسم = ٢٠ نيوتن، نسبة السرعة = ٤

الكفاءة = ٧٠ ٪ = ٠,٧

الكفاءة = $\frac{\text{الفائدة الميكانيكية}}{\text{نسبة السرعة}}$

الفائدة الميكانيكية = الكفاءة × نسبة السرعة

$$٢,٨ = ٤ \times ٠,٧ =$$

الفائدة الميكانيكية = $\frac{\text{وزن الجسم}}{\text{القوة المؤثرة}}$

القوة المؤثرة = $\frac{\text{وزن الجسم}}{\text{الفائدة الميكانيكية}}$

$$\underline{\underline{٧,١٤ \text{ نيوتن}}} = ٢,٨ \div ٢٠ =$$

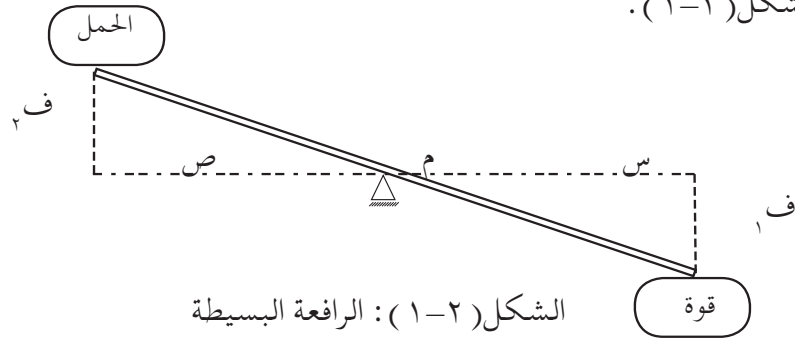
أنواع الآلات :

هناك آلات كثيرة صنعها الإنسان ولكن من أهمها : الروافع الميكانيكية والروافع الهيدروليكية والبكرات والملفاف والمرفاع اللولبي والأدوات الملولبة والدراجة والمستوى المائل وكابح اليد في السيارة الخ

(١-٢-٥) الرافعة الميكانيكية : Lever

الرافعة هي أبسط أنواع الآلات ، وعضو مهم في كثير من الآلات المعقدة . وهي عبارة عن ذراع يتحرك حول محور أو حافة حادة يمكن بواسطته تحريك جسم ما (مقاومة) كبير باستعمال قوة صغيرة . تسمى المسافة بين المحور والقوة بـ (ذراع القوة) ، وتسمى المسافة بين المقاومة والمحور بـ (ذراع المقاومة) . تنقسم الروافع الميكانيكية إلى ثلاث أنواع حسب موضع محور الارتكاز (Pivot) بالنسبة لكل من المجهود (Effort) والمقاومة (الحمل) (Load) . ولا يوجد اختلاف جوهري بينها .

١- النوع الأول : وهي الرافعة التي يكون فيها محور الارتكاز بين المجهود والحمل كما بالشكل (١-٢) .



الشكل (١-٢) : الرافعة البسيطة

يظهر من شكل (١-٢) أن :

F_1 = المسافة الرأسية التي تتحركها القوة .

F_2 = المسافة الرأسية التي يتحركها الحمل (المقاومة) .

S = ذراع القوة .

V = ذراع المقاومة

نسبة السرعة = المسافة التي تتحركها القوة ÷ المسافة التي يتحركها الجسم

$$ن.س = \frac{ف_1}{ف_2}$$

من تشابه المثلثين نجد :

$$\frac{س}{ص} = \frac{ف_1}{ف_2}$$

$$\frac{\text{المسافة التي تحركتها القوة}}{\text{المسافة التي تحركها الجسم}} = \frac{\text{ذراع القوة}}{\text{ذراع المقاومة}}$$

$$\text{نسبة السرعة (للرافعة)} = \frac{\text{ذراع القوة}}{\text{ذراع المقاومة}} \dots (٦-٢)$$

إذا كانت قوة الاحتكاك عند المحور قليلة بحيث يمكن إهمالها تكون كفاءة الآلة حينئذ ١٠٠٪ .
وعليه تكون :

$$\text{الفائدة الميكانيكية} = \text{نسبة السرعة}$$

وينقسم هذه النوع الأول من الروافع إلى ثلاث اقسام حسب اطوال ذراعي القوة والمقاومة :

١. **القسم الاول:** روافع ذات محور الارتكاز (م) في منتصف الرافعة (ذراع القوة يساوي ذراع المقاومة) ، كما في حالة الميزان العادي . وفي هذه الحالة نسبة السرعات تساوي واحد - باهمال الاحتكاك - معادلة (٦-٢) ، وعليه لئالة المثالية :

$$\text{الفائدة الميكانيكية} = ١$$

$$\frac{\text{المقاومة}}{\text{القوة}} = \text{الفائدة الميكانيكية}$$

$$\frac{\text{المقاومة}}{\text{القوة}} = 1$$

$$\text{القوة} = \text{المقاومة}$$

ب. **القسم الثاني:** روافع ذات محور الارتكاز اقرب للحمل (ذراع القوة < ذراع المقاومة) . ولذا تكون لها نسبة سرعة اكبر من الواحد الصحيح حسب المعادلة (٢-٦) ولعدم وجود احتكاك الكفاءة ١٠٠٪ فان الفائدة الميكانيكية اكبر من ١ .

$$\frac{\text{المقاومة}}{\text{القوة}} = \text{الفائدة الميكانيكية}$$

$$1 < \frac{\text{المقاومة}}{\text{القوة}}$$

$$\therefore \text{المقاومة} < \text{القوة}$$

أي بمجهود صغير يمكن التغلب على مقاومة كبيرة كما في العتلة، والمقص، والكماشة، والمطرقة المستعملة لخلع مسمار، ورافعة السيارة والميزان القبانى .

ج. **القسم الثالث:** روافع ذات محور الارتكاز اقرب للمجهود (ذراع المقاومة < ذراع القوة) . ولذا تكون نسبة السرعة والفائدة الميكانيكية اقل من واحد صحيح .

$$\therefore \text{القوة} < \text{المقاومة}$$

أي يُحتاج لبذل مجهود كبير حتى يتغلب على مقاومة صغيرة كما في الشادوف أو المقص عندما يستعمل لقطع خيط بطرفه. ولكن في هذه الحالة يستفاد من قصر المسافة التي تتحركها القوة في التغلب على الحمل الكبير.

مثال (٢-٤) :

رافعة نسبة السرعة لها ١٠ إذا كانت المقاومة ٤٠ نيوتن وكفاءتها ١٠٠٪، اوجد القوة . كم تكون القوة إذا كانت كفاءتها ٨٠٪ فقط .

الحل :

المعطيات : نسبة السرعة = ١٠ ، ثقل الجسم = ٤٠ نيوتن

١- لآلة المثالية (كفاءة الآلة = ١٠٠٪ = ١) :

الفائدة الميكانيكية = نسبة السرعة

$$\therefore \text{الفائدة الميكانيكية} = 10$$

ولكن

$$\frac{\text{المقاومة}}{\text{القوة}} = \text{الفائدة الميكانيكية}$$

$$\frac{40}{\text{القوة}} = 10$$

$$\text{القوة} = \frac{40}{10} = 4 \text{ نيوتن}$$

٢- عندما تكون كفاءة الرافعة ٨٠٪ = ٠,٨ :

$$\frac{\text{الفائدة الميكانيكية}}{\text{نسبة السرعة}} = \text{الكفاءة}$$

$$\frac{\text{الفائدة الميكانيكية}}{10} = 0,8$$

$$\therefore \text{الفائدة الميكانيكية} = 8$$

ولكن

$$\frac{\text{المقاومة}}{\text{القوة}} = \text{الفائدة الميكانيكية}$$

$$\frac{40}{\text{القوة}} = 8$$

$$\therefore \text{القوة} = \frac{40}{8} = 5 \text{ نيوتن}$$

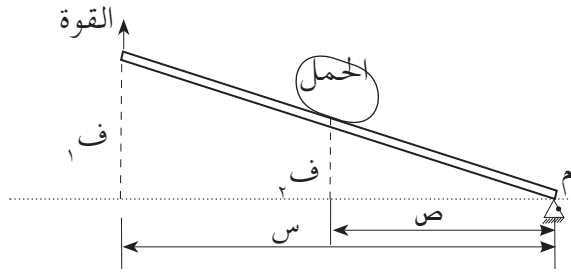
٣. القوة اللازمة هي ٥ نيوتن عندما تكون كفاءة الرافعة ٨٠٪ .

٢- **النوع الثاني:** هي الرافعة التي يكون فيها الحمل بين المجهود ومحور الارتكاز كما في الشكل (٢-٣) ادناه .

ومن أمثلتها كسارة البندق (كسارة بذور) شكل (٢-٢) وهراسة الثوم وعصارة الليمون وعربة اليد المستعملة في الحدائق (عربة البستاني أو الدرداقة) ومجذاف المركب عندما يكون في الماء .



شكل (٢-٢) : كسارة البندق



شكل (٣-٢) : رافعة يتوسطها الحمل .

من تشابه المثلثان نجد :

$$\frac{س}{ص} = \frac{ف١}{ف٢}$$

$$\frac{\text{ذراع القوة}}{\text{ذراع المقاومة}} = \frac{\text{المسافة التي تحركتها القوة}}{\text{المسافة التي تحركها الجسم}}$$

$$\frac{\text{ذراع القوة}}{\text{ذراع المقاومة}} = \text{نسبة السرعة (للرافعة)}$$

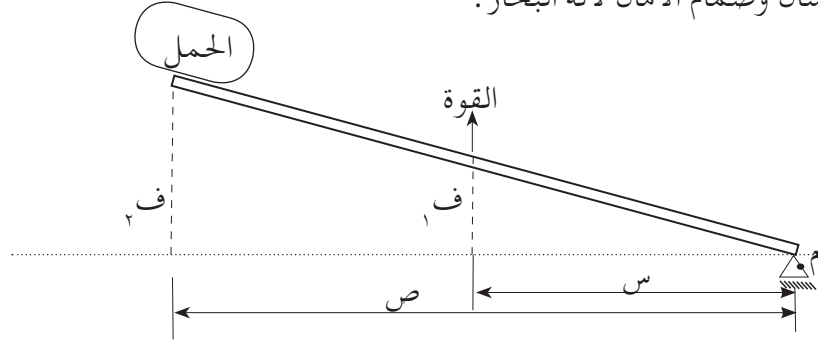
إذا كانت قوة الاحتكاك عند المحور قليلة بحيث يمكن اهمالها تكون كفاءة الآلة حينئذ ١٠٠٪.

وعليه يكون :

$$\text{الفائدة الميكانيكية} = \text{نسبة السرعة}$$

وبما أن ذراع القوة دائماً اكبر من ذراع المقاومة فإن نسبة السرعة وبالتالي الفائدة الميكانيكية تكون دائماً اكبر من الواحد . لذا فإن مجهوداً صغيراً يبذل يتغلب على حمل كبير .

٣- النوع الثالث: هي الرافعة التي يكون فيها المجهود بين الحمل ومحور الارتكاز كما في شكل (٢-٤) . ومن أمثلتها ماسك الفحم (الماشة) وصنارة صيد السمك ، وعضلة ذراع الإنسان وصمام الأمان لآلة البخار .



من تشابه المثلثان نجد :

$$\frac{س}{ص} = \frac{ف_1}{ف_2}$$

$$\frac{\text{ذراع القوة}}{\text{ذراع المقاومة}} = \frac{\text{المسافة التي تحركتها القوة}}{\text{المسافة التي تحركها الجسم}}$$

$$\frac{\text{ذراع القوة}}{\text{ذراع المقاومة}} = \text{نسبة السرعة (للرافعة)}$$

إذا كانت الرافعة مثالية فإن :

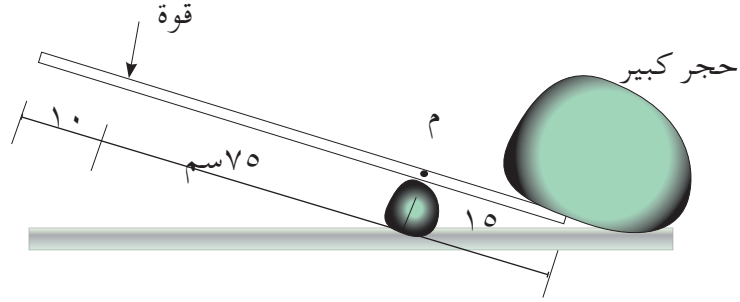
$$\text{الفائدة الميكانيكية} = \text{نسبة السرعة}$$

وبما أن ذراع القوة دائماً اصغر من ذراع المقاومة فإن نسبة السرعة وبالتالي الفائدة الميكانيكية تكون دائماً اقل من الواحد . لذا فإن حملاً صغيراً يحتاج لمجهود كبير للتغلب عليه . وبما أن النسبة السرعةية اقل من واحد صحيح فإن اقل حركة للمجهود تنتج عنها حركة كبيرة على الحمل ، وهناك كسب في سرعة العمل .

مثال (٢-٥) :

عتلة طولها واحد متر وضع طرفها تحت حجر كبير . ووضع تحتها حجر صغير كمحور ارتكاز على بعد ١٥ سم من طرف العتلة المذكور . فإذا استعملت قوة على

بعد ١٠ سم من الطرف الآخر للعتلة لرفع الحجر الكبير، أحسب الفائدة الميكانيكية للعتلة.



الحل:

$$\begin{aligned} \text{ذراع المجهود} &= 75 \text{ سم} , \quad \text{ذراع الحمل} = 15 \text{ سم} \\ \text{الفائدة الميكانيكية} &= 15 \div 75 = 0.2 \end{aligned}$$

مثال (٢-٦):

تحتاج بُندقة إلى قوة ١٢٠ نيوتن لكسرها ، أحسب القوة التي يجب بذلها على يدي كسارة البندق ذات الطول ١٥ سم إذا وضعت البندقة على بعد ٢,٥ سم من محور الارتكاز، وما الفائدة الميكانيكية ؟

الحل:

المعطيات:

الحمل = ١٢٠ نيوتن ، ذراع الحمل = ٢,٥ سم ، ذراع المجهود = ١٥ سم
١. كسارة البندق رافعة من النوع الثاني فان :

الفائدة الميكانيكية = نسبة السرعة

$$\frac{\text{الحمل}}{\text{ذراع الحمل}} = \frac{\text{ذراع المجهود}}{\text{المجهود}}$$

$$\text{الحمل} \times \text{ذراع الحمل} = \text{المجهود} \times \text{ذراع المجهود}$$

$$120 \times 2,5 = \text{المجهود} \times 15$$

$$\text{المجهود} = (2,5 \times 120) \div 15 = 20 \text{ نيوتن}$$

$$\text{والفائدة الميكانيكية} = \text{الحمل} \div \text{المجهود} = 120 \div 20 = 6$$

مثال (٢-٧) :

- يستعمل رجل آلة ليرفع حملاً مقداره ١٥٠ نيوتن لمسافة ١٠ سم بمجهود قدره ٢٠ نيوتن يتحرك لمسافة ١٠٠ سم ، أحسب :
- أ. الشغل المبذول على الآلة .
ب. الشغل المأخوذ من الآلة .
ج. الفائدة الميكانيكية للآلة .
د. نسبة السرعة للآلة .
هـ. كفاءة الآلة .

الحل :

- المعطيات : الحمل = ١٥٠ نيوتن ، المجهود = ٢٠ نيوتن ،
المسافة التي تحركها الحمل = ١٠٠ متر ،
المسافة التي تحركها المجهود = ١ متر .
- أ. الشغل المبذول على الآلة = الشغل المبذول بواسطة المجهود
= المجهود × المسافة التي تحركه
= ٢٠ × ١ = ٢٠ نيوتن.متر
- ب. الشغل المأخوذ من الآلة = الشغل الذي حصل على الحمل بواسطة الآلة :
= الحمل × المسافة التي تحركها الحمل
= ١٥٠ × ١٠ = ١٥٠٠ نيوتن.متر
- ج. الفائدة الميكانيكية = الحمل ÷ المجهود = ١٥٠ ÷ ٢٠ = ٧,٥
- د. النسبة السرعة = المسافة التي تحركها المجهود ÷ المسافة التي تحركها الحمل
= ١ ÷ ١٠ = ٠,١
- هـ. كفاءة الآلة = الشغل الناتج عن الآلة ÷ الشغل المبذول على الآلة .
= ١٥٠ ÷ ٢٠ = ٧,٥ %

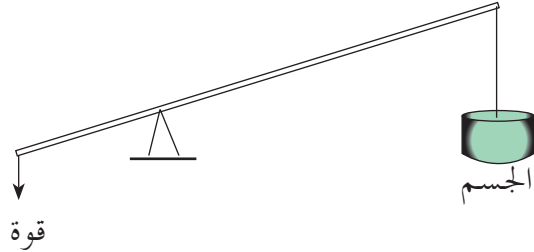
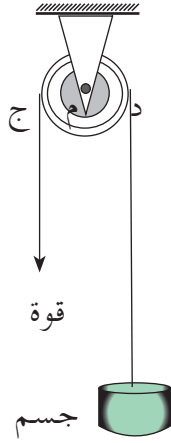
تمارين (١-٢)

١. أ. في إحدى الآلات تلزم قوة مقدارها ١٠٠ نيوتن لرفع جسم وزنه ٥٠٠ نيوتن. أحسب الفائدة الميكانيكية لهذه الآلة.
ب. قوة مقدارها ٦٠٠ نيوتن وضعت على آلة فائدتها الميكانيكية ٤ ، أحسب وزن الجسم الذي يمكن رفعه بهذه الآلة.
ج. رافعة فائدتها الميكانيكية ٧٠ ، ما القوة اللازمة لرفع جسم وزنه ٩٠٠ نيوتن بوساطتها.
د. مرفاع لولبي يرفع جسم وزنه ٣٠٠٠ نيوتن باستخدام قوة مقدارها ١٠٠ نيوتن. أحسب فائدته الميكانيكية.
٢. استخدم شخص آلة ما فحرك جسماً وزنه ٢٠٠٠ نيوتن مسافة ١٠ سم باستخدام قوة مقدارها ٢٥٠ نيوتن ، فإذا تحركت القوة مسافة ١٠٠ سم ، فأحسب الشغل المبذول على الآلة والشغل الناتج منها. وأحسب أيضاً كفاءة الآلة.
٣. آلة بسيطة أُستُخدمت لرفع جسم يزن ١٠٠٠ نيوتن مسافة رأسية مقدارها ٥ متر. أحسب الشغل الذي أُستُخدم لادارة الآلة باعتبار أن كفاءتها ٧٠٪.
٤. عُلّق ٣٠ كجم من اللحم على خطاف الميزان القباني ، وكان الخطاف على بعد ٦ سم من محور الارتكاز ، أحسب البعد الذي يجب أن يوضع عنده الوزن المنزلق الذي يزن ٥ كجم لوزن هذه الكمية من اللحم.
٥. مجداف طوله ٢,٥ متر ، والعمود الذي يربط به يوجد على بعد ٢ متر من طرف المجداف المدب ، إذا كان المراكبي يبذل مجهوداً قدره ٢٠٠ نيوتن عند طرف يد المجداف لتحريك المركب ، أوجد قوة مقاومة الماء لحركة المركب ، ثم أحسب الفائدة الميكانيكية.
٦. استعمل مقص ليقطع حبلًا وضع على بعد ١,٥ سم من مسمار المقص الملحوم ، بذل مجهود مقداره ٢٠ نيوتن على بعد ١٥ سم من المسمار ، أحسب مقاومة الحبل.
٧. رافعة ذات فائدة ميكانيكية ٥٠ ، جد المجهود اللازم لرفع ثقل وزنه ٩٥٠ نيوتن.
٨. بذل مجهود مقداره ٧٥٠ نيوتن في آلة لها فائدة ميكانيكية ٤ ، أحسب

- الحمل الذي ترفعه الآلة.
٩. الفائدة الميكانيكية لآلة ١٦ ، والنسبة السرعةية لها ٢٠ ، أوجد كفاءة هذه الآلة.
١٠. آلة تحرك حملها لمسافة ١٠ سم عندما يتحرك المجهود مسافة ١٦٠ سم. أحسب النسبة السرعةية للآلة. ثم أوجد الفائدة الميكانيكية بفرض أن كفاءة الآلة ٩٠٪.
١١. رافعة سيارة ، النسبة السرعةية لها ٨٥ ، أحسب المسافة التي يتحركها المجهود عندما ترتفع السيارة التي ترفع بهذه الرافعة ٦ سم.
١٢. رافعة ترفع حملاً كتلته ١٠٠ طن خلال مسافة ٥٠ متر، فإذا كانت النسبة السرعةية لها ٨ ، وكفاءتها ٥٠٪ ، أحسب المجهود المستعمل، والمسافة التي يتحركها هذا المجهود.
١٣. رافعة النسبة السرعةية لها ١٠ ، فإذا كان كتلة الحمل ٥ طناً ، وكفاءة الآلة ١٠٠٪ ، أحسب المجهود ، ثم أحسب المجهود إذا كانت كفاءة الآلة ٨٠٪ فقط.
١٤. استخدمت عتلة لرفع حمل مقداره ٤٠ نيوتن بمجهود ١٠ نيوتن ، إذا كان الطول الكلي للعتلة ١٢٠ سم ومحور ارتكازها يبعد ٢٠ سم من الحمل أوجد نسبة السرعة والفائدة الميكانيكية وكفاءة الآلة.

(٦-١-٢) البكرات :

تعد البكرة نوع من انواع الروافع حيث تدعم وزنين في نهايتي حبل يمر عبرها، ومحور ارتكازها هو محور البكرة. و البكرة يجب أن تُركب بحيث يمكنها الدوران بسهولة حول محورها. وتمتاز البكرات على الروافع الميكانيكية المذكورة انفاً في (٢-٥) في أن الرافعة الميكانيكية تحرك الجسم لمسافة قصيرة نسبياً، الشكل (٦-٢)، بينما البكرات يمكن أن تحرك الأحمال إلى مسافات غير محدودة، الشكل (٧-٢). في بعض الاحيان يتطلب الموقف حركة متصلة وفي هذه الحالة يمكن استخدام عجلة واحدة (بكرة منفردة) (Single Pulley).

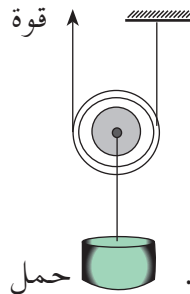


شكل (٦-٢) : رافعة ميكانيكية .

شكل (٧-٢) : بكرة منفردة ثابتة

أ. بكرة منفردة:

الشكل (٧-٢) عبارة عن رافعة ثابتة ذراع القوة فيها هو (م جـ) وذراع المقاومة هو (م د). (ذراع القوة = ذراع المقاومة) ، وبذلك تكون نسبة السرعة للبكرة المنفردة الثابتة واحد صحيح، أي إذا جُذب الحبل إلى أسفل مسافة واحد متر من النقطة جـ تتحرك المقاومة (الدلو) إلى أعلى نفس المسافة، وعليه تكون الفائدة الميكانيكية تساوي أو اقل من الواحد الصحيح.

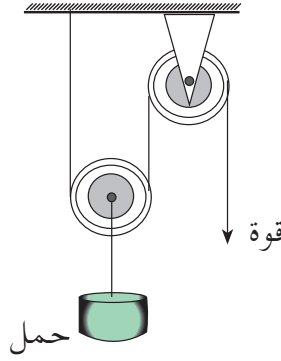


شكل (٨-٢) : بكرة منفردة متحركة .

يمكن استخدام بكرة واحدة متحركة كما في الشكل (٢-٨) .
إذا جُذِبَ الحبل إلى أعلى مسافة متر واحد تتحرك المقاومة (الجسم) إلى أعلى نصف متر ، وفي هذه الحالة تكون نسبة السرعة اثنتان . والفائدة الميكانيكية تساوي أو أقل من ٢ .
(البكرة الثابتة هي التي لا يتغير موضع محورها ، بينما البكرة المتحركة هي التي يتغير موضع محورها مع حركة القوى .)

ب . بكرة مثبتة وأخرى متحركة :

الشكل (٢-٩) يبين منظومة من بكرتين ، بكرة واحدة ثابتة والأخرى متحركة .



شكل (٢-٩) : بكرة مثبتة وأخرى متحركة

إذا تحركت القوة في هذه المنظومة مسافة واحد متر فان طول الحبل ينقص واحد متر مأخوذاً من الحبل الملتف حول البكرة المتحركة ، نصف متر من كل طرف . وبذلك ترتفع البكرة المتحركة إلى أعلى نصف متر ، وترتفع - تبعاً لذلك - المقاومة إلى أعلى نصف متر أيضاً .

نسبة السرعة = المسافة التي تتحركها القوة ÷ المسافة التي يتحركها الجسم

$$2 = 1 \div 0.5 =$$

∴ الفائدة الميكانيكية تساوي أو تقل من ٢ .

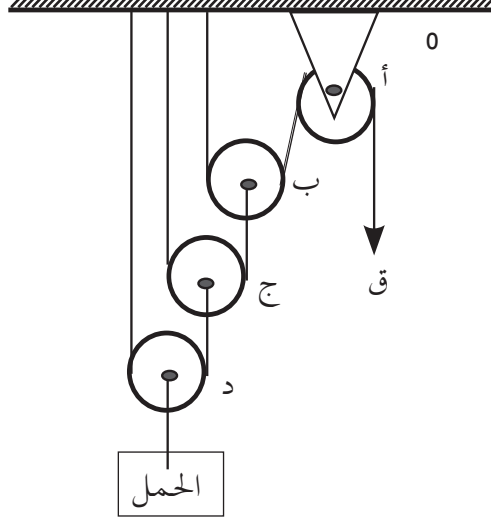
ج . مجموعة البكرات من الدرجة الأولى :

الشكل (٢-١٠) يوضح مجموعة بكرات من الدرجة الأولى . وفيها تكون بكرة واحدة ثابتة (بكرة أ) بينما جميع البكرات الأخرى متحركة . يمر الحبل الذي تؤثر عليه

القوة حول البكرة الثابتة وينتهي بالسقف الثابت. بينما يبدأ أي حبل آخر بمركز أحد البكرات المتحركة ويلتف حول البكرة المتحركة التالية وينتهي بالسقف الثابت. جميع الحبال تنتهي بالسقف الثابت. يعلق الحمل على مركز البكرة المتحركة الأخيرة. نسبة السرعة لهذا النوع من مجموعات البكرات يُحصل عليه من العلاقة التالية:

$$\text{نسبة السرعة} = 2^n$$

حيث: n = عدد البكرات المتحركة.



شكل (١٠-٢) : مجموعة بكرات من الدرجة الأولى

أيضا يمكن حساب نسبة السرعة بالطريقة التالية:

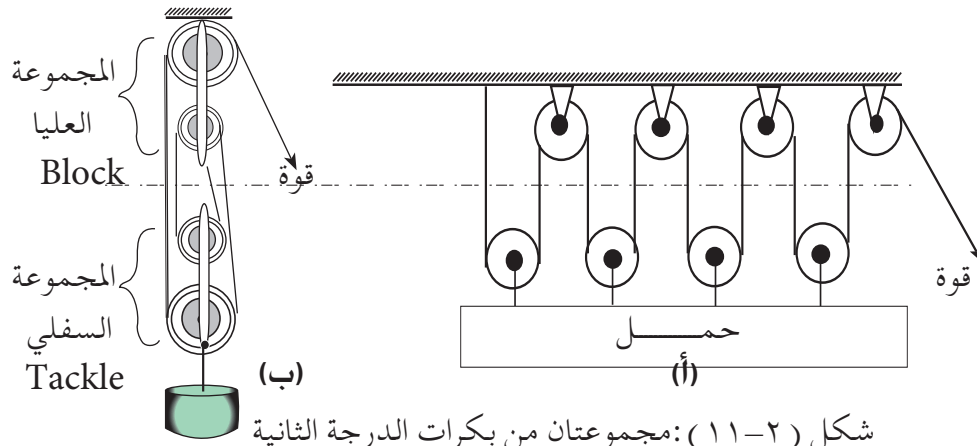
إذا تحركت القوة مسافة ١ متر فان البكرة (ب) تتحرك إلى أعلى مسافة $\frac{1}{2}$ متر،
والبكرة (ج) تتحرك $\frac{1}{4}$ متر، والبكرة (د) تتحرك $\frac{1}{8}$ متر.
الحمل يتحرك $\frac{1}{8}$ متر.

$$\text{نسبة السرعة} = 1 \div \frac{1}{8} = 8$$

$$\text{نسبة السرعة} = 2^3 = 8$$

د. مجموعة البكرات من الدرجة الثانية:

هذا النوع من المنظومات يتكون من مجموعتين من البكرات . مجموعة عليا جميع بكراتها ثابتة وتعلق في السقف، و مجموعة سفلى جميع بكراتها متحركة يعلق عليها الحمل . البكرات يمكن أن ترص أفقياً كما بالشكل (١١-٢) (أ) أو أن ترص رأسياً كما بالشكل (١١-٢) (ب) . يُستخدم حبل واحد يلتف حول جميع البكرات . يؤثر المجهود في أحد طرفي الحبل بينما الطرف الآخر ينتهي عند أحد المجموعتين .



شكل (١١-٢): مجموعتان من بكرات الدرجة الثانية

نسبة السرعة لهذا النوع من البكرات يمكن الحصول عليها برسم خط أفقي بين المجموعتين العليا والسفلى (انظر الخط المتقطع على الأشكال) فيكون عدد الحبال المقطوعة بهذا الخط المتقطع مساوي لنسبة السرعة لهذه المجموعة (الحبل الذي تؤثر عليه القوة لا يحسب) .

أو نسبة السرعة = مجموع البكرات في المجموعتين .

كذلك يمكن استخدام العلاقات التالية لحساب نسبة السرعة:

١- إذا انتهى الحبل عند مجموعة البكرات الثابتة:

$$\text{نسبة السرعة} = ٢ن$$

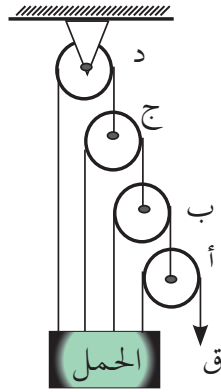
ب- إذا انتهى الحبل عند مجموعة البكرات المتحركة:

$$\text{نسبة السرعة} = ١ + ٢ن$$

حيث: $ن$ = عدد البكرات المتحركة .

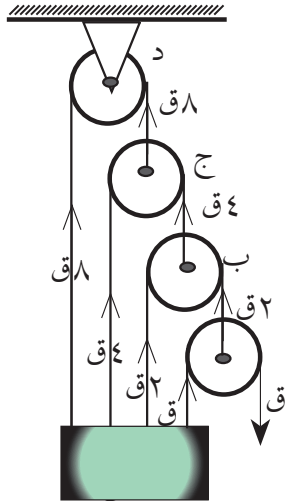
ج . مجموعة البكرات من الدرجة الثالثة :

الشكل (١٢-٢) يوضح مجموعة بكرات من الدرجة الثالثة. وفيها تكون بكرة واحدة ثابتة (بكرة د) مثبتة بالسقف بينما جميع البكرات الأخرى متحركة. يمر الحبل الذي تؤثر عليه القوة حول بكرة متحركة وينتهي بالحمل. بينما يبدأ أي حبل آخر بمركز أحد البكرات المتحركة ويلتف حول البكرة المتحركة التالية وينتهي بالحمل. جميع الحبال تنتهي بالحمل.



شكل (١٢-٢) : مجموعة بكرات من الدرجة الثالثة .

كذلك يمكن الحصول على نسبة السرعة لهذا النوع من مجموعات البكرات بحساب القوى على الحبال كما موضح بالشكل (١٣-٢) :



شكل (١٣-٢) : مجموعة بكرات من الدرجة الثالثة .

القوة في الحبل الأول حول البكرة (أ) = ق

القوة في الحبل الثاني حول البكرة (ب) = ق٢

القوة في الحبل الثالث حول البكرة (ج) = ق٤

القوة في الحبل الرابع حول البكرة (د) = ق٨

شكل (١٣-٢) : يوضح القوى على الحبال

الحمل تحمله (تسنده) مجموع القوى في الحبال الاربعة = ق + ق٢ + ق٤ + ق٨ = ق١٥
 الفائدة الميكانيكية = ق١٥ ÷ ق = ١٥
 إذا فرض الكفاءة تساوي ١ (١٠٠٪) فإن نسبة السرعة تساوي الفائدة الميكانيكية
 نسبة السرعة = ١٥
 بالملاحظة نجد أن نسبة السرعة يمكن الحصول عليها من العلاقة الآتية :

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{٢}{٣} - ١$$

حيث :

س = العدد الكلي للبكرات (المتحركة + الثابتة) .

مثال (٢-٨) :

في الشكل (٢-١١) (ب) السابق إذا كانت كفاءة الآلة ٨٠٪ . ووزن الجسم ٤٠٠٠ نيوتن ، احسب نسبة السرعة وكذلك القوة اللازمة لرفع الجسم .

الحل :

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{٢}{٣} = ٢ \times ٢ = ٤$$

كفاءة الآلة = الفائدة الميكانيكية ÷ نسبة السرعة

$$٠,٨ = \frac{\text{ف. م}}{٤} \Rightarrow \text{ف. م} = ٣,٢$$

$$\text{ف. م} = ٣,٢ = \frac{\text{الحمل}}{\text{القوة}} \Rightarrow \text{القوة} = \frac{\text{الحمل}}{٣,٢}$$

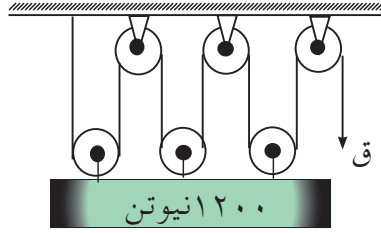
$$\text{القوة} = \frac{٤٠٠٠}{٣,٢} = ١٢٥٠ \text{ نيوتن}$$

$$\text{القوة} = ١٢٥٠ \text{ نيوتن}$$

$$\text{القوة} = ١٢٥٠ \text{ نيوتن}$$

مثال (٢-٩) :

ما القوة المطلوبة لرفع الحمل الموضح بالشكل (٢-١٤) أدناه إذا كانت الكفاءة ٨٠٪.



شكل (٢-١٤) : منظومة بكرات.

الحل :

هذه من منظومات الدرجة الثانية :

نسبة السرعة = عدد البكرات = ٦

الكفاءة = الفائدة الميكانيكية ÷ نسبة السرعة

٠,٨ = الفائدة الميكانيكية ÷ ٦

الفائدة الميكانيكية = ٦ × ٠,٨ = ٤,٨

الفائدة الميكانيكية = الحمل ÷ القوة

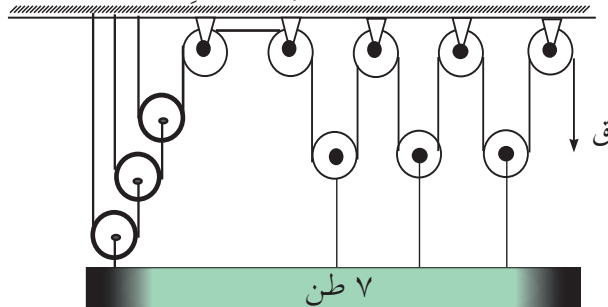
٤,٨ = ١٢٠٠٠ ÷ القوة

∴ القوة = ١٢٠٠٠ ÷ ٤,٨

القوة = ٢٥٠٠ نيوتن

مثال (٢-١٠) :

ما كفاءة الآلة الموضحة بالشكل (٢-١٥) إذا استخدمت قوة مقدارها ١٠٠٠٠ نيوتن لرفع الحمل أدناه.



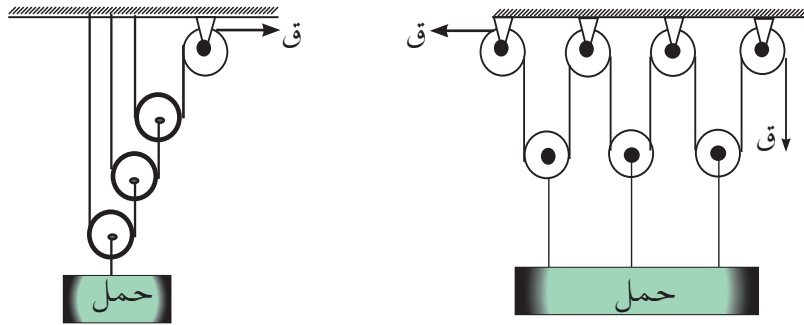
شكل (٢-١٥) : مجموعة بكرات من نظامين مختلفين

الحل:

المعطيات: الحمل = $10 \times 1000 \times 7 = 70000$ نيوتن

القوة = 10000 نيوتن

هذه المنظومة خليط من منظومتين من الدرجة الأولى والدرجة الثانية . يمكن فصلها كما موضح بالشكل (١٦-٢) أدناه .



(ب) منظومة درجة أولى .

(أ) منظومة درجة ثانية .

شكل (١٦-٢) : فصل المنظومة إلى منظومتين

افرض أن الحمل تحرك مسافة س إلى أعلى .

(أ) منظومة الدرجة الثانية شكل (١٦-٢) (أ) :

$$\text{نسبة السرعة} = 2 = 3 \times 2 = 6$$

∴ القوة (ق) تتحرك مسافة ٦ س

(ب) منظومة الدرجة الأولى شكل (١٦-٢) (ب) :

$$\text{نسبة السرعة} = 2$$

$$\text{نسبة السرعة} = 2 = 8$$

∴ القوة (ق) تتحرك مسافة ٨ س

المسافة الكلية التي تتحركها القوة (ق) بالمنظومتين معاً = ٦ س + ٨ س = ١٤ س

$$\text{نسبة السرعة الكلية} = 14 \div 2 = 7$$

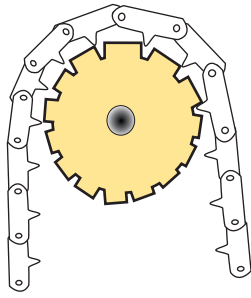
$$\text{الفائدة الميكانيكية} = \text{الحمل} \div \text{القوة} = 70000 \div 10000 = 7$$

$$\text{الكفاءة} = \text{الفائدة الميكانيكية} \div \text{نسبة السرعة}$$

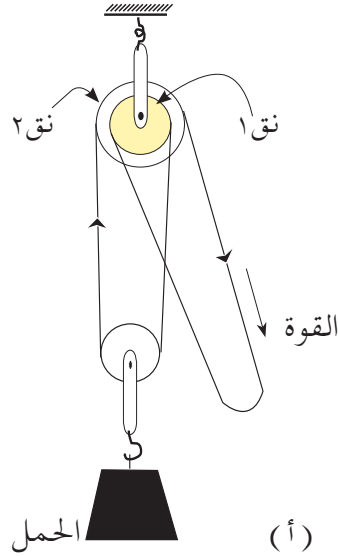
الكفاءة = $14 \div 7 = 0.5 = 50\%$
 هـ. مجموعة بكرات وستون التفاضلية (الفرقية):

Weston Differential Pulleys

تتكون مجموعة بكرات وستون التفاضلية من مجموعتين: مجموعة عليا مكونة من بكرتين ملتصقتين محورهما واحد ، أحدهما كبيرة والأخرى صغيرة ، ومجموعة سفلى مكونة من بكرة واحدة. توصل البكرات بجنزير مسنن واحد متصل كما موضح في شكل (١٧-٢) (أ). توجد على البكرات فتحات تنزل فيها أسنان الجنزير شكل (١٧-٢) (ب). أثناء تحريك الجنزير بقوة مناسبة تتحرك أسنانه على فتحات البكرات حركة مستمرة ويؤدي ذلك إلى دوران البكرات مجتمعة ورفع الجسم إلى أعلى.



(ب)



(أ)

شكل (١٧-٢) : بكرات وستون التفاضلية.

نتيجة لقوة الاحتكاك الكبيرة بين أسنان الجنزير والفتحات الموجودة على البكرات تكون كفاءة هذه الآلة منخفضة كثيرا. إذا انخفضت كفاءة هذه الآلة إلى اقل من ٥٠٪، فإن الجسم (الحمل) يبقى في مكانه ثابتاً حتى عند زوال القوة المحركة أو توقفها عن العمل. و يتضح من هنا أن قوة الاحتكاك لها فائدة مهمة وهي انه في حالة توقف القوة لفترة ما فإن الجسم لا يسقط أو يتحرك إلى أسفل بتأثير الجاذبية الأرضية، ويمكن مواصلة رفع الجسم أثناء فترات زمنية متباعدة. ولكن إذا كانت كفاءة هذه الآلة

تساوي أو تزيد عن ٥٠٪، فإن الجسم (الحمل) يسقط أو يتحرك إلى أسفل عند زوال القوة مباشرة.
يمكن استنتاج نسبة السرعة لهذه الآلة كما يلي:
ونفرض ان:

$$نق_١ = \text{نصف قطر البكرة الصغرى في المجموعة العليا.}$$

$$نق_٢ = \text{نصف قطر البكرة الكبرى في المجموعة العليا.}$$

عندما تُحرك القوة الجنزير دورة كاملة حول البكرة الكبيرة - تكون كل من البكرتين في المجموعة العليا قد تحركت دورة كاملة ، وبذلك ينقص الجنزير المتصل به الجسم بمقدار الفرق بين محيط البكرة الكبيرة ومحيط البكرة الصغيرة. ونجد أن الطول الناقص من الجنزير يكون مأخوذاً من طرفي الجنزير حول البكرة السفلى، أي أن كل طرف ينقص بمقدار يساوي نصف المقدار الذي ينقصه الجنزير، وبذلك ترتفع البكرة السفلى ومعها الجسم إلى أعلى بمقدار يساوي نصف الطول الناقص من الجنزير.

$$\text{الطول الناقص من الجنزير} = ٢ \pi (نق_٢ - نق_١)$$

$$\text{المسافة التي يتحركها الجسم} = (٢ \pi (نق_٢ - نق_١)) \div ٢$$

$$= \pi (نق_٢ - نق_١)$$

$$\text{المسافة التي تتحركها القوة} = ٢ \pi نق_٢$$

$$\text{نسبة السرعة} = \text{المسافة التي تتحركها القوة} \div \text{المسافة التي يتحركها الجسم.}$$

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{٢ \pi نق_٢}{(٢ \pi نق_٢ - ٢ \pi نق_١)} = \frac{نق_٢}{(نق_٢ - نق_١)}$$

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{قطر البكرة الكبيرة}}{\text{نصف قطر البكرة الكبيرة} - \text{نصف قطر البكرة الصغيرة}}$$

مثال (٢-١١):

استخدمت مجموعة بكرات وستون التفاضلية لرفع جسم يزن ٦٠٠٠ نيوتن.
أحسب القوة اللازمة لرفع الجسم إذا علمت أن قطر البكرة الكبيرة في المجموعة العليا ١٢ سم وأن قطر البكرة الصغيرة فيها ٤ سم وأن كفاءة الآلة ٥٠٪.

الحل:

المعطيات: ثقل الجسم = ٦٠٠٠ نيوتن ، كفاءة الآلة = ٥٠٪ = ٠,٥
 نق_١ = ٢ سم ، نق_٢ = ٦ سم

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{نق}_2}{(\text{نق}_1 - \text{نق}_2)} = \frac{٢}{(٦ - ٢)} = ٣$$

$$\text{افرض القوة اللازمة س} = \frac{\text{ثقل الجسم}}{\text{الفائدة الميكانيكية}} = \frac{٦٠٠٠}{٣}$$

$$\frac{\text{م. ف.}}{\text{ن. س.}} = \text{الكفاءة}$$

$$\frac{٦٠٠٠ \div \text{س}}{٣} = ٠,٥$$

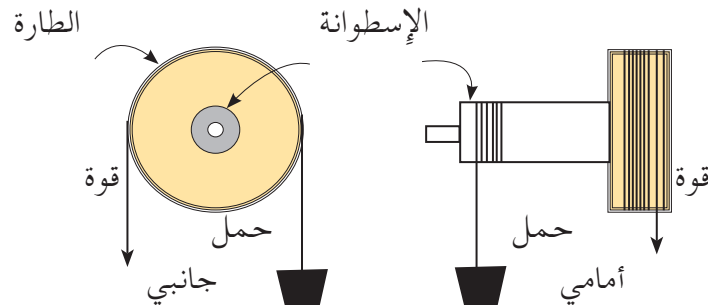
$$\frac{٦٠٠٠}{٣ \text{ س}} = ٠,٥$$

$$\frac{٦٠٠٠}{٣ \times ٠,٥} = \text{س}$$

∴ القوة اللازمة لرفع الجسم = ٤٠٠٠ نيوتن

(٢-١-٧) الملفاف : Wheel and Axle

عندما يراد رفع جسم ما إلى أعلى من الأفضل رفع الجسم بحبل ثم لف الحبل إلى أعلى بوساطة اليد أو بوساطة آلة مناسبة. الجهاز الموضح في الشكل (٢-١٨) يكون مناسباً لذلك ويسمى بالملفاف.



شكل (٢-١٨): الملفاف.

يتكون الملفاف من اسطوانتين ملتصقتين محورهما واحد ، أحدهما كبيرة تسمى (الطاردة) والأخرى صغيرة وتسمى (الاسطوانة) ، يلف حبل منفصل حول كل منهما كما موضح في الشكل (٢-١٨) . كل حبل يلتف في إتجاه معاكس للآخر . عندما تؤثر قوة عند طرف الحبل الملفوف حول الطاردة ويجذب الحبل إلى أسفل تدور كل من الطاردة والاسطوانة معاً ، ويؤدي ذلك إلى إلتفاف الحبل الآخر المتصل بالحمل حول الاسطوانة الصغرى ، ونتيجة لذلك يرتفع الجسم إلى أعلى . عندما تتحرك القوة مسافة مساوية لمحيط الطاردة يكون الجسم قد تحرك مسافة مساوية لمحيط الاسطوانة الصغرى .

من ذلك يتضح أن :

نسبة سرعة الملفاف = محيط الطاردة ÷ محيط الاسطوانة الصغيرة

$$\frac{\text{نق}_2}{\text{نق}_1} = \frac{\pi \cdot \text{نق}_2}{\pi \cdot \text{نق}_1}$$

حيث :

نق_1 = نصف قطر الاسطوانة .

نق_2 = نصف قطر الطاردة .

$$\text{نسبة سرعة الملفاف} = \frac{\text{نصف قطر الطاردة}}{\text{نصف قطر الاسطوانة}}$$

مثال (٢-١٢) :

جسم يزن ١٠٠٠٠ نيوتن رفع بواسطة ملفاف . إذا كان نصف قطر طاردة الملفاف ٤٠ سم ونصف قطر الاسطوانة ١٠ سم ، أحسب نسبة السرعة لهذه الآلة . وإذا كانت كفاءة الآلة ٨٠٪ احسب القوة اللازمة لرفع الجسم .

الحل :

المعطيات : ثقل الجسم = ١٠٠٠٠ نيوتن ، كفاءة الآلة = ٨٠٪ ،

$\text{نق}_1 = ١٠ \text{ سم}$ ، $\text{نق}_2 = ٤٠ \text{ سم}$.

افرض أن القوة اللازمة لرفع الجسم = س

$$\frac{\text{ثقل الجسم}}{\text{القوة المؤثرة}} = \text{الفائدة الميكانيكية}$$

$$\frac{10000}{س} = \text{الفائدة الميكانيكية}$$

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{نق}_2}{\text{نق}_1} = \frac{40}{10} = 4$$

$$\text{كفاءة الآلة} = \frac{\text{الفائدة الميكانيكية}}{\text{نسبة السرعة}}$$

$$\frac{10000 \div س}{4} = 0,8$$

$$\frac{10000}{س \times 4} = 0,8$$

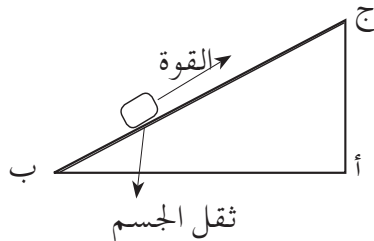
$$س = \frac{10000}{4 \times 0,8} = 3125 \text{ نيوتن}$$

القوة اللازمة لرفع الجسم = 3125 نيوتن

(٢-١-٨) المستوى المائل :

يمكن رفع جسم إلى أعلى باستعمال مستوى مائل، وفي هذه الحالة تساعد قوة الاحتكاك على تثبيت الجسم على المستوى المائل عند زوال القوة. وخلال فترات من الزمن يمكن رفع الجسم إلى أعلى نقطة للمستوى المائل. نسبة السرعة للمستوى المائل تعتمد على الاتجاه الذي تؤثر فيه القوة.

أولاً: القوة موازية للمستوى المائل :

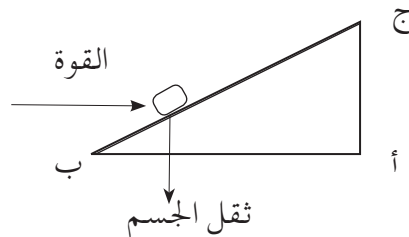


شكل (٢-١٩) : القوة الموازية للمستوي المائل

إذا تم رفع الجسم من النقطة ب إلى النقطة ج بواسطة قوة موازية للمستوى المائل شكل (١٩-٢) فإن :
نسبة السرعة = المسافة التي تتحركها القوة ÷ المسافة التي يرتفعها الجسم
= ب ج ÷ أ ج

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{طول المستوي المائل الذي تحركته القوة}}{\text{المسافة الرأسية التي إرتفعها الجسم}} \dots\dots (٩-٢)$$

ثانياً : القوة أفقية :



شكل (٢٠-٢) : القوة افقية

إذا تم تحريك الجسم من النقطة ب إلى النقطة ج بواسطة قوة افقية شكل (٢٠-٢) فإن :
نسبة السرعة = المسافة التي تتحركها القوة ÷ المسافة التي يرتفعها الجسم
= أ ب ÷ أ ج

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{المسافة الأفقية التي تحركتها القوة}}{\text{المسافة الرأسية التي إرتفعها الجسم}} \dots\dots (١٠-٢)$$

مثال (١٣-٢) :

جسم وزن ١٠٠٠ نيوتن يُراد رفعه إلى أعلى لارتفاع ١٠ أمتار باستخدام مستوى مائل طوله ١٠٠ متر. جد القوة اللازمة لذلك (مع إهمال قوة الاحتكاك) وذلك في الحالات الآتية :

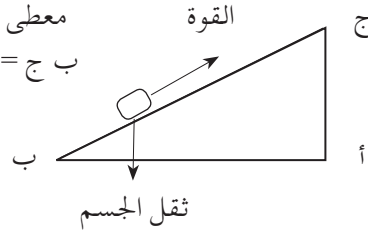
١- القوة موازية للمستوى المائل .

٢- القوة أفقية .

الحل:

أولاً: إذا كانت القوة موازية للمستوي المائل شكل (٢-٢١):

معطى: أ ج = ١٠ متر
ب ج = ١٠٠ متر



شكل (٢-٢١): القوة موازية للمستوي المائل.

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{طول المستوي المائل}}{\text{الإرتفاع الرأسى}} = \frac{100}{10} = 10$$

كفاءة الآلة = ١٠٠٪ = ١ (نظراً لاهمال قوة الاحتكاك)

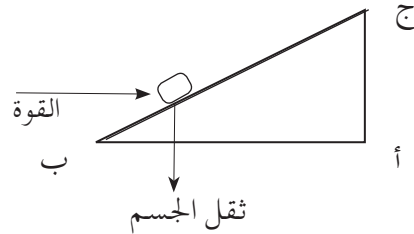
∴ الفائدة الميكانيكية = نسبة السرعة = ١٠

$$\frac{\text{ثقل الجسم}}{\text{القوة}} = \text{الفائدة الميكانيكية}$$

$$\frac{1000}{\text{القوة}} = 10$$

$$\underline{\underline{100}} = \frac{1000}{10} = \text{القوة المؤثرة}$$

ثانياً: إذا كانت القوة افقية شكل (٢-٢٢):



شكل (٢-٢٢): القوة افقية

معطى: أج = ١٠ م ، ب ج = ١٠٠ م

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{المسافة الأفقية التي تحركتها القوة}}{\text{المسافة الرأسية التي إرتفعها الجسم}}$$

$$\text{المسافة الأفقية التي تتحركها القوة} = \sqrt{210^2 - 99.5^2} = 99.5 \text{ متر}$$

$$\therefore \text{نسبة السرعة} = 99.5 \div 10 = 9.95$$

نظراً لإهمال قوة الاحتكاك فان:

$$\text{الفائدة الميكانيكية} = \text{نسبة السرعة} = 9.95$$

$$\text{الفائدة الميكانيكية} = \text{وزن الجسم} \div \text{القوة}$$

$$\frac{1000}{\text{القوة المؤثرة}} = 9.95$$

$$\frac{1000}{9.95} = \text{القوة المؤثرة}$$

$$\therefore \text{القوة اللازمة} = 100.5 \text{ نيوتن}$$

(٢-١-٩) المرفاع اللولبي : Screw Jack

المرفاع اللولبي عبارة عن آلة تستخدم لرفع الأجسام إلى أعلى عبر مسافة محدودة، وتستخدم عادة في رفع السيارات (العفريته). تؤثر القوة على مقبض، وعند تحريك المقبض يتحرك قضيب لولبي بالداخل إلى أعلى دافعاً أمامه قرص المرفاع الذي يوضع عليه الجسم المراد رفعه. عندما تتحرك القوة المؤثرة على المقبض دورة كاملة يكون الجسم قد ارتفع إلى أعلى مسافة مقدارها طول درجة واحدة من درجات اللولب. فنسبة السرعة للمرفاع اللولبي حينئذ يمكن ايجادها باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{نسبة السرعة للمرفاع اللولبي} = \frac{2\pi L}{\text{طول درجة واحدة}} \dots (١١-٢)$$

حيث: L = طول المقبض

في هذه الآلة توجد قوة احتكاك كبيرة بين المسمار اللولبي والجدار الداخلي الذي

يتحرك عليه، وقوة الاحتكاك هنا لها فائدة في أنها تمنع الجسم من الانزلاق إلى أسفل عند زوال القوة. عند رفع سيارة بهذه الآلة يمكن للشخص الذي يحرك المقبض أن يتوقف عن ذلك بين فترة وأخرى ويواصل رفع السيارة إلى أعلى دون أن تهبط السيارة إلى أسفل أثناء فترة التوقف، كما تظل السيارة مرفوعة وثابتة حتى الانتهاء من تغيير الإطار. إلا أن كفاءة المرفاع في هذه الحالة يجب أن تقل عن ٥٠٪.

مثال (٢-١٤):

مرفاع لولبي طول درجة لولبه ٠,٤ سم، وطول مقبضه ٦٠ سم، أثرت قوة مقدارها ٤٠ نيوتن عند طرف مقبضه، فرفعت جسم وزنه ٦٠٠٠ نيوتن إلى أعلى، احسب:

أ. نسبة السرعة ب. الفائدة الميكانيكية ج. كفاءة الآلة.

الحل:

المعطيات: طول درجة اللولب = ٠,٤ ، ل = ٦٠ سم
القوة المؤثرة = ٤٠ نيوتن ، وزن الجسم = ٦٠٠٠ نيوتن

أ. نسبة السرعة للمرفاع اللولبي = $\frac{2\pi L}{\text{طول درجة واحدة}}$

$$= \frac{60 \times 2\pi}{0,4} = 942$$

ب. الفائدة الميكانيكية = وزن الجسم ÷ القوة = $6000 \div 40 = 150$

ج. كفاءة الآلة = الفائدة الميكانيكية ÷ نسبة السرعة

$$= 942 \div 150 = 0,16 = 16\%$$

تمارين (٢-٢)

١. ما تأثير قوة الاحتكاك على كلٍ من الفائدة الميكانيكية ونسبة السرعة وكفاءة الآلة.

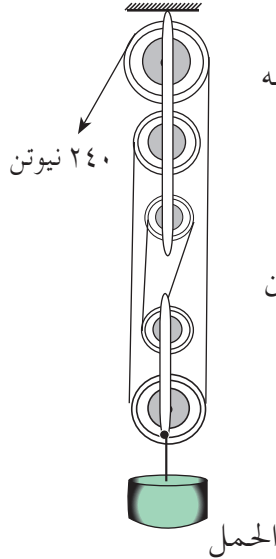
أُستُخدمت مجموعة بكرات من الدرجة الثالثة تتكون من بكرة واحدة ثابتة و٣ بكرات متحركة لرفع جسم وزنه ١٥٠٠ نيوتن، فاحتاج الأمر قوة مقدارها ٢٠٠ نيوتن. أوجد كفاءة الآلة.

٢. أ- اذكر الأسباب التي تجعل كفاءة الآلة دائماً أقل من ١٠٠٪.

ب- دلو بداخله ماء ، الوزن الكلي للدلو والماء ٢٢٠ نيوتن. يراد رفع الدلو بوساطة ملفاف كفاءته ٧٥٪. إذا كان قطر طارة الملفاف ٨٠ سم وقطر الاسطوانة ٢٠ سم ، أحسب القوة اللازمة لذلك.

٣- مستوى يميل بزاوية مقدارها ٣٠° مع المستوى الأفقي. حُركت كتلة خشبية على المستوى المائل بوساطة حبل مواز للمستوى المائل. أوجد نسبة السرعة لهذه الآلة بطريقة الرسم أو غيرها. إذا كانت قوة الشد في الحبل ٤٠٠٠ نيوتن ووزن الكتلة الخشبية ٦٠٠٠ نيوتن ، أوجد الفائدة الميكانيكية وكفاءة الآلة.

٤- أُستُخدمت آلة مناسبة لرفع جسم وزنه ١٣٠٠ نيوتن مسافة ٥٥ متراً. إذا كانت نسبة السرعة لها ٦ وكفاءتها ٥٠٪ ، أحسب القوة اللازمة لذلك.



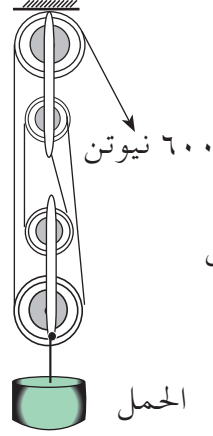
٥- في الشكل جانباً احسب مقدار الحمل الذي يمكن رفعه بالقوة الموضحة :

أ. باعتبار المنظومة خفيفة وعدم وجود احتكاك .

ب. باعتبار كفاءة المنظومة ٦٠٪ .

ج. احسب نسبة السرعة والفائدة الميكانيكية في الحالتين

اعلاه وقارن بينهما .



٦- (أ) لمنظومة البكرات التالية أوجد :

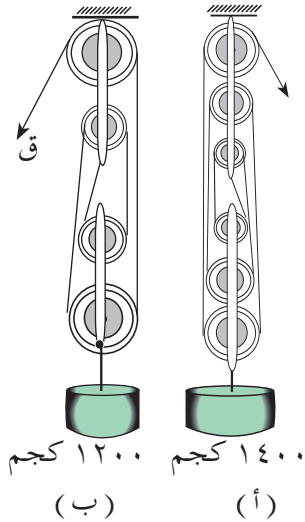
١- نسبة السرعة .

٢- الفائدة الميكانيكية .

٣- كفاءة المنظومة .

(ب) الشغل المبذول بالمجهود لرفع الحمل
مسافة مترين .

الحمل ١٨٠٠ نيوتن



٧- (أ) ما القوة المطلوبة لرفع الحمل ١٤٠٠ كجم

بمجموعة البكرات (أ) الموضحة جانباً إذا كانت
الكفاءة ٨٠٪ .

(ب) إذا أمكن رفع الحمل ١٢٠٠ كجم باستخدام

قوة ٦٠٠٠ نيوتن بواسطة مجموعة البكرات (ب)

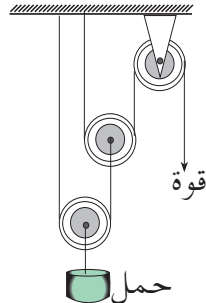
الموضحة جانباً . احسب كفاءة المنظومة .

٨- الشكل ادناه يبين منظومة من بكرتين متحركتين واحدة ثابتة . إذا كانت كتلة

الحمل ٢٤ كجم والقوة اللازمة لرفعه ٨٠ نيوتن، احسب الكفاءة .

احسب الحمل الذي يمكن رفعه بنفس القوة أعلاه بواسطة هذه المنظومة إذا

فرض عدم وجود احتكاك وان جميع أجزائها خفيفة جداً .



(٢-٢) طرق نقل الحركة

(١-٢-٢) مفهوم الحركة :

إذا أخذنا في الاعتبار المعنى المطلق للحركة، فإننا نجد أن كل جسم في هذا الوجود يتحرك، ولكن الحركة التي نعيها بالدراسة لأي جسم هي حركة نسبية. فإننا ندرس حركة الجسم المعني بالنسبة لجسم معلوم نفترض أنه ثابت.

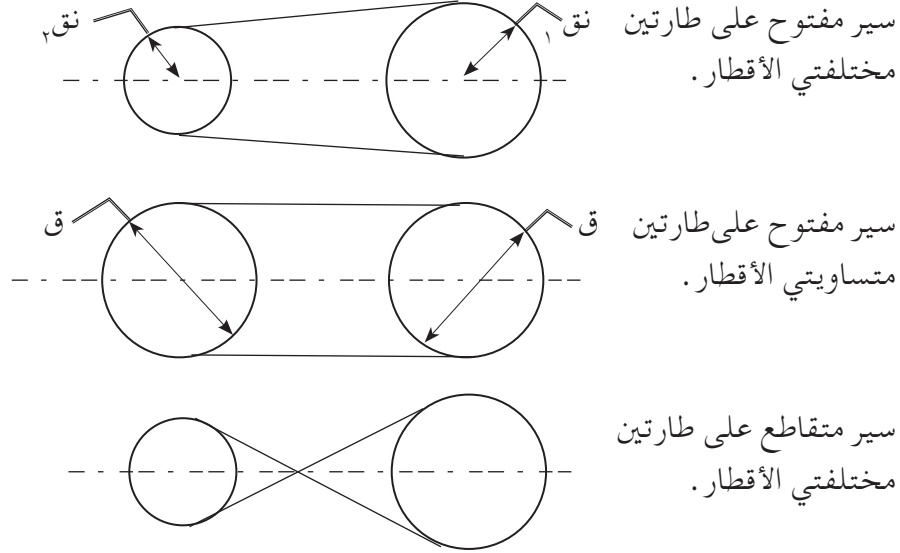
تعريف الحركة :

إذا تغيرت إزاحة الجسم (أ) مع الزمن بالنسبة للجسم (ب) فإننا نقول أن الجسم (أ) يتحرك بالنسبة للجسم (ب).
تُنقل الحركة من مصدر الحركة الرئيس (المحرك مثلاً) إلى عمود الدوران الرئيس لآلات التشغيل بعدة طرق منها:

(٢-٢-٢) نقل الحركة بواسطة السيور (متقاطعة ومتوازية) : Belt Drive

في هذه الطريقة يُلف سير حول طارتين مثبتتين على محورين مختلفين يبعدان عن بعضهما مسافة مناسبة. فإذا دارت إحدى الطارتين حول محورها - فإن السير يدور معها ، وبدورانه ينقل هذه الحركة إلى الطارة الأخرى. تسمى الطارة الأولى قائدة والطارة الثانية منقادة أو تابعة. من ذلك يتضح أن وظيفة السيور هي نقل الحركة بين محورين متوازيين أو مائلين على بعضهما. فإذا كان طرفي السير متوازيين فإن الطارة المنقادة تدور في نفس اتجاه دوران الطارة القائدة ، وأما إذا كان طرفي السير متقاطعة فإن الطارة التابعة تدور عكس اتجاه دوران الطارة القائدة ، ويراعى أن يكون السير مشدوداً بالقدر الكافي الذي ينقل الحركة بسهولة، والشكل (٢-٢٣) يبين أبسط أنواع نقل الحركة بالسيور وأكثرها انتشاراً، ويلاحظ أنه في حالة تساوي قطري الطارتين فإن سرعتيهما تكون متساوية، أما إذا كان القطرين غير متساويين فإن الطارة الصغرى تدور بسرعة أكبر من الطارة الكبرى.

وعيوب طريقة نقل الحركة بالسيور هو حدوث انزلاق للسير أثناء الحركة مما يجعل نسبة السرعة بين الطارتين غير ثابتة.



شكل (٢٣-٢) : نقل الحركة بالسيور .

حساب طول السير ذو الطرفين المتوازيين :

لحساب طول السير يُستخدم العلاقات التالية :

أ . في حالة تساوي قطري الطارتين :

$$\text{طول السير «ل»} = \pi + 2م \quad (١٢-٢) \dots\dots\dots$$

حيث :

ل = طول السير .

ق = قطر إحدى الطارتين .

م = المسافة بين مركزي الطارتين .

ب . في حالة اختلاف قطري الطارتين :

يمكن الحصول على طول السير بالتقريب من العلاقة :

$$\text{طول السير «ل»} = \pi (نق_١ + نق_٢) + 2م \sqrt{2} + (نق_١ - نق_٢)^2 \quad (١٣-٢) \dots\dots\dots$$

حيث :

نق_١ = نصف قطر الطائرة الكبرى .

نق_٢ = نصف قطر الطائرة الصغرى .

مثال (۲-۱۵):

طارتان متساويتان في القطر تدوران في اتجاه واحد، احسب طول السير المناسب لادارتهم إذا كانت المسافة بين محوريهما ٣ أمتار وقطر كل من الطارتين ٥٠ سم.

الحل:

طول السير (ل) = $2\pi + 3.14 \times 300 = 707.1$ سم
 707.1 سم = 7.07 متر

مثال (۲-۱۶) :

طارة قائدة نصف قطرها ٦٠ سم متصلة بسير مع طارة منقادة نصف قطرها ١٠ سم
 البعد بين مركزي الطارتين ١٢٠ سم. احسب طول السير اللازم لذلك.

الحل:

$$\begin{aligned} \text{نق}_1 = 60 \text{ سم} , \text{ نق}_2 = 10 , \text{ م} = 120 \text{ سم} , \text{ ل} = ? \\ \text{طول السير «ل»} = \pi (\text{نق}_1 + \text{نق}_2) + \sqrt{2} \text{ م} + (\text{نق}_1 - \text{نق}_2) \\ \text{طول السير «ل»} = \pi (10 + 60) + \sqrt{2} \times 120 + (60 - 10) \\ \text{طول السير «ل»} = \frac{22}{7} \times 70 + \sqrt{2} \times 1440 - 1000 \\ \text{طول السير «ل»} = 220 + \sqrt{2} \times 1690 \end{aligned}$$

حساب نقل الحركة بالسيور:

يمكن استعمال العلاقة الآتية لحساب نسبة السرعة (نسبة النقل) بغرض عدم الإنزلاق:

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{سرعة الطارة القائدة}}{\text{سرعة الطارة المنقادة}} = \frac{\text{قطر الطارة المنقادة}}{\text{قطر الطارة القائدة}}$$

مثال (٢-١٧):

طارة قطرها ١٠٠ ملم مثبتة على عمود محرك سرعته ١٤٠٠ لفة/الدقيقة.
أوجد قطر الطارة اللازم تركيبها على العمود المنقاد ليدور بسرعة ٥٠٠ لفة/الدقيقة،
واحسب نسبة السرعة.
الحل:

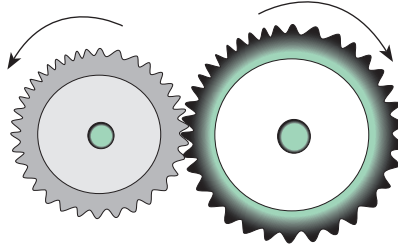
$$\begin{aligned} \text{بما أن:} \quad \frac{\text{سرعة الطارة القائدة}}{\text{سرعة الطارة المنقادة}} &= \frac{\text{قطر الطارة المنقادة}}{\text{قطر الطارة القائدة}} \\ \frac{1400}{500} &= \frac{\text{قطر الطارة المنقادة}}{100} \end{aligned}$$

∴ قطر الطارة المنقادة = ٢٨٠ ملم

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{سرعة الطارة القائدة}}{\text{سرعة الطارة المنقادة}} = \frac{1400}{500} = 2,8$$

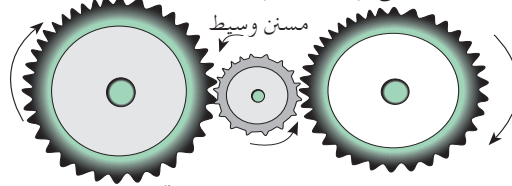
(٣-٢-٢) نقل الحركة بالمسّنات (التروس) : Gears Drive

يُستخدم زوج من المسّنات في نقل الحركة والقدرة بين المحاور المتوازية (أو المائلة أو المتعامدة) والمتباعدة عن بعضها بمسافة صغيرة. وتنقل هذه الحركة بوساطة الأسنان التي تحفر على محيط المسن بنسب خاصة بحيث تتداخل أسنان كل منهما في تجاويف الأخرى منعاً لحدوث الانزلاق، وبذلك تحفظ نسبة السرعة ثابتة بينهما، وأبسط حالات النقل هي نقل الحركة بوساطة مسننين محوراهما متوازيين (مثل عمود المرفق وعمود الحدبات) ويكون اتجاه دوران أحدهما عكس اتجاه دوران الآخر. انظر شكل (٢٤-٢).



شكل (٢٤-٢): مسنن (قائد ومنقاد)

أما إذا أردنا أن يدور المسن التابع في نفس اتجاه دوران المسن القائد فلا بد من وضع مسن وسيط بينهما. انظر الشكل (٢٥-٢).



الشكل (٢٥-٢): الترس الوسيط يغير اتجاه الحركة

ويمكن الحصول على نسبة السرعة (نسبة النقل) بين المسننين القائد والمنقاد (بغض النظر عن وجود أو عدم وجود تروس وسيطة) من العلاقات التالية:

$$\text{نسبة السرعة للمسننات} = \frac{\text{سرعة المسن القائد}}{\text{سرعة المسن المنقاد}} = \frac{\text{عدد اسنان المسن المنقاد}}{\text{عدد اسنان المسن القائد}}$$

الحالات التي تستخدم فيها المسننات لنقل الحركة:

- إذا كان البعد بين المحورين المراد نقل الحركة بينهما صغيراً.
- عدم إمكانية استخدام السيور والجنازير.
- عندما يشترط في الحركة المنقولة أن تكون نسبة السرعة ثابتة.

مثال (٢-١٨) :

عمود إدارة يدور بسرعة ٩٠٠ لفة في الدقيقة مركب عليه مسنن (ترس) عدد أسنانه ٢٠ ، ومعشق معه مسنن العمود التابع . إذا أُريد للعمود التابع أن يدور بسرعة ٥٠٠ لفة في الدقيقة فما هو عدد أسنان المسنن التابع اللازمة لذلك . وكم مقدار النسبة السرعةية للمجموعة .

الحل :

$$\frac{\text{سرعة المسنن القائد}}{\text{سرعة المسنن المنقاد}} = \frac{\text{عدد اسنان المسنن المنقاد}}{\text{عدد اسنان المسنن القائد}}$$

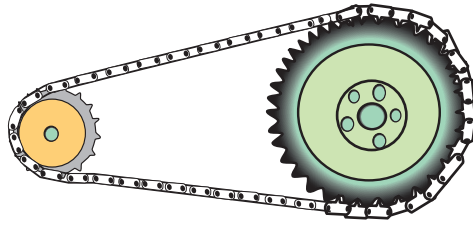
$$\frac{900}{500} = \frac{\text{عدد اسنان الترس المنقاد}}{20}$$

$$\text{عدد اسنان المسنن المنقاد} = 36$$

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{سرعة المسنن القائد}}{\text{سرعة المسنن المنقاد}} = \frac{900}{500} = 1,8$$

(٢-٢-٤) نقل الحركة بالسلاسل والجنائز :

هذه الوسيلة لها استخدامات خاصة حيث تستخدم السلاسل في الدراجات و ماكينات السيارات وفي بعض الروافع الثقيلة وفي عجلات الدبابات وفي أماكن أخرى . في هذا النوع من طرق نقل الحركة لا يحدث إنزلاق بين السلاسل والمسننات المركبة عليها، لذلك تكون نسبة السرعة ثابتة . ويمكن حسابها بنفس قوانين التروس السابقة .



تمارين (٢-٣)

- ١- طارة قائدة نصف قطرها ١٢٠ سم متصلة بسير مع طارة منقادة نصف قطرها ٢٠ سم، البعد بين مركزي الطارتين ٢٤٠ سم.
١- احسب طول السير اللازم لذلك.
- ٢- إذا دارت الطارة القائدة بسرعة ٥٠٠ لفة/دقيقة، احسب سرعة الطارة المنقادة. (الاجابة: ٩٦٠ سم ، ٣٠٠٠ لفة/دقيقة)
- ٢- محرك سرعة دورانه ١٤٠٠ لفة/دقيقة. مثبت على عمود إدارته طارة قطرها ١٦٠ مم. استخدم سير لنقل حركة المحرك لإدارة عمود مركب عليه طارة. فإذا كانت سرعة العمود المنقاد ٥٦٠ لفة/دقيقة، أحسب: ١- نسبة النقل ٢- قطر الطارة المنقادة.
- ٣- مسنن قائد عدد أسنانه ٣٦ يدور بسرعة ٧٢٠ لفة/دقيقة عُشَق بمسنن آخر منقاد عدد أسنانه ٧٢، احسب: أ- سرعة المسنن المنقاد ب- نسبة النقل.
- ٤- احسب سرعة دوران مسنن، له ١٢٠ سن مركب على عمود ادارة آلة، عندما يُعشَق مع مسنن آخر له ١٠٠ سن مثبت على مصدر الحركة ويدور بسرعة ٣٠٠ لفة/دقيقة. (الاجابة: ٢٥٠ لفة/دقيقة).
- ٥- مسنن عدد أسنانه ٣٦ وسرعة دورانه ٧٢٠ لفة/دقيقة. عُشَق بمسنن آخر عدد أسنانه ٧٢ وذلك باستخدام مسنن وسيط عدد أسنانه ٥٤. أحسب:
أ- سرعة دوران المسنن الوسيط.
ب- سرعة دوران المسنن المنقاد.
ج- نسبة النقل.
- (الاجابة: ٤٨٠ لفة/دقيقة، ٣٦٠ لفة/دقيقة, ٢)
- ٦- أحسب القيم الناقصة أدناه:
قطر الطارة القائدة = ١٠٠ مم
قطر الطارة المنقادة =
سرعة الطارة القائدة =
سرعة الطارة المنقادة = ٥٠٠ لفة/دقيقة
نسبة النقل = ٢,٥

Machine Tools (٣-٢) آلات التشغيل

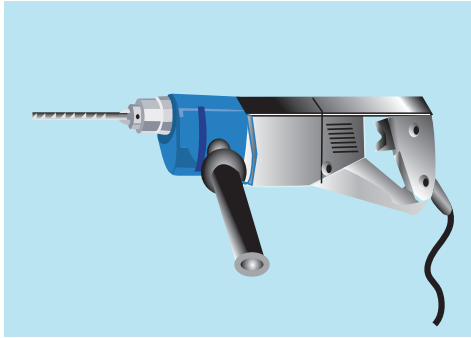
يقصد بآلات التشغيل الآلات التي تستخدم في انتاج المشغولات المختلفة في الورش والمصانع. تختلف آلات التشغيل في أنواعها وأشكالها وأحجامها وفقاً لنوع العمل الذي تقوم به. من أهم أنواع آلات التشغيل التي تستخدم في الورش والمصانع: آلات الثقيب ، المخارط ، المكاشط ، الفرايز ، وآلات التجليخ وغيرها. وستختصر الدراسة هنا على آلات الثقيب فقط.

(١-٣-٢) آلات الثقيب : Drilling Machine

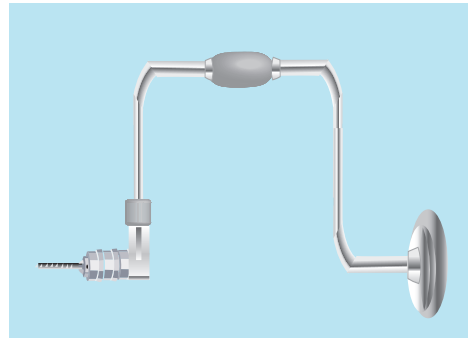
آلات الثقيب عبارة عن آلات تستخدم لتثقيب المشغولات أو توسيع الثقوب بواسطة المثاقب ، أو لأعمال البرغلة لتنعيم الثقوب. آلات الثقيب إما أن تكون متحركة أو ثابتة.

(٢-٣-٢) آلات الثقيب المتحركة :

آلات الثقيب المتحركة ، شكل (٢-٢٦) ، تُحمل باليد أثناء أداء العمل ، وهي آلات إما أن تدار يدوياً أو بواسطة الكهرباء ، وفي كلتا الحالتين هي آلات ذات أداء محدود في إنشاء ثقوب صغيرة الأقطار فقط.



تدار بالكهرباء



تدار باليد

شكل (٢-٢٦) : آلات ثقيب متحركة

(٢-٣-٣) آلات التثقيب الثابتة :

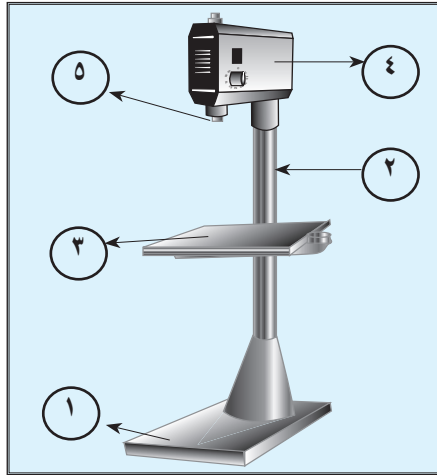
هي آلات التثقيب التي تثبت على الأرض أو على منصدة وتدار بواسطة الكهرباء وهي متعددة الأشكال والأحجام وفقاً لنوع العمل وحجم العمل الذي تقوم به الآلة.

وأهم أنواع آلات التثقيب الثابتة الشائعة الاستعمال ثلاثة أنواع هي :

- ١ . آلات التثقيب الرأسية
- ٢ . آلات التثقيب المحورية (الدف)
- ٣ . آلات التثقيب الحساسة

(٢-٣-٤) آلات التثقيب الرأسية :

تتكون آلات التثقيب الرأسية، كما في شكل (٢-٢٧)، من قاعدة^(١)، وقائم^(٢) يحمل منصدة آلة التثقيب^(٣) التي تتحرك عليه إلى أعلى أو أسفل . ويحمل القائم المحرك الكهربائي^(٤) مصدر الحركة ويحمل أيضاً صندوق تروس تغيير السرعات وعمود الإدارة^(٥) (عمود القلب) الذي يركب عليه المثقاب بواسطة الجلب المخروطية أو الظروف الانضباطية.



شكل (٢-٢٧) : آلة تثقيب رأسية .

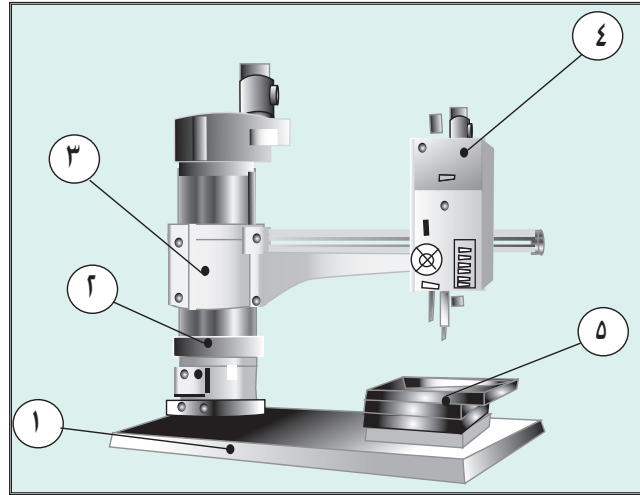
(٢-٣-٥) آلات التثقيب الدف :

تتكون آلات التثقيب الدف - كما مبين في شكل (٢-٢٨) - من قاعدة^(١) تكون هي نفسها بمثابة منصدة آلة التي تربط عليها المشغولات الكبيرة. وقائم

اسطواناني^(٢) يثبت عليه ذراع الدف^(٣). وتثبت مجموعة المحرك الكهربائي^(٤) وصندوق التروس وعمود الادارة كلها على ذراع الدف^(٣)، وتتحرك هذه المجموعة كقطعة واحدة إلى أعلى وأسفل على القوائم. كما تتحرك حركة أفقية على ذراع الدف تجاه القوائم أو بعيداً عنه. ويتحرك ذراع الدف ومجموعة عمود الادارة في حركة دائرية حول القوائم الاسطواناني. وتزود آلة الثقيب الدف بمنضدة إضافية^(٥) يمكن أن تربط عليها المشغولات الصغيرة.

تمتاز آلة الثقيب الدف عن آلة الثقيب الرأسية بميزتين:

١. تظل المشغولات المثبتة على المنضدة على وضعها بينما تتحرك مجموعة عمود الادارة إلى الاتجاهات المختلفة لإحداث الثقوب المطلوبة.
٢. يمكن أن تستخدم آلة الثقيب الدف في ثقيب ثقوب ذات أقطار كبيرة في مشغولات كبيرة جداً لا يمكن أن تثقب على آلة الثقيب الرأسية.



الشكل (٢-٢٨): آلة ثقيب الدف

(٢-٣-٦) آلة الثقيب الحساسة:

لا تختلف آلة الثقيب الحساسة عن النوعين السابقين من آلات الثقيب، بل يمكن أن تكون آلة ثقيب رأسية حساسة أو آلة ثقيب داف حساسة. وآلة الثقيب الحساسة مهما كان نوعها رأسية أو داف فهي اصغر حجماً تثبت على حامل أو منضدة، وصممت خصيصاً للقيام بعمل الثقوب الصغيرة الأقطار بواسطة مثاقب لا تتعدى أقطارها ١٤ مم.

عملية التغذية (تقدّم المثاقب داخل الشغلة) في آلة الثقيب الحساسة تحدث بواسطة يد العامل، وبذلك يستطيع العامل أن يحس بأي مصاعب تطرأ في عملية الثقيب لذلك سميت هذه الآلة بآلة الثقيب الحساسة.

(٢-٣-٧) حساب سرعات القطع لآلات الثقيب :

من أساسيات العمل في آليات التشغيل أن يعرف الإنسان السرعة التي يدير بها الآلة لأداء العمل ومعرفة سرعة القطع . تتوقف سرعة دوران آلة التشغيل وسرعة القطع على عدة عوامل مثل : نوع مادة الشغلة ، صلادة آلة القطع وحالة الآلة .
تحتسب سرعة دوران آلة التشغيل بعدد لفات عمود الإدارة في الدقيقة ويعبر عنها بالحرف (د) . تحتسب سرعة القطع بالمتري في الدقيقة ويعبر عنها بالحرف (س) . هناك بعض الاعتبارات النظرية لسرعة قطع المثقاب تؤخذ في الاعتبار على النحو التالي :-
١ . كلما زادت صلادة مادة الشغلة قلت سرعة القطع .

مثال ذلك مثقاب مصنوع من " صلب السرعات العالية " يمكن أن يدار بسرعات القطع آتية حسب نوع صلادة الشغلة (جدول (٢-١)) :
جدول (٢-١) : نوع مادة الشغلة وسرعة القطع .

نوع مادة الشغلة	سرعة القطع (متر / الدقيقة)
نحاس أصفر (طري)	٦٣
برونز (متوسط)	٤٨
الفولاذ (صلد)	١٧

٢ . كلما زادت صلادة المثقاب زادت سرعة القطع للشغلة المعينة .
فمثلاً إذا أُريد عمل ثقب في شغلة من النحاس الأصفر، فإن سرعة القطع تختلف باختلاف صلادة المثقاب على النحو التالي (جدول (٢-٢)) .
جدول (٢-٢) : نوع مادة المثقاب وسرعة القطع .

نوع مادة المثقاب	سرعة القطع (متر / الدقيقة)
صلب مسبوك (صلد)	٣١
صلب سرعات عالية (صلد جداً)	٦٣
صلب سرعات عالية خاص (فائق الصلادة)	٧٨

في العادة يضع مصممو آلات التشغيل لوحة على الآلة تبين سرعات دوران الآلة .
من الأرقام التي على اللوحة يمكن حساب سرعة القطع باستخدام المعادلة التالية :

$$س = \frac{\pi ق د}{١٠٠٠} \dots\dots\dots (١٥-٢)$$

حيث أن :

س = سرعة القطع (متر في الدقيقة)

ق = قطر المثقاب (ملم)

د = عدد لفات الآلة في الدقيقة

مثال (٢-١٩) :

أحسب سرعة القطع لعمل ثقب قطره ١٠ ملم في شغلة من النحاس الأصفر
إذا علمت أن سرعة دوران الماكينة ٥٠٠ لفة / الدقيقة .

الحل :

$$س = سرعة القطع = \frac{\pi ق د}{١٠٠٠}$$

$$= \frac{٣,١٤ \times ١٠ \times ٥٠٠}{١٠٠٠} = ١٥,٧ \text{ متر / الدقيقة}$$

مثال (٢-٢٠) :

أحسب سرعة دوران آلة التشقيب لعمل ثقب قطرة ١٤ ملم في شغلة من
الصلب الطري إذا علمت أن سرعة القطع ١١ متر / الدقيقة .

$$\frac{د \times ٤٤}{١٠٠٠} = \frac{د ١٤ \times \frac{٢٢}{٧}}{١٠٠٠} = ١١$$

$$\underline{\underline{٢٥٠ \text{ لفة / دقيقة}}} = \frac{١٠٠٠ \times ١١}{٤٤}$$

مثال (٢-٢١):

جد قطر المثقاب المناسب لعمل ثقب في قطعة من الزهر المسبوك إذا علمت أن سرعة القطع ٧,٧ م / الدقيقة وأن آلة الثقيب تدور بسرعة مقدارها ٣٥٠ لفة في الدقيقة.

$$\frac{\pi \text{ ق د}}{١٠٠٠} = \text{س}$$

$$\therefore \text{ق} = \frac{١٠٠٠ \times \text{س}}{\pi \times د}$$

$$\frac{٧٧٠}{٥ \times ٢٢} = \frac{١٠٠٠ \times ٧,٧}{٣٥٠ \times \frac{٢٢}{٧}} = \text{ق}$$

$$\underline{\underline{٧ \text{ ملم}}} = \text{ق}$$

(٢-٣-٨) حساب زمن التشغيل (زمن الإنجاز):

عندما يراد عمل ثقب في شُغلة ما فإن المثقاب يتقدم داخل (يخترق) الشغلة بمقدار معين في كل لفة من دوران الآلة حتى تكتمل عملية الثقيب . هذه المسافة التي يتقدمها المثقاب في كل لفة تسمى التغذية . يعبر عن التغذية بكسر عشري من المليمتر مثلاً ٠,٨٥ ملم في كل لفة من دوران الماكينة . بناء على هذا يمكن معرفة عدد اللفات المطلوبة لإنجاز أي ثقب إذا عرف عمق الثقب وذلك باستخدام المعادلة التالية :

$$\text{عدد اللفات المطلوبة «ف»} = \frac{ل}{ت} \dots\dots (١٦-٢)$$

حيث:

ل = عمق الثقب (ملم) .

ت = التغذية في اللفة الواحدة (ملم) .

بعد معرفة عدد اللفات المطلوبة لإنجاز العمل يصبح من السهل معرفة الوقت الذي يستغرقه إنجاز العمل وذلك باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{زمن الإنجاز «ز»} = \frac{ف}{د} \dots\dots (١٧-٢)$$

حيث:

ز = الزمن المطلوب (دقيقة) .

ف = عدد اللفات المطلوبة لإنجاز العمل .

د = سرعة دوران الآلة بالدقيقة (عدد اللفات في الدقيقة) .

مثال (٢-٢٢):

أحسب الزمن اللازم لعمل ثقب عمقه ٣٢ مم إذا كانت سرعة آلة الثقيب ٦٠٠ لفة في الدقيقة وان التغذية ٠,١ ملم .

الحل:

المعطيات: ل = ٣٢ ملم، ت = ٠,١ ملم، د = ٦٠٠ لفة / دقيقة .

عدد اللفات المطلوبة لإنجاز العمل " ف " = ل ÷ ت

$$= ٣٢ \div ٠,١ = ٣٢٠ \text{ لفة .}$$

الزمن اللازم لعمل ثقب " ز " = ف ÷ د

$$= ٣٢٠ \div ٦٠٠ = ٠,٥٣ \text{ دقيقة}$$

مثال (٢-٢٣):

احسب الزمن اللازم لعمل ثقب قطره ٢٠ مم في قطعة من الصلب الطري

سمكها ٧٥ مم . إذا علمت أن سرعة القطع ١٥,٧ متر / دقيقة وان التغذية ٠,٣ مم في اللفة الواحدة .

الحل:

المعطيات: ق = ٢٠ مم ، ل = ٧٥ مم ، س = ١٥,٧ متر/دقيقة ، ت = ٠,٣ مم

$$\begin{aligned} \text{سرعة القطع «س»} &= \frac{\pi \text{ ق د}}{1000} \\ &= \frac{1000 \times 20 \times 3,14}{1000} = 15,7 \\ \text{د} &= \frac{1000 \times 15,7}{20 \times 3,14} = \underline{\underline{250}} \text{ لفة / دقيقة} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ف} = \text{ل} \div \text{ت} &= 75 \div 0,3 = 250 \text{ لفة} \\ \text{زمن الانجاز (ز)} &= \text{ف} \div \text{د} = 250 \div 250 = \underline{\underline{1}} \text{ دقيقة} \end{aligned}$$

تمارين (٢-٤)

١. تدور آلة تثقيب بسرعة مقدارها ٧٠٠ لفة في الدقيقة. ما مقدار قطر أكبر ثقب يمكن إنتاجه إذا علمت أن سرعة القطع ٣٥ م/الدقيقة.
٢. أحسب الزمن اللازم لعمل ثقب قطره ١٨ ملم وعمقه ٣٢ ملم إذا كانت سرعة القطع ١٢ م/الدقيقة والتغذية ١,٠ ملم في كل لفة.
٣. تدور آلة تثقيب بسرعة مقدارها ١٥٠ لفة في الدقيقة عند عمل ثقب قطره ١٨ ملم في قطعة من النحاس الأصفر. أحسب الزمن اللازم لإنجاز هذا العمل إذا علمت أن التغذية ٨,٥, ٠ ملم في كل لفة وان عمق الثقب ١٤٠ ملم.
٤. تدور آلة تثقيب بسرعة مقدارها ١٢٠ لفة في الدقيقة عندما تقوم بعمل ثقب في قاعدة من الزهر قطره ٢٥ ملم وعمقه ٢٤٠ ملم. أحسب الزمن الذي يستغرقه عمل هذا الثقب إذا علمت أن التغذية ٦,٠ ملم في كل لفة.
٥. أحسب سرعة دوران آلة تثقيب لعمل ثقب قطره ١٦ ملم في قطعة من الصلب سمكها ٧٢ ملم إذا علمت أن التغذية ١,٠ ملم في كل لفة، وان عملية التثقيب استغرقت ٦ دقائق، ثم أحسب سرعة القطع لهذه الآلة.
٦. أحسب الزمن اللازم لعمل ثقب قطره ١٩,٥ ملم في قطعة من الصلب الطري سمكها ٢,٧٦ ملم إذا علمت أن سرعة القطع ٦,١٥ متر/الدقيقة وان التغذية ٢٨,٠ ملم في اللفة الواحدة.

(٢-٤) محركات الديزل Diesel Engines

(٢-٤-١) مقدمة:

محركات الديزل هي من محركات الاحتراق الداخلي وذات احتراق ذاتي (لا يحتاج لشرارة الإشعال)، وبجانب استعمالها في السيارات الصغيرة والشاحنات فإنها تستعمل أيضاً وبكثرة في المحطات الثابتة لتوليد القدرة، وفي القطارات، الطلمبات، والسفن بأنواعها، وقد حلت أيضاً محل محركات البنزين في الغواصات لزيادة الأمان من أخطار الحريق.

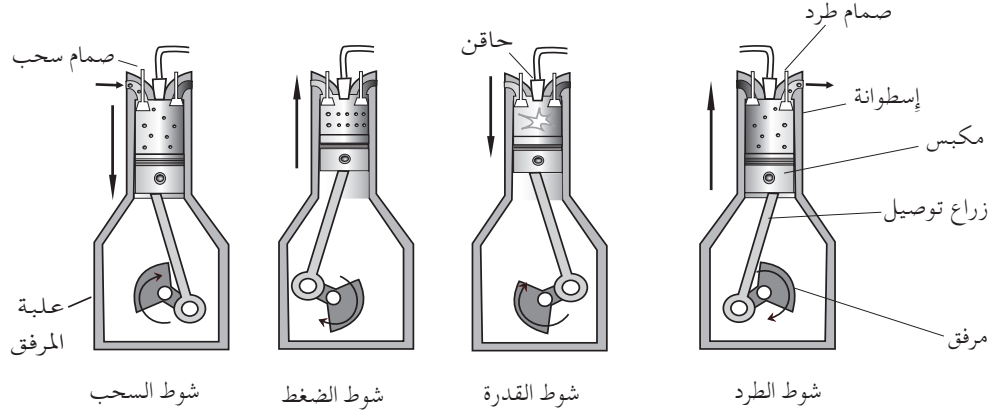
اخترع محرك الديزل في عام ١٨٩٢م بواسطة العالم الألماني "رودلف ديزل" واستخدم الفحم المسحوق وقوداً لها في بادئ الأمر. وفي عام ١٨٩٧م تمكن ديزل من استبدال الفحم بنوع آخر من الوقود فاستخدم زيت الديزل، وقد كان الهواء يُضغط داخل الاسطوانة إلى أن ترتفع درجة حرارته إلى ٥٥٠ درجة مئوية أو أكثر، ثم يحقن الوقود على شكل رزاز بواسطة الحاقن (الرشاش) فيشتعل، وقد استغني في هذا المحرك عن جهاز المغذي وجهاز الإشعال اللازمين في محركات البنزين، واستعاض عنهما بمضخة وقود وحقن. وتمتاز محركات الديزل بارتفاع جودتها واقتصادها في الوقود.

(٢-٤-٢) الأجزاء الرئيسية لمحرك ديزل:

يتكون محرك الديزل من أجزاء رئيسية هي: الاسطوانة ورأس الاسطوانة والمكبس واذرع التوصيل وعمود المرفق وعمود الحدبات، بجانب صمامات دخول الهواء وخروج العادم، وكذلك مضخة حقن الوقود والحقن. مضخة الوقود تعمل على ضغط الوقود ضغطاً عالياً وتوزيعه على الحقن حسب ترتيبه لإشعال المحرك. يحقن الوقود على شكل رزاز تحت ضغط عال لتسهيل عملية اختراقه للهواء المضغوط.

(٢-٤-٣) دورة ديزل الرباعية:

معظم محركات الديزل تعمل على نظام الدورة الرباعية. وتتكون الدورة الرباعية من أربعة أشواط. والشوط هو حركة المكبس بين النهاية العليا (ن.م.ع) والنهاية السفلى (ن.م.س) داخل اسطوانة المحرك. يحتاج المكبس لأربعة أشواط لإكمال دورة اشتعال كاملة: شوط السحب و شوط الضغط و شوط القدرة و شوط الطرد. الشكل (٢-٢٩) يبين طريقة عمل الدورة الرباعية لمحرك ديزل:



شكل (٢-٢٩) : أشواط الدورة الرباعية لمحرك الديزل

١. شوط السحب : Suction Stroke

في هذا الشوط يتحرك المكبس من (ن.م.ع) إلى (ن.م.س)، ويفتح صمام الدخول الذي يسمح بدخول هواء فقط داخل الاسطوانة.

٢. شوط الضغط : Compression Stroke

في هذا الشوط يتحرك المكبس من (ن.م.س) إلى (ن.م.ع) مع قفل صمامي (الدخول والخروج) ضاغطةً الهواء إلى حجم يعادل تقريباً (١ : ٢٠) من الحجم الكلي للاسطوانة، ويصل الضغط على الهواء من ٣٥-٤٠ كجم/م^٢، ويؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء إلى ٥٥٠ درجة مئوية أو أكثر.

٣. شوط القدرة : Power Stroke

عندما يصل المكبس إلى النقطة الميتة العليا في شوط الضغط يُحقن الوقود بواسطة الحاقن (الرشاش)، ويعمل الوقود على احتراق الهواء الساخن ويحدث الاشتعال (انفجار عنيف) فترتفع درجة الحرارة ومن ثم يتمدد الهواء المحترق ضاغطةً المكبس نحو النقطة الميتة السفلي. ويكون الصمامان مقفولان في هذا الشوط.

٤. شوط الطرد : Exhaust Stroke

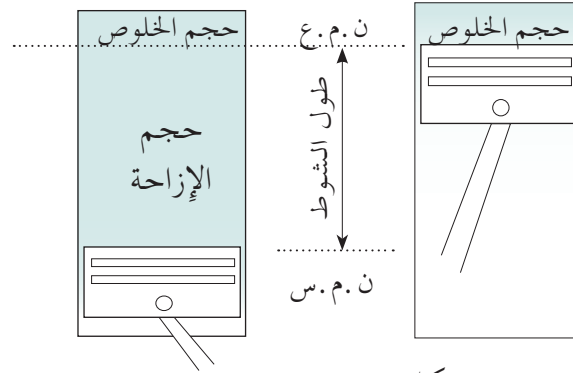
بنهاية شوط القدرة إلى أسفل يفتح صمام الطرد ومن ثم يتحرك المكبس إلى أعلى نحو (ن.م.ع) طارداً الغازات المحترقة خارج الاسطوانة وغرفة الاحتراق لبداية دورة جديدة.

جدول (٣-٢) : مقارنة بين محرك الديزل و محرك البنزين .

وجه المقارنة	محرك الديزل	محرك البنزين
منظومة الإشعال	ليس له معدات إشعال	له شمعات وملف الإشعال وموزع الشرر
نوع الوقود	زيوت ثقيلة	زيوت خفيفة (بنزين أو كيروسين)
ضغط الانضغاط	عالي (من ٣٠ إلى ٤٠ كجم/م ^٢)	منخفض (٦ إلى ٨ كجم/م ^٢)
نسبة الانضغاط	عالية (١٤ : ١ إلى ٢٠ : ١)	منخفضة (٥ : ١ إلى ٧ : ١)
وزن المحرك	ثقيل	خفيف
استهلاك الوقود للحصان / ساعة	اقتصادي (١٩٠ جرام)	غير اقتصادي (٢٧٠ جرام)

(٢-٤-٤) نسبة الانضغاط : Compression Ratio

يطلق على المسافة بين النقطتين الميتة العليا والميتة السفلى " طول الشوط " ،
(انظر شكل (٣٠-٢)).



شكل (٣٠-٢)

حجم الفراغ الذي يتحرك فيه المكبس بين النقطتين (ن.م.ع) و (ن.م.س) يطلق عليه " حجم الإزاحة " . ويمكن حساب حجم الإزاحة من العلاقة :

$$\text{حجم الإزاحة} = \pi \times \text{نق}^2 \times \text{ش}$$

$$\text{م ش} =$$

حيث :

نق = نصف قطر الاسطوانة ، ش = طول الشوط ،

م = مساحة مقطع الاسطوانة .

الحيز الذي ينضغط فيه الهواء بنهاية شوط الضغط عندما يكون المكبس في (ن. م. ع) يسمى غرفة الاحتراق ، وحجم هذه الغرفة يطلق عليه حجم الخلوص . ويمكن حساب حجم الخلوص من العلاقة .

$$\text{حجم الخلوص} = \pi \text{ نق}^2 \times \text{م} \times \text{ر}$$

$$\text{م} \times \text{ر} =$$

..... (١٨-٢)

حيث :

ر = ارتفاع غرفة الاحتراق ، نق = نصف قطر الاسطوانة .
ش = طول الشوط ، م = مساحة مقطع الاسطوانة .

حجم الفراغ الكلي للأسطوانة = حجم الإزاحة + حجم الخلوص
تُعرف نسبة الانضغاط بأنها النسبة بين حجم الفراغ الكلي للأسطوانة وحجم الخلوص .

$$\text{نسبة الانضغاط} = \frac{\text{حجم الفراغ الكلي للأسطوانة}}{\text{حجم الخلوص}}$$

$$\text{نسبة الانضغاط} = \frac{\text{حجم الإزاحة} + \text{حجم الخلوص}}{\text{حجم الخلوص}}$$

افرض :

$$\text{ن} = \text{نسبة الانضغاط}$$

$$\text{ح} = \text{حجم الإزاحة}$$

$$\text{ح} = \text{حجم الخلوص}$$

$$\text{ن} = \frac{\text{ح} + \text{ح}}{\text{ح}}$$

..... (١٩-٢)

وبما أن : ح = م . ش ، ح = ح . م = ر . م

$$\text{ن} = \frac{\text{م} \cdot \text{ش} + \text{م} \cdot \text{ر}}{\text{م} \cdot \text{ر}}$$

(٢٠-٢).....

$$\frac{\text{ش} + \text{ر}}{\text{ر}} = \text{ن ض}$$

(٢١-٢).....

$$1 + \frac{\text{ش}}{\text{ر}} = \text{ن ض}$$

تختلف نسب الانضغاط في المحركات المختلفة و تصل إلى ٢٠ : ١ أو أكثر في محركات الديزل .

مثال (٢-٢٤):

جد نسبة الانضغاط لمحرك يبلغ قطر اسطوانته ١٤ سم وطول شوطه ٢٠ سم .
علماً بأن حجم غرفة الاحتراق يبلغ ٢٨٠ سم^٣ .

الحل:

المعطيات:

$$\text{نق} = ٧ \text{ سم} , \text{ش} = ٢٠ \text{ سم} , \text{ح ص} = ١٤٠ \text{ سم}^٣$$

$$\text{ح ز} = \pi \times \text{نق}^٢ \times \text{ش}$$

$$\text{ح ز} = \frac{22}{7} \times ٧^٢ \times ٢٠ = ٣٠٨٠ \text{ سم}^٣$$

$$\frac{\text{ح ز} + \text{ح ص}}{\text{ح ص}} = \text{ن ض}$$

$$\underline{\underline{12}} = \frac{3360}{280} = \frac{280 + 3080}{280} = \text{ن ض}$$

مثال (٢-٢٥):

يبلغ حجم الإزاحة لاسطوانة محرك دراجة نارية ١٢٨ سم^٣ . إذا كانت نسبة الانضغاط ١٧ : ١ احسب حجم الخلوص .

الحل:

المعطيات: $\text{ح ز} = ١٢٨ \text{ سم}^٣$ ، $\text{ن ض} = ١٧$ ، $\text{ح ص} = ?$

$$\begin{aligned} \frac{ح + ز}{ح} &= ن \text{ ض} \\ \frac{ح + ١٢٨}{ح} &= ١٧ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ١٧ ح &= ح + ١٢٨ \\ ١٦ ح &= ١٢٨ \\ ح &= ٨ \text{ سم}^2 \end{aligned}$$

مثال (٢-٢٦):

محرك طول شوطه ١٨٠ مم، احسب نسبة انضغاطه إذا كان ارتفاع غرفة احتراقه ٢٠ مم؟.

الحل:

$$\text{ش} = ١٨٠ \text{ مم} ، \text{ر} = ٢٠$$

$$\begin{aligned} \frac{\text{ش} + \text{ر}}{\text{ر}} &= ن \text{ ض} \\ \frac{١٠}{١} &= \frac{٢٠ + ١٨٠}{٢٠} = ن \text{ ض} \\ &= \end{aligned}$$

مثال (٢-٢٧):

محرك طول شوطه ١٤٠ ملم ونسبة انضغاطه ١٥ : ١، احسب ارتفاع غرفة الاحتراق.

الحل:

معطيات : ش = ١٤٠ ملم ، ن ض = ١٥ ، ر = ؟

$$\frac{\text{ش} + \text{ر}}{\text{ر}} = ن \text{ ض}$$

$$\frac{\text{ش} + ١٤٠}{\text{ر}} = ١٥$$

$$١٥ \text{ ر} + ١٤٠ = \text{ر}$$

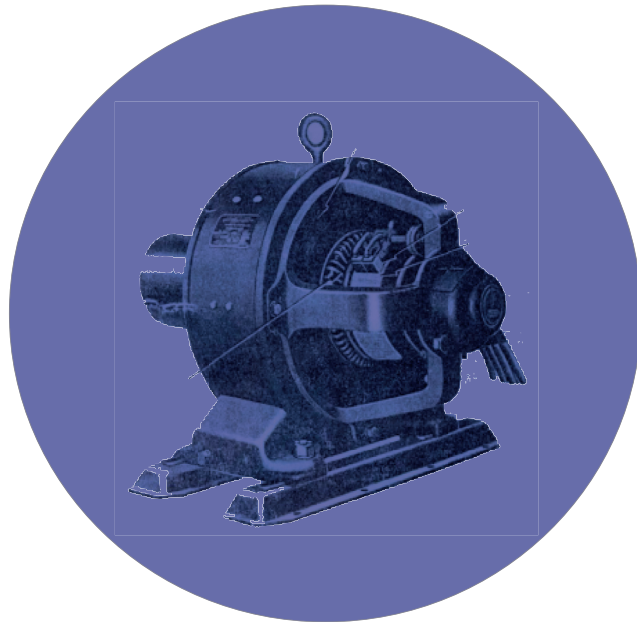
$$١٤٠ = \text{ر} ١٤$$

$$\text{ر} = ١٠ \text{ ملم.}$$

تمرين (٢-٥)

١. يبلغ حجم غرفة الاحتراق لاسطوانة محرك ٢٩ سم^٣ ونسبة انضغاطه ١٦ : ١ .
احسب حجم الإزاحة . (الاجابة : ٤٣٥ سم^٣) .
٢. قطر اسطوانة محرك يبلغ ١٠ سم وطول شوطه ٢٠ سم . ونسبة الانضغاط ١١ : ١ ،
أحسب حجم الخلو ص . (الاجابة : ١٥٧ سم^٣) .
٣. محرك قطر اسطوانته ١٠ سم ونسبة الانضغاط ١٤ : ١ ، وحجم الخلو ص ١٥٧ سم^٣ ،
أحسب طول شوطه . (الاجابة : ٢٦ سم) .
٤. محرك طول شوطه ٣٢٠ ملم وارتفاع غرفة احتراقه ٢٠ ملم . احسب نسبة انضغاطه . (الاجابة : ١٧) .
٥. محرك ديزل قطر اسطوانته ٤ سم ونسبة انضغاطه ٢١ : ١ ، حجم الخلو ص ٦,٢٨ سم^٣ .
احسب طول شوطه . (الاجابة : ١٠ سم) .

الهندسة الكهربائية



(١-٣) الآلات الكهربائية

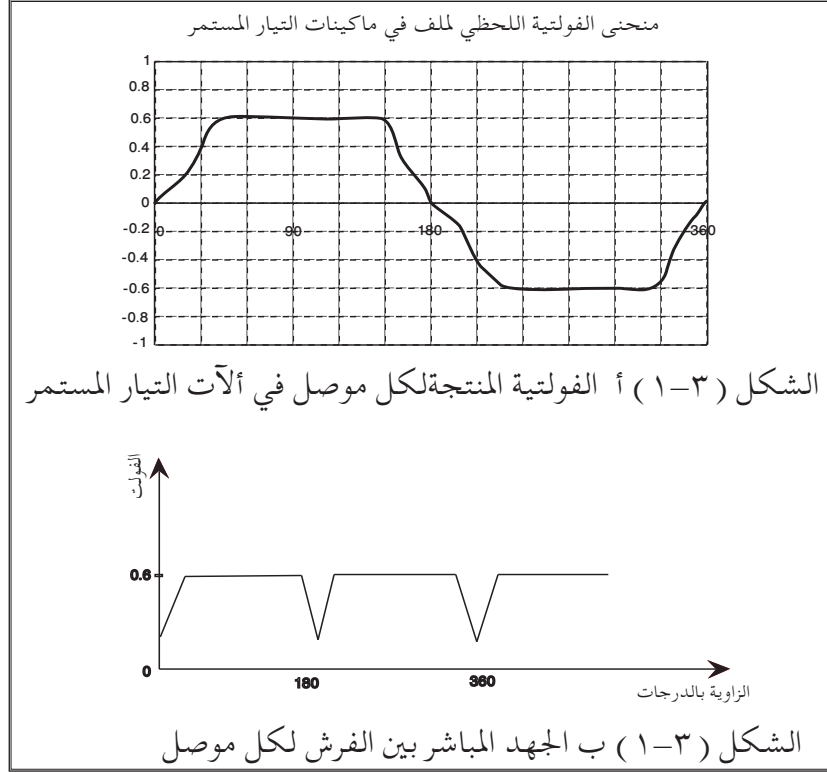
التحويل الكهروميكانيكي للطاقة هو عملية تحويل الطاقة من ميكانيكية إلى كهربائية، أو من كهربائية إلى ميكانيكية. وتتكون الماكينات الكهربائية الدوارة من نوعين هما المولدات والمحركات. والمولدات هي الماكينات الكهربائية التي تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، بينما تقوم المحركات بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية. وفي كثير من الأحيان يمكن تشغيل المولد كمحرك أو المحرك كمولد. وتسمى الآلات الكهربائية الدوارة بالماكينات الكهربائية.

(١-١-٣) ماكينات التيار المستمر.

الفرق بين ماكينات التيار المستمر وماكينات التيار المتردد من حيث التركيب :
(١) تحتوي ماكينات التيار المستمر على عضو تبديل (توحيد)، بينما لا يوجد عضو تبديل في ماكينات التيار المتردد.

(٢) تثبت الأقطاب المغناطيسية في ماكينات التيار المستمر على الهيكل الثابت (الساكن) بينما توضع الموصلات في العضو الدائر (المنتج)، ينزلق عضو التبديل المقترن بعمود المنتج الدائر على الفرش لأخذ أو لمد التيار، ويحدث العكس في ماكينات التيار المتردد، إذ توضع ملفات الإنتاج في العضو الساكن وتكون ملفات المجال دائرة، وتنزلق حلقات معدنية تسمى حلقات الانزلاق على الفرش لمد تيار مباشر لتغذية ملفات المجال.

(٣) يختلف أيضاً توزيع الفيض المغنطيسي في الفجوة الهوائية التي توجد بين العضو الثابت والعضو الدوار، حيث تكون كثافة الفيض المغنطيسي لآلة التيار المتردد شبيهة بمنحنى الدالة الجيبية، بينما تكون كثافة الفيض المغنطيسي لآلات التيار المستمر ثابتة تحت أغلب مساحة القطب عدا الأطراف مما يؤدي إلى إنتاج فولتية في كل موصل في الماكينة، كما في الشكل (١-٣).



(١-٣-٢) أجزاء ماكينات التيار المستمر :

(١) العضو الساكن : stator

يحتوي العضو الساكن على الهيكل الحديدي والذي يثبت عليه الأقطاب المغناطيسية. يحتوي كل قطب مغناطيسي على ملف ويأمرار تيار مباشر خلال الملفات يتكون مجال كهرومغناطيسي ثابت القطبية (بدلاً من عمل الأقطاب من مغنطيسات دائمة). بتكوين المجال المغناطيسي عن طريق المجال الكهرومغناطيسي يمكن الحصول على شدة مجال أقوى بالمقارنة إلى طريقة المجالات الدائمة، وكذلك يمكن ضبط جهد الخرج بتغيير تيار المجال.

(٢) الفرش وحوامل الفرش (Brushes and Brushes holders)

تثبت المجموعة على العضو الساكن.

(ج) عضو الإنتاج وعضو التبديل (Armature and commutator)

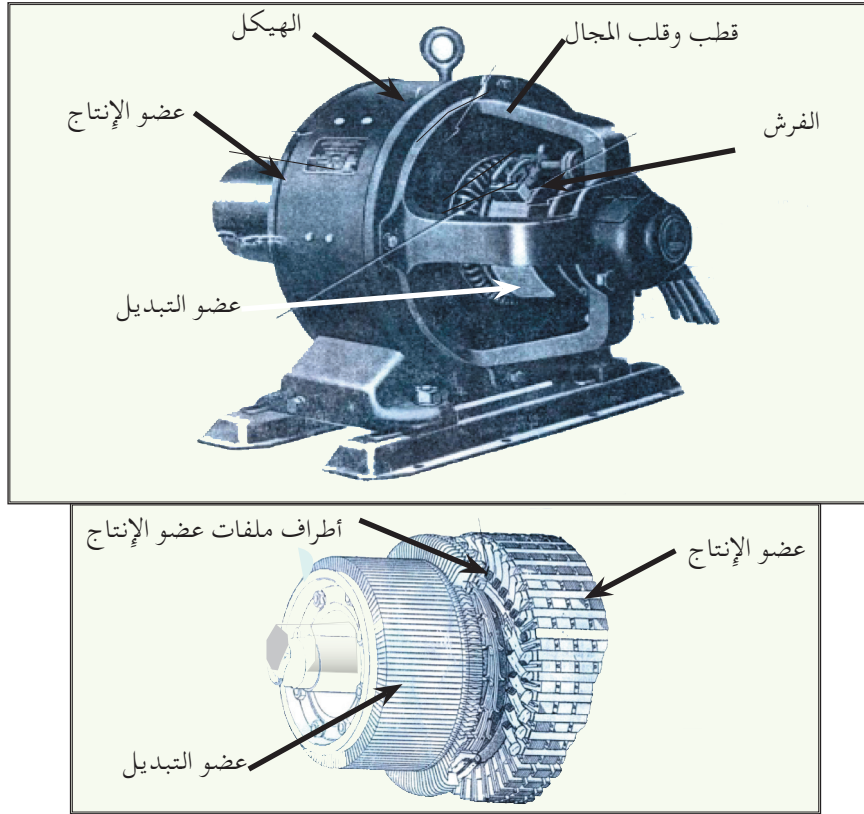
الملفات الموضوعة على الجزء الدوار في آلة التيار المستمر والتي يتم فيها إنتاج قوة

الدفع الكهربائية (ق. د. ك) تسمى بعضو الإنتاج، ويتكون عضو الإنتاج من ملفات عديدة يوصل طرفا كل منها إلى قضيبين من قضبان عضو التبديل . ويستعمل عادة واحدة من طريقتين لتوصيل الملفات إلى المبدل بما يسمى :

(١) اللف المتداخل (الانطباقي) .

(٢) اللف الموجي .

الماكينات ذات اللف المتداخل (الانطباقي) تعطي فولتية منخفضة وتياراً عالياً، بينما الماكينات ذات اللف التاموجي تعطي فولتية عالية وتياراً منخفضاً وذلك لنفس القدرة . ولذلك تستخدم ماكينات اللف المتداخل عندما يكون المطلوب تيار مرتفع عند جهد منخفض بينما تستخدم ماكينات اللف الموجي عندما يكون المطلوب تيار منخفض عند جهد مرتفع نسبياً .



شكل (٢-٣) : أجزاء ماكينات التيار المستمر

(٣-١-٣) معادلة ق. د. ك المنتجة في موصلات عضو الإنتاج:

جملة مقدار (ق. د. ك) المنتجة داخل الآلة الكهربائية تعتمد على (ق. د. ك) المنتجة في الموصل الواحد، بالإضافة إلى طريقة توصيل مجموعة الموصلات في عضو الإنتاج، حسب طريقة اللف المستخدم (موجي أو متداخل).
إذا كان:

$\phi \equiv$ جملة الفيض المغناطيسي (Magnetic flux) في القطب الواحد بالوبر
ز $\equiv$ عدد أزواج الأقطاب.

ر $\equiv$ سرعة الآلة بالدورات أو لفات في الثانية.

الفيض المغناطيسي المقطوع بواسطة موصل واحد في دورة ميكانيكية واحدة
 $\phi_z =$ ز وبر

متوسط معدل القطع المغناطيسي في رلفة / ثانية للموصل الواحد $\phi_z =$ ز وبر / ثانية

$$\phi_z = \text{ي.ي.} \text{ رز فولت للموصل الواحد} \dots\dots\dots (١-٣)$$

القوة الدافعة الكهربائية (ق. د. ك) المنتجة لعدد (ص) موصل تعطى بالمعادلة:

$$\text{ق. د. ك} = \phi_z \text{ رز} \times \frac{\text{ص}}{\text{فولت}} \dots\dots\dots (٢-٣)$$

حيث:

$\phi_z = \text{أ} \text{ (لف الموجي).}$

$\text{أ} = \text{عدد الأقطاب (لف المتداخل).}$

$$\text{القدرة القصوى المنتجة} = \text{ق. د. ك} \times \text{تيار عضو الإنتاج} \text{ وات } (٣-٣)$$

مثال (١-٣):

مواصفات مولد تيار مستمر كما يلي:

عدد الأقطاب ٦، السرعة ٢٥ لفة / ثانية، الفيض المغناطيسي ٠,٠٥ وبر . جد:

(أ) مقدار (ق. د. ك) المنتجة في الموصل الواحد (ي).

(ب) إذا كان عدد موصلات المنتج ٦٠٠ موصل، ما القوة الدافعة الكهربائية المنتجة

إذا ما تم لف المنتج

(١) لفاً إنطباقياً. (٢) لفاً موجياً.

(ج) إذا كانت القدرة القصوى المنتجة في الحالتين في (ب) تساوي ٩٠ كيلو واط فما شدة التيار في كل حالة؟

الحل:

$$ز = \text{عدد أزواج الأقطاب} = ٢ \div ٣ = ٣$$

$$ر = \text{سرعة الدوران} = ٢٥ \text{ لفة / ثانية}$$

$$\phi = \text{الفيض المغناطيسي لكل قطب} = ٠,٠٥ \text{ وبر}$$

$$(أ) ي = \phi ز = ٣ \times ٢٥ \times ٠,٠٥ \times ٢ = ٧,٥ \text{ فولت}$$

$$(ب) \text{ ق.د.ك} = \phi ز \times \frac{ص}{٦٠٠}$$

$$(١) \text{ ق.د.ك} = \frac{٦٠٠}{٢} \times ٧,٥ = ١٠٠ \times ٧,٥ = ٧٥٠ \text{ فولت}$$

حيث أ = عدد الأقطاب لللف المتداخل

$$(ج) \text{ ق.د.ك} = \frac{٦٠٠}{٢} \times ٧,٥ = ٣٠٠ \times ٧,٥ = ٢٢٥٠ \text{ فولت}$$

حيث: أ = ٢ لللف الموجي

$$(د) \text{ القدرة القصوى المنتجة} = \text{ق.د.ك} \times \text{تيار عضو الإنتاج}$$

$$٩٠٠٠٠ = ٧٥٠ \times \text{ت}_١ \text{ لللف المتداخل}$$

$$\therefore \text{ت}_١ = \frac{٩٠٠٠٠}{٧٥٠} = ١٢٠ \text{ أمبير}$$

$$(٤) \text{ القدرة القصوى المنتجة} = \text{ق.د.ك} \times \text{تيار عضو الإنتاج}$$

$$٩٠٠٠٠ = ٢٢٥٠ \times \text{ت}_٢ \text{ لللف الموجي}$$

$$\therefore \text{ت}_٢ = \frac{٩٠٠٠٠}{٢٢٥٠} = ٤٠ \text{ أمبير}$$

تمارين (١-٣)

(١) باستخدام المعادلة ق.د.ك = $\phi \times \text{زر} \times \frac{\text{ص}}{\text{أ}}$ ، أثبت الآتي:
(أ) ق.د.ك = ثابت $\times \phi \times \text{ر}$

(ب) ق.د.ك المتولدة لللف المتداخل = $\phi \times \text{ر} \times \text{ص}$ فولت

(ج) ق.د.ك المتولدة لللف الموجي = $\phi \times \text{ر} \times \text{ص}$ فولت

(د) ق.د.ك المنتجة لللف الموجي = عدد أزواج الأقطاب $\times$ ق.د.ك المنتجة

للف المتداخل

(هـ) باعتبار القدرة المنتجة في مولد متساوية في حالتها لللف الموجي

والمتداخل أثبت أن:

التيار عند اللف المتداخل = عدد أزواج الأقطاب $\times$ التيار عند اللف الموجي

(٢) آلة تيار مستمر بها ٨ أقطاب و ٦٠٠ موصل ملفوف لفاً موجياً ويدور

بسرعة ٦٢٥ لفة/دقيقة. إذا كان الفيض المغناطيسي لكل قطب ٢٠ ملي

أمبير، جد ق.د.ك المنتجة.

(٣) مولد تيار مستمر ٤ أقطاب، موصلة لفاً متداخلاً، وبه ٥٠ مجرى في

كل مجرى ١٦ موصل، الفيض المغناطيسي الفعال لكل قطب ٣٠ ملي وبر.

جد السرعة التي يجب أن يدور بها المولد لتوليد ق.د.ك مقدارها ٢٤٠

فولت.

(٤) آلة تيار مستمر ٨ أقطاب، بها ١٢٠٠ موصل، والفيض المغناطيسي

لكل قطب ٠,٠٣ وبر، ويدور بسرعة ٥٠٠ لفة/دقيقة. جد ق.د.ك إذا:

(أ) وصلت الموصلات لاف متداخل.

(ب) وصلت الموصلات لاف موجي.

(٣-١-٤) مواصفات أداء المولد مع الحمل الكهربائي :

يمكن تشبيه المولد الكهربائي بمصدر قدرة كهربائية مثل المرحم العادي . ويلاحظ أن جميع مصادر القدرة الكهربائية يمكن تمثيلها بمصدر قدرة مثالي موصل على التوالي مع مقاومة داخلية صغيرة . وفي حالة الماكينات الكهربائية توجد مقاومة الموصلات المستخدمة في المولد الكهربائي . وعندما يمرر التيار من المولد وخلال مقاومة الحمل فإن ذلك يتسبب في هبوط فولتية المقاومة الداخلية للمولد فتتخفض الفولتية عند طرفي المولد والحمل . وقد جُمعت المقاومة الموزعة في مقاومة داخلية واحدة يشار إليها بالرمز (مد) . ولهذا فإن المعادلة للدائرة المكونة من المقاومة الداخلية (مد) لعضو الإنتاج ، ومقاومة الحمل (مح) هي :

$$ف = ي - ت \times مد \dots\dots (٣-٤)$$

حيث : ف = الفولتية بين طرفي المولد

ي = قوة الدفع الكهربائية المنتجة داخلياً في عضو الإنتاج في المولد

ت = تيار عضو الإنتاج

مد = المقاومة الداخلية للمولد ، أي مقاومة عضو الإنتاج .

وبما أن تيار عضو الإنتاج (ت) = $\frac{ف}{مح}$

حيث (ف) الفولتية بين طرفي المولد ، و (مح) مقاومة الحمل فإن :

$$ف = ت \times مح \dots\dots\dots (٣-٥)$$

عوض المعادلة (٣-٥) في المعادلة (٣-٤) :

$$ت \times مح = ي - ت \times مد$$

$$ت \times مد + ت \times مح = ي$$

$$ت \times (مد + مح) = ي$$

$$\therefore ت = \frac{ي}{مد + مح} \dots\dots\dots (٣-٦)$$

ويصاحب مرور التيار في المقاومة الداخلية لعضو الإنتاج تحويل قدرة كهربائية مقدارها $ت^2 \times مد$ إلى قدرة حرارية تبديد من عضو الإنتاج . ويسبب هذا الفقد في القدرة انخفاضاً قليلاً في كفاءة المولد ، كما يلي :

من المعادلة (٤-٣) : $ي = ف + ت \times مد$

اضرب طرفي المعادلة في ت :

$$ت \times ي = ت \times ف + ت^2 \times مد \dots (٧-٣)$$

حيث : $ت \times ي =$ القدرة المولدة من الآلة

$ت \times ف =$ قدرة الخرج

$ت^2 \times مد =$ القدرة المبذولة في المقاومة الداخلية

$$(٨-٣). \quad \frac{ت \times ف}{ت \times ي} = \frac{قدرة الخرج}{القدرة المولدة من الآلة} = \text{كفاءة أداء الآلة}$$

وبتعويض قيمة $ت \times ي$ من المعادلة (٧-٣) نحصل على :

$$(٩-٣). \quad \frac{ت \times ف}{مد ت^2 + ف ت} = \text{كفاءة أداء الآلة}$$

وتؤثر القدرة المبذولة في المقاومة الداخلية للمحركات بطريقة مشابهة للمولدات .

مثال (٣-٢) :

مولد تيار مستمر لديه مقاومة داخلية 0.2Ω و (ق.د.ك) منتجة داخلياً 7200 ، ويغذي حملاً موصلاً إليه بتيار مقداره 20 أمبير. أوجد الفولتية عند طرفي المولد .

الحل :

$$ف = ي - ت \times مد$$

حيث :

$ف =$ الفولتية عند طرفي المولد .

$ي =$ قوة الدفع الكهربائية المنتجة داخلياً في عضو الإنتاج في المولد $= 7200$.

$ت =$ تيار الحمل أو تيار عضو الإنتاج $= 20$ أمبير .

$مد =$ المقاومة الداخلية للمولد أي مقاومة عضو الإنتاج $= 0.2 \Omega$

$$\therefore ف = 7200 - 20 \times 0.2 = 7196 \text{ .}$$

مثال (٣-٣) :

مولد تيار مستمر ينتج ق. د. ك مقدارها ٢٢٠ فولت، وله مقاومة داخلية (مد) مقدارها ١ أوم. إذا كان المولد يغذي حملاً مقدارها ١٠ أوم، أحسب ما يلي:

(١) التيار المار في الحمل (ب) فرق الجهد بين طرفي الحمل
(ج) القدرة المفقودة (د) قدرة الحمل (هـ) القدرة الكلية المنتجة بواسطة المولد
(و) كفاءة المولد

الحل:

ق. د. ك = ٢٢٠ فولت، مد = ١ أوم، مح = ١١ أوم
(أ) ق. د. ك = ف + ت × مد = ت (مد + مح)

$$\therefore ت = \frac{٢٢٠}{١٠ + ١} = \frac{٢٢٠}{١١} \text{ أمبير}$$

(ب) فرق الجهد (ف) = ت × مح = ١٠ × ٢٠ = ٢٠٠ فولت. أو:

$$ف = ق. د. ك - ت × مد = ٢٢٠ - ١ × ٢٠ = ٢٠٠ \text{ فولت}$$

(ج) القدرة المفقودة في المنتج = ت^٢ × مد = ٢٠ × ٢٠ × ١ = ٤٠٠ واط

(د) قدرة الحمل = ف × ت = ٢٠ × ٢٠٠ = ٤٠٠٠ واط

(هـ) القدرة الكلية = قدرة الخرج + المفقودات = ٤٠٠٠ + ٤٠٠ = ٤٤٠٠ واط

أو القدرة الكلية = ق. د. ك × ت^٢ = ٢٢٠ × ٢٠ = ٤٤٠٠ واط

(و) الكفاءة % = $\frac{\text{قدرة الحمل المستفاد}}{\text{القدرة الكلية}} \times ١٠٠ = ١٠٠ \times \frac{٤٠٠٠}{٤٤٠٠} = ٩٠,٩ \%$
أو:

$$\text{الكفاءة \%} = \frac{ت \times ف}{ت \times ق. د. ك} = ١٠٠ \times \frac{٢٠}{٢٢٠} = ١٠٠ \times \frac{١٠}{١١} = ٩٠,٩ \%$$

(٣-١-٥) محرك التيار المستمر:

يشبه محرك التيار لمستمر مولد التيار المستمر ولا يختلف عنه كثيراً حيث أن الاختلاف الرئيس هو أن (ق. د. ك) المنتجة داخلياً في عضو الإنتاج تكون أقل من فرق

الجهد عند طرفي عضو الإنتاج للمحرك، ويوصل محرك التيار المستمر إلى مصدر قدرة كهربائية عند طوفا عضو الإنتاج، فيمر التيار من المصدر إلى المحرك الذي يحصل بذلك على طاقة كهربائية يحولها إلى طاقة ميكانيكية عند دورانه، منتجا قدرة ميكانيكية ذات عزم معلوم. وعليه فإنه يمكن تشغيل نفس آلة التيار المستمر كمولد أو محرك. يمكن توضيح الفرق بين حالتي التوليد الكهربائي والتحرك الميكانيكي من المعادلتين التاليتين:

$$\begin{array}{ll} \text{ي} = \text{ف} + \text{ت} \times \text{مد} & \text{(للمولد)} \\ \text{ي} = \text{ف} - \text{ت} \times \text{مد} & \text{(للمحرك)} \end{array} \quad \dots\dots\dots (١٠-٣)$$

حيث:

ي = (ق.د.ك) المنتجة في عضو الإنتاج.

ف = فرق الجهد عند طرفي عضو الإنتاج.

مد = مقاومة ملفات عضو الإنتاج الداخلية.

ت = تيار عضو الإنتاج.

وبما أن (ق.د.ك) المنتجة داخل عضو الإنتاج للمحرك تكون في اتجاه معاكس لاتجاه فولتية المصدر الكهربائي الموصل إلى طرفي عضو الإنتاج، فإنه في بعض الأحيان تسمى (ق.د.ك) المعاكسة.

بضرب المعادلة (٨-٣) $\times$ تيار المنتج (ت).

$$\therefore \text{ت} \times \text{ي} = \text{ت} \times \text{ف} - \text{ت}^2 \times \text{مد}$$

يمثل المقدار (ف $\times$ ت) القدرة الكهربائية المأخوذة بواسطة عضو الإنتاج.

ويمثل المقدار (ت^٢ $\times$ مد) القدرة المبذولة في مقاومة المنتج.

ويمثل المقدار (ت $\times$ ي) القدرة الميكانيكية المنتجة بواسطة عضو الإنتاج

$$\begin{array}{l} \text{كفاءة المحرك} \% = \frac{\text{ت} \times \text{ي}}{\text{ت} \times \text{ف}} = ١٠٠ \times \frac{\text{ي}}{\text{ف}} \\ \dots\dots\dots (١١-٣) \end{array}$$

$$= \frac{\text{ت} \times \text{ف} - \text{ت}^2 \times \text{مد}}{(\text{ت} \times \text{ف})}$$

مثال (٣-٤) :

مقاومة عضو الإنتاج لآلة تيار مستمر $\Omega ٠,١$ ووصلت الآلة إلى مصدر قدرة كهربائية ذي فولتية $V ٢٣٠$. احسب مقدار (ق.د.ك) المنتجة في عضو الإنتاج في الحالتين:

(١) عندما تعمل الآلة كمولد معطية تياراً مقداره $A ٨٠$.

(٢) عندما تعمل الآلة كمحرك آخذة تياراً مقداره $A ٦٠$.

الحل:

$$ي = ف + ت \times مد \quad (\text{للمولد})$$

$$ي = ف - ت \times مد \quad (\text{للمحرك})$$

حيث: ف = فرق الجهد عند طرفي عضو الإنتاج = $V ٢٣٠$.

مد = مقاومة ملفات عضو الإنتاج الداخلية = $\Omega ٠,١$.

$$(١) \quad ت = \text{تيار المولد} = A ٨٠$$

$$\therefore ي = (ق.د.ك) \text{ المنتجة في المولد} = ٢٣٠ + ٨٠ \times ٠,١ = \underline{\underline{V ٢٣٨}}$$

$$(٢) \quad ت = \text{تيار المحرك} = A ٦٠$$

$$\therefore ي = (ق.د.ك) \text{ المنتجة في المحرك} = ٢٣٠ - ٦٠ \times ٠,١ = \underline{\underline{٢٢٤ \text{ فولت}}}$$

مثال (٣-٥) :

وصلت آلة تيار مستمر مقاومة منتجة $٠,٢٥$ أوم إلى مصدر ٣٠٠ فولت. جد كفاءة الآلة:

(١) عندما تدور كمولد معطياً تياراً شدته ١٠٠ أمبير.

(٢) عندما تدور كمحرك آخذاً تياراً شدته ٨٠ أمبير.

الحل:

$$مد = ٠,٢٥ \text{ أوم}, \quad ف = ٣٠٠ \text{ فولت}$$

(١) القوة الدافعة الكهربائية عندما تعمل الآلة كمولد :

$$Y = F + T \times M$$

$$325 \text{ فولت} = 0,25 \times 100 + 300 =$$

$$\text{كفاءة المولد} = \frac{F}{Y} \times 100 = \frac{300}{325} \times 100 = 92,3\%$$

(٢) (ق.د.ك) عندما تعمل الآلة كمحرك :

$$Y = F - T \times M$$

$$280 \text{ فولت} = 0,25 \times 80 - 300 =$$

$$\text{كفاءة المحرك} = \frac{Y}{F} \times 100 = \frac{280}{300} \times 100 = 93,3\%$$

تمارين (٢-٣)

(١) (أ) لماذا ينخفض جهد الأطراف بزيادة التحميل ؟

(ب) متى يمكن الحصول على كفاءة قصوى من المولد ؟

(٢) مقاومة ملفات المنتج لآلة تيار مستمر ٠,٥ أوم، وصل إلى مصدر ٢٠٠ فولت . احسب القوة الدافعة الكهربائية عندما تدور الآلة .

(أ) كمحرك آخذاً تياراً شدته ٥٠ أمبير .

(ب) كمولد معطياً تياراً شدته ٧٠ أمبير .

(٣) مولد تيار مستمر ينتج (ق.د.ك) مقدارها ٢٢٠ فولت، وله مقاومة داخلية مقدارها ٠,٦ أوم . إذا كان المولد يغذي حملاً مقدارها ١٢ أوم احسب :

(أ) التيار المار في الحمل . (ب) فرق الجهد بين طرفي الحمل .

- (ج) قدرة الحمل .
(د) كفاءة المولد .
- (٤) مولد تيار مباشر وصل إليه حمل مقداره ١٠ كيلو واط، مقاومة ملفات المنتج ٠,٧٥ أوم، ويولد جهد أطراف ٢٥٠ فولت عند الحمل الكامل. احسب كفاءة المولد عند الحمل الكامل .
- (٥) جد تيار عضو الإنتاج لمحرك تيار مستمر عندما تكون ق.د.ك المنتجة تساوي ١٩٦ V ومقاومة عضو الإنتاج ٠,٠٢ Ω وفولتية مصدر القدرة ٢٠٠ V.

(٢-٣) مولدات التيار المتردد

(١-٢-٣) مقدمة:

يعتمد المولد (مولد تيار مباشر أو متردد) في عمله على نظرية أساسية هي: أي موصل كهربائي يتحرك خلال مجال مغناطيسي تتكون فيه قوة دافعة كهربية في (ق.د.ك.) (بالفولت) وتكون قوة الدفع هذه سبباً في مرور تيار كهربي (أمبير) في الحمل المكمل لدائرة الموصل.

اثبت العالم أورستد عام ١٨١٩م أن التيار الكهربي المار في موصل يتكون حوله مجالاً مغناطيسياً. وقد نجح فراداي عام ١٨٣١م في إثبات عكس هذه الظاهرة، أي أمكنه الحصول على ق.د.ك. تأثيرية باستخدام مجال مغناطيسي يتحرك حول موصل. القوة الدافعة الكهربية التأثيرية عبارة عن معدل تغير الفيض المغناطيسي وتساوي $\frac{d\Phi}{dt}$ (و.بر. الزمن (ثانية)) ويسمى المقدار (و.بر/ثانية) بالفولت.

يمكن الحصول على معدل التغير للفيض (المجال) المغناطيسي إما بتحريك موصل في مجال مغناطيسي أو بتحريك مجال مغناطيسي حول موصل. عملياً يتم الحصول على الطاقة الحركية للموصلات أو المجال المغناطيسي من أحد مصادر الطاقة المتجددة أو الغير متجددة.

(٢-٢-٣) مقدار (ق.د.ك.) المنتجة في مولد التيار المتردد:

تحسب قوة الدفع الكهربية (ق.د.ك.) المنتجة في أي لحظة للموصل الواحد بالمعادلة التالية:

(١٢-٣)

$$E = V \cos \theta$$

حيث: E = ق.د.ك. المنتجة في أي لحظة (V).

V = عدد الموصلات.

B = كثافة الفيض المغناطيسي (T).

L = الطول المؤثر للموصل (m) $= 2 \times$ طول الجنب الواحد.

ω = السرعة الخطية (m/s).

θ = زاوية التحرك.

مثال (٣-٦) :

مولد بسيط ذو لفة واحدة يتم تدويره في مجال مغناطيسي ذي كثافة فيض ٠,٤٥ تسلا، وطول كل جنب من الملف ٢٠٠ مم، وسرعة كل من الجانبين ٥ م/ث. ارسم مقدار ق.د.ك المنتجة معتمدة على الزمن خلال دورة كاملة للملف.

الحل:

بما أنه يوجد جانبان للملف فإن $v=2$ ، ومقدار ق.د.ك المنتجة للملف ذي الموصلين:

$$E = 2 B l v \sin \theta$$

حيث: E = مقدار ق.د.ك المنتجة

B = كثافة الفيض المغناطيسي = ٠,٤٥ تسلا

طول كل جنب من الملف = ٠,٢ م

v = سرعة كل من جانبي الملف = ٥ م/ث

θ = زاوية التحرك.

$$E = 2 \times 0.45 \times 0.2 \times 5 \sin \theta$$

$$E = 0.9 \sin \theta$$

وبتكرار حساب E بالتعويض في المعادلة أعلاه، عندما تتغير θ كل ٣٠ درجة بين ٠ و ٣٦٠ نحصل على:

θ	٠	٣٠	٦٠	٩٠	١٢٠	١٥٠	١٨٠
E (V)	٠	٠,٤٥	٠,٧٧٩	٠,٩	٠,٧٧٩	٠,٤٥	٠

θ	٢١٠	٢٤٠	٢٧٠	٣٠٠	٣٣٠	٣٦٠
E (V)	٠,٤٥ -	٠,٧٧٩ -	٠,٩ -	٠,٧٧٩ -	٠,٤٥ -	٠

ويوضح الشكل (٣-٣) هذه المقادير في صورة منحنى جيبي.

(٣-٢-٣) أثر الأقطاب المغناطيسية والسرعة على التردد:

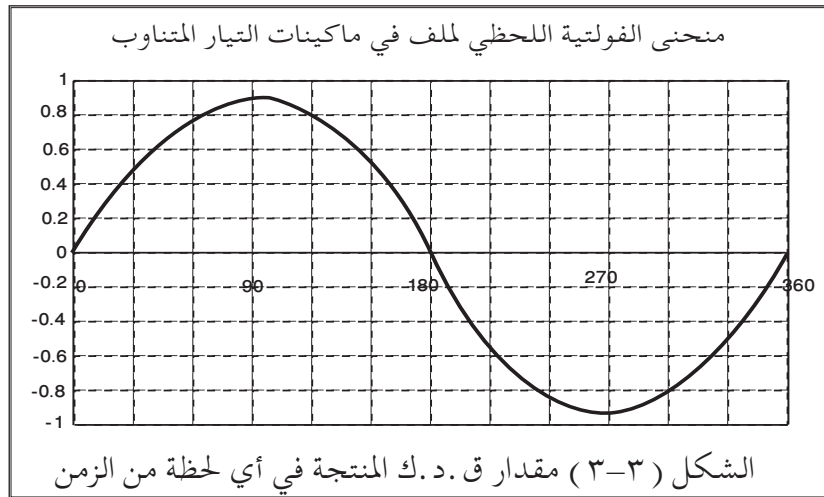
عندما يكمل المولد المبسط أعلاه دورة كاملة فإن ق.د.ك المنتجة المتغيرة مع الزمن تتبع منحنى جيبياً كما في الشكل (٣-٣)، وبالنسبة لكل دورة تالية فإن نفس

المنحنى يتكرر. وإذا أديرنا الحلقة ٥٠ دورة في الثانية فإن التردد (د) يكون ٥٠ دورة في الثانية. ووحدة التردد تسمى هيرتز (Hz).
حيث: هيرتز واحد = دورة واحدة في الثانية
ويتغير التردد بتناسب طردي مع سرعة الدوران (ر)، أي:
$$د \propto ر$$

حيث: د = التردد. ر = سرعة الدوران، أي عدد الدورات / ثانية.
تصمم بعض المولدات الكهربائية بقطبين مغناطيسيين فقط، بينما يصمم الجزء الآخر من المولدات بعدد زوجي من الأقطاب المغناطيسية. وبالنسبة للمولدات متعددة الأقطاب فإن التردد يكون حسب المعادلة التالية:

$$د = ر \cdot ز \quad \dots (٣-١٣)$$

حيث: د = التردد Hz.
ر = سرعة الدوران (دورات / ثانية)
ز = عدد أزواج الأقطاب.



مثال (٣-٧):

مولد لفة واحدة ذو ٦ أقطاب، أدير بسرعة ر = ١٠٠ دورة / ثانية. جد مقدار التردد لقوة الدفع الكهربائية المنتجة.

الحل:

$$د = ر \cdot ز$$

حيث: د = التردد

$$ر = \text{سرعة الدوران (دورات / ثانية)} = ١٠٠ \text{ دورة / ثانية}$$

$$ز = \text{عدد أزواج الأقطاب} = \frac{٦}{٣}$$

$$\text{وعليه فإن التردد } د = ١٠٠ \times ٣ = ٣٠٠ \text{ Hz}$$

مثال (٣-٨):

تردد ق.د.ك المنتجة من مولد (د) = ٥٠ هيرتز. فإذا كانت سرعة دوران المولد

تساوي ١٠٠٠ لفة / دقيقة، ما عدد الأقطاب في المولد؟

الحل:

$$د = ٥٠ \text{ Hz}$$

$$ر = \text{سرعة الدوران (دورات / ثانية)} = \frac{١٠٠٠}{٦٠} \text{ دورات / ثانية}$$

$$ز = \frac{د}{ر} = \frac{٥٠}{٦٠ \times \frac{١٠٠٠}{٦٠}} = ٣$$

عدد الأقطاب = $٣ \times ٢ = ٦$ أقطاب.

مثال (٣-٩):

مولد ذو ٨ أقطاب ينتج ق.د.ك ذات تردد ١٠٠ Hz، جد سرعة دوران المولد.

الحل:

$$د = ر \cdot ز$$

$$\text{حيث: د = التردد} = ١٠٠ \text{ Hz}$$

$$ز = \text{عدد أزواج الأقطاب} = \frac{٨}{٢} = ٤$$

$$\text{سرعة الدوران (دورات / ثانية)} = ر = \frac{د}{ز} = \frac{١٠٠}{٤} = ٢٥ \text{ دورة / ثانية.}$$

$$\text{السرعة} = ٦٠ \times ٢٥ = ١٥٠٠ \text{ دورة / دقيقة.}$$

تمارين (٣-٣)

- ١- مولد تيار متردد ذو ٨ أقطاب يغذي شبكة كهربائية ذات تردد ٥٠ هيرتز . احسب سرعة دوران المولد .
- ٢- أحسب سرعة العضو الدوار في مولد ذي ٤ أقطاب إذا كان المولد ينتج ق.د.ك ذات تردد ٦٠ هيرتز .
- ٣- كُتِبَ على لوحة بيانات مولد الآتي : (٣٠٠٠ لفة / دقيقة ، ٥٠ هيرتز)
ما عدد اقطاب المولد .

(٣-٣) دوائر التيار المتردد

(٣-٣-١) التيار المتردد (AC : Alternating Current)

التيار المتردد هو التيار الذي يتغير مقداراً واتجهاً في الدائرة. أما التيار المباشر (المستمر) (DC) Direct Current هو عبارة عن تيار ثابت المقدار والاتجاه، أو عبارة عن نبضات تسري في اتجاه واحد.

وللمميزات العديدة للتيار المتردد نجد أن أغلب المصادر اليوم عبارة عن مصادر للتيار المتردد. والمميزات هي:

١- مكونات مولدات ومحركات التيار المتردد عامة متينة وبسيطة التركيب، بالإضافة إلى ذلك فإن نسبة القدرة إلى الوزن لآليات التيار المتردد عادة أعلى من آليات التيار المباشر.

٢- يمكن رفع وخفض جهد التيار بكفاءة تقارب ١٠٠٪ باستخدام محولات ساكنة.

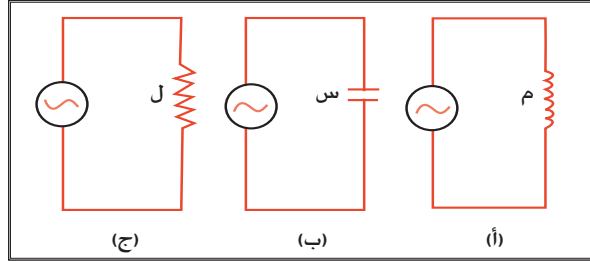
٣- يمكن الحصول على أي جهد تيار مباشر من مصدر AC بدوائر بسيطة عالية الكفاءة تسمى دوائر التقويم، وذلك في التطبيقات التي تكون فيها الحاجة ملحة لاستخدام التيار المباشر والتي لا يمكن فيها استخدام التيار المتردد. والتطبيقات هي:

أ- كل الأجهزة الالكترونية التي بها عناصر فعالة.

ب- كل التطبيقات التي يتوقف عملها على التأثير الكيميائي، مثل شحن البطاريات والطلاء بالكهرباء... إلخ.

ج- عندما يكون المراد عمل مغناطيسات دائمة وثابتة.

سوف نتناول في هذا الجزء خواص التيار المتردد في دائرة تحتوي على مقاومة ومحاثة ومواسعة.



الشكل (٣-٤) : ثلاث دوائر، واحدة بها مقاومة والثانية مواسعة والثالثة محاثّة
 (٣-٣-٢) التيار المتردد في دوائر بها مقاومة فقط :
 في حالة التيار المتردد الذي يمر في دائرة بها مقاومات فقط، وليس بها محاثّة
 أو مواسعة كما في الشكل (٣-٥) (أ) فإن التيار في أي لحظة من الزمن يعطى بقانون
 أوم: $t = \frac{f}{m}$.

حيث :
 ف = هبوط الفولتية بين طرفي المقاومة في أي لحظة من الزمن .
 م = المقاومة .
 ت = التيار المار خلال المقاومة في أي لحظة من الزمن .
 وبما أن منحنى تغير الفولتية مع الزمن في مصدر التيار المتردد يكون عادة جيبيّاً،
 أي :

$$f = f_{\text{جا}} \theta \dots \dots \dots (٣-١٤)$$

فإن منحنى التيار يكون أيضاً جيبيّاً، أي

$$t = t_{\text{جا}} \theta \dots \dots \dots (٣-١٥)$$

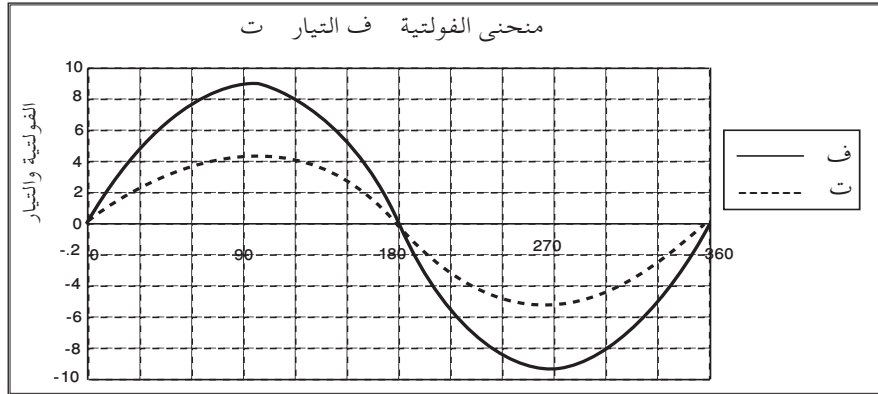
كما في الشكل (٣-٥) .
 والتردد المستخدم في أغلب دول العالم هو ٥٠ دورة في الثانية، وعليه فإن
 الدورة الواحدة في منحنى الفولتية أو التيار تستغرق $\frac{1}{50}$ ثانية، أي ٢٠ ملي ثانية .
 وبما أن التيار يتغير مقداره اللحظي باستمرار، وينعكس اتجاهه كل ١٠ ملي
 ثانية، فإن قياسه لا يمكن أن يتم في أي لحظة من الزمن كما في دوائر التيار المستمر

ولكن يمكن أن تقاس القيمة القصوى مثلاً أو أي قيمة أخرى تمثل هذا التيار، مثل متوسط القيمة اللحظية. ومتوسط القيمة اللحظية للدورة الكاملة يساوي صفراً، لأن نصف الدورة موجب والنصف الآخر سالب ومماثل للنصف الأول. ويمكن حساب المتوسط لنصف دورة واحدة، ويعتمد هذا المتوسط على القيمة القصوى للتيار I_t ، كما يلي:

..... (١٦-٣)

$$\text{متوسط } I_t = 0,637 \times I_t$$

ولكن قيمة متوسط التيار قليلة الأهمية بالنسبة للتيار المتردد حيث لا تساعد في حساب القدرة الناتجة عن التيار، وهو الهدف الأهم في أغلب الأحيان. القدرة اللحظية الناتجة عن التيار تساوي $I_t^2 \times R$ ، ومتوسط هذه القدرة هو القدرة الفعالة، وتعتمد على متوسط تربيع التيار. وعليه فيمكن تعريف القيمة " جذر متوسط تربيع التيار " (ج.م.ت) ليمثل قيمة التيار المتردد ويسمى بالقيمة الفعالة التي يمكن أن تستخدم في حساب القدرة الناتجة عن التيار. وبالنسبة للتيار المتردد فيستخدم الحرف I عادة ليعني القيمة الفعالة للتيار (ج.م.ت.).



الشكل (٣-٥): الفولتية والتيار اللحظي لدائرة بها مقاومة فقط
ويحسب جذر متوسط تربيع التيار (ج.م.ت.) من المعادلة التالية:

..... (١٧-٣)

$$\text{ج.م.ت.} = \frac{I_t}{\sqrt{2}}$$

حيث : $T_f =$ القيمة القصوى للتيار .
ويحسب متوسط التيار من المعادلة التالية :

$$\text{متوسط التيار} = \frac{T_f \times 2}{\pi} = 0,637 \times T_f \dots\dots\dots (3-18)$$

ومقدار القوة الناتجة عن مرور التيار في مقاومة يعتمد على (ج.م.ت .) للتيار أو الفولتية . وعليه فيمكن قياس مقدار الفولتية أو التيار بأجهزة قياس مصممة لتعطي القيمة الفعالة، أي الجذر التربيعي لمتوسط مربع القيم اللحظية خلال دورة واحدة . وهي القيمة الفعالة التي تعطي القدرة المطلوبة في الأجهزة والدوائر المختلفة .
والقيمة الفعالة للتيار (ت) أو الفولتية (ف) ذات المنحنى الجيبي كما في الشكل (٣-٦) يساوي :

$$T = 0,707 \times T_f \text{ أمبير}$$

$$F = 0,707 \times F_f \text{ فولت}$$

مثال (٣-١٠) :

احسب جذر متوسط تربيع التيار (ج.م.ت .) إذا كانت قيمته القصوى A_{24} .
واحسب أيضاً متوسط التيار .

الحل :

$$T_f = \text{القيمة القصوى للتيار} = A_{24}$$

$$\text{جذر متوسط تربيع التيار} = \frac{T_f}{\sqrt{2}} = \frac{24}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{A_{16,97}}}$$

$$\text{متوسط التيار} = 0,637 \times T_f = 0,637 \times 24 = \underline{\underline{A_{15,29}}}$$

مثال (٣-١١) :

إذا كان مقدار المقاومة في الشكل (٣-٤) (أ) تساوي 25Ω وفولتية المصدر $230V$ متناوب (مت)، أوجد مقدار التيار الذي يقاس بواسطة جهاز قياس التيار (الأميتر) .

الحل :

ف = فولتية المصدر (r.m.s) 230 V .

م = المقاومة $25\ \Omega$

بتطبيق قانون أوم:

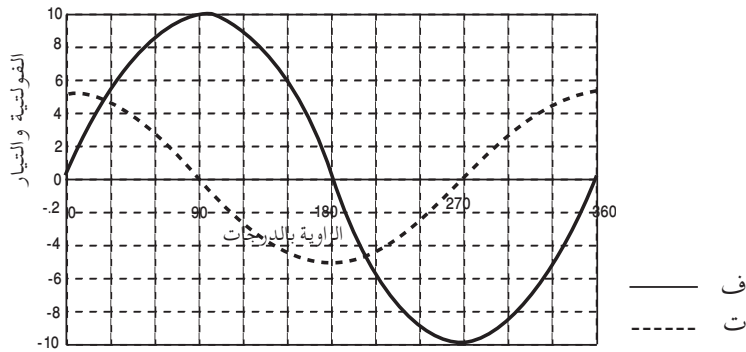
$$\text{مقدار التيار } I = \frac{V}{R} = \frac{230}{25} = 9.2\text{ A (r.m.s)}$$

ويلاحظ أن القيمة الفعالة للتيار والفولتية (r.m.s) هي المستخدمة دائماً، وتحذف كلمة فعالة أو (r.m.s) وتفهم ضمناً.

(٣-٣-٣) التيار المتردد في دائرة بها مواسعة فقط :

الدائرة في الشكل (٣-٤) (ب) تحتوي على مواسعة فقط. ويوضح جهاز قياس التيار (الأميتر) أن تياراً يمر في هذه الدائرة نسبة لشحن المكثف وتفريغه في كل دورة من منحنى التيار. ويوضح الشكل (٣-٦) الفولتية والتيار اللحظي الذي سوف يمر خلال كل دورة واحدة (أي ٢٠ ملي ثانية) ويلاحظ أن منحنى التيار يتكون من منحنى جيبي شبيه بمنحنى الفولتية إلا أنه يختلف عنه في زاوية الطور التي تتقدم على زاوية طور الفولتية بمقدار 90° .

منحنى الفولتية ف التيار ت



الشكل (٣-٦): الفولتية والتيار اللحظي لدائرة بها مواسعة فقط.

(٣-٣-٤) المفاعلة السعوية :

عندما يمر تيار ذو تردد معلوم (د) في دائرة مواسعة، فإن النسبة $\frac{V}{I}$ تعطي مقداراً ثابتاً لأي مكثف ذي مواسعة محددة (س). ويسمى هذا الثابت بالمفاعلة (ع) ووحدته أوم. وبالنسبة للمكثف يسمى هذا الثابت بالمفاعلة السعوية ع. ويمكن

حساب المفاعلة السعوية X_C من مقدار المواسعة S (فاراد) والتردد d (هيرتز) كما يلي:

$$X_C = \frac{1}{2\pi d S} \quad (\text{اوم}) \quad \dots\dots\dots (3-19)$$

مثال (3-12):

مكثف مواسعته $22 \mu F$ ، وصل إلى مصدر قدرة كهربائية ذي فولتية $200V$ وتردد 50 Hz . جد:

(أ) مقدار المفاعلة السعوية (ب) مقدار التيار المتردد الذي سوف يمر بالدائرة.

الحل:

$$X_C = \frac{1}{2\pi d S}$$

حيث: X_C = المفاعلة السعوية.

$$S = \text{المواسعة} = 22 \mu F$$

$$d = \text{التردد} = 50 \text{ Hz}$$

$$V = \text{فولتية المصدر} = 200V$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 22 \times 10^{-6}} = 144,7 \Omega$$

$$I = \frac{V}{X_C} = \frac{200}{144,7} = 1,38 \text{ A} \quad (2) \text{ التيار}$$

(3-3-5) التيار المتردد في دائرة بها محاثة فقط:

الدائرة في الشكل (3-4) (ج) تحتوي على محاثة فقط. ويوضح جهاز قياس التيار (الأميتر) أن تياراً يمر في هذه الدائرة التي تخضع لفولتية المصدر بالإضافة إلى فولتية الحث الذاتي المنتجة داخل الملف. ويوضح الشكل (3-7) الفولتية والتيار اللحظي الذي سوف يمر خلال كل دورة واحدة (أي 20 ملي ثانية) ويلاحظ أن منحني

التيار يتكون من منحني جيبي شبيه بمنحني الفولتية إلا أنه يختلف عنه في زاوية الطور التي تتأخر عن زاوية طور الفولتية بمقدار 90° .

(٣-٣-٦) المفاعلة الحثية:

عندما يمر تيار ذو تردد معلوم (د) في دائرة بها محاثّة فقط، فإن النسبة $\frac{ف}{ت}$ تعطي مقداراً ثابتاً لأي ملف ذي محاثّة محددة (ل). ويسمى هذا الثابت بالمفاعلة (ع) ووحدته أوم. وبالنسبة للملف يسمى هذا الثابت بالمفاعلة الحثية $ع_ل$. ويمكن حساب المفاعلة الحثية $ع_ل$ من معامل المحاثّة ل (هنري) والتردد د (هيرتز) كما يلي:

$$ع_ل = \pi^2 د ل \text{ (أوم)} \quad \dots\dots\dots (٣-٢٠)$$

مثال (٣-١٣):

ملف ذو محاثّة ٠,٤٥ هنري، وصل إلى مصدر قدرة كهربائية ذي فولتية V_{200} وتردد ٥٠ Hz، جد:

(١) مقدار المفاعلة السعوية.

(٢) مقدار التيار المتردد الذي سوف يمر بالدائرة.

الحل:

المفاعلة الحثية $ع_ل = \pi^2 د ل$

حيث: $ع_ل =$ المفاعلة الحثية

ل = معامل الحث الذاتي = ٠,٤٥ H

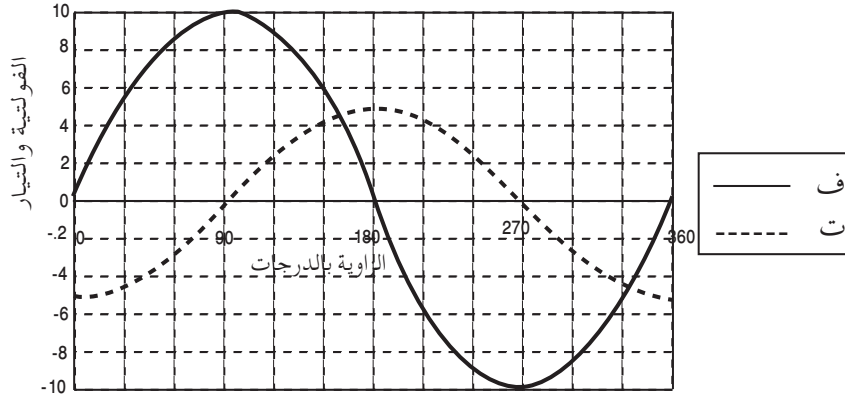
د = التردد = ٥٠ Hz

ف = فولتية المصدر = V_{200}

$$\underline{\underline{\Omega_{141,4}}} = \underline{\underline{A_{1,41}}} = \frac{200}{141,4} = \frac{ف}{ع_ل} = \text{التيار} \quad (١)$$

$$\underline{\underline{\Omega_{141,4}}} = \underline{\underline{A_{1,41}}} = \frac{200}{141,4} = \frac{ف}{ع_ل} = \text{التيار} \quad (٢)$$

منحنى الفولتية في التيار ت



الشكل (٧-٣): الفولتية والتيار اللحظي لدائرة بها محث فقط .

(٧-٣-٣) التيار المتردد في دائرة بها مواسعة ومقاومة موصلتان على التوالي :

إذا اشتملت الدائرة الكهربائية على مواسعة فقط فقد اتضح مما سبق أن منحنى التيار يتكون من منحنى جيبي شبيه بمنحنى الفولتية إلا أنه يختلف عنه في زاوية الطور التي تتقدم على زاوية طور الفولتية بمقدار 90° . أما إذا اشتملت على مواسعة ومقاومة موصلتين على التوالي فإن منحنى التيار يتكون من منحنى جيبي شبيه بمنحنى الفولتية إلا أنه يختلف عنه في زاوية الطور التي تتقدم على زاوية طور الفولتية بمقدار ϕ والتي تكون أقل من 90° .

ومقدار التيار (ت) في هذه الحالة يكون :

$$ت = \frac{ف}{و} \text{ أمبير} \quad \dots (٣-٢١)$$

حيث : ف = فولتية المصدر

و = معاوقة الدائرة المكونة من مقاومة ومفاعلة سعوية موصلتان على التوالي .

ويحسب مقدار المعاوقة من مقدار المقاومة م ومقدار المفاعلة السعوية ع_س كما يلي :

$$و = \sqrt{م^2 + ع_{س}^2} \text{ أوم} \quad \dots (٣-٢٢)$$

وتستنبط هذه العلاقة من مثلث المعاوقة الموضح في الشكل (٣-٨) (أ)،

لدائرة تحتوي على مقاومة ومواصلة موصلان على التوالي . وتعني المتغيرات الموضحة على المثلث ما يلي :

م = المقاومة . ع = المفاعلة السعوية . و = المعاوقة .

ووحدة كل واحدة منها هي الأوم .

ϕ = زاوية الطور بين الفولتية والتيار، و ϕ تسمى معامل القدرة، ومقداره $\cos \phi = \frac{P}{S}$

$$\text{القدرة (قد)} = \text{ف} \times \text{ت} \times \cos \phi \text{ وات} \quad (23-3) \dots\dots$$

(3-3-7) التيار المتردد في دائرة بها محاث ومقاومة موصلتان على التوالي :

إذا اشتملت الدائرة الكهربائية على محاث فقط فقد اتضح مما سبق أن منحنى التيار يتكون من منحنى جيبي شبيه بمنحنى الفولتية إلا أنه يختلف عنه في زاوية الطور التي تتأخر عن زاوية طور الفولتية بمقدار 90° . أما إذا اشتملت الدائرة على محاث ومقاومة موصلتين على التوالي فإن منحنى التيار يتكون من منحنى جيبي شبيه بمنحنى الفولتية إلا أنه يختلف عنه في زاوية الطور التي تتأخر عن زاوية طور الفولتية بمقدار ϕ والتي تكون أقل من 90° .

ومقدار التيار (ت) في هذه الحالة يكون :

$$\text{ت} = \frac{\text{ف}}{\text{و}} \text{ أمبير} \quad (24-3) \dots\dots$$

حيث : ف = فولتية المصدر

و = معاوقة الدائرة المكونة من مقاومة ومفاعلة حثية موصلتان على التوالي .

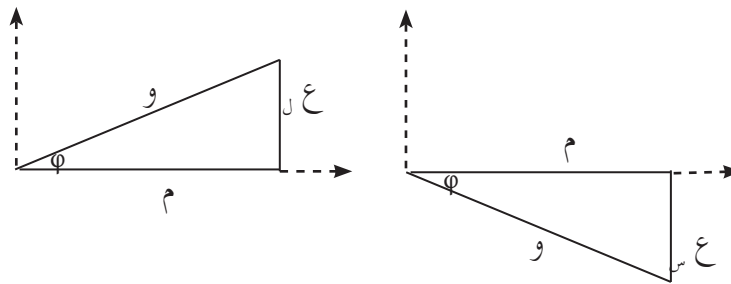
ويحسب مقدار المعاوقة من مقدار المقاومة م ومقدار المفاعلة الحثية ع_ل كما يلي :

$$\text{و} = \sqrt{\text{م}^2 + \text{ع}_\text{ل}^2} \text{ أوم} \quad (25-3) \dots\dots$$

وتستنبط هذه العلاقة من مثلث المعاوقة الموضح في الشكل (3-8) (ب) لدائرة

تحتوي على مقاومة ومحاث موصلان على التوالي . وتعني المتغيرات الموضحة على المثلث ما يلي :

م = المقاومة. ع_ج = المفاعلة الحثية. و = المعاوقة.
 ووحدة كل واحدة منها هي الأوم.
 φ = زاوية الطور بين الفولتية والتيار، وجتا φ تسمى معامل القدرة، ومقداره جتا $\varphi = \frac{P}{S}$
 القدرة (قد) = ف × ت × جتا φ وات



(ب) الحثية.

(أ) السعوية

الشكل (٣-٨) مثلث المعاوقة

مثال (٣-١٤):

مقاومة مقدارها $\Omega ٤٠$ ومفاعلة سعوية مقدارها $\Omega ٣٠$ وصلا على التوالي مع مصدر فولتية ٢٤٠ فولت متناوب. جد:
 (١) مقدار المعاوقة. (٢) مقدار التيار. (٣) معامل القدرة.

الحل:

$$ف = \text{فولتية المصدر} = ٢٤٠ \text{ V}$$

$$م = \text{المقاومة} = \Omega ٤٠$$

$$ع = \text{المفاعلة السعوية} = \Omega ٣٠$$

$$(١) \text{ المعاوقة } و = \sqrt{م^2 + ع^2} = \sqrt{٤٠^2 + ٣٠^2} = \Omega ٥٠$$

$$(٢) \text{ التيار } \underline{A_{٤,٨}} = \frac{ف}{و} = \frac{٢٤٠}{٥٠}$$

$$(٣) \text{ جتا } \varphi = \frac{م}{و} = \frac{٤٠}{٥٠} = ٠,٨$$

مثال (٣-١٥):

دائرة كهربائية مكونة من مقاومة $\Omega 30 =$ موصلة على التوالي مع مكثف س
ومع مصدر ذي فولتية $V 200 =$ متناوب (مت). إذا كان التيار المار خلال الدائرة
يساوي $A 4$ جد:

(١) المفاعلة السعوية للمكثف. (٢) معامل القدرة. (٣) القدرة.

الحل:

$$V 240 = \text{فولتية المصدر}$$

$$A 4 = \text{تيار}$$

$$\Omega 30 = \text{المقاومة}$$

$$\varphi = \text{زاوية الطور بين فولتية وتيار المصدر}$$

$$\Omega 50 = \frac{200}{4} = \frac{\text{ف}}{\text{ت}} = \text{المعاوقة و}$$

$$(1) \quad \sqrt{V^2 = V_m^2 + V_e^2}, \quad V_o^2 = V_m^2 + V_e^2$$

$$V_e^2 = V_o^2 - V_m^2$$

$$\underline{\underline{\Omega 40}} = \sqrt{V_o^2 - V_m^2} = \sqrt{V_e^2} = V_e$$

$$(2) \quad \underline{\underline{0.6}} = \frac{30}{50} = \frac{m}{o} = \cos \varphi$$

$$(3) \quad \text{القدرة (قد)} = \text{ف} \times \text{ت} \times \cos \varphi = 200 \times 4 \times 0.6 = \underline{\underline{480}} \text{ وات}$$

$$\text{أو (قد)} = \text{م} \times \text{ت}^2 = 30 \times 4 \times 4 = \underline{\underline{480}} \text{ وات}$$

مثال (٣-١٦):

ملف مقاومته $\Omega 50$ ومحاثته $\frac{1}{\pi 2} H$ ، وصل على التوالي إلى مقاومة أخرى مقدارها
 $\Omega 70$ ، وإلى مصدر قدرة كهربائية ذي فولتية $V 240$ وتردد $50 Hz$. جد مقدار التيار
في هذه الدائرة ومعامل القدرة.

الحل:

$$\begin{aligned}
\Omega_{50} &= \text{مقاومة الملف} = 1\text{ م} \\
\Omega_{70} &= \text{المقاومة الخارجية} = 2\text{ م} \\
H \frac{1}{\pi^2} &= \text{المحثة} = \text{ل} \\
V_{240} &= \text{فولتية المصدر} = \text{ف} \\
\text{Hz } 50 &= \text{التردد} = \text{د} \\
\Omega_{120} &= 70 + 50 = \text{م} = \text{مجموع المقاومتين} \\
\pi^2 \text{ د} &= \text{المفاعلة الحثية} = \text{د}
\end{aligned}$$

$$\Omega_{50} = \frac{1}{\pi^2} \times 50 \times \pi^2 =$$

$$\Omega_{130} = \sqrt{(50)^2 + (120)^2} = \sqrt{16900} = 130 \text{ م} = \text{مقدار المعاوقة و}$$

$$A_{1,84} = \frac{240}{130} = \frac{\text{ف}}{\text{و}} = \text{مقدار التيار ت}$$

$$\cos \phi = \frac{50}{130} = 0,38 = \text{جتا } \phi$$

تمارين (٣-٤)

١) دائرة تيار متردد مكونة من مقاومة مقدارها ١٠ أوم ومفاعلة سعوية مقدارها ٢٠ أوم موصلة إلى مصدر ٢٢٠ فولت على التوالي. جد :

(١) معاوقة الدائرة. (ب) مقدار التيار. (ج) معامل القدرة.

٢) دائرة كهربية مكونة من مقاومة مقدارها $\Omega 12$ ومفاعلة حثية مقدارها $\Omega 5$ ، أوجد مقدار المعاوقة (و) ومعامل القدرة.

٣) احسب فرق الجهد بين طرفي ملف محاثته ٢ هنري ومقاومته صغيرة جداً إذا مر تيار شدته ٠,٥ أمبير من مصدر تردده ٥٠ هيرتز.

٤) مقاومة ملف ٤ أوم ومحاثته ٩,٥٥ ملي هنري، جد :

(١) المفاعلة الحثية. (ب) المعاوقة. (ج) التيار المأخوذ من مصدر ٢٤٠ فولت ٥٠ هيرتز

(د) معامل القدرة.

٥) ملف يأخذ تياراً شدته ٢ أمبير عندما يوصل بين طرفي مصدر تيار مباشر ١٢ فولت، ويأخذ تياراً شدته ٢٤ أمبير عندما يوصل إلى مصدر تيار متردد ٢٤٠ فولت ٥٠ هيرتز. جد :

(١) مقاومة الملف. (ب) معاوقة الملف. (ج) المفاعلة الحثية.

(د) محاثته الملف

(هـ) معامل القدرة.

(٣-٤) مولد التيار المتردد ثلاثي الأطوار

تستخدم مولدات التيار المتردد ثلاثية الأطوار لتوليد الكهرباء للإستخدام العام في جميع دول العالم للمميزات التالية:

١- كفاءة واقتصادية التوليد والنقل والتوزيع.

٢- لا تحتاج المحركات ثلاثية الأطوار إلى ملفات بدء الحركة كما في محركات الطور الواحد.

٣- دوائر ترشيح وتنعيم أقل تكلفة بالمقارنة إلى دوائر الطور الواحد وذلك عندما يكون المطلوب تيار مباشر (DC) من مصدر متردد (AC)

٤- المحركات والمولدات ثلاثية الأطوار متينة وأصغر حجماً وأقل تكلفة وتحتاج إلى صيانة أقل كما أنها تعطي خرجاً مستقراً.

٥- توفر جهدين: مصدر طور واحد single phase، ومصدر ثلاثي الأطوار

(٣-٤-١) أنواع مولدات التيار المتردد ثلاثي الأطوار:

(١) مولدات المنتج الدائر.

(٢) مولدات المجال الدائر.

تستخدم مولدات المجال الدائر على نطاق أوسع للمميزات التالية:

i. تكون الحاجة لحلقتي انزلاق فقط بدلاً عن ثلاث حلقات في النوع الأول.

ii. يمر شدة تيار صغير خلال الحلقتين لتغذية ملفات المجال بجهد منخفض محدود، وبذلك يقل الفقد في حلقتي الانزلاق.

iii. تتوفر مساحة أكبر لملفات المنتج في العضو الساكن مما يساعد على إضافة المزيد من العزل لتوليد جهود مرتفعة.

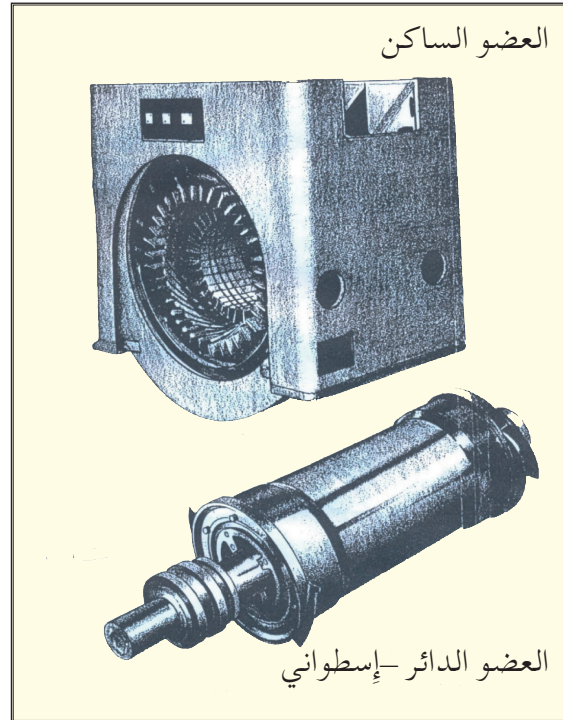
هنالك نوعان من مولدات المجال الدائر:

(١) مولدات الأقطاب البارزة : Salient pole

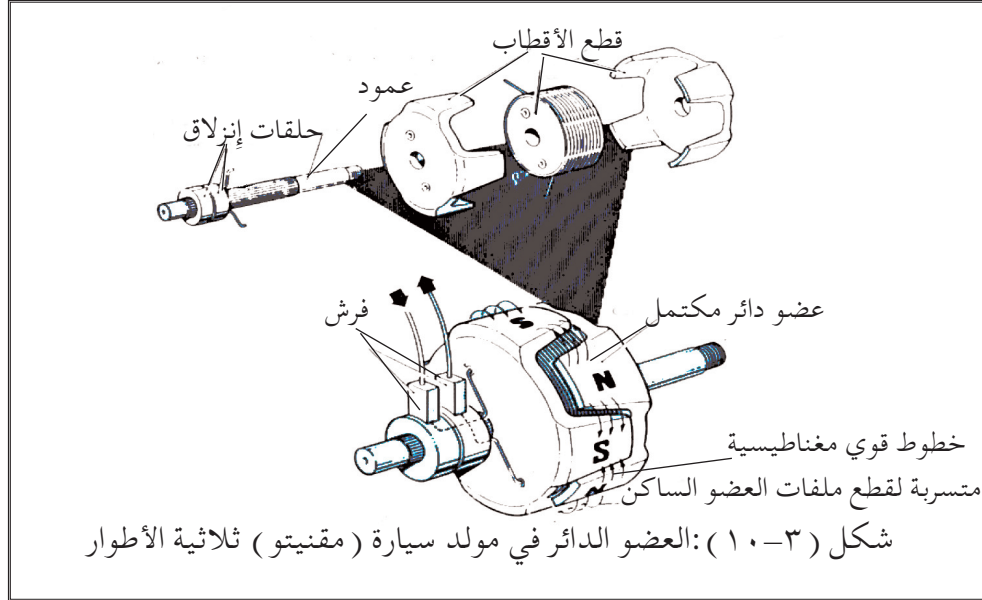
تستخدم عند السرعات المنخفضة (أقل من ١٥٠٠ لفة/دقيقة) وتستخدم عادة في التوربينات المائية، هذا النوع من المولدات رخيصة بالمقارنة بالأنواع الأخرى. وشكل (٣-١٠) يبين أقطاب بارزة على شكل مخالب متداخلة مستخدمة على نطاق واسع في مغنيتو السيارات .

(٢) مولدات مجال الدائر الأسطواني : Cylindrical rotor

حيث توضع الملفات في مجاري داخل الأسطوانة لتكوين الأقطاب. هذا النوع من المولدات مناسب للسرعات العالية الناتجة من التوربينات البخارية (فحم-بترو-غاز طبيعي) التي قد تصل إلى ٣٠٠٠ لفة/دقيقة وتعطي موجات فيض مغناطيسي قريبة من الموجة الجيبية (انظر الشكل (٣-٩))



شكل (٣-٩) : مولد عالي السرعة يدار بالتوربينات



(٣-٤-٢) تقنين المولدات : Generators Rating

يرتبط تقنين المولدات بالحمل الذي يمكن للمولد مده باستمرار دون ارتفاع درجة الحرارة فوق المعدل. لذلك يتحدد تقنين المولد بالحرارة الداخلية التي يمكن أن يتحملها المولد. وحيث أن الحرارة ترتفع أساساً نتيجة لمرور التيار لذلك تقنن المولدات بدلالة جهد الخرج و تيار المنتج (بالفولت، أمبير VA، أو الكيلو فولت، أمبير kVA، أو بالميقا فولت، أمبير MVA) عادة عند معامل قدرة ٠,٨، على سبيل المثال إذا كان المقنن ١٠٠ كيلو فولت، أمبير لمولد معين، فإن ذلك يعني أن المولد يمكن أن يعطي قدرة مقدارها ١٠٠ كيلو واط عند معامل قدرة يساوي الوحدة، ويعطي قدرة تساوي ٨٠ كيلو واط عند معامل قدرة ٠,٨.

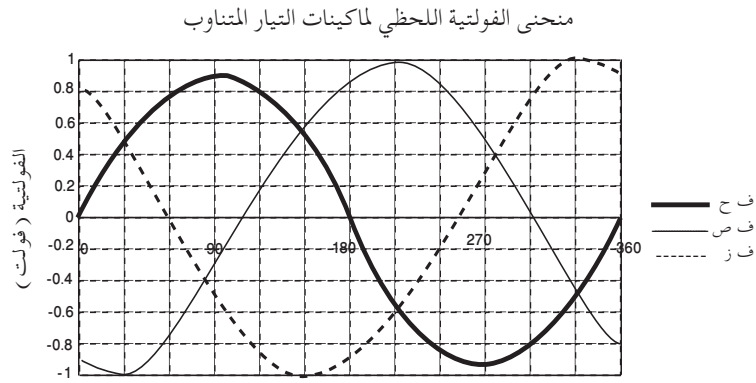
(٣-٤-٣) توليد القدرة في مولدات التيار المتردد ثلاثي الأطوار:

توجد ثلاثة مجموعات من الملفات في مولد التيار المتردد، كل مجموعة مزاحة بزاوية كهربية مقدارها ١٢٠° عن التي تليها لتكون ثلاثة مصادر، حيث أن كل ملف عبارة عن مصدر قدرة ذو طور واحد.

$$\begin{aligned} f_1 &= f \text{ جا } \theta \\ f_2 &= f \text{ جا } (\theta - 120^\circ) \\ f_3 &= f \text{ جا } (\theta - 240^\circ) \end{aligned}$$

(٣-٢٦)

تتولد في كل ملف ق.د.ك ذات علاقة جيبية مع موضع الأقطاب، ولما كانت الملفات متساوية في عدد لفائفها تنتج فيها ق.د.ك قصوى متساوية كما يظهر في الشكل (٣-١١) أدناه. لاحظ أن محصلة القوة الدافعة الكهربائية في أي لحظة للثلاثة أطوار تساوي صفراً.



شكل (٣-١١): منحنى الفولتية اللحظي لماكينات التيار المتناوب

(٣-٤-٤) طريقة توصيل أطراف المولد :

يمكن توصيل الأطراف الستة الخارجية للمولد بصفة عامة بإحدى طريقتين :

١- طريقة النجمة : Star connection

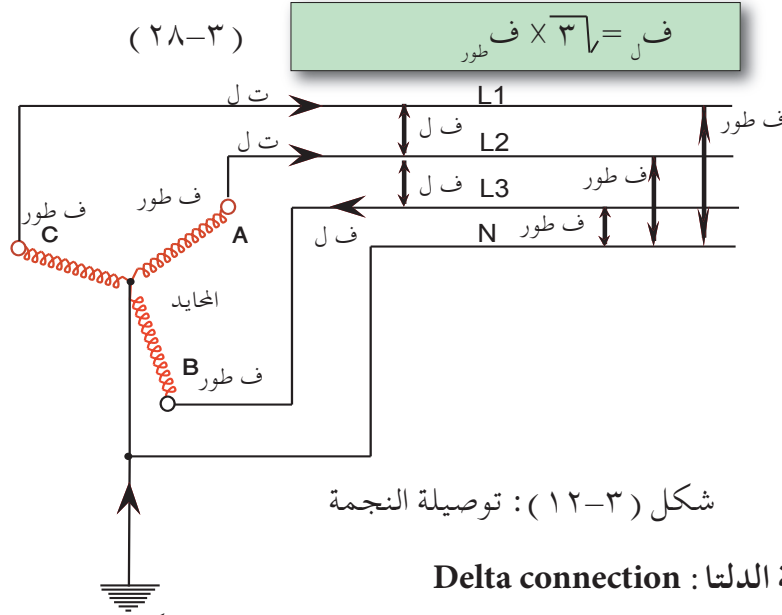
في هذه الطريقة توصل بدايات أو نهايات ملفات الأطوار الثلاث مع بعضها والأطراف الثلاثة المتبقية توصل إلى الخطوط الخارجية (انظر الشكل (٣-١٢))

تبعاً لذلك يكون تيار الخط = تيار الطور

$$I_L = I_P \quad \dots \dots \dots (٣-٢٧)$$

فرق الجهد بين خطين يعادل التوصيل بين طورين (ملفين)، لذلك يكون فرق الجهد بين خطين يساوي فرق الجهد بين طورين بينهما إزاحة طور مقدارها ١٢٠°.

جهد الخط = $\sqrt{3}$ جهد الطور



في هذه التوصيلة يوصل كل طور مباشرة إلى خطين، ولذلك يكون

جهد الخط = جهد الطور

(٢٩-٣)

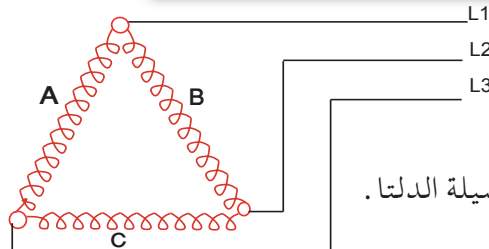
ف_ل = ف_{طور}

يوصل كل خط إلى طورين ولذلك يكون تيار الخط مساوياً للفرق بين تيارات طورين والتي تكون مزاحة بمقدار ١٢٠°.

تيار الخط = $\sqrt{3}$ × تيار الطور

(٣٠-٣)

ت_ل = $\sqrt{3}$ × ت_{طور}



شكل (١٣-٣): توصيلة الدلتا.

مثال (٣-١٧):

مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ملفاته موصلة نجمة ويعطي تيار حمل كامل مقداره ٣٠٠ أمبير عند جهد خط $\sqrt{3} \times 230$ فولت، ومعامل قدرة ٠,٨ تخلف، جد:

(أ) جهد الطور. (ب) تيار الحمل الكامل للطور.

الحل:

$$\begin{aligned} \text{أ-} \quad \text{جهد الطور} &= \text{جهد الخط} \div \sqrt{3} \\ &= \sqrt{3} \times 230 \div \sqrt{3} = 230 \text{ فولت.} \\ \text{ب-} \quad \text{تيار الطور} &= \text{تيار الخط} = \underline{\underline{300}} \text{ أمبير} \end{aligned}$$

مثال (٣-١٨):

مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ملفاته موصلة دلتا ويعطي تيار حمل كامل (تيار الخط) مقداره ٢٠٠ أمبير عند جهد خط ٤٠٠ فولت ومعامل قدرة ٠,٨ تخلف.

جد: (أ) جهد الطور. (ب) تيار للطور.

الحل:

$$\begin{aligned} \text{١-} \quad \text{جهد الطور} &= \text{جهد الخط} = \underline{\underline{400}} \text{ فولت.} \\ \text{٢-} \quad \text{تيار الطور} &= \text{تيار الخط} \div \sqrt{3} \\ &= 200 \div \sqrt{3} = 115,5 \text{ أمبير} \end{aligned}$$

تمارين (٣-٥)

- (١) مصدر قدرة كهربائية ثلاثي الأطوار موصل على طريقة النجمة، فإذا كان جهد الطور يساوي ٢٣٠ فولت وتيار الخط T_L يساوي ٥ أمبير. أحسب تيار الطور وجهد الطور.
- (٢) مصدر قدرة كهربائية ثلاثي الأطوار موصل على طريقة الدلتا. إذا كان تيار الخط ١٠ أمبير وفولتية الخط ٤١٥ فولت. أحسب (١) تيار الطور. (٢) فولتية الطور.
- (٣) ثلاثة أحمال مقاومة كل واحد منها ٣٠ أوم وصلت بطريقة النجمة لمصدر جهد ثلاثي الأطوار ٤١٥ فولت جد: (أ) جهد الطور للأحمال (ب) تيار الطور (ج) تيار الخط.
- (٤) ثلاثة ملفات متشابهة مقاومة كل منها ٣٠ أوم ومفاعلتها الحثية $X_L = 40 \text{ أوم}$. إذا كان تيار الخط ٥ أمبير فأحسب جهد الخط إذا وصلت الملفات: (أ) نجمة (ب) دلتا.
- (٥) ثلاثة مكثفات متشابهة وصلت بطريقة الدلتا بين أطراف مصدر ثلاثي الأطوار ٤١٥ فولت، ٥٠ هيرتز. إذا كان تيار الخط ٣ أمبير فأحسب سعة كل مكثف.

(٥-٣) المحولات Transformers

المحول جهاز كهرومغناطيسي ساكن ليس له أجزاء متحركة، ينقل الطاقة الكهربائية للتيار المتردد بدون تغيير في التردد ولكن عادة بتغيير الجهد والتيار وتنقل الطاقة من ملف إلى آخر عن طريق الحث الكهرومغناطيسي المتبادل بكفاءة عالية.

(٣-٥-١) أجزاء المحول الرئيسية:

(١) القلب المغناطيسي : Magnetic core

عبارة عن شرائح من الحديد السليكوني .

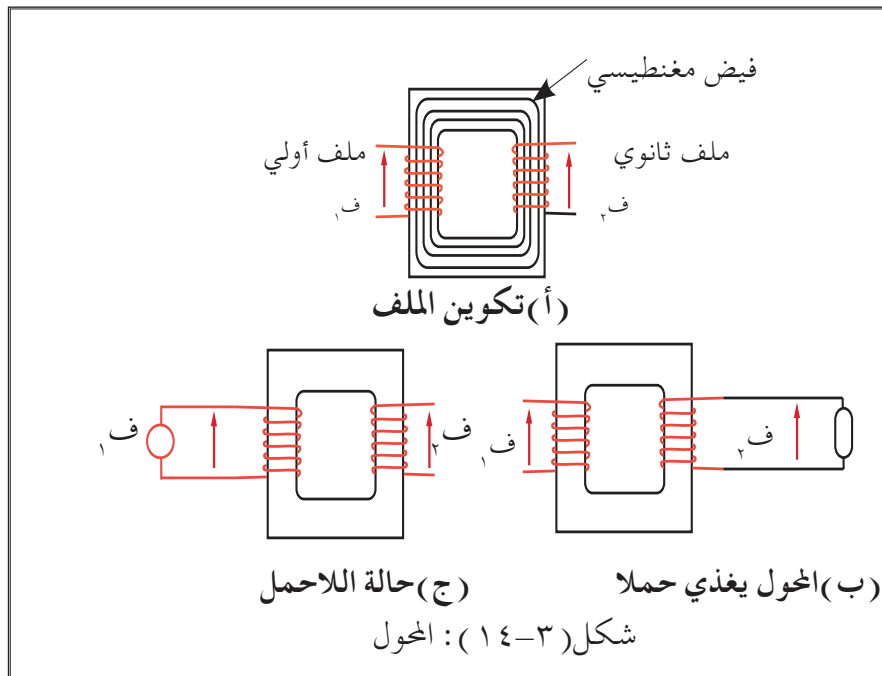
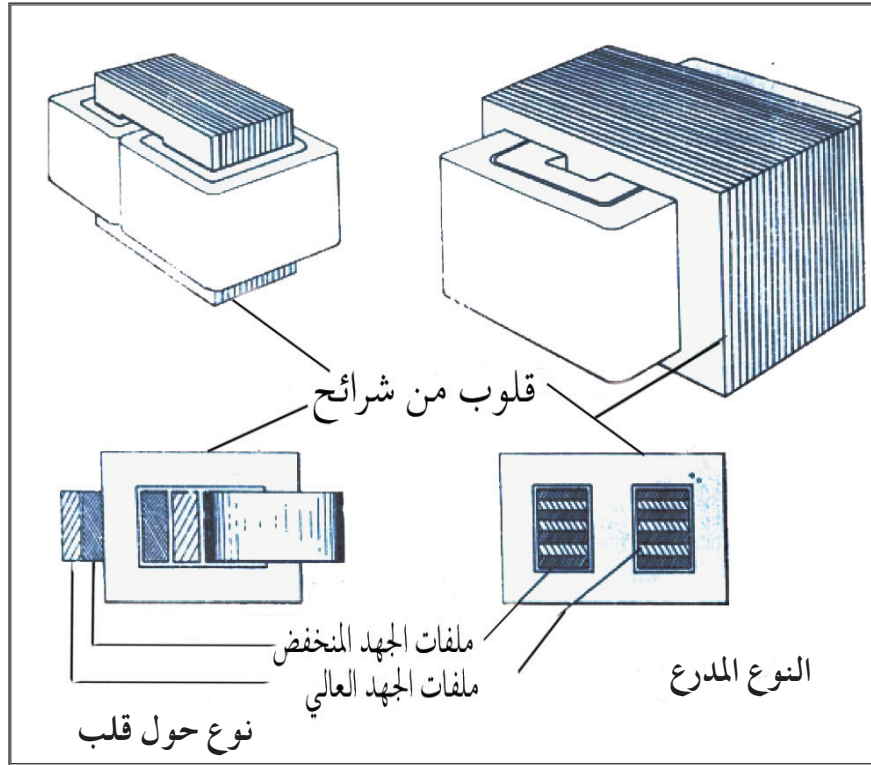
(٢) الملف الابتدائي (الأولي) : Primary winding

عبارة عن سلك نحاس معزول ملف على جانب من القلب المغناطيسي ويوصل إلى مصدر التيار المتردد .

(٣) الملف الثانوي : Secondary winding

عبارة عن سلك من النحاس معزول ملفوف على الجانب الآخر أو مع الملف الابتدائي تراكمياً (أنظر النوع المدرع والنوع حول القلب في شكل (٣-١٤)) ويوصل الملف الثانوي إلى الحمل الخارجي .

إذا كان عدد ملفات الملف الابتدائي أكثر من الملف الثانوي فإن المحول يسمى محول خافض (step down) وإذا كان أقل فإن المحول يسمى محول رافع (step up) . المحول الرافع يستقبل الطاقة الكهربائية عند جهد معين ويسلم نفس الطاقة أو أقل قليلاً بجهد أعلى من الجهد المستقبل والتيار أقل بنفس نسبة زيادة الجهد، والعكس فإن المحول الخافض يستقبل الطاقة عند جهد معين ويسلم نفس الطاقة أو أقل قليلاً بجهد أقل من المستقبل والتيار أعلى بنفس النسبة .



(٣-٥-٢) فكرة عمل المحول ومعادلات المحول :

عندما تكون دائرة الملف الثانوي مفتوحة ويوصل جهد تيار متردد f_1 إلى الملف الابتدائي يمر تيار صغير في الملف الابتدائي يسمى تيار اللاحمل وينشأ مجال مغناطيسي متغير في القلب الحديدي، هذا المجال المغناطيسي يقطع الملف الابتدائي والملف الثانوي فتتكون قوة دافعة كهربية E_1 في الملف الابتدائي بالحث الذاتي وقوة دافعة كهربية E_2 بالحث المتبادل حيث أن أي موصل يوضع في مجال مغناطيسي متغير تتكون بين طرفيه قوة دافعة كهربية.

في المحول المثالي فإن كل المجال المغناطيسي المتغير Φ وبر المتكون نتيجة لمرور التيار في الملف الابتدائي ينتقل إلى الملف الثانوي بدون فواقد.

(٣-٣١)

$$\frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2}$$

حيث N_1 ، N_2 عدد اللفات في الملف الابتدائي والثانوي على الترتيب.
 $E_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$
 $E_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$

(٣-٣٢)

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

يسمى $\frac{V_1}{N_1}$ بنسبة الفولتية و $\frac{V_2}{N_2}$ بنسبة اللفات.
 عندما يوصل حمل إلى الملف الثانوي يمر تيار كهربي في الملف الثانوي (I_2) وتنتقل القدرة الكهربية عبر المحول إلى الحمل بحيث أن:

$$\text{قدرة الدخل} = \text{قدرة الخرج} + \text{الفواقد}$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 + \text{الفواقد}$$

في المحول المثالي الفواقد = صفر

$$\therefore V_1 I_1 = V_2 I_2$$

(٣-٣٣)

$$\frac{I_1}{N_1} = \frac{I_2}{N_2}$$

∴

.. (٣-٣٤)

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{Y_1}{Y_2}$$

تقن المحولات بالفولت. أمبير أو الكيلوفولت أمبير بدلاً من الواط أو الكيلو واط لأن المحول ليس حملاً وإنما وسيلة نقل وسيطة بين المصدر والحمل، ويعطى تقنين المحولات الصغيرة المستخدمة في الإلكترونيات غالباً بالأمبير. تقنين المحول بالفولت. أمبير يساوي X_1 ت_١ أو X_2 ت_٢ حيث ت_٢ تيار الحمل الكامل للملف الثانوي.

مثال (٣-١٩):

محول به ٥٠٠ لفه في ملفه الأولي و ٢٠٠٠ لفه في ملفه الثانوي. جد مقدار (ق.د.ك.). العكسية المنتجة حثياً في الملف الأولي، عندما تكون (ق.د.ك.). في الملف الثانوي ٢٠٠٠ V.

الحل:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{Y_1}{Y_2}$$

حيث: Y_1 = (ق.د.ك.). المنتجة في الملف الثانوي = ٢٠٠٠ V

D_1 = عدد لفات الملف الأولي = ٥٠٠ لفه

D_2 = عدد لفات الملف الثانوي = ٢٠٠٠ لفه

$$V_{500} = \frac{2000 \times 500}{2000} = \frac{Y_1 \times D_1}{D_2} = Y_1 \text{ في الملف الأولي}$$

مثال (٣-٢٠):

(ق.د.ك.). العكسية Y_1 لمحول ١٠٠٠ V و (ق.د.ك.). في الملف الثانوي Y_2

تساوي ٥٠٠ V. الملف الأولي به ٢٠٠ لفه أحسب عدد اللفات في الملف الثانوي.

الحل:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

حيث: I_1 = (ق.د.ك.) المنتجة في الملف الأولي $V_1 = 1000$

I_2 = (ق.د.ك.) المنتجة في الملف الثانوي $V_2 = 500$

N_2 = عدد لفات الملف الأولي = 200 لفة

$$\text{عدد لفات الملف الثانوي } N_1 = \frac{200 \times 500}{1000} = \frac{I_1 \times N_1}{I_2} = 100 \text{ لفة}$$

مثال (٣-٢١):

محول لديه ملف أولي به 100 لفة وملف ثانوي به 400 لفة. فإذا كان التيار في الملف الثانوي $A_2 = 500$ أحسب التيار الذي يمر من مصدر القدرة في الملف الأولي. أهمل تيار اللاحمل.

الحل:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

حيث: I_2 = تيار الملف الثانوي $A_2 = 500$

N_2 = عدد لفات الملف الثانوي = 400 لفة

N_1 = عدد لفات الملف الأولي = 100 لفة

$$A_1 = \frac{500 \times 400}{100} = \frac{I_2 \times N_2}{N_1} = 2000$$

مثال (٣-٢٢):

الملف الأولي لمحول موصل إلى مصدر قدرة به 400 لفة، ويمر به تيار $A_1 = 20$ من مصدر القدرة. والملف الثانوي به 200 لفة. أحسب مقدار التيار من الملف الثانوي إلى الحمل. أهمل تيار اللاحمل.

الحل:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

حيث: I_1 = تيار الملف الثانوي $A_2 = 20$

N_2 = عدد لفات الملف الثانوي = 400 لفة

د_٢ = عدد لفات الملف الأولي = ٢٠٠ لفة

$$A_{\epsilon 0} = \frac{2 \times 400}{200} = \frac{2 \times 1}{1} = 2$$

(٣-٥-٣) فواقد المحول والكفاءة:

بصفة إجمالية هناك نوعان من الفواقد عند تحميل المحول: الفواقد النحاسية والفواقد الحديدية.

(١) الفواقد النحاسية: متغيرة وتعتمد على تيار التحميل

$$\text{جملة الفواقد النحاسية} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \quad (\text{واط}) \quad \dots \dots (3-35)$$

(٢) الفواقد الحديدية: ثابتة عند تردد وكثافة مغناطيسية معينة. والفواقد الحديدية نوعان:

(أ) فواقد التخلفية المغناطيسية: Hysteresis losses

يقلل باستخدام سبيكة من الحديد والنيكل أو الحديد السليكوني.

(٣) التيارات الإعصارية (الدوامية): Eddy current losses

تقلل بزيادة مقاومة مادة القلب بجعل القلب يتكون من شرائح

معزولة.

$$\begin{aligned} \text{كفاءة المحول} \% &= \frac{\text{قدرة الخرج}}{\text{قدرة الدخل}} \times 100 \\ &= \frac{\text{قدرة الخرج}}{\text{قدرة الخرج} + \text{الفواقد}} \times 100 \\ &= \frac{I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + \text{معامل القدرة}}{\text{قدرة الدخل}} \times 100 \quad (3-36) \\ &= \frac{\text{قدرة الدخل} - \text{الفواقد}}{\text{قدرة الدخل}} \times 100 \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{\text{الفواقد}}{\text{قدرة الدخل}} \right) \end{aligned}$$

وتكون كفاءة المحول بين ٩٥٪ و ٩٨٪، ويمكن الحصول على كفاءة قصوى عندما تتساوى فواقد النحاس المتغيرة مع الفواقد الحديدية الثابتة.

مثال (٣-٢٣):

محول ٢٠٠ كيلو فولت. أمبير له فواقد نحاسية ١,٥ كيلو واط وفواقد حديدية ١ كيلو واط. أحسب الكفاءة عند الحمل الكامل ومعامل قدرة ٠,٨٥.

الحل:

الفواقد النحاسية = ١,٥ ، الفواقد الحديدية = ١ كيلو واط
 الفواقد الكلية = ١ + ١,٥ = ٢,٥ كيلو واط
 معامل القدرة = ٠,٨٥

ف_٢ × ت_٢ = ٢٠٠ كيلو فولت. أمبير

قدرة الدخل = قدرة الخرج + الفواقد الكلية

قدرة الخرج = ف_٢ × ت_٢ × جتا φ

١٧٠ = ٠,٨٥ × ٢٠٠ =

قدرة الدخل = ١٧٠ + ٢,٥ = ١٧٢,٥ كيلو واط

الكفاءة % = $\frac{\text{قدرة الخرج}}{\text{قدرة الدخل}} \times ١٠٠$

٩٨,٥٥ % = $١٠٠ \times \frac{١٧٠}{١٧٢,٥}$ =

(٣-٥-٤) أنواع المحولات:

هناك عدة أنواع من المحولات وفقاً لنوع التطبيق منها:

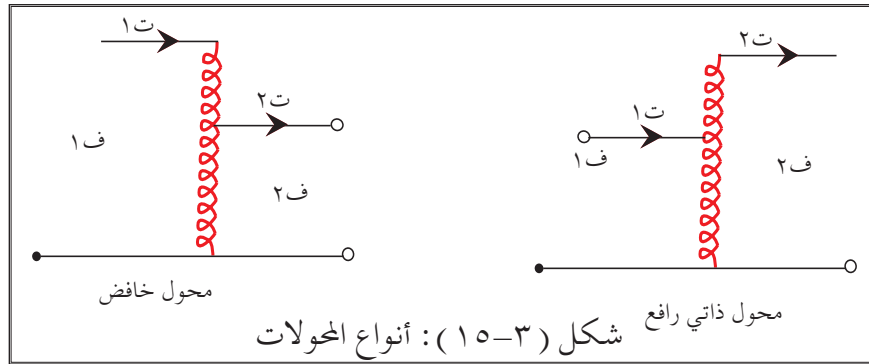
(١) محولات القدرة: Power transformers

يمكن أن يصل تقنين المحول إلى عدة ميغا فولت أمبير (MVA). قلب المحول عادة يتكون من شرائح الحديد السليكوني - الشرائح تقلل فواقد التيارات الإعصارية والحديد السليكوني يقلل فواقد التحللية المغناطيسية. تصمم هذه المحولات لتعمل على تحميل ثابت تساوي قدرتها المقننة. وتصمم لإعطاء كفاءة قصوى عند الحمل

الكامل وهذا يعني أن فواقد الملفات يجب ان تساوي فواقد القلب .
محولات القدرة المرتفعة تستخدم لتوزيع القدرة للمستهلكين . محولات القدرة الصغيرة لها عدة تطبيقات وتشمل مصادر اللحام والتقويم ... إلخ .
تبرد المحولات الصغيرة عن طريق الهواء . ويستخدم الزيت لتبريد المحولات الكبيرة .

(٢) المحول الذاتي : Auto transformer

المحول الذاتي هو المحول الذي يكون فيه جزء من ملفه مشتركاً بين الابتدائي والثانوي ويتكون من ملف واحد .



شكل (٣-١٥) : أنواع المحولات

الاستخدامات :

- (١) رفع أو خفض جهد المصدر بمقدار صغير
- (٢) بدء محركات التيار المتردد
- (٣) رفع الجهد من المولدات إلى الشبكة القومية (٢٧٥ كيلوفولت ، أو ٤٠٠ كيلوفولت ، أو ٥٠٠ كيلوفولت)

(٣) محولات القياس : Instrument transformers

يتنقسم هذا النوع من المحولات الى قسمين :

(أ) محولات التيار : Current transformers

تستخدم محولات التيار لقياس تيارات فوق ال ١٠٠ أمبير . الملف الابتدائي يحتوي على ملف او ملفين بينما يحتوي الملف الثانوي على عدة مئات من الملفات .
(٢) محولات الجهد : Voltage transformers

تستخدم محولات الجهد لقياس الجهود فوق ال ٥٠٠ فولت . يحتوي الملف الابتدائي على عدد كبير من الملفات بينما الملف الثانوي على عدد قليل من الملفات .

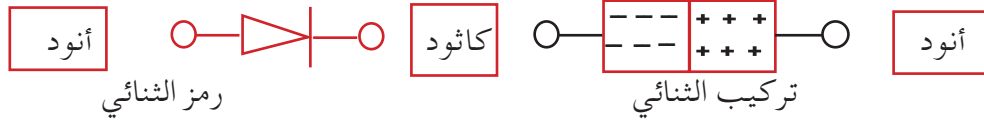
تمارين (٦-٣)

- (١) الملف الأولي لمحول ما به ٢٠٠ لفة، وملف ثانوي به ٥٠٠ لفة. فإذا كان التيار في الملف الثانوي $A ٧٠٠$. أحسب التيار الذي يمر من مصدر القدرة في الملف الأولي. أهمل تيار اللاحمل.
- (٢) الملف الأولي لمحول موصل إلى مصدر قدرة به ٣٠٠ لفة، ويمر به تيار $A ٣٠$ من مصدر القدرة. والملف الثانوي به ١٠٠ لفة. أحسب مقدار التيار من الملف الثانوي إلى الحمل. أهمل تيار اللاحمل.
- (٣) محول به ٧٠٠ لفة في ملفه الأولي و ١٥٠٠ في ملفه الثانوي. جد مقدار (ق.د.ك.) العكسية المنتجة حثياً في الملف الأولي عندما تكون (ق.د.ك.) في الملف الثانوي $V ٢٠٠٠$.
- (٤) (ق.د.ك.) العكسية (ي) لمحول $V ٢٠٠٠$ و (ق.د.ك.) في الملف الثانوي (ي) تساوي $V ١٠٠٠$. الملف الأولي به ٥٠٠ لفة. أحسب عدد اللفات في الملف الثانوي.
- (٥) محول مخفض لل فولتية بنسبة ١:١٥. الملف الأولي يحتوي على ١٦٥٠ لفة ووصل إلى مصدر قدرة ذي فولتية $V ٣٠٠٠$. أحسب فولتية الملف الثانوي وعدد لفاته.
- (٦) محول به ١٠٠ لفة في الملف الأولي و ٢٠٠٠ لفة في الملف الثانوي و تيار الحمل في الملف الثاني ٢٠٠ أمبير وفرق الجهد بين طرفي الملف الثانوي ٢٠٠٠ فولت، أحسب:
- (أ) مقدار فولتية مصدر القدرة، (ب) تيار الملف الأولي.
- (٧) مقاومة الملف الابتدائي لمحول ٤٠٠ كيلو فولت. أمبير ٥٠٠ أوم ومقاومة الملف الثانوي ٠,٠٠١ أوم. فواقد الحديد ٢,٥ كيلواط، جهد الملف الابتدائي ٥ كيلوفولت وجهد الملف الثانوي ٣٢٠ فولت. إذا كان معامل القدرة ٠,٨٥، أحسب كفاءة المحول عند الحمل الكامل.
- (٨) محول ٢٠٠ كيلو فولت. أمبير الفواقد الحديدية له ٢ كيلواط. أحسب أقصى كفاءة عند معامل قدرة ٠,٨.

(٦-٣) هندسة الإلكترونيات

(١-٦-٣) الثنائي (الدايود) : Diode

الثنائي (الدايود) من عناصر أشباه الموصلات يسمح بمرور التيار بسهولة في اتجاه واحد ويمنع مرور التيار في الاتجاه المضاد. يتكون الثنائي من وصلة مادتي شبه الموصل النوع الموجب والنوع السالب المصنوعة من الجرمانيوم أو السليكون. للثنائي طرفان: الكاثود والأنود، ويعمل كمفتاح جهد حساس يوصل عندما يكون الأنود موجباً بالنسبة للكاثود ويقال أن الثنائي في الإنحياز الأمامي، ويفصل عندما يكون جهد الأنود سالباً بالنسبة للكاثود ويقال أن الثنائي في الإنحياز العكسي.



شكل (١٦-٣): الثنائي

(٢-٦-٣) أنواع الثنائي :

(أ) ثنائيات القدرة Power Diodes

هذه الثنائيات مشهورة وتستخدم بكثرة في تقويم التيار المتردد في الأجهزة المنزلية والمكتبية والأدبترات التجارية ومصادر القدرة. ولها تيار إنحياز أمامي كبير وتستخدم في الترددات المنخفضة.

(ب) زينار دايود Zener Diode

تزيد الشوائب المضافة عن ثنائيات القدرة، تضاف الشوائب بكميات محكومة لموصل الثنائي في جهد عكسي معين. يعتبر الزينار دايود عنصراً أساسياً في منظمات الجهد.

(ج) ثنائيات شوتكي Schottky

لها تيار إنحياز أمامي منخفض وتستخدم عند الترددات العالية جداً (سريع عند الفتح والقفل).

(د) ثنائيات الانبعاث الضوئي : LEDs (Light emitting diodes)

تعطي لون مرئي عند مرور تيار خلالها، ويعتمد اللون المشع على نوع المادة المستخدمة. والألوان المألوفة هي الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر، وتستخدم كلمات بيان في كثير من الأجهزة الكهربائية والإلكترونية وتستخدم كذلك في الإتصالات كمصدر للإشعاع الضوئي المستعمل في الألياف الضوئية الزجاجية.

(هـ) ثنائي فراكتور : Varactor

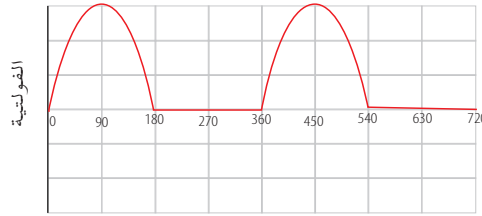
الفراكتور أو الثنائي ذو المفاعلة المتغيرة ويعمل كمكثف متغير عند تغيير جهد الإنحياز العكسي، وهكذا بتغيير جهد الإنحياز العكسي للفراكتور عند طريق التحكم عن بعد (الرموت)، مثلاً يتم إختيار المحطات والقنوات المراد مشاهدتها أو الاستماع إليها.

(٣-٦-٣) تطبيقات الثنائي :

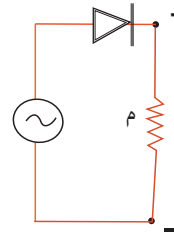
يستخدم الثنائي في تطبيقات كثيرة أهمها تقويم التيار المتردد (تحويل التيار المتردد (AC) إلى مباشر (DC)).

١- تقويم نصف موجة : Half wave rectifier

يستخدم ثنائي واحد يسمح بإمرار نصف موجة فقط ويقطع في النصف الآخر. خلال النصف الموجب للموجة يكون الأنود موجباً والكاثود سالباً فيوصل الدايمود أي يعمل في منطقة الإنحياز الأمامي، أما خلال النصف السالب للموجة فيكون الأنود سالباً بالنسبة للكاثود فلا يوصل الدايمود ويعمل الدايمود في منطقة الإنحياز العكسي. (انظر شكل (٣-١٧)).



(ب) منحنى الفولتية لمقوم نصف الموجة



(أ) مقوم نصف موجة

شكل (٣-١٧) : بعض دوائر المقوم نصف موجة.

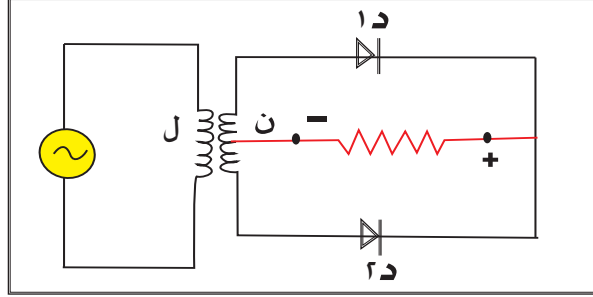
٢- تقويم موجة كاملة : Full wave rectifier

للحصول على قيمة عالية من التيار المباشر (DC)، تستخدم طريقة تقويم موجة كاملة بدلاً من تقويم نصف موجة. توجد طريقتان للموجة الكاملة:

(i) مقوم الموجة الكاملة ذات نقطة متوسطة للمحول : Center tapped

يتكون من ثنائيين بحيث يمر تيار أحادي الإتجاه في مقاومة الحمل من خلال الثنائي د_١ أثناء النصف الموجب لموجة الدخل ومن خلال د_٢ أثناء النصف السالب

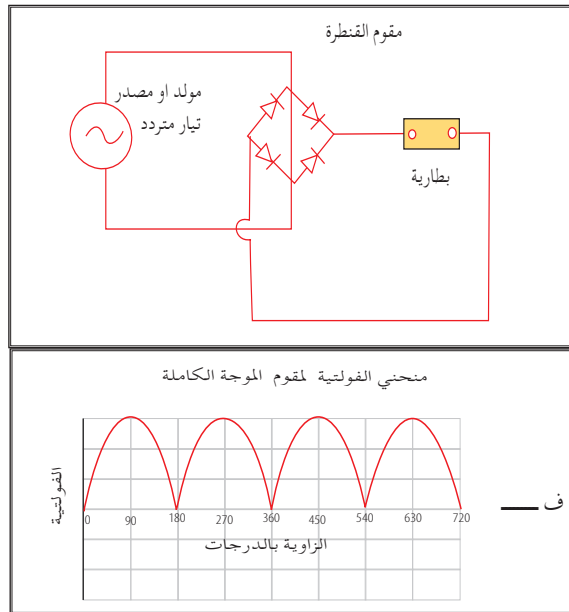
للموجة. نقطة التفرع (ن) تمثل الطرف السالب للتيار المباشر المقوم (أنظر الشكل (١٨-٣)).



شكل (١٨-٣): مقوم الموجة الكاملة ذات نقطة متوسطة للمحول.

(ii) مقوم القنطرة للموجة الكاملة Bridge

تستخدم أربع ثنائيات ويوصل كل ثنائيين على التوالي مع الحمل في كل نصف موجة. البطارية تعمل كحمل على دائرة المقوم. يستخدم مقوم القنطرة بكثرة لتقويم موجة كاملة في الأدابترات التجارية ومصادر القدرة المختلفة. لاحظ في توصيلة القنطرة أنه توجد ٨ أطراف للأربعة ثنائيات: توصل كل كاثود وأنود إلى مصدر التيار المتردد، توصيلة كاثودين تمثل موجب التيار المباشر المقوم، توصيلة أنودين تمثل سالب التيار المباشر المقوم.



شكل (١٨-٣): الفولتية اللحظية لمقوم الموجة الكاملة

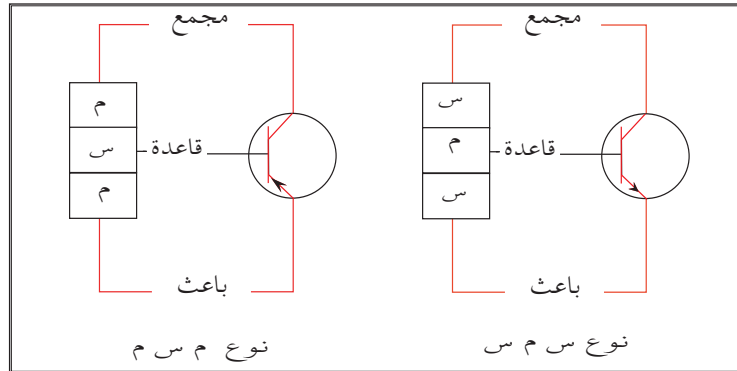
(٣-٦-٢) الترانزستور : Transistor

الإسم ترانزستور هو إختصار كلمتي مقاومة تحويل باللغة الإنجليزية TRANSfer reSISTOR لأن الترانزستور يحول تيار من دائرة دخل منخفضة المقاومة إلى دائرة خرج عالية المقاومة .

يمكن تصنيف الترانزستور إلى نوعين أساسيين :

(أ) ترانزستور ثنائي القطب : Bipolar

يؤخذ إسم ترانزستور ثنائي القطب من منطلق الحقيقة التي تقول أن كلاً من حاملات الشحنة الكهربائية الموجبة والسالبة أي الفجوات والألكترونات تشارك في ميكانيكية انسياب التيار . ويتكون هذا النوع من ثلاث طبقات : (١) نوع سالب-موجب-سالب (س، م، س) و NPN (٢) نوع موجب-سالب-موجب (م، س، م) PNP وتعرف مناطق الترانزستور بالباعث (المشع) Emitter - القاعدة Base - والمجمع Collector .



شكل (٣-١٩) : تركيب ورموز الترانزستور

(ب) ترانزستور التأثير المجالي : Field Effect (FET)

وتسمى وحدات ترانزستورات التأثير المجالي بهذا الإسم لأن مجالاً كهربياً يتحكم ويشارك في عملية إنسياب التيار . نوع واحد من الشحنات الحاملة التي يمكن أن تكون الكترولونات أو فجوات وتبعاً لهذه الحقيقة توصف وحدات ترانزستورات التأثير المجالي أحياناً على أنها نبائط ترانزستورات أحادية القطب . وتسمى أطراف الترانزستورات بالمصدر Source والبوابة Gate والصرف Drain وتقابل الباعث والقاعدة والمجمع على الترتيب .

ويمكن تصنيف هذا النوع إلى طائفتين:

- (١) ترانزستور التأثير المجالي ذو البوابة الموصلة.
 - (٢) ترانزستور التأثير المجالي ذو البوابة المعزولة أو ترانزستور التأثير المجالي الأكسيد المعدنية (المعدن موصل والأكسيد عازل).
- وتعتبر الألكترونيات الرقمية مجالاً أساسياً للاستخدام للنوع الأخير. ويمكن إعتبار وحدات ترانزستورات التأثير المجالي في معظم الأحوال وكأنها جهدية التشغيل حيث أن المعاوقة الداخلية تكون كبيرة بالدرجة التي لا تسحب من الناحية العملية أي تيار من مصدر إشارة الدخل، بينما يمكن إعتبار ترانزستورات ثنائي القطب وكأنها نبائط تيارية التشغيل.

مميزات الترانزستورات بصفة عامة:

- ١- لا يحتاج إلى فراغ كبير.
- ٢- لا يحتاج لقدرة كبيرة للعمل.
- ٣- يمكن أن يعمل بواسطة مراكم ذو جهد منخفض.
- ٤- استهلاكه للقدره صغير عند التشغيل.
- ٥- يمكن أن يكون ذا عمر طويل وهذا يساعد على لحامه مباشرة إلى الوصلات مما يمنع حدوث مشكلة الوصلات غير الجيدة.
- ٦- تتكون الدارات التكاملية ICs من ترانزستورات كعنصر أساسي.

مهام الترانزستور:

- ١- التكبير: Amplification يقوم الترانزستور بتكبير الجهد والتيار والقدرة. عند استخدام الترانزستور كمكبر توصل أرجل الترانزستور الثلاثة إلى طرفي إشارة الدخل المراد تكبيرها وإلى طرفي الخرج للمرحلة التالية لذلك لا بد أن يكون أحد أطراف الترانزستور مشتركاً بين الدخل والخرج وعلى حسب الطرف المشترك تسمى توصيلة الترانزستور:

أ- القاعدة (البوابة) المشتركة CB / CG Common Base (Gate)

ب- الباعث (المصدر) المشترك CE / CS Common Emitter (Source)

ج- المجمع (الصرف) المشترك CC / CD Common Collector (Drain)

وتعتبر طريقة الباعث (المصدر) المشترك الطريقة الشائعة الإستعمال لأنها تعطي تكبير عالي للجهد والتيار والقدرة. عند تشغيل الترانزستور تنبعث الإلكترونات أو الفجوات من منطقة الباعث (المصدر) وتتجمع معظم الإلكترونات في منطقة المجمع (الصرف) والجزء القليل الباقي يذهب إلى منطقة القاعدة (البوابة).

٢- مذبذب Oscillator : يمكن توصيل الترانزستور ليعمل كمولد للموجات الجيبية والمربعة والمثلثية ... إلخ من مصدر تيار مباشر.

٣- مفتاح : يمكن أن يعمل الترانزستور كفتاح إلكتروني Electronic switch أو كجزء من عنصر ذاكرة Memory element .

تمارين (٣-٧)

(١) اختر الإجابة الصحيحة من (i، ii، iii، v) من الآتي :

(أ) فراكتور داود عبارة عن :

- i. مقاومة متغيرة عند الإنحياز الأمامي .
- ii. مكثف متغير عند الإنحياز الأمامي .
- iii. مقاومة متغيرة عند الإنحياز العكسي .
- iv. مكثف متغير عند الإنحياز العكسي .

(ب) عند استخدام ثنائي زينر كمنظم جهد يكون الكاثود :

- i. موجباً بالنسبة للأنود .
- ii. سالباً بالنسبة للأنود .
- iii. عند ٧, ٠ فولت .
- iv. أرضي .

(ج) أطراف ترانزستور ثنائي القطب تسمى :

- i. م، س، م .
- ii. س، م، س .
- iii. دخل، خرج، أرضي .
- iv. قاعدة، باعث، مجمع .

(د) في ترانزستور التأثير المجالي للحصول على كسب تيار، جهد، قدرة عالي يفضل توصيلة:

- i. الباعث المشترك.
- ii. المصدر المشترك.
- iii. البوابة المشتركة.
- iv. القاعدة المشتركة.

(هـ) المذبذبات عبارة عن:

- i. تغذية مرتدة.
- ii. مكبرات.
- iii. مولد للموجات.
- iv. موهنات.

(و) التركيب البنائي للدارات التكاملية ICs تحوي في غالب مساحتها على:

- i. ترانزستورات.
- ii. ثنائيات.
- iii. مقاومات.
- iv. مكثفات.

(٢) أكمل الجمل الآتية بوضع كلمات مناسبة في المكان الخالي:

(أ) تسمى مناطق نوع (م) في الترانزستور (م س م) بال..... و.....، أما نوع (س) يسمى

(ب) تسمى منطقة نوع (م) في الترانزستور (س م س) بال.....، أما مناطق نوع (س) تسمى و.....

(٣) (أ) ما الفرق بين تقويم نصف موجة وموجة كاملة.

(ب) أي نوع من تقويم موجة كاملة يعطي خرج عالي لنفس جهد الدخل ونفس نسبة لفات المحول.

(ج) إذا كان هبوط الجهد للثنائي السليكون عند الحمل الكامل ٠.٧ فولت فما هبوط الجهد بين طرفي الحمل عند:

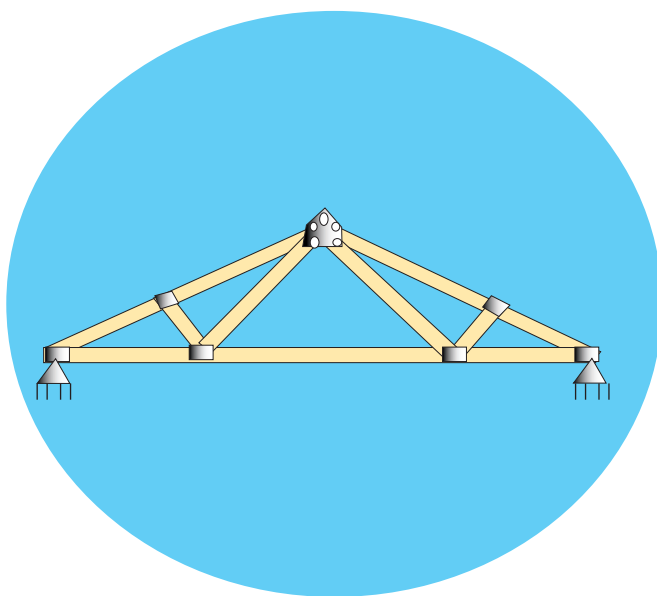
- (i) تقويم نصف موجة
(ii) تقويم موجة كاملة باستخدام ثنائين ونقطة متوسطة للمحول
(iii) تقويم موجة كاملة باستخدام طريقة القنطرة .
(٤) إذا علمت أن :

كسب (تكبير) التيار = تيار الخرج ÷ تيار الدخل

$$\text{كسب (تكبير) الجهد} = \text{كسب التيار} \times \frac{\text{مقاومة الخرج}}{\text{مقاومة الدخل}}$$

- كسب القدرة = كسب التيار × كسب الجهد
فأحسب كسب التيار والجهد والقدرة لترانزستور وصل كباعث مشترك إذا علمت أن مقاومة الدخل للترانزستور (القاعدة إلى الباعث) ١٠٠ أوم وقيمة مقاومة الحمل ١٠ كيلو أوم والتيار الواصل إلى المجمع يساوي ٩٨٪ من التيار المنبعث من الباعث .
(٥) ما الفرق بين ترانزستورات ثنائي القطب والتأثير المجالي من حيث :
(أ) ميكانيكية انسياب التيار .
(ب) نمط التشغيل .

الهندسة المدنية



الفصل الرابع

(١-٤) أساسيات الهندسة المدنية

(١-١-٤) تعريفات ومصطلحات :

الكتلة: Mass هي مقدار المادة المتجمعة في الجسم . وتعتبر الكتلة عن مقدار القصور الذاتي للجسم (inertia) (مقاومة الجسم لأي تغير في حركته) وتقاس الكتلة بالكيلوجرام .

القوة: Force يعنى بها تأثير (دفع أو جذب) جسم على جسم آخر، فتغير أو تحاول أن تغير حالته الحركية . وتعتمد على عدة مؤثرات منها نقطة تأثير القوة ومقدارها واتجاه عملها ، وتقاس القوة بالنيوتن .

النيوتن: Newton هي القوة اللازمة لتحريك جسم كتلته ١ كجم بعجلة مقدارها ١ م/ث^٢ .

وبصورة عامة :

$$ق = ك \times ج \quad \dots (١-٤)$$

حيث : ق = القوة (نيوتن) .

ك = كتلة الجسم (كجم) .

ج = العجلة (م/ث^٢) .

تقسم القوى على حسب أثرها في الجسم إلى قوى خارجية وأخرى داخلية . القوى الخارجية هي تلك القوى المؤثرة أو المسلطة على الجسم من الخارج وقوى ردود الفعل . أما القوى الداخلية فتتعلق بالإجهادات (Stresses) والانفعالات (Strains) .

القوة يمكن تمثيلها بيانياً بخط مستقيم . والخط اللانهائي الذي تنطبق عليه القوة يسمى خط عمل القوة ، ويمكن أن تحول القوة من موضعها إلى أي موضع آخر على امتداد خط عملها دون أن يؤثر ذلك على طبيعة المسالة من الناحية الاستاتيكية .

وزن الجسم : Weight هو قوة الجاذبية الأرضية على الجسم وتقاس بالنيوتن . ويمكن أخذها كقوة مركزة تؤثر عبر مركز ثقل الجسم .

$$و = ك \times ج \quad \dots (٢-٤)$$

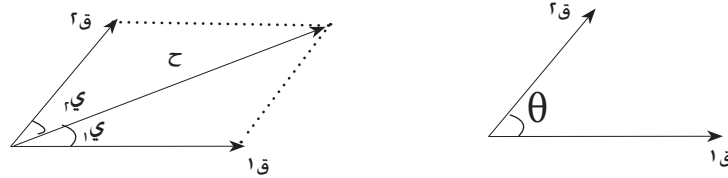
حيث : و = وزن الجسم (نيوتن)

ك = كتلة الجسم (كجم)
ج = العجلة (م / ث^٢)

(٢-١-٤) محصلة القوى : Force Resultant

محصلة القوى هي تلك القوة التي يمكن أن تحل محل عدة قوى بحيث يكون تأثيرها هو نفس التأثير الذي تحدثه القوى الأصلية مجتمعة. ويرمز لها بالحرف (ح).

(٣-١-٤) محصلة قوتين معلومتين (ق_١، ق_٢) بينهما زاوية معلومة (θ):



شكل (١-٤) محصلة قوتان بينهما زاوية

تقع المحصلة " ح " دائما في موقع ما بين القوتين المعلومتين ق_١، ق_٢، شكل (١-٤). ويمكن إيجاد مقدارها من المعادلة (٣-٤):

$$ح^2 = ق_1^2 + ق_2^2 + 2 ق_1 ق_2 جتا \theta \quad \dots (٣-٤)$$

اتجاه المحصلة هي الزاوية التي تصنعها المحصلة مع إحدى القوتين. الشكل (١-٤) (ب) يوضح المحصلة وزوايا ميل المحصلة من القوتين. وتستخدم العلاقتين أدناه للحصول على اتجاه المحصلة.

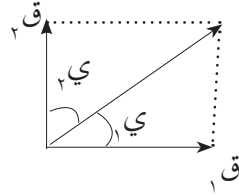
$$\begin{aligned} \text{ظا } \theta_1 &= ق_2 جتا \theta \div (ق_1 + ق_2 جتا \theta) \\ \text{ظا } \theta_2 &= ق_1 جتا \theta \div (ق_1 + ق_2 جتا \theta) \end{aligned} \quad \dots (٤-٤)$$

حيث:

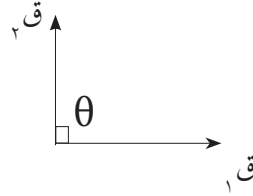
θ_١ = زاوية ميل المحصلة من القوة ق_١

θ_٢ = زاوية ميل المحصلة من القوة ق_٢

(٤-١-٤) محصلة قوتان متعامدتان :



(ب)



(أ)

شكل (٤-٢) محصلة قوتان متعامدتان

عندما تكون القوتان متعامدتان ($\theta = 90^\circ$) شكل (٤-٢) تكون قيمة جتا $\theta = 0$ صفر، وتصبح المحصلة كما في المعادلة (٤-٥) :

$$Q^2 = Q_1^2 + Q_2^2 \dots (٤-٥)$$

واتجاه المحصلة يعطى بالمعادلة :

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= Q_2 \div Q_1 \\ \tan \beta &= Q_1 \div Q_2 \end{aligned}$$

حيث :

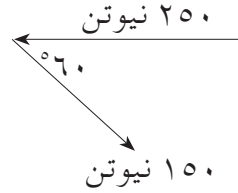
α = زاوية ميل المحصلة من القوة Q_1

β = زاوية ميل المحصلة من القوة Q_2

لاحظ عند جمع مجموعة قوى على استقامة واحدة فان القوى فى اتجاه معين تأخذ اشارة موجبة والقوى الاخرى فى الاتجاه المخالف تأخذ الاشارة السالبة .
محصلة القوى المتوازية يساوي المجموع الجبري لمقادير تلك القوى . وتأخذ القوى التي تشير إلى نفس الناحية إشارة معينة (موجب) والقوى الأخرى التي تشير إلى الناحية الأخرى إشارة مخالفة (سالب) .

مثال (٤-١) :

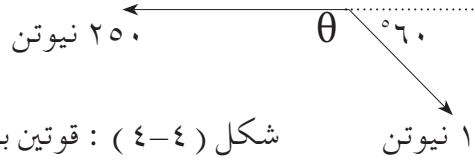
أحسب مقدار محصلة القوتين فى الشكل (٤-٣) التالي :



الحل: شكل (٣-٤) : قوتين بينهما زاوية 60° المحصلة يمكن نحصل عليها من العلاقة:

$$C^2 = C_1^2 + C_2^2 + 2 C_1 C_2 \cos \theta$$

حيث θ هي الزاوية بين رأسي أو ذيلي القوتين. وعليه نعيد رسم القوتين لتظهر الزاوية θ المطلوبة.



شكل (٤-٤) : قوتين بينهما زاوية θ

من الشكل (٤-٤) نلاحظ إن $\theta = 120^\circ$

$$C^2 = 250^2 + 150^2 + 2 \times 250 \times 150 \times \cos 120^\circ$$

$$C^2 = 62500 + 22500 + 75000 \times (-0.5) = 65575$$

$$\therefore C = 256,08 \text{ نيوتن}$$

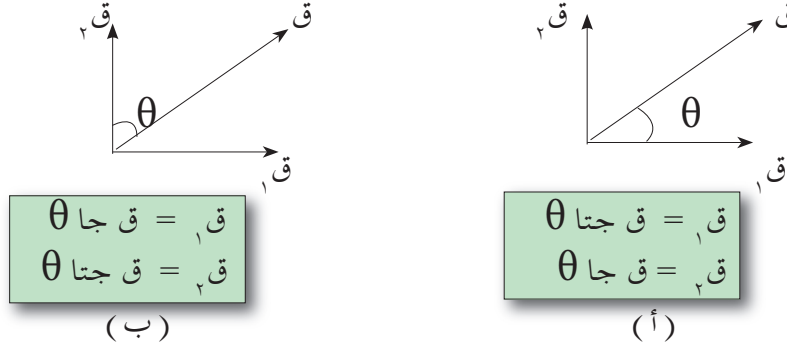
(٤-١-٥) تحليل القوى: Resolution of forces

هي عملية استبدال القوة الواحدة بأكثر من قوة، هذه القوى الجديدة تسمى مركبات القوة الأصلية. وغالباً يتم تحليل القوة الواحدة إلى قوتين متعامدتين وأحياناً غير متعامدتين.

(٤-١-٦) تحليل القوى الي مركبتين متعامدتين:

يمكن تحليل القوة "ق" إلى مركبتين على محورين السيني (الأفقي) والصادي (الرأسي) على النحو التالي:

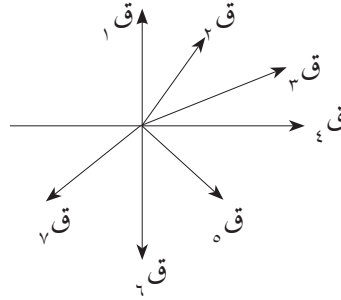
القوة "ق" تم تحليلها الى مركبتين متعامدتين C_1 ، C_2 كما بالشكل (٤-٥) (أ) و (ب). لاحظ استخدام ال (جتا θ) مع المركبة المجاورة للزاوية θ المستخدمة في عملية التحليل، وال (جا θ) مع المركبة البعيدة عن الزاوية θ .



شكل (٤-٥) : تحليل قوة الى مركبتين .

(٤-١-٧) محصلة عدة قوى متلاقية عند نقطة :

افرض عدد من القوى المتلاقية كما موضح بالشكل (٤-٦) ادناه .



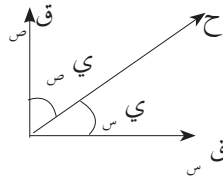
شكل (٤-٦) : عدة قوى متلاقية عند نقطة .

لايجاد محصلة مجموعة القوى هذه نتبع الخطوات التالية :

– نحلل جميع القوى المائلة كل الى مركبتين، افقية ورأسية (القوى الرأسية والافقية لا تحتاج الى تحليل) .

– نجمع جبرياً جميع القوى والمركبات الافقية للحصول على محصلة افقية واحدة (ق_س) .

– نجمع جبرياً جميع القوى والمركبات الرأسية للحصول على محصلة رأسية واحدة (ق_ص) .



شكل (٤-٧) : المحصلة النهائية لمجموعة القوى المتلاقية .

ولحساب المحصلة النهائية نستخدم العلاقة ادناه:

$$C^2 = C_s^2 + C_v^2$$

وزوايا ميل المحصلة من المحورين الراسي و الافقي يمكن الحصول عليها من العلاقات التالية: (انظر الشكل (٧-٤))

$$\begin{aligned} \tan \theta_s &= \frac{C_v}{C_s} \\ \tan \theta_v &= \frac{C_s}{C_v} \end{aligned}$$

حيث:

θ_s = زاوية ميل المحصلة من المركبة الأفقية C_s .

θ_v = زاوية ميل المحصلة من المركبة الراسية C_v .

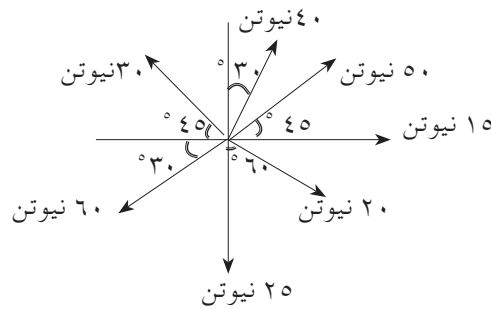
ملحوظة:

في المسائل المتعلقة بتحليل القوى يمكن أخذ القيم التقريبية التالية للنسب المثلثية للزوايا المحددة:

الزاوية	جا	جتا
°٣٠	٠,٥	٠,٩
°٤٥	٠,٧	٠,٧
°٦٠	٠,٩	٠,٥

مثال (٢-٤):

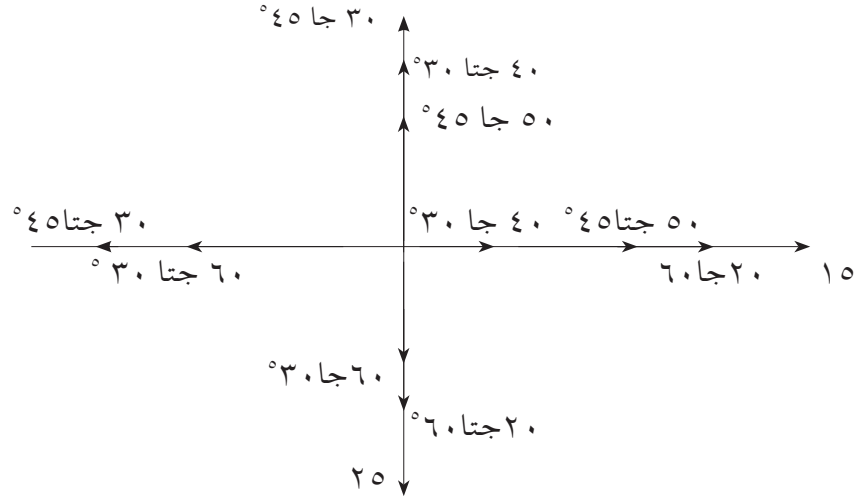
احسب محصلة القوى المتلاقية الموضحة بالشكل (٨-٤) ادناه:



الشكل (٨-٤) : مجموعة قوى متلاقية عند نقطة .

الحل:

حلل جميع القوى المائلة إلى مركباتها الرأسية والأفقية لتحصل على مجموعة من القوى في اتجاهين فقط كما موضح بالشكل (٩-٤) أدناه.



الشكل (٩-٤): تحليل جميع القوى إلى مركبات رأسية و أفقية .

نجمع القوى الأفقية للحصول على (ق_س):

$$ق_{س} = 15 + 20 \cos 60^\circ + 50 \cos 40^\circ + 40 \cos 30^\circ - 30 \cos 45^\circ - 60 \cos 30^\circ - 30 \cos 45^\circ$$

$$ق_{س} = 15 + 10 + 38.6 + 34.6 - 21.2 - 51.9 - 21.2 = 13 \text{ نيوتن}$$

$$ق_{س} = 15 + 18 + 35 - 20 - 54 - 21 = 13 \text{ نيوتن}$$

نجمع القوى الرأسية للحصول على (ق_ص):

$$ق_{ص} = 30 \sin 45^\circ + 40 \sin 30^\circ + 50 \sin 40^\circ - 60 \sin 30^\circ - 30 \sin 45^\circ - 20 \sin 60^\circ$$

$$ق_{ص} = 21.2 + 20 + 32.1 - 30 - 21.2 - 17.3 = 27 \text{ نيوتن}$$

$$ق_{ص} = 21 + 36 - 35 - 10 - 30 - 25 = 27 \text{ نيوتن}$$

نحسب المحصلة "ح":

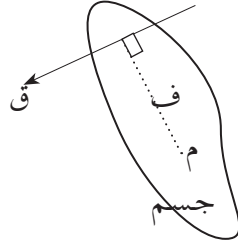
$$ح^2 = ق_{س}^2 + ق_{ص}^2$$

$$ح^2 = 13^2 + 27^2 = 169 + 729 = 898$$

$$ح = 30 \text{ نيوتن}$$

(٤-١-٨) العزوم:

العزم هو قابلية القوة على إحداث انحناء أو دوران أو (لَيّ) للجسم حول محور معين. وينقسم العزم إلى نوعين: عزم انحناء Bending Moment وعزم دوران (التواء) Torque.



شكل (٤-١٠): العزم حول محور «م».

مقدار العزم يساوي حاصل ضرب القوة المسببة له في المسافة العمودية بين محور الدوران (المحور الذي يُؤخذ العزم حوله) وخط عمل القوة. (انظر شكل (٤-١٠)) وحدة قياس العزم هي (نيوتن.متر).

$$(عز) = ق \times ف \dots (٤-٦)$$

حيث:

عز = العزم (نيوتن-متر).

ق = القوة المؤثرة على الجسم (نيوتن).

ف = ذراع العزم (المسافة العمودية من المحور إلى خط عمل القوة) (متر).

م = محور الدوران.

قواعد عامة للعزوم:

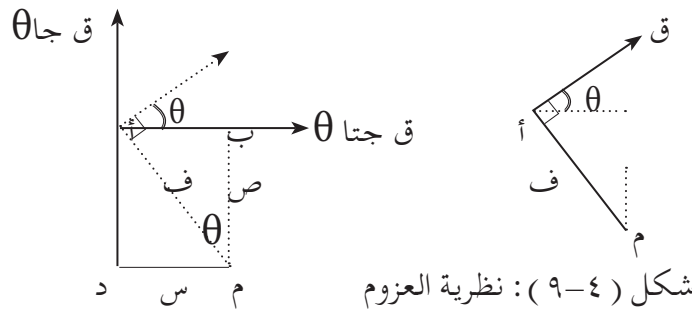
- ١ - عزم القوة حول أي نقطة تقع على خط عمل القوة يساوي صفر.
- ٢ - المجموع الجبري لعزوم عدة قوى حول أي نقطة يساوي عزم محصلتها حول نفس النقطة.
- ٣ - المجموع الجبري لعزوم عدة قوى حول أي نقطة تقع على خط عمل محصلتها يساوي صفر.

يحدد اتجاه العزم مع أو عكس اتجاه عقارب الساعة حسب موقع محور الدوران وناحية

اتجاه القوة المؤثرة. العزم مع عقرب الساعة يأخذ إشارة والعزم عكس عقارب الساعة يأخذ الإشارة المخالفة.

نظرية العزوم:

عزم القوة حول أي نقطة يساوي المجموع الجبري لعزوم مركبات هذه القوى حول نفس النقطة .



شكل (٩-٤) : نظرية العزوم

برهان النظرية:

في الشكل (١١-٤) (أ) :

عزم القوة "ق" حول النقطة "م" = ق . ف (١)

في الشكل (١١-٤) (ب) :

استبدلت القوة "ق" بمركباتها (ق . جتا θ) و (ق . جا θ) .

عزم المركبتين حول نفس النقطة "م" = (ق . جتا θ) × (ب م) + (ق . جا θ) × (د م)

$$= (ق \times \frac{ص}{ق}) \times (ب م) + (ق \times \frac{س}{ق}) \times (د م)$$

$$= (ص + س) \times \frac{ق}{ق} = \dots \dots \dots$$

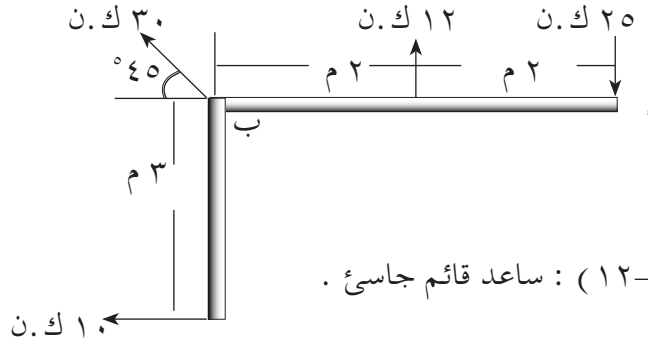
$$= (ف) \times \frac{ق}{ق} = \dots \dots \dots$$

عزم المركبتين حول النقطة "م" = ق . ف (٢)

عليه من المعادلتين (١) و (٢) نجد ان عزم القوة "ق" حول النقطة "م" يساوي عزم مركباتها حول نفس النقطة "م" .

مثال (٣-٤) :

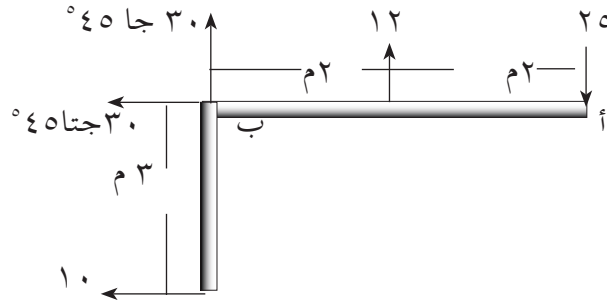
احسب عزوم القوى الموضحة حول كل من النقطتين (أ) و (ب) الموضحة على الشكل (١٢-٤) .



شكل (١٢-٤) : ساعد قائم جاسئ .

الحل :

حلل القوة ٣٠ ك. نيوتن المائلة إلى مركبتين أفقي ورأسيه كما بالشكل (١٣-٤) .



شكل (١٣-٤) : تحليل القوة المائلة الى مركبتين .

(خذ العزوم مع عقارب الساعة موجبة) .

١- العزم حول النقطة (أ) :

$$(عز)_A = 30 \times 3 \times \cos 45^\circ + 12 \times 2 \times 2 + 25 \times 4 = 100 + 48 + 100 = 248 \text{ ك.ن.م (مع عقارب الساعة)}$$

$$(عز)_B = 30 \times 3 \times \sin 45^\circ + 12 \times 2 \times 1 + 25 \times 0 = 63.6 + 24 = 87.6 \text{ ك.ن.م (مع عقارب الساعة)}$$

$$(عز)_C = 30 \times 3 \times \sin 45^\circ + 12 \times 2 \times 0 + 25 \times 0 = 63.6 \text{ ك.ن.م (مع عقارب الساعة)}$$

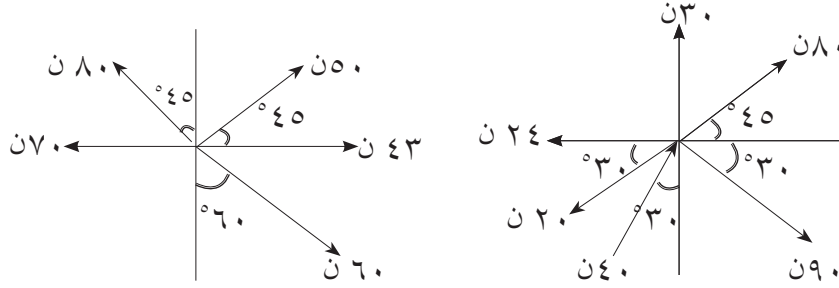
٢- العزم حول النقطة (ب) :

$$(عز)_B = 30 \times 3 \times \cos 45^\circ + 12 \times 2 \times 2 + 25 \times 4 = 100 + 48 + 100 = 248 \text{ ك.ن.م (مع عقارب الساعة)}$$

$$(عز)_A = 30 \times 3 \times \sin 45^\circ + 12 \times 2 \times 1 + 25 \times 0 = 63.6 + 24 = 87.6 \text{ ك.ن.م (مع عقارب الساعة)}$$

تمارين (١-٤)

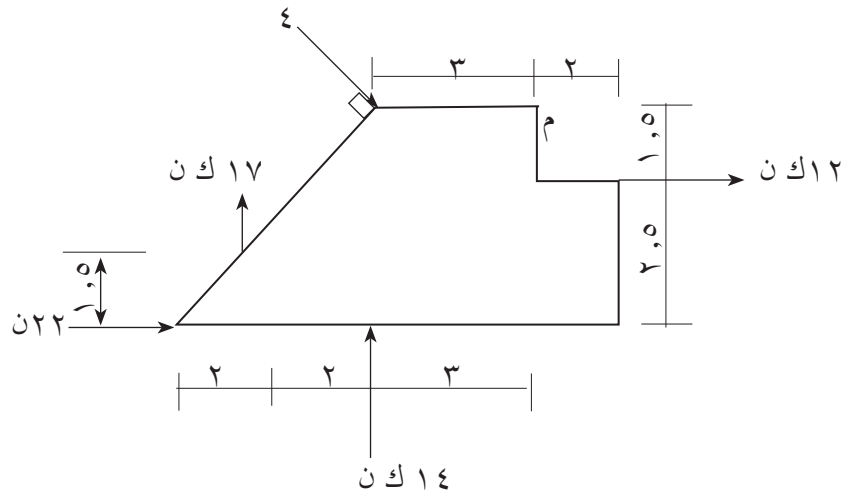
(١) أحسب قيم واتجاهات ونواحي اتجاه محصلة القوى المتلاقية لكل مجموعة من المجموعات الآتية:



(٢) أ - احسب محصلة القوى الموضحة بالشكل ادناه.

ب - احسب محصلة عزوم القوى حول النقطة م.

ج - احسب بعد خط عمل المحصلة من النقطة م.



(٢-٤) أساسيات هندسة الإنشاءات

(١-٢-٤) الاتزان السكوني (الاستاتيكي) : Static Equilibrium

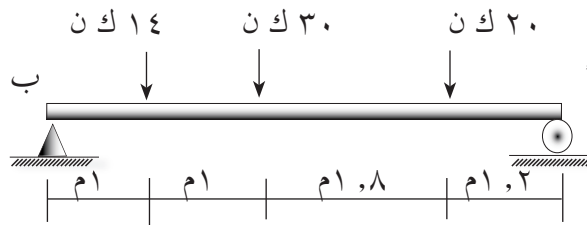
الجسم المتزن استاتيكياً هو الجسم الساكن . وفيه تكون محصلة القوى والعزوم المؤثرة عليه تساوي صفر .

وهناك ثلاثة شروط (معادلات) لتحقيق الاتزان لأي جسم :

- ١- المجموع الجبري للقوى والمركبات في الإتجاه الأفقي = صفر
مجم (ق) $\Sigma F_x = 0$
- ٢- المجموع الجبري للقوى والمركبات في إتجاه رأسي = صفر
مجم (ق) $\Sigma F_y = 0$
- ٣- المجموع الجبري لعزوم القوى حول أي محور = صفر
مجم (عز) $\Sigma M = 0$

مثال (٤-٤) :

احسب قيم ردود الافعال عند الدعامات للعارضة الموضحة بالشكل (١٤-٤) ادناه .

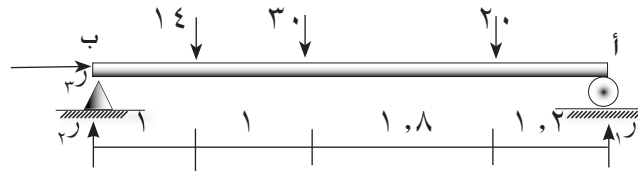


شكل (١٤-٤) : عارضة محملة بثلاث قوى .

الحل :

نعيد رسم العارضة ونوضح عليها ردود الفعل الصحيحة حسب نوع الدعامة (المرتكز)

شكل (١٥-٤) .



شكل (١٥-٤) : عارضة مبين عليها ردود الأفعال .

العارضة متزنة وعليه :

مج (عز) $\Sigma =$ صفر (خذ العزوم مع عقارب الساعة موجبة)

$$0 = 5 \times R_1 - 1 \times 14 + 2 \times 30 + 3,8 \times 20$$

$$5 \times R_1 = 14 + 60 + 76$$

$$5 \times R_1 = 150$$

$$R_1 = \underline{\underline{30 \text{ ك.ن.}}}$$

مج (ق) $\Sigma =$ صفر (خذ القوى الراسية إلى أعلى موجبة)

$$0 = 14 - 30 - 20 - R_1 + R_2$$

$$0 = 14 - 30 - 20 - 30 + R_2$$

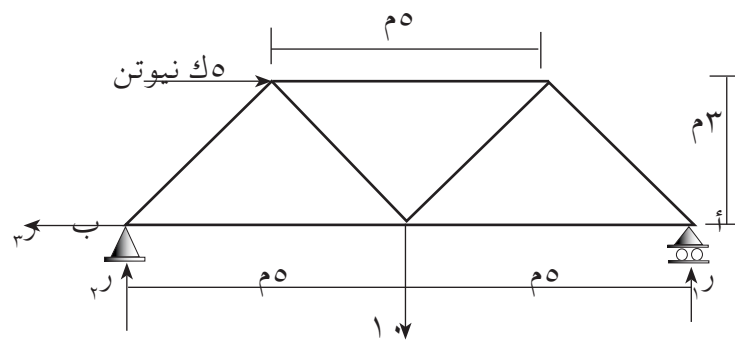
$$R_2 = \underline{\underline{34 \text{ ك.ن.}}}$$

مج (ق) $\Sigma =$ صفر

$$R_3 = \underline{\underline{\text{صفر}}}$$

مثال (٤-٥) :

اوجد قيم ردود الفعل في الدعامتين أ، ب للجملون في الشكل (٤-١٦) التالي :



شكل (٤-١٦) : منشأة جملونية .

الحل:

افرض ردود الفعل في الدعامتين هي R_1 ، R_2 ، R_3 كما مبين على الشكل (٤-١٦).
الجميلون متزن وعليه:

مجم (ق) $R_1 =$ صفر

$R_2 - 5 = 0$ صفر $\therefore R_2 = 5$ نيوتن

مجم (عز) $R_3 =$ صفر

$10 \times R_1 - 3 \times 5 + 5 \times 10 =$ صفر

$10R_1 = 15 + 50$

$R_1 = 6,5$ ك. نيوتن

مجم (ق) $R_3 =$ صفر

$10 - R_2 + R_1 =$ صفر

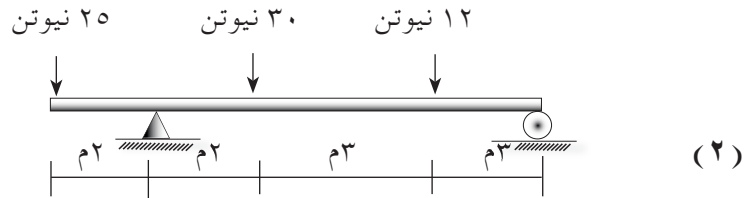
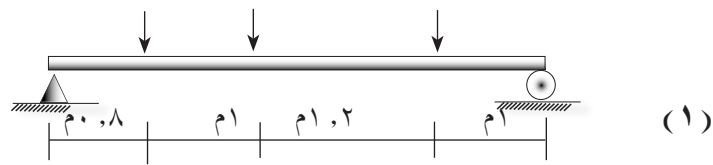
$10 = R_2 + 5$

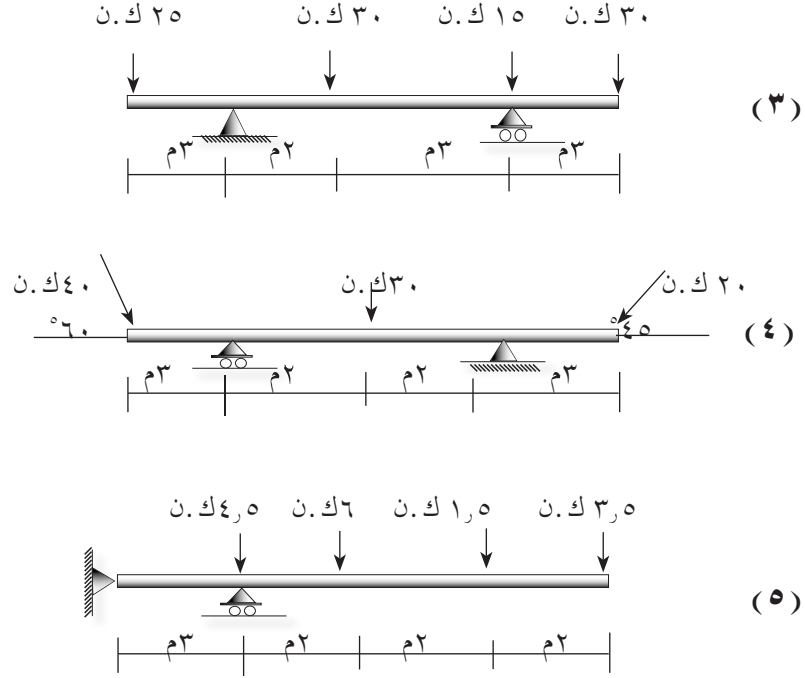
$R_2 = 3,5$ ك. نيوتن

تمارين (٤-٢)

اوجد قيم ردود الفعل للمعارضات الموضحة في الإشكال أدناه:

١٠ ك. ن. ١٠ ك. ن. ١٠ ك. ن.



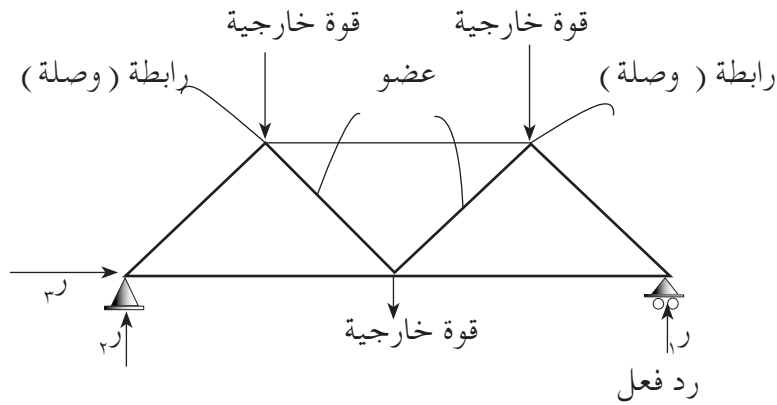


(٤-٢-٢) المحددة السكونية (المحددة الإستاتيكية) : **Statically Determinant**
 المنشأة التي يمكن تحليلها (حساب القوى الداخلية في جميع أعضائها بالإضافة لردود الأفعال عند الدعامات) بواسطة معادلات الاتزان الثلاثة تسمى منشأة محددة سكونياً (أو محددة أستاتيكية). أما المنشأة التي لا يمكن تحليلها بمعادلات الاتزان الثلاثة فقط فيطلق عليها منشأة غير محددة أو ذات سكون زائد أو فائض (وجود عضو أو رد فعل زائد).

(٤-٢-٣) **Frameworks or Trusses:** الجملونات
 الجملون هو منشأ هندسي يستخدم عموماً لحمل الأحمال على طول اتساعه. ومن أنواعه:

الجملون المستوي : يقع كل من منشأ الجملون والأحمال المسلطة في نفس المستوى.
 الجملون الفراغي : يقع المنشأ أو الأحمال المسلطة أو كليهما في مستويات مختلفة.
 يتكون الجملون من أعضاء مستقيمة طويلة ذات مساحة مقطع صغيرة، وتتصل

الأعضاء ببعضها البعض عند أطرافها فقط في الوصلات (الروابط، العقد أو المفاصل) حيث تسلط عليها الأحمال. ويتم التوصيل بين الأعضاء بالربط بمسامير أو مفصلات أو بالبرشمة على لوح. ولا تحدث حركة نسبية لأعضاء الجملون المستوي بالنسبة لبعضها مما يجعلها مستقرة ومتماسكة (جاسئة)، وإذا حدثت حركة نسبية بين أعضاء المنشأة تسمى المنشأة الية.



شكل (١٧-٤)

الشرط الضروري لكي يكون الجملون المستوي متزنًا (مستقرًا أو جاسئًا) هو:

$$\text{ض} \leq ٢ \text{ ط} - ٣ \dots (٧-٤)$$

حيث:

ض = عدد أعضاء الجملون

ط = عدد الوصلات (الروابط، المفاصل أو العقد)

الرقم ٣ يمثل عدد ردود الأفعال اللازم توافرها للإتزان.

الجملون المتزن هو الذي يحوي على العدد الكافي من الأعضاء أو القضبان اللازمة لثباته ولاتزانته تحت تأثير مجموعة القوى المؤثرة على المفاصل. كذلك يجب أن يستند الجملون المتزن على عدد من الدعامات لا يقل عدد ردود الفعل عندها مجتمعة عن الثلاث. الجملون المستوي عبارة عن منظومة لها عدد (ط) رابط، والقوى المؤثرة على الروابط هي القوى الداخلية للأعضاء والأحمال الخارجية المسلطة وردود الفعل. وبما أن الجملون يجب أن يكون متزن فإن كل رابط تكون حالة اتزان، وعليه يمكن كتابة معادلات الاتزان التالية لكل رابط:

$$\begin{aligned} \text{مج (ق) } _\text{ر} &= \text{صفر} \\ \text{مج (ق) } _\text{ص} &= \text{صفر} \end{aligned}$$

(٨-٤).....

وعليه يمكن كتابة عدد (٢ط) معادلة لكل الجملون. القوى داخل أعضاء الجملون ومركبات ردود الفعل عند الدعامات تكون عادة مجهولة. وليتسنى تحليل الجملون المستو سكونياً يجب أن يكون محدداً استاتيكيّاً وذلك بتحقيق المعادلة (٩-٤) التالية:

$$٢ط = \text{ض} + \text{ر} \quad \text{..... (٩-٤)}$$

حيث:

ط = عدد الوصلات (الروابط، المفاصل أو العقد)
 ض = عدد أعضاء الجملون
 ر = عدد مركبات رد الفعل عند الدعامات .

ومن المعادلة (٩-٤) يمكن استنباط الاحتمالات التالية لعلاقة كل من (ط)، (ض) و (ر):

$$(١) \quad ٢ط > \text{ض} + \text{ر} :$$

هذا يعني وجود مجاهيل أكثر من عدد معادلات الاتزان المتوفرة؛ الشيء الذي يجعل المنشأة غير قابلة للحل (غير محددة استاتيكيّاً). ودرجة عدم التحديد "ن" للمنشأة يساوي:

$$ن = \text{ض} + \text{ر} - ٢ط$$

في هذه الحالة إما أن يكون الجملون فائض داخليّاً (وجود عضو زائد) أو خارجياً (وجود رد فعل زائد) أو كليهما. وتحليل مثل هذه المنشآت يحتاج إلى معادلات أخرى مثل الانسجام للإزاحة وهي خارج نطاق هذا المنهج. ولكن رغم ذلك يكون الجملون متزنًا (مستقرًا).

$$(٢) \quad ٢ط = \text{ض} + \text{ر} :$$

درجة عدم التحديد (عدم التقرير) أو (عدم القبول) ن = صفر، هذا يعني ان

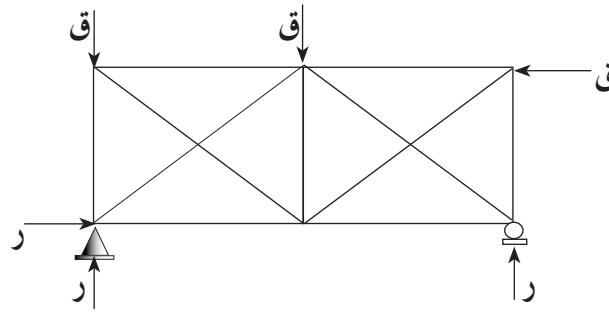
عدد المعادلات المتوفرة يساوي عدد المجاهيل. وعليه تكون المنشأة محددة سكونياً ومتزنة، ويمكن حلها استاتيكيًا وإيجاد قيم القوى الداخلية في الأعضاء المختلفة وكذلك إيجاد قيم ردود الأفعال.

(٣) ط ٢ < ض + ر:

وهذا يعني عدم وجود مجاهيل كافية مما يجعل المنشأة غير متزنة (غير مستقرة) باستمرار ويحولها إلى آلية (Mechanism).

مثال (٤-٦):

أوجد درجة عدم التحديد للمنشأة الموضحة في الشكل (٤-١٨)، وحدد ما إذا كانت المنشأة متزنة أم لا؟ ما المقترح لجعل المنشأة محددة سكونياً ومتزنة.



الشكل (٤-١٨) : منشأة .

الحل:

عدد الروابط "ط" = ٦، عدد الأعضاء "ض" = ١١،

عدد ردود الفعل "ر" = ٣.

درجة التحديد (التقرير) السكوني "ن" = ض + ر - ط

$$: \therefore \text{ن} = ١١ + ٣ - ٦ \times ٢ = ٢$$

المنشأة غير محددة استاتيكيًا ودرجة عدم التحديد ٢. وهذا يعني أن الجملون فائض بدرجتين) تحتاج لزالة مجهولين لتحديد ها).

قانون الاتزان: ض < ط - ر

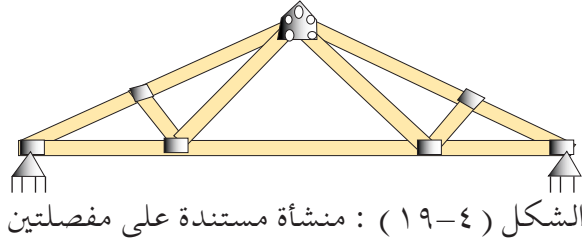
$$١١ \leq ٦ \times ٢ - ٣$$

$$٩ < ١١$$

. : المنشأة متزنة بوجود عضوين زائدين .
بالمراقبة والنظر للمنشأة يتضح أنها تحوي عضوين وترين زائدين مما يعني أن إزالة هذين العضوين يجعلها محددة سكونياً، وهذا لا يؤثر على اتزان الجملون .

مثال (٧-٤) :

أوجد درجة عدم التحديد للمنشأة الموضحة في الشكل (١٩-٤) أدناه، وحدد ما إذا كانت المنشأة متزنة ام لا ؟ . ما هو المقترح لجعل المنشأة محددة سكونياً ومتزنة إذا لم تكن كذلك .



الحل :

عدد الروابط " ط " = ٧ ، عدد الأعضاء " ض " = ١١ ،

عدد ردود الفعل " ر " = ٤ .

درجة التحديد السكوني " ن " = ض + ر - ط

$$: \therefore ١١ = ٧ \times ٢ - ٤ + ١١ = ن$$

المنشأة غير محددة استاتيكيًا ودرجة عدم التحديد ١ . وهذا يعني أن الجملون فائض بدرجة واحدة (تحتاج لازالة مجهول واحد لتحديد ها) .

قانون الاتزان : ض $\leq$ ط - ر

$$١١ \leq ٣ - ٧ \times ٢$$

$$١١ = ١١$$

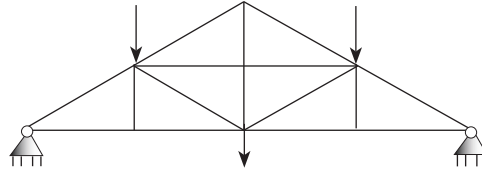
. : المنشأة متزنة بدون وجود عضو زائد .

. : من الملاحظة ستجد ان هناك رد فعل واحد زائد يجب إزالته . أي يجب استبدال احد الدعامتين المفصليتين بدعامة دحراج لتكون المنشأة محددة استاتيكيًا .

مثال (٨-٤) :

أوجد درجة عدم التقرير للمنشأة الموضحة في الشكل (٢٠-٤) أدناه وحدد ما إذا

كانت المنشأة محددة ومتزنة ام لا ؟ ما هو المقترح لجعل المنشأة محددة ومتزنة اذا لم تكن كذلك .



الشكل (٢٠-٤) : منشأة جملونية .

الحل :

$$ط = ٨ ، ض = ١٤ ،$$

عدد ردود الفعل "ر" = ٤

درجة التحديد السكوني "ن" = ض + ر - ٢

$$ن = ١٤ + ٢ - ٨ = ٨$$

المنشأة غير محددة استاتيكيةً بدرجتين . وهذا يعني أن الجملون فائض ويحتاج لإزالة مجهولين لتحديده .

قانون الاتزان : ض ≤ ط - ٣

$$١٤ ≤ ٨ - ٣$$

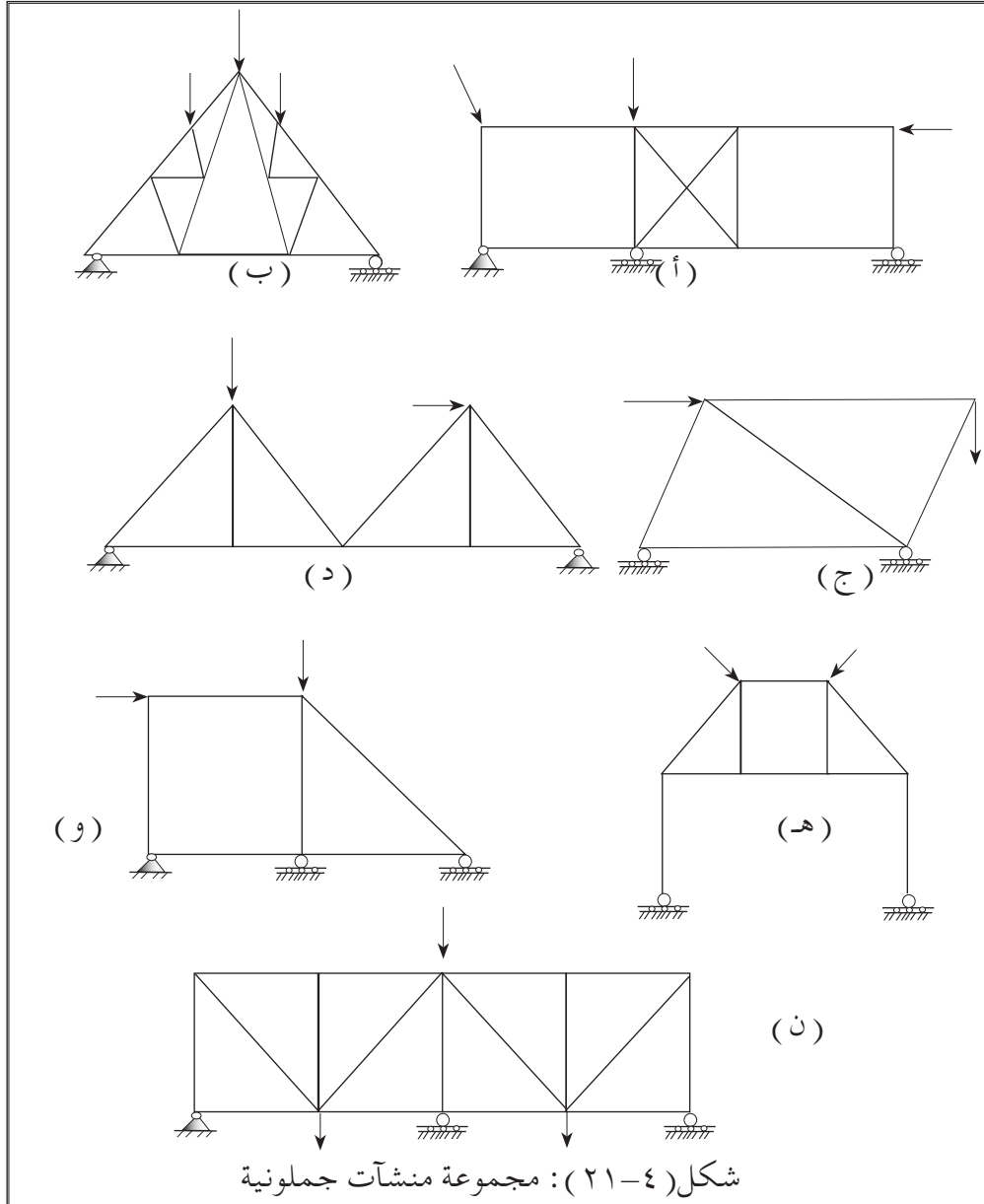
$$١٣ < ١٤$$

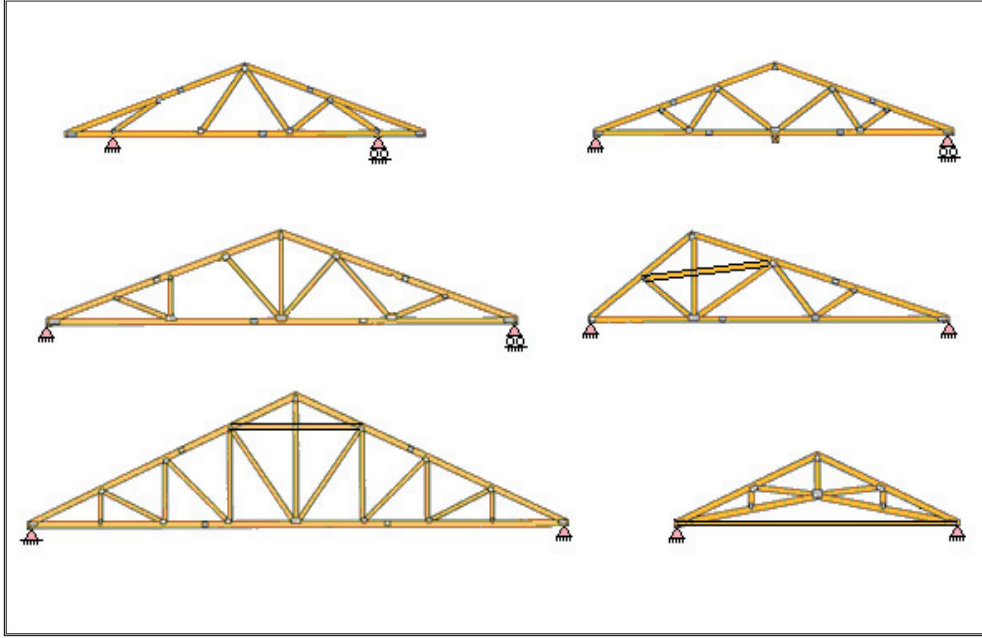
المنشأة متزنة بوجود عضو واحد زائد . وعليه فإن المجهول الآخر الفائض هو رد فعل .

بالملاحظة ستجد ان هناك عضو أفقي (بين روابط تأثير القوتين الموضحتين) فائض . يجب ازالته ، كما يجب استبدال احد الدعامتين المفصليتين بدعامة دحراج لتكون المنشأة محددة ستاتيكية .

تمارين (٣-٤)

أوجد درجة عدم التحديد للمنشآت في الشكل (٢١-٤) والشكل (٢٢-٤) التالية ،
وحدد فيما إذا كانت المنشأة متزنة أم لا ؟ واكتب اقتراحاتك لتحسين كل منشأة لجعلها
محددة ومتزنة .





شكل (٣-٢٢) : مجموعة جملونات

(٤-٢-٤) تحليل الجملون :

عند تحليل الجملون تؤخذ الافتراضات التالية في الحسبان :

- ١) أعضاء الجملون متصلة بوصلات مسمارية ملساء في أطرافها .
- ٢) تقع الأحمال على مستوى الجملون وتؤثر فقط على الوصلات .
- ٣) المحاور الطولية للأعضاء المختلفة الواقعة في إطار الوصلة تتقاطع في نقطة مشتركة .

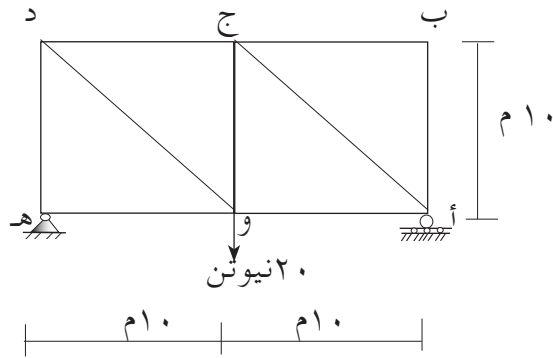
يمكن إيجاد القوى في أعضاء جملون مُحَمَّل بتحليل القوى المختلفة المؤثرة في كل وصلة على حدة . ويُتَّبَع لذلك الخطوات التالية :

- أ - تحديد ما إذا كان الجملون محدد ومتزن .
- ب - رسم الشكل الحر للجملون (سحب الدعامات من الشكل و استبدالها برموز لردود الفعل R_1, R_2, R_3) .
- ج - حساب قيم ردود الفعل الخارجية في الدعامات باستخدام معادلات الاتزان الثلاثة .

- د- مج (عز)م = صفر ، مج (ق)ر = صفر ، مج (ق)ص = صفر .
 يمكن افتراض القوى المجهولة قوى شد (السهم يكون خارج من المفصل أو العقدة) وإذا وجد من التحليل أن قيمتها سالبة يعني ذلك أن العضو تحت قوة ضغط .
- هـ- دراسة المنشأة لاتخاذ قرار للمسار الواجب إتباعه في الحل حتى يكون عدد القوى المجهولة لا يزيد عن الاثنين في كل عقدة يراد تحليلها .
- و- تستخدم المعادلتين مج (ق)ر = صفر و مج (ق)ص = صفر عند تحليل كل عقدة .
- ز- يتم تسجيل النتائج لكل عقدة في رسم الجملون .
- ح- يتم التأكد من التحليل للمفصل الأخير .

مثال (٩-٤) :

أوجد القوى المؤثرة في أعضاء الجملون المبين في الشكل (٢٣-٤) التالي :



شكل (٢٣-٤)

الحل :

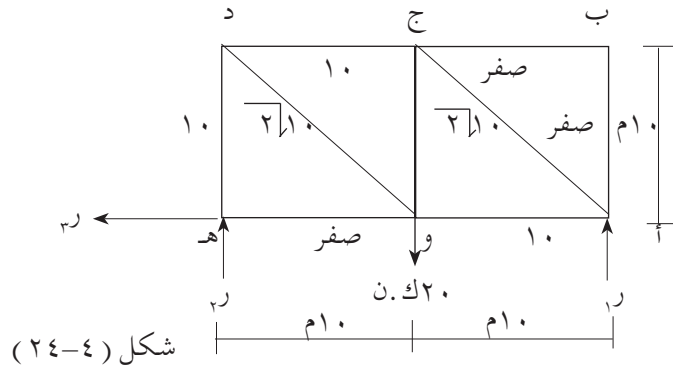
نرسم الشكل الحر للجملون كما موضح أدناه بالشكل (٢٤-٤) :

$$ط = ٦ ، ض = ٩ ، ر = ٣$$

١) درجة المنشأة غير المحددة :

$$ن = ض - ر + ط = ٩ - ٣ + ٦ \times ٢ = صفر$$

عليه فالمنشأة محددة استاتيكيًا ومتزنة .



٣) ردود الفعل الخارجية في الدعامات .
بأخذ العزوم حول النقطة هـ:

$$\text{مجم (عز) } = \text{صفر}$$

$$\text{صفر} = 10 \times 20 - 20 \times 10$$

$$\therefore 10 = 10 \text{ ك. نيوتن}$$

$$\text{مجم (ق) } = \text{صفر}$$

$$\text{صفر} = 20 - 10 + 10$$

$$\text{صفر} = 20 - 10 + 10$$

$$\therefore 10 = 10 \text{ ك. نيوتن}$$

$$\text{مجم (ق) } = \text{صفر}$$

$$\therefore 10 = 10 \text{ ك. نيوتن}$$

الرابط (المفصل) (هـ):

$$\text{مجم (ق) } = \text{صفر}$$

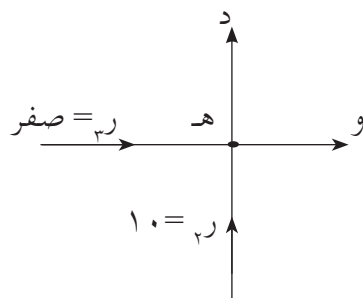
$$10 + \text{ق} = \text{صفر}$$

$$\therefore \text{ق} = -10 \text{ ك. نيوتن (ضغط)}$$

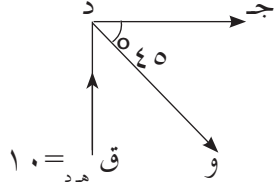
$$\text{مجم (ق) } = \text{صفر}$$

$$\text{ق} + 0 = \text{صفر}$$

$$\therefore \text{ق} = 0$$

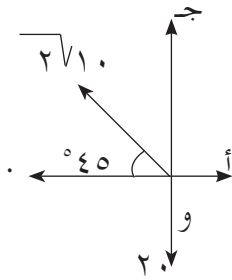


الرابطه (د):



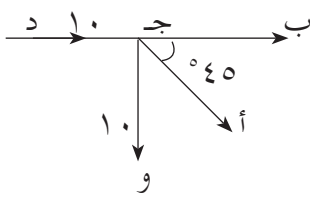
$$\begin{aligned} \text{مج (ق) ص} &= \text{صفر} \\ 10 - \text{ق د} \div \text{جاه} 45^\circ &= \text{صفر} \\ \text{ق د} &= 10 \div \text{جاه} 45^\circ = 2\sqrt{10} \text{ ك ن (شد)} \\ \text{مج (ق) س} &= \text{صفر} \\ \text{ق د} + \text{ق د} \div \text{جاه} 45^\circ &= \text{صفر} \\ \text{ق د} &= (2\sqrt{10} \div 1) \times 2\sqrt{10} = 40 \text{ ك ن. (ضغط)} \end{aligned}$$

الرابطه (و):



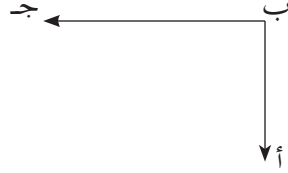
$$\begin{aligned} \text{مج (ق) س} &= \text{صفر} \\ \text{ق و} - 2\sqrt{10} \div \text{جاه} 45^\circ &= \text{صفر} \\ \text{ق و} &= (2\sqrt{10} \div 1) \times 2\sqrt{10} = 40 \text{ ك ن. (شد)} \\ \text{مج (ق) ص} &= \text{صفر} \\ \text{ق و} + 2\sqrt{10} \div \text{جاه} 45^\circ &= 20 - \text{صفر} \\ \text{ق و} &= (2\sqrt{10} \div 1) \times 2\sqrt{10} = 40 \text{ ك ن. (شد)} \end{aligned}$$

الرابطه (ج):



$$\begin{aligned} \text{مج (ق) ص} &= \text{صفر} \\ \text{ق ج} - 10 + 45^\circ &= \text{صفر} \\ \text{ق ج} &= 10 \div \text{جاه} 45^\circ = 2\sqrt{10} \text{ ك ن. (ضغط)} \\ \text{مج (ق) س} &= \text{صفر} \\ \text{ق ج} + \text{ق ج} \div \text{جاه} 45^\circ &= 10 + \text{صفر} \\ \text{ق ج} &= (2\sqrt{10} \div 1) \times 2\sqrt{10} = 40 \text{ ك ن. (ضغط)} \\ \text{ق ج} &= \text{صفر} \end{aligned}$$

الرابطة (ب) :



مج (ق)_ص = صفر

ق_ب = صفر

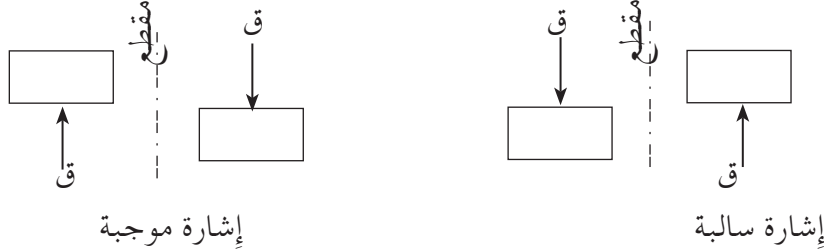
مج (ق)_س = صفر

ق_ب = صفر

(١-٢-٥) قوى القص : Shearing force

عند أي مقطع عارض يحمل قوى عرضية (Transverse forces) تُعرّف قوى القص على أنها: " المجموع الجبري للقوى المستعرضة على أحد جانبي المقطع ".
على أي مقطع في عارض يحمل قوى عرضية تنتج قوة محصلة مساوية ومغايرة لاتجاه القوة اللازمة لانتزان أي من جانبي العارض ، ومحصلة تأثيرها قص المقطع . وقد اصطلح على إشارة قوى القص على أنها:

- § موجبة للقوى التي تشير إلى أعلى في الجزء الأيسر من المقطع ، أو للقوى التي تشير إلى أسفل في الجزء الأيمن من المقطع .
- § سالبة للقوى التي تشير إلى أسفل في الجزء الأيسر من المقطع ، أو للقوى التي تشير إلى أعلى في الجزء الأيمن من المقطع .



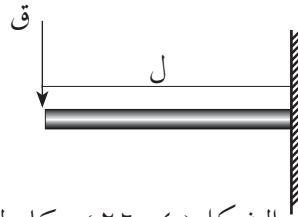
شكل (٤-٢٥) : اصطلاح إشارات قوى القص .

لحساب قوى القص لأي عارض نُقسّم العارض لعدد من الأجزاء كل جزء يكون محصوراً بين نقطتي تأثير قوتين متتاليتين . ثم نأخذ كل جزء بمفرده لحساب قوى القص في جميع مقاطعه (نقاطه) . في الجزء المعين نأخذ أو نتخيل عليه مقطع (نقطة) فتكون قوة القص عند هذا المقطع هي:
المجموع الجبري لجميع القوى المستعرضة الواقعة على يمين (أو يسار) هذا المقطع .

(ملحوظة: تأخذ القوى على جانب واحد فقط من المقطع مع مراعاة اصطلاح الإشارة).
القوى المستعرضة هي القوى المتعامدة مع المحور الطولي للعارض.

مثال (١٠-٤):

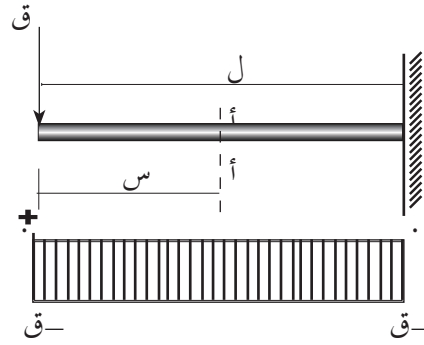
ارسم مخطط قوى القص للكابولي في الشكل (٢٦-٤) الذي تعمل عليه قوة Q وطوله L .



الشكل (٢٦-٤): كابولي.

الحل:

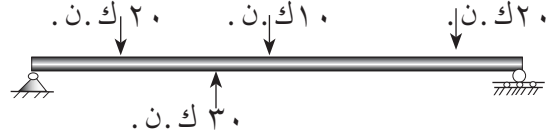
لأي مقطع (أ-أ) على بعد (س) من القوة "ق" كما موضح بالشكل (٢٧-٤) أدناه فإن قوة القص تساوي (ق - ق) بغض النظر عن المسافة (س) من نقطة عمل القوة مما يجعل مخطط قوى القص للكابولي عبارة عن مستطيل.



شكل (٢٧-٤): مخطط قوى القص

مثال (١١-٤):

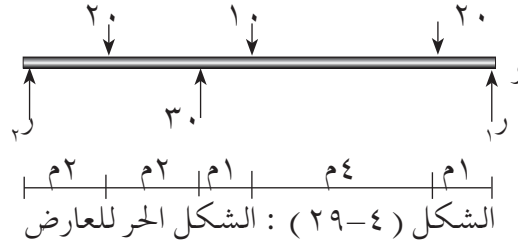
ارسم مخطط قوى القص للعارض ذي الارتكاز البسيط المبين في الشكل (٢٨-٤) أدناه:



الشكل (٢٨-٤): عارضة محملة بقوى مركزة.

الحل:

نرسم الشكل الحر للعارض ليُبين ردود الفعل في نقاط الارتكاز (الدعامات):



الشكل (٢٩-٤): الشكل الحر للعارض

١- اوجد ردود الفعل عند المرتكزات:

بأخذ العزوم حول "أ":

مجم (عز) = صفر

$$R_1 \times 10 + 10 \times 4 - 2 \times 20 - 30 \times 6 - 20 \times 9 = \text{صفر}$$

$$10R_1 + 40 - 40 - 180 - 180 = \text{صفر}$$

$$10R_1 = 360$$

$$R_1 = 36 \text{ ك.ن.}$$

مجم (ق) = صفر

$$R_1 + R_2 = 20 + 10 + 20 = 50$$

$$36 + R_2 = 50$$

$$R_2 = 14 \text{ ك.ن.}$$

٣- لحساب قوى القص نقسم العارضة إلى خمسة أجزاء. ولأي مقطع في أي جزء نأخذ القوى على يسار المقطع فقط في الاعتبار:

لأي مقطع في الجزء (أ - ب): قوة القص = $5 +$ ك.ن.

لأي مقطع في الجزء (ب - ج): قوة القص = $20 - 5 = 15 -$ ك.ن.

لأي مقطع في الجزء (ج - د): قوة القص = $30 + 20 - 5 = 45 +$ ك.ن.

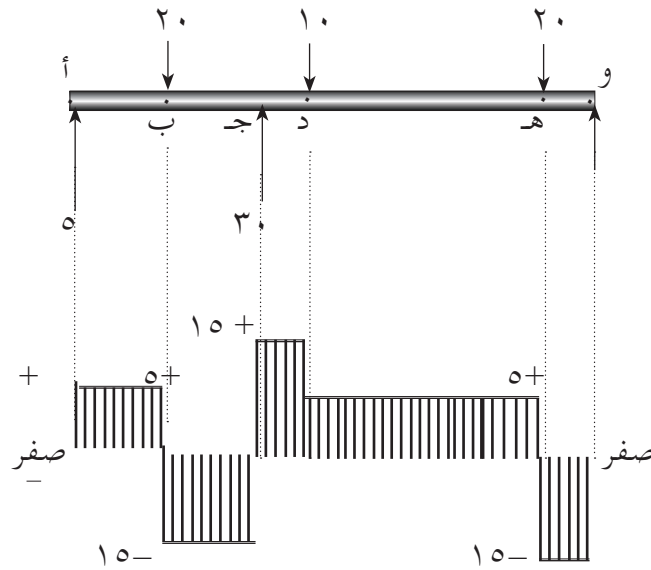
لأي مقطع في الجزء (د - هـ):

قوة القص = $10 - 30 + 20 - 5 = 5 +$ ك.ن.

لأي مقطع في الجزء (هـ - و):

قوة القص = $20 - 10 - 30 + 20 - 5 = 15 -$ ك.ن.

(٤) نستخدم هذه القيم لقوى القص عند جميع مقاطع (نقاط) العارضة لرسم مخطط قوى القص كما موضح بالشكل (٤-٣٠) أدناه.



شكل (٤-٣٠): مخطط قوى القص.

ملحوظة: يمكن الحصول على نفس القيم السابقة إذا تم أخذ القوى على يمين المقطع فقط في الاعتبار:

لأي مقطع في الجزء (أ - ب):

قوة القص = $15 - 20 + 10 + 30 - 20 = 5 +$ ك.ن.

لأي مقطع في الجزء (ب - ج) :

$$\text{قوة القص} = 30 + 10 + 20 - 15 = 65 \text{ ك.ن.}$$

لأي مقطع في الجزء (ج - د) :

$$\text{قوة القص} = 10 + 20 + 15 = 45 \text{ ك.ن.}$$

لأي مقطع في الجزء (د - هـ) :

$$\text{قوة القص} = 20 + 15 = 35 \text{ ك.ن.}$$

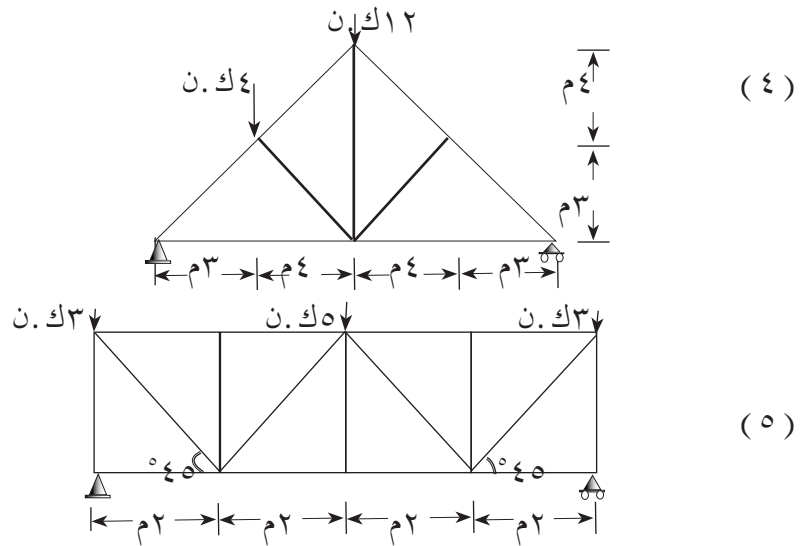
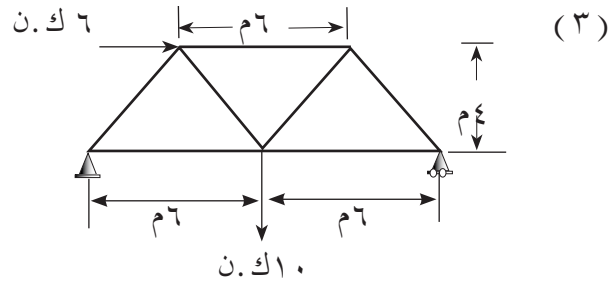
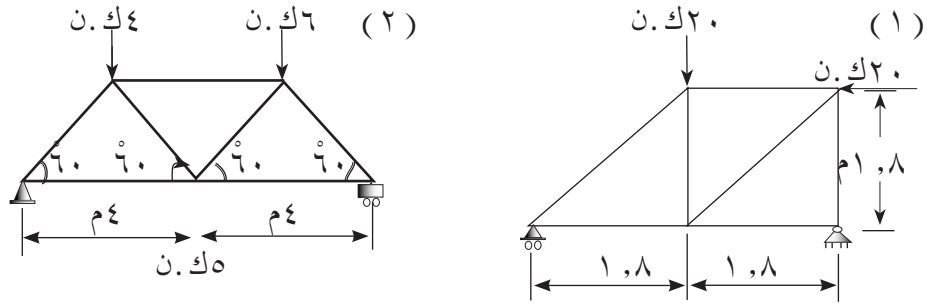
لأي مقطع في الجزء (هـ - و) :

$$\text{قوة القص} = 15 \text{ ك.ن.}$$

تمارين (٤-٤)

١- ارسم مخططات قوى القص للجميع العارضات البسيطة المبينة في تمرين (٢-٤) الاسبق:

٢- أوجد القوى في أعضاء الجملونات الموضحة بالشكل (٤-٣١) التالية:



شكل (٤-٣١) جملونات مختلفة

(٣-٤) أساسيات هندسة الموائع

(١-٣-٤) مقدمة:

تتعلق هندسة الموائع بدفق السوائل وتمدد الغازات وانسياب الطائرات وسفن الفضاء وتنمية إمداد الماء ونظم الري وتصميم السفن والبواخر وإنشاء السدود والقناطر وتصميم التوربينات ومضخات المياه .

المائع: Fluid

يُعرّف المائع بأنه المادة السائلة أو البخارية أو الغازية. ويتشكل المائع بشكل الإناء الذي يحويه .

الضغط : P Pressure

الضغط هو القوة لوحدة المساحة التي تؤثر بها الموائع على محيطها أو على بعض أجزائها. والضغط دائماً يكون عمودياً على السطوح المحيطة بالمائع. ويقاس الضغط بوحدة النيوتن/متر^٢ (الباسكال) أو بوحدة البار (Bar) .

كثافة المائع (ث) : Fluid Density

الكثافة هي كتلة وحدة الحجم من المائع. وتساوي الكتلة مقسومة على الحجم،

$$\theta = \frac{K}{H} \text{ (كجم/م}^3\text{)}$$

كثافة الماء العذب تساوي ١٠٠٠ كجم/م^٣، وكثافة الزئبق تساوي ١٣٦٠٠ كجم/م^٣

الوزن النوعي للمائع (و) : Specific Weight

هو وزن وحدة الحجم من المائع، ويساوي كثافة المائع $\times$ عجلة الجاذبية.
 $و = \theta \times د$ (نيوتن/م^٣)

الكثافة النسبية: Specific Density

الكثافة النسبية لأي سائل هي كثافة السائل مقسومة على كثافة الماء. مثلاً

الكثافة النسبية للزئبق تساوي ١٣,٦ .

ويمكن تقسيم هندسة الموائع الى قسمين رئيسيين:
أ- الديناميكا الحرارية. ب- الهيدروستاتيكا

أ- الديناميكا الحرارية:

وهو العلم الذي يتعلق بالتغيرات التي تحدث لدرجة حرارة الغاز وعلاقة ذلك بحجم وضغط الغاز.

(٢-٤-٤) قانون الغاز المثالي : Ideal Gas Law

أن حجم كتلة معينة من الغاز تتغير بتغير الضغط المؤثر ودرجة الحرارة. ويشير قانون روبرت بويل إلى أن: حجم كتلة معينة من الغاز يتناسب عكسياً مع ضغطه عند ثبات درجة الحرارة، $(ح \propto \frac{1}{ض})$ أو $(ح.ض = ثابت)$. كما أن قانون شارل ينص على أن: حجم كتلة معينة من الغاز يتناسب طردياً مع درجة الحرارة المطلقة عند ثبات الضغط $(ح \propto د)$. وفي حالة تغير كل من ضغط الغاز ودرجة حرارته فإن حجمه يتغير حسب علاقة معادلة الحالة أو قانون الغاز المثالي.

$$ح \propto \frac{د}{ض}$$

$$ح = \frac{د}{ض} \times \text{ثابت}$$

$$ح = \frac{د}{ض} \times (أ \times ك)$$

$$ض = \frac{ك}{ح} \times أ \times د \dots\dots\dots (١٠-٤)$$

وهو ما يعرف بقانون الغاز المثالي.

حيث:

ض = الضغط المطلق (باسكال، نيوتن/م^٢).

ك = كتلة الغاز (كجم).

ح = حجم الغاز (m³).
 أ = ثابت الغاز العام (جول / كجم . كلفن).
 د = درجة الحرارة المطلقة (كلفن) = درجة الحرارة المئوية + ٢٧٣
 وبما ان الكثافة (ث) = $\frac{ك}{ح}$ ، فيمكن كتابة قانون الغاز المثالي كما يلي :

$$ض = ث \times أ \times د \quad \dots\dots\dots (١١-٤)$$

ويمكن كتابة قانون الغاز المثالي على الصورة:

$$\frac{ح \times ض}{د} = ك \times أ$$

في حالة ثبوت الكتلة (ك) فان : $\frac{ح \times ض}{د} = ك \times أ =$ ثابت
 عندما تتغير درجة حرارة كتلة معينة من غاز من د_١ إلى د_٢ وضغطها من ض_١ إلى ض_٢ فان حجمها يتغير من ح_١ إلى ح_٢ وتصبح العلاقة كما يلي :

$$\frac{ح_١ \times ض_١}{د_١} = \frac{ح_٢ \times ض_٢}{د_٢}$$

وفي حالة ثبات الضغط (ض) و الكتلة (ك) معاً فان :

$$\frac{ك \times أ}{ض} = \frac{ح}{د} = \text{ثابت}$$

أي في حالة ثبات ضغط كتلة غاز معينة وتغير درجة حرارتها من د_١ إلى د_٢ فان حجمها يتغير من ح_١ إلى ح_٢ وتصبح العلاقة كما يلي :

$$\frac{ح_١}{د_١} = \frac{ح_٢}{د_٢} \quad \dots\dots\dots (١٣-٤)$$

مثال (١١-٤)

كمية من الغاز تشغل حجماً قدره ٢٠٠ مليلتر عند درجة حرارة ٢٧ درجة مئوية. فما

هو الحجم الذي تشغله عند درجة ٥٧ مئوية عند ثبات الضغط .
الحل :

المعطيات : $ح_{٢٧} = ٢٠٠$ مليلتر (حجم الغاز عند ٢٧°)
 $د_{٢٧} = ٢٧٣ + ٢٧ = ٣٠٠$ كلفن
 $د_{٥٧} = ٢٧٣ + ٥٧ = ٣٣٠$ كلفن
المطلوب إيجاد $ح_{٥٧}$ (حجم الغاز عند ٥٧°)
بما ان الضغط ثابت فإن :

$$\frac{ح_{٥٧}}{د_{٥٧}} = \frac{ح_{٢٧}}{د_{٢٧}}$$

$$ح_{٥٧} = \frac{٣٣٠ \times ٢٠٠}{٣٠٠} = ٢٢٠ \text{ مليلتر}$$

لماذا زاد الحجم ؟

مثال (٤-١٢) :

كتلة محدودة من الغاز تحتل حجم لتر واحد عند درجة حرارة ٢٥ مئوية . سُخِنَت الكتلة إلى درجة حرارة ٢٥٠ مئوية بزيادة الضغط إلى ضعفه، اوجد الحجم النهائي للغاز .

الحل :

١ . المعطيات : $د_١ = ٢٥^\circ$ ، $ح_١ = ١$ لتر ، $د_٢ = ٢٥٠^\circ$ ، $ض_٢ = ٢$ ض_١

٢ . حول درجات الحرارة إلى كلفن :

$$١ د = ٢٧٣ + ٢٥ = ٢٩٨ \text{ كلفن .}$$

$$٢ د = ٢٧٣ + ٢٥٠ = ٥٢٣ \text{ كلفن .}$$

٣ . ومن معادلة قانون الغاز المثالي في حالة ثبوت الكتلة :

$$\frac{ح_٢ \times ض_٢}{د_٢} = \frac{ح_١ \times ض_١}{د_١}$$

$$\frac{ح_٢ \times ٢}{٥٢٣} = \frac{١ \times ١}{٢٩٨}$$

بقسمة الطرفين على ض_١

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{1 \times 298}{0.88} = 338.6 \text{ سم}^3 \text{ لتر تقريباً}$$

لماذا قل الحجم؟

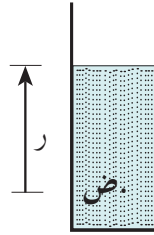
تمرين (٤-٥)

١. وعاء يحتوي على ٢٠٠ سم^٣ من غاز النيتروجين في درجة حرارة ٢٧° م وضغط جوى ٧٢٠ سم^٣/زئبق ، جد الضغط إذا زاد الحجم إلى ٣٠٠ سم^٣ ودرجة الحرارة إلى ٧٧° م.
٢. كمية من الغاز تشغل حجماً قدره ٤٥٠ ملليمتر عند درجة حرارة ٣٠° م. فما الحجم الذي تشغله عند درجة حرارة ٧٠° م عند ثبات الضغط.
٣. دورق به كمية محدودة من الغاز حجمها لتران في درجة حرارة ٤٠° م. سخن الدورق إلى درجة حرارة ١٥٠° م بزيادة الضغط إلى ثلاثة اضعاف. جد الحجم النهائي للغاز.
٤. جد ضغط حجم معين من الغاز عند رفع درجة حرارته لى ٢٠٠° م علماً بأن حرارته ١٥° م تحت الضغط الجوى.
٥. اسطوانة حجمها نصف لتر تحوي خليط من الغازات على ضغط جوى عادي ودرجة حرارة ٢٥° م. ضغط الغاز فجأة بمكبس حتى صار الحجم ١٠/١ من الحجم الاول ، وزاد الضغط إلى ١٥ ضعف الضغط الجوى العادي. جد درجة حرارة الغاز المضغوط بافتراض ان خليط الغازات يخضع لمعادلة الحالة.
٦. إذا زادت درجة الحرارة المطلقة لكتلة محددة من غاز ما إلى الضعف عند نقصان الضغط إلى النصف، اثبت ان الحجم الجديد يزيد إلى اربعة اضعاف الحجم الاول.

ب- الموائع الساكنة: Hydrostatics

وستتناول هنا الضغوط التي تنتج عن السوائل نتيجة لارتفاع مستوى سطحها.

الضغط في عمق معين داخل السائل:
الضغط الذي يؤثر به المائع على نفسه او على الإناء الذي يلامسه عند أي عمق (ر) هو (ض):



$$\text{ض} = \text{ث} \cdot \text{د} \cdot \text{ر}$$

أو

$$\text{ض} = \text{و} \cdot \text{ر}$$

حيث:

$$\text{ض} = \text{الضغط (ن/م}^2\text{)}$$

$$\text{ث} = \text{هي كثافة المائع (كجم/م}^3\text{)}$$

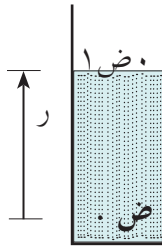
$$\text{د} = \text{عجلة الجاذبية الارضية (م/ث}^2\text{)}$$

$$\text{ر} = \text{عمق النقطة التي يراد قياس الضغط عندها.}$$

$$\text{و} = \text{الوزن النوعي (نيوتن/م}^3\text{)}$$

أما إذا أثر ضغط ض_1 على السطح الحر للسائل فان ضغط إضافي ينشأ داخل السائل.

وتصبح علاقة الضغط عند أي عمق كما يلي:



$$\text{ض} = \text{ث} \cdot \text{د} \cdot \text{ر} + \text{ض}_1$$

الضغط يكون ذات قيمة متساوية عند جميع النقاط التي تقع على عمق واحد داخل السائل الواحد ، ان شكل الإناء الذي يحوي المائع ليس له تأثير على ضغط المائع.

مثال (٤-١٣) :

غطاس يعمل على عمق ١٨ متر تحت سطح البحر. كم يزيد الضغط عند هذا العمق عن الضغط عند السطح ؟ خذ الوزن النوعي لماء البحر ١٠٠٠٠ نيوتن / م^٣.
الحل :

افرض الضغط عند السطح يساوي ض_١، والضغط عند عمق ١٨ م يساوي ض.

$$\text{ض} = \text{ض}_1 + \text{ر. د. ث.} + \text{ض}_1$$

$$\text{ض} = \text{ض}_1 + \text{ر. و.} + \text{ض}_1$$

$$\text{ض} - \text{ض}_1 = \text{ر. و.}$$

$$\text{ض} - \text{ض}_1 = 18 \times 10000 = 180000 \text{ ن/م}^2$$

$$= 180 \text{ ك. ن/م}^2$$

وهو فرق الضغط بين النقطتين.

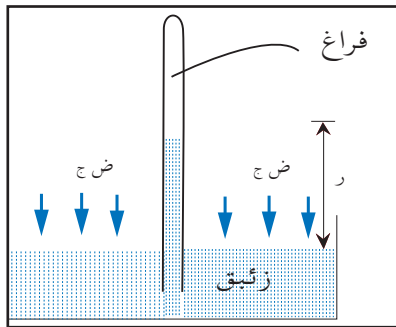
(٤-٣-٣) أجهزة قياس الضغط : Pressure Guages

هنالك عدة أنواع من أجهزة قياس الضغوط في الموائع نذكر منها: البارومتر، المانومتر والبيزومتر.

البارومتر : The Barometer

البارومتر هو جهاز لقياس الضغط الجوي.

يتكون البارومتر البسيط من أنبوب زجاجي طوله واحد متر مقفل من احد



طرفيه ، الأنبوب يملأ تماماً بالزئبق ثم يقلب في إناء به زئبق بحيث ينغمر طرفه المفتوح داخل الزئبق. لا يسمح بدخول الهواء إلى الأنبوب في هذه العملية. سينخفض ارتفاع عمود الزئبق في الأنبوب تاركاً فراغاً في أعلى الأنبوب عند الجانب المقفل (ضغط يساوي صفر). سطح الزئبق الذي بالإثناء يتعرض للضغط الجوي.

شكل (٤-٣٢) : بارومتر.

من الشكل (٣٢-٤) نجد أن الضغط الجوي "ض_ج" يساوي:

$$\text{ض}_ج = \text{ث} \cdot \text{د} \cdot \text{ر}$$

حيث:

ث = كثافة الزئبق

ر = ارتفاع عمود الزئبق في الأنبوب مقاساً من سطح الزئبق الذي في الإناء.

الضغط الجوي المعياري يساوي ١٠١٣٢٥ نيوتن/م^٢ وهذا يعادل ارتفاع زئبق $\text{ر} = ٧٦٠ \text{ مم}$

مثال (١٤-٤):

بارومتر ارتفاع الزئبق فيه يساوي ٧٥٥ مم، احسب الضغط الجوي في تلك اللحظة. علماً بأن كثافة الزئبق تساوي ١٣٦٠٠ كجم/م^٣.

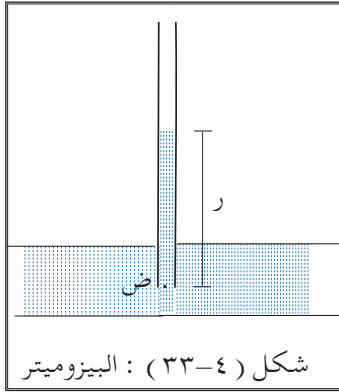
الحل:

الضغط الجوي من البارومتر:

$$\text{ض}_ج = \text{ث} \cdot \text{ج} \cdot \text{ر}$$

$$\text{ض}_ج = ١٣٦٠٠ \times ١٠ \times ٠,٧٥٥ = ١٠٢٦٨٠ \text{ نيوتن/م}^٢$$

البيزومتر (أنبوب الضغط) (The Piezometer Pressure tube):



هو جهاز لقياس ضغوط السوائل داخل الآنية أو الأنابيب.

ويتكون في أبسط صورته من أنبوب زجاجي مفتوح الطرفين، شكل (٣٣-٤). يُدخل أحد طرفيه رأسياً داخل الإناء أو الماسورة المراد قياس ضغط السائل داخلها. السائل المضغوط يبدأ في الارتفاع داخل أنبوب القياس حتى يتساوى الضغط الناتج من عمود السائل داخل الأنبوب مع ضغط السائل داخل الإناء أو الماسورة.

بما أن أنبوب القياس (البيزومتر) مفتوح للضغط الجوي فإن الضغط المقاس "ض" عند مركز الماسورة يساوي (ض = ث · د · ر) حيث: "ر" هي المسافة الرأسية من مركز

- الماسورة وحتى السطح الحر للسائل داخل أنبوب القياس .
- ويتميز البيزوميتر بالبساطة وسهولة الاستخدام . إلا أن من مساوئه :
- غير ملائم لقياس الضغط السالب (دخول هواء إلى الإناء عبر الأنبوب) .
 - غير ملائم لقياس ضغط عال (يحتاج إلى أنبوب طويل) وإلا تدفق السائل من النهاية العليا للأنبوب .
 - المائع داخل الإناء ينبغي أن يكون سائلاً وليس غازاً .

مثال (٤-١٥) :

بيزوميتر وصل بماسورة مياه أفقية فارتفع سطح الماء في البيزوميتر ٢ متر فوق مركز الماسورة . خذ كثافة الماء ١٠٠٠ كجم/م^٣ ، أحسب الضغط المقاس عند مركز الماسورة .

الحل :

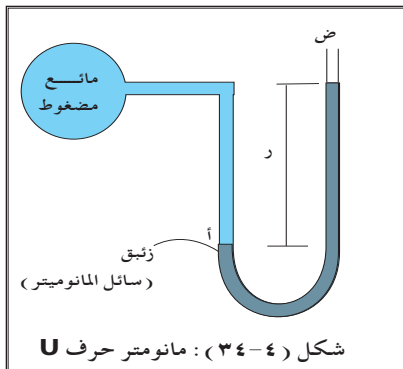
الضغط عند مركز الماسورة "ض" :

$$\text{ض} = \text{ث} \cdot \text{د} \cdot \text{ر}$$

$$\underline{\underline{20000 \text{ نيوتن/م}^2}} = 2 \times 10 \times 1000 =$$

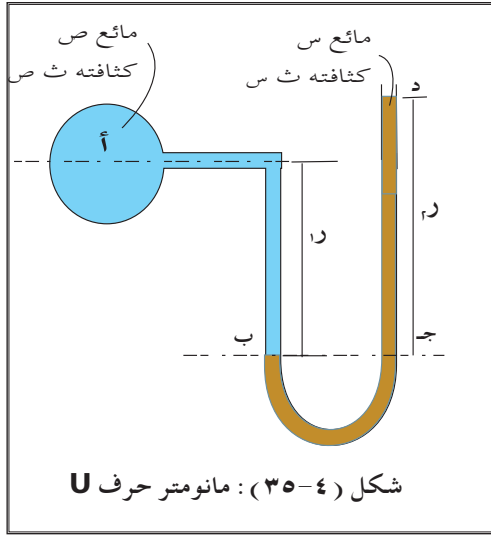
١ . المانومتر شكل U : U – Tube Manometer

يستخدم المانومتر علي شكل U الموضح بالشكل (٤-٣٤) لقياس الضغوط المنخفضة والعالية للموائع .



ويتكون في أبسط صوره من أنبوب زجاجي منحني علي شكل U . توضع كمية من سائل قياس معلوم الكثافة داخل الأنبوب . أحد طرفي الأنبوب يُفتح للهواء الجوي والطرف الآخر يُوصل إلى المائع المضغوط الذي يراد قياس ضغطه . يُجبر سائل القياس داخل الأنبوب بالانخفاض إلى أسفل في أحد اذرع المانومتر وبالارتفاع إلى أعلى في الذراع الأخرى .

سائل المانومتر يجب ان يختلف ولا يختلط أو يتفاعل كيميائياً مع المائع المراد قياس ضغطه ، ويفضل ان يكون من السوائل ذات الكثافة العالية حتى لا تضطر لاستخدام أنابيب قياس طويلة. واكثر السوائل استخداماً هو الزئبق للضغوط العالية. من الشكل الموضح للمانومتر نجد أن الضغط عند النقطة أ الفاصلة بين السائلين يساوي [ض_د = ض_ث . د . ر] . حيث ر هو الفرق في ارتفاع سائل المانومتر في الساقين، ث هي كثافة سائل المانومتر.



عند حساب الضغط بواسطة المانومتر يرسم خط أفقي [(ب ج) شكل (٣٥-٤)] يمر بالسطح المنخفض (العمود القصير) للسائل الذي يشغل الجزء المنحني للمانومتر ويمد هذا الخط ليقطع نفس السائل في الساق الأخرى للمانومتر، فيكون الضغط على هذا الخط متساوي في ساقي المانومتر.

ض_ج = ض_ب (خط تساوي الضغط)

$$\text{ض}_د + \text{ث}_س \cdot د \cdot ر = \text{ض}_أ + \text{ث}_ص \cdot د \cdot ر \quad \dots\dots (١٤-٤)$$

ض_د يعتبر صفراً إذا كان الأنبوب مفتوح للضغط الجوي (ضغط مرجعي) كما بالشكل (٣٥-٤) .

حيث :

$$\text{ض}_أ = \text{الضغط عند النقطة أ .}$$

$$\text{ض}_د = \text{الضغط عند النقطة د .}$$

$$\text{ث}_ص = \text{كثافة المائع ص في جزء المانومتر اليسر .}$$

$$ر = \text{ارتفاع المائع س فوق نقطة تساوي الضغط ب .}$$

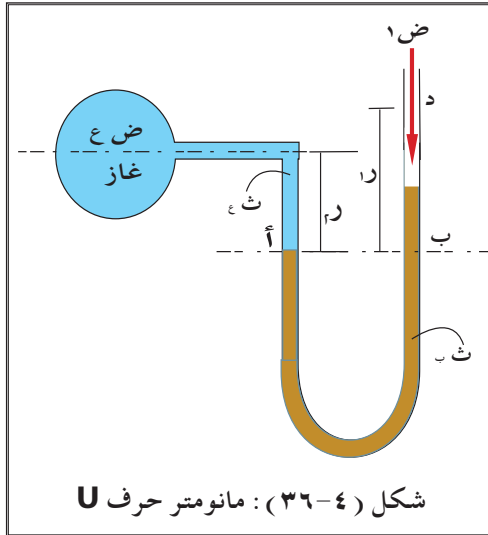
ث_س = كثافة المائع س في جزء المانومتر الأيمن .
 ر_٢ = ارتفاع المائع س فوق النقطة جـ .
 د = عجلة الجاذبية الأرضية .

مثال (١٦-٤) :

قيس ضغط غاز في ماسورة بواسطة مانومتر حرف U طرفه مفتوحة للضغط الجوي . السائل المستخدم في المانومتر هو البرافين ذا الكثافة ٨٠٠ كجم/م^٣ . فوجد أن الفرق في مستوى البرافين في ساقي المانومتر يساوي ٦٠ مم ، فما هو ضغط الغاز .

الحل :

ارسم المنظومة كما بالشكل (٣٦-٤) .
 كثافة البرافين " ث_ب " = ٨٠٠ كجم/م^٣
 كثافة الغاز " ث_غ " = صفر تقريباً (خفيف جداً)
 ر_١ = ٦٠ مم = ٠,٠٦ متر



نرسم خط تساوي الضغط أ ب ،

الضغط عند ب = الضغط عند أ .

$$P_1 + \rho_b \cdot d \cdot \theta = P_2 + \rho_g \cdot d \cdot \theta + P_g$$

$$0 + 800 \times 10 \times 0,06 + P_g = 0 + \rho_g \cdot d \cdot \theta + P_a$$

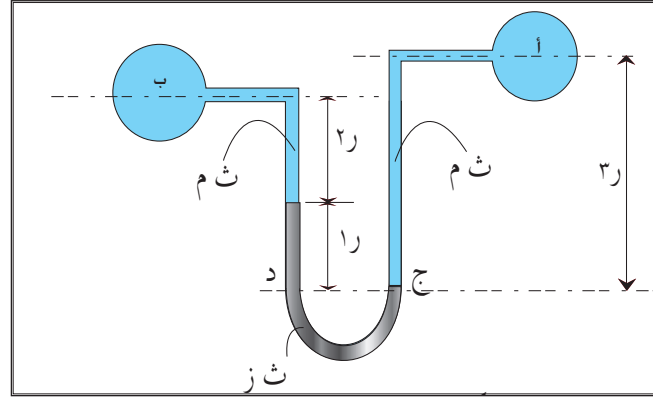
$$P_g = 0,06 \times 10 \times 800$$

$$\therefore P_g = \underline{\underline{480 \text{ نيوتن/م}^2}}$$

مثال (١٧-٤) :

المانومتر الموضح بالشكل (٣٧-٤) يقيس فرق الضغط بين نقطتين "أ"، "ب" في ماء وزنه النوعي ١٠٠٠٠ نيوتن/م^٣، المانومتر يحتوي على زيتبق وزنه النوعي ١٣٦٠٠٠ نيوتن/م^٣ أحسب الفرق في الضغط بين النقطتين "أ" و "ب" إذا كان:

$$r_1 = 50 \text{ سم} , r_2 = 40 \text{ سم} , r_3 = 150 \text{ سم} .$$



شكل (٣٧-٤): مانومتر حرف U .

الحل:

افرض:

θ_m = كثافة الماء، ρ_m = الوزن النوعي للماء.

θ_z = كثافة الزيتبق، ρ_z = الوزن النوعي للزيتبق.

نرسم خط تساوي الضغط ج د،

الضغط عند "ج" = الضغط عند "د".

$$\text{ض}_1 + \theta_m \cdot r_1 \cdot \rho_m + \text{ض}_2 = \text{ض}_3 + \theta_m \cdot r_2 \cdot \rho_m + \text{ض}_4 + \theta_z \cdot r_3 \cdot \rho_z$$

$$\text{ض}_1 + \rho_m \cdot r_1 = \text{ض}_3 + \rho_m \cdot r_2 + \rho_z \cdot r_3$$

$$\text{ض}_1 + 10000 \times 0.5 = \text{ض}_3 + 10000 \times 0.4 + 136000 \times 0.5$$

$$\text{ض}_1 + 5000 = \text{ض}_3 + 68000$$

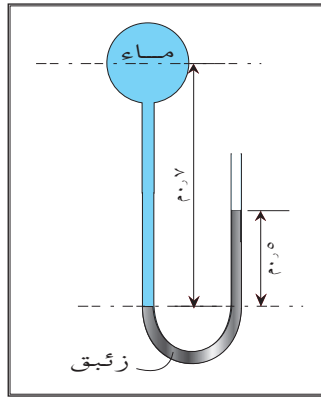
$$\text{ض}_1 + 72000 = \text{ض}_3 + 150000$$

$$\text{ض}_3 - \text{ض}_1 = 57000 \text{ نيوتن/م}^2$$

وهو فرق الضغط بين "أ" و "ب".

تمرين (٦-٤)

١- مانومتر حرف U يستخدم الزئبق كسائل قياس ، أُستخدم لقياس ضغط ماء داخل ماسورة كما موضح بالشكل (٣٨-٤) أدناه، فوجد ان فرق مستوى الزئبق في ساقي المانومتر يساوي ٥,٥ م ومستوى الزئبق الأدنى يقع على بعد ٧,٥ م أسفل مركز الماسورة التي تحمل الماء. إذا كانت كثافة الزئبق ١٣٦٠٠ كجم/م^٣، وكثافة الماء ١٠٠٠ كجم/م^٣. جد ضغط الماء داخل الماسورة.



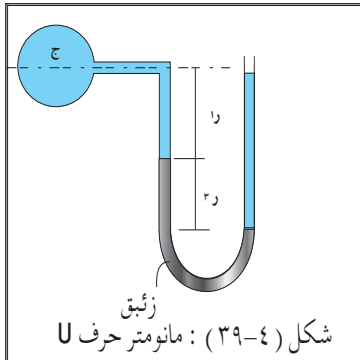
شكل (٣٨-٤) : مانومتر حرف U

٢- مانومتر زئبقي حرف U يستخدم لقياس ضغط ماء داخل ماسورة. الماء يلامس الزئبق على الساق اليسرى للمانومتر بينما الساق الأخرى مفتوحة للهواء الجوي:

أ. ارسم المنظومة ووضح ما يحدث.

ب. إذا كان سطح الزئبق الأدنى على بعد ٣٠ سم أسفل من مركز الماسورة في الساق اليسرى ، و سطح الزئبق في الساق اليمنى على ارتفاع ٢٠ سم أعلى من مركز الماسورة. ما ضغط الماء عند منتصف الماسورة. الكثافة النسبية للزئبق تساوي

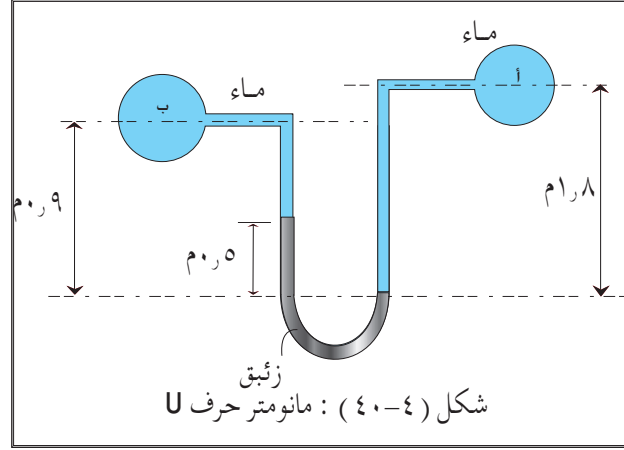
١٣,٦.



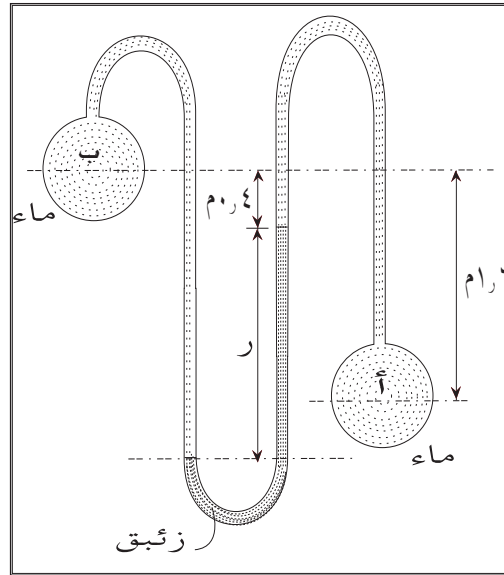
شكل (٣٩-٤) : مانومتر حرف U

٣- المانومتر الموضح بالشكل (٣٩-٤) يقيس ضغط الماء عند "ج" وهو ضغط تحت الضغط الجوي (تفريغ جزئي) ، إذا كان الوزن النوعي للزئبق يساوي ١٣,٦ مرة الوزن النوعي للماء، فما هو الضغط عند "ج" ، إذا كان $r_1 = ١٥$ سم، $r_2 = ٣٠$ سم.

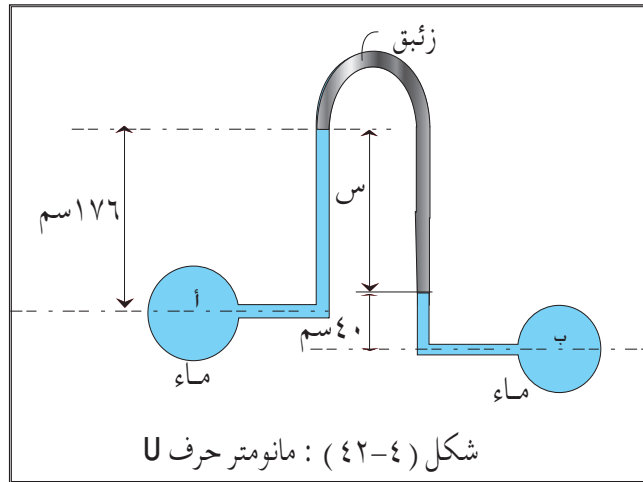
٤- أوجد فرق الضغط بين النقطتين (أ) و (ب) في المانومتر علي شكل U الموضح بال شكل (٤-٤) أدناه. خذ الوزن النوعي للماء ٩,٨١ كيلونيوتن/م^٣ والكثافة النوعية للزئبق ١٣,٦.



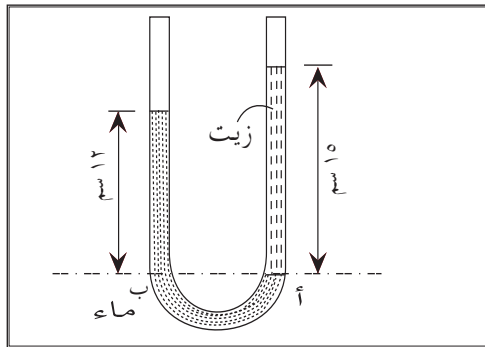
٥- في الشكل (٤-٤) المبين أدناه، إذا كان ضغط الماء عند الإناء (أ) يساوي ١١٠ ك.ن/م^٢ والضغط عند الإناء (ب) يساوي ٢٦٠ ك.ن/م^٢، أحسب ارتفاع الزئبق (ر) في الساق اليمني للمانومتر.



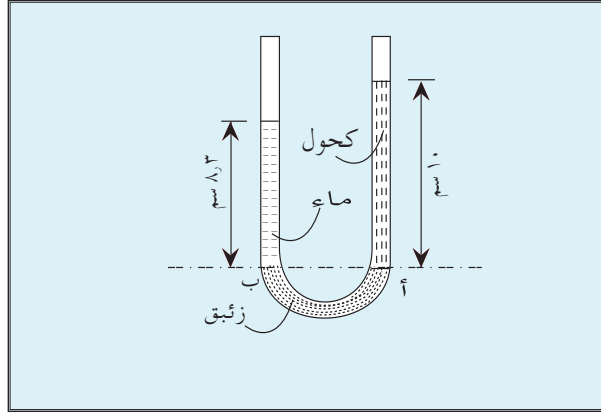
٦- يحوي المانومتر المعكوس في الشكل (٤-٤٢) زيتيق. إذا كان ضغط الماء في الأنبوب (أ) يساوي ١٢ كيلونيوتن/م^٢ وضغط الماء في الأنبوب (ب) يساوي ٢٥,٦ كيلونيوتن/م^٢. أوجد فرق القراءة (س) في ساقَي الزيتيق ، علماً بأن الوزن النوعي للماء ١٠ كيلونيوتن/م^٣ والوزن النوعي للزيتيق ١٣٦ كيلونيوتن/م^٣.



٧- صب زيت في أنبوب مائي ذي شعبتين كما بالشكل (٤-٤٣) ، وكان عمود الزيت ١٥ سم عند النقطة (أ) وعمود الماء ١٢ سم في النقطة (ب). أوجد كثافة الزيت علماً بأن كثافة الماء ١ جم/سم^٣.

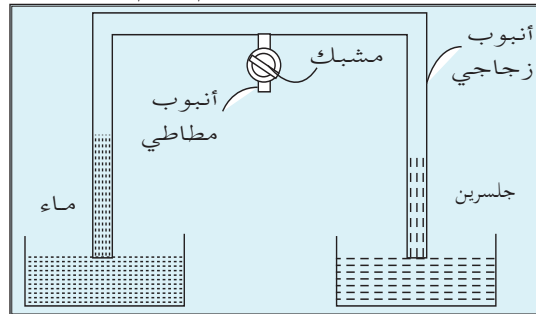


٨- في المانومتر الزيتي الموضح بالشكل (٤-٤٤) طول عمود الكحول ١٠ سم وطول عمود الماء ٨,٣ سم. أوجد كثافة الكحول علماً بأن كثافة الماء ١ جم/سم^٣.



شكل (٤-٤٤): مانومتر حرف U مفتوح الطرفين

٩- استعمل جهاز هير (Hare) الموضح بالشكل (٤-٤٥) لتحديد كثافة الجلوسرين. وعند فتح المشبك ومص بعض الهواء من الأنبوب تلاحظ صعود الماء لارتفاع ٣, ١٨ سم ، وصعود عمود الجلوسرين لارتفاع ٥, ١٤ سم. أوجد كثافة الجلوسرين علماً بأن كثافة الماء ١ جم/سم^٣.



شكل (٤-٤٥): جهاز هير

١٠- أنبوب ذي شعبتين صبت فيه كمية من الماء ثم صب في إحدى شعبتيه عمود من الكيروسين (ثقله النوعي ٠,٨) طوله ٢٢ سم. احسب المسافة العمودية بين سطحي الماء في الشعبتين.

١١- أنبوب ذي شعبتين يحتوي علي كمية من الزئبق ، صب في إحدى شعبتيه عمود من ماء البحر طوله ٢٠ سم ، وفي الأخرى ماء نقي طوله ٢٠,٥ سم ، وبذلك أصبح سطح الزئبق في الشعبتين في مستوي واحد. احسب كثافة ماء البحر.

(٤-٤-٤) التساقط :

يقصد بالتساقط تهطل الماء السائل أو المياه المتجمدة (في شكل ثلج أو جليد) إلى الأرض .

عندما يتم حمل الهواء الملامس لسطح الأرض إلى طبقات الجو العليا (بفعل تيارات الحمل أو غيرها من الطرق) فإنه يتمدد نسبة لانخفاض الضغط مع الارتفاع . وهذا التمدد يكون كاظم للحرارة (ادياباتي) (لا تضاف للهواء حرارة من مصادر خارجية ولا تفقد حرارة) غير أن درجة الحرارة تنخفض بسبب الطاقة الحرارية المتحولة إلى شغل إثناء عملية التمدد . وهذا النقصان في درجة الحرارة يدعي البرودة الديناميكية أو البرودة الاديباتية . وهذه تمثل أساس التكثيف ومسئولة بطريقة مباشرة عن كل الأمطار . ويشير هذا إلى وجوب ارتفاع عمود الهواء ليحدث التساقط .

وهناك التبريد باختلاط الكتل الهوائية (تختلط كتلتان من الهواء علي درجات حرارة مختلفة) وكذلك التبريد بالتلامس والتبريد بالإشعاع (يحدث الندى والجليد والثلج والضباب) ثم قد تأتي هذه السحب بالأمطار . وعليه يمكن تقسيم التساقط علي حسب الحالات التي تقود إلى ارتفاع الهواء وتصاعد البخار إلى : جبلي (آلي أو تضاريسي) وإعصاري (بشقية الأمامي وغير الأمامي) وحمل (تقليدي) . عملياً توجد الصور المختلفة للتساقط المذكورة أعلاه متداخلة فيما بينها لتكون التساقط الهاطل بالمنطقة . ويبين جدول (٤-١) تقدير شدة التساقط من خفيفة ومتوسطة وغزيرة .

جدول (٤-١) : شدة التهاطل .

شدة التساقط	معدل الهطلان (مم / ساعة)
خفيف	٢,٥
متوسط	٢,٨ - ٧,٦
غزير	أكثر من ٧,٦

(٤-٣-٥) قياس التساقط :

يعتمد قياس التساقط علي الارتفاع العمودي للماء المتجمع في إناء ذو قاعدة مستوية وذلك عند استمرار وجود التساقط بمنطقة سقوطه . وتؤثر عدة عوامل في قياس التساقط خاصة الصلب منه ومن هذه العوامل : نوع وأسلوب عمل وموضع مقياس التساقط ودرجة بلل الجهاز والبخر والرياح وغيرها من العوامل المؤثرة . ان البيانات التي يسجلها مقياس التساقط تشير إلى تساقط في نقطة محددة . وتسمي الأمطار بأمطار نقطة أو أمطار محطة أو أمطار محلية . وفي المقاييس الهيدرولوجية يجب حساب الأمطار للمنطقة . وتوجد أنواع عديدة من مقاييس الأمطار منها :

- ١- أجهزة قياس يدوية .
- ٢- أجهزة قياس غير تسجيلية .
- ٣- أجهزة قياس تخزينية
- ٤- أجهزة قياس تسجيلية .

١- أجهزة القياس اليدوية :

يتم في أجهزة القياس اليدوية حساب التساقط للمدة الزمنية السابقة (٢٤ ساعة) بقياس مباشر للتساقط المتجمع في المقياس . ويتكون مقياس المطر من إناء نحاسي به اسطوانة نحاسية قطرها في حدود ٥ بوصات وذات حافة مشطوفة . تقوم هذه الاسطوانة بتجميع التساقط وتسمح بانسيابه عبر قمع إلى إناء معدني أو زجاجي يسهل تحريكه وتفريغ ما به من ماء في اسطوانة مدرجة .

٢- أجهزة القياس غير التسجيلية :

يتكون جهاز قياس المطر اليومي من مُستقبل فوق قمع يؤدي إلى مستودع . للمستقبل حافة هابطة رأسياً من أعلي للخارج . ولابد من ان يكون المستقبل في وضع أفقي ، إذ إن أي ميل علي المستوي الأفقي بدرجة واحدة يمكن ان يحدث معه اختلاف في كمية الماء المجمعة بحوالي $\pm 1\%$. عادة يوضع مقياس المطر على ارتفاع ٥, ١ متر أعلي من سطح الأرض . ويقوم هذا الجهاز بقياس مقدار الأمطار الكلي . وفي حالة غياب التسجيل التلقائي للأمطار تؤخذ القراءة يومياً .

٣- أجهزة القياس التخزينية :

وتستخدم هذه الأجهزة لقياس المطر الكلي الموسمي في مناطق نائية قليلة السكان. ويتكون الجهاز من مُستقبل فوق قمع يقود إلى مستودع كبير لحفظ الماء المتجمع. ويمكن وضع مادة مانعة للتجمد في الجهاز في المناطق الباردة (مثل كلوريد الكالسيوم).

٤- أجهزة القياس التسجيلية (المقياس العداد) :

في حالة أجهزة التسجيل يتم التسجيل آلياً بمساعدة ساعة وأوزان أو جهاز عائم يقوم بإرسال القراءات إلى رسام بياني يسجل المطر الكلي المتراكم أثناء هطلانه. كما ويمثل المنحني البياني المتحصل عليه تغير التساقط مع الزمن. وتستخدم هذه الأجهزة لمعرفة شدة الأمطار لفترات قصيرة ولإعطاء قراءات مستمرة مسجلة. ويمكن لبعض هذه الأجهزة تسجيل المعلومات عددياً أو بيانياً أو إرسالها إلى أجهزة حاسوب. وتوجد أنواع عدة من هذه النظم منها: المقياس الوزني والمقياس العائم والمقياس ذا الوعاء القلاب، وتوجد عدة طرق لاستخدام الرادار للمساعدة في قياس المطر خاصة لتغطية الأعاصير في منطقة معينة.

ومن مصادر الخطأ عند تسجيل القراءات وحفظ السجلات بمقياس التساقط ما يلي :
أخطاء قراءة تدريج المقياس ، وضباب بعض الماء أثناء الجمع وتسجيل القراءة ، وفقدان بعض الماء لبلل أجزاء الجهاز الداخلية ، وأي تغير في منطقة استقبال التساقط وميلان جهاز القياس ، وعطب الجهاز بسبب الرياح أو غياب الصيانة الدورية.

(٤-٣-٦) التوزيع المساحي للأمطار :

تضم الطرق المستخدمة لإيجاد ارتفاع التساقط التالي :

طريقة المتوسط الحسابي وطريقة مضلع ثايسن وطريقة خطوط الأمطار المتساوية .

أ- طريقة المتوسط الحسابي :

تعتمد طريقة المتوسط الحسابي علي إيجاد متوسط ارتفاع التساقط في كل المحطات بالمنطقة لتقدير مناسب للتساقط المتوسط وذلك في الحالات التالية :

- في حالة التوزيع المنتظم للمحطات عبر المنطقة .

- في حالة عدم وجود تغير كبير في ارتفاع التساقط في كل من هذه المحطات .

غير ان هذه الشروط قلما يتم الإيفاء بها مما يحد من طريقة استخدام التساقط المتوسط لتقدير ارتفاعه في المنطقة. ويمكن استخدام المعادلة (٤-١٥) لحساب المتوسط الحسابي

لمياه الأمطار .

فإذا كان لدينا (ن) محطة في منطقة ما وحسبت متوسطات الأمطار فيها علي النحو التالي :

ص_١ ، ص_٢ ، ص_٣ ص_ن
فان متوسط مياه الأمطار في تلك المنطقة :

$$م = \frac{ص_1 + ص_2 + ص_3 + \dots + ص_n}{ن} \dots\dots\dots (١٥-٤)$$

حيث : م = متوسط الأمطار الهاطلة بالمنطقة (مم) .

ص_ن = مقدار الأمطار الهاطلة في المحطة ن (مم) .

ن = عدد المحطات .

ب- طريقة مضلع ثايسن : Thiessen method

وتستخدم هذه الطريقة للمساحة المؤثرة لكل محطة في حساب مقدار التساقط طبقاً للخطوات التالية :

- ١ . يرسم موقع كل محطة في خارطة مناسبة .
- ٢ . تحدد المساحة المؤثرة لكل محطة كالآتي :
 - يتم توصيل كل محطة مع عدة محطات مجاورة بخطوط مستقيمة .
 - تنشأ أعمدة منصفة لكل من هذه الخطوط ، وتمتد هذه الأعمدة ليقاطع بعضها بعضاً مكونة مضلعاً حول كل محطة .
- ٣ . يتم إيجاد مساحة المضلع المؤثرة المحيطة بكل محطة بوساطة ممساح أو بأي طريقة أخرى مقبولة ، وفي حالة وقوع أجزاء من المضلع خارج المنطقة المحددة أو في منطقة أخرى يفترض فيها ارتفاع التساقط يتم قياس المساحة لأجزاء المضلع الواقعة ضمن المساحة قيد البحث .
- ٤ . يضرب ارتفاع التساقط في المحطات المختلفة في مساحة المضلع المرتبط بها ، ثم يقسم الناتج علي مجموع هذه المساحات (المساحة الكلية) لإيجاد السقيط المتوسط بالمنطقة .

تصلح طريقة ثايسن لإيجاد عدد من الارتفاعات المتوسطة لمنطقة معينة تخدم

بشبكة من المحطات الثابتة في عددها ومواضعها. وتفقد صلاحيتها في حالة إضافة محطات جديدة أو إخراج محطات من الشبكة أو في حالة تغير مواضع المحطات أو فقدان بيانات أي محطة. ومثل هذه التغيرات تقتضي إعادة تحديد مضلعات ثايسن لكل المنطقة والمحطات. ومن المفترض عدم استخدام هذه الطريقة في منطقة جبلية للتغير في التساقط المواكب لارتفاع المنطقة. تُبين المعادلة (٤-١٦) العملية الحسابية المتبعة في هذه الطريقة.

$$M = \frac{V_{11}M_1 + V_{12}M_2 + V_{13}M_3 + \dots + V_{1n}M_n}{V_{11} + V_{12} + V_{13} + \dots + V_{1n}} \quad (4-16)$$

حيث:

M = متوسط الأمطار الهاطلة في المنطقة (مم).

V_n = تسجيل الأمطار الهاطلة في المحطة n (مم).

M_n = مساحة المضلع المحيط بالمحطة n .

ج- طريقة خرائط تساوي توزيع المطر : Isohyets Method

هذه الطريقة من أفضل الطرق لتقدير التساقط المتوسط لمنطقة معينة. ويتم فيها رسم خرائط تساوي توزيع المطر باستخدام البيانات من المحطات وأي معايير أخرى لتقويم أو استكمال البيانات بين محطات المنطقة لتقدير كمية الأمطار. ويمكن تلخيص هذه الطريقة في النقاط التالية:

١. اختيار وتحضير خارطة مناسبة تبين عليها مواقع المحطات. ويبين في الخارطة كمية التساقط في كل المحطات. ويتم رسم خطوط الأمطار المتساوية بطريقة تماثل رسم الفواصل الكنتورية في الخريط الطبغرافية.
٢. حساب المساحة المحاطة بخطوط الأمطار المتساوية بواسطة المساح أو غيره من الطرق.
٣. يُضرب التساقط المتوسط بين كل زوج من خطوط الأمطار المتساوية بالمساحة بين الخطوط لتقدير الحجم المحلي.
٤. يُجمع حاصل الضرب للمساحات بالتساقط لكل الخطوط ثم يقسم الناتج على

المساحة الكلية بين خطوط الأمطار المتساوية ، لتقدير التساقط المتوسط لهذه المنطقة ، كما موضح في المعادلة (١٧-٤) .

$$M = \frac{(V_1 + V_2)M_2 + (V_2 + V_3)M_3 + \dots + (V_n + V_{n+1})M_{n+1}}{(M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n)} \quad (١٧-٤) \dots$$

م = متوسط التساقط في المنطقة .
 ص_ن = التساقط على خط الأمطار المتساوية ن .
 م_ن = المساحة بين زوج من خطوط الأمطار المتساوية .

مثال (١٨-٤) :

اوجد التساقط المتوسط في منطقة جابية طبقاً للمعلومات والبيانات الموضحة في الجدول أدناه باستخدام طرق مختلفة لتقديرها :

المساحة (%)	مقياس المطر (سم)	المحطة
٩	٥٠	١
١٣	٦٢	٢
١٧	٧٥	٣
٢٠	١٠٠	٤
٣٠	١٠٦	٥
١١	٩٥	٦

الحل :

١- جد متوسط الأمطار الهائلة بالمنطقة باستخدام طريقة المتوسط الحسابي من المعادلة :

$$M = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}{n}$$

$$\underline{\underline{81,3 \text{ سم}}} = \frac{95 + 106 + 100 + 75 + 62 + 50}{6} = \text{م}$$

٢- جد متوسط الأمطار الهائلة بالمنطقة باستخدام طريقة ثايسن من المعادلة:

$$\text{ص} = \frac{\text{ص}_{11} + \text{ص}_{12} + \text{ص}_{13} + \text{ص}_{14} + \text{ص}_{15} + \text{ص}_{16} + \text{ص}_{17} + \text{ص}_{18} + \text{ص}_{19} + \text{ص}_{20}}{11 + 12 + 13 + 14 + 15 + 16 + 17 + 18 + 19 + 20}$$

$$\underline{\underline{87,6 \text{ سم}}} = \frac{11 \times 95 + 30 \times 106 + 20 \times 100 + 17 \times 75 + 13 \times 62 + 9 \times 50}{11 + 30 + 20 + 17 + 13 + 9} = \text{ص}$$

تمارين عامة (٧-٤)

١- ما الفرق بين الطرق التالية لإيجاد ارتفاع التساقط:
طريقة التساقط المتوسط الحسابي وطريقة ثايسن وطريقة خرائط توزيع المطر؟
وايها تفضل؟ ولماذا؟

٢- قُدر المتوسط الحسابي للأمطار بمنطقة معينة يساوي ١٨٧ مم علي حسب البيانات المدرجة في الجدول التالي للأمطار المسجلة في محطات رصد هيدرولوجية مجاورة لبعضها البعض.

رقم المحطة	مقدار الأمطار (مم)
أ	١١٧
ب	٢٠٢
ج	؟
د	٣٠٩

اوجد متوسط الأمطار في المحطة (ج).

٣- توجد في منطقة معينة خمس محطات رصد هيدرولوجية لقياس الأمطار . جد متوسط الأمطار مستخدماً طريقة ثايسن لحساب متوسط الأمطار الهائلة بالمنطقة ، علماً بان رسم مضلعات ثايسن كما موضح في الجدول التالي :

رقم المحطة	متوسط الأمطار (مم)	مساحة مضلع ثايسن الحيط بالمحطة (كلم ^٢)
أ	٢٠	١٥
ب	٢٤	٢٨
جـ	٢٨	٣٤
د	١٩	١٢
هـ	٤٤	٢٢

٤- أظهرت سجلات محطات قياس أ ، ب ، ج ، د نتائج أمطار ٢٥ ، ٦ ، ١٩ ، ٢١ ، ٢ ، ٢٤ مم علي الترتيب . وقد تم حساب متوسط الأمطار بطريقة مضلع ثايسن ووجدت مساحات المضلعات المحيطة بكل محطة علي الترتيب ٣٠ ، ٢٥ ، ٢٣ و ٣٨ كيلومتر مربع . جد متوسط الأمطار في المنطقة .

٥- تم الحصول علي السجلات التالية في منطقة لقياس الأمطار من المحطات الموجودة :

رقم المحطة	مقدار الأمطار (مم)
١	١٣,٢
٢	١٦,٣
٣	١٤,٥
٤	١١,٦
٥	١٥,٢

جد متوسط هطول الأمطار بطريقة المتوسط الحسابي .

(٥-٤) أساسيات هندسة الطرق والمرور

(٤-٤-١) مقدمة :

تتعلق هندسة الطرق بنظم تصميمها وبنائها وصيانتها من اجل حمل المركبات علي الطرق الرئيسية والفرعية وحمل الطائرات والمركبات الفضائية علي مدرجات المطارات ولتنظيم حركة السير وإدارتها. ويستدعي هذا الفرع من العلوم إلمام مهندس الطرق بعدة مهارات (بالإضافة للمهارة الهندسية التقليدية للطرق) والتي تضم : المعرفة بالتخطيط و الاقتصاد والاستاتيكا والفيزياء والكيمياء وعلوم الحاسوب . الشيء الذي قاد معه إلى أن يتخصص مهندس الطرق في تخطيط المرور والتصميم الهندسي والإنشائي للطرق وتصميم الرصيف وإدارة المرور وسلامته والبحث العلمي .

عرّف قانون حركة المرور السوداني الطريق علي أنه : أي طريق مفتوح لمرور الجمهور عامة . و يشمل الجسور التي يمر فوقها الطريق و الأرصفة وساحات السكك الحديدية و الأفنية و أماكن الإنتظار و الأماكن المسورة و أرصفة الموانئ مما يكون مباحاً لمرور الجمهور و وسائل النقل و الجر و المشاة و الحيوانات

تعتبر الطرق من أهم مقومات الحضارة الإنسانية للاتصال وتسهيل انسياب الصادر والوارد وحركته ، ونقل المنتجات وتحويل الآليات ، وقد ساعد اختراع العجلة قبل نيف وخمسة آلاف عام علي إنشاء طبقة خاصة صلبة تتحمل أحمال مركزة كبيرة . ويحدث التاريخ عن أهمية الطرق في الحضارات المختلفة التي سادت ثم بادت إذ ساعدت كثيراً في تقدمها . ومن أهم هذه الطرق – الطرق الرومانية التي شُيّدت قبل الميلاد للاتصال وتحرك الجيوش وإدارة البلاد .

ومن أهم خصائص الطرق الرومانية إنشاؤها مرتفعة تماماً عن مستوي سطح الأرض علي ردميات للحفاظ علي جفاف السطح ، وإشراف الطريق علي المنطقة الريفية المحيطة لكي لا تفاجأ الجيوش بأي هجوم . والخاصية الأخرى لها الاستقامة والمباشرة . وقد صُممت بحيث يمكن توصيل عدة محطات منفردة عبر سلسلة من الخطوط المستقيمة ما تيسر . ويمكن تقسيم الطرق الرومانية إلى :

- ١ . الطرق المستوية : التي تنشأ من تربة مستوية .
- ٢ . الطرق الحصوية : التي تصنع من سطح حصوي .
- ٣ . الطرق المعبدة : التي تعبد بكتل حجرية بشكل متوازي مستطيلات أو مضلع ، وهي تعد من أعلي الطرق الرومانية ارتفاعاً .

تقسيمات الطرق الحالية :

- تقسم الطرق في الوقت الراهن إلى عدة أنواع أهمها :
- ١ . الطرق القارية : التي تعبر الدول وترتبط بينها .
 - ٢ . الطرق القومية : التي تعبر أكثر من ولاية ، وتعتبر من البنيات الأساسية ، مثل طريق الخرطوم الأبيض .
 - ٣ . الطرق الولائية : التي تربط أطراف الولاية الواحدة ببعضها ، مثل طريق الخرطوم بحري الجيلي .
 - ٤ . طرق المحافظات (الطرق الحضرية) : التي تغطي الطرق المحلية داخل المحافظات مثل شبكة طرق الخرطوم .
 - ٥ . الطرق الخاصة : التي تدخل في المشروعات العامة والخاصة ويقصر استخدامها علي العاملين في المشروعات ، أو تستخدم في أغراض خاصة بنشاط المشروعات مثل الطرق الزراعية بمشروع الجزيرة .
 - ٦ . الطرق الريفية : التي توجد في المناطق الريفية .
- اختيار مسار الطريق علي عدة عوامل منها :**
- أ . النقاط الحاكمة التي يمر الطريق عبرها (الجبال ، والمعابر علي الانهار والمناطق الاثرية وغيرها .
 - ب . حركة المرور .
 - ج . التصميم الهندسي .
 - د . العوامل الاقتصادية للتصميم والتشييد والصيانة .
 - هـ . وغيرها من العوامل المؤثرة مثل : تصريف المياه ، والعوامل الهيدرولوجية ، والعوامل السياسية .
- من أهم العوامل المؤثرة في التصميم الهندسي للطريق :**
- أ . السرعة التصميمية .

ب . طبوغرافية المنطقة .

ج . عوامل حركة المرور .

د . حجم المرور الساعي التصميمي .

هـ . العوامل البيئية وغيرها .

أما السرعة التصميمية فتتحكم في تصميم عناصر الطريق (المنحنيات الأفقية والرأسية ، والتقاطعات وعرض الطريق وغيرها) .
طبوغرافية المنطقة تؤثر علي الميل الطولي للطريق .

اما عوامل حركة المرور فآثرها يتجلي علي مميزات مستعملي الطريق (المشاة ، وسائقو السيارات وغيرها) ومميزات المركبة المستعملة للطريق (ابعاد المركبة ووزنها ، ونصف قطر دوران المركبة) .

وحجم المرور الساعي التصميمي يعتمد علي تغير حجم المرور في الطريق من ساعة إلى أخرى ، ومن يوم إلى آخره ومن شهر إلى آخر . وللتصميم الاقتصادي للطريق يتوخي اختيار استخدام حجم مرور تصميمي ساعي للتصميم الهندسي للطريق ، والساعة المختارة تقع بين ساعة الذروة والساعات التي يقل فيها حجم المرور .
واهم العوامل البيئية المؤثرة في تصميم الطريق تضم :

تلوث الهواء والضوضاء والضجيج وتجميل المنطقة وتهيتها والمؤثرات البيئية الأخرى .

(٤-٤-٢) التخطيطي :

التخطيطي هو اجتياز المركبات الثابتة أو المتحركة في نفس اتجاه الشخص التخطيطي .
غير ان تجاوز المركبات المتحركة عملياً أصعب من تجاوز الثابتة . وينبغي علي السائق اختيار الوقت المناسب ، والفرصة المواتية ، والانتباه لحالة الطريق عند التخطيطي . اما المبادئ العامة التي يجب مراعاتها للتخطيطي فتتلخص في التالي :

١ . الانتباه لحالة الطريق في الاتجاه المضاد والتأكد من خلوه من الحركة لمسافة معقولة تسمح بالتخطيطي .

٢ . كشف حالة الطريق باستخدام المرآة الداخلية .

٣ . إعطاء الإشارة التي تعلن عن نية التخطيطي لتنبيه المركبة التي تسير خلف المركبة التخطيطية .

٤ . استعمال آلة التنبيه للفت نظر السائق الأمامي بنية التخطيطي إن لزم الأمر .

- ٥ . اختيار السرعة المناسبة التي تساعد على إكمال التخطي بسلام.
 - ٦ . عند استلام الإشارة من السائق الأمامي بالسماح بالتخطي ينبغي الانحدار تدريجياً لمسار التخطي في الاتجاه الصحيح وزيادة السرعة تدريجياً لتكملة التخطي بسلام.
 - ٧ . إعطاء الإشارة المناسبة للإعلان عن نية الرجوع إلى المسار الطبيعي مع الانحدار التدريجي إلى ذلك المسار وفي أول فرصة مناسبة.
 - ٨ . التركيز والانتباه حتى تتم عملية التخطي بسلام.
- علي السائق عدم محاولة التخطي في المناطق التالية :**
- ١ . إذا كانت المركبة الأمامية تقوم بتجاوز أخرى .
 - ٢ . عند تقاطع السكك الحديدية وخطوط عبور المشاة .
 - ٣ . عند المنعطفات وتقاطع الطرق ودورات المرور .
 - ٤ . عند المرتفعات أو المنحدرات أو عند تعذر الرؤيا .
 - ٥ . عند الخطوط الطولية المتصلة أو الخطوط الطولية المزدوجة والمتصلة المرسومة على الطريق .
- وعلي السائق ألا يتخطي السيارة التي تسير أمامه إذا كان لا يرغب في السير بسرعة أسرع منها حتى لا يضطر سائقها لتخطيه مرة أخرى . وعليه ألا ينحرف بسيارته نحو اليمين بشدة بعد إكمال عملية التخطي حتى لا يسبب مضايقة للمركبة التي تم تخطيها .
- أما سائق المركبة البطيئة الذي يُرجي تخطيه فعليه أيضا واجبات لا بد من القيام بها ، منها :**
- ١ . إعطاء الإشارة للسماح بتخطيه بعد تأكده من خلو الطريق أمامه وبحالة تسمح بالتخطي الآمن .
 - ٢ . التحرك إلى أقصى يمين الطريق لإفساح المجال لسهولة التخطي دون مضايقة .
 - ٣ . تهدئة السرعة ليتمكن المركبة المتجاوزة من تخطيه في اقل مسافة ممكنة .
 - ٤ . عدم الإسراع خلف المركبة المتخطية لتمكن من الرجوع إلى مسارها الطبيعي في أول فرصة .
- ضبط النفس ومقاومة الرغبة الملحة في التخطي في كل لحظة من العوامل التي تساعد كثيرا في الحد من وقوع حوادث المرور ، والسائق المثالي هو الذي يتفادى عملية التخطي

ألا عند الضرورة. وقد أشارت الإحصائيات العالمية علي أن ما يقارب ٩٠ بالمائة من حوادث المرور ترجع في أساسها إلى أخطاء تقع من مستعملي الطريق ؛ وأن الجزء الأكبر من هذه الحوادث والمخالفات يعود إلى قائد المركبة نتيجة لفعله أو خطئه. أما العوامل الأخرى فتقل عنها في الترتيب، ومنها التخطيط الهندسي للطريق، وتزويد الطريق بالمساعدات والمعينات الفنية، ونوع المركبة وحالتها وصلاحياتها للسير علي الطريق.

(٤-٤-٣) السرعة:

السرعة من العوامل المهمة التي تؤثر تأثيراً مباشراً علي المقدرة في التحكم في المركبة. يعتمد اختيار السرعة المناسبة للسير في الطريق العام اعتماداً مباشراً علي حاسة السائق وحسن تقديره، وحالة الطريق ومدى كثافة حركة المرور فيه. وينبغي ألا تتجاوز سرعة المركبة في كل الأوقات السرعة المحددة قانوناً ، أو حسبما تحدده علامات المرور علي الطريق. كما أن من أهم واجبات السائق التقيد بالسرعة التي تسمح له بإيقاف مركبته في وقت ومسافة معقولة حسب حالة الطريق الذي تسير فيه المركبة.

والسرعة تعني شيئاً نسبياً ، فما يعد سرعة شديدة في مكان ما قد لا يعتبر كذلك في مكان آخر ، وما يعتبر سرعة خطيرة بالنسبة لسائق مبتدئ قد لا يعتبر كذلك بالنسبة للسائق المقتدر الذي يعرف مقدرات مركبته وخبايا الطريق الذي يسلكه. اختيار السرعة المناسبة لكل حالة يعتمد اعتماداً مباشراً علي مقدرة السائق وكفاءته وعلى نوع وحالة المركبة التي قد تختلف ليس من ساعة لأخرى بل كل دقيقة حسب حالة الطريق والمتغيرات التي تحدث به.

إن تدخل القانون لتحديد السرعة المناسبة علي الطريق ليس وحدة كافية لتحديد تلك السرعة في كل حالة، فقد تكون السرعة القانونية المسموح بها علي الطريق سرعة خطيرة في بعض الحالات، لذا حدد القانون السرعة القصوى المسموح بها علي الطريق تاركاً تحديد السرعة المناسبة في كل حالة لتقدير السائق بعد مشاهدته لحالة الطريق في ذلك الوقت. فالسرعة تؤثر تأثيراً مباشراً علي اتضاح الرؤيا أمام السائق ، كما تؤثر علي مقدرته علي كشف حالة الطريق مما لا يمكنه من تحديد ما يحدث أمامه مباشرة وعلي جوانب الطريق ، لذلك تقل مقدرته علي التركيز. فالقيادة بسرعة شديدة تطلب درجة عالية من التركيز والانتباه والتفكير المستمر. وهذا يتطلب جهداً بدنياً وعقلياً كبيراً مما يؤدي إلى التعب والإرهاق بعد فترة وجيزة. وعلي السائق عند اختيار السرعة المناسبة

الأخذ في الحسبان الأحوال الجوية لتأثيرها علي مقدرته في الرؤيا بوضوح . السائق الماهر هو الذي يحاول معرفة مقدرات ومميزات مركبته عند استعمالها لأول مرة . وعليه أن يتعود عليها لفترة قبل أن يقرر السير بها بسرعة شديدة .

أن المقدرة للرؤية الأمامية من أهم ملامح السلامة والأداء الفعال للطريق . وينبغي ما أمكن أن يعالج التصميم الهندسي الوضوح المستمر للرؤية أمام السائق . ولمراعاة السلامة في الطريق ينبغي إيجاد مسافة رؤية كافية للسائق تمكنه من إيقاف مركبته قبل الاصطدام بأجسام غير متوقعة في الطريق ، وتسمى هذه " مسافة النظر للوقوف الآمن " . ولمراعاة فعالية الطريق ينبغي إيجاد مسافة رؤية كافية للسائق تمكنه من تخطي المركبات البطيئة بسلامة تامة وهذه تسمى " مسافة النظر للتخطي الآمن " .

تعتمد " مسافة النظر للوقوف الآمن " (وقوف المركبة ، التي تسير بالسرعة التصميمية للطريق ، دون الاصطدام بالمركبات البطيئة أو الأجسام الثابتة التي تظهر فجأة في مسارها) علي زمن الإدراك الحسي والتفكير ، وزمن رد فعل السائق ، والمسافة الضرورية لإيقاف المركبة بعد استخدام الكابح .

ويحتاج السائق للمسافات المقترحة في جدول (٤-٣) لإيقاف مركبته علي الطريق الحضري أو الريفي ، في الأحوال العادية . كلما زادت السرعة فعلى السائق أن يعلم انه يحتاج إلى مسافة أطول للوقوف ومسافة أخرى أكبر للتفكير ورد الفعل ليستطيع إيقاف مركبته كلياً عند ظهور الخطر أمامه ، فتزداد بذلك المسافة الكلية التي يحتاجها السائق لإيقاف مركبته . فالسائق العادي يأخذ حوالي ٠,٧٥ من الثانية كوقت للتفكير منذ اللحظة التي يري فيها الخطر وحتى يتمكن من الضغط علي الكابح لإيقاف مركبته إيقافاً كاملاً .

يختلف زمن التفكير حسب المسافة من الجسم والحالة الطبيعية لرد الفعل عند السائق ووضوح الرؤية وحالة الجو وحالة الطريق وموقفه ونوع الجسم الخطر ولونه وحالته وسرعة المركبة والحالة الصحية والنفسية للسائق ودرجة تركيزه علي الطريق .

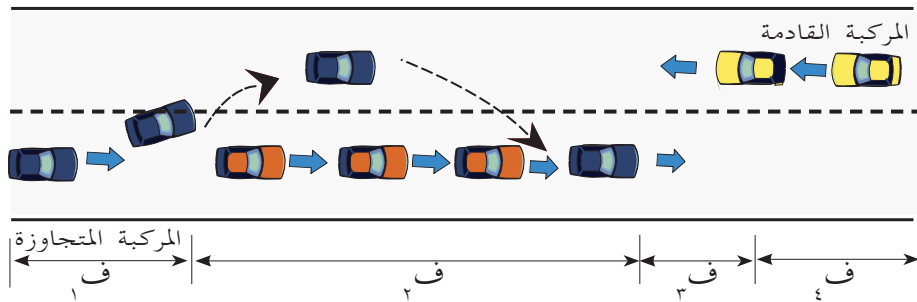
جدول (٣-٤) : أقل مسافة نظر مستخدمة لإيقاف المركبة علي الطريق .

السرعة (كلم / الساعة)	مسافة الوقوف (متر)	
	حضر	ريف
٣٠	٣٠	—
٥٠	٧٠	—
٦٠	٩٠	٩٠
٨٠	١٤٠	١٤٠
١٢٠	—	٣٠٠

المسافة الكلية التي يحتاجها السائق لإيقاف مركبته = مسافة التفكير + مسافة الوقوف بالكايح .

(٤-٤-٤) مسافة النظر للتجاوز :

من اجل بلوغ معدلات السعة التصميمية للطريق العام ، لابد من توفير مسافة نظر معقولة للمركبات السريعة للتجاوز بأمان للمركبات البطيئة . وهذه قد تشكل مشكلة حقيقية في الطريق ذي المسارين ، أو الثلاثة ، نسبة لاجتماع السيارات المتجاوزة للسير في المسار المستخدم للمركبات التي تسير في الاتجاه المضاد . واقل مسافة نظر مطلوبة لمركبة ما لتتجاوز بسلامة ، في طريق ذي مسارين أو ثلاثة ، هو مسافة الرؤية التي تمكن السائق المتجاوز ليتجاوز مركبة بطيئة الحركة دون التدخل في سرعة المركبة القادمة بالسرعة التصميمية للطريق .



شكل (٤-٦) : عناصر مسافة النظر للتجاوز في طريق ذي مسارين

كما موضح في شكل (٤-٦) هناك أربع مراحل لأقل مسافة مطلوبة للتجاوز

الآمن في طريق من مسارين علي النحو التالي .

- البعد F_1 يمثل الزمن الذي تأخذه (اوالمسافة المقطوعة) مركبة بينما يقرر السائق ما إذا كان آمناً أم لا . لتجاوزه المركبة التي امامه . وتوصف هذه المسافة علي انها زمن التردد والتي تكون في حدود ٣,٥ ثانية لظروف التجاوز المريحة .
- البعد F_2 يمثل الزمن الذي تأخذه (او المسافة التي تقطعها) المركبة المتجاوزة للقيام بمناورة التجاوز الفعلية ، وهي تبدأ في اللحظة التي يقوم فيها السائق المتجاوز بلف العجلة وتنتهي عند رجوعه للمسار الأصلي المخصص له .
- البعد F_3 ويطلق عليه البعد الآمن وهو عبارة عن الزمن (اوالمسافة) بين المركبة المتجاوزة والمركبة القادمة في اللحظة التي رجعت فيها المركبة المتجاوزة للمسار المخصص لها . ولدواعي السلامة يُفضل أن تكون هذه المسافة اكبر ما يمكن . أما المتطلبات العملية الاقتصادية فتستدعي بالضرورة أن تكون هذه المسافة اقل ما يمكن . ومن القيم المقترحة ١,٥ ثانية ، وهذه تعني انه إذا كانت السرعة النسبية المشتركة (المحصلة) حوالي ١٢٠ كلم / ساعة فيتطلب الموقف السماح بحد آمن ٥٠ متر بين المركبتين .
- البعد F_4 يمثل الزمن الذي تأخذه (أو المسافة التي تقطعها) المركبة المضادة بالسرعة التصميمية للطريق بينما تتم عملية التجاوز الحقيقية . وتحفظاً ، ينبغي ان تعبر عن المسافة الكلية المقطوعة بالمركبة المضادة عبر الزمن $F_1 + F_2$ ، غير انه عملياً هذه فترة طويلة . ومن الشكل يلاحظ من حركة سير المركبة المتجاوزة انها يمكنها الرجوع لمسارها في أي لحظة قبل ان تقترب من المركبة المضادة ، وإذا لم يؤخذ هذا الزمن الابتدائي في الحسبان يمكن تقدير بعد المركبة المضادة F_4 بحوالي $(\frac{F_2}{3})$.

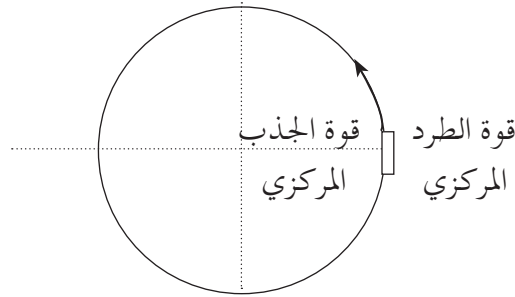
(٤-٤-٥) الانحناء الأفقي :

ان تصميم الانحناء الأفقي من أهم ملامح الكفاءة والسلامة في الطريق . إذ ان التصميم غير الجيد ينتج عنه سرعات قليلة وسعة قليلة للطريق . وأهمية الانحناء في الطريق مرتبطة بسلامته من الحوادث التي يمكن ان تنجم من تصميم منحني حاد . اذ تعتمد السرعة القصوى المريحة في المنحني الأفقي علي نصف قطر المنحني والارتفاع الإضافي للطريق ، بالإضافة إلى وجود ملامح مثل زيادة الطريق علي المنحنيات نفسها

وإدخال منحنيات انتقال بين الخطوط المستقيمة والمنحنيات . ومن ثم تُصمم الشوارع السريعة بحيث ان الجزء الخارجي من منحنى الشارع أعلي من الجزء الداخلي له لكي يساعد وزن المركبة وقوى الاحتكاك بين عجلاتها والأرض لموازنة قوى الطرد المركزية . أي جسم يتحرك بسرعة في مسار منحنى تؤثر عليه قوة رد فعل للخارج يطلق عليها قوة الطرد المركزية (Centrifugal force) وقوة مقاومة للداخل تسمى قوة الجذب المركزية . (انظر شكل (٤-٤٧))

تعريف :

- ١ . قوة الجذب المركزية : Centripetal force
هي القوة التي تُغير خط السير المستقيم للجسم وتجبره بالتحرك في خط منحنى . وهي قوة الاحتكاك بين إطارات المركبة والطريق .
- ٢ . قوة الطرد المركزية : Centrifugal force
هي القوة التي تؤثر على جسم يسير في منحنى في اتجاه عكسي لاتجاه مركز المنحنى وتساوي قوة الجذب المركزية في المقدار ومضادة لها في الاتجاه في حالة التصميم الجيد للطريق وعند السير بالسرعة التصميمية المجازة .



شكل (٤-٤٧) : حركة مركبة في مسار دائري

$$\text{قوة الطرد المركزية} = \frac{\text{الكتلة} \times (\text{السرعة})^2}{\text{نصف قطر المنحنى}}$$

$$= \frac{ك \times ع^2}{نق}$$

..... (٤-١٨)

حيث : ك = كتلة الجسم (كجم)
 ع = السرعة (م / ث)
 نق = نصف قطر المنحني بالمتر

مثال (١٩-٤) :

سيارة كتلتها ١٠٠٠ كجم تسير في منحني أفقي بسرعة ثابتة مقدارها ٢٥ م / الثانية. إذا كان نصف قطر المنحني الأفقي ١٢٥ متر، جد قوة الطرد المركزية.

الحل :

المعطيات : ك = ١٠٠٠ كجم ، ع = ٢٥ م / ث ، نق = ١٢٥ م .
 قوة الطرد المركزية = $\frac{ك \times ع^2}{نق}$

قوة الطرد المركزية = $١٠٠٠ \times ٢٥^2 \div ١٢٥ = ٥٠٠٠$ نيوتن

تعمل قوة الطرد المركزية في منحنيات الطرق على قلب المركبة أو انزلاقها خارجاً من مركز منحني الطريق. وتستمر هذه القوى فاعلة ومؤثرة ما فتئ الجسم متحركاً في منحني دائري. يمثل شكل (٤-٤٨) القوى المؤثرة على مركبة أثناء سيرها في منحني أفقي دون وجود انزلاق أو أجهاد على الإطارات ، ونسبة لان الطريق مستو والقوى العاملة في حالة اتزان (أنظر شكل (٤-٤٨)) ، فإن مقدار قوة الاحتكاك الأفقية لمقاومة الطرد المركزية يمكن إيجادها من المعادلة (١٩-٤) .

$$ق = \frac{و \times ع^2}{د \cdot نق} \dots (١٩-٤)$$

حيث :

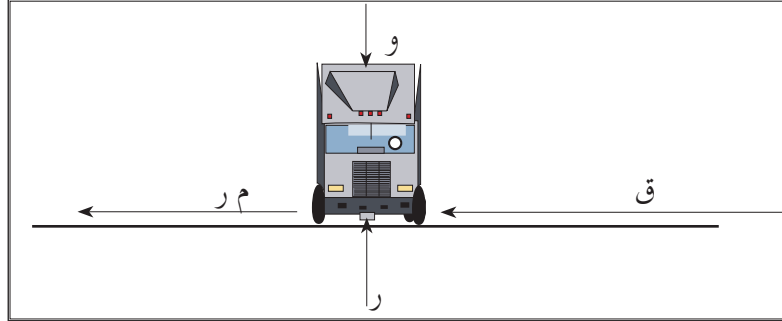
ق = قوة الاحتكاك الأفقية المقاومة لقوة الطرد المركزية (نيوتن) .

و = وزن المركبة (نيوتن) .

ع = سرعة المركبة (م / ث) .

ج = عجلة الجاذبية الأرضية (م / ث^٢) .

نق = نصف قطر المنحني (م) .



شكل (٤-٨) القوى المؤثرة على مركبة في منحنى أفقي .

لاحظ أن قوة الاحتكاك الأفقية المقاومة لقوة الطرد المركزية تساوي قوة الطرد المركزية لأن :

$$\frac{و}{د} = ك$$

∴ قوة الاحتكاك أفقية (ق) = م × ر

حيث :

م = معامل الاحتكاك الأفقي .

ر = قوة رد الفعل العمودي .

في حالة المركبة أعلاه : ر = و (وزن المركبة)

(ق) = م × و

$$ق = م . ر = و . م = \frac{و ع^2}{د . ن ق}$$

وعليه يمكن حساب معامل الاحتكاك من العلاقة :

$$م = \frac{و ع^2}{د . ن ق} \dots\dots (٤-٢٠)$$

مثال (٢٠-٤):

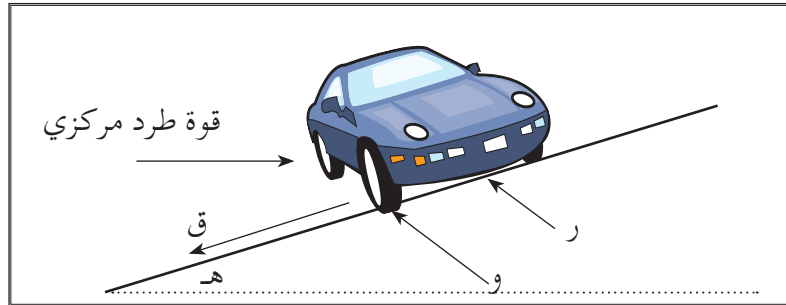
جد معامل الاحتكاك الأفقي للعربة في المثال (١٩-٤).

الحل:

$$ع = ٢٥ م/ث ، د = ١٠ م/ث^٢ ، نق = ١٢٥ م$$

$$م = \frac{ع^٢}{د.نق} = \frac{٢٥^٢}{١٢٥ \times ١٠} = ٠,٥$$

لمقاومة قوة الطرد المركزية المؤثرة نحو الخارج حتى لا يكون الاعتماد كلياً علي قوة الاحتكاك ؛ لان ذلك يستهلك إطارات السيارات ، فمن المعتاد تصميم الطريق عند المنحنيات بحيث يميل الطريق إلى الداخل فيكون مرتفعاً في اتجاه قوة الطرد المركزي ومنحدرًا نحو قوة الجذب المركزي كما مبين في الشكل (٤٩-٤) .



شكل (٤٩-٤) : مقطع طريق (مركبة على مسار مائل).

وفي حالة ميلان الطريق بزاوية معينة (هـ) فان:

$$م + ظاه (٢١-٤) = \frac{ع^٢}{د.نق}$$

وهذه تعني بوضوح أن قوة الطرد المركزية تقاوم جزئياً بالانحدار وجزئياً بالاحتكاك العرضي. وعملياً تستخدم السرعة التصميمية العالية في ساحات (track) سباق السيارات ، ولا يمكن استخدامها لوحدها في الطرق السريعة العادية بسبب المخاطر للمركبات البطيئة الحركة. وقد أشارت الأبحاث إلى أن أهم عامل يتحكم في سرعة

المركبة علي منحني ما، هو الشعور بعدم الراحة لدي السائق عند انسياب مركبته على المنحني بسرعة معينة ، والذي له علاقة مع نسبة الطرد المركزية والتي بدورها لها علاقة مع المقاومة الإنزلاقية المطلوبة للقيام بالمناورة. ونلاحظ في المنحني أن الجزء القريب من مركز المنحني يكون منخفضاً نسبياً عن الجزء البعيد من مركز المنحني وذلك لمنع المركبات من الانزلاق.

تمارين (٦-٤)

- ١ . سيارة كتلتها ٩٠٠ كجم تسير في منحني أفقي بسرعة ثابتة مقدارها ١٨ م/ث. إذا كان نصف قطر المنحني الأفقي ١٠٨ متر جد :
 أ / قوة الطرد المركزية.
 ب / معامل الاحتكاك الأفقي. ($d = 10 \text{ م/ث}^2$).
- ٢ . سيارة تسير في منحني أفقي نصف قطره ١٠٠ متر بسرعة ثابتة مقدارها ٢٠ م/ث. إذا كانت قوة الطرد المركزية تساوي ٤٥٠٠ نيوتن. جد كتلة السيارة ومعامل الاحتكاك الأفقي.
 ($d = 10 \text{ م/ث}^2$).
- ٣ . منحني أفقي نصف قطره ١٢٠ متر تسير عليه سيارة كتلتها ١٢٠٠ كجم بسرعة ثابتة. إذا كانت قوة الطرد المركزية ٣٦٠٠ نيوتن. جد سرعة السيارة.
- ٤ . سيارة تسير بسرعة ٢٥ م/ث في منحني أفقي ، فإذا كان معامل الاحتكاك الأفقي ٥ ، ٠ ، جد نصف قطر المنحني.