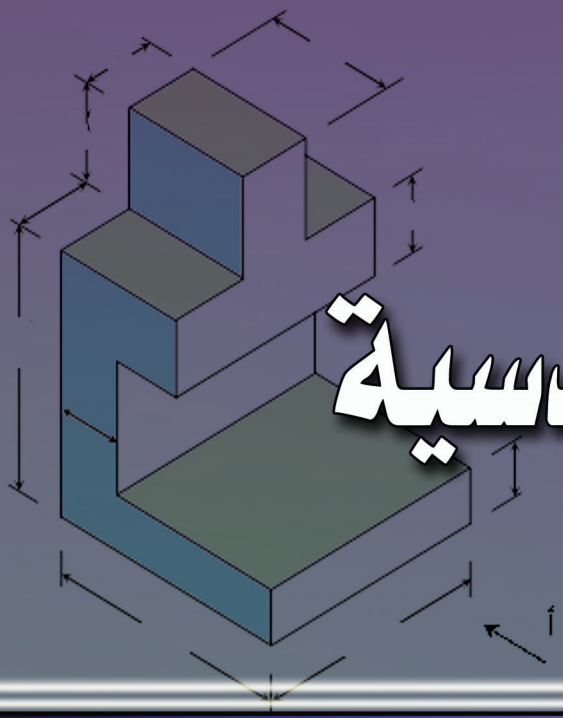
جمهورية السودان

وزارة التعليم العام

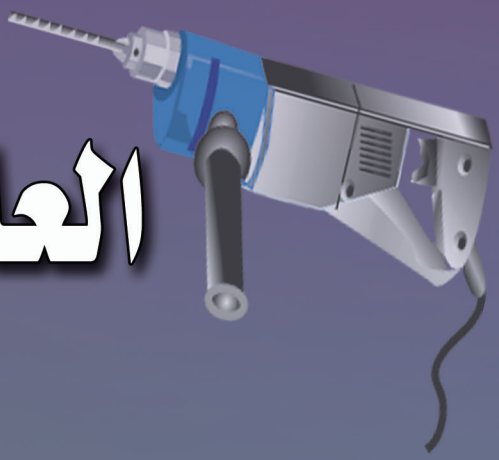
المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

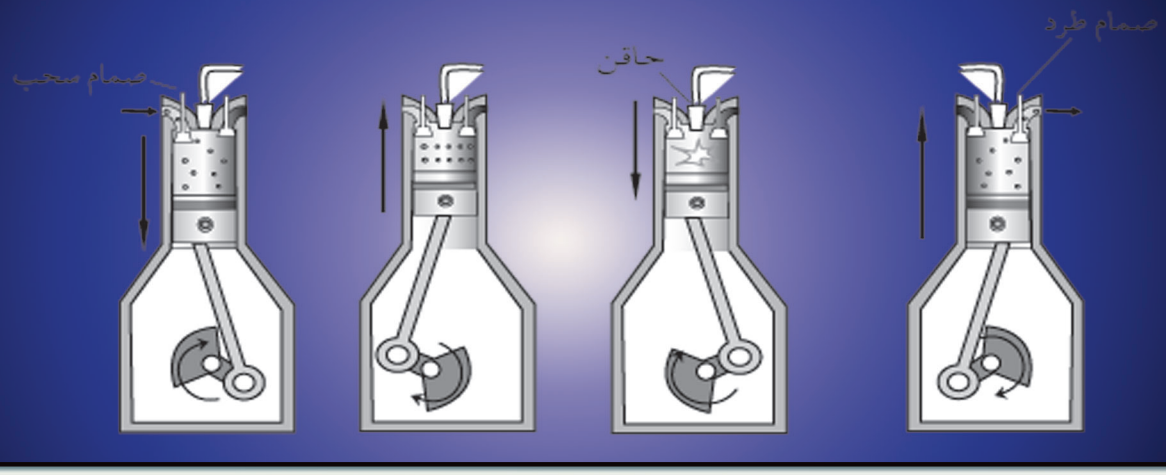
بخت الرضا

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 محمدعلي : جامعة الخرطوم

أ . أبو القاسم عبد القادر صالح : خبير تربوي

أ . محمد عبدالله خير الله : الخبير الوطني للتعليم الفني

تنقيح و إثراء :

د .عبد الرؤوف خضر محمد : المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

أ . د عصام محمد عبد الماجد : جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

أ . محمد عثمان عبدالله : جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

أ . عبد الله محمد علي طه : المدرسة البلجيكية

التصميم والإخراج الفني:

أ .مجدي محجوب فتح الرحمن : المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

ISBN 978-99942-53-15-9 ردمك

مقدمة الطبعة الثانية

انبثقت «العلوم الهندسية» استجابة لمواكبة متغيرات العصر ومفرزات العولمة ومنتجات التجارة الإلكترونية وانفتاح السوق ، سيما وتعتمد هذه الأنماط الحياتية على الإنتاج الهندسي الصناعي وترتبط بالتكنولوجيا المهنية وتلك المفرطة في الصغر.ففي اطار تملك نواصي المهنة وامتهان الصناعة لا بد من الالمام بالمفاهيم الهندسيةومعرفة 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 والتشيدية 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 والمنتوجات التقنية . قال محمود سامي البارودي:

وَلُجّ هندسةٍ تجري بحكمتِه جداولُ الماءِ في هالٍ من الأكمِ

ولنعمل مع علي الجارم :

عجائبُ صُنع يصَغرُ الدهرُ دونها وكلُّ فعال الخالـــــدين عُجابُ

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 تبيان الاطار المهني، و توضيح القالب الفني بغية تبسيط سحر العلوم الهندسية، وادخال جوهر الفنون المهنيـة 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 الراقي ، 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 ، وتسمـو الأسرة ، ويشمـخ الفرد ، و يسـطر التاريـخ ، و تصطاد جوائز العلم و المعرفة .

ونقول للطالب مثلما نوه أمير الشعراء أحمد شوقي :

ما زلتْ تذهبُ في السمو بركنهِ حتى تجاوز ركنه الجوزاءَ

ولله دره إبراهيم طوقان من قائل :

مرحى لشبان البلاد فما لهم إلا السمو إلى العلى من ديدن

وننشد مقالة أبي عبادة البحتري:

سموٌّ إلى أعلى الفعال و خطوةٌ إلى المجدِ مرمى العينِ في الجوِ قيدُها

و نرجو مع معروف الرصافي:

شباب مشوا للمكرماتِ بعزمة تقاعسَ عنها الكوكبُ المتوقد

وبالله التوفيق « ....**وقل رب زدني علـماً** »[1] صدق الله العظيم .

سبحانك اللهم ،لا إله إلا أنت نستغفرك ونتوب إليك .

.. **المنقحون** ..

---

١ . سورة طه ،الآية ١١٤ .

المحتويات

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

الباب الثاني :أساسيات الهندسة الميكانيكية :

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

محركات الديزل

- مقدمة ٨٣
- الأجزاء الرئيسة لمحرك الديزل ٨٣
- دورة الديزل الرباعية ٨٣
- نسبة الإنضغاط ٨٥
- تمارين (٢–٥) ٨٩

الباب الثالث : أساسيات الهندسة الكهربائية

الآلات الكهربائية :..... ٩١

- ماكينات التيار المستمر ٩١
- أجزاء ماكينات التيار المستمر ٩٢
- معادلة (ق . د . ك) المنتجة في موصلات عضو الإنتاج ٩٤
- تمارين (٣–١) ٩٦
- مواصفات أداء المولد مع الحمل الكهربائي ٩٧
- محرك التيار المستمر ٩٩
- تمارين (٣–٢) ١٠٢

مولدات التيار المتردد :..... ١٠٤

- مقدمة ١٠٤
- مقدار (ق . د . ك) المنتجة في مولد التيار المتردد ١٠٤
- أثر الأقطاب المقناطيسية والسرعة على التردد ١٠٥
- تمارين (٣–٣) ١٠٨
- دوائر التيار المتردد ١٠٩
- التيار المتردد ١٠٩
- التيار المتردد في دائرة بها مواسعة فقط ١١٣
- المفاعلة السعوية ١١٣
- التيار المتردد في دائرة بها محاثة فقط ١١٤
- المفاعلة الحثيـــة ١١٥
- التيار المتردد في دائرة بها مواسعة ومقاومة موصلتا على التوالي ١١٦
- تمارين (٣–٤) ١٢١

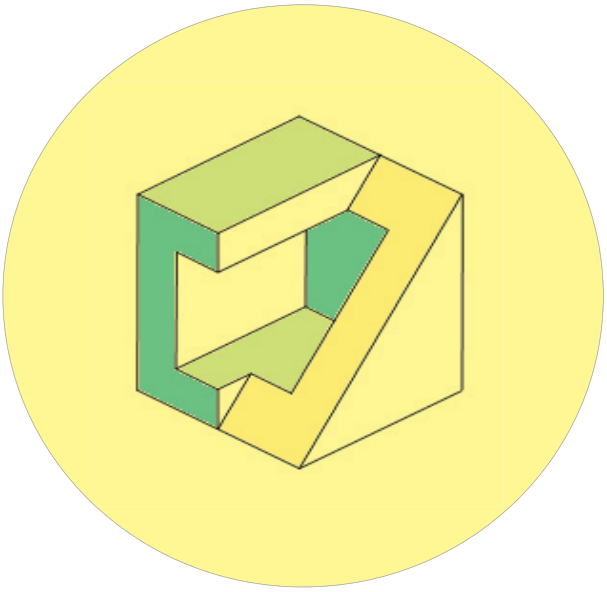
مولد التيار المتردد ثلاثي الأطوار	١٢٢
– أنواع مولدات التيار المتردد ثلاثي الأطوار.....	١٢٢
– تقنين المولدات	١٢٤
– توليد القدرة في مولدات التيار المتردد ثلاثي الأطوار	١٢٤
– توصيل أطراف المولد.....	١٢٥
– تمارين (٣–٥)	١٢٨
المحولات :.....	١٢٩
– أجزاء المحول الرئيسة.....	١٢٩
– فكرة عمل المحول ومعادلات المحول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

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

أساسيات هندسة الطرق والمرور	٢٠٢
– مقدمة	٢٠٢
– التخطي.....	٢٠٤
– السرعة.....	٢٠٦
– مسافة النظر للتجاوز	٢٠٨
– الإنحناء الأفقي.....	٢٠٩
– تمارين (٤–٨).....	٢١٤

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 ٢٠مم .

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

عندما يراد رسم مساقط أي منظور يجب إتباع الخطوات التالية :

١ .دراسة المنظور بصورة عامة لتحديد أبعاده الرئيسة (الطول، العرض والارتفاع) .

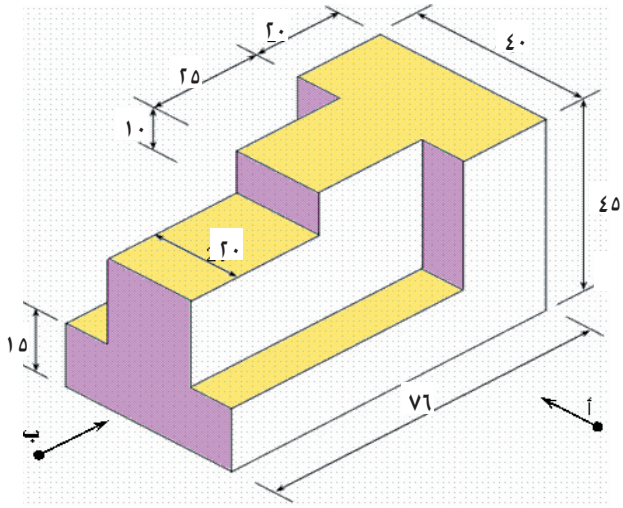
٢ . تحديد طريقة توزيع المساقط على ورقة الرسم حتى تكون متناسقة ومترابطة .

٣ . الانتباه للتعليمات المطلوبة لنظام الإسقاط (الزاوية الأولى ام الثالثة) .

٤ . تحديد أسهم النظر إلى المنظور لتحديد موقع المسقط الجانبي (أيمن ام أيسر)

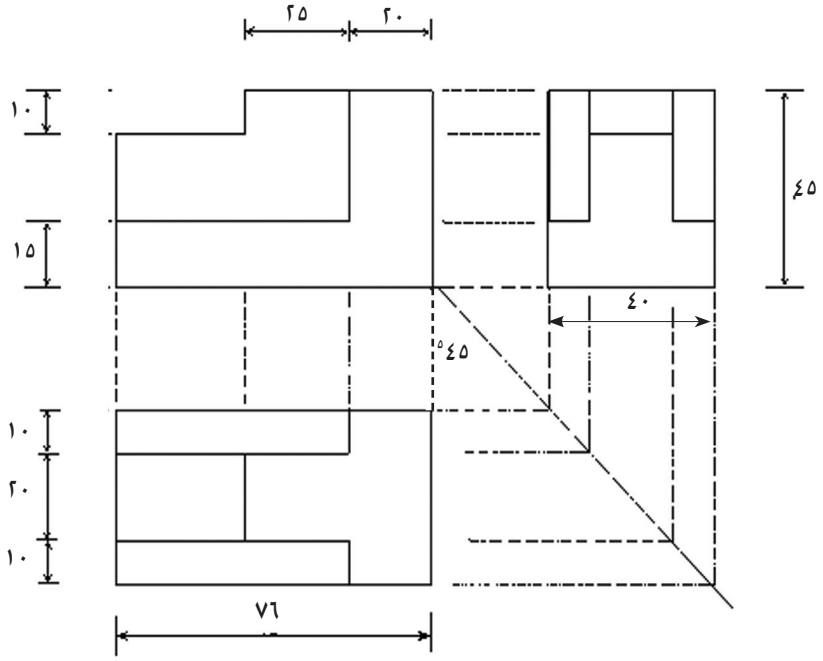
مثال(١-١) :

من المنظـــــــور في الشكل (١-١) وبنظام الزاوية الأولي ارسم مسقطاً رأســـياً ناظراً في اتجاه الســـهم (أ) ، ومسقطـــــــاً جانبيـــاً في اتجاه السهم (ب)، ثم مسقطاً أفقياً . المقاسات بالملليمتر ومقياس الرسم ١ : ١ .



شكل (١-١) منظور ايسومتري

الحل :



شكل(١-٢) : مساقط مرسومة بالزاوية الأولى

مثال (١-٢) :

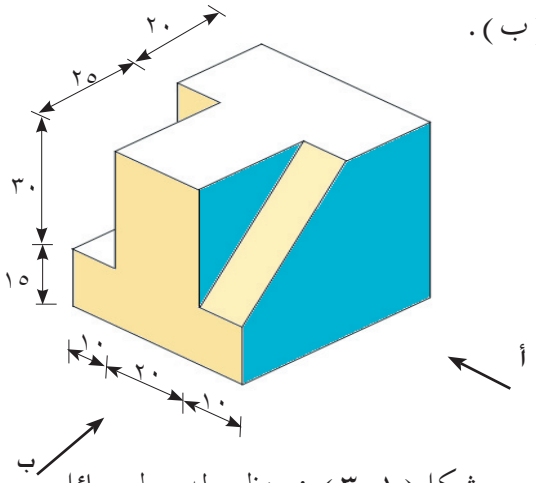
من المنظور في الشكل (١-٣) ارسم بمقياس رسم كامل الأتي :

١- مسقطاً أمامياً في إتجاه السهم (أ) .

٢- مسقطاً جانبي في إتجاه السهم (ب) .

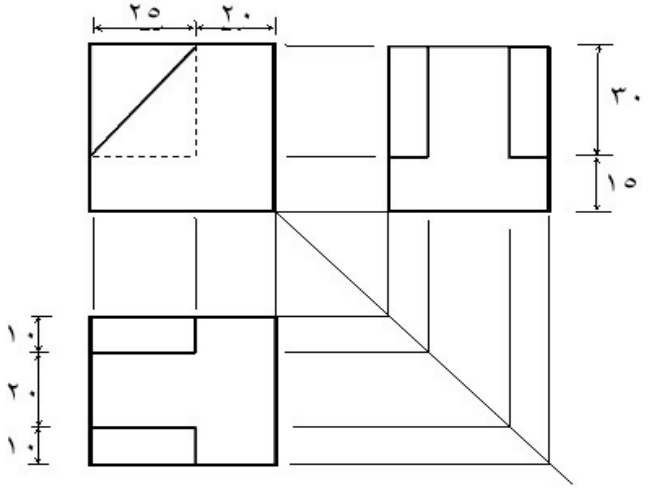
٣- مسقطاً أفقياً .

(المقاسات بالملليمتر) .



شكل(١-٣) : منظور له سطح مائل

الحل :



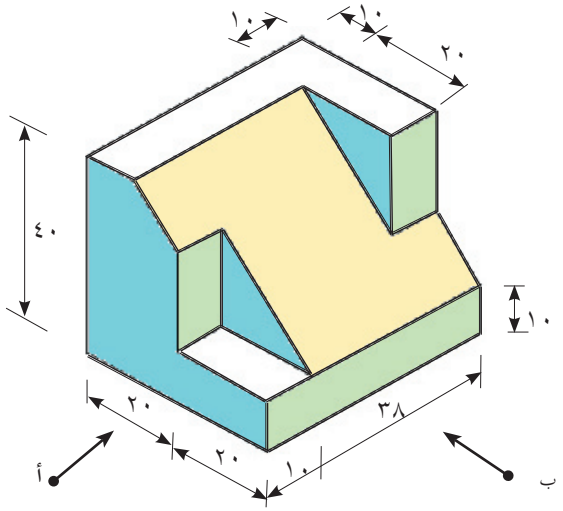
شكل (١ - ٤) : مساقط المنظور

مثال(١-٣) :

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

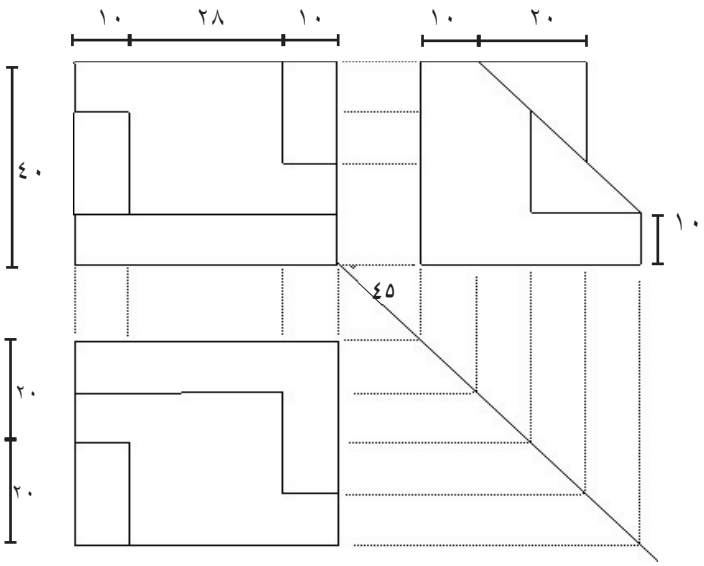
١ . مسقطاً جانبياً في اتجاه السهم (أ) .

٢ . مسقطاً أفقيا . ٣ . مسقطاً رأسياً .



شكل (١-٥) : منظور ايسومتري

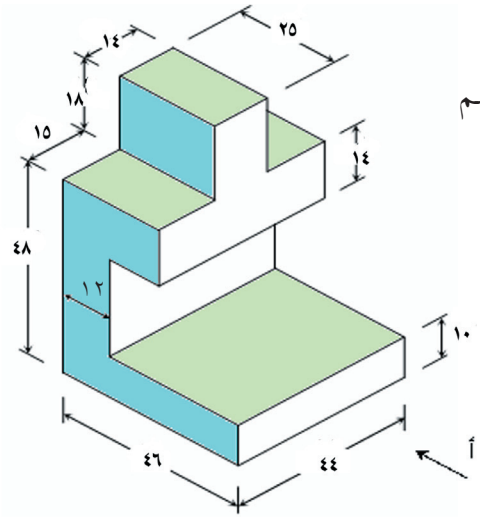
الحل :



شكل (١-٦) : المساقط الرئيسة الثلاثة للمنظور

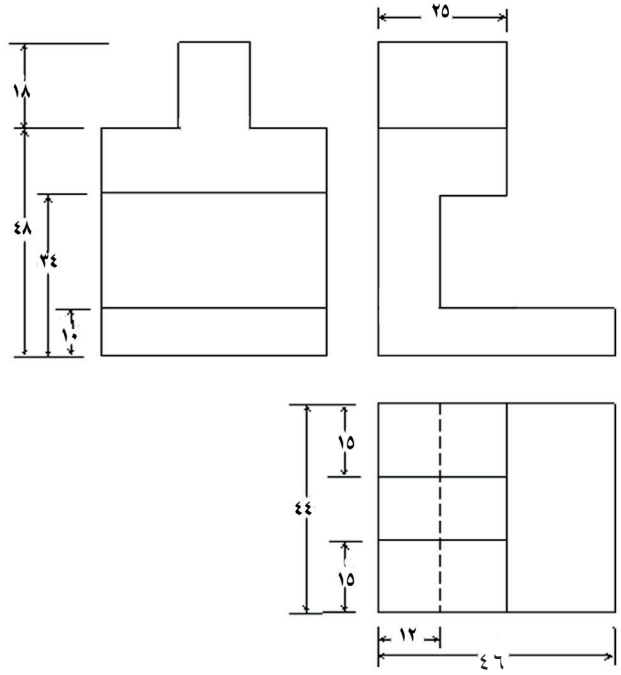
مثال (١–٤) :

من المنظور في شكل (١–٧) أرسم مسقط جانبياً في إتجاه 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) :

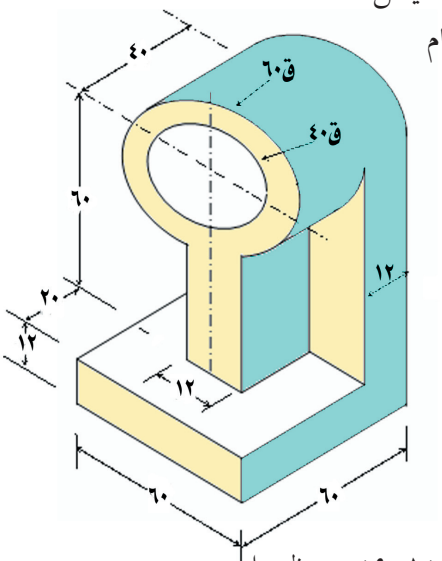
من المنظور في الشكل (١–٩) أرسم بمقياس رسم ١ : ١ المساقط الأتية مستخدماً نظام الزاوية الأولي :

١ . مسقط امامي أيمن .

٢ . مسقط جانبي .

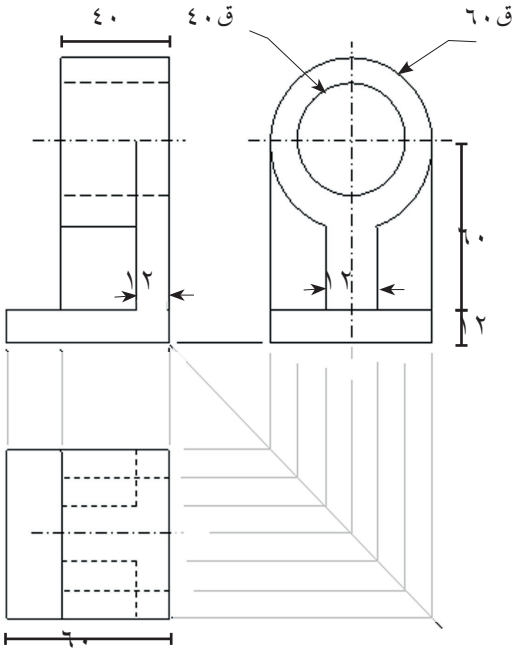
٣ . مسقط أفقي .

كل المقاسات بالمليمتر .



شكل (١–٩) : منظور ايسومتري

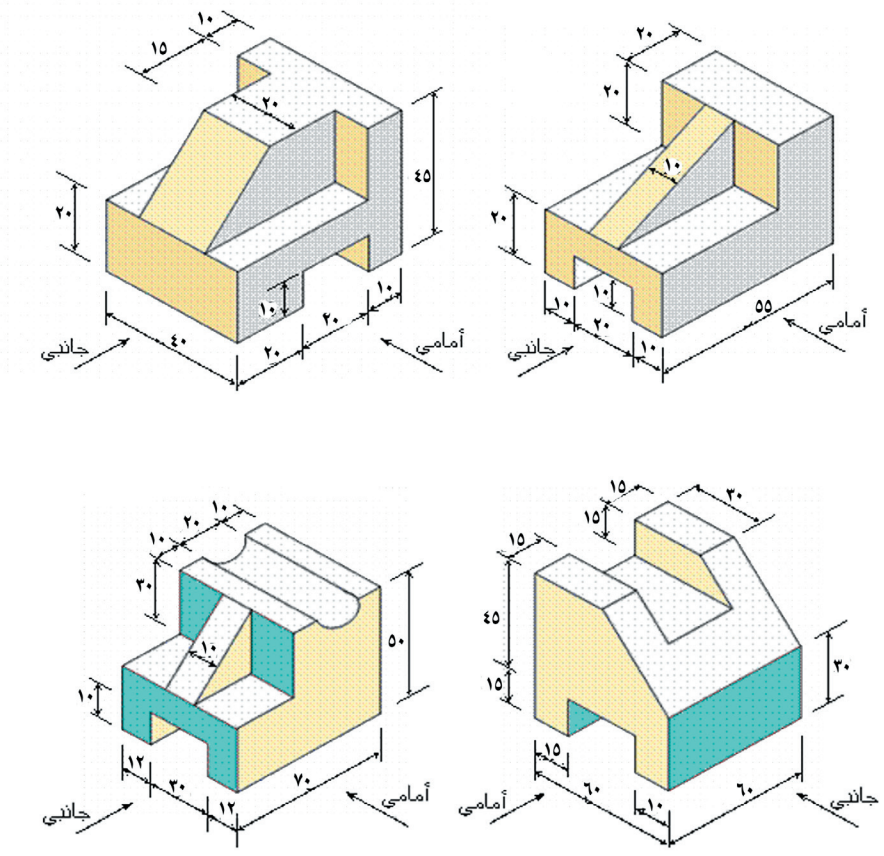
الحل :



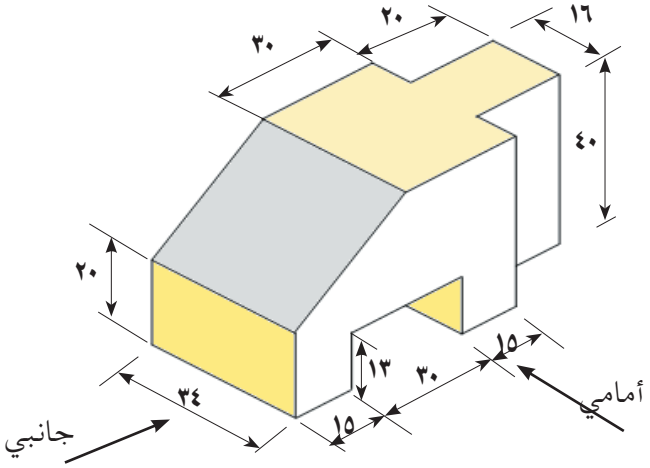
شكل (١–١٠) : المساقط الرئيسة للمنظور

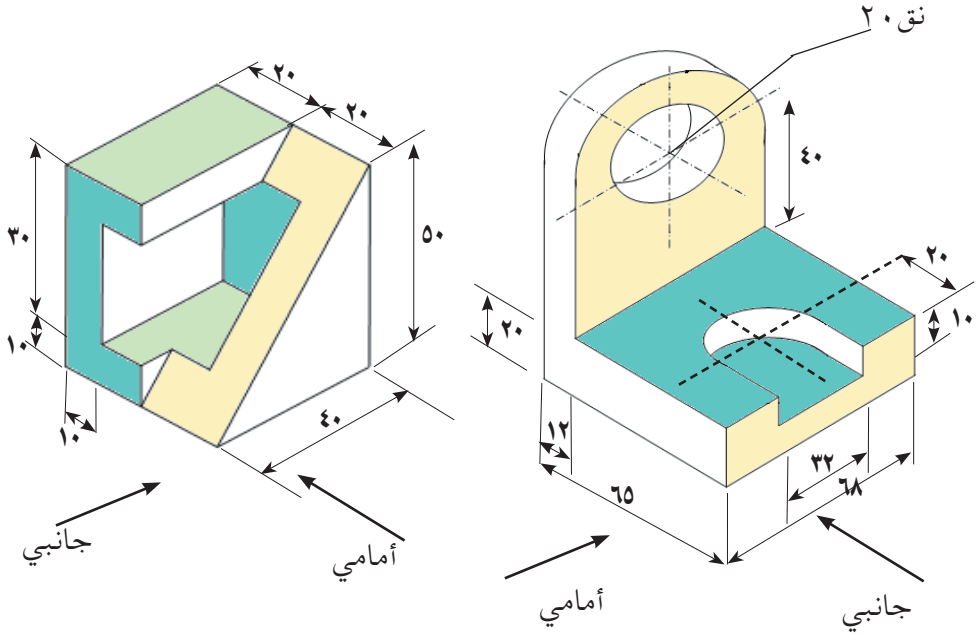
تمارين (١-١)

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



شكل (١-١١) : (أ)

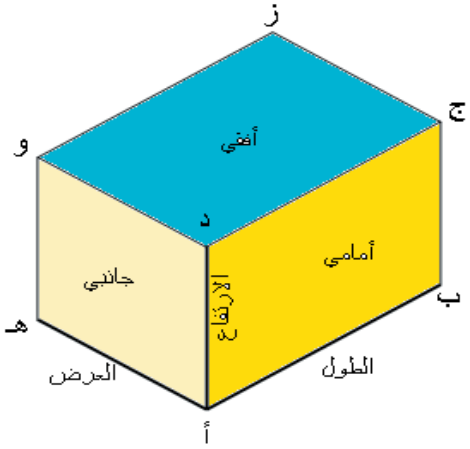

٢٠
١٦
٣٠
٤٠
٢٠
١٣
٣٠
١٥
١٥
٣٤
جانبي
أمامي


نق ٢٠
٢٠
٢٠
٣٠
٥٠
١٠
١٠
٤٠
٤٠
٢٠
٢٠
١٠
١٢
٣٢
٦٨
٦٥
جانبي
أمامي
أمامي
جانبي

شكل (١-١١) : (ب)

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

المنظور الهندســـــي في شكله البسيـــــط ، عبارة عن مكعب يتكون من ستة سطوح مستـــوية، كل سطح يتعامـــــد مع الذي يجـــاوره ويوازي الذي لا يجاوره. الشكل (١-١٢) يبين منظور هندسي بسيط (مكعب).



شكل (١-١٢) : منظور هندسي بسيط

من الشكل (١-١٢) يلاحظ أن للمنظور ثلاثة أبعاد رئيسة(الطول والعرض والارتفاع) تتكون منها المساقط الرئيسة (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 الرئيسة الثلاثة كلها. وعليه يمكن استخدامها في رسم (استنتاج) المسقط الثالث.

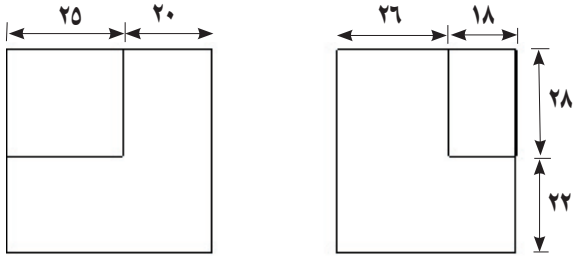
لاستنتاج المسقط الثالث من مسقطين معلومين يجب مراعاة الاتي :

أولاً : دراسة نقاط تحديد الأبعاد في المسقطين المعلومين بدقة، وربط كل نقطة أو خط أو سطح في أحد المسقطين المعلومين بصورتهما في المسقط المعلوم الآخر حتى يمكن استنتاج المسقط المطلوب بإسقاط النقاط المختلفة.

ثانياً: أي سطح يوازى 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 مائلا على أي مستوى فانه لا يظهر بشكله الحقيقي وأبعاده الأصلية على جميع المستويات.

مثال(١-٦) :

استنتج المسقط الأفقي من المسقطين الأمامي والجانبي المبينين في الشكل (١-١٣).



الشكل (١-١٣) : مسقطين أمامي وجانبي .

الحل :

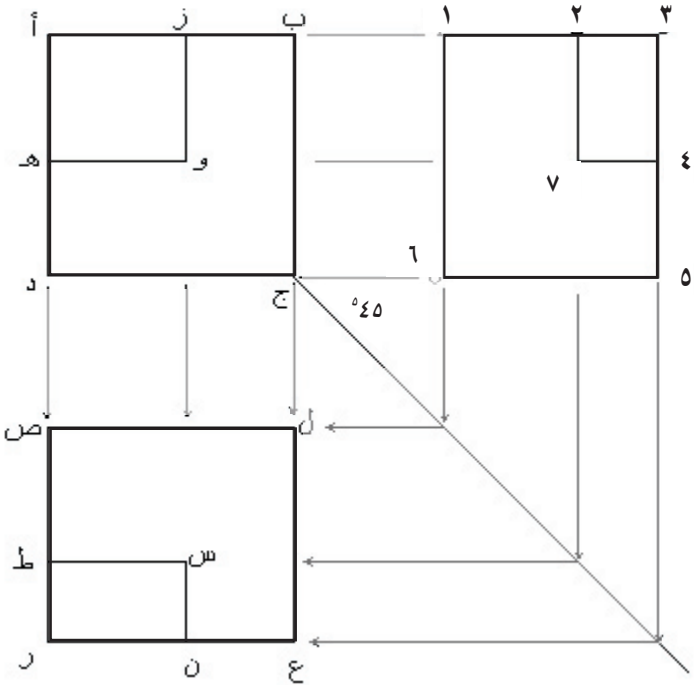
ارسم المسقطين الأمامي والأفقي ثم سمي المسقط الأمامي (أ ب ج د هـ و ز)، و المسقط الجانبي (١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧)، كما بالشكل (١-١٣). ادرس المسقطين بعناية ستجدهما مسقطان لمنظور يتكون من جزءين.

الجز الأول مسقطه الأمامي (أ ب ج د) ومسقطه الجانبي (١ ٣ ٥ ٦) المسقطين لهما نفس الارتفاع.

الجز الثاني مسقطه الأمامي (أ ز و هـ) ومسقطه الجانبي (٢ ٣ ٤ ٧) المسقطين لهما نفس الارتفاع.

اسقط نقاط الجزء الأول (أ ب ج د) و (١ ٣ ٥ ٦) 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.

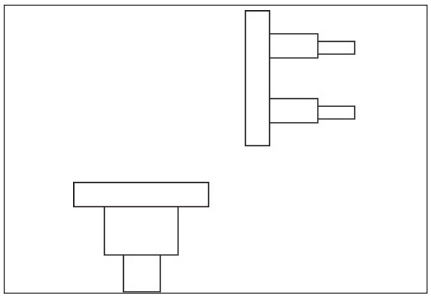
اسقط نقاط الجزء الثاني (أ ز و هـ) و (٢ ٣ ٤ ٧) في اتجاه موقع المسقط الأفقي المراد رسمه, ستجد خطوط الإسقاط هذه تتقاطع أيضا في أربع نقاط أخرى سمها (س ط ر ن). النقاط (س ط ر ن) تمثل المسقط الأفقي للجزء الثاني. بذلك يكون المسقط الأفقي للمنظور قد اكتمل كما في الشكل(١-١٤).



الشكل (١-١٤) إستنتاج المسقط الثالث .

مثال(١- ٧) :

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



شكل (١-١٥) : مسقطين أفقي وجانبي

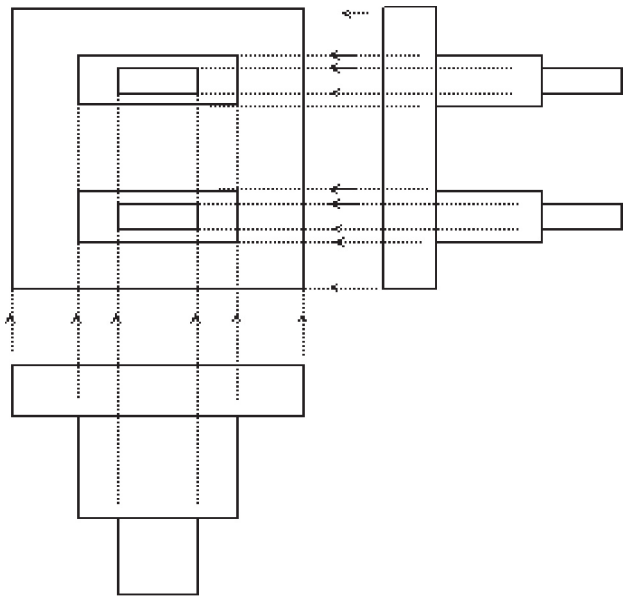
الحل :

لإيجاد المسقط الرأسي لا حاجة لاستعمال البرجل أو طريقة النقل على خط مائل على زاوية ٤٥ درجة كما في حالتي 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 المُسقطة من المسقط الجانبي.

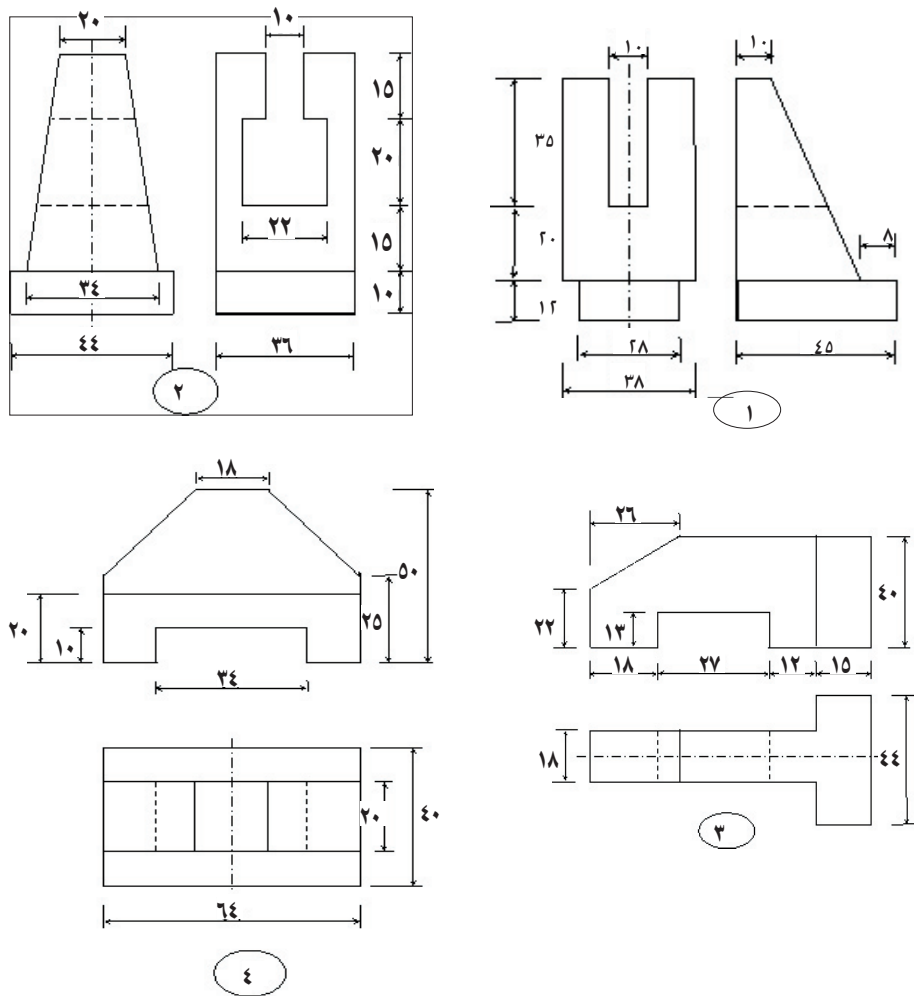
٣. بعد دراسة المسقطين الجانبي والأفقي جيداً، صل نقاط التقاطع بخطوط ظاهرة لتحصل على المسقط الرأسي كما مبين في الشكل (١ – ١٦).



شكل (١–١٦) : استنتاج المسقط الثالث .

تمارين (١-٢)

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



شكل (١-١٧)

(١-٢) المنظـور 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 انواع رئيسة :

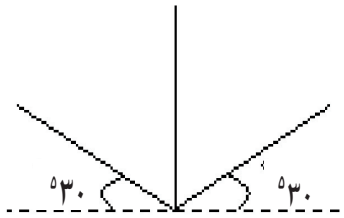
١. المنظور الفوتوغرافي أو التصويري.
٢. المنظور المائل على وجهين على زاوية ٣٠° (ايسومتري).
٣. المنظور المائل على وجه واحد على زاوية معينة.

(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.

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

يُرسم هذا المنظور على ثلاثة محاور رئيسة أحداها رأسي والآخران يميل كل منهما على الخط الأفقي بزاوية مقدارها ٣٠° درجة كما بالشكل (١-١٨). على هذه المحاور الثلاثة يقاس طول الشكل وعرضه وارتفاعه.



شكل(١-١٨) : المحاور الرئيسة للآيسومتري

عند رسم المنظور ذا الوجهين المائلين (الأسومتري) 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 ٣٠° 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 .

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

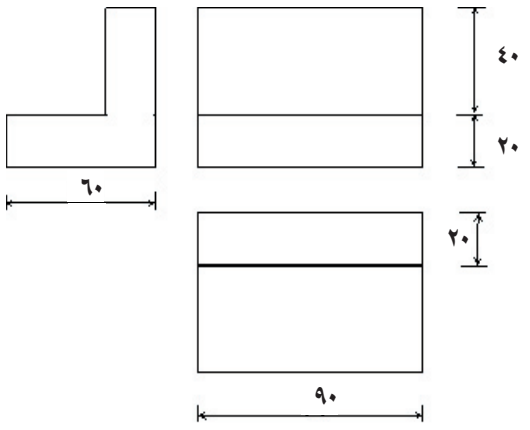
لرسم المنظور الأيسومتري المائل على زاوية ٣٠° يُتَّبع الخطوات التالية :

١ . ادرس المساقط من حيث :
أ . نظام الرسم (الزاوية الأولى أم الزاوية الثالثة) .
ب . حدد الأبعاد الكلية للشكل من حيث الطول والعرض والإرتفاع .
ج . حدد المنظور المجسم المطلوب من حيث الميل (٣٠° ، ٤٥°) .

٢ . أبدا برسم المسقط الأوضح والأسهل للمنظور بخطوط راسية وأخرى مائلة على الأفقي بزاوية مقدارها ٣٠° (نحو اليمين أو اليسار حسب موقع المسقط في المنظور) .

مثال(١-٨) :

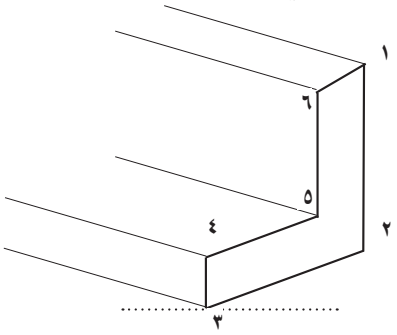
ارسم المنظور المجسم المائل على زاوية ٣٠° (الأيسومتري) للمساقط المبينة في شكل(١-١٩) موضحاً عليها جميع المقاسات .



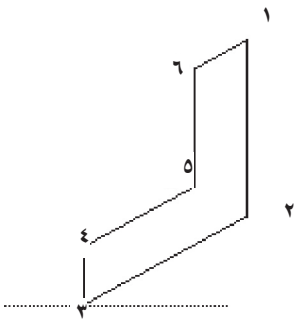
شكل (١-١٩) : ثلاثة مساقط لمنظور رُسِمت بالزاوية الأولى

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 برسم هذا المسقط بخطوط عمودية وأخرى مائلة على الأفقي بزاوية مقدارها ٣٠° نحو اليمين . وسنُرقِم جميع نقاطه, كما مبين في الشكل (أ) أدناه .



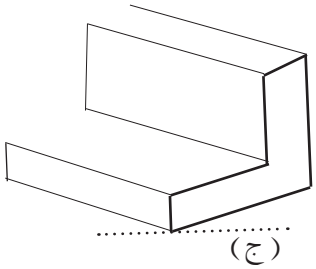
(ب)



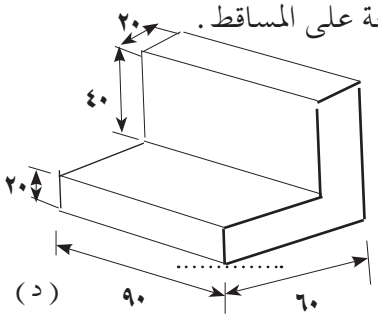
(أ)

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 .



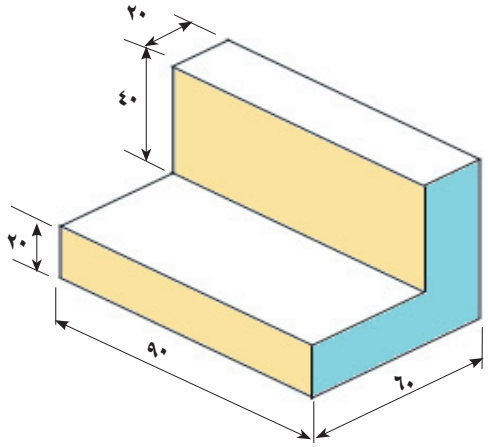
(ج)



(د)

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 (١-٢٠).



شكل (١-٢٠) : رسم المنظور الآيسومتري

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

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 الاوبليك :

مثال(١-٩) :

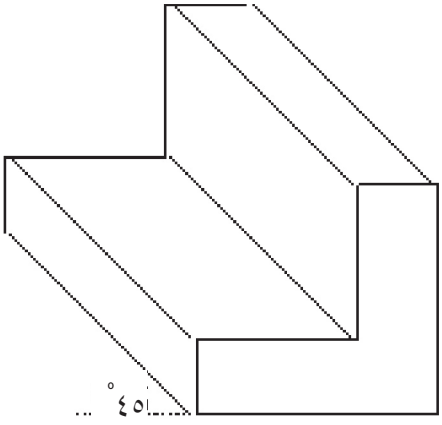
من المساقط المبينة في المثال(١-٨) شكل(١-١٩) السابق ارسم المنظور الاوبليك المجسم المائل على زاوية مقدارها ٤٥°.

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.

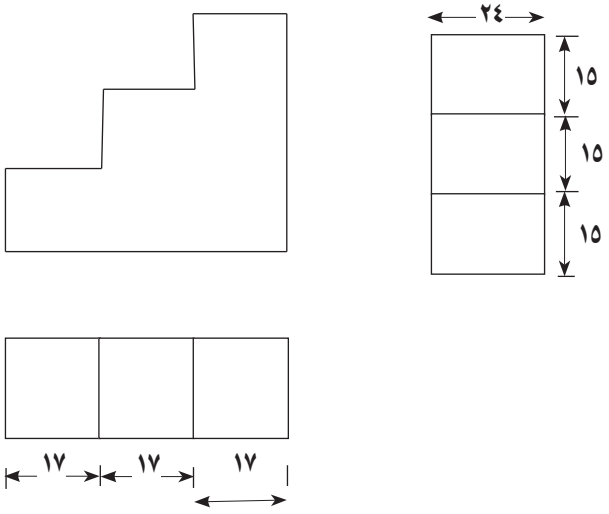
٣. حدد المسقط الأسهل والأكثر تعبيراً ووضوحاً (المسقط الأيمن) لبدأ الرسم ثم اتبع نفس الخطوات التي أُتبعت في المثال السابق للحصول على المنظور الاوبليك المطلوب كما موضح بالشكل(١-٢٢).



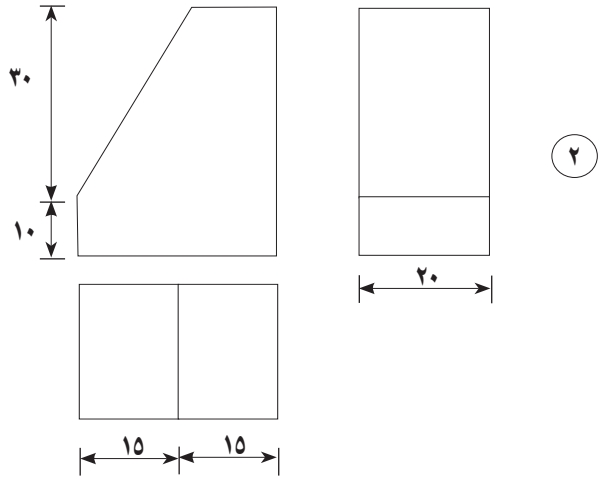
الشكل(١-٢٢) المنظور الاوبليك.

تمارين (١-٣)

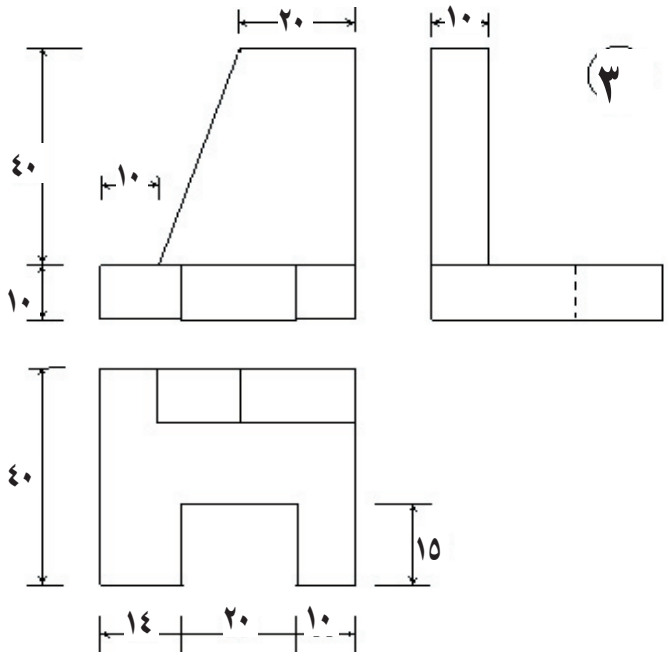
ارسم المنظور الايسومتري والمنظور الاوبليك المائل بزاوية ٤٥° للأشكال(١-٢٣) التالية مع اختيار الأبعاد المناسبة إن لم توجد .

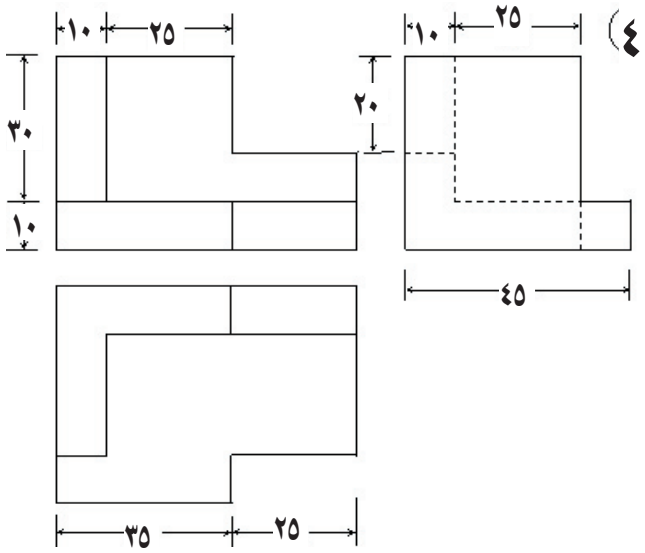


١



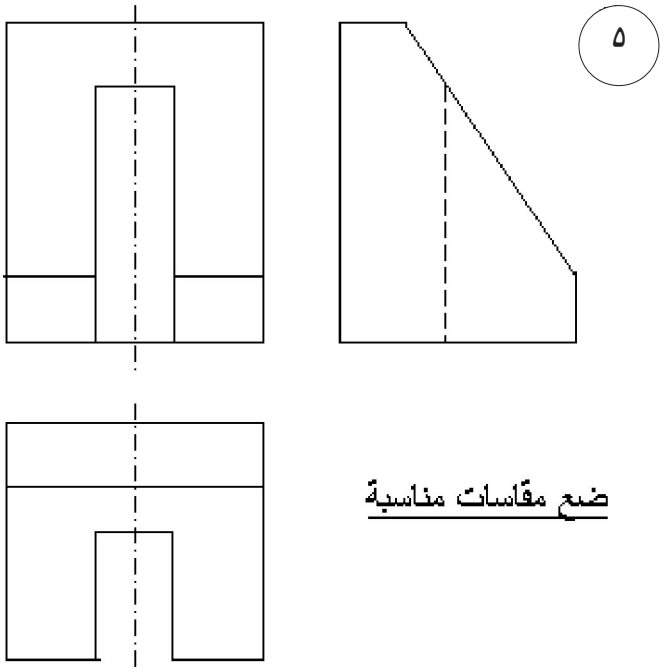
٢





شكل (١-٢٣)

٥



ضع مقاسات مناسبة

(١-٣) الإفراد Developments

يُقصد من عملية الإفراد 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 ويُثنى بعدها ليشكل النموذج المطلوب. ولعملية الإفراد 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 إفراد 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 إفرادها لان كافة مقاطعها عبارة عن دوائر ولا تحتوي على خطوط مستقيمة.

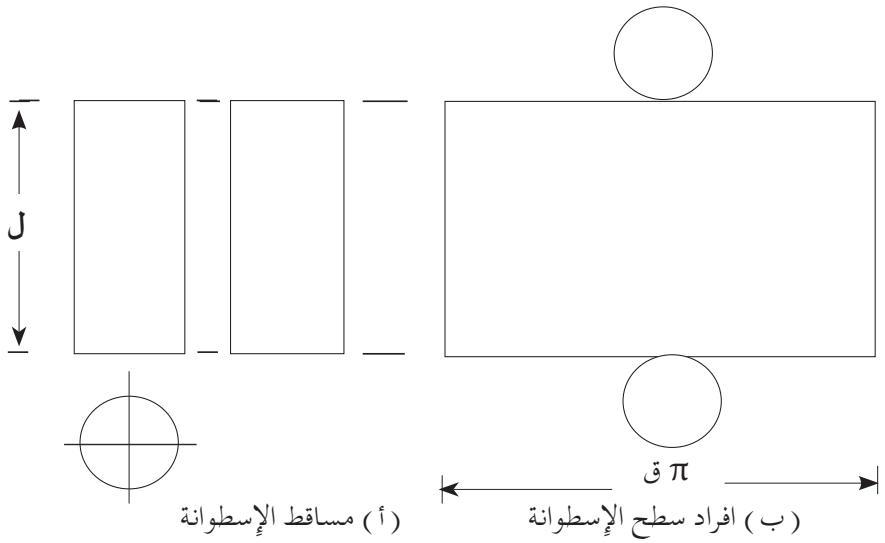
(١-٣-١) طريقة رسم مساقط الاسطوانة وافراد سطحها :

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

أ- لرسم مساقط الاسطوانة نتبع الخطوات التالية :

١. ارسم دائرة قطرها يساوي قطر قاعدة الاسطوانة لتمثل المسقط الأفقي للاسطوانة.
٢. اسقط عمودين من طرفي قطر الدائرة في اتجاه المسقط الأمامي.
٣. حدد ارتفاع الاسطوانة في العمودين ثم صلهما بخطوط أفقية ، وبذلك يصبح إسقاط الاسطوانة في المسقط الأمامي عبارة عن مستطيل عرضه قطر الاسطوانة وارتفاعه ارتفاع الاسطوانة.
٤. لا يختلف شكل المسقط الجانبي للاسطوانة عن شكل المسقط الأمامي في شئ ، إذ أن عرض المسقط الجانبي هو قطر الاسطوانة بينما ارتفاعه هو نفس ارتفاع المسقط الأمامي كما مبين – انظر المثال التالي.

ب- يرسم إفراد الاسطوانة بقطعها عند أي خط على سطحها يوازى محورها. وان إفراد السطح الجانبي للاسطوانة عبارة عن مستطيل طوله يساوي محيط الاسطوانة (٢ π نق) أو (π ق)، وارتفاعه (ل) هو ارتفاع الاسطوانة كما هو واضح من الشكل(١-٢٤).



شكل (١-٢٤) : مساقط وافراد الإسطوانة.

تمرين :

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

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

المخروط مجسم منشوري قاعدته دائرة وقمته نقطة وله سطح منحني 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 ومده على استقامته في اتجاه موقع المسقط الرأسي ، ثم حدد 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 لان عرض المسقط الجانبي هو قطر قاعدة المخروط وان ارتفاع المسقط الجانبي هو نفس ارتفاع المسقط الأمامي. شكل(١-٢٥).

ب- من الممكن رسم إفراد المخروط بسهولة ، لان 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 إفراد المخروط تبعا للخطوات التالية.

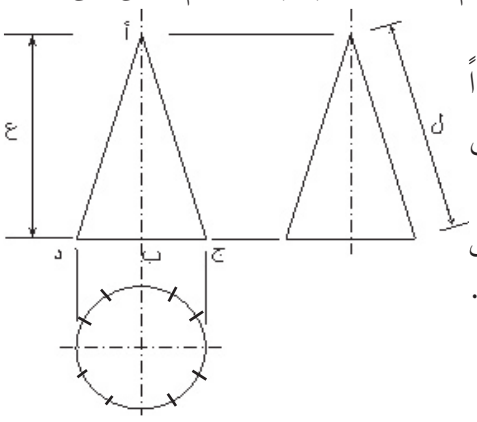
١. يرسم المسقط الأمامي والمسقط الأفقي للمخروط أولا.

٢. تُقسم قاعدة المخروط إلى عدد من الأقسام المتساوية وليكن (١٢) قسماً مثلاً (مع العلم انه كلما كانت الأقسام أكثر كان رسم الإفراد أكثر دقة)

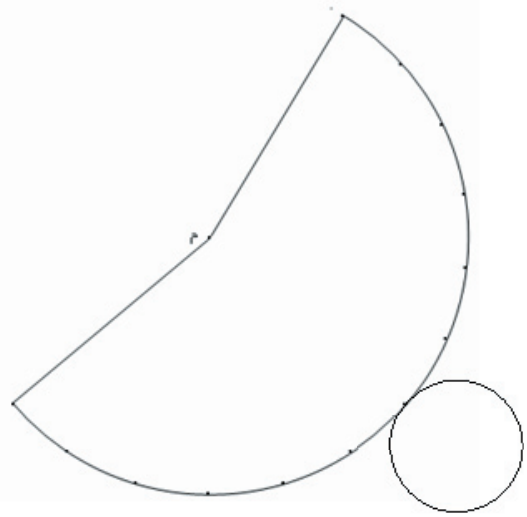
٣. يُفتح البرجل فتحة تساوي طول راسم المخروط (ل) ويرسم قوس من دائرة مركزها (م).

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 إفراد سطح المخروط. كما في شكل(١-٢٥).



شكل(١-٢٦): مساقط المخروط



شكل (١-٢٦) : افراد سطح المخروط

تمرين :

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

(١-٣-٣) 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 رقِم أضلاعه (أ١ ، ب١ ، ج١ ، د١ ، هـ١ ، و١) بالترتيب، كما بالشكل(١-٢٧).

٢- اسقط خطوطاً رأسية من النقاط (أ١ ، ب١ ، ج١ ، د١) 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 (أ٢ ، ب٢ ، ج٢ ، د٢) ، 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 (أ٣، ب٣، ج٣، د٣) والتي تمثل قمة المسقط الأمامي للمنشور.

٥- وصِل بين النقاط (أ٢، ب٢، ج٢، د٢) والنقاط (أ٣، ب٣، ج٣، د٣) لتحصل على ثلاثة مستطيلات هي بمثابة المسقط الأمامي للمنشور.

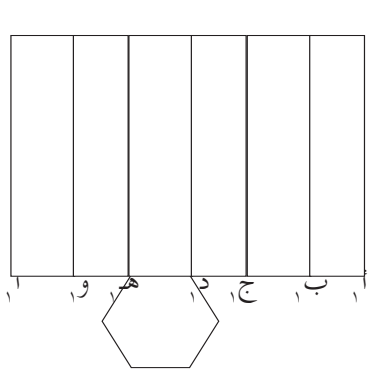
٦- ارسم خط إسقاط يميل بزاوية ٤٥° ابتداءاً من النقطة (أ٢) الواقعة على المسقط الأمامي.

٧- أسقط بخط إسقاط واحد النقاط (أ٢، ب٢، ج٢، د٢) أفقيا في اتجاه موقع المسقط الجانبي، وكذلك افعل بالنقاط (أ٣، ب٣، ج٣، د٣).

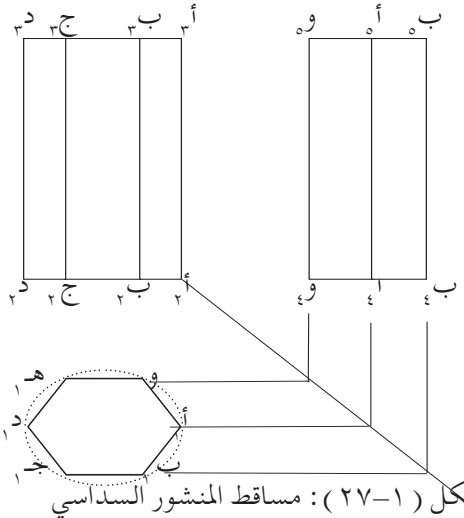
٨- أسقط النقاط (أ١، ب١، و١) أفقيا حتى تتقاطع مع الخط المائل بزاوية ٤٥° ثم مدها رأسيا نحو موقع المسقط الرأسي لتتقاطع مع الخطوط الأفقية المرسومة في الخطوة السابقة رقم (٧)، وسمي نقاط التقاطع هذه (أ٤، ب٤، و٤) للقاعدة و (أ٥، ب٥، و٥) للقمة.

٩- وصل بين هذه النقاط لتحصل علي مستطيلين هما بمثابة المسقط الجابي للمنشور السداسي.

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



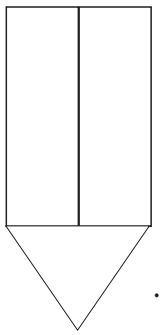
شكل (١-٢٨): افراد المنشور السداسي



شكل (١-٢٧): مساقط المنشور السداسي

ب- المنشور الثلاثي :

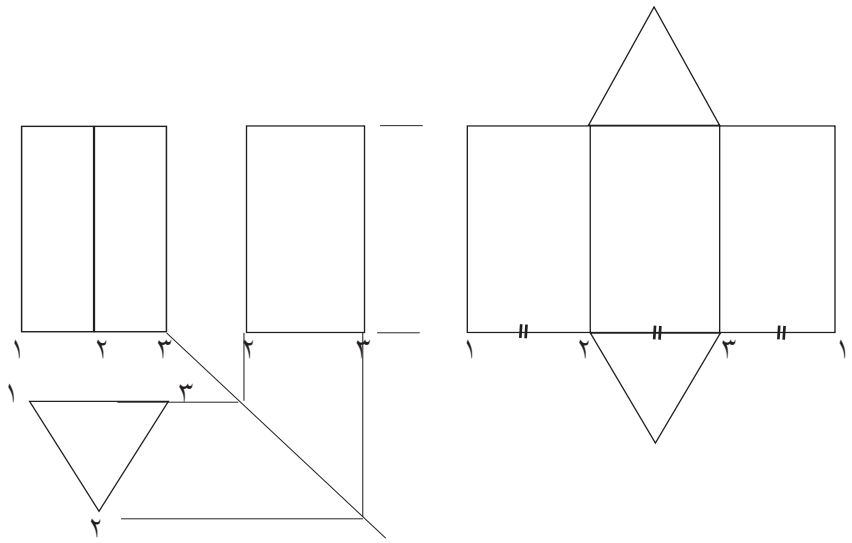
الشكل(١-٢٩) يمثل مسقطين أمامي وأفقي لمنشور ثلاثي طول ضلع قاعدته ٢٠ مم وارتفاعه ٣٠ مم.



شكل (١-٢٩) : مسقطين لمنشور ثلاثي.

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

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



شكل (١-٣٠) : 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 (م١). شكل(١-٣١).

٢. ارسم القاعدة السداسية للهرم على المحورين المتعامدين بحيث النقطة (م١) تقع على مركز السداسي ، ثم سمي رؤوس القاعدة (أ١ ، ب١ ، ج١ ، د١ ، هـ١ ، و١). وبخطوط ظاهرة صل النقطة (م١) بجميع رؤوس القاعدة . ويمثل هذا الشكل المسقط الأفقي للهرم.

٣. اسقط أعمدة من النقاط (أ١ ، ب١ ، ج١ ، د١ ، هـ١ ، و١ و م١) في اتجاه موقع المسقط الأمامي.

٤. على مسافة مناسبة من المسقط الأفقي ارسم خط أفقي ليقطع هذه الأعمدة في (أ٢ ، د٢ ، هـ٢ ، و٢). هذا الخط الواصل بين النقاط (أ٢ ، و٢ ، هـ٢ ، د٢) يمثل قاعدة الهرم في المسقط الأمامي.

٥. على امتداد المحور الرأسي المار بمركز القاعدة (م) حدد نقطة رأس الهرم (مَ).

٦. صل جميع نقاط القاعدة بالنقطة (مَ) للحصول على شكل المسقط الرأسي للهرم.

٧. اسقط بخط إسقاط أفقي قاعدة الهرم من المسقط الأمامي في اتجاه المسقط الجانبي.

٨. اسقط قمة الهرم (م٢) بخط إسقاط أفقي في اتجاه المسقط الجانبي.

٩. ارسم خط إسقاط يميل بزاوية ٤٥° ابتداءاً من النقطة (أ) الواقعة على المسقط الأمامي.

١٠. اسقط أفقيا جميع نقاط المسقط الأفقي (أ١ ، ب١ ، ج١ ، د١ ، هـ١ ، و١). بخطوط إسقاط لتلاقي الخط المائل بزاوية ٤٥°. ثم اسقط نقاط التلاقي هذه رأسياً الي اعلى بخطوط إسقاط لتتقاطع عند النقاط (أ، ب ، و) مع الخط المُسقط من قاعدة المَسقط الأمامي. الخط الواصل بين النقاط (أ ، ب ، و) يمثل قاعدة الهرم في المسقط الجانبي.

١١ . اسقط أفقيا النقطة (م١) في المسقط الأفقي بخط إسقاط يلاقي الخط المائل بزاوية ٤٥° ، ومن نقطة التلاقي هذه يسقط خطاً رأسياً في اتجاه المسقط الجانبي ليتقاطع عند النقطة (م٣) مع الخط المُسقط من قمة الهرم (م٢) . النقطة (م٣) تمثل قمة الهرم في المسقط الجانبي . صل (م٣) بالنقاط القاعدّة للحصول على المسقط الأفقي .

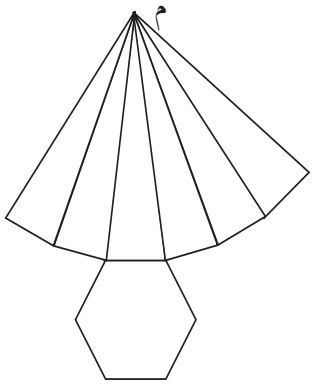
ب- افراد الهرم هو عبارة عن سطح مكون من عدة مثلثات متجاورة بعدد أضلاع القاعدة .يمكن رسم افراد الهرم بإتباع للخطوات التالية .

١ . يرسم المسقط الأمامي والمسقط الأفقي للهرم كما سبق .

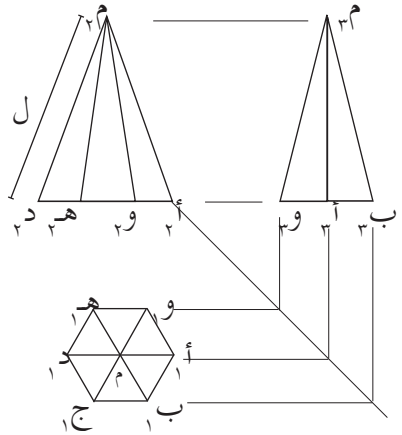
٢ . يفتح البرجل فتحة تساوي طول الارتفاع المائل للهرم (ل) ويرسم بخط رفيع قوس من دائرة مركزها (م) .

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 إفراد سطح الهرم والذي يتكون من ستة مثلثات . كما في شكل (١-٣٢) .



شكل (١-٣١) : مسقط هرم سداسي

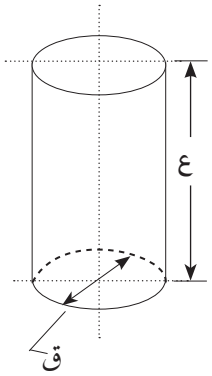


شكل (١-٣٢) : إفراد هرم سداسي

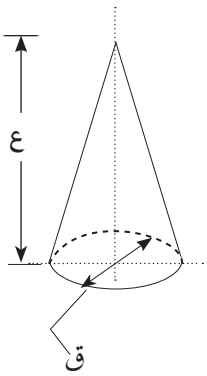
تمارين (١-٤)

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

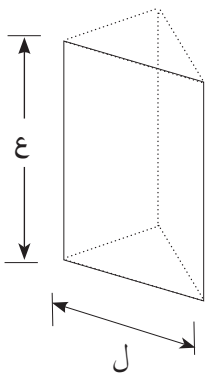
٢- ضع مقاسات مناسبة ثم أرسم المساقط الرئيسة وإفراد سطوح الأشكال الهندسية الموضحة في الشكل التالي:



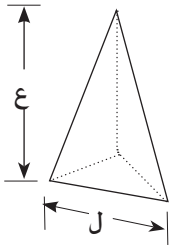
(أ)اسطوانة .



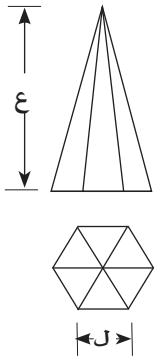
(ب) مخروط .



(جـ) منشور ثلاثي.



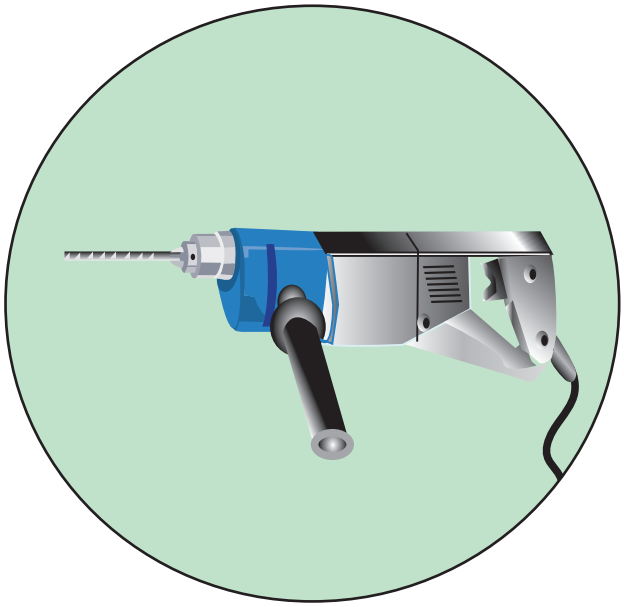
(د) هرم ثلاثي



(هـ) هرم سداسي

الباب الثاني

أساسيات الهندسة الميكانيكية
Mechanical Engineering Principles



الباب الثاني

أساسيات الهندسة الميكانيكية
Mechanical Engineering Principles

(٢-١) 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 بوساطة 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 التثقيب والمخارط والمكاشط والفرايز فإنها جميعا تعتبر آلات تستخدم نفس النظريات الموجودة في الآلات البسيطة.

(٢-١-١) فوائد الآلات البسيطة:

للالات البسيطة فوائد عديدة نذكر منها:

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

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

يمكن وصف الآلة على انها 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.

$$\text{الفائدة الميكانيكية} = (\text{ف.م}) = \frac{\text{المقاومة}}{\text{المجهود}} \quad \text{.....(٢-١)}$$

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

مثال (٢-١):

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

الحل:

ثقل الجسم = ٥ طن × ١٠٠٠ × ١٠ = ٥٠٠٠٠ نيوتن.

المجهود = ٤٠٠ نيوتن.

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

$$\text{ف.م} = ٥٠٠٠٠ \div ٤٠٠ = ١٢٥$$

(٢-١-٣) 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 فان 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.

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{الشغل المبذول علي المقاومة (الناتج)}}{\text{الشغل المبذول بالمجهود (المبذول)}}$$

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{المقاومة} \times \text{المسافة التي تحركتها المقاومة}}{\text{المجهود} \times \text{المسافة التي تحركها المجهود}} \quad \text{.....(٢-٢)}$$

الآلة المثالية :

الآلة التي كفاءتها تساوي الوحدة (١٠٠٪) تسمى آلة مثالية أو آلة مكتملة، و يفترض فيها أن يكون جميع أجزاءها 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 :

كتلة الجسم = ١٠٠٠ كجم ، المسافة التي تحركتها = ٠,٠٠٣ متر.

الشغل الناتج من الآلة = ثقل الجسم × المسافة التي تحركها في نفس اتجاه حركته

= ١٠٠٠ × ١٠ × ٠,٠٠٣ = ٣٠ نيوتن. متر = ٣٠ جول.

القوة المؤثرة (المجهود) = ١٠٠ نيوتن لمسافة ٠,٤ م

الشغل المبذول على الآلة = القوة المؤثرة × المسافة التي تحركتها في اتجاه حركتها

= ١٠٠ نيوتن × ٠,٤ م = ٤٠ جول

كفاءة الآلة = الناتج ÷ المبذول = ٣٠ ÷ ٤٠ = ٠,٧٥ = ٧٥ ٪

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

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

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

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

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

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

$$\text{الكفاءة} = \text{الفائدة الميكانيكية} \times \frac{١}{\text{نسبة السرعة}}$$

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

للآلات المثالية التي كفاءتها الواحد الصحيح (١٠٠٪) :

$$\frac{\text{الفائدة المكانيكية}}{\text{نسبة السرعة}} = ١$$

وبالضرب العكسي نجد :

نسبة السرعة = الفائدة الميكانيكية

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

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

(**ملحوظة:** *مقدارالنسبة السرعية 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(٢–٣) :

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

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

الفائدة الميكانيكية = الكفاءة X نسبة السرعة

= ٠,٧ X ٤ = ٢,٨

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

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

القوة المؤثرة = ٢٠ ÷ ٢,٨ = ٧,١٤ نيوتن

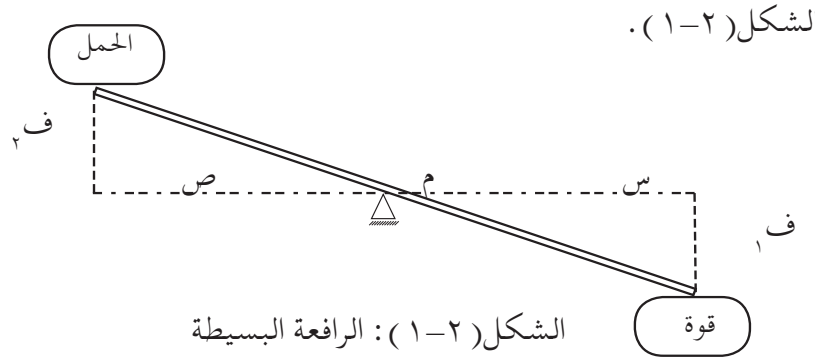
أنواع الآلات :

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

(٢-١-٥) الرافعة الميكانيكية : Lever

الرافعة هي ابسط 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 انواع حسب موضع محور الارتكاز (Pivot) بالنسبة لكلٍ من المجهود (Effort) والمقاومة (الحمل) (Load). ولا يوجد اختلاف جوهريٍ بينها.

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



الشكل(٢-١) : الرافعة البسيطة

يظهر من شكل (٢-١) أن :

ف١ = المسافة الرأسية التي تتحركها القوة.

ف٢ = المسافة الرأسية التي يتحركها الحمل(المقاومة).

س = ذراع القوة.

ص = ذراع المقاومة

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

$$\text{ن . س} = \frac{\text{ف}_1}{\text{ف}_2}$$

من تشابه المثلثين نجد :

$$\frac{\text{ف}_1}{\text{ف}_2} = \frac{\text{س}}{\text{ص}}$$

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

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

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 (٢–٦)، وعليه للالة المثالية :

الفائدة الميكانيكية = ١

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

$$\frac{\text{المقاومة}}{\text{القوة}} = ١$$

القوة = المقاومة

ب. القسم الثانى: 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 .

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

$$\frac{\text{المقاومة}}{\text{القوة}} > ١$$

∴ المقاومة > 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 .

∴ القوة > 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 قصرالمسافة 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– للآلة المثالية (كفاءة الآلة = ١٠٠٪ = ١) :

الفائدة الميكانيكية = نسبة السرعة

∴ الفائدة الميكانيكية = ١٠

ولكن

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

$$١٠ = \frac{٤٠}{\text{القوة}}$$

$$\text{القوة} = \frac{٤٠}{١٠} = ٤ \text{ نيوتن}$$

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

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

$$٠,٨ = \frac{\text{الفائدة المكانيكية}}{١٠}$$

∴ الفائدة الميكانيكية = ٨

ولكن

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

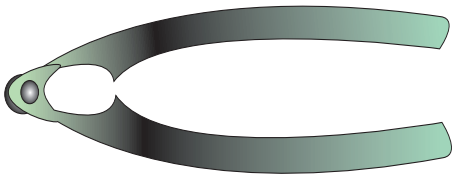
$$٨ = \frac{٤٠}{\text{القوة}}$$

∴ القوة $= \frac{٤٠}{٨} =$ ٥ نيوتن

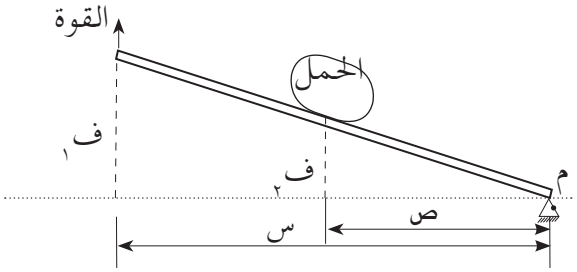
∴ القوة اللازمة هي ٥ نيوتن عندما تكون كفاءة الرافعة ٨٠٪ .

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) ومجداف المركب عندما يكون في الماء.



شكل (٢–٢) :كسارة البندق



شكل (٢–٣) : رافعة يتوسطها الحمل .

من تشابه المثلثان نجد :

$$\frac{\text{ف}_1}{\text{ف}_2} = \frac{\text{س}}{\text{ص}}$$

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

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

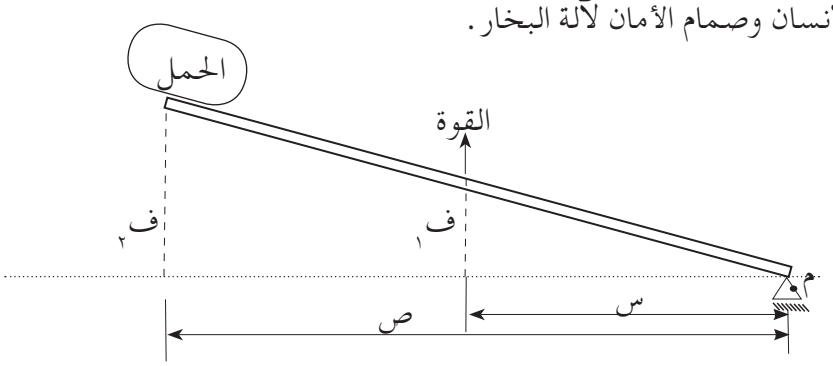
إذا كانت قوة الاحتكاك عند المحور قليلة بحيث يمكن اهمالها تكون كفاءة الآلة حينئذ ١٠٠٪ .

وعليه يكون :

الفائدة الميكانيكية = نسبة السرعة

وبما أن ذراع القوة دائما اكبر من ذراع المقاومة فان نسبة السرعة وبالتالي الفائدة الميكانيكية تكون دائما اكبر من الواحد . لذا فان 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 :

$$\frac{ف_{١}}{ف_{٢}} = \frac{س}{ص}$$

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

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

إذا كانت الرافعة مثالية فان :

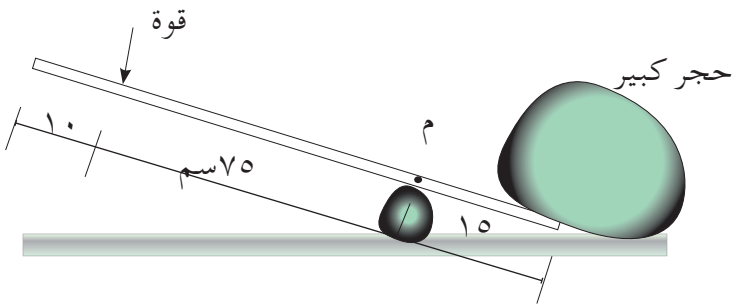
الفائدة الميكانيكية = نسبة السرعة

وبما أن ذراع القوة دائما اصغر من ذراع المقاومة فان نسبة السرعة وبالتالي الفائدة الميكانيكية تكون دائما اقل من الواحد. لذا فان حملاً صغيراً يحتاج لمجهود كبير للتغلب عليه وبما أن النسبة السرعية اقل من واحد صحيح فان 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:

ذراع المجهود = ٧٥سم ، ذراع الحمل= ١٥سم

الفائدة الميكانيكية = ٧٥ ÷ ١٥ = ٥

مثال (٢-٦):

تحتاج بُندُقة إلى قوة ١٢٠ نيوتن لكسرها ، أحسب القوة التي يجب بذلها على يدي كسارة البُندق ذات الطول ١٥ سم إذا وضعت البُندقة 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 البُندق رافعة من النوع الثانى فان:

الفائدة الميكانيكية = نسبة السرعة

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

الحمل × ذراع الحمل = المجهود × ذراع المجهود

١٢٠ × ٢,٥ = المجهود × ١٥

المجهود = (١٢٠ × ٢,٥) ÷ ١٥ = ٢٠ نيوتن

والفائدة الميكانيكية = الحمل ÷ المجهود = ١٢٠ ÷ ٢٠ = ٦

مثال (٢-٧) :

يستعمل رجل آلة ليرفع حملا 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 = ٠,١ متر ،
المسافة التي تحركها المجهود = ١ متر.

أ. الشغل المبذول على الآلة = الشغل المبذول بوساطة 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 × ٠,١ = ١٥ نيوتن.متر

ج. الفائدة الميكانيكية = الحمل ÷ المجهود = ١٥٠ ÷ ٢٠ = ٧,٥

د. النسبة السرعية = المسافة التي تحركها المجهود ÷ المسافة التي تحركها الحمل
= ١ ÷ ٠,١ = ١٠

هـ. كفاءة الآلة = الشغل الناتج عن الآلة ÷ الشغل المبذول على الآلة.
= ١٥ ÷ ٢٠ = ٠,٧٥ = ٧٥٪.

تمارين (٢-١)

١. أ. في أحدى الآلات تلزم قوة مقدارها ١٠٠ نيوتن لرفع جسم وزنه ٥٠٠ نيوتن. أحسب الفائدة الميكانيكية لهذه الآلة.

ب. قوة مقدارها ٦٠٠ نيوتن وضعت على الة فائدتها الميكانيكية ٤ ، احسب 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 فائدتة 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 أيضا كفاءة الآلة.

٣. آلة بسيطة أُستُخدِمت لرفع جسم يزن ١٠٠٠ نيوتن مسافة رأسية مقدارها ٥ متر .أحسب الشغل الذي أُستُخدِم لادارة الآلة باعتبار أن كفاءتها ٧٠٪.

٤. عُلق 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 المدبب ، إذا كان المراكبي يبذل مجهودا قدره ٢٠٠ نيوتن عند طرف يد المجداف لتحريك المركب ، أوجد قوة مقاومة الماء لحركة المركب ، ثم أحسب الفائدة الميكانيكية.

٦. استعمل مقص ليقطع حبلاً وضع على بعد ١,٥ سم من مسمار المقص الملحوم ،بذل مجهود مقدارة 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 مقدارة ٧٥٠ نيوتن في آلة لها فائدة ميكانيكية ٤ ، أحسب

الحمل الذي ترفعه الآلة.

٩. الفائدة الميكانيكية لآلة ١٦، والنسبة السرعية لها ٢٠، أوجد كفاءة هذه الآلة.

١٠. آلة تحرك حملها لمسافة ١٠ سم عندما يتحرك المجهود مسافة ١٦٠سم. أحسب النسبة السرعية للآلة. ثم اوجد الفائدة الميكانيكية بفرض أن كفاءة الآلة ٠,٩.

١١. رافعة سيارة ، النسبة السرعية لها ٨٥ ، أحسب المسافة التي يتحركها المجهود عندما ترتفع السيارة التي ترفع بهذه الرافعة ٦ سم.

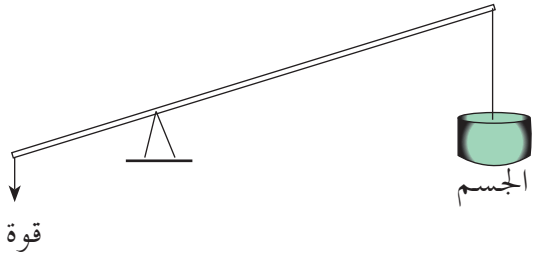
١٢. رافعة ترفع حملاً كتلته ١٠٠طن خلال مسافة ٥٠ متر، فإذا كانت النسبة السرعية لها ٨ ، وكفاءتها ٥٠٪ ، أحسب المجهود المستعمل، والمسافة التي يتحركها هذا المجهود.

١٣. رافعة النسبة السرعية لها ١٠ ، فإذا كان كتلة الحمل ٥ طناً ، وكفاءة الآلة ١٠٠٪ ، أحسب المجهود ، ثم أحسب المجهود إذا كانت كفاءة الآلة ٨٠٪ فقط.

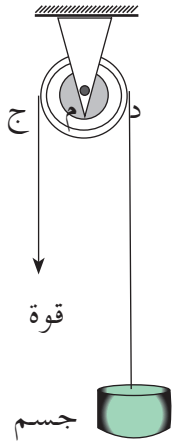
١٤. استخدمت عتلة لرفع حمل مقداره ٤٠ نيوتن بمجهود ١٠ نيوتن ، إذا كان الطول الكلي للعتلة ١٢٠سم ومحور ارتكازها يبعد ٢٠ سم من الحمل اوجد نسبة السرعة والفائدة الميكانيكية وكفاءة الآلة.

(٢-١-٦) 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 (٢-١-٥) في أن الرافعة الميكانيكية تحرك الجسم لمسافة قصيرة نسبياً, الشكل(٢-٦)، بينما البكرات يمكن أن تحرك الأحمال إلى مسافات غير محدودة، الشكل(٢-٧). في بعض الاحيان يتطلب الموقف حركة متصلة وفى هذه الحالة يمكن استخدام عجلة واحدة (بكرة منفردة) (Single Pully).



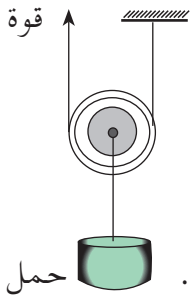
شكل (٢-٦) : رافعة ميكانيكية .



شكل (٢-٧) : بكرة منفردة ثابتة

أ. بكرة منفردة :

الشكل(٢-٧) 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 (٢-٨) : بكرة منفردة متحركة.

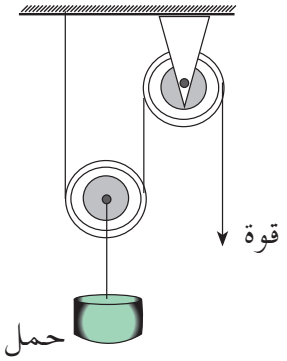
يمكن استخدام بكرة واحدة متحركة كما في الشكل(٢–٨) .

إذا جُذب الحبل إلى أعلى مسافة متر واحد تتحرك المقاومة (الجسم) إلى أعلى نصف متر ، وفى هذه الحالة تكون نسبة السرعة اثنتان . والفائدة الميكانيكية تساوي أو اقل 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 بكراتين، 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 أيضا .

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

= ١ ÷ ٠,٥ = ٢

∴ الفائدة الميكانيكية تساوي أو تقل من ٢ .

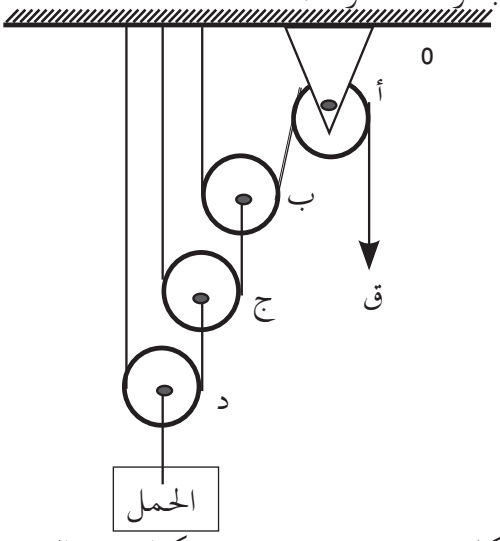
ج . مجموعة البكرات من الدرجة الأولى :

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 أخر 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:

$$\text{نسبة السرعة} = ٢^{ن}$$

حيث: ن = عدد البكرات المتحركة.



شكل (٢-١٠): 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 $\frac{١}{٢}$ متر، والبكرة (جـ) تتحرك $\frac{١}{٤}$ متر، والبكرة (د) تتحرك $\frac{١}{٨}$ متر.

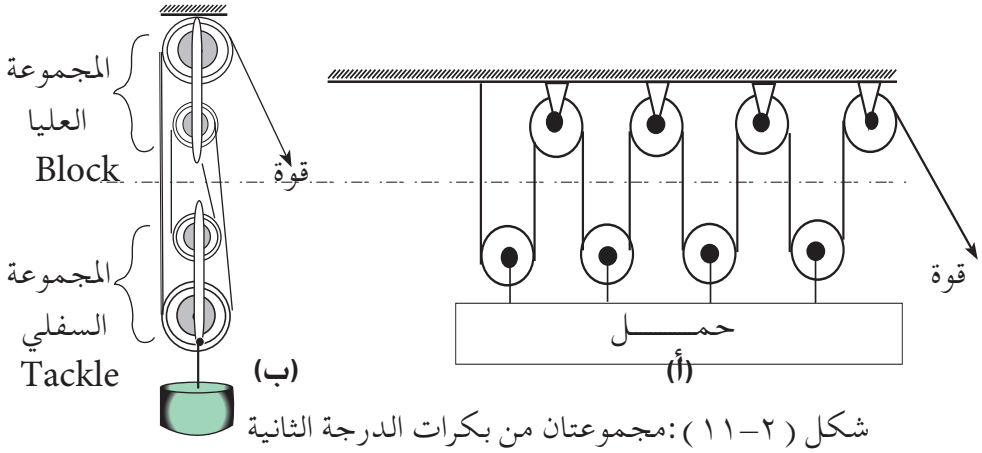
الحمل يتحرك $\frac{١}{٨}$ متر.

$$\text{نسبة السرعة} = ١ \div \frac{١}{٨} = ٨$$

$$\text{نسبة السرعة} = ٢^{ن} = ٢^{٣} = ٨$$

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(٢–١١) (أ) أو أن ترص راسياً كما بالشكل(٢–١١) (ب) . يُستخدم حبل واحد يلتف حول جميع البكرات . يؤثر المجهود في أحد طرفي الحبل بينما الطرف الأخر ينتهي عند أحد المجموعتين .



شكل (٢–١١) :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 :

نسبة السرعة = ٢ن

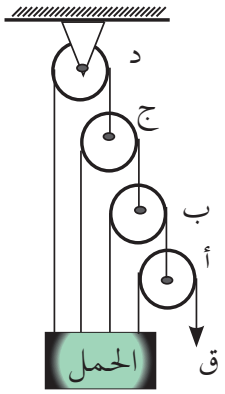
ب– إذا انتهى الحبل عند مجموعة البكرات المتحركة :

نسبة السرعة = ٢ن+١

حيث : ن = عدد البكرات المتحركة .

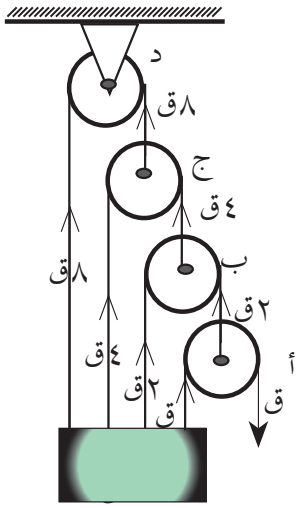
ج. مجموعة البكرات من الدرجة الثالثة:

الشكل(٢-١٢) 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 أخر بمركز أحد البكرات المتحركة ويلتف حول البكرة المتحركة التالية وينتهي بالحمل. جميع الحبال تنتهي بالحمل.



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

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



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

القوة في الحبل الأول حول البكرة (أ) = ق

القوة في الحبل الثاني حول البكرة (ب) = ٢ ق

القوة في الحبل الثالث حول البكرة (جـ) = ٤ ق

القوة في الحبل الرابع حول البكرة (د) = ٨ ق

شكل (٢-١٣):يوضح القوى على الحبال

الحمل تحمله (تسنده) مجموع القوى في الحبال الاربعة = ق + ٢ق + ٤ق + ٨ق = ١٥ق
الفائدة الميكانيكية = ١٥ق ÷ ق = ١٥
إذا فرض الكفاءة تساوي ١ (١٠٠٪) فإن نسبة السرعة تســـاوي الفائدة الميكانيكية
نسبة السرعة = ١٥
بالملاحظة نجد أن نسبة السرعة يمكن الحصول عليها من العلاقة الآتية :

نسبة السرعة = ٢ ^{س} – ١

حيث :
س = العدد الكلي للبكرات (المتحركة + الثابتة) .

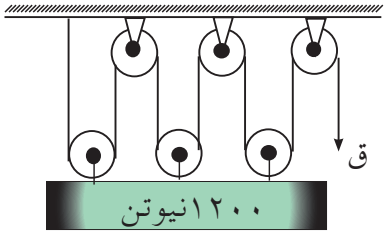
مثال (٢–٨) :
فى الشكل (٢–١١)(ب) السابق إذا كانت كفاءة الآلة ٨٠٪ . ووزن الجسم ٤٠٠٠ نيوتن ، احسب نسبة السرعة وكذلك القوة اللازمة لرفع الجسم .

الحل :
نسبة السرعة = ٢ ن = ٢ × ٢ = ٤
كفاءة الآلة = الفائدة الميكانيكية ÷ نسبة السرعة
٠,٨ = ف . م ÷ ٤
ف . م = ٠,٨ × ٤ = ٣,٢
ف . م = الحمل ÷ القوة
٣,٢ = ٤٠٠٠ ÷ القوة
القوة = ٤٠٠٠ ÷ ٣,٢

∴ القوة = ١٢٥٠ 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 = ٠,٨ × ٦ = ٤,٨

الفائدة الميكانيكية = الحمل ÷ القوة

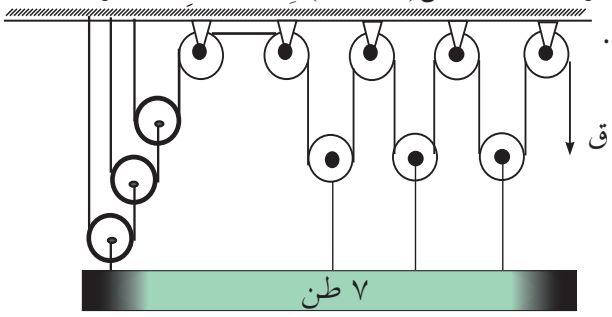
٤,٨ = ١٢٠٠٠ ÷ القوة

∴ القوة = ١٢٠٠٠ ÷ ٤,٨

القوة = ٢٥٠٠ نيوتن

مثال(٢-١٠) :

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



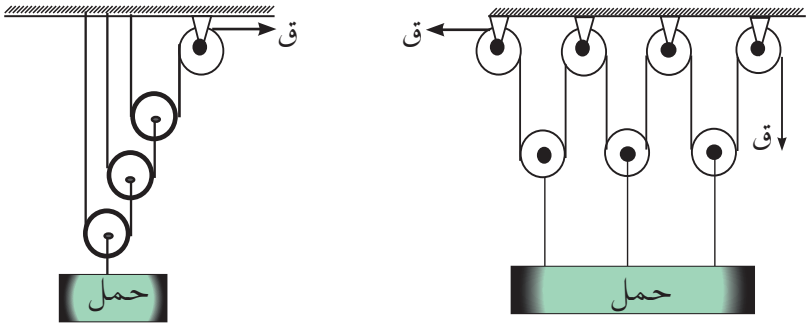
شكل (٢-١٥) : مجموعة بكرات من نظامين مختلفين

الحل :

المعطيات : الحمل = ٧ × ١٠٠٠ × ١٠ = ٧٠٠٠٠ نيوتن

القوة = ١٠٠٠٠ نيوتن

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



(أ) منظومة درجة ثانية . (ب) منظومة درجة أولى .

شكل (٢–١٦) : فصل المنظومة إلى منظومتين

افرض أن الحمل تحرك مسافة س إلى أعلى .

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

نسبة السرعة = ٢ ن = ٢ × ٣ = ٦

∴ القوة (ق) تتحرك مسافة ٦ س

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

نسبة السرعة = ٢ن

نسبة السرعة = ٢٣ = ٨

∴ القوة (ق) تتحرك مسافة ٨ س

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

نسبة السرعة الكلية = ١٤ س ÷ س = ١٤

الفائدة الميكانيكية = الحمل ÷ القوة = ٧٠٠٠٠ ÷ ١٠٠٠٠ = ٧

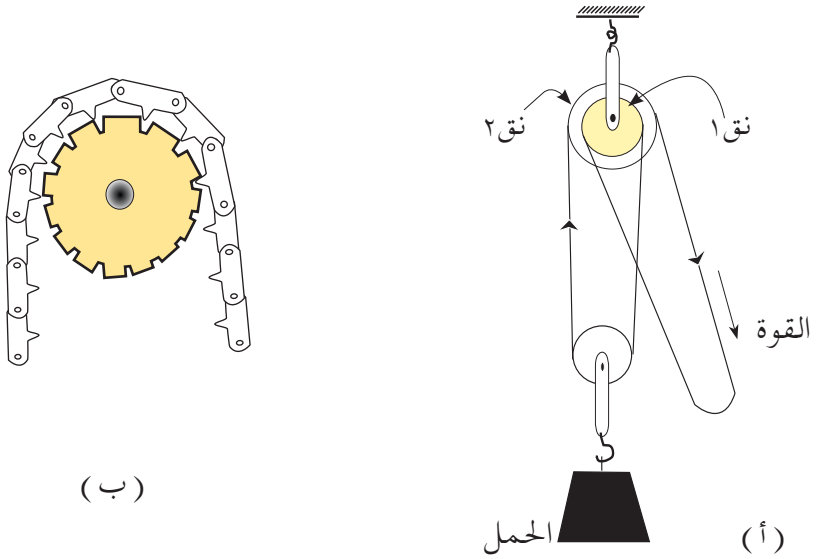
الكفاءة = الفائدة الميكانيكية ÷ نسبة السرعة

الكفاءة = ٧ ÷ ١٤ = ٠,٥ = ٥٠ ٪

هـ. مجموعة بكرات وستون التفاضلية(الفرقية) :

Weston Differential Pulleys

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



شكل (٢-١٧) : 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٪، فان 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 فان 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٪، فان الجسم (الحمل) يسقط أو يتحرك إلى أسفل عند زوال القوة مباشرة.

يمكن استنتاج نسبة السرعة لهذه الآلة كما يلى :

ونفرض ان :

نق$_{١}$ = نصف قطر البكرة الصغرى في المجموعة العليا.

نق$_{٢}$ = 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 مأخوذا 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.

الطول الناقص من الجنزير = ٢ π نق$_{٢}$ – ٢ π نق$_{١}$

المسافة التي يتحركها الجسم = (٢ π نق$_{٢}$ – ٢ π نق$_{١}$) ÷ ٢

= π (نق$_{٢}$ – نق$_{١}$)

المسافة التي تتحركها القوة = ٢ π نق$_{٢}$

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

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{٢\ \pi\ \text{نق}_{٢}}{\pi\ (\text{نق}_{٢} - \text{نق}_{١})} = \frac{٢\ \text{نق}_{٢}}{(\text{نق}_{٢} - \text{نق}_{١})}$$

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

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 وان قطر البكرة الصغيرة فيها ٤ سم وان كفاءة الآلة ٥٠٪.

الحل :

المعطيات : ثقل الجسم = ٦٠٠٠ نيوتن ، كفاءة الآلة = ٥٠٪ = ٠,٥

نق$_{١}$ = ٢ سم ، نق$_{٢}$ = ٦ سم

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{٢ \text{ نق}_{٢}}{(\text{نق}_{٢} - \text{نق}_{١})} = \frac{٦ \times ٢}{(٦ - ٢)} = ٣$$

افرض القوة اللازمة = س

$$\text{الفائدة الميكانيكية} = \frac{\text{ثقل الجسم}}{\text{القوة المؤثرة}} = \frac{٦٠٠٠}{\text{س}}$$

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

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

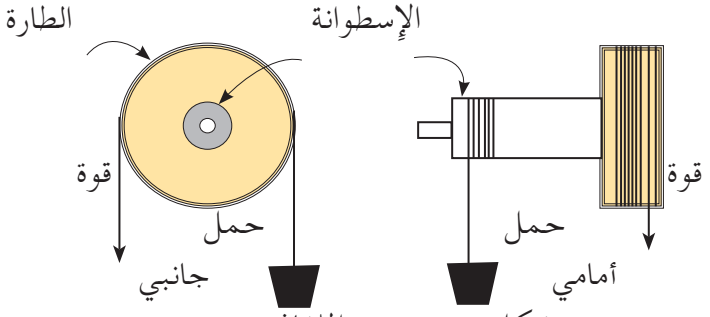
$$٠,٥ = \frac{٦٠٠٠}{٣\text{س}}$$

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

∴ 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 ، أحداهما كبيرة تسمى (الطارة) والأخرى صغيرة وتسمى (الاسطوانة) ، يلف حبل منفصل حول كل منهما كما موضح في الشكل(٢-١٨) .كل حبل يلتف في إتجاه معاكس للأخر.

عندما تؤثر قوة عند طرف الحبل الملفوف حول الطارة ويجذب الحبل إلى أسفل تدور كل من الطارة والاسطوانة معاً، ويؤدى ذلك إلى إلتفاف الحبل الآخر المتصل بالحمل حول الاسطوانة الصغرى، ونتيجة لذلك يرتفع الجسم إلى أعلى. عندما تتحرك القوة مسافة مساوية لمحيط الطارة يكون الجسم قد تحرك مسافة مساوية لمحيط الاسطوانة الصغرى.

من ذلك يتضح أن :

نسبة سرعة الملفاف = محيط الطارة ÷ محيط الاسطوانة الصغيرة

$$\frac{٢\ \pi\ نق_{٢}}{٢\ \pi\ نق_{١}} = \frac{نق_{٢}}{نق_{١}}$$

حيث :

$نق_{١}$ = نصف قطر الاسطوانة.

$نق_{٢}$ = نصف قطر الطارة.

$$\text{نسبة سرعة الملفاف} = \frac{\text{نصف قطر الطارة}}{\text{نصف قطر الإسطوانة}}$$

مثال(٢-١٢) :

جسم يزن ١٠٠٠٠ نيوتن رفع بوساطة ملفاف. إذا كان نصف قطر طارة 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 = ٠,٨

$نق_{١}$ = ١٠ سم، $نق_{٢}$ = ٤٠ سم.

افرض أن القوة اللازمة لرفع الجسم = س

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

$$\text{الفائدة الميكانيكية} = \frac{١٠٠٠٠}{\text{س}}$$

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{نق}_{٢}}{\text{نق}_{١}} = \frac{٤٠}{١٠} = ٤$$

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

$$٠,٨ = \frac{١٠٠٠٠ \div \text{س}}{٤}$$

$$٠,٨ = \frac{١٠٠٠٠}{٤\text{س}}$$

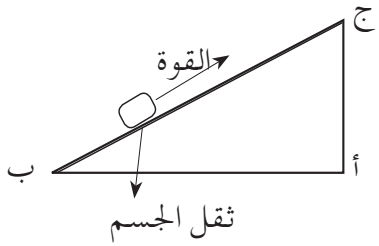
$$\text{س} = \frac{١٠٠٠٠}{٤ \times ٠,٨} = ٣١٢٥ \text{ نيوتن}$$

القوة اللازمة لرفع الجسم = ٣١٢٥ نيوتن

(٢-١-٨) المستوى المائل :

يمكن رفع جسم إلى أعلى باستعمال مستوى مائل، وفى 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 .

اولاً : القوة موازية للمستوى المائل :



شكل (٢-١٩) : القوة الموازية للمستوي المائل

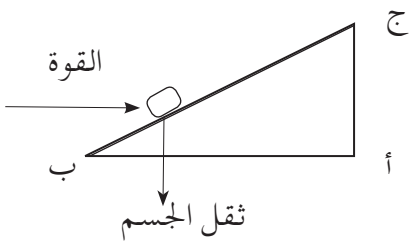
إذا تم رفع الجسم من النقطة ب إلى النقطة جـ بواسطة قوة موازية للمستوى المائل شكل(٢-١٩) فان :

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

= ب جـ ÷ أ جـ

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

ثانياً : القوة أفقية :



شكل (٢-٢٠) : القوة افقية

إذا تم تحريك الجسم من النقطة ب إلى النقطة جـ بواسطة قوة افقية شكل(٢-٢٠) فان :

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

= أ ب ÷ أ جـ

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{المسافة الأفقية التي تحركتها القـــوة}}{\text{المسافة الراسية التي إرتفعها الجسم}} \quad \ldots\ldots (٢-١٠)$$

مثال(٢-١٣) :

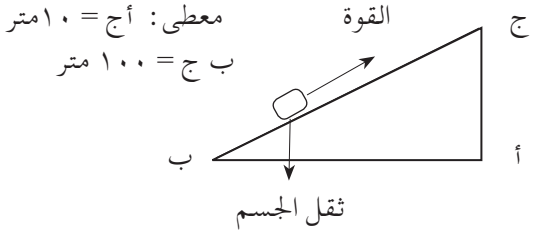
جسم يزن ١٠٠٠ نيوتن يُراد رفعه إلى أعلى لارتفاع ١٠ أمتار باستخدام مستوى مائل طوله ١٠٠ متر. جد القوة اللازمة لذلك (مع إهمال قوة الاحتكاك) وذلك في الحالات الآتية :

١- القوة موازية للمستوى المائل.

٢- القوة أفقية.

الحل :

اولاً : إذا كانت القوة موازية للمستوي المائل شكل(٢–٢١) :



شكل (٢–٢١) : القوة موازية للمستوى المائل.

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{طول المستوى المائل}}{\text{الإرتفاع الرأسي}} = \frac{١٠٠}{١٠} = \underline{\underline{١٠}}$$

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

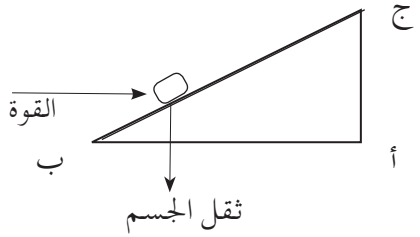
∴ الفائدة الميكانيكية = نسبة السرعة = ١٠

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

$$١٠ = \frac{١٠٠٠}{\text{القوة}}$$

$$\text{القوة المؤثرة} = \frac{١٠٠٠}{١٠} = \underline{\underline{١٠٠}}$$

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



شكل(٢–٢٢) : القوة افقية

معطى: أج = ١٠م ، ب ج = ١٠٠م

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

المسافة الافقية التي تتحركها القوة $= \sqrt{١٠٠^{٢} - ١٠^{٢}} = \sqrt{٩٩٠٠} = ٩٩,٥$ متر

∴ نسبة السرعة = ٩٩,٥ ÷ ١٠ = ٩,٩

نظراً لإهمال قوة الاحتكاك فان:

الفائدة الميكانيكية = نسبة السرعة = ٩,٩٥

الفائدة الميكانيكية = وزن الجسم ÷ القوة

$$٩,٩٥ = \frac{١٠٠٠}{\text{القوةالمؤثرة}}$$

$$\text{القوةالمؤثرة} = \frac{١٠٠٠}{٩,٩٥}$$

∴ القوة اللازمة = ١٠٠,٥ 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 (العفريتة). 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 اللولبى حينئذ يمكن ايجادها باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{نسبة السرعة للمرفاع اللوبي} = \frac{٢\ \pi\ \text{ل}}{\text{طول درجة واحدة}} \quad \ldots(٢-١١)$$

حيث: ل = طول المقبض

في هذه الآلة توجد قوة احتكاك كبيرة بين المسمار اللولبى 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 لولبى 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 = $\frac{\text{٢ } \pi \text{ ل}}{\text{طول درجة واحدة}}$

$$= \frac{\text{٢ } \pi \times \text{٦٠}}{\text{٠,٤}} = \underline{\underline{\text{٩٤٢}}}$$

ب. الفائدة الميكانيكية = وزن الجسم ÷ القوة = ٦٠٠٠ ÷ ٤٠ = <u>١٥٠</u>

ج. كفاءة الآلة = الفائدة الميكانيكية ÷ نسبة السرعة

= ١٥٠ ÷ ٩٤٢ = ٠,١٦ = <u>١٦٪</u>

تمارين (٢-٢)

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

أُستُخدِمت 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 اقل 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 ٢٠سم ، أحسب القوة اللازمة لذلك.

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

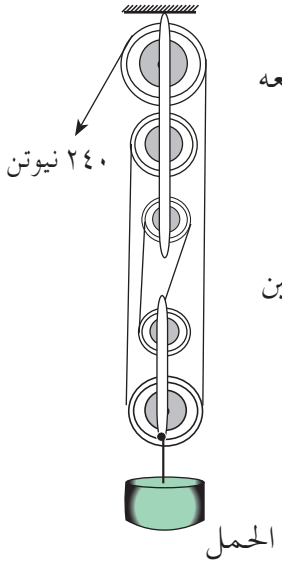
٤- أُستِخدمت آلة مناسبة لرفع جسم وزنه ١٣٠٠ نيوتن مسافة ٥٥ متراً. إذا كانت نسبة السرعة لها ٦ وكفاءتها ٥٠٪ ، أحسب القوة اللازمة لذلك.

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 .

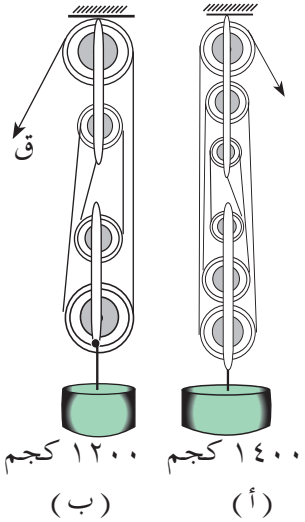
٢- الفائدة الميكانيكية .

٣- كفاءة المنظومة .

(ب) الشغل المبذول بالمجهود لرفع الحمل مسافة مترين .

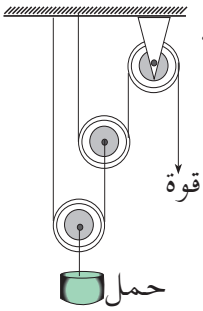
٧- (أ) ما القوة المطلوبة لرفع الحمل ١٤٠٠ كجم بمجموعة البكرات (أ) الموضحة جانباً إذا كانت الكفاءة ٠,٨ .

(ب) إذا أمكن رفع الحمل ١٢٠٠ كجم باستخدام قوة ٦٠٠٠نيوتن بواسطة مجموعة البكرات (ب) الموضحة جانباً . احسب كفاءة المنظومة .



٨- الشكل ادناه يبين منظومة من بكراتين 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 أجزاءها خفيفة جداً .



(٢-٢) طرق نقل الحركة

(٢-٢-١) مفهوم الحركة :

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

تعريف الحركة :

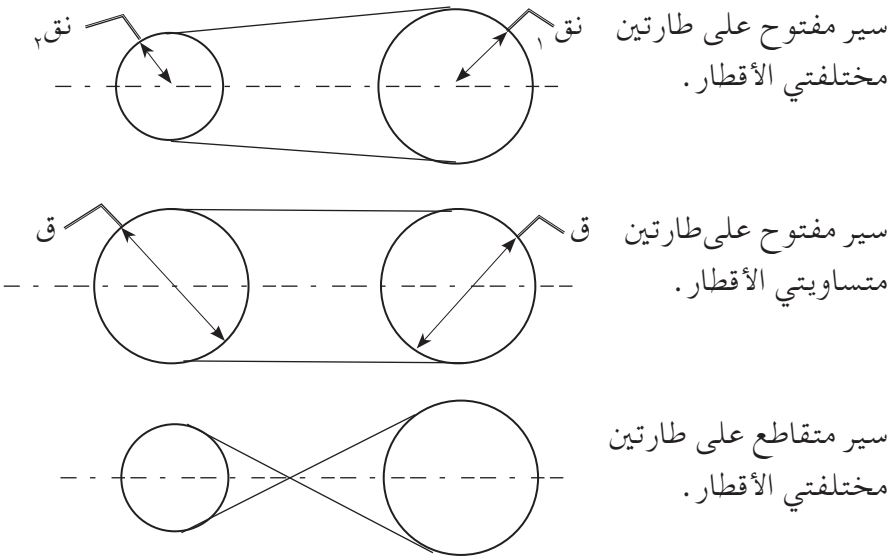
إذا تغيرت إزاحة الجسم (أ) مع الزمن بالنسبة للجسم (ب) فإننا نقول أن الجسم (أ) يتحرك بالنسبة للجسم (ب).

تُنقل الحركة من مصدر الحركة الرئيس (المحرك مثلاً) إلى عمود الدوران الرئيس لآلات التشغيل بعدة طرق منها :

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

في هذه الطريقة يُلف سير حول طارتين مثبتتين على محورين مختلفين يبعدان عن بعضهما مسافة مناسبة. فإذ دارت أحدى الطارتين حول محورها – فان 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 متوازية فان الطارة المنقادة تدور في نفس اتجاه دوران الطارة القائدة ، وأما إذا كان طرفي السير متقاطعة فان الطارة التابعة تدور عكس اتجاه دوران الطارة القائدة ، ويراعى أن يكون السير مشدوداً بالقدر الكافي الذي ينقل الحركة بسهولة، والشكل (٢-٢٣) يبين ابسط انواع نقل الحركة بالسيور وأكثرها انتشاراً، ويلاحظ انه في حالة تساوي قطري الطارتين فإن سرعتيهما تكون متساوية، أما إذا كان القطرين غير متساويين فإن الطارة الصغرى تدور بسرعة اكبر من الطارة الكبرى.

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



شكل (٢-٢٣) : نقل الحركة بالسيور .

حساب طول السير ذو الطرفين المتوازيين :

لحساب طول السير يُستخدم العلاقات التالية :

أ. في حالة تساوي قطرى الطارتين :

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

حيث :

ل = طول السير.

ق = قطر أحدى الطارتين.

م = المسافة بين مركزي الطارتين.

ب. في حالة اختلاف قطري الطارتين :

يمكن الحصول على طول السير بالتقريب من العلاقة :

$$\text{طول السير «ل»} = \pi(\text{نق}_١ + \text{نق}_٢) + 2\sqrt{٧م^٢ + (\text{نق}_١ - \text{نق}_٢)^٢} \quad \ldots (٢-١٣)$$

حيث :

$\text{نق}_١$ = نصف قطر الطارة الكبرى.

$\text{نق}_٢$ = نصف قطر الطارة الصغرى.

مثال (٢-١٥) :

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

الحل :

طول السير (ل) = ٢م + π ق

ل = ٢ × ٣٠٠ + ٣,١٤ × ٥٠ سم = ٧٥٧,١ سم

ل = ٧,٥٧ متر

مثال (٢-١٦) :

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 :

نق$_{١}$ = ٦٠ سم، نق$_{٢}$ = ١٠، م = ١٢٠ سم ، ل = ؟

طول السير « ل » = π(نق$_{١}$ + نق$_{٢}$) + ٢$\sqrt{\text{م}^{٢} + (\text{نق}_{١} - \text{نق}_{٢})^{٢}}$

طول السير « ل » = π(٦٠ + ١٠) + ٢$\sqrt{١٢٠^{٢} + (٦٠ - ١٠)^{٢}}$

طول السير « ل » = $\frac{٢٢}{٧}$ × ٧٠ + ٢$\sqrt{١٤٤٠٠ - ٢٥٠٠}$

طول السير « ل » = ٢٢٠ + ٢ $\sqrt{١٦٩٠٠}$

طول السير "ل" = ٢٢٠ + ٢ × ١٣٠

طول السير "ل" = ٤٨٠ سم

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. اوجد قطر الطارة اللازم تركيبها على العمود المنقاد ليدور بسرعة ٥٠٠ لفة/الدقيقة، واحسب نسبة السرعة.

الحل:

بما أن :

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

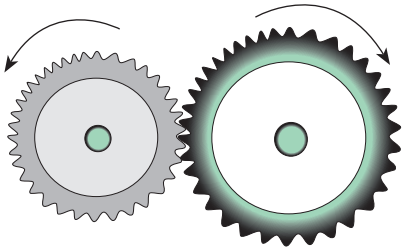
$$\frac{١٤٠٠}{٥٠٠} = \frac{\text{قطر الطارة القائدة}}{١٠٠}$$

∴ قطر الطارة المنقادة = ٢٨٠ ملم

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{سرعة الطارة القائدة}}{\text{سرعة الطارة المنقادة}} = \frac{١٤٠٠}{٥٠٠} = ٢,٨$$

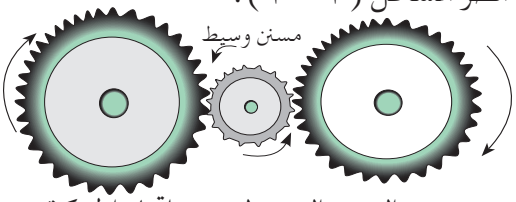
(٢-٢-٣) نقل الحركة بالمسننات (التروس) : Gears Drive

يُستخدم زوج من المسننات 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 المسنن بنسب خاصة بحيث تتداخل أسنان كل منهما في تجاويف الأخرى منعاً لحدوث الانزلاق ، وبذلك تحفظ نسبة السرعة ثابتة بينها ، وأبسط حالات النقل هي نقل الحركة بوساطة مسننين محوراهما متوازيين (مثال عمود المرفق وعمود الحدبات) ويكون اتجاه دوران أحدهما عكس اتجاه دوران الأخر. انظر شكل(٢-٢٤).



شكل(٢-٢٤) : مسننان (قائد ومنقاد)

أما إذا أردنا أن يدور المسنن التابع في نفس اتجاه دوران المسنن القائد فلابد من وضع مسنن وسيط بينهما . انظر الشكل (٢-٢٥).



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

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

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

الحالات التي تستخدم فيها المسننات لنقل الحركة :

أ. إذا كان البعد بين المحورين المراد نقل الحركة بينهما صغيراً.

ب. عدم إمكانية استخدام السيور والجنازير.

ج. 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 السرعية للمجموعة.

الحل :

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

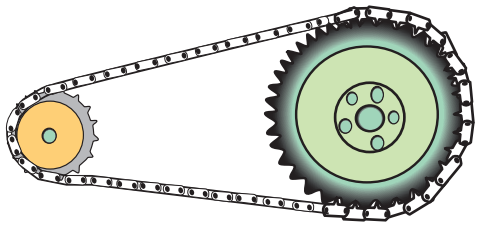
$$\frac{٩٠٠}{٥٠٠} = \frac{\text{عدد اسنان الترس المنقاد}}{٢٠}$$

$$\text{عدد اسنان المسنن المنقاد} = \underline{٣٦}$$

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{سرعة المسنن القائد}}{\text{سرعة المسنن المنقاد}} = \frac{٩٠٠}{٥٠٠} = \underline{\underline{١,٨}}$$

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

هذه الوسيلة لها استخدامات خاصة حيث تستخدم السلاسل في الدراجات و ماكينات السيارات وفي بعض الروافع الثقيلة وفي عجلات الدبابات وفى أماكن أخرى. في هذا النوع من طرق نقل الحركة لا يحدث إنزلاق بين السلاسل والمسننات المركبة عليها، لذلك تكون نسبة السرعة ثابتة. و يمكن 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: ٩٦٠سم ، ٣٠٠٠ لفة/دقيقة)

٢- محرك سرعة دورانه ١٤٠٠ لفة/دقيقة. مثبت على عمود إدارته طارة قطرها ١٦٠مم. 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 عُشق بمسنن آخر منقاد عدد أسنانه ٧٢ ، احسب: أ- سرعة المسنن المنقاد ب- نسبة النقل.

٤- احسب سرعة دوران مسنن، له ١٢٠سِن مركب على عمود ادارة آلة، عندما يُعشق مع مسنن آخر له ١٠٠ سِن مثبت على مصدر الحركة ويدور بسرعة ٣٠٠ لفة/دقيقة.(الاجابة: ٢٥٠ لفة/دقيقة).

٥- مسنن عدد أسنانه ٣٦ وسرعة دورانه ٧٢٠ لفة/دقيقة. عُشق 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

(٢-٣) آلات التشغيل Machine Tools

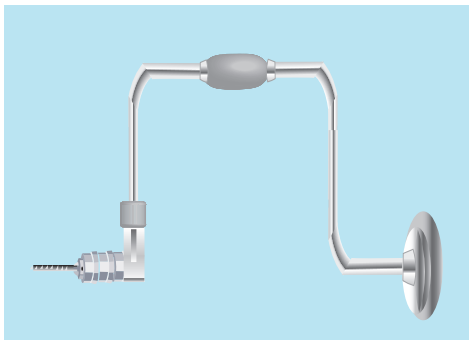
يقصد بآلات التشغيل الآلات التي تستخدم في انتاج المشغولات المختلفة في الورش والمصانع. تختلف آلات التشغيل في أنواعها وأشكالها وأحجامها وفقا لنوع العمل الذي تقوم به. من أهم انواع آلات التشغيل التي تستخدم في الورش والمصانع: آلات التثقيب ، المخارط ، المكاشط ، الفرايز، وآلات التجليخ وغيرها. وستختصر الدراسة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

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

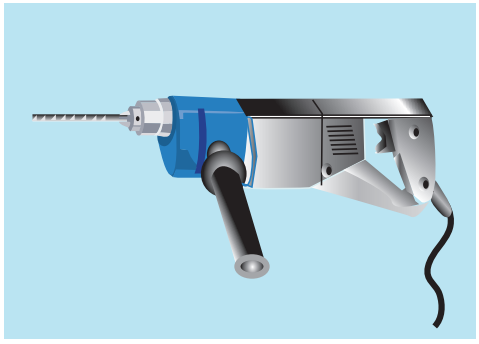
آلات التثقيب عبارة عن آلات تستخدم لتثقيب المشغولات أو توسيع الثقوب بوساطة المثاقب ، أو لأعمال البرغلة لتنعيم الثقوب. آلات التثقيب أما أن تكون متحركة أو ثابتة.

(٢-٣-٢) آلات التثقيب المتحركة :

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



تدار باليد



تدار بالكهرباء

شكل (٢-٢٦) : آلات تثقيب متحركة

(٢-٣-٣) آلات التثقيب الثابتة :

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

واهم أنواع آلات التثقيب الثابتة الشائعة الاستعمال ثلاثة انواع هي :

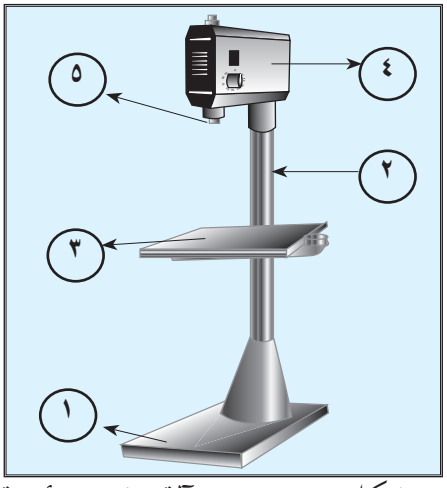
١ . آلات التثقيب الرأسية

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 منضدة آلة التثقيب [٣] التي تتحرك عليه إلى أعلى أو أسفل. ويحمل القائم المحرك الكهربائى[٤] مصدر الحركة ويحمل أيضا صندوق تروس تغيير السرعات وعمود الادارة[٥] (عمود القلب) الذي يركب عليه المثقاب بوساطة الجلب المخروطية أو الظروف الانضباطية.



شكل (٢-٢٧) : آلة تثقيب رأسية .

(٢-٣-٥) آلات التثقيب الدف :

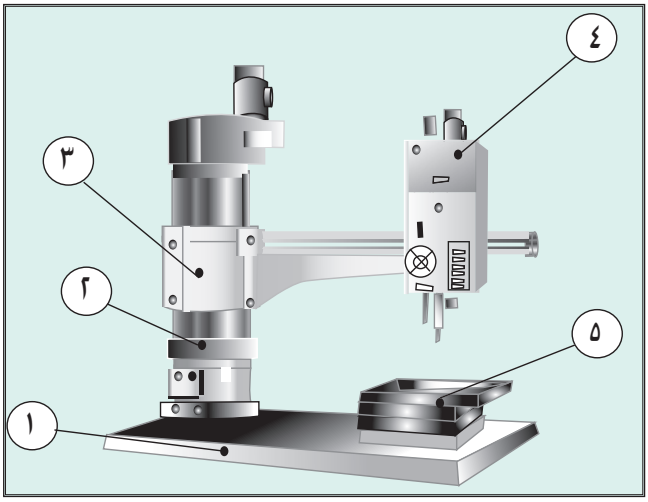
تتكون آلات التثقيب الدف – كما مبين في شكل(٢-٢٨) – من قاعدة[١] تكون هي نفسها بمثابة منضدة الآلة التي تربط عليها المشغولات الكبيرة. وقائم

اسطواني[٢] يثبت عليه ذراع الدف[٣]. وتثبت مجموعة المحرك الكهربائى[٤] وصندوق التروس وعمود الادارة كلها على ذراع الدف[٣]، وتتحرك هذه المجموعة كقطعة واحدة إلى أعلى وأسفل على القائم. كما تتحرك حركة أفقية على ذراع الدف تجاه القائم أو بعيداً عنه. ويتحرك ذراع الدف ومجموعة عمود الادارة في حركة دائرية حول القائم الاسطواني . وتزود آلة التثقيب الدف بمنضدة إضافية[٥] يمكن أن تربط عليها المشغولات الصغيرة.

تمتاز آلة التثقيب الدف عن آلة التثقيب 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 التثقيب الدف في تثقيب ثقوب ذات أقطار كبيرة في مشغولات كبيرة جداً لا يمكن أن تثقب على آلة التثقيب الرأسية .



الشكل (٢-٢٨) : آلة تثقيب الدف

(٢-٣-٦) آلة التثقيب الحساسة:

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

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

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

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 .

تحسب سرعة دوران آلة التشغيل بعدد لفات عمود الإدارة في الدقيقة ويعبر عنها بالحرف (د). تحسب سرعة القطع بالمتر 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 آلاتية 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، فان 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 (صلدجداً)	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:

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

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:

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

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

مثال (٢-٢٠):

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

الحل:

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

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

مثال (٢-٢١):

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

الحل:

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

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

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

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

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

عندما يراد عمل ثُقب في شُغلة ما فان المثقاب يتقدم داخل (يخترق) الشغلة بمقدار معين في كل لفة من دوران الآلة حتى تكتمل عملية التثقيب. 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 لانجاز أي ثقب إذا عرف عمق الثقب وذلك باستخدام المعادلة التالية:

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

حيث:

ل = عمق الثقب (ملم).

ت = التغذية في اللفة الواحدة (ملم).

بعد معرفة عدد اللفات المطلوبة لانجاز العمل يصبح من السهل معرفة الوقت الذي يستغرقة انجاز العمل وذلك باستخدام المعادلة التالية:

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

حيث:

ز = الزمن المطلوب (دقيقة).

ف = عدد اللفات المطلوبة لانجاز 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 التثقيب 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 لانجاز العمل " ف" = ل ÷ ت

= ٣٢ ÷ ٠,١ = ٣٢٠ لفة.

الزمن اللازم لعمل ثقب " ز" = ف ÷ د

= ٣٢٠ ÷ ٦٠٠ = ٠,٥٣ 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

$$\text{سرعة القطع «س»} = \frac{\pi \times \text{ق} \times \text{د}}{١٠٠٠}$$

$$١٥,٧ = \frac{٣,١٤ \times ٢٠ \times \text{د}}{١٠٠٠}$$

$$\text{د} = \frac{١٥,٧ \times ١٠٠٠}{٣,١٤ \times ٢٠} = \underline{\underline{٢٥٠}} \text{ لفة /دقيقة}$$

ف = ل ÷ ت = ٧٥ ÷ ٠,٣ = ٢٥٠ لفة.

زمن الانجاز (ز) = ف ÷ د = ٢٥٠ ÷ ٢٥٠ = ١ دقيقة.

تمارين (٢-٤)

١. تدور آلة تثقيب بسرعة مقدارها ٧٠٠ لفة في الدقيقة. ما مقدار قطر اكبر ثقب يمكن إنتاجه إذا علمت أن سرعة القطع ٣٥م/الدقيقة.

٢. أحسب الزمن اللازم لعمل ثقب قطره ١٨ ملم وعمقه ٣٢ ملم إذا كانت سرعة القطع ١٢ م/الدقيقة والتغذية ٠,١ 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 لانجاز هذا العمل إذا علمت أن التغذية ٠,٨٥ 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 ٠,٦ 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 ٠,١ 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 ٧٦,٢ ملم إذا علمت أن سرعة القطع ١٥,٦ متر/الدقيقة وان التغذية ٠,٢٨ ملم في اللفة الواحدة.

(٢-٤) محركات الديزل Diesel Engines

(٢-٤-١) مقدمة :

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

اخترع محرك الديزل في عام ١٨٩٢م بوساطة العالم الألماني "رودلف ديزل" واستخدمً الفحم المسحوق وقوداً لها في بادئ الأمر. وفى عام ١٨٩٧م تمكن ديزل من استبدال الفحم بنوع أخر 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 بوساطة الحاقن (الرشاش) فيشتعل ، وقد استغني في هذا المحرك عن جهاز المغذي وجهاز الإشعال اللازمين في محركات البنزين ، واستعيض عنهما بمضخة وقود وحواقن. وتمتاز محركات الديزل بارتفاع جودتها واقتصادها في الوقود.

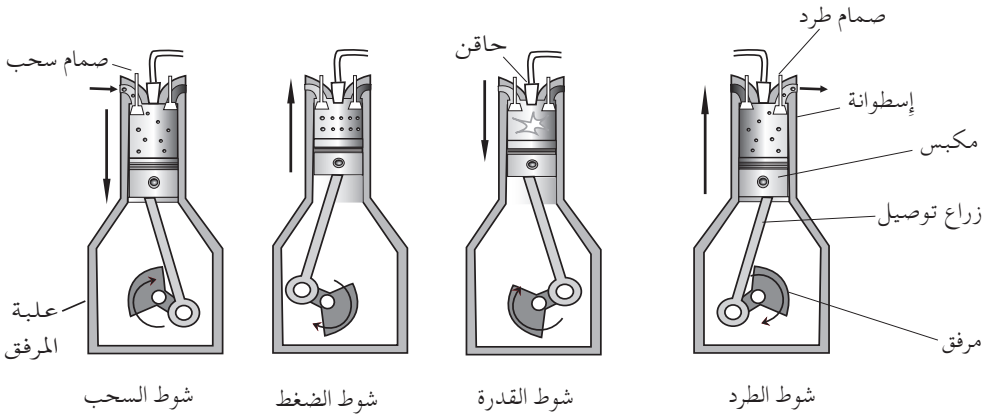
(٢-٤-٢) الأجزاء الرئيسة لمحرك ديزل :

يتكون محرك الديزل من أجزاء رئيسة هي: الاسطوانة ورأس الاسطوانة والمكبس واذرع التوصيل وعمود المرفق وعمود الحدبات، بجانب صمامات دخول الهواء وخروج العادم، وكذلك مضخة حقن الوقود والحواقن. مضخة الوقود تعمل على ضغط الوقود ضغطاً عالياً وتوزيعه على الحواقن حسب ترتيبة إشعال المحرك. يحقن الوقود على شكل رزاز تحت ضغط عال لتسهل عملية اختراقه للهواء المضغوط.

(٢-٤-٣) دورة ديزل الرباعية :

معظم محركات الديزل تعمل على نظام الدورة الرباعية. وتتكون الدورة الرباعية من اربعة اشواط. 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 وشوط القدرة وشوط 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) ضاغطاً الهواء إلى حجم يعادل تقريبا (١ : ٢٠) من الحجم الكلى للاسطوانة، ويصل الضغط على الهواء من ٣٥–٤٠ كجم/مم^{٢}، ويؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء إلى ٥٥٠ درجة مئوية أو اكثر.

٣ . شوط القدرة : Power Stroke

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

٤ . شوط الطرد : Exhaust Stroke

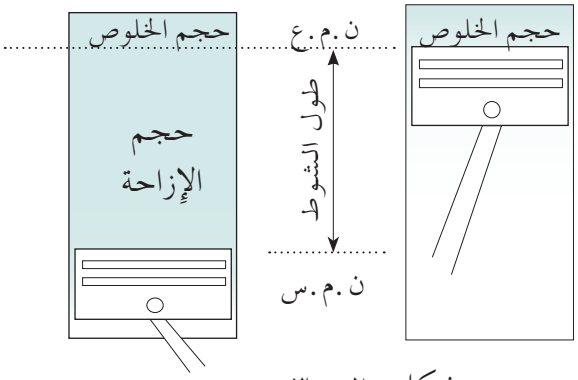
بنهاية شوط القدرة إلى أسفل يفتح صمام الطرد ومن ثم يتحرك المكبس إلى أعلى نحو (ن. م. ع) طارداً الغازات المحترقة خارج الاسطوانة وغرفة الاحتراق لبداية دورة جديدة.

جدول (٢–٣) : 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/مم^{٢})	منخفض (٦ إلى ٨ كجم/مم^{٢})
نسبة الانضغاط	عالية (١ : ١٤ إلى ١ : ٢٠)	منخفضة (١ : ٥ إلى ١ : ٧)
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(٢–٣٠) .



شكل (٢–٣٠)

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 :

$$\text{حجم الإزاحة} = \pi \times \text{نق}^{٢} \times \text{ش}$$
$$= \text{م ش}$$

حيث :

نق = نصف قطر الاسطوانة ، ش = طول الشوط ،

م = مساحة مقطع الاسطوانة.

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

$$\text{حجم الخلوص} = \pi \text{ نق}^2 \times \text{ر} = \text{م} \times \text{ر} \quad \ldots\ldots (٢-١٨)$$

حيث:

ر = ارتفاع غرفة الاحتراق ، نق = نصف قطر الاسطوانة.

ش = طول الشوط ، م = مساحة مقطع الاسطوانة.

حجم الفراغ الكلي للاسطوانة = حجم الإزاحة + حجم الخلوص

تُعرَّف نسبة الانضغاط بأنها النسبة بين حجم الفراغ الكلي للاسطوانة وحجم الخلوص.

$$\text{نسبة الإنضغاط} = \frac{\text{حجم الفراغ الكلي للإسطوانة}}{\text{حجم الخلوص}}$$

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

افرض:

$ن_ض$ = نسبة الانضغاط

$ح_ز$ = حجم الإزاحة

$ح_ص$ = حجم الخلوص

$$ن_ض = \frac{ح_ز + ح_ص}{ح_ص} \quad \ldots\ldots (٢-١٩)$$

وبما أن: $ح_ز = م . ش$ ، $ح_ص = م . ر$

$$ن_ض = \frac{م . ش + م . ر}{م . ر}$$

$$\text{ن}_{\text{ض}} = \frac{\text{ش} + \text{ر}}{\text{ر}} \qquad \ldots\ldots (٢-٢٠)$$

$$\text{ن}_{\text{ض}} = 1 + \frac{\text{ش}}{\text{ر}} \qquad \ldots\ldots (٢-٢١)$$

تختلف نسب الانضغاط في المحركات المختلفة و تصل إلى ٢٠ : ١ أو كثر 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 :

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

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

$$\text{ح}_{\text{ز}} = \frac{٢٢}{٧} \times ٧^{٢} \times ٢٠ = ٣٠٨٠ \text{ سم}^{٣}$$

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

$$\text{ن ض} = \frac{٣٠٨٠ + ٢٨٠}{٢٨٠} = \frac{٣٣٦٠}{٢٨٠} = \underline{\underline{١٢}}$$

مثال (٢-٢٥) :

يبلغ حجم الإزاحة لاسطوانة محرك دراجة نارية ١٢٨سم^{٢}. إذا كانت نسبة الانضغاط ١٧ : ١ احسب حجم الخلوص.

الحل :

المعطيات : $\text{ح}_{\text{ز}}$ = ١٢٨سم^{٢}، ن.ض = ١٧، $\text{ح}_{\text{ص}}$ ؟

$$ن_{ض} = \frac{ح_{ز} + ح_{ص}}{ح_{ص}}$$

$$١٧ = \frac{١٢٨ + ح_{ص}}{ح_{ص}}$$

$$١٧ ح_{ص} = ١٢٨ + ح_{ص}$$

$$١٦ ح_{ص} = ١٢٨$$

$$ح_{ص} = ٨ \text{ سم}^{٢}$$

مثال (٢-٢٦):

محرك طول شوطه ١٨٠مم، احسب نسبة انضغاطه إذا كان ارتفاع غرفةاحتراقه٢٠مم؟.

الحل:

ش = ١٨٠ مم، ر = ٢٠

$$ن_{ص} = \frac{ش + ر}{ر}$$

$$ن_{ص} = \frac{١٨٠ + ٢٠}{٢٠} = \frac{١٠}{١}$$

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 = ؟

$$ن_{ض} = \frac{ش + ر}{ر}$$

$$١٥ = \frac{١٤٠ + ر}{ر}$$

$$١٥ ر = ١٤٠ + ر$$

$$١٤ ر = ١٤٠$$

ر = ١٠ ملم.

تمرين (٢-٥)

١. يبلغ حجم غرفة الاحتراق لاسطوانة محرك ٢٩سم^{٣} ونسبة انضغاطه ١٦ : ١ . احسب حجم الإزاحة. (الاجابة: ٤٣٥ سم^{٣}) .

٢. قطر اسطوانة محرك يبلغ ١٠سم وطول شوطه ٢٠ سم. ونسبة الانضغـــاط ١١ : ١، أحسب حجم الخلوص. (الاجابة: ١٥٧ سم^{٣}).

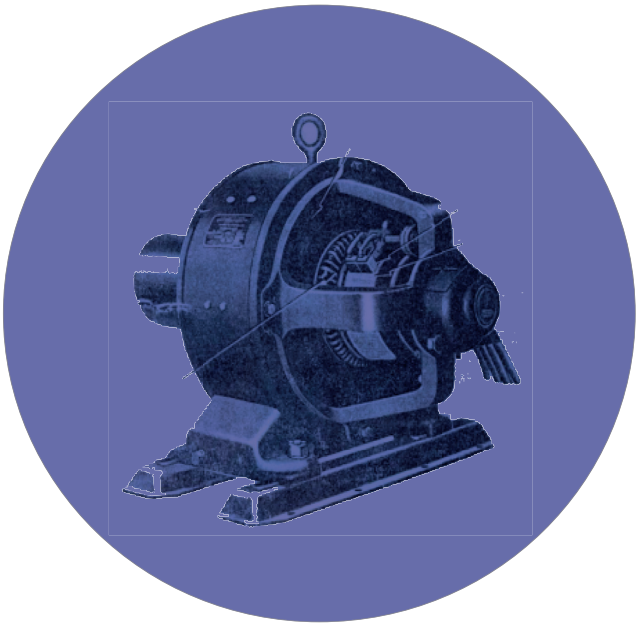
٣. محرك قطر اسطوانته ١٠ سم ونسبة الانضغاط ١٤ : ١، وحجم الخلوص ١٥٧ سم^{٣}, أحسب طول شوطه. (الاجابة: ٢٦سم).

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 الخلوص ٦,٢٨ سم^{٣}. احسب طول شوطه. (الاجابة: ١٠ سم).

الباب الثالث

الهندسة الكهربائية



(٣-١) 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.

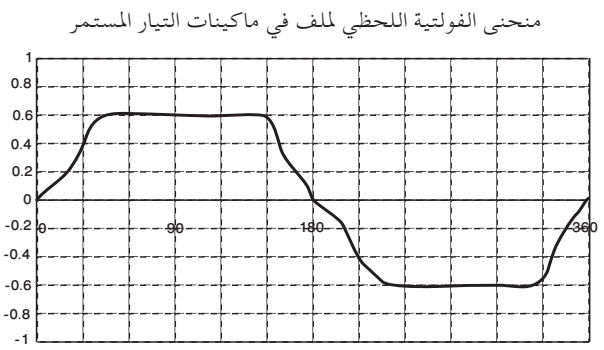
(٣-١-١) ماكينات التيار المستمر.

الفرق بين ماكينات التيار المستمر وماكينات التيار المتردد من حيث التركيب:

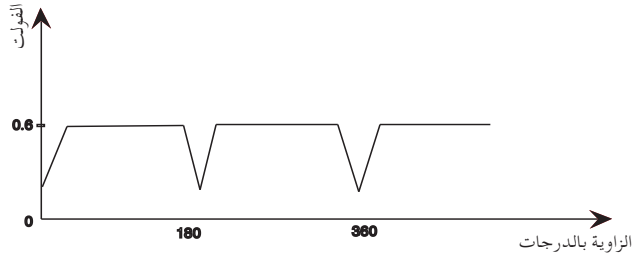
١) تحتوي ماكينات التيار المستمر على عضو تبديل (توحيد)، بينما لا يوجد عضو تبديل في ماكينات التيار المتردد.

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 (٣-١).



الشكل (٣–١) أ الفولتية المنتجةلكل موصل في ألآت التيار المستمر



الشكل (٣–١) ب الجهد المباشر بين الفرش لكل موصل

(٣–١–٢) 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 وبإمرار 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 بتغير تيار المجال.

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

تثبت المجموعة على العضو الساكن.

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

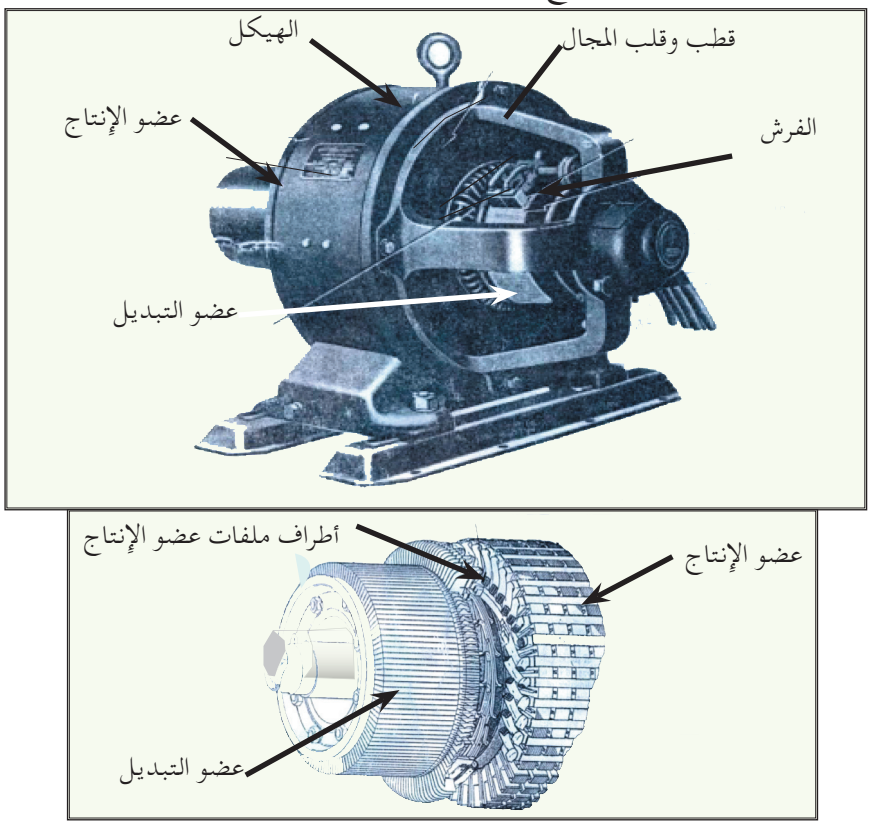
الملفات الموضوعة على الجزء الدوار في آلة التيار المستمر والتي يتم فيها إنتاج قوة

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 (الإنطباقي) .

(٢) اللف الموجي .

الماكينات ذات اللف المتداخل (الانطباقي) تعطي فولتية منخفضة وتياراً عالياً، بينما الماكينات ذات اللف التموجي 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 (٣–٢) : 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:

ϕ ≡ جملة الفيض المغناطيسي (Magnetic flux) في القطب الواحد بالوبر

ز ≡ عدد أزواج الأقطاب.

ر ≡ سرعة الآلة بالدورات أو لفات في الثانية.

الفيض المغنطيسي المقطوع بواسطة موصل واحد في دورة ميكانيكية واحدة

ϕ_2 = ٢ ز وبر

متوسط معدل القطع المغناطيسي في ر لفة/ثانية للموصل الواحد = ϕ_2 ٢ زر وبر/ثانية

$$\therefore \text{ي} = \phi_2 \text{ ٢ رز فولت للموصل الواحد} \quad \ldots\ldots\ldots (٣-١)$$

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

$$\text{ق.د.ك} = \phi_2 \text{ ٢ رز} \times \frac{\text{ص}}{\text{أ}} \text{ فولت} \quad \ldots\ldots\ldots (٣-٢)$$

حيث:

أ = ٢ (للف الموجي).

أ = عدد الأقطاب (للف المتداخل).

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

مثال (٣-١):

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 الكهربية 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 = عدد أزواج الأقطاب = ٦ ÷ ٢ = ٣

ر = سرعة الدوران = ٢٥ لفة / ثانية

ϕ = الفيض المغناطيسي لكل قطب = ٠,٠٥ وبر

(أ) ي = ٢ ϕ زر = ٢ × ٠,٠٥ × ٢٥ × ٣ = ٧,٥ فولت

(ب) ق.د.ك = ٢ ϕ زر × $\frac{ص}{أ}$

(١) ق.د.ك$_{١}$ = $\frac{٦٠٠}{٦}$ × ٧,٥ = ١٠٠ × ٧,٥ = ٧٥٠ فولت

حيث أ = عدد الأقطاب للف المتداخل

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

حيث: أ = ٢ للف الموجي

(د) القدرة القصوى المنتجة = ق.د.ك × تيار عضو الإنتاج

٩٠٠٠٠ = ٧٥٠ × ت$_{١}$ للف المتداخل

∴ ت$_{١}$ = $\frac{٩٠٠٠٠}{٧٥٠}$ = ١٢٠ أمبير

(٤) القدرة القصوى المنتجة = ق.د.ك × تيار عضو الإنتاج

٩٠٠٠٠ = ٢٢٥٠ × ت$_{٢}$ للف الموجي

∴ ت$_{١}$ = $\frac{٩٠٠٠٠}{٢٢٥٠}$ = ٤٠ أمبير

تمارين (٣-١)

(١) باستخدام المعادلة ق.د.ك = ٢ ϕ زر × $\frac{ص}{أ}$، أثبت الآتي:

(أ) ق.د.ك = ثابت × ϕ × ر

(ب) ق.د.ك المتولدة للف المتداخل = ϕ ر ص فولت

(ج) ق.د.ك المتولدة للف الموجي = ϕ رزص فولت

(د) ق.د.ك المنتجة للف الموجي = عدد أزواج الأقطاب× ق.د.ك المنتجة للف المتداخل

(هـ) باعتبار القدرة المنتجة في مولد متساوية في حالتي اللف الموجي والمتداخل أثبت أن:

التيار عند اللف المتداخل = عدد أزواج الأقطاب × التيار عند اللف الموجي

(٢) آلة تيار مستمر بها ٨ أقطاب و٦٠٠ 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 لف متداخل.

(ب) وصلت الموصلات لف موجي.

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

يمكن تشبيه المولد الكهربائي بمصدر قدرة كهربائية مثل المركم 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 يمر التيار من المولد وخلال مقاومة الحمل فإن ذلك يتسبب في هبوط فولتية المقاومة الداخلية للمولد فتنخفض 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 :

$$ف = ي - ت \times مد \quad \ldots . (٣-٤)$$

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 :

$$ف = ت \times مح \quad \ldots . . (٣-٥)$$

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

ت X مح = ي - تX مد

ت X مد + ت X مح = ي

ت X (مد + مح) = ي

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

ويصاحب مرور التيار في المقاومة الداخلية لعضو الإنتاج تحويل قدرة كهربائية مقدارها ت^{٢} X مد واط إلى قدرة حرارية تبدد من عضو الإنتاج . ويسبب هذا الفقد في القدرة انخفاضاً قليلاً في كفاءة المولد، كما يلي :

من المعادلة (٣–٤) : ي = ف + ت X مد

اضرب طرفي المعادلة في ت :

$$\text{ت X ي} = \text{ت X ف} + \text{ت}^{2} \text{ X مد} \quad \ldots\ldots (٣–٧)$$

حيث : ت X ي = القدرة المولدة من الآلة

ت X ف = قدرة الخرج

ت^{2} X مد = القدرة المبددة في المقاومة الداخلية

$$\text{كفاءة أداء الآلة} = \frac{\text{قدرة الخرج}}{\text{القدرة المولدة من الآلة}} = \frac{\text{ت X ف}}{\text{ت X ي}} = \frac{\text{ف}}{\text{ي}} \quad \ldots\ldots (٣–٨)$$

وبتعويض قيمة ت X ي من المعادلة (٣–٧) نحصل على :

$$\text{كفاءة أداء الآلة} = \frac{\text{ت X ف}}{\text{مد ت}^{2} + \text{ف ت}} \quad \ldots\ldots (٣–٩)$$

وتؤثر القدرة المبددة في المقاومة الداخلية للمحركات بطريقة مشابهة للمولدات .

مثال (٣–٢) :

مولد تيار مستمر لديه مقاومة داخلية ٠,٢ Ω و(ق.د.ك) منتجة داخلياً ٢٠٠ V ، ويغذي حملاً موصلاً إليه بتيار مقداره ٢٠ أمبير . أوجد الفولتية عند طرفي المولد .

الحل :

ف = ي – ت X مد

حيث :

ف = الفولتية عند طرفي المولد .

ي = قوة الدفع الكهربائية المنتجة داخلياً في عضو الإنتاج في المولد = ٢٠٠V .

ت = تيار الحمل أو تيار عضو الإنتاج = ٢٠ أمبير .

مد = المقاومة الداخلية للمولد أي مقاومة عضو الإنتاج = ٠,٢ Ω

∴ ف = ٢٠٠ – ٢٠ X ٠,٢ = ١٩٦ V .

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 مقداره ١٠ أوم، أحسب ما يلي :

(ا) 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)

$$\therefore \text{ت} = \frac{\text{ي}}{\text{مح} + \text{مد}} = \frac{٢٢٠}{١٠+١} = ٢٠ \text{ أمبير}$$

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

ف = ق.د.ك − ت× مد = ٢٢٠ − ٢٠ ×١ = ٢٠٠ فولت

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

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

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

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

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

أو :

$$\text{الكفاءة } \% = \frac{\text{ت} \times \text{ف}}{\text{ت} \times \text{ق.د.ك}} \times ١٠٠ = \frac{\text{ف}}{\text{ق د ك}} \times ١٠٠ = \frac{٢٠٠}{٢٢٠} \times ١٠٠ = \frac{١٠٠٠}{١١} = ٩٠,٩ \%$$

(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 طوفي عضو الإنتاج، فيمر التيار من المصدر إلى المحرك الذي يحصل بذلك على طاقة كهربائية يحولها إلى طاقة ميكانيكية عند دورانه، منتجاً قدرة ميكانيكية ذات عزم معلوم. وعليه فإنه يمكن تشغيل نفس آلة التيار المستمر كمولد أو محرك. يمكن توضيح الفرق بين حالتي التوليد الكهربائي والتحريك الميكانيكي من المعادلتين التاليتين:

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

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 (٣-٨) × تيار المنتج (ت).

$$\therefore ت \times ي = ت \times ف - ت^{٢} \times مد$$

يمثل المقدار (ف × ت) القدرة الكهربائية المأخوذة بواسطة عضو الإنتاج.

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

ويمثل المقدار (ت × ي) القدرة الميكانيكية المنتجة بواسطة عضو الإنتاج

$$\text{كفاءة المحرك } \% = \frac{ت \times ي}{ت \times ف} \times ١٠٠ = \frac{ي}{ف} \times ١٠٠$$

$$= \frac{ت \times ف - ت^{٢} \times مد}{(ت \times ف)} \quad \ldots\ldots (٣-١١)$$

مثال (٣-٤) :

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

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

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

الحل :

ي = ف+ ت × مد (للمولد)

ي = ف– ت × مد (للمحرك)

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

مد = مقاومة ملفات عضو الإنتاج الداخلية = ٠,١ Ω .

(١) ت = تيار المولد = ٨٠A

∴ ي = (ق.د.ك) المنتجة في المولد = ٢٣٠ + ٨٠ × ٠,١ = ٢٣٨V .

(٢) ت = تيار المحرك = ٦٠A

∴ ي = (ق.د.ك) المنتجة في المحرك = ٢٣٠ – ٦٠ × ٠,١ = ٢٢٤ 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 أوم، ف = ٣٠٠ فولت

(١) القوة الدافعة الكهربائية عندما تعمل الآلة كمولد :

ي = ف + ت × مد

= ٣٠٠ + ١٠٠ × ٠,٢٥ = ٣٢٥ فولت

كفاءة المولد = $\frac{\text{ف}}{\text{ي}}$ × ١٠٠ = $\frac{٣٠٠}{٣٢٥}$ × ١٠٠ = ٩٢,٣ ٪

(٢) (ق.د.ك) عندما تعمل الآلة كمحرك :

ي = ف– ت× مد

= ٣٠٠– ٨٠ × ٠,٢٥ = ٢٨٠ فولت

كفاءة المحرك = $\frac{\text{ي}}{\text{ف}}$ × ١٠٠ = $\frac{٢٨٠}{٣٠٠}$ × ١٠٠ = ٩٣,٣ ٪

تمارين (٣-٢)

(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 الكهربية 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 مقداره 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 ١٩٦V ومقاومة عضو الإنتاج ٠,٠٢ Ω وفولتية مصدر القدرة ٢٠٠V.

(٣-٢) مولدات التيار المتردد

(٣-٢-١) مقدمة :

يعتمد المولد (مولد تيار مباشر أو متردد) في عمله على نظرية اساسية 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 $\frac{\Delta \phi \text{ وبر}}{\text{الزمن (ثانية)}}$ ويسمى المقدار (وبر/ثانية) بالفولت.

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

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

تحسب قوة الدفع الكهربائية (ق.د.ك) المنتجة في أي لحظةللموصل الواحد بالمعادلة التالية :

$$ي = ص \, ب \, ل \, ع \, جا \, \theta \qquad (٣-١٢)$$

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

ص = عدد الموصلات.

ب = كثافة الفيض المغناطيسي (T).

ل = الطول المؤثر للموصل (م) =٢ ×طول الجنب الواحد.

ع = السرعة الخطية (م/ث).

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 ص=٢، ومقدار ق.د.ك المنتجة للملف ذي الموصلين:

$$ي = ٢ ب ل ع \ جا\theta$$

حيث: ي = مقدار ق.د.ك المنتجة

ب = كثافة الفيض المغناطيسي = ٠,٤٥ تسلا

طول كل جنب من الملف = ٠,٢ م

ع = سرعة كل من جانبي الملف = ٥ م/ث

θ = زاوية التحرك.

$$ي = ٢ \times ٠,٤٥ \times ٠,٢ \times ٥ \ جا\theta$$

$$ي = ٠,٩ \ جا\theta$$

وبتكرار حساب ي بالتعويض في المعادلة أعلاه، عندما تتغير θ كل ٣٠ درجة بين ٠ و٣٦٠° نحصل على:

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

θ	٢١٠	٢٤٠	٢٧٠	٣٠٠	٣٣٠	٣٦٠
ي (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 أديرت 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 ∝ ر

حيث: د = التردد. ر = سرعة الدوران، أي عدد الدورات / ثانية.

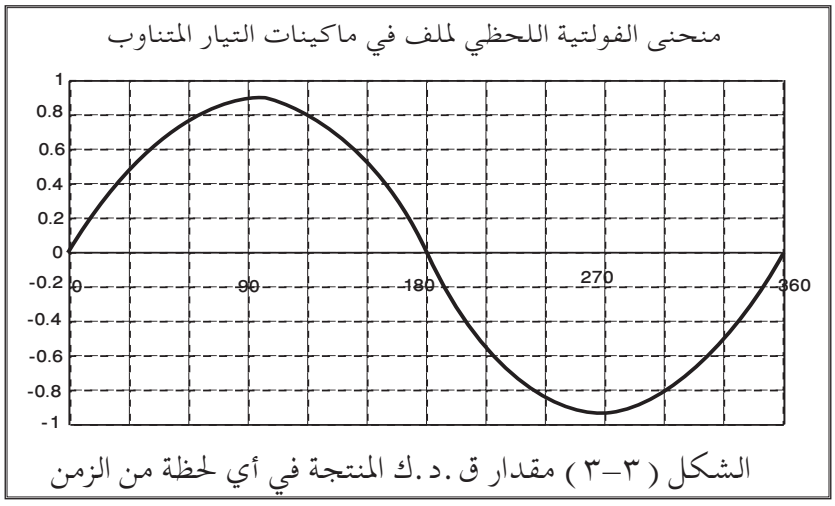
تصمم بعض المولدات الكهربائية بقطبين مغناطيسيين فقط، بينما يصمم الجزء الآخر من المولدات بعدد زوجي من الأقطاب المغناطيسية. وبالنسبة للمولدات متعددة الأقطاب فإن التردد يكون حسب المعادلة التالية:

$$د = ر ز \quad .... \quad (٣-١٣)$$

حيث: د= التردد Hz.

ر = سرعة الدوران (دورات / ثانية)

ز = عدد أزواج الأقطاب.



الشكل (٣-٣) مقدار ق.د.ك المنتجة في أي لحظة من الزمن

مثال (٣-٧):

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

الحل:

د = ر ز

حيث: د = التردد

ر = سرعة الدوران (دورات / ثانية) = ١٠٠ دورة / ثانية

ز = عدد أزواج الأقطاب = $\frac{٦}{٢}$ = ٣

وعليه فإن التردد د = ٣× ١٠٠ = ٣٠٠ 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 Hz

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

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

عدد الأقطاب = ٢×٣ = ٦ أقطاب.

مثال(٣–٩):

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

الحل:

د = ر ز

حيث: د = التردد = ١٠٠Hz

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

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

السرعة = ٦٠×٢٥ = ١٥٠٠ 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- كُتِب على لوحة بيانات مولد الأتي : (٣٠٠٠ لفة/دقيقة، ٥٠ هيرتز) . ما عدد اقطاب المولد .

(٣-٣) دوائر التيار المتردد

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

التيار المتردد هو التيار الذي يتغير مقداراً واتجاهاً 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.

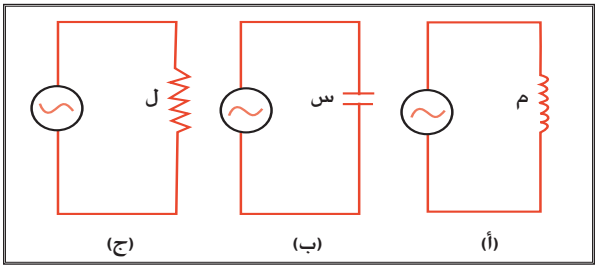
٣- يمكن الحصول على أي جهد تيار مباشر من مصدر AC بدوائر بسيطة عالية الكفاءة تسمى دوائر التقويم، وذلك في التطبيقات التي تكون فيها الحاجة ملحة لاستخدام التيار المباشر والتي لا يمكن فيها استخدام التيار المتردد. والتطبيقات هي:

أ- كل الأجهزة الالكترونية التي بها عناصر فعالة.

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

جـ-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 محاثة

(٣–٣–٢) التيار المتردد في دوائر بها مقاومة فقط :

في حالة التيار المتردد الذي يمر في دائرة بها مقاومات فقط، وليس بها محاثة أو مواسعة كما في الشكل (٣–٥)(أ) فإن التيار في أي لحظة من الزمن يعطى بقانون أوم : ت = $\frac{ف}{م}$.

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 جيبياً، أي :

$$ف = ف_{ق} \text{ جا} \theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٣–١٤)$$

فإن منحنى التيار يكون أيضاً جيبياً، أي

$$ت = ت_{ق} \text{ جا} \theta \quad \ldots\ldots (٣–١٥)$$

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 $\frac{١}{٥٠}$ 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

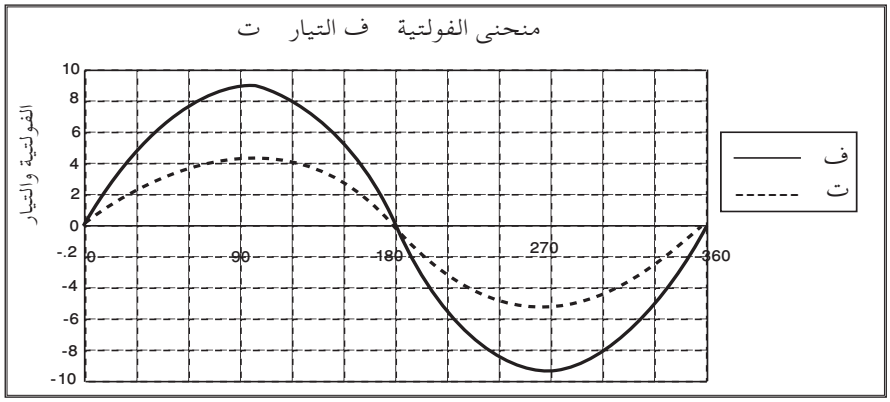
ولكن يمكن أن تقاس القيمة القصوى مثلاً أو أي قيمة أخرى تمثل هذا التيار، مثل متوسط القيمة اللحظية. ومتوسط القيمة اللحظية للدورة الكاملة يساوي صفراً، لأن نصف الدورة موجب والنصف الآخر سالب ومماثل للنصف الأول.

ويمكن حساب المتوسط لنصف دورة واحدة، ويعتمد هذا المتوسط على القيمة القصوى للتيار $ت_{ق}$، كما يلي:

$$\text{متوسط ت} = ٠,٦٣٧ \times ت_{ق} \quad \ldots\ldots\ldots (٣-١٦)$$

ولكن قيمة متوسط التيار قليلة الأهمية بالنسبة للتيار المتردد حيث أنها لا تساعد في حساب القدرة الناتجة عن التيار، وهو الهدف الأهم في أغلب الأحيان.

القدرة اللحظية الناتجة عن التيار تساوي $ت^{٢} \times م$، 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 ت 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:

$$\text{ج.م.ت.} = \frac{ت_{ق}}{\sqrt{٢}} \quad \ldots\ldots\ldots (٣-١٧)$$

حيث : $ت_{ق}$ = القيمة القصوى للتيار .

ويحسب متوسط التيار من المعادلة التالية :

$$\text{متوسط التيار} = \frac{ت_{ق} \times ٢}{\pi} = ٠,٦٣٧ \times ت_{ق} \quad .....(٣-١٨)$$

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 والدائر المختلفة .

والقيمة الفعالة للتيار (ت) أو الفولتية (ف) ذات المنحنى الجيبي كما في الشكل (٣-٦) يساوي :

$$ت = ٠,٧٠٧ \times ت_{ق} \text{ أمبير}$$

$$ف = ٠,٧٠٧ \times ف_{ق} \text{ فولت}$$

مثال(٣-١٠) :

احسب جذر متوسط تربيع التيار (ج.م.ت .) إذا كانت قيمته القصوى ٢٤A . واحسب أيضاً متوسط التيار .

الحل :

$ت_{ق}$ = القيمة القصوى للتيار = ٢٤A

$$\text{جذر متوسط تربيع التيار} = \frac{ت_{ق}}{\sqrt{٢}} = \frac{٢٤}{\sqrt{٢}} = ١٦,٩٧ \underline{A} .$$

$$\text{متوسط التيار} = ٠,٦٣٧ \times ت_{ق} = ٠,٦٣٧ \times ٢٤ = ١٥,٢٩ \underline{A} .$$

مثال(٣-١١) :

إذا كان مقدار المقاومة في الشكل (٣-٤)(أ) تساوي ٢٥ Ω وفولتية المصدر ٢٣٠V متناوب (مت)، أوجد مقدار التيار الذي يقاس بواسطة جهاز قياس التيار (الأميتر) .

الحل :

ف = فولتية المصدر = ٢٣٠V (r.m.s) .

م = المقاومة = ٢٥ Ω

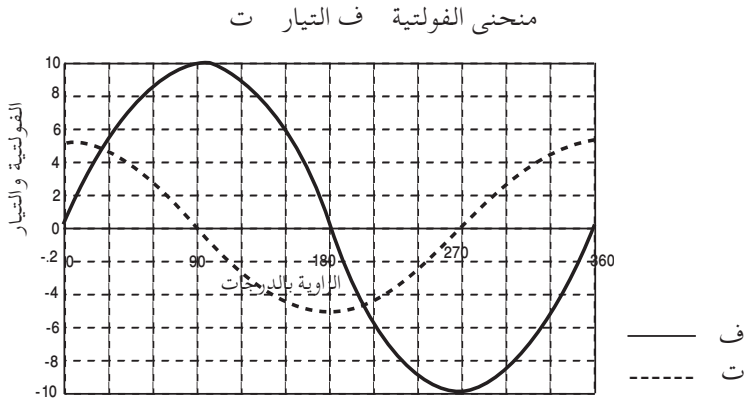
بتطبيق قانون أوم :

مقدار التيار ت = ف÷ م = ٢٣٠ ÷ ٢٥ = ٩,٢ A (r.m.s)

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

(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 ٩٠°.



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 $\frac{ف}{ت}$ تعطي مقداراً ثابتاً لأي مكثف ذي مواسعة محددة (س). ويسمى هذا الثابت بالمفاعلة (ع) ووحدته أوم. وبالنسبة للمكثف يسمى هذا الثابت بالمفاعلة السعوية $ع_س$. ويمكن

حساب المفاعلة السعوية ع$_س$ من مقدار المواسعة س (فاراد) والتردد د (هيرتز) كما يلي:

$$ع_س = \frac{١}{٢\ \pi\ د\ س} \quad (\text{اوم}) \qquad \ldots\ldots (٣-١٩)$$

مثال(٣-١٢):

مكثف مواسعته ٢٢ μF ، وصل إلى مصدر قدرة كهربائية ذي فولتية ٢٠٠ V وتردد ٥٠ Hz . جد:

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

الحل:

١) $ع_س = \frac{١}{٢\ \pi\ د\ س}$

حيث: ع$_س$ = المفاعلة السعوية.

س = المواسعة = ٢٢ μF

د = التردد = ٥٠ Hz

ف = فولتية المصدر = ٢٠٠ V

$$ع_س = \frac{١}{٢\ \pi\ ٥٠\ X\ ٢٢\ X\ ١٠^{-٦}} = ١٤٤,٧\ \Omega$$

٢) التيار = $\frac{ف}{ع_س} = \frac{٢٠٠}{١٤٤,٧} = ١,٣٨\ A$

(٣-٣-٥) التيار المتردد في دائرة بها محاثة فقط:

الدائرة في الشكل (٣-٤)(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 (٣-٧) 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 تتأخر عن زاوية طور الفولتية بمقدار ٩٠°.

(٣-٣-٦) المفاعلة الحثية:

عندما يمر تيار ذو تردد معلوم (د) في دائرة بها محاثة فقط، فإن النسبة $\frac{ف}{ت}$ تعطي مقداراً ثابتاً لأي ملف ذي محاثة 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 المحاثة ل (هنري) والتردد د (هيرتز) كما يلي:

$$ع_ل = ٢ \pi د ل \quad (\text{اوم}) \qquad \ldots\ldots (٣-٢٠)$$

مثال (٣-١٣):

ملف ذو محاثة ٠,٤٥ هنري، وصل إلى مصدر قدرة كهربائية ذي فولتية ٢٠٠V وتردد ٥٠ Hz، جد:

(١) مقدار المفاعلة السعوية.

(٢) مقدار التيار المتردد الذي سوف يمر بالدائرة.

الحل:

المفاعلة الحثية $ع_ل = ٢ \pi د ل$

حيث: $ع_ل$ = المفاعلة الحثية

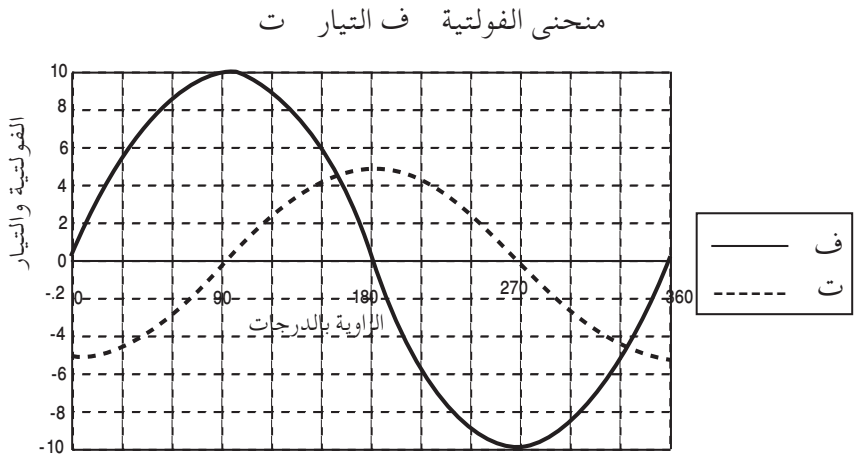
ل = معامل الحث الذاتي = ٠,٤٥ H

د = التردد = ٥٠ Hz

ف = فولتية المصدر = ٢٠٠ V

(١) المفاعلة الحثية = $٢ \pi \times ٥٠ \times ٠,٤٥ = ١٤١,٤ \ \Omega$

(٢) التيار = $\frac{ف}{ع_ل} = \frac{٢٠٠}{١٤١,٤} = ١,٤١ \ A$



الشكل (٣–٧) : الفولتية والتيار اللحظي لدائرة بها محاثة فقط .

(٣–٣–٧) 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 ٩٠° . 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 ٩٠° .

ومقدار التيار (ت) في هذه الحالة يكون :

$$\text{ت} = \frac{\text{ف}}{\text{و}} \quad \text{أمبير} \qquad \ldots\ldots (٣–٢١)$$

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 :

$$\text{و} = \sqrt{\text{م}^{٢} + \text{ع}_{س}^{٢}} \quad \text{أوم} \qquad \ldots\ldots (٣–٢٢)$$

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

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

م = المقاومة. $ع_س$ = المفاعلة السعوية. و = المعاوقة.

ووحدة كل واحدة منها هي الأوم.

φ = زاوية الطور بين الفولتية والتيار، وجتاφ تسمى معامل القدرة، ومقداره جتا$\varphi = \frac{م}{و}$

القدرة (قد) = ف × ت × جتاφ وات ..... (٣-٢٣)

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

إذا اشتملت الدائرة الكهربائية على محاثة 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 ٩٠°. أما إذا اشتملت الدائرة على محاثة 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 ٩٠°.

ومقدار التيار (ت) في هذه الحالة يكون:

$$ت = \frac{ف}{و} \text{ أمبير} \quad .... (٣-٢٤)$$

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:

$$و = \sqrt{م^2 + ع_ل^2} \text{ أوم} \quad ..... (٣-٢٥)$$

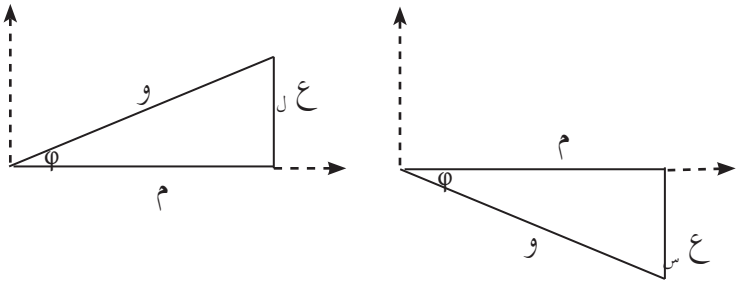
وتستنبط هذه العلاقة من مثلث المعاوقة الموضح في الشكل (٣-٨) (ب) لدائرة تحتوي على مقاومة ومحاثة موصلان على التوالي. وتعني المتغيرات الموضحة على المثلث ما يلي:

م = المقاومة. $ع_{ل}$ = المفاعلة الحثية. و = المعاوقة.

ووحدة كل واحدة منها هي الأوم.

φ = زاوية الطور بين الفولتية والتيار، وجتاφ تسمى معامل القدرة، ومقداره جتا$\varphi = \frac{م}{و}$

القدرة (قد) = ف ×ت× جتاφ وات



(أ) السعوية (ب) الحثية.

الشكل (٣–٨) مثلث المعاوقة

مثال(٣–١٤) :

مقاومة مقدارها ٤٠ Ω ومفاعلة سعوية مقدارها ٣٠Ω وصلا على التوالي مع مصدر فولتية ٢٤٠ فولت متناوب. جد :

(١) مقدار المعاوقة. (٢) مقدار التيار. (٣) معامل القدرة.

الحل :

ف = فولتية المصدر = ٢٤٠V

م = المقاومة = ٤٠Ω

$ع_{س}$ = المفاعلة السعوية = ٣٠Ω

(١) المعاوقة $و = \sqrt{م^{٢} + ع_{ل}^{٢}} = \sqrt{٤٠^{٢} + ٣٠^{٢}} = ٥٠\ \Omega$

(٢) التيار ت $= \frac{ف}{و} = \frac{٢٤٠}{٥٠} = ٤٫٨\ A$

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

مثال(٣-١٥):

دائرة كهربائية مكونة من مقاومة م= ٣٠ Ω موصلة على التوالي مع مكثف س ومع مصدر ذي فولتية ف = ٢٠٠ V متناوب (مت). إذا كان التيار المار خلال الدائرة يساوي ٤ A جد:

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

الحل:

ف = فولتية المصدر = ٢٤٠ V

ت = التيار = ٤ A

م = المقاومة = ٣٠ Ω

φ = زاوية الطور بين فولتية وتيار المصدر

المعاوقة و = $\frac{ف}{ت}$ = $\frac{٢٠٠}{٤}$ = ٥٠ Ω

(١) $و = \sqrt{م^{٢} + ع_{س}^{٢}}$ ، $و^{٢} = م^{٢} + ع_{س}^{٢}$

$ع_{س}^{٢} = و^{٢} - م^{٢}$

$ع_{س} = \sqrt{و^{٢} - م^{٢}} = \sqrt{٥٠^{٢} - ٣٠^{٢}} = ٤٠ Ω$

(٢) جتا φ = $\frac{م}{و}$ = $\frac{٣٠}{٥٠}$ = ٠,٦

(٣) القدرة (قد) = ف × ت × جتا φ واتّ = ٢٠٠ × ٤ × ٠,٦ = ٤٨٠ واتّ

أو (قد) = $ت^{٢}$ × م = ٤ × ٤ × ٣٠ = ٤٨٠ واتّ

مثال(٣-١٦):

ملف مقاومته ٥٠ Ω ومحاثته $\frac{١}{\pi ٢}$ H ، وصل على التوالي إلى مقاومة أخرى مقدارها ٧٠ Ω، وإلى مصدر قدرة كهربائية ذي فولتية ٢٤٠ V وتردد ٥٠ Hz. جد مقدار التيار في هذه الدائرة ومعامل القدرة.

الحل:

$م_{١}$ = مقاومة الملف = $٥٠\ \Omega$

$م_{٢}$ = المقاومة الخارجية = $٧٠\ \Omega$

ل = المحاثة = $\frac{١}{\pi\ ٢}\ H$

ف = فولتية المصدر = $٢٤٠\ V$

د = التردد = $٥٠\ Hz$

مجموع المقاومتين = م = ٥٠ + ٧٠ = $١٢٠\ \Omega$

المفاعلة الحثية $ع_{ل}$ = $٢\ \pi$ د ل

$$= \qquad \Omega ٥٠ = \frac{١}{\pi\ ٢} \times ٥٠ \times \pi\ ٢$$

مقدار المعاوقة و = $\sqrt{م^{٢} + ع_{ل}^{٢}}$ = $\sqrt{(١٢٠)^{٢} + (٥٠)^{٢}}$ = $\Omega ١٣٠$

مقدار التيار ت = $\frac{ف}{و}$ = $\frac{٢٤٠}{١٣٠}$ = $\underline{\underline{١,٨٤\ A}}$

جتاφ = $\frac{م}{و}$ = $\frac{١٢٠}{١٣٠}$ = $\underline{\underline{٠,٩}}$

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 كهربائية مكونة من مقاومة مقدارها ١٢Ω ومفاعلة حثية مقدارها ٥Ω، 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) محاثة 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.

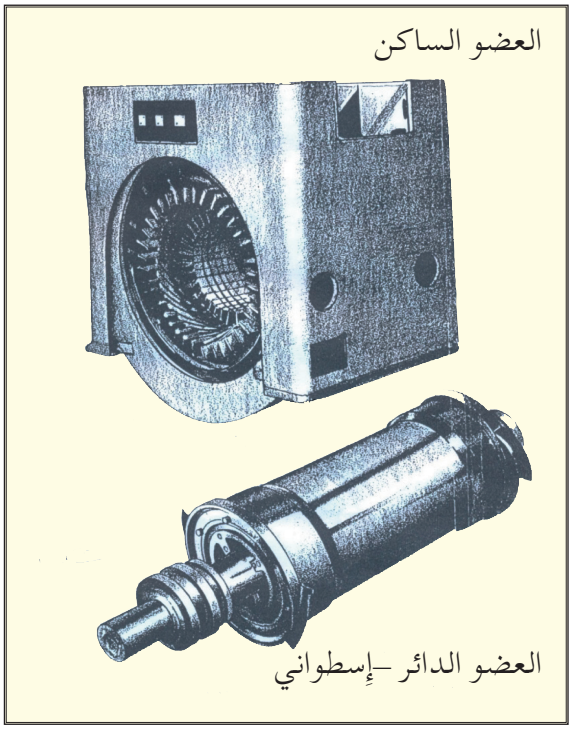
هنالك نوعان من مولدات المجال الدائر:

(١) مولدات الأقطاب البارزة : Salient pole

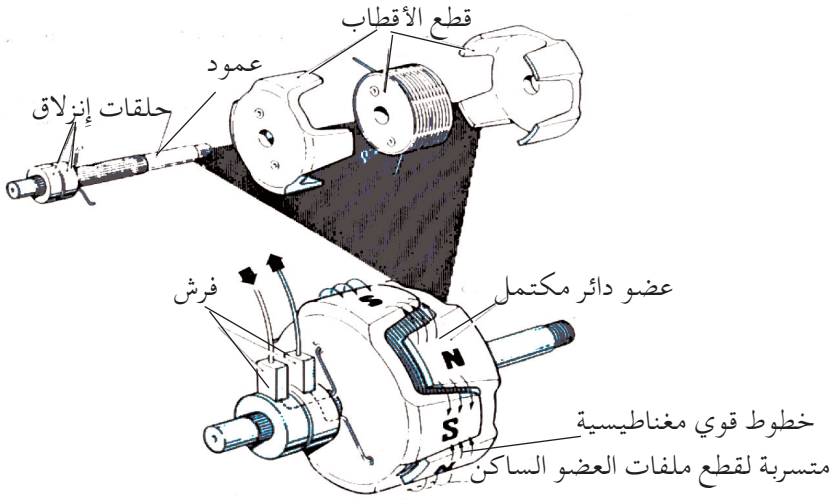
تستخدم عند السرعات المنخفضة (أقل من ١٥٠٠ لفة/دقيقة) وتستخدم عادة في التوربينات المائية، هذا النوع من المولدات رخيصة بالمقارنة بالأنواع الاخرى. وشكل(٣-١٠) يبين اقطاب بارزة على شكل مخالب متداخلة مستخدمة على نطاق واسع في مغنيتو السيارات .

(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- بترول- 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



شكل (٣–١٠):العضو الدائر في مولد سيارة (مقنيتو) ثلاثية الأطوار

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

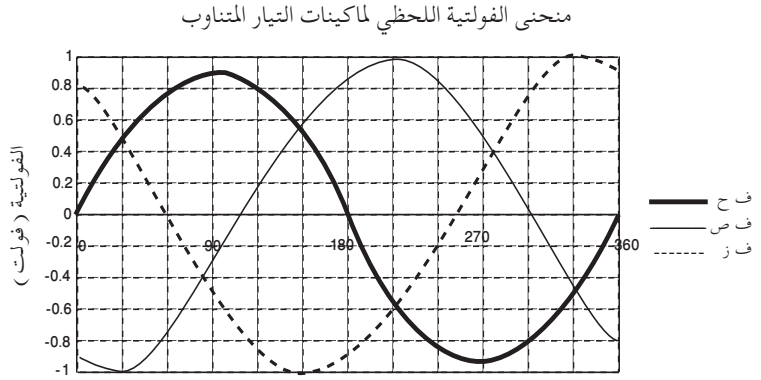
يرتبط تقنين المولدات بالحمل الذي يمكن للمولد مده باستمرار دون ارتفاع درجة الحرارة فوق المعدل. لذلك يتحدد تقنين المولد بالحرارة الداخلية التي يمكن أن يتحملها المولد. وحيث أن الحرارة ترتفع أساساً نتيجة لمرور التيار لذلك تقنن المولدات بدلالة جهد الخرج وتيار المنتج (بالفولت.أمبيرVA، أو الكيلو فولت.أمبير 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 كيلوواط 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.

$$\begin{aligned} ف_{١} &= ف_{ق} \, جا\theta \\ ف_{٢} &= ف_{ق} \, جا(\theta - ١٢٠) \\ ف_{٣} &= ف_{ق} \, جا(\theta - ٢٤٠) \end{aligned} \qquad (٣-٢٦)$$

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 الكهربية 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))

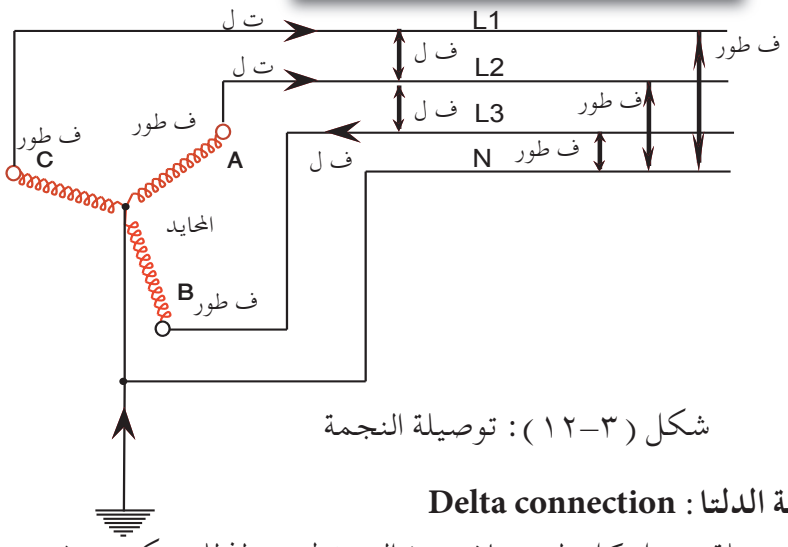
تبعاً لذلك يكون تيار الخط = تيار الطور

$$ت_{ل} = ت_{ط} \quad \ldots\ldots\ldots (٣-٢٧)$$

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 = $\sqrt{٣}$ جهد الطور

$$ف_{ل} = \sqrt{٣} \times ف_{طور} \qquad (٣-٢٨)$$



شكل (٣-١٢) : توصيلة النجمة

٢- توصيلة الدلتا : Delta connection

في هذه التوصيلة يوصل كل طور مباشـــرة إلى خطين، ولذلك يكـــون

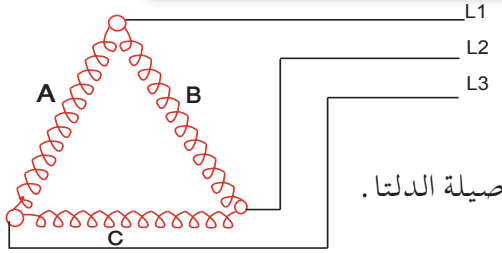
جهد الخط = جهد الطور

$$ف_{ل} = ف_{طور} \qquad (٣-٢٩)$$

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

تيار الخط = $\sqrt{٣}$ × تيار الطور

$$ت_{ل} = ١٫٧٣٢ \times ت_{طور} \qquad (٣-٣٠)$$



شكل (٣-١٣) : توصيلة الدلتا.

مثال(٣-١٧):

مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ملفاته موصلة نجمة ويعطي تيار حمل كامل مقداره ٣٠٠ أمبير عند جهد خط ٢٣٠√٣ فولت, ومعامل قدرة ٠,٨ تخلف، جد: (أ) جهد الطور. (ب) تيار الحمل الكامل للطور.

الحل:

أ- جهد الطور = جهد الخط ÷ √٣

= ٢٣٠√٣ ÷ √٣ = ٢٣٠ فولت.

ب- تيار الطور = تيار الخط = ٣٠٠ أمبير

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:

١- جهد الطور = جهد الخط = ٤٠٠ فولت.

٢- تيارالطور = تيار الخط ÷ √٣

= ٢٠٠ ÷ ١,٧٣٢ = ١١٥,٥ أمبير

تمارين(٣-٥)

(١) مصدر قدرة كهربائية ثلاثي الأطوار موصل على طريقة النجمة، فإذا كان جهد الطور يساوي ٢٣٠ فولت وتيار الخط ت$_{ل}$ 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 ع$_{ل}$ = ٤٠ 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 ١٥√٣ أمبير فأحسب سعة كل مكثف.

(٣-٥) المحولات Transformers

المحول جهاز كهرومغناطيسي ساكن ليس له أجزاء متحركة، ينقل الطاقة الكهربية 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 الرئيسة :

(١) القلب المغناطيسي : Magnetic core

عبارة عن شرائح من الحديد السليكوني.

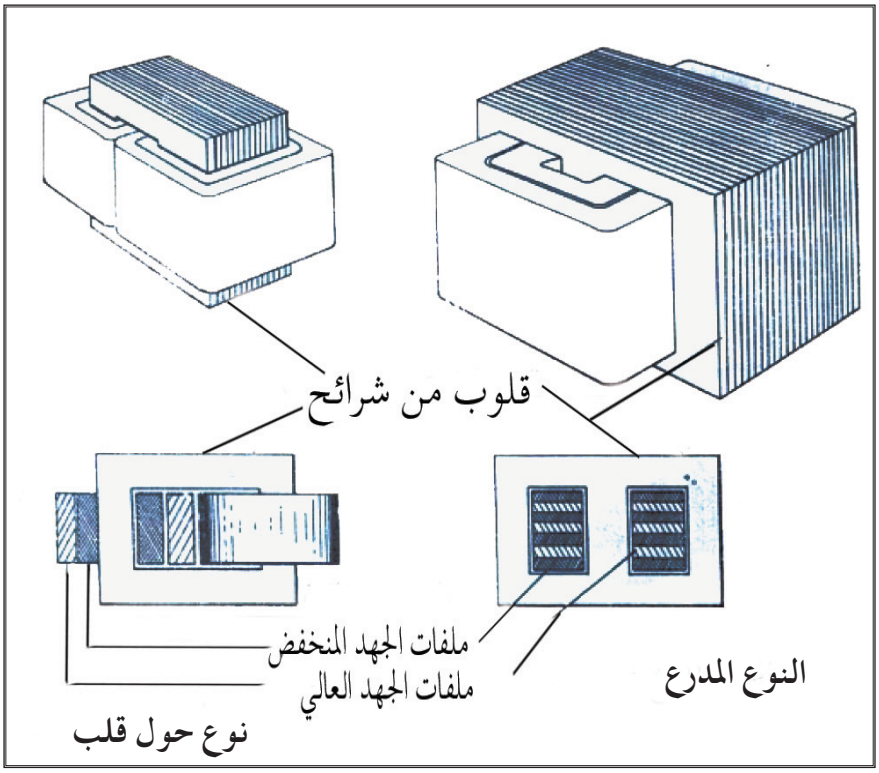
(٢) الملف الإبتدائي (الأولي) : Primary winding

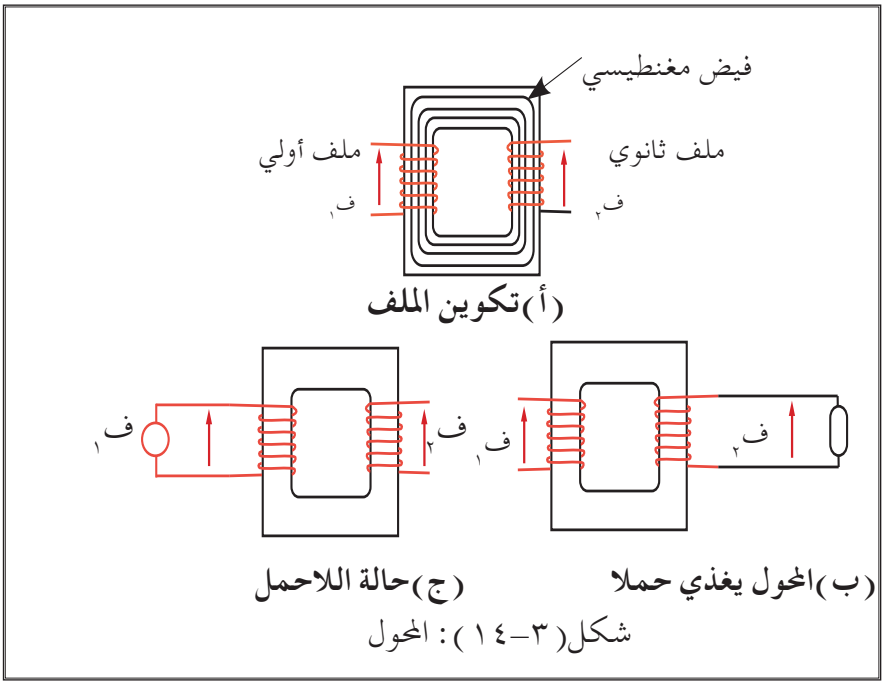
عبارة عن سلك نحاس معزول يلف على جانب من القلب المغناطيسي ويوصل إلى مصدر التيار المتردد.

(٣) الملف الثانوي : Secondary winding

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

إذا كان عدد ملفات الملف الإبتدائي 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 الكهربية عند جهد معين ويسلم نفس الطاقة أو أقل قليلاً بجهد أعلى من الجهد المستقبل وتيار أقل بنفس نسبة زيادة الجهد، والعكس فإن المحول الخافض يستقبل الطاقة عند جهد معين ويسلم نفس الطاقة أو أقل قليلاً بجهد أقل من المستقبل وتيار أعلى بنفس النسبة.





شكل (٣-١٤) : المحول

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

عندما تكون دائرة الملف الثانوي مفتوحة ويوصل جهد تيار متردد ف$_{١}$ إلى الملف الإبتدائي يمر تيار صغير في الملف الإبتدائي يسمى تيار اللاحمل وينشأ مجال مغناطيسي متغير في القلب الحديدي، هذا المجال المغناطيسي يقطع الملف الإبتدائي والملف الثانوي فتتكون قوة دافعة كهربية ي$_{١}$ في الملف الإبتدائي بالحث الذاتي وقوة دافعة كهربية ي$_{٢}$ 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 الإبتدائي ينتقل إلى الملف الثانوي بدون فواقد.

$$\frac{ي_{١}}{د_{١}} = \frac{ي_{٢}}{د_{٢}} \qquad (٣-٣١)$$

حيث د$_{١}$، د$_{٢}$ عدد اللفات في الملف الإبتدائي والثانوي على الترتيب.

ي$_{١}$ = ف$_{١}$. ي$_{٢}$ = ف$_{٢}$

$$\frac{ف_{١}}{د_{١}} = \frac{ف_{٢}}{د_{٢}} \qquad (٣-٣٢)$$

يسمى $\frac{ف_{١}}{ف_{٢}}$ بنسبة الفولتية و $\frac{د_{١}}{د_{٢}}$ بنسبة اللفات.

عندما يوصل حمل إلى الملف الثانوي يمر تيار كهربي في الملف الثانوي (ت$_{٢}$) وتنتقل القدرة الكهربية عبر المحول إلى الحمل بحيث أن :

قدرة الدخل = قدرة الخرج + الفواقد

ف$_{١}$ × ت$_{١}$ = ف$_{٢}$ × ت$_{٢}$ + الفواقد

في المحول المثالي الفواقد = صفر

∴ ف$_{١}$ × ت$_{١}$ = ف$_{٢}$. ت$_{٢}$

$$\therefore \frac{ف_{١}}{ف_{٢}} = \frac{ت_{٢}}{ت_{١}} \qquad (٣-٣٣)$$

$$\therefore \quad \frac{ي_1}{ي_2} = \frac{ف_1}{ف_2} = \frac{د_1}{د_2} = \frac{ت_2}{ت_1} \qquad ..(٣-٣٤)$$

تقنن 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 ف$_1$ X ت$_1$ أو ف$_2$ X ت$_2$ حيث ت$_2$ تيار الحمل الكامل للملف الثانوي.

مثال(٣-١٩):

محول به ٥٠٠ لفة في ملفه الأولي و٢٠٠٠ لفة 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:

$$\frac{ي_1}{ي_2} = \frac{د_1}{د_2}$$

حيث: ي$_2$ = (ق.د.ك.) المنتجة في الملف الثانوي = ٢٠٠٠ V

د$_1$ = عدد لفات الملف الأولي = ٥٠٠ لفة

د$_2$ = عدد لفات الملف الثانوي = ٢٠٠٠ لفة

$$\text{ق.د.ك. في الملف الأولي ي}_1 = \frac{ي_1}{ي_2} \times \frac{د_1}{} = \frac{٢٠٠٠ \times ٥٠٠}{٢٠٠٠} = ٥٠٠ \text{ V}$$

مثال(٣-٢٠):

(ق.د.ك.) العكسية ي$_1$ لمحول ١٠٠٠ V و(ق.د.ك.) في الملف الثانوي ي$_2$ تساوي ٥٠٠ V. الملف الأولي به ٢٠٠ لفة أحسب عدد اللفات في الملف الثانوي.

الحل:

$$\frac{ي_1}{ي_2} = \frac{د_1}{د_2}$$

حيث: $ي_1$ = (ق.د.ك.) المنتجة في الملف الأولي = ١٠٠٠ V

$ي_2$ = (ق.د.ك.) المنتجة في الملف الثانوي = ٥٠٠ V

$د_1$ = عدد لفات الملف الأولي = ٢٠٠ لفة

عدد لفات الملف الثانوي $د_2 = \frac{ي_1 \times د_1}{ي_2} = \frac{٢٠٠ \times ٥٠٠}{١٠٠٠} = ١٠٠$ لفة

مثال(٣-٢١):

محول لديه ملف أولي به ١٠٠ لفة وملف ثانوي به ٤٠٠ لفة. فإذا كان التيار في الملف الثانوي ٥٠٠ A أحسب التيار الذي يمر من مصدر القدرة في الملف الأولي. أهمل تيار اللاحمل.

الحل:

$ت_1 د_1 = ت_2 د_2$

حيث: $ت_2$ = تيار الملف الثانوي = ٥٠٠ A

$د_2$ = عدد لفات الملف الثانوي = ٤٠٠ لفة

$د_1$ = عدد لفات الملف الأولي = ١٠٠ لفة

تيار الملف الأولي $ت_1 = \frac{ت_2 \times د_2}{د_1} = \frac{٥٠٠ \times ٤٠٠}{١٠٠} = ٢٠٠٠$ A

مثال(٣-٢٢):

الملف الأولي لمحول موصل إلى مصدر قدرة به ٤٠٠ لفة، ويمر به تيار ٢٠ A من مصدر القدرة. والملف الثانوي به ٢٠٠ لفة. أحسب مقدار التيار من الملف الثانوي إلى الحمل. أهمل تيار اللاحمل.

الحل:

$ت_1 د_1 = ت_2 د_2$

حيث: $ت_1$ = تيار الملف الثانوي = ٢٠ A

$د_1$ = عدد لفات الملف الثانوي = ٤٠٠ لفة

$د_٢$ = عدد لفات الملف الأولي = ٢٠٠ لفة

تيار الملف الثانوي $ت_٢ = \frac{ت_١ \times د_١}{د_٢} = \frac{٤٠٠ \times ٢٠}{٢٠٠} = ٤٠$ A

(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

$$\text{جملة الفواقد النحاسية} = ت_١^{٢} م_{١١} + ت_٢^{٢} م_{٢٢} \quad (\text{واط}) \qquad \ldots\ldots (٣-٣٥)$$

(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.

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

$$= \frac{\text{قدرة الخرج}}{\text{قدرة الخرج + الفواقد}} \times ١٠٠$$

$$= \frac{ق_٢ \times ت_٢ \times \text{معامل القدرة}}{\text{قدرة الدخل}} \times ١٠٠$$

$$= \frac{\text{قدرة الدخل} - \text{الفواقد}}{\text{قدرة الدخل}} \times ١٠٠$$

$$= (١ - \frac{\text{الفواقد}}{\text{قدرة الدخل}}) \times ١٠٠ \qquad (٣-٣٦)$$

وتكون كفاءة المحول بين ٩٥٪ و٩٨٪، ويمكن الحصول على كفاءة قصوى عندما تتساوى فواقد النحاس المتغيرة مع الفواقد الحديدية الثابتة.

مثال (٣-٢٣):

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

الحل:

الفواقد النحاسية = ١,٥ ، الفواقد الحديدية = ١ كيلوواط

الفواقد الكلية = ١,٥ + ١ = ٢,٥ كيلوواط

معامل القدرة = ٠,٨٥

ف$_{٢}$ × ت$_{٢}$ = ٢٠٠ كيلوفولت. أمبير

قدرة الدخل = قدرة الخرج + الفواقد الكلية

قدرة الخرج = ف$_{٢}$ × ت$_{٢}$ × جتاφ

= ٢٠٠ × ٠,٨٥ = ١٧٠ كيلوواط

قدرة الدخل = ١٧٠ + ٢,٥ = ١٧٢,٥ كيلوواط

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

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

(٣-٥-٤) أنواع المحولات:

هناك عدة انواع من المحولات وفقاً لنوع التطبيق منها:

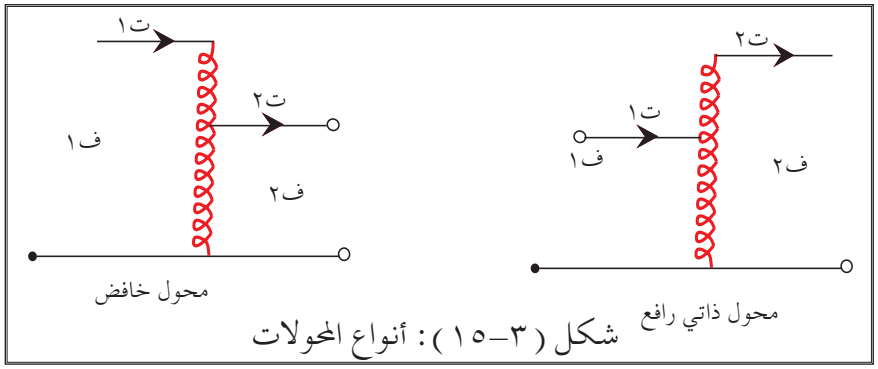
(١) محولات القدرة: Power transformers

يمكن أن يصل تقنين المحول إلى عدة ميقا فولت أمبير (MVA). قلب المحول عادة يتكون من شرائح الحديد السليكوني - الشرائح تقلل فواقد التيارات الإعصارية والحديد السليكوني يقلل فواقد التحلقية 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 الإبتدائي والثانوي ويتكون من ملف واحد .



شكل (٣–١٥) : أنواع المحولات

الإستخدامات :

(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 (٣-٦)

(١) الملف الأولي لمحول ما به ٢٠٠ لفة، وملف ثانوي به ٥٠٠ لفة. فإذا كان التيار في الملف الثانوي ٧٠٠ A. 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 ٣٠ A 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 و١٥٠٠ في ملفه الثانوي. جد مقدار (ق.د.ك.) العكسية المنتجة حثياً في الملف الأولي عندما تكون (ق.د.ك.) في الملف الثانوي ٢٠٠٠ V.

(٤) (ق.د.ك.) العكسية (ي$_{١}$) لمحول ٢٠٠٠ V و(ق.د.ك.) في الملف الثانوي (ي$_{٢}$) تساوي ١٠٠٠ V. الملف الأولي به ٥٠٠ لفة. أحسب عدد اللفات في الملف الثانوي.

(٥) محول مخفض للفولتية بنسبة ١٥:١. الملف الأولي يحتوي على ١٦٥٠ لفة ووصل إلى مصدر قدرة ذي فولتية ٣٠٠٠ V. أحسب فولتية الملف الثانوي وعدد لفاته.

(٦) محول به ١٠٠ لفة في الملف الأولي و٢٠٠٠ لفة في الملف الثانوي وتيار 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 الإبتدائي لمحول ٤٠٠ كيلوفولت.أمبير ٠,٥ أوم ومقاومة الملف الثانوي ٠,٠٠١ أوم. فواقد الحديد ٢,٥ كيلوواط، جهد الملف الإبتدائي ٥ كيلوفولت وجهد الملف الثانوي ٣٢٠ فولت. إذا كان معامل القدرة ٠,٨٥ أحسب كفاءة المحول عند الحمل الكامل.

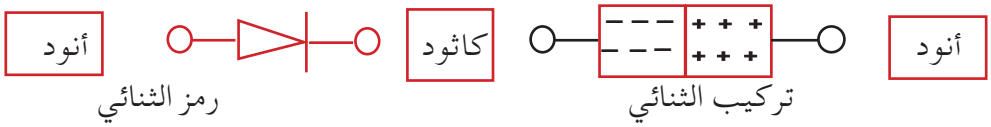
(٨) محول ٢٠٠ كيلوفولت.أمبير الفواقد الحديدية له ٢ كيلوواط. أحسب أقصى كفاءة عند معامل قدرة ٠,٨.

(٣-٦) هندسة الإلكترونيات

(٣-٦-١) الثنائي (الدايود) : Diode

الثنائي (الدايود) من عناصر أشباه الموصلات يسمح بمرور التيار بسهولة في إتجاه واحد ويمنع مرور التيار في الإتجاه 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(٣-١٦): الثنائي

(٣-٦-٢) أنواع الثنائي:

(أ) ثنائيات القدرة Power Diodes

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

(ب) زينار ديود 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 الإنبعاث 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 كلمبات بيان في كثير من الأجهزة الكهربية والإلكترونية وتستخدم كذلك في الإتصالات كمصدر للإشعاع الضوئي المستعمل في الألياف الضوئية الزجاجية.

(هـ) ثنائي فراكتور : Varactor

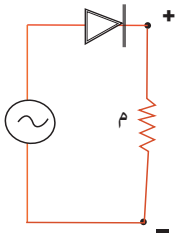
الفراكتور أو الثنائي ذو المفاعلة المتغيرة ويعمل كمكثف متغير عند تغيير جهد الإنحياز العكسي، وهكذا بتغيير جهد الإنحياز العكسي للفراكتور عند طريق التحكم عن بعد (الرموت)، مثلاً يتم إختيار المحطات والقنوات المراد مشاهدتها أو الاستماع إليها .

(٣-٦-٣) تطبيقات الثنائي :

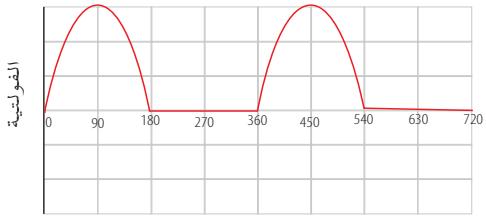
يستخدم الثنائي في تطبيقات كثيرة أهمها تقويم التيار المتردد (تحويل التيار المتردد(AC) إلى مباشر (DC)) .

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 الدايود أي يعمل في منطقة الإنحياز الأمامي، أما خلال النصف السالب للموجة فيكون الأنود سالباً بالنسبة للكاثود فلا يوصل الدايود ويعمل الدايود في منطقة الإنحياز العكسي .(انظر شكل(٣-١٧) .



(أ) مقوم نصف موجة



(ب) منحني الفولتية لمقوم نصف الموجة

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

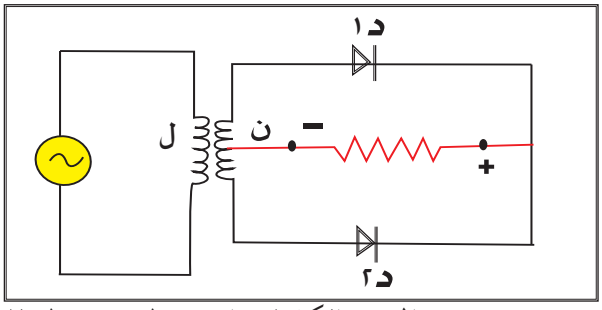
٢- تقويم موجة كاملة : Full wave rectifier

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

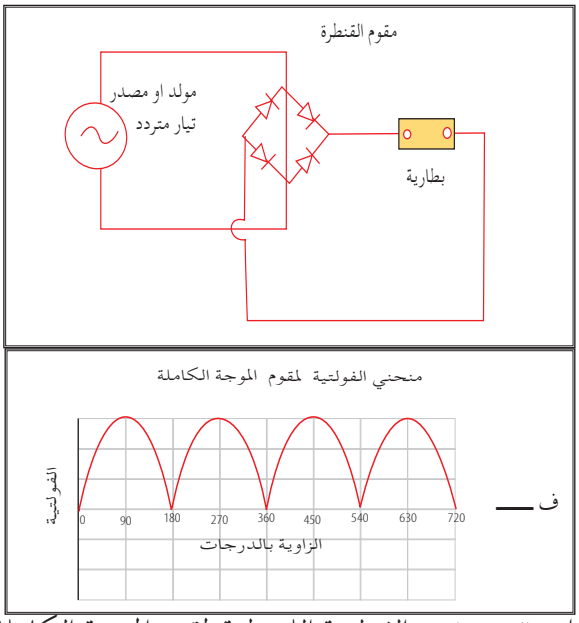
للموجة. نقطة التفرع (ن) تمثل الطرف السالب للتيار المباشر المقوم (أنظر الشكل (٣-١٨)).



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

(٣-٦-٢) الترانزستور : Transistor

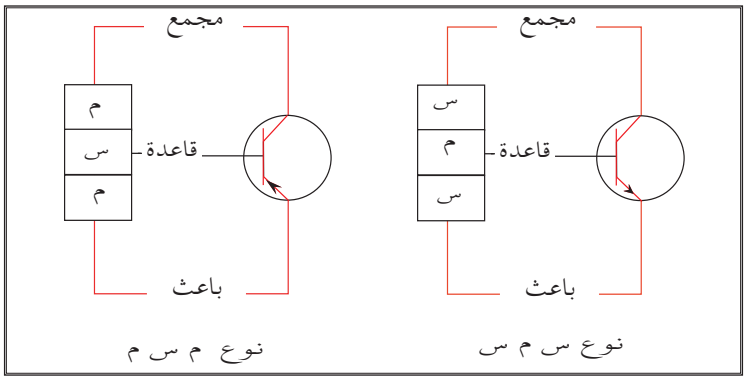
الإسم ترانزستور هو إختصار كلمتي مقاومة تحويل باللغة الإنجليزية TRANsfer reSISTOR لأن الترانزستور يحول تيار من دائرة دخل منخفضة المقاومة إلى دائرة خرج عالية المقاومة.

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 الكهربية الموجبة والسالبة أي الفجوات والألكترونات تشارك في ميكانيكية انسياب التيار. ويتكون هذا النوع من ثلاث طبقات: (١)نوع سالب–موجب–سالب (س، م، س) NPN و (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 الكترونيات 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 الألكترونات 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 للقدرة 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 (Gate) Common Base
ب- الباعث (المصدر) المشترك CE/CS (Source) Common Emitter
ج- المجمع (الصرف) المشترك CC/CD (Drain) Common Collector

وتعتبر طريقة الباعث (المصدر) المشترك الطريقة الشائعة الإستعمال لأنها تعطي تكبير عالي للجهد والتيار والقدرة. عند تشغيل الترانزستور تنبعث الإلكترونيات 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 دايود 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 ٠,٧ 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) بالـ..... و..... ، أما نوع (س) يسمى .....

(ب) تسمى منطقة نوع (م) في الترانزستور (س م س) بالـ..... ، 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 X 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.

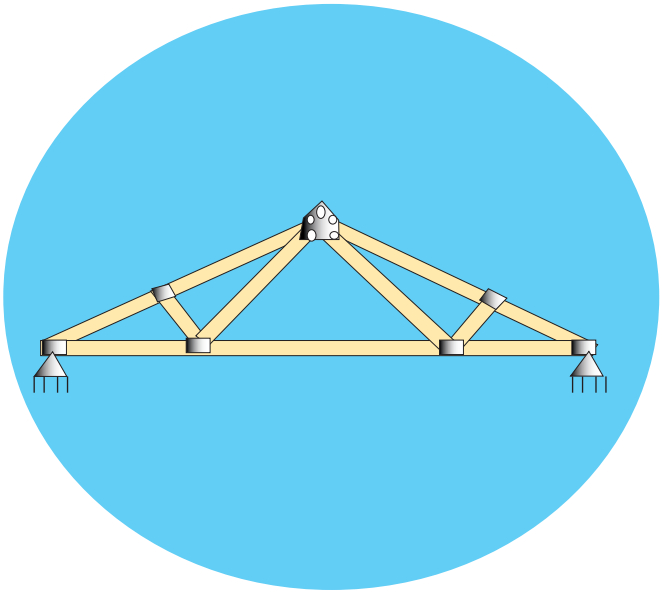
(٥) ما الفرق بين ترانزستورات ثنائي القطب والتأثير المجالي من حيث:

(أ) ميكانيكية انسياب التيار.

(ب) نمط التشغيل.

الباب الرابع

الهندسة المدنية



الفصل الرابع

(٤-١) أساسيات الهندسة المدنية

(٤-١-١) تعريفات ومصطلحات:

الكتلة: Mass هي مقدار المادة المتجمعة في الجسم. وتعبر 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:

$$ق = ك \times جـ \quad .. \quad (٤-١)$$

حيث: ق = القوة (نيوتن).

ك = كتلة الجسم (كجم).

جـ = 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 أخر 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. و يمكن أخذها كقوة مركزة تؤثر عبر مركز ثقل الجسم.

$$و = ك \times جـ \quad ... \quad (٤-٢)$$

حيث: و = وزن الجسم (نيوتن)

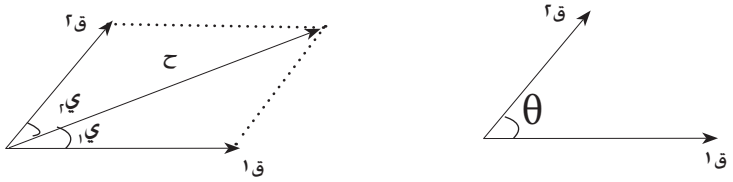
ك = كتلة الجسم(كجم)

جـ = العجلة(م / ث^{٢})

(٤-١-٢) 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) .

(٤-١-٣) محصلة قوتين معلومتين(ق$_{١}$ ، ق$_{٢}$) بينهما زاوية معلومة(θ) :



شكل (٤-١) محصلة قوتان بينهما زاوية

تقع المحصلة " ح " دائما في موقع ما بين القوتين المعلومتين ق$_{١}$, ق$_{٢}$, شكل(٤-١) . ويمكن إيجاد مقدارها من المعادلة(٤-٣) :

$$ح^{٢} = ق_{١}^{٢} + ق_{٢}^{٢} + ٢ق_{١} ق_{٢} \text{ جتا } \theta \quad \ldots (٤-٣)$$

اتجاه المحصلة هي الزاوية التي تصنعها المحصلة مع إحدى القوتين . الشكل(٤-١)(ب) يوضح المحصلة وزوايا ميل المحصلة من القوتين . وتستخدم العلاقتين أدناه للحصول على اتجاه المحصلة .

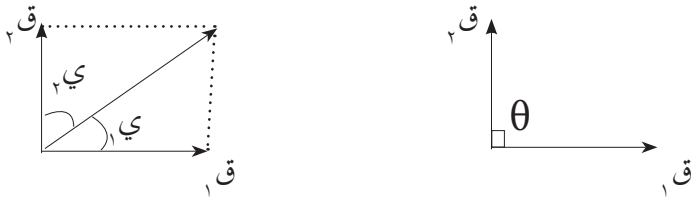
$$\text{ظا ى}_{١} = ق_{٢} \text{ جا } \theta \div (ق_{١} + ق_{٢} \text{ جتا } \theta)$$
$$\text{ظا ى}_{٢} = ق_{١} \text{ جا } \theta \div (ق_{٢} + ق_{١} \text{ جتا } \theta) \quad \ldots\ldots (٤-٤)$$

حيث :

ى$_{١}$ = زاوية ميل المحصلة من القوة ق$_{١}$

ى$_{٢}$ = زاوية ميل المحصلة من القوة ق$_{٢}$

(٤-١-٤)محصلة قوتان متعامدتان :



(أ) (ب)

شكل (٤-٢) محصلة قوتان متعامدتان

عندما تكون القوتان متعامدتان($\theta = ٩٠^\circ$) شكل(٤-٢) تكون قيمة جتا θ= صفر، وتصبح المحصلة كما في المعادلة(٤- ٥):

$$ح^{٢} = ق_{١}^{٢} + ق_{٢}^{٢} \quad .....(٤ - ٥)$$

واتجاه المحصلة يعطى بالمعادلة :

$$ظا\ ى_{١} = ق_{٢} \div ق_{١}$$
$$ظا\ ى_{٢} = ق_{١} \div ق_{٢}$$

حيث :

$ى_{١}$ = زاوية ميل المحصلة من القوة $ق_{١}$

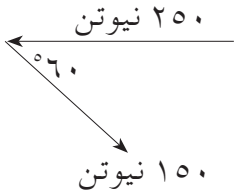
$ى_{٢}$ = زاوية ميل المحصلة من القوة $ق_{٢}$

لاحظ عند جمع مجموعة قوى على استقامة واحدة فان القوى فى اتجاه معين تأخذ اشارة موجبة والقوى الاخرى فى الاتجاة 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 :

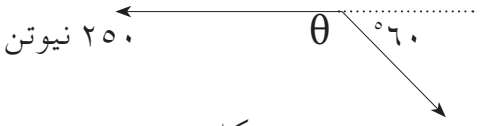


الحل: شكل (٤-٣) : قوتين بينهما زاوية ٦٠°

المحصلة يمكن نحصل عليها من العلاقة:

$ح^{٢} = ق_{١}^{٢} + ق_{٢}^{٢} + ٢ ق_{١} ق_{٢}$ جتاθ.

حيث θ هي الزاوية بين رأسيّ أو ذيليّ القوتين. وعليه نعيد رسم القوتين لتظهر الزاوية θ المطلوبة.



شكل (٤-٤) : قوتين بينهما زاوية θ

من الشكل(٤-٤) نلاحظ إن $\theta = ١٢٠°$

$ح^{٢} = ٢٥٠^{٢} + ١٥٠^{٢} + ٢ \times ٢٥٠ \times ١٥٠$ جتا$١٢٠°$

$ح^{٢} = ٦٢٥٠٠ + ٢٢٥٠٠ + ٧٥٠٠٠ \times ٠,٥ = ٦٥٥٧٥$

$\therefore$ ح = ٢٥٦,٠٨ نيوتن.

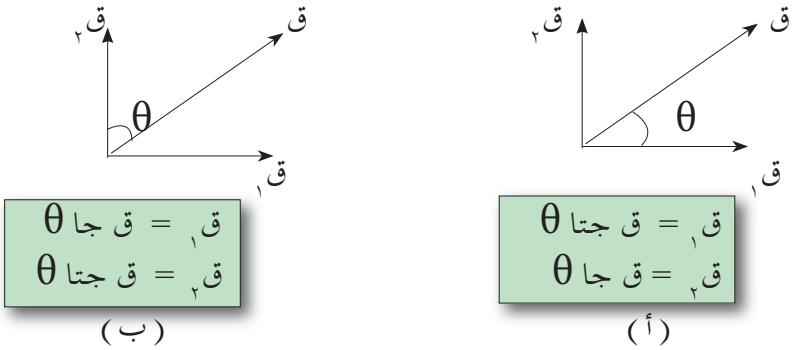
(٤-١-٥) تحليل القوى: Resolution of forces

هي عملية استبدال القوة الواحدة بأكثر من قوة، هذه القوى الجديدة تسمى مركبات القوة الأصلية. وغالباً يتم تحليل القوة الواحدة إلي قوتين متعامدتين وأحيانا 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:

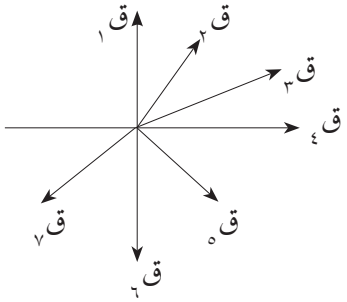
القوة "ق" تم تحليلها الى مركبتين متعامدتين $ق_{١}$، $ق_{٢}$ كما بالشكل(٤-٥)(أ) و(ب). لاحظ استخدام ال(جتاθ) مع المركبة المجاورة للزاوية θ المستخدمة في عملية التحليل، وال(جاθ) مع المركبة البعيدة عن الزاوية θ.



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 .



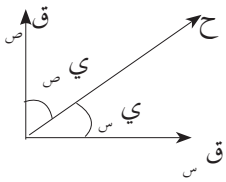
شكل (٤–٦) : عدة قوى متلاقية عند نقطة .

لايجاد محصلة مجموعة القوى هذه نتبع الخطوات التالية :

– نحلل جميع القوى المائلة كلٍ الى مركبتين، افقية وراسية(القوى الراسية والافقية لا تحتاج الى تحليل) .

– نجمع جبرياً جميع القوى والمركبات الافقية للحصول على محصلة افقيـــة واحدة (ق$_{س}$) .

– نجمع جبرياً جميع القوى والمركبات الراسية للحصول على محصلة راسية واحدة (ق$_{ص}$) .



شكل (٤–٧) : المحصلة النهائية لمجموعة القوى المتلاقية .

ولحساب المحصلة النهائية نستخدم العلاقة ادناه :

$$ح^{٢} = ق_{س}^{٢} + ق_{ص}^{٢}$$

وزوايا ميل المحصلة من المحورين الراسي و الافقي يمكن الحصول عليها من العلاقات التالية : (انظر الشكل(٤–٧))

$$ظا\ ى_{ص} = ق_{س} \div ق_{ص}$$
$$ظا\ ى_{س} = ق_{ص} \div ق_{س}$$

حيث :

$ى_{س}$ = زاوية ميل المحصلة من المركبة الأفقية $ق_{س}$.

$ى_{ص}$ = زاوية ميل المحصلة من المركبة الراسية $ق_{ص}$.

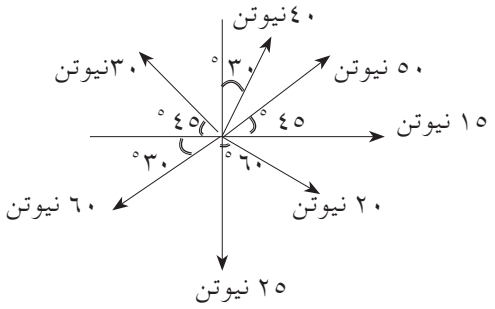
ملحوظة :

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(٤–٢) :

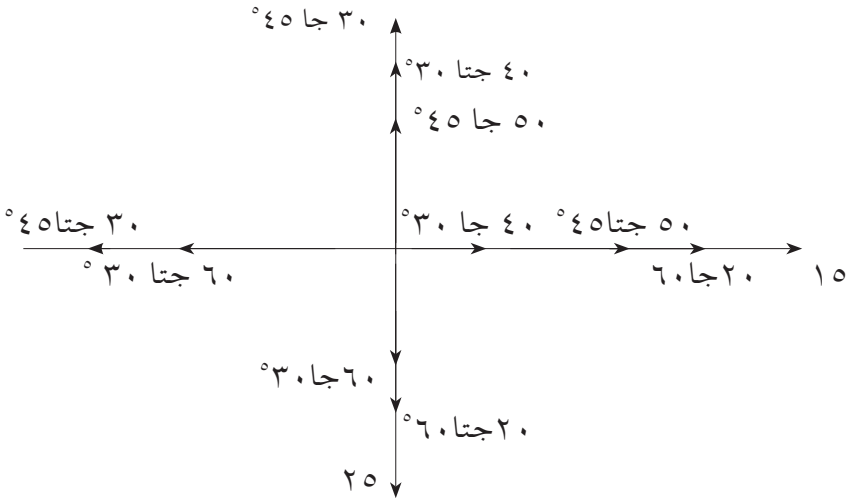
احسب محصلة القوى المتلاقية الموضحة بالشكل(٤–٨) ادناه :



الشكل (٤–٨) : 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(٤–٩) أدناه.



الشكل (٤–٩) :تحليل جميع القوى الى مركبات رأسية و أفقية .

نجمع القوى الأفقية للحصول على(ق س):

ق س = ١٥ +٢٠جا٦٠ + ٥٠جتا٤٥ + ٤٠جا٣٠ – ٦٠جتا٣٠ – ٣٠جتا٤٥

ق س = ١٥ +٢٠ × ٠,٩ + ٥٠ × ٠,٧ + ٤٠ × ٠,٥ – ٦٠ × ٠,٩ – ٣٠ × ٠,٧

ق س = ١٥ + ١٨ + ٣٥ + ٢٠ – ٥٤ – ٢١ = ١٣ نيوتن

نجمع القوى الراسية للحصول على(ق ص):

ق ص = ٣٠جا٤٥ + ٤٠جتا٣٠ + ٥٠جا٤٥ – ٦٠جا٣٠ – ٢٠جتا٦٠ – ٢٥

ق ص = ٣٠ × ٠,٧ + ٤٠ × ٠,٩ + ٥٠ × ٠,٧ – ٦٠ × ٠,٥ – ٢٠ × ٠,٥ – ٢٥

ق ص = ٢١ + ٣٦ + ٣٥ – ٣٠ – ١٠ – ٢٥ = ٢٧ نيوتن

نحسب المحصلة "ح":

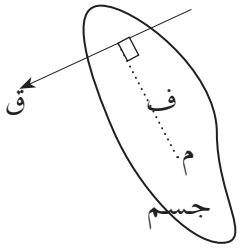
ح٢ = ق س٢ + ق ص٢

ح٢ = ١٣٢ + ٢٧٢ = ١٦٩ + ٧٢٩ = ٨٩٨

ح = ٣٠ نيوتن

(٤-١-٨) العزوم :

العـزم هو قابلية القوة على احداث انحناء أو دوران أو(ليّ) للجسـم حول محور معين. وينقسم العزم الى نوعين: عزم انحناء Bending Moment وعزم دوران(التواء) Torque .



شكل (٤-١٠) : العزم حول محور « م » .

مقدار العزم يساوي حاصل ضرب القوة المسببة له فى المسافة العمودية بين محور الدوران(المحور الذي يُؤخذ العزم حوله) وخط عمل القوة. (انظر شكل(٤-١٠)) وحدة قياس العزم هي (نيوتن.متر) .

$$(عز)_{م} = ق \times ف \quad \ldots . (٤-٦)$$

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– المجمـوع الجبري لعزوم عدة قوى حول أي نقطة يسـاوي عزم محصلتها حول نفس النقطة .

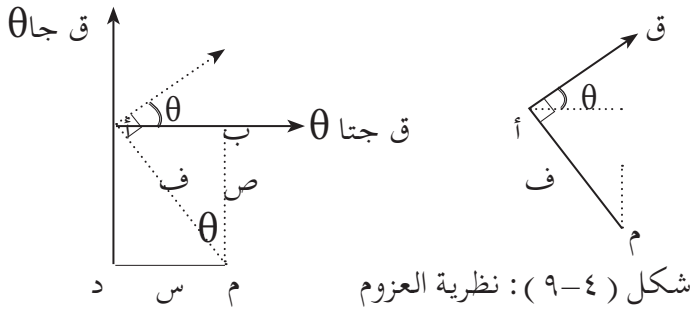
٣ – المجموع الجبري لعزوم عدة قوى حول أي نقطة تقـــع على خط عمل محصلتها يساوي صفر .

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 (٤-٩) : نظرية العزوم

برهان النظرية:

في الشكل(٤-١١)(أ):

عزم القوة "ق" حول النقطة "م" = ق . ف ..... (١)

في الشكل(٤-١١)(ب):

استبدلت القوة "ق" بمركباتها (ق . جتاθ) و(ق . جاθ).

عزم المركبتين حول نفس النقطة "م" = (ق . جتاθ) × (ب م) + (ق . جاθ) × (د م)

" " " = (ق × $\frac{ص}{ف}$) × ص + (ق × $\frac{س}{ف}$) × س

" " " = $\frac{ق}{ف}$ × (ص^{٢} + س^{٢})

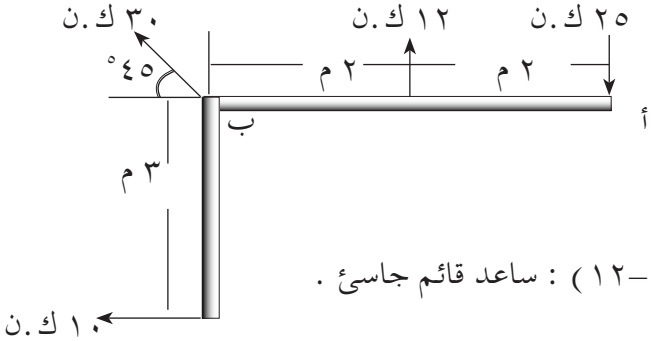
" " " = $\frac{ق}{ف}$ × (ف^{٢})

عزم المركبتين حول النقطة "م" = ق . ف ..... (٢)

عليه من المعادلتين(١) و(٢) نجد ان عزم القوة "ق" حول االنقطة "م" يساوي عزم مركباتها حول نفس النقطة "م".

مثال(٤-٣) :

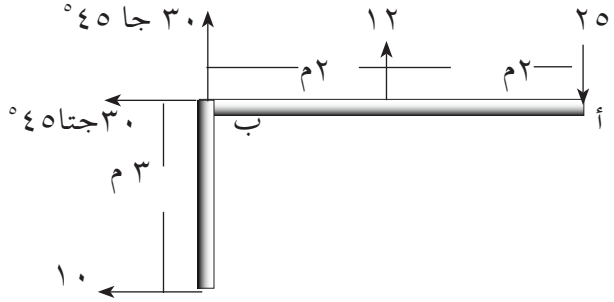
احسب عزوم القوى الموضحة حول كلٍ من النقطتين(أ) و(ب) الموضحة على الشكل(٤-١٢) .



شكل (٤-١٢) : ساعد قائم جاسئ .

الحل :

حلل القوة ٣٠ ك.نيوتن المائلة إلى مركبتين أفقي وراسية كما بالشكل(٤-١٣) .



شكل (٤-١٣) :تحليل القوة المائلة الى مركبتين .

(خذ العزوم مع عقارب الساعة موجبة) .

١- العزم حول النقطة(أ) :

(عز)$_{أ}$ = ٢٥ × ٠ + ١٢ × ٢ + ٣٠جا٤٥° × ٤ + ٣٠جا٤٥° × ٠ + ١٠ × ٣

عز)$_{أ}$ = ٠ + ٢٤ + ٣٠ × ٠٫٧ × ٤ + ٠ + ٣٠

(عز)$_{أ}$ = ٠ + ٢٤ + ٨٤ + ٠ + ٣٠ = ١٣٨ ك.ن.م (مع عقارب الساعة) .

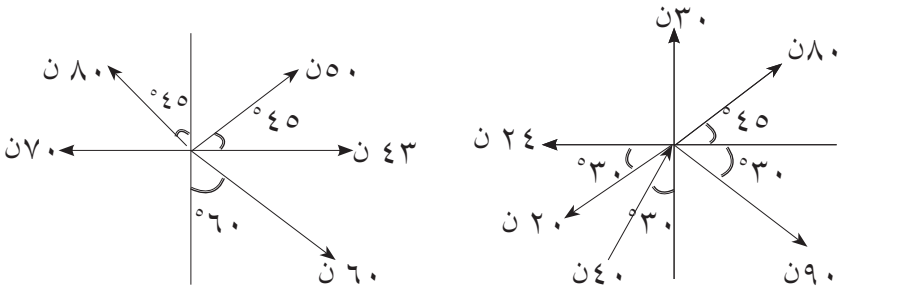
٢- العزم حول النقطة(ب) :

(عز)$_{ب}$ = ٢٥ × ٤ - ١٢ × ٢ + ٣٠جا٤٥° × ٠ + ٣٠جا٤٥° × ٠ + ١٠ × ٣

(عز)$_{ب}$ = ١٠٠ - ٢٤ + ٠ + ٠ + ٣٠ = ١٠٦ ك.ن.م (مع عقارب الساعة) .

تمارين(٤-١)

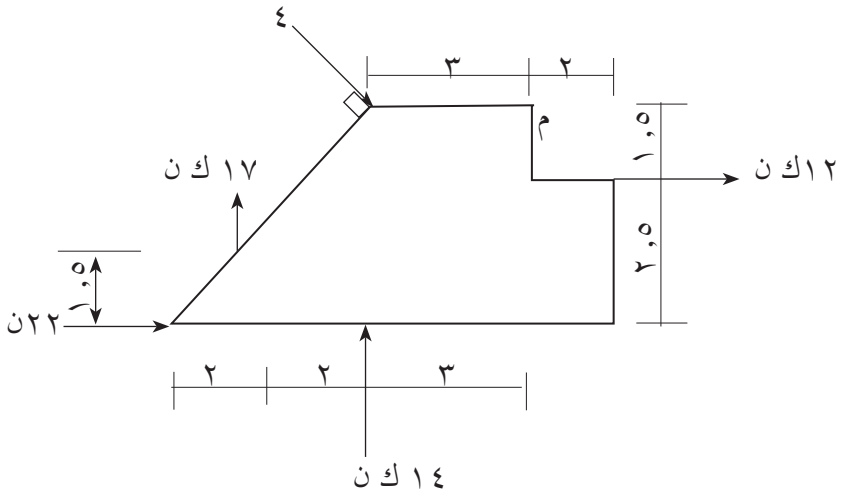
(١) أحسب قيم واتجاهات ونواحي اتجاه محصلة القوى المتلاقية لكل مجموعة من المجموعات الاتية :



(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 .



(٤-٢) أساسيات هندسة الإنشاءات

(٤-٢-١) الاتزان السكوني(الاستاتيكي) : Static Equilibrium

الجسم المتزن استاتيكياً هو الجسم الساكن. وفيه تكون محصلة القوى والعزوم المؤثرة عليه تساوي صفر.

وهنالك ثلاثة شروط(معادلات) لتحقيق الاتزان لأي جسم :

١- المجموع الجبري للقوى والمركبات في الإتجاه الأفقي = صفر

مج (ق)$_{س}$ = صفر

٢- المجموع الجبري للقوى والمركبات في إتجاه رأسي = صفر

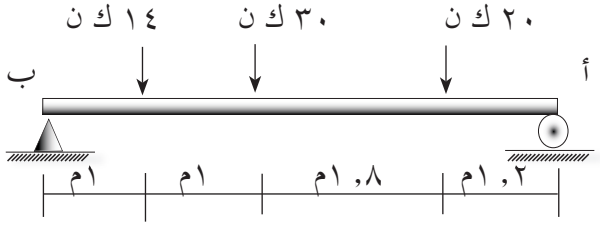
مج (ق)$_{ص}$ = صفر ... (٤-٦)

٣- المجموع الجبري لعزوم القوى حول أي محور = صفر

مج (عز)$_{م}$ = صفر

مثال(٤-٤) :

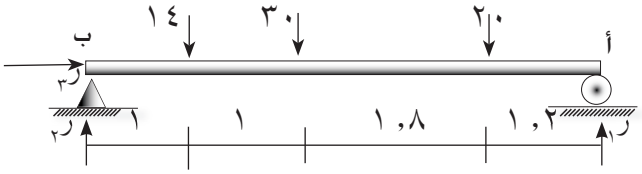
احسب قيم ردود الافعال عند الدعامات للعارضة الموضحة بالشكل(٤-١٤) ادناه.



شكل (٤-١٤) : عارضة محملة بثلاث قوى.

الحل :

نعيد رسم العارضة ونوضح عليها ردود الفعل الصحيحة حسب نوع الدعامة(المرتكز) شكل(٤-١٥).



شكل (٤-١٥) : عارضة مبين عليها ردود الأفعال.

العارضة متزنة وعليه :

مج(عز)$_{ب}$ = صفر (خذ العزوم مع عقارب الساعة موجبة)

٢٠ × ٣,٨ + ٣٠ × ٢ + ١٤ × ١ – ر$_{١}$ × ٥ = ٠

٧٦ + ٦٠ + ١٤ = ر$_{١}$ × ٥

١٥٠ = ر$_{١}$ × ٥

ر$_{١}$ = ٣٠ ك.ن

مج(ق)$_{ص}$ = صفر (خذ القوى الراسية إلى أعلى موجبة)

ر$_{٢}$ + ر$_{١}$ – ٢٠ – ٣٠ – ١٤ = ٠

ر$_{٢}$ + ٣٠ – ٢٠ – ٣٠ – ١٤ = ٠

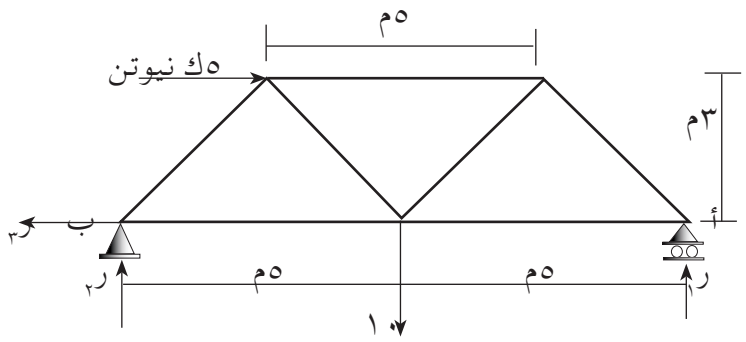
ر$_{٢}$ = ٣٤ ك.ن

مج(ق)$_{ص}$ = صفر

∴ ر$_{٣}$ = صفر

مثال(٤–٥):

اوجد قيم ردود الفعل في الدعامتين أ، ب للجملون في الشكل(٤–١٦) التالي :



شكل (٤–١٦) : منشاة جملونية .

الحل :

افرض ردود الفعل في الدعامتين هي $ر_1$ ، $ر_2$ ، $ر_3$ كما مبين على الشكل (٤-١٦) .

الجملون متزن وعليه :

مج(ق)$_س$ = صفر

$ر_3$ – ٥ = صفر ∴ $ر_3$ = ٥ نيوتن

مج(عز)$_ب$ = صفر

١٠ × ٥ + ٥ × ٣ – $ر_1$ × ١٠ = صفر

٥٠ + ١٥ = ١٠ $ر_1$

$ر_1$ = ٦,٥ ك. نيوتن

مج(ق)$_ص$ = صفر

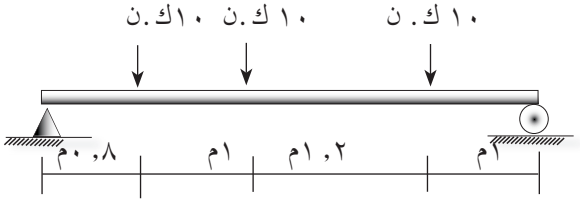
$ر_1$ + $ر_2$ – ١٠ = صفر

٦ ٥ + $ر_2$ = ١٠

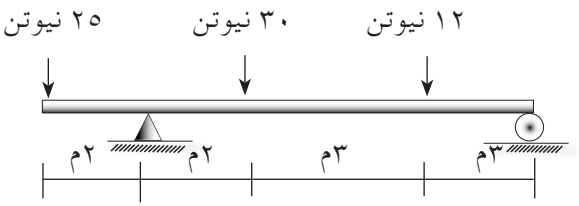
$ر_2$ = ٣,٥ ك. نيوتن

تمارين(٤-٢)

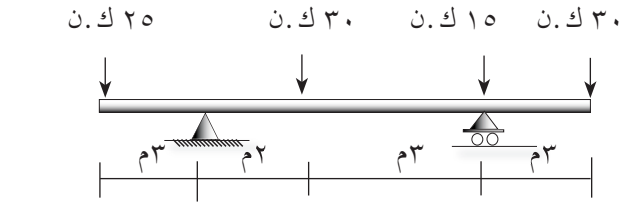
اوجد قيم ردود الفعل للعارضات الموضحة في الإشكال أدناه :



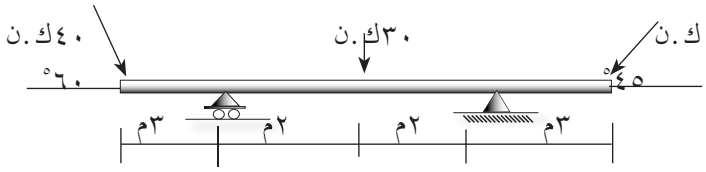
(١)



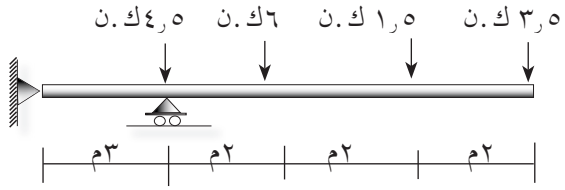
(٢)



(٣)



(٤)



(٥)

(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 أستاتيكيا). 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) الجملونات: Frameworks or Trusses

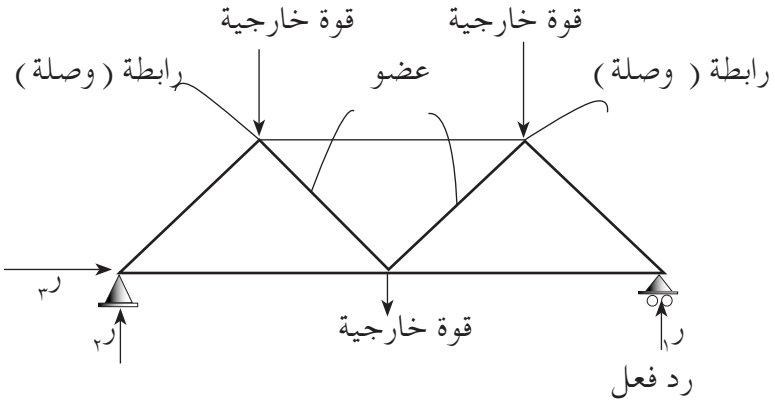
الجملون هو منشأ هندسي يستخدم عموماً لحمل الأحمال على طول اتساعه. ومن أنواعه:

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 (٤-١٧)

الشرط الضروري لكي يكون الجملون المستوي متزناً(مستقراً أو جاسئاً) هو :

$$ض \geqslant ٢ ط - ٣ \quad \ldots\ldots (٤-٧)$$

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 ولاتزانه 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) رابطة ، والقوى المؤثرة على الروابط هي القوى الداخلية للأعضاء والأحمال الخارجية المسلطة وردود الفعل. وبما أن الجملون يجب ان يكون متزن فان كل رابطة تكون حالة اتزان، وعليه يمكن كتابة معادلات الاتزان التالية لكل رابطة :

$$\text{مج}\,(\text{ق})_{\text{س}} = \text{صفر}$$
$$\text{مج}\,(\text{ق})_{\text{ص}} = \text{صفر}$$
(٤–٨) .....

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 استاتيكياً وذلك بتحقق المعادلة(٤–٩) التالية:

$$\text{٢ط} = \text{ض} + \text{ر} \quad \text{.....} \quad (٤–٩)$$

حيث:

ط = عدد الوصلات(الروابط، المفاصل أو العقد)

ض = عدد أعضاء الجملون

ر = عدد مركبات رد الفعل عند الدعامات.

ومن المعادلة(٤–٩) يمكن استنباط الاحتمالات التالية لعلاقة كل من(ط)،(ض) و(ر):

١) **٢ط <ض + ر:**

هذا يعني وجود مجاهيل أكثر من عدد معادلات الاتزان المتوفرة ؛ الشيء الذي يجعل المنشأة غير قابلة للحل(غير محددة استاتيكياً). ودرجة عدم التحديد "ن" للمنشأة يساوي:

$$\text{ن} = \text{ض} + \text{ر} - \text{٢ط}$$

في هذه الحالة إما أن يكون الجملون فائض داخلياً(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 متزنا(مستقرا).

٢) **٢ط = ض + ر:**

درجة عدم التحديد(عدم التقرير) أو(عدم القبول) ن = صفر، هذا يعني ان

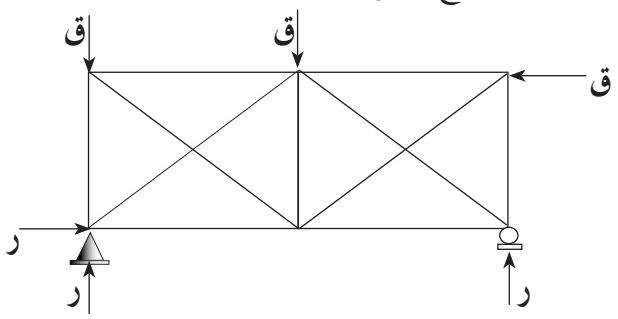
عدد المعادلات المتوفرة يساوي عدد المجاهيل. وعليه تكون المنشأة محددة سكونياً ومتزنة،ويمكن حلها استاتيكياً وإيجاد قيم القوى الداخلية في الأعضاء المختلفة وكذلك إيجاد قيم ردود الأفعال.

٣) ٢ط > 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 اذا كانت المنشاة متزنة ام لا ؟. ما المقترح لجعل المنشأة محددة سكونياً و متزنة.



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 – ٢ط

∴ ن = ١١ + ٣ – ٢×٦ = ٢

المنشأة غير محددة استاتيكياً ودرجة عدم التحديد ٢. وهذا يعني أن الجملون فائض بدرجتين(تحتاج لازالة مجهولين لتحديدها).

قانون الاتزان: ض ≥ ٢ط – ٣

١١ ≥ ٢ × ٦ – ٣

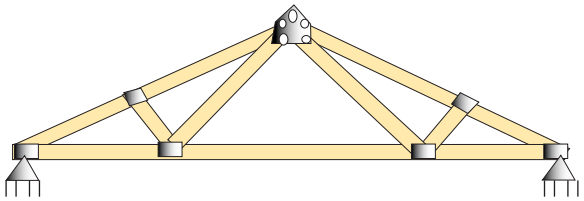
١١ > ٩

. : 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 (٤-٧) :

أوجد درجة عدم التحديد للمنشأة الموضحة في الشكل(٤-١٩) أدناه،وحدد ما إذا كانت المنشاة متزنة ام لا ؟. ما هو المقترح لجعل المنشأة محددة سكونياً ومتزنة إذا لم تكن كذلك .



الشكل (٤-١٩) : منشأة مستندة على مفصلتين

الحل :

عدد الروابط " ط" = ٧ ، عدد الأعضاء "ض" = ١١ ،

عدد ردود الفعل "ر" = ٤ .

درجة التحديد السكوني "ن" = ض + ر – ٢ط

. : ن = ١١ + ٤ – ٢×٧ = ١

المنشأة غير محددة استاتيكياً ودرجة عدم التحديد ١ . وهذا يعني أن الجملون فائض بدرجة واحدة(تحتاج لازالة مجهول واحد لتحديدها) .

قانون الاتزان : ض ≤ ٢ط – ٣

١١ ≤ ٢ × ٧ – ٣

١١ = ١١

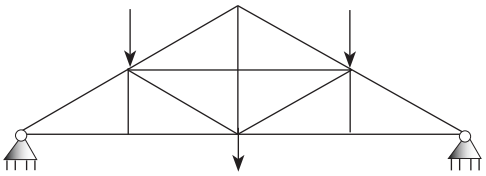
. : المنشأة متزنة بدون وجود عضو زائد .

. : من الملاحظة ستجد ان هناك رد فعل واحد زائد يجب إزالته . أي يجب استبدال احد الدعامتين المفصليتين بدعامة دحراج لتكون المنشأة محددة استاتيكياً .

مثال (٤-٨) :

أوجد درجة عدم التقرير للمنشأة الموضحة في الشكل(٤-٢٠) أدناه وحدد ما إذا

كانت المنشاة محددة ومتزنة ام لا ؟ ما هو المقترح لجعل المنشأة محددة ومتزنة اذا لم تكن كذلك.



الشكل (٤-٢٠) : منشأة جملونية.

الحل:

ط = ٨، ض = ١٤،

عدد ردود الفعل "ر" = ٤

درجة التحديد السكوني "ن" = ض + ر – ٢ط

∴ ن = ١٤ + ٤ – ٢ × ٨ = ٢

المنشأة غير محددة استاتيكياً بدرجتين. وهذا يعني أن الجملون فائض ويحتاج لإزالة مجهولين لتحديده.

قانون الاتزان: ض ≷ ٢ط – ٣

١٤ ≷ ٢ × ٨ – ٣

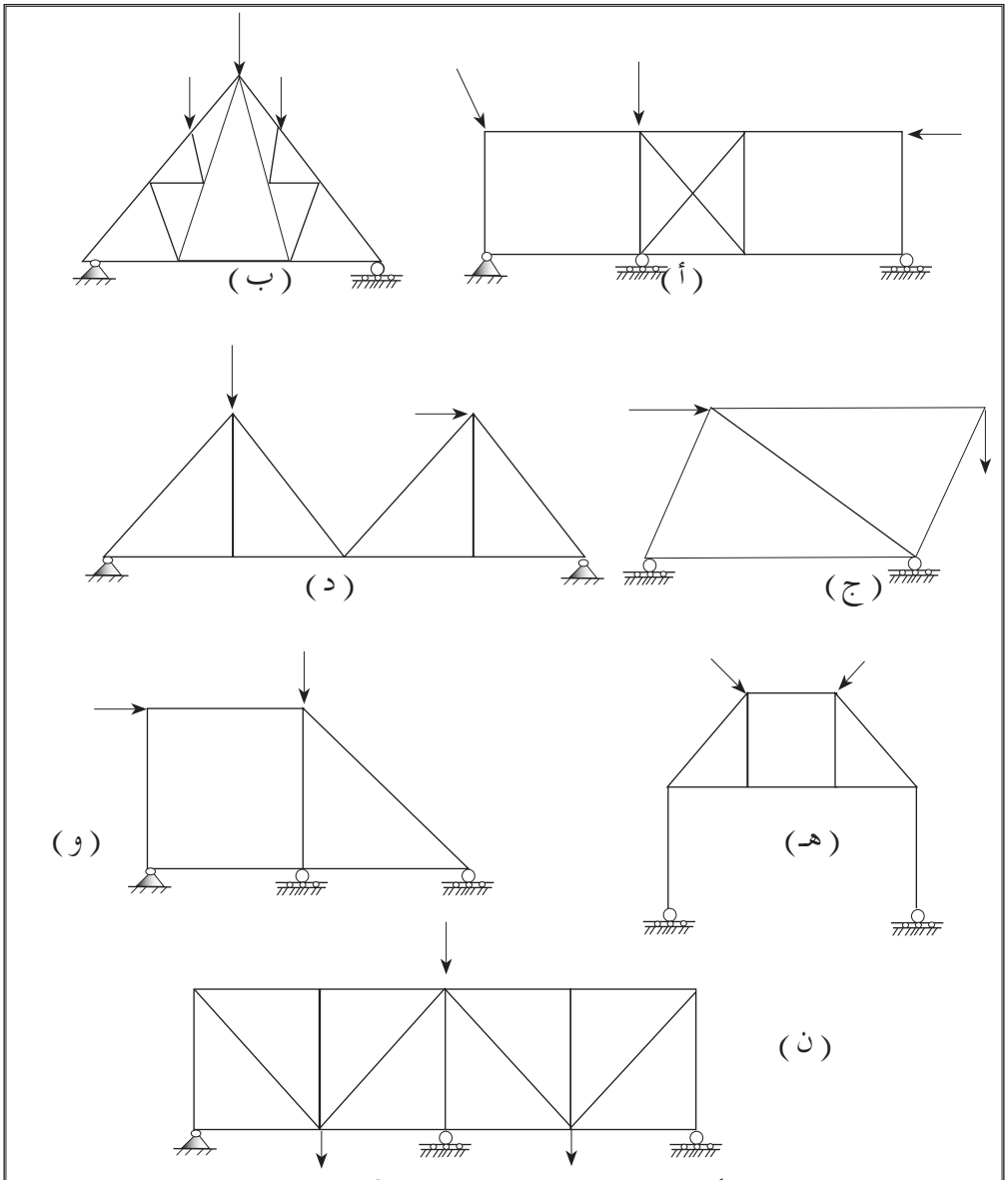
١٤ > ١٣

∴ المنشأة متزنة بوجود عضو واحد زائد. وعليه فان المجهول الاخر الفائض هو رد فعل.

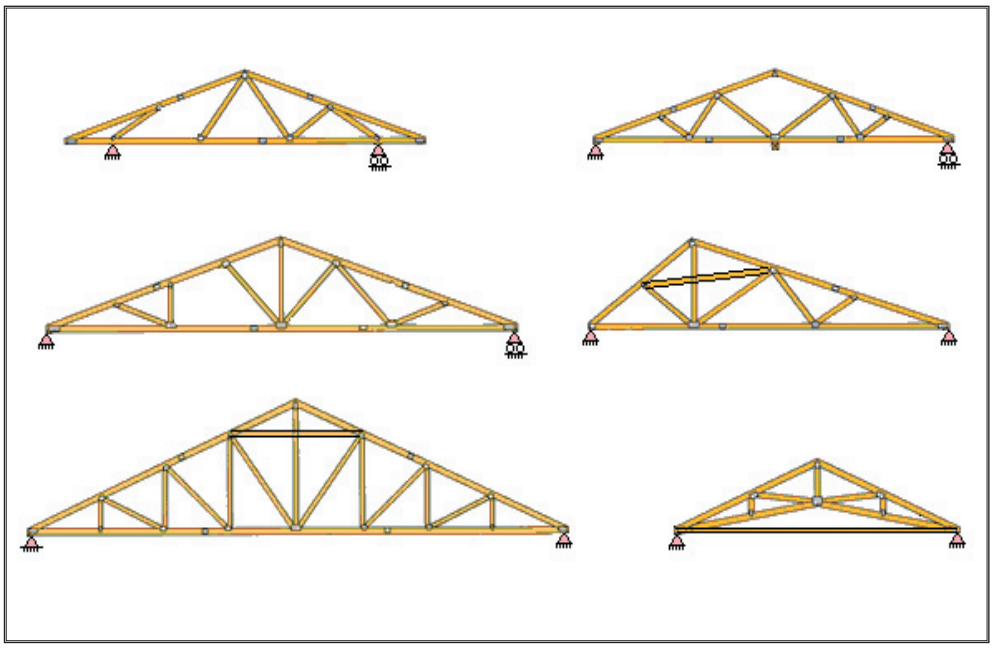
∴ بالملاحظة ستجد ان هناك عضو أفقي(بين روابط تأثير القوتين الموضحتين) فائض يجب ازالته، كما يجب استبدال احد الدعامتين المفصليتين بدعامة دحراج لتكون المنشأة محددة ستاتيكيا.

تمارين(٤-٣)

أوجد درجة عدم التحديد للمنشآت في الشكل(٤-٢١) والشكل(٤-٢٢) التالية ، وحدد فيما إذا كانت المنشأة متزنة أم لا ؟ واكتب اقتراحاتك لتحسينٍ كل منشأة لجعلها محددة ومتزنة .



شكل(٤-٢١) : مجموعة منشآت جملونية



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 . ويُتّبَع 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 ر١ ، ر٢ ، ر٣) .

ج– حساب قيـــم ردود الفعل الخارجية في الدعامـــات باستخـــدام معادلات الاتزان الثلاثة .

مج(عز)م = صفر ، مج(ق)س = صفر ، مج(ق)ص = صفر.

د- يمكن افتراض القوى المجهولة قوى شد(السهم يكـــون خارج من المفصل أو العقدة) وإذا وجد من التحليل أن قيمتها سالبة يعني ذلك أن العضـــو 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.

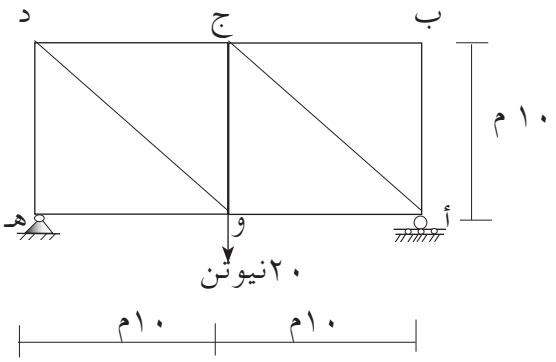
و- تستخدم المعادلتين مج(ق)س = صفر و مج(ق)ص = صفر عندتحليل كل عقدة.

ز- يتم تسجيل النتائج لكل عقدة في رسم الجملون.

ح- يتم التأكد من التحليل للمفصل الأخير.

مثال(٤-٩):

أوجد القوى المؤثرة في أعضاء الجملون المبين في الشكل(٤-٢٣) التالي:



شكل (٤-٢٣)

الحل:

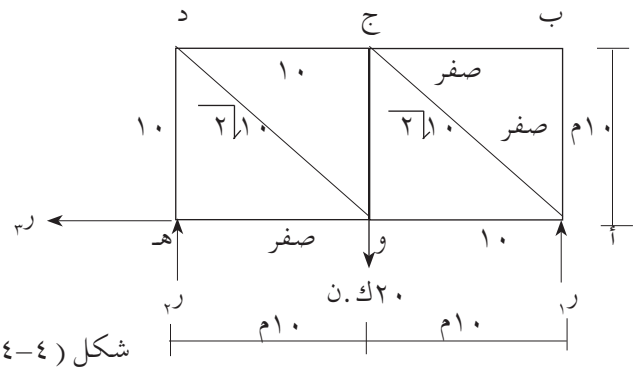
نرسم الشكل الحر للجملون كما موضح أدناه بالشكل(٤-٢٤):

ط = ٦ ، ض = ٩ ، ر = ٣

١) درجة المنشأة غير المحددة:

ن = ض + ر -٢ط = ٩ + ٣ - ٦X٢ = صفر

عليه فالمنشأة محددة استاتيكياً ومتزنة.



شكل (٤-٢٤)

٣) ردود الفعل الخارجية في الدعامات .

بأخذ العزوم حول النقطة هـ:

مج(عز)$_{هـ}$ = صفر

ر$_{١}$ × ٢٠ – ٢٠ × ١٠ = صفر

∴ ر$_{١}$ = ١٠ ك.نيوتن

مج(ق)$_{ص}$ = صفر

ر$_{١}$ + ر$_{٢}$ – ٢٠ = صفر

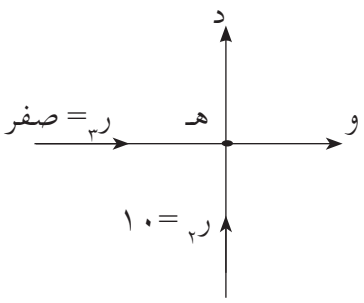
١٠ + ر$_{٢}$ – ٢٠ = صفر

∴ ر$_{٢}$ = ١٠ ك.نيوتن

مج(ق)$_{س}$ = صفر

∴ ر$_{٣}$ = صفر

الرابطة(المفصل)(هـ) :



مج(ق)$_{ص}$ = صفر

١٠ + ق$_{هـد}$ = صفر

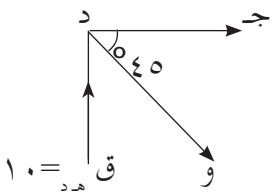
∴ ق$_{هـد}$ = – ١٠ ك.ن.(ضغط)

مج(ق)$_{س}$ = صفر

ق$_{هـو}$ + ٠ = صفر

∴ ق$_{هـو}$ = صفر

الرابطة(د) :



مج(ق)س = صفر

١٠ – ق دو جاه٤٥° = صفر

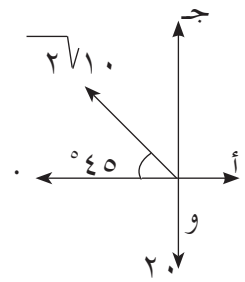
ق دو = ١٠ ÷ جاه٤٥° = ١٠√٢ ك ن (شد)

مج(ق)س = صفر

ق دجـ + ق دو جتاه٤٥° = صفر

ق دجـ = – ١٠√٢ × (١ ÷ √٢) = – ١٠ ك.ن.(ضغط)

الرابطة(و) :



مج(ق)س = صفر

ق وأ – ١٠√٢ جتاه٤٥° = صقر

ق وأ = ١٠√٢ × (١ ÷ ١٠√٢) = ١٠ ك.ن.(شد)

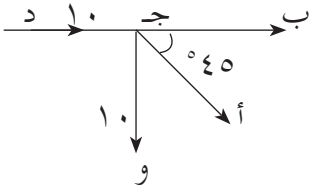
مج(ق)ص = صفر

ق وجـ + ١٠√٢ جاه٤٥° – ٢٠ = صفر

ق وجـ + ١٠√٢ (١ ÷ √٢) – ٢٠ = صفر

ق وجـ = ١٠ ك.ن.(شد)

الرابطة(جـ) :



مج(ق)ص = صفر

ق جـأ .جاه٤٥ + ١٠ = صفر

ق جـأ = – ١٠ ÷ جاه٤٥° = – ١٠√٢ ك.ن.(ضغط)

مج(ق)س = صفر

ق جـب + ق جـأ جتاه٤٥° + ١٠ = صفر

ق جـب – ١٠√٢ × (١ ÷ √٢) + ١٠ = صفر

ق جـب = صفر

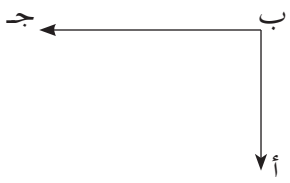
الرابطة(ب) :

مج(ق)ص = صفر

ق ب أ = صفر

مج(ق)س = صفر

ق ب جـ = صفر



(١-٢-٥) قوى القص : Shearing force

عند أي مقطع لعارض يحمل قوى عرضية(Transverse forces) تُعَّرَف 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 لاتزان 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 .

إشارة موجبة إشارة سالبة

شكل (٤-٢٥) : اصطلاح إشارات قوى القص .

لحساب قوى القص لأي عارض نُقَسِم 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 :

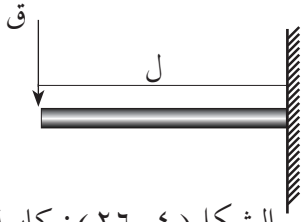
المجموع الجبري لجميع القوى المستعرضة الواقعة على يمين(أو يسار) هذا المقطع .

(ملحوظة: تأخذ القوى على جانب واحد فقط من المقطع مع مراعاة اصطلاح الإشارة).

القوي المستعرضة هي القوى المتعامدة مع المحور الطولي للعارض.

مثال(٤-١٠):

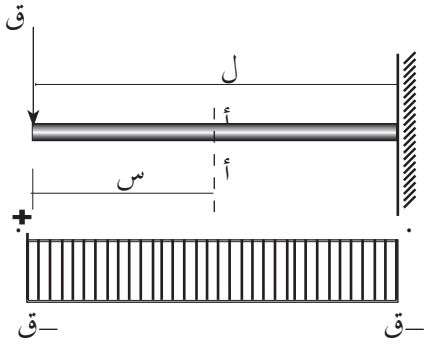
ارسم مخطط قوى القص للكابولي في الشكل(٤-٢٦) الذي تعمل عليه قوة ق وطوله ل.



الشكل(٤-٢٦): كابولي.

الحل:

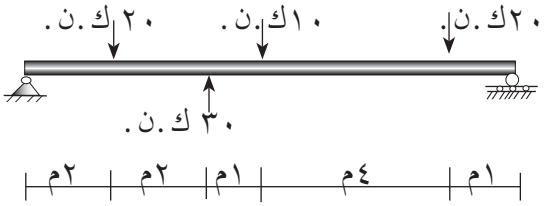
لأي مقطع(أ – أ) على بعد(س) من القوة "ق" كما موضح بالشكل(٤-٢٧) أدناه فإن قوة القص تساوي(– ق) بغض النظر عن المسافة(س) من نقطة عمل القوة مما يجعل مخطط قوى القص للكابولي عبارة عن مستطيل.



شكل (٤-٢٧): مخطط قوى القص

مثال(٤-١١):

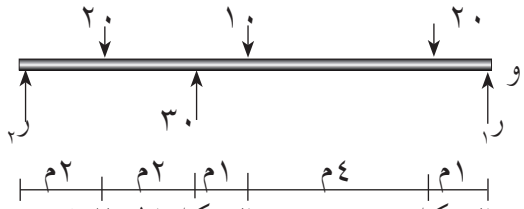
ارسم مخطط قوى القص للعارض ذي الارتكاز البسيط المبين في الشكل(٤-٢٨) أدناه:



الشكل(٤–٢٨) : عارضة محملة بقوى مركزة.

الحل :

نرسم الشكل الحر للعارض ليُبين ردود الفعل في نقاط الارتكاز(الدعامات) :



الشكل (٤–٢٩) : الشكل الحر للعارض

١– اوجد ردود الفعل عند المرتكزات :

بأخذ العزوم حول " أ " :

مج(عز)أ = صفر

ر١ × ١٠ + ٣٠ × ٤ – ٢٠ × ٢ – ١٠ × ٥ – ٢٠ × ٩ = صفر

١٠ ر١ + ١٢٠ – ٤٠ – ٥٠ – ١٨٠ = صفر

١٠ ر١ = ١٥٠

ر١ = ١٥ ك.ن.

مج(ق)ص = صفر

ر٢ + ر١ + ٣٠ = ٢٠ + ١٠ + ٢٠

ر٢ + ١٥ + ٣٠ = ٥٠

ر٢ = ٥ 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 = + ٥ ك.ن.

لأي مقطع في الجزء(ب – ج): قوة القص = +٥ – ٢٠ = –١٥ ك.ن.

لأي مقطع في الجزء(ج – د): قوة القص = +٥ – ٢٠ + ٣٠ = +١٥ ك.ن.

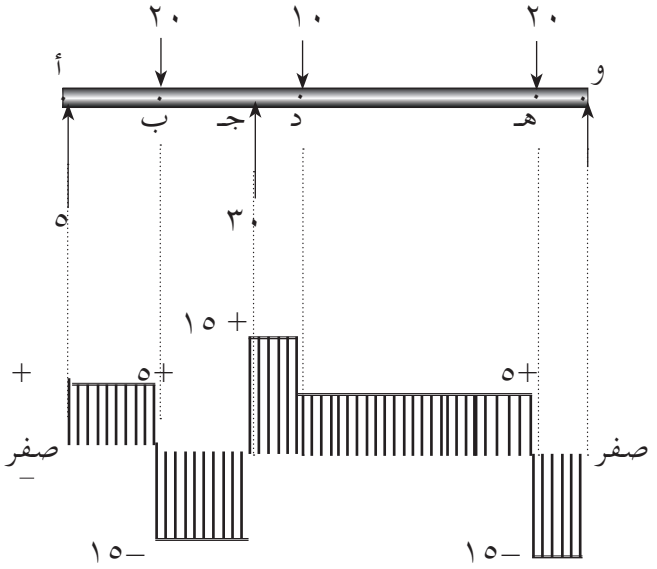
لأي مقطع في الجزء(د – هـ):

قوة القص = +٥ – ٢٠ + ٣٠ – ١٠ = +٥ ك.ن.

لأي مقطع في الجزء(هـ – و):

قوة القص = +٥ – ٢٠ + ٣٠ – ١٠ – ٢٠ = –١٥ 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 = +٢٠ – ٣٠ + ١٠ + ٢٠ – ١٥ = +٥ ك.ن.

لأي مقطع في الجزء(ب – ج):

قوة القص = – ٣٠ + ١٠ + ٢٠ – ١٥ = –١٥ ك.ن.

لأي مقطع في الجزء(ج – د):

قوة القص = +١٠ + ٢٠ – ١٥ = +١٥ ك.ن.

لأي مقطع في الجزء(د – هـ):

قوة القص = +٢٠ – ١٥ = +٥ ك.ن.

لأي مقطع في الجزء(هـ – و):

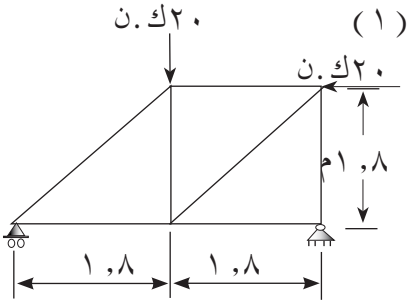
قوة القص = –١٥ ك ن.

تمارين(٤-٤)

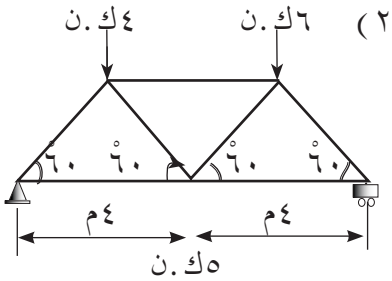
١- ارسم مخططات قوى القص للجميع العارضات البسيطة المبينة في تمرين(٤-٢) الاسبق :

٢- أوجد القوى في أعضاء الجملونات الموضحة بالشكل(٤-٣١) التالية :

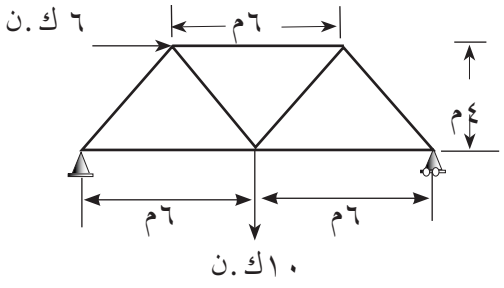
(١)



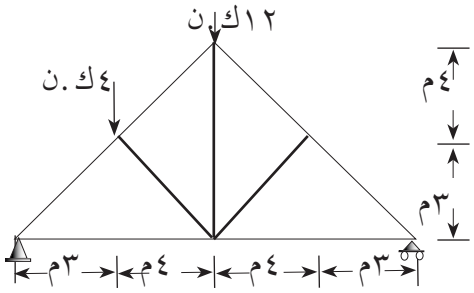
(٢)



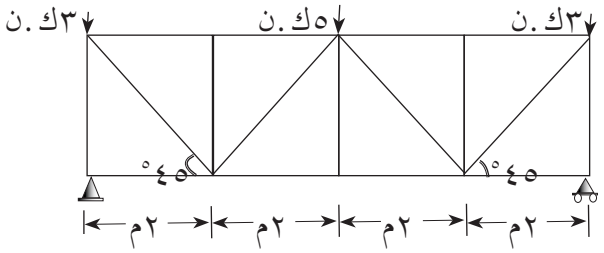
(٣)



(٤)



(٥)



شكل (٤-٣١) جملونات مختلفة

(٤-٣) أساسيات هندسة الموائع

(٤-٣-١) مقدمة:

تتعلق هندسة الموائع بدفق السوائل وتمدد الغازات وانسياب الطائرات وسفن الفضاء وبتنمية إمداد الماء ونظم الري وتصميم السفن والبواخر وإنشاء السدود والقناطر وبتصميم التوربينات و مضخات المياه .

المائع: Fluid

يُعرَّف 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 أجزاءها. 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،

$$ث = \frac{ك}{ح} \quad (\text{كجم}/\text{م}^{٣})$$

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 × عجلة الجاذبية.

$$و = ث \times د \quad (\text{نيوتن}/\text{م}^{٣})$$

الكثافة النسبية: Specific Density

الكثافة النسبية لأي سائل هي كثافة السائل مقسومة على كثافة الماء. مثلا

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.

(٤-٤-٢) قانون الغاز المثالي: Ideal Gas Law

أن حجم كتلة معينة من الغاز تتغير بتغير الضغط المؤثر ودرجة الحرارة. ويشير قانون روبرت بويل إلى ان: حجم كتلة معينة من الغاز يتناسب عكسياً مع ضغطه عند ثبات درجة الحرارة، (ح $\propto \frac{١}{ض}$) أو (ح. ض = ثابت). كما ان قانون شارل ينص على ان: حجم كتلة معينة من الغاز يتناسب طردياً مع درجة الحرارة المطلقة عند ثبات الضغط (ح $\propto$ د). وفي حالة تغير كل من ضغط الغاز و درجة حرارته فان حجمه يتغير حسب علاقة معادلة الحالة أو قانون الغاز المثالي.

$$ح \propto \frac{د}{ض}$$

$$ح = \frac{د}{ض} \times \text{ثابت}$$

$$ح = \frac{د}{ض} \times (ك \times أ)$$

$$ض = \frac{ك}{ح} \times أ \times د \quad .....(٤-١٠)$$

وهو ما يعرف بقانون الغاز المثالي.
حيث:
ض = الضغط المطلق (باسكال، نيوتن/م^{٢}).
ك = كتلة الغاز (كجم).

ح = حجم الغاز (m^3) .

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 :

$$ض = ث \times أ \times د \quad ..... \quad (٤-١١)$$

ويمكن كتابة قانون الغاز المثالي على الصورة :

$$\frac{ض \times ح}{د} = ك \times أ$$

في حالة ثبوت الكتلة (ك) فان : $\frac{ض \times ح}{د} = ك \times أ = ثابت$

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 :

$$\frac{ض_١ \times ح_١}{د_١} = \frac{ض_٢ \times ح_٢}{د_٢}$$

وفي حالة ثبات الضغط (ض) و الكتلة (ك) معاً فان :

$$\frac{ح}{د} = \frac{ك \times أ}{ض} = ثابت$$

أي في حالة ثبات ضغط كتلة غاز معينة وتغيُّر درجة حرارتها من $د_١$ إلى $د_٢$ فان حجمها يتغير من $ح_١$ إلى $ح_٢$ وتصبح العلاقة كما يلي :

$$\frac{ح_١}{د_١} = \frac{ح_٢}{د_٢} \quad ..... \quad (٤-١٣)$$

مثال (٤-١١)

كمية من الغاز تشغل حجماً قدره ٢٠٠ ملليتر عند درجة حرارة ٢٧ درجة مئوية . فما

هو الحجم الذي تشغله عند درجة ٥٧ درجة مئوية عند ثبات الضغط.

الحل:

المعطيات: $ح_{٢٧}$ = ٢٠٠ ملليلتر (حجم الغاز عند ٢٧°)

$د_{٢٧}$ = ٢٧ + ٢٧٣ = ٣٠٠ كلفن

$د_{٥٧}$ = ٥٧ + ٢٧٣ = ٣٣٠ كلفن

المطلوب إيجاد $ح_{٥٧}$ (حجم الغاز عند ٥٧°)

بما ان الضغط ثابت فإن:

$$\frac{ح_{٢٧}}{د_{٢٧}} = \frac{ح_{٥٧}}{د_{٥٧}}$$

$$ح_{٥٧} = \frac{ح_{٢٧}}{د_{٢٧}} \times د_{٥٧} = \frac{٢٠٠ \times ٣٣٠}{٣٠٠} = ٢٢٠ \text{ ملليلتر}$$

لماذا زاد الحجم ؟

مثال(٤-١٢):

كتلة محدودة من الغاز تحتل حجم لتر واحد عند درجة حرارة ٢٥ مئوية. سُخنت الكتلة إلى درجة حرارة ٢٥٠ مئوية بزيادة الضغط إلى ضعفه، اوجد الحجم النهائي للغاز.

الحل:

١. المعطيات: $د_{١}$ = ٢٥°، $ح_{١}$ = ١ لتر، $د_{٢}$ = ٢٥٠ °، $ض_{٢}$ =٢ $ض_{١}$

٢. حول درجات الحرارة إلى كلفن:

د١ = ٢٥ + ٢٧٣ = ٢٩٨ كلفن.

د٢ = ٢٥٠ + ٢٧٣ = ٥٢٣ كلفن.

٣. ومن معادلة قانون الغاز المثالي في حالة ثبوت الكتلة:

$$\frac{ح_{١} \times ض_{١}}{د_{١}} = \frac{ح_{٢} \times ض_{٢}}{د_{٢}}$$

$$\frac{١ \times ض_{١}}{٢٩٨} = \frac{ح_{٢} \times ٢ض_{١}}{٥٢٣}$$

بقسمة الطرفين على ض١

$$\frac{١}{٢٩٨} = \frac{٢ح_{٢}}{٥٢٣}$$

$$ح_{٢} = \frac{٥٢٣}{٢\times٢٩٨} = ٠,٨٨ \text{ لتر تقريباً}$$

لمإذا قل الحجم؟

تمرين (٤-٥)

١. وعاء يحتوي على ٢٠٠ سم^{٣} من غاز النتروجين في درجة حرارة ٢٧°م وضغط جوى ٧٢٠ سم/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 الجوي.

٥. اسطوانة حجمها نصف لتر تحوي خليط من الغازات على ضغط جوي عادي ودرجة حرارة ٢٥°م. ضغط الغاز فجاة بمكبس حتى صار الحجم ١/١٠ من الحجم الاول ، وزاد الضغط إلى ١٥ ضعف الضغط الجوي العادي. جد درجة حرارة الغاز المضغوط بافتراض ان خليط الغازات يخضع لمعادلة الحالة.

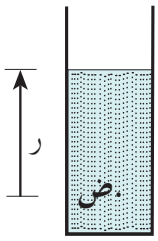
٦. إذا زيدت درجة الحرارة المطلقة لكتلة محددة من غاز ما إلى الضعف عند نقصان الضغط إلى النصف، اثبت ان الحجم الجديد يزيد إلى اربعة اضعاف الحجم الاول.

ب- الموائع الساكنة :Hydrostatics

وسنتناول هنا الضغوط التي تنتج عن السوائل نتيجة لارتفاع مستوى سطحها .

الضغط في عمق معين داخل السائل :

الضغط الذي يؤثر به المائع على نفسه اوعلى الإناء الذي يلامسه عند أي عمق (ر) هو(ض) :



$$ض = ث . د . ر$$

أو

$$ض = و . ر$$

حيث :

ض = الضغط (ن / م^{٢})

ث = هي كثافة المائع (كجم / م^{٣})

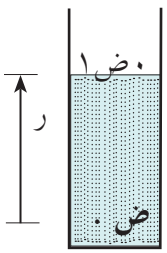
د = عجلة الجاذبية الارضية (م / ث^{٢})

ر = عمق النقطة التي يراد قياس الضغط عندها .

و = الوزن النوعي (نيوتن / م^{٣})

أما إذا أثر ضغط ض$_{١}$ على السطح الحر للسائل فان ضغط إضافي ينشأ داخل السائل .

وتصبح علاقة الضغط عند أي عمق كما بلي :



$$ض = ث . د . ر + ض_{١}$$

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 ١٨متر 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 ١٨م يساوي ض.

ض = ث. د. ر + ض$_{١}$

ض = و. ر + ض$_{١}$

ض– ض$_{١}$ = و. ر

ض – ض$_{١}$ = ١٠٠٠٠ × ١٨ = ١٨٠٠٠٠ ن/م^{٢}

= ١٨٠ ك. ن/م^{٢}

وهو فرق الضغط بين النقطتين.

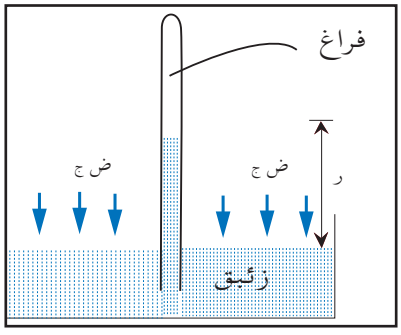
(٤–٣–٣) أجهزة قياس الضغط : Pressure Guages

هنالك عدة أنوع 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 بالإناء يتعرض للضغط الجوي.



شكل(٤–٣٢): بارومتر.

من الشكل(٤-٣٢) نجد أن الضغط الجوي " ض$_{ج}$ " يساوي:

ض$_{ج}$ = ث . د . 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 ر= ٧٦٠ مم

مثال(٤-١٤):

بارومتر ارتفاع الزئبق فيه يساوي ٧٥٥ مم، احسب الضغط الجوي في تلك اللحظة. علماً بان كثافة الزئبق تساوي ١٣٦٠٠ كجم/م^{٣}.

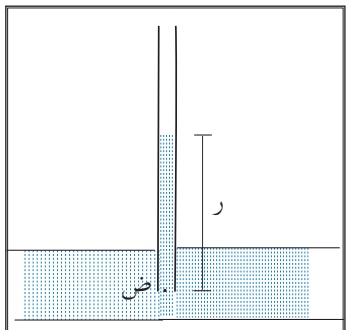
الحل:

الضغط الجوي من البارومتر:

ض$_{ج}$ = ث . ج . ر

ض$_{ج}$ = ١٣٦٠٠ × ١٠ × ٠,٧٥٥ = ١٠٢٦٨٠ نيوتن/م^{٢}

البيزومتر (أنبوب الضغط) Pressure tube (The Piezometer) :



شكل (٤-٣٣) : البيزوميتر

هو جهاز لقياس ضغوط السوائل داخل الآنية أو الأنابيب.

ويتكون في ابسط صوره من أنبوب زجاجي مفتوح الطرفين، شكل(٤-٣٣). يُدخل أحد طرفيه رأسياً داخل الإناء أو الماسورة المراد قياس ضغط السائل داخلها. السائل المضغوط يبدءا في الارتفاع داخل أنبوب القياس حتى يتساوي الضغط الناتج من عمود السائل داخل الأنبوب مع ضغط السائل داخل الإناء أو الماسورة.

بما أن أنبوب القياس (البيزومتر) مفتوح للضغط الجوي فان 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 البيزميتر 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):

بيزومتر وصِل بماسورة مياه أفقية فارتفع سطح الماء في البيزومتر ٢متر فوق مركز الماسورة. خذ كثافة الماء ١٠٠٠ كجم/م^{٣} ، أحسب الضغط المقاس عند مركز الماسورة.

الحل:

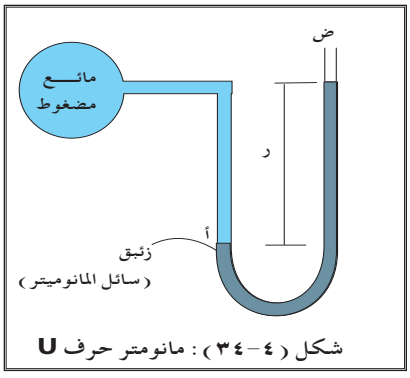
الضغط عند مركز الماسورة "ض":

ض = ث. د. ر

= ١٠٠٠ × ١٠ × ٢ = ٢٠٠٠٠ نيوتن/م^{٢}

١. **المانومتر شكل U** : U – Tube Manometer

يستخدم المانومتر علي شكل U الموضح بالشكل(٤-٣٤) لقياس الضغوط المنخفضة والعالية للموائع.



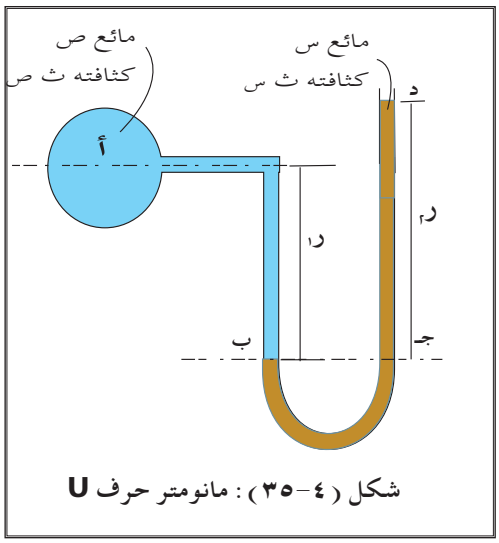
شكل (٤-٣٤) : مانومتر حرف U

ويتكون في ابسط 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 احد 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 نضطر 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 [$ض_أ = ث . د . ر$] . حيث ر هو الفرق في ارتفاع سائل المانومتر في الساقين، ث هي كثافة سائل المانومتر .

عند حساب الضغط بواسطة المانومتر يرسم خط أفقي [(ب جـ) شكل (٤-٣٥)] 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 .



شكل (٤-٣٥) : مانومتر حرف U

$ض_جـ = ض_ب$ (خط تساوي الضغط)

$$ض_د + ث_س . د . ر_٢ = ض_أ + ث_ص . د . ر_١ \quad \text{.....} \quad (٤-١٤)$$

$ض_د$ يعتبر صفراً إذا كان الأنبوب مفتوح للضغط الجوي (ضغط مرجعي) كما بالشكل(٤-٣٥) .

حيث :

$ض_أ$ = الضغط عند النقطة أ .

$ض_د$ = الضغط عند النقطة د .

$ث_ص$ = كثافة المائع ص في جزء المانومتر الايسر .

$ر_١$ = ارتفاع المائع س فوق نقطة تساوي الضغط ب .

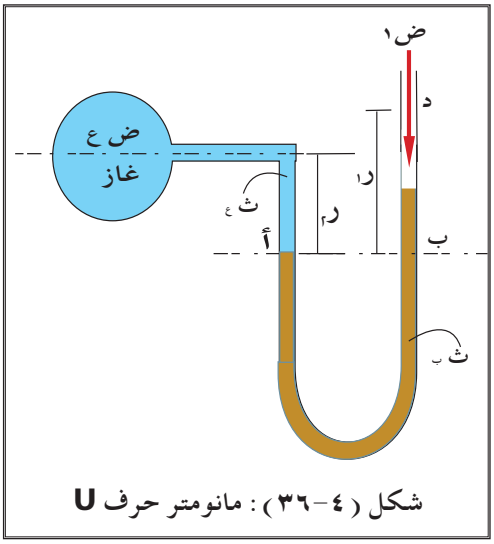
ث$_{س}$ = كثافة المائع س في جزء المانومتر الأيمن.
ر$_{٢}$ = ارتفاع المائع س فوق النقطة جـ.
د = عجلة الجاذبية الارضية.

مثال (٤-١٦):

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 للغاز.

الحل:

ارسم المنظومة كما بالشكل (٤-٣٦).
كثافة البرافين " ث$_{ب}$ " = ٨٠٠ كجم/م^{٣}
كثافة الغاز " ث$_{غ}$ " = صفر تقريباً (خفيف جدا)
ر$_{١}$ = ٦٠مم = ٠,٠٦ متر



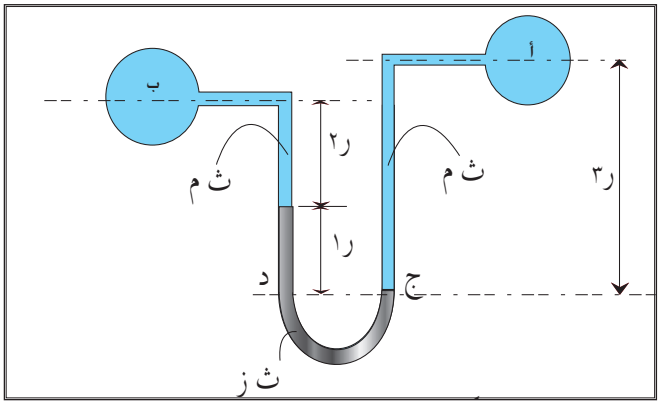
شكل (٤-٣٦): مانومتر حرف U

نرسم خط تساوي الضغط أ ب،
الضغط عند ب = الضغط عند أ.
ض$_{١}$ + ث$_{ب}$. د . ر$_{١}$ = ض$_{غ}$ + ث$_{غ}$. د . ر$_{٢}$
. + ٨٠٠ X ١٠ X ٠,٠٦ = ض$_{غ}$ + ٠ X ١٠ X ر$_{٢}$
ض$_{غ}$ = ٨٠٠ X ١٠ X ٠,٠٦
∴ ض$_{غ}$ = ٤٨٠ نيوتن/م^{٢}

مثال (٤-١٧):

المانومتر الموضح بالشكل(٤-٣٧) يقيس فرق الضغط بين نقطتين "أ"، "ب" في ماء وزنه النوعي ١٠٠٠٠ نيوتن/م^{٣} ، المانومتر يحتوي على زئبق وزنه النوعي ١٣٦٠٠٠ نيوتن/م^{٣} أحسب الفرق في الضغط بين النقطتين "أ" و "ب" إذا كان:

ر$_{١}$ = ٥٠ سم ، ر$_{٢}$ = ٤٠ سم ، ر$_{٣}$ = ١٥٠ سم.



شكل(٤-٣٧): مانومتر حرف U .

الحل:

افرض:

ث$_{م}$ = كثافة الماء، و$_{م}$ = الوزن النوعي للماء.

ث$_{ز}$ = كثافة الزئبق، و$_{ز}$ = الوزن النوعي للزئبق.

نرسم خط تساوي الضغط ج د،

الضغط عند "ج" = الضغط عند "د".

ض$_{أ}$ + ث$_{م}$. د . ر$_{٣}$ = ض$_{ب}$ + ث$_{م}$. د . ر$_{٢}$ + ث$_{ز}$. د . ر$_{١}$

ض$_{أ}$ + و$_{م}$. ر$_{٣}$ = ض$_{ب}$ + و$_{م}$. ر$_{٢}$ + و$_{ز}$. ر$_{١}$

ض$_{أ}$ + ١٠٠٠٠ × ١٫٥ = ض$_{ب}$ + ١٠٠٠٠ × ٠٫٤ + ١٣٦٠٠٠ × ٠٫٥

ض$_{أ}$ + ١٥٠٠٠ = ض$_{ب}$ + ٤٠٠٠ + ٦٨٠٠٠

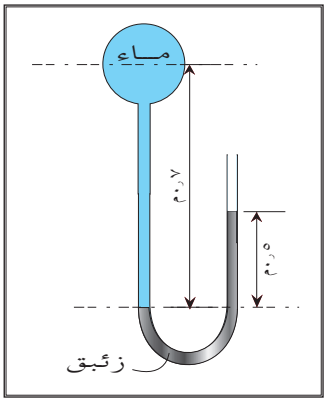
ض$_{أ}$ + ١٥٠٠٠ = ض$_{ب}$ + ٧٢٠٠٠

ض$_{أ}$ – ض$_{ب}$ = ٥٧٠٠٠ نيوتن/م^{٢}

وهو فرق الضغط بين "أ" و "ب".

تمرين(٤-٦)

١- مانومتر حرف U يستخدم الزئبق كسائل قياس ، أُستخدم لقياس ضغط ماء داخل ماسورة كما موضح بالشكل(٤-٣٨) أدناه, فوجد ان فرق مستوى الزئبق في ساقي المانومتر يساوي ٠,٥ م ومستوى الزئبق الأدنى يقع على بعد ٠,٧ 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.



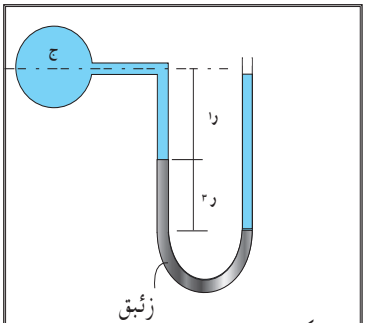
شكل (٤-٣٨) : مانومتر حرف U

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 مايحدث.

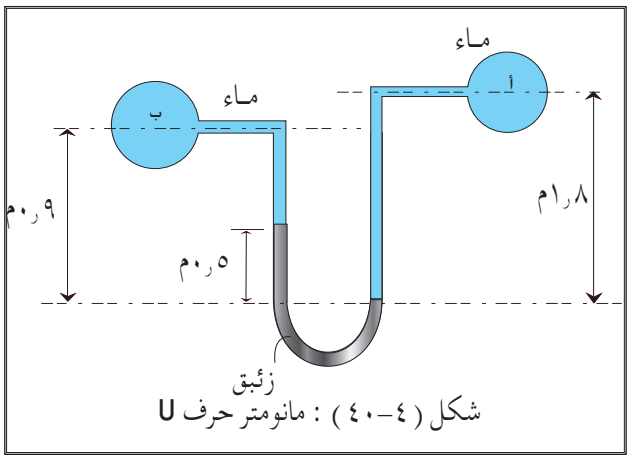
ب. إذا كان سطح الزئبق الأدنى على بعد ٣٠ سم أسفل من مركز الماسورة في الساق اليسرى ، وسطح الزئبق في الساق اليمنى على ارتفاع ٢٠ سم أعلى من مركز الماسورة. ما ضغط الماء عند منتصف الماسورة. الكثافة النسبية للزئبق تساوي ١٣,٦.

٣- المانومتر الموضح بالشكل(٤-٣٩) 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 ر$_{١}$ = ١٥ سم، ر$_{٢}$ = ٣٠ سم.



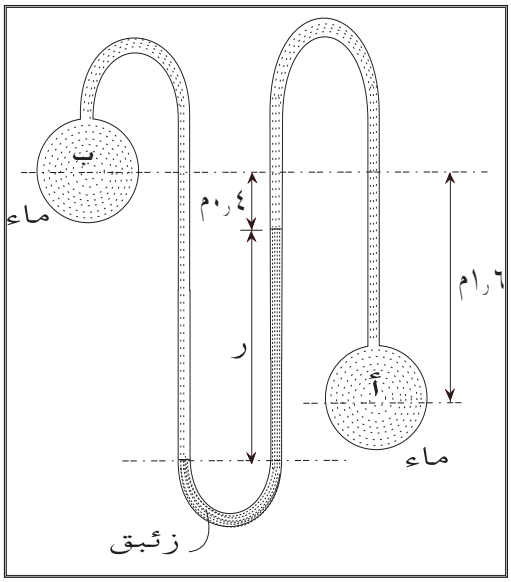
شكل (٤-٣٩) : مانومتر حرف U

٤- أوجد فرق الضغط بين النقطتين (أ) و (ب) في المانومتر علي شكل U الموضح بال شكل(٤-٤٠) أدناه. خذ الوزن النوعي للماء ٩,٨١ كيلونيوتن/م^{٣} والكثافة النوعية للزئبق ١٣,٦ .



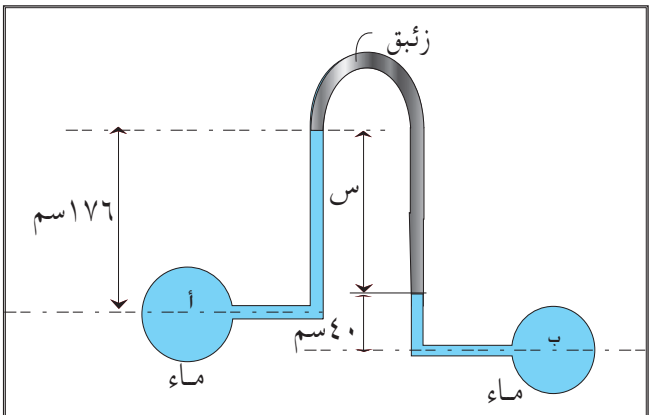
شكل (٤-٤٠) : مانومتر حرف U

٥- في الشكل(٤-٤١) 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.



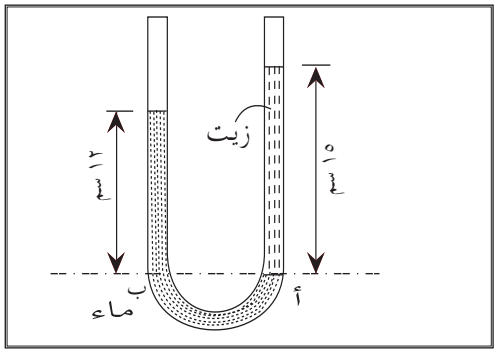
شكل (٤-٤١) : مانومتر زئق حرف U

٦- يحوي المانومتر المعكوس في الشكل(٤-٤٢) زئبق. 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 ساقي الزئبق ، علماً بأن الوزن النوعي للماء ١٠ كيلونيوتن/م^{٣} والوزن النوعي للزئبق ١٣٦ كيلونيوتن/م^{٣}.



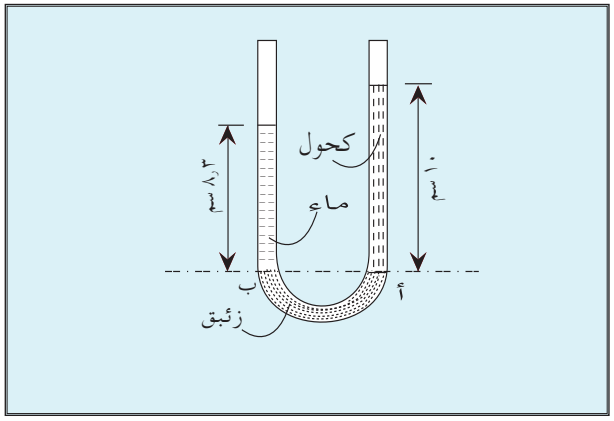
شكل (٤-٤٢) : مانومتر حرف U

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}.



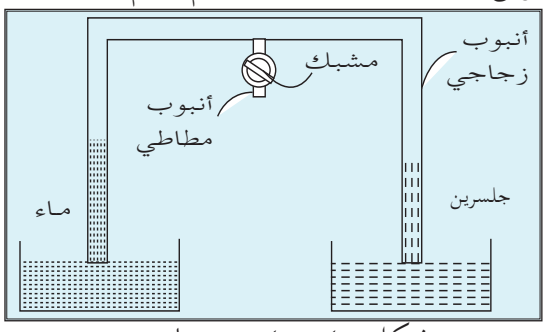
شكل (٤-٤٣) : مانومتر زئبق حرف U

٨- في المانومتر الزئبقي الموضح بالشكل(٤-٤٤) طول عمود الكحول ١٠ سم وطول عمود الماء ٨,٣ سم. أوجد كثافة الكحول علماً بأن كثافة الماء ١جم/سم^{٣}.



شكل (٤–٤٤) : مانومتر حرف U مفتوح الطرفين

٩– استعمل جهاز هير (Hare) الموضح بالشكل(٤–٤٥) لتعيين كثافة الجلسرين. وعند فتح المشبك ومص بعض الهواء من الأنبوب تلاحظ صعود الماء لارتفاع ١٨,٣ سم ، وصعود عمود الجلسرين لارتفاع ١٤,٥ سم. أوجد كثافة الجلسرين 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 إحدي 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 سطحا الزئبق في الشعبتين في مستوي واحد. أحسب كثافة ماء البحر.

(٤-٤-٤) التساقط :

يقصد بالتساقط تهاطل 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) فانه يتمدد نسبة لانخفاض الضغط مع الارتفاع. وهذا التمدد يكون كاظم للحرارة (اديباتي) (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.

وهنالك 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 الهيدروليجية 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 مُستقبِل فوق قمع يؤدي إلى مستودع. للمُستقبِل حافة حادة 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 ± ١٪. عادة يوضع مقياس المطر على ارتفاع ١,٥ 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 مُستقبِل 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 عدديا أو بيانيا 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 :

أخطأ قراءة تدريج المقياس ، وضياع 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:

$ص_{1}$ ، $ص_{2}$ ، $ص_{3}$ ..... $ص_{ن}$

فان متوسط مياه الأمطار في تلك المنطقة:

$$م = \frac{ص_{1} + ص_{2} + ص_{3} + ... ص_{ن}}{ن} \quad .....(٤-١٥)$$

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 ، وتمد 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.

$$م = \frac{ص_{1}م_{1} + ص_{2}م_{2} + ص_{3}م_{3} + \ldots\ldots\ldots\ldots + ص_{ن}م_{ن}}{م_{1} + م_{2} + م_{3} + \ldots\ldots\ldots\ldots م_{ن}} \quad \ldots\ldots\ldots (٤-١٦)$$

حيث:

م = متوسط الأمطار الهاطلة في المنطقة (مم).

$ص_{ن}$ = تسجيل الأمطار الهاطلة في المحطة ن (مم).

$م_{ن}$ = مساحة المضلع المحيط بالمحطة ن.

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 الخرط الطبغرافية.

٢. حساب المساحة المحاطة بخطوط الأمطار المتساوية بوساطة الممساح أو غيره من الطرق.

٣. يُضرب التساقط المتوسط بين كل زوج من خطوط الأمطار المتساوية بالمساحة بين الخطوط لتقدير الحجم المرحلي.

٤. يُجمع حاصل الضرب للمساحات بالتساقط لكل الخطوط ثم يقسم الناتج علي

المساحة الكلية بين خطوط الأمطار المتساوية ، لتقدير التساقط المتوسط لهذه المنطقة ، كما موضح في المعادلة (٤-١٧) .

$$م = \frac{م_{١}(ص_{١}+ص_{٢})+ م_{٢}(ص_{٢}+ص_{٣}) + \ldots\ldots + م_{ن}(ص_{ن}+ص_{ن+١})}{٢(م_{١}+ م_{٢}+م_{٣}+\ldots\ldots\ldots\ldots+م_{ن})} \quad \ldots\ldots (٤-١٧)$$

م = متوسط التساقط في المنطقة .

$ص_{ن}$ = التساقط على خط الأمطار المتساوية ن .

$م_{ن}$ = المساحة بين زوج من خطوط الأمطار المتساوية .

مثال (٤-١٨) :

اوجد التساقط المتوسط في منطقة جابية طبقاً للمعلومات والبيانات الموضحة في الجدول أدناه باستخدام طرق مختلفة لتقديرها :

المحطة	مقياس المطر (سم)	المساحة (٪)
١	٥٠	٩
٢	٦٢	١٣
٣	٧٥	١٧
٤	١٠٠	٢٠
٥	١٠٦	٣٠
٦	٩٥	١١

الحل :

١- جد متوسط الأمطار الهاطلة بالمنطقة باستخدام طريقة المتوسط الحسابي من المعادلة :

$$م = \frac{ص_{١} + ص_{٢} + ص_{٣} + \ldots\ldots\ldots\ldots ص_{س}}{ن}$$

$$م = \frac{٥٠ + ٦٢ + ٧٥ + ١٠٠ + ١٠٦ + ٩٥}{٦} = ٨١,٣ \text{ سم}$$

٢- جد متوسط الأمطار الهاطلة بالمنطقة باستخدام طريقة ثايسن من المعادلة:

$$ص = \frac{ص_{١}م_{١} + ص_{٢}م_{٢} + ص_{٣}م_{٣} + \ldots\ldots\ldots ص_{ن}م_{ن}}{م_{١} + م_{٢} + م_{٣} + \ldots\ldots\ldots م_{ن}}$$

$$ص = \frac{٥٠ \times ٩ + ٦٢ \times ١٣ + ٧٥ \times ١٧ + ١٠٠ \times ٢٠ + ١٠٦ \times ٣٠ + ٩٥ \times ١١}{٩ + ١٣ + ١٧ + ٢٠ + ٣٠ + ١١} = ٨٧,٦ \text{ سم}$$

تمارين عامة (٤-٧)

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 (جـ).

٣- توجد في منطقة معينة خمس محطات رصد هيدرولوجية لقياس الأمطار. جد متوسط الأمطار مستخدماً طريقة ثايسن لحساب متوسط الأمطار الهاطلة بالمنطقة ، علماً بان رسم مضلعات ثايسن كما موضح في الجدول التالي:

رقم المحطة	متوسط الأمطار (مم)	مساحة مضلع ثايسن المحيط 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 ٢٥,٤ ، ١٩,٦، ٢١,٧ ، ٢٤,٢ مم علي الترتيب. وقد تم حساب متوسط الأمطار بطريقة مضلع ثايسن ووجدت مساحات المضلعات المحيطة بكل محطة علي الترتيب ٣٠، ٢٥، ٢٣ و٣٨ 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.

(٤-٥) أساسيات هندسة الطرق والمرور

(٤-٤-١) مقدمـــة :

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 . الشئ الذي قاد معه إلى أن يتخصص مهندس الطرق في تخطيط المرور والتصميم الهندسي والإنشائي للطرق وتصميم الرصيف وإدارة المرور وسلامته والبحث العلمي .

عرَّف 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 المشأة و الحيوانات

تعتبر الطرق من أهم مقومات الحضارة الإنسانية للاتصال وتسهيل انسياب الصادر والوارد وحركته ، ونقل المنتجات وترحيل الآليات ، وقد ساعد اختراع العجلة قبل نيف وخمسة ألاف عام علي إنشاء طبقة خاصة صلبة تتحمل أحمال مركزة كبيرة . ويُحدث التاريخ عن أهمية الطرق في الحضارات المختلفة التي سادت ثم بادت إذ ساعدت كثيراً في تقدمها . ومن أهم هذه الطرق – الطرق الرومانية التي شُيِّدت 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 وتربط بينها .
٢ . الطرق القومية : التي تعبر اكثر من ولاية ، وتعتبر من البنيات الأساسية ، مثل طريق الخرطوم الابيض .
٣ . الطرق الولائية : التي تربط أطراف الولاية الواحدة يبعضها، 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 و غيرها .
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 فأثرها 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 آخر، 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 وتهيئتها والمؤثرات البيئية الأخرى.

(٤-٤-٢) التخطـي:

التخطي هو اجتياز المركبات الثابتة أو المتحركة في نفس اتجاه الشخص المتخطي. غير ان تجاوز المركبات المتحركة عملياً أصعب من تجاوز الثابتة. وينبغي علي السائق اختيار الوقت المناسب ، والفرصة المواتية ، والانتباه لحالة الطريق عند التخطي. اما المبادئ العامة التي يجب مراعاتها للتخطي فتتلخص في التالي:

١. الانتباه لحالة الطريق في الاتجاه المضاد والتأكد من خلوه من الحركة لمسافة معقولة تسمح بالتخطي.
٢. كشف حالة الطريق باستخدام المرآة الداخلية.
٣. إعطاء الإشارة التي تعلن عن نية التخطي لتنبيه المركبة التي تسير خلف المركبة المتخطية.
٤. استعمال آلة التنبيه للفت نظر السائق الأمامي بنية التخطي 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 ودوارات 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 لابد من القيام بها، منها:

١. إعطاء الإشارة للسماح بتخطيه بعد تأكُده من خلو الطريق أمامه وبحالة تسمح بالتخطي الآمن.
٢. التحرك إلى أقصى يمين الطريق لإفساح المجال لسهولة التخطي دون مضايقة.
٣. تهدئة السرعة ليمكن المركبة المتجاوزة من تخطية في اقل مسافة ممكنة.
٤. عدم الإسراع خلف المركبة المتخطية لتتمكن 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 وصلاحيتها 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 ومدي 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 خطرة بالنسبة لسائق مبتدئ قد لا يعتبر كذلك بالنسبة للسائق المقتدر الذي يعرف مقدرات مركبته وخبايا الطريق الذي يسلكه. اختيار السرعة المناسبة لكل حالة يعتمد اعتمادا مباشرا 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 كافيا لتحديد تلك السرعة في كل حالة، فقد تكون السرعة القانونية المسموح بها علي الطريق سرعة خطرة في بعض الحالات، لذا حدد القانون السرعة القصوى المسموح بها علي الطريق تاركا 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 ايقاف مركبته قبل الاصطدام باجسام 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 تسمي " 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 وحتي يتمكن من الضغط علي الكابح لإيقاف مر كبته ايقافاً 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.

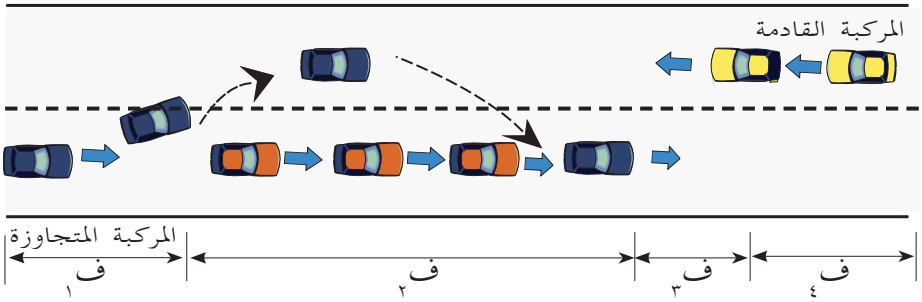
جدول(٤-٣) : أقل مسافة نظر مستخدمة لإيقاف المركبة علي الطريق .

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 بالكابح .

(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(٤-٤٦) : عناصر مسافة النظرللتجاوز في طريق ذي مسارين

كما موضح في شكل(٤-٤٦) هناك أربع مراحل لأقل مسافة مطلوبة للتجاوز

الآمن في طريق من مسارين علي النحو التالي.

- البعد ف$_{١}$ 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 ف$_{٢}$ 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 ف$_{٣}$ 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 ف$_{٤}$ 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 ف$_{١}$ + ف$_{٢}$ ، 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 ف$_{٤}$ بحوالي ($\frac{٢}{٣}$ ف$_{٢}$) .

(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 منحني الشارع أعلي من الجزء الداخلي له لكي يساعد وزن المركبة وقوي الاحتكاك بين عجلاتها والأرض لموازنة قوى الطرد المركزية.

أي جسم يتحرك بسرعة في مسار منحني تؤثر عليه قوة رد فعل للخارج يطلق عليها قوة الطرد المركزية (Centrifugal force) وقوة مقاومة للداخل تسمى قوة الجذب المركزية. (انظر شكل(٤-٤٧))

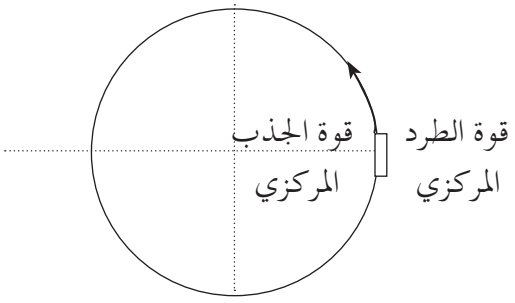
تعريـف:

١. قوة الجذب المركزية: Centripetal force

هي القوة التي تُغير خط السير المستقيم للجسم وتجبره بالتحرك في خط منحني. وهي قوة الاحتكاك بين إطارات المركبة والطريق.

٢. قوة الطرد المركزية: Centrifugal force

هي القوة التي تؤثرة علي جسم يسير في منحني في اتجاه عكسي لاتجاه مركز المنحني 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

$$\text{قوة الطرد المركزية} = \frac{\text{الكتلة} \times (\text{السرعة})^{٢}}{\text{نصف قطر المنحني}} = \frac{\text{ك} \times \text{ع}^{٢}}{\text{نق}} \quad \ldots\ldots\ldots (٤-١٨)$$

حيث : ك = كتلة الجسم (كجم)

ع = السرعة(م / ث)

نق = نصف قطر المنحنى بالمتر

مثال(٤-١٩) :

سيارة كتلتها ١٠٠٠كجم تسير في منحنى أفقي بسرعة ثابتة مقدارها ٢٥م/ الثانية. إذا كان نصف قطر المنحني الأفقي ١٢٥متر, جد قوة الطرد المركزية.

الحل :

المعطيات : ك = ١٠٠٠ كجم ، ع = ٢٥ م/ث ، نق = ١٢٥م.

$$\text{قوة الطرد المركزية} = \frac{\text{ك} \times \text{ع}^2}{\text{نق}}$$

$$\text{قوة الطرد المركزية} = ١٠٠٠ \times ٢٥^2 \div ١٢٥ = \underline{\underline{٥٠٠٠}} \text{ نيوتن}$$

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) القوي المؤثرة علي مركبة أثناء سيرها في منحني أفقي دون وجود انزلاق أو أجهاد علي الإطارات ، ونسبة لان الطريق مستو والقوي العاملة في حالة اتزان (أنظر شكل(٤-٤٨)) فأن مقدار قوة الاحتكاك الأفقية لمقاومة الطرد المركزية يمكن إيجادها من المعادلة (٤-١٩).

$$\text{ق} = \frac{\text{و ع}^2}{\text{د . نق}} \quad \ldots\ldots (٤-١٩)$$

حيث :

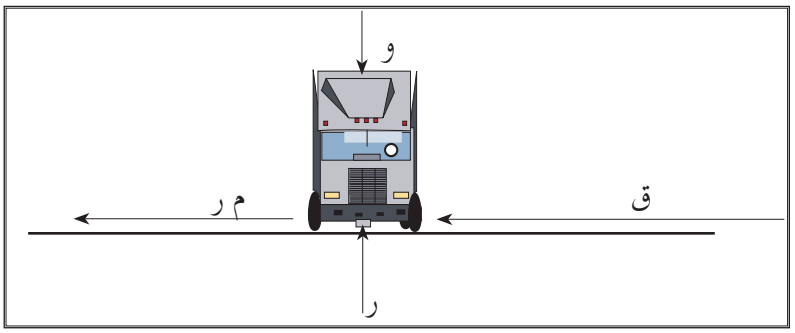
ق = قوة الاحتكاك الأفقية المقاومة لقوة الطرد المركزية (نيوتن).

و = وزن المركبة (نيوتن).

ع = سرعة المركبة (م/ث).

جـ = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2).

نق = نصف قطر المنحنى (م).



شكل (٤–٤٨) القوى المؤثرة على مركبة في منحني أفقي .

لاحظ أن قوة الاحتكاك الأفقية المقاومة لقوة الطرد المركزية تساوي قوة الطرد المركزية لان :

$$\text{ك} = \frac{\text{و}}{\text{د}}$$

∴ 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

$$\text{ق} = \text{م} . \text{ر} = \text{م} . \text{و} = \frac{\text{وع}^{٢}}{\text{د} . \text{نق}}$$

وعليه يمكن حساب معامل الاحتكاك من العلاقة :

$$\text{م} = \frac{\text{ع}^{٢}}{\text{د} . \text{نق}} \quad \text{.....} (٤–٢٠)$$

مثال(٤-٢٠) :

جد معامل الاحتكاك الأفقي للعربة في المثال(٤-١٩) .

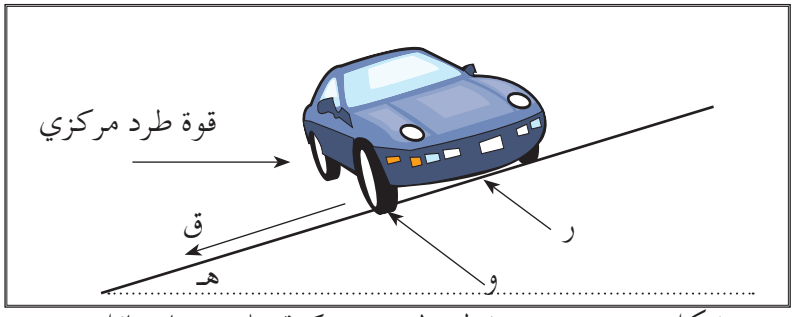
الحل :

ع = ٢٥ م/ث ، د = ١٠م/ث^{٢} ، نق = ١٢٥ م

$$م = \frac{ع^{٢}}{د . نق}$$

$$م = \frac{٢٥^{٢}}{١٢٥ \times ١٠} = ٠,٥$$

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 ومنحدراً نحو قوة الجذب المركزي كما مبين في الشكل (٤-٤٩) .



شكل (٤-٤٩) : مقطع طريق (مركبة على مسار مائل .

وفي حالة ميلان الطريق بزاوية معينة(هـ) فان :

$$\frac{ع^{٢}}{د . نق} = م + ظاهـ \quad .....(٤-٢١)$$

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 المنحنى وذلك لمنع المركبات من الانزلاق.

تمارين (٤-٦)

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. (د = ١٠م/ث^{٢}).

٢. سيارة تسير في منحني أفقي نصف قطره ١٠٠متر بسرعة ثابتة مقدارها ٢٠م/ث. إذا كانت قوة الطرد المركزية تساوي ٤٥٠٠ نيوتن. جد كتلة السيارة ومعامل الاحتكاك الأفقي.

(د = ١٠م/ ث^{٢}).

٣. منحني أفقي نصف قطره ١٢٠متر 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 منحنى أفقي ، فإذا كان معامل الاحتكاك الأفقي ٠,٥، جد نصف قطر المنحني.