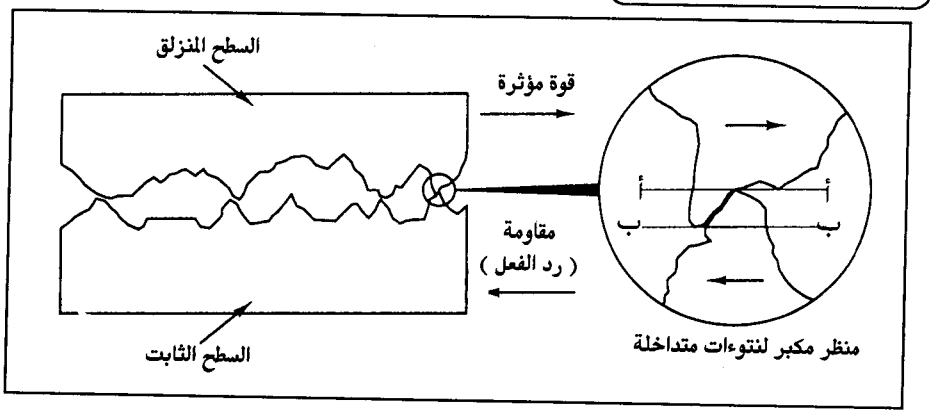
الوحدة الخامسة

الاحتكاك والآلات

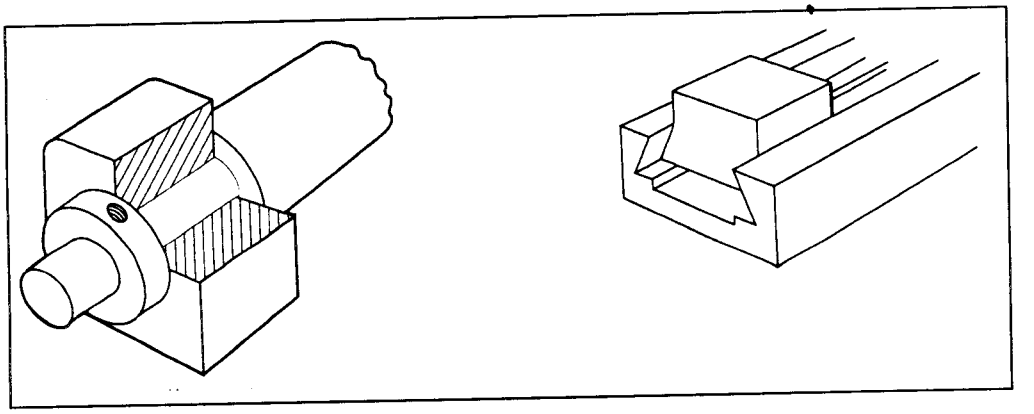
• الاحتكاك الانزلاقى :



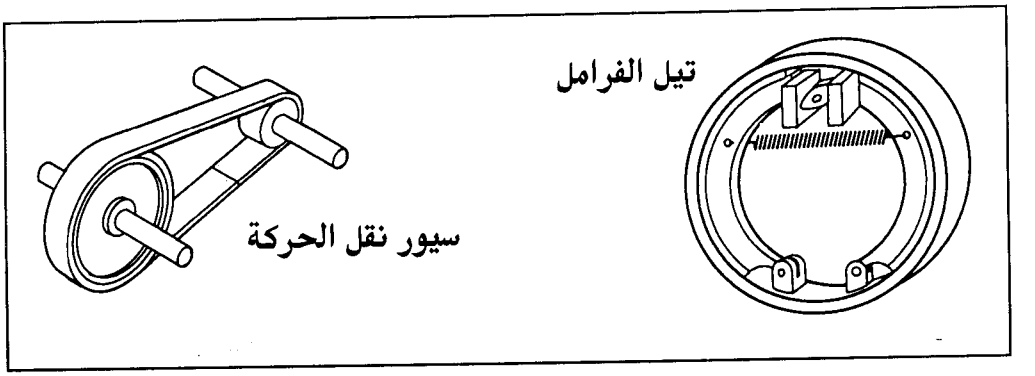
يمكن تعريف الاحتكاك عموماً بأنه المقاومة التى تعاكس حركة سطح على سطح آخر . وإذا فحصنا أى سطح تحت الميكروسكوب فإنه يبدو على هيئة نتوءات ومنخفضات دقيقة إذا التقت بسطح آخر اعتمدت على النقاط العالية فى كلا السطحين كما هو مبين . وتحت ضغط وزن الجسم العلوى تتداخل تلك النتوءات وقبل الحركة مباشرة (انزلاق سطح على سطح) فإن عليها أن تقص فى اتجاه أ – أ أو ب – ب أو كليهما معًا . ولما كان هذا يحدث فى كل النتوءات المتداخلة من السطحين فإن قوة الاحتكاك هى مجموع قوى القصّ فيها ، واستمرار التداخل والقصّ بالحركة والوقوف يؤدى إلى تآكل السطحين المتلامسين فى الحالة الجافة . إن الاحتكاك الواقع فى كراسى التحميل bearings لا يؤدى فقط إلى التآكل وإنما أيضًا إلى فقد الطاقة ، بمعنى أن الطاقة الميكانيكية اللازمة باستمرار لقص النتوءات المتداخلة تتحول إلى طاقة حرارية ، وطاقة صوتية

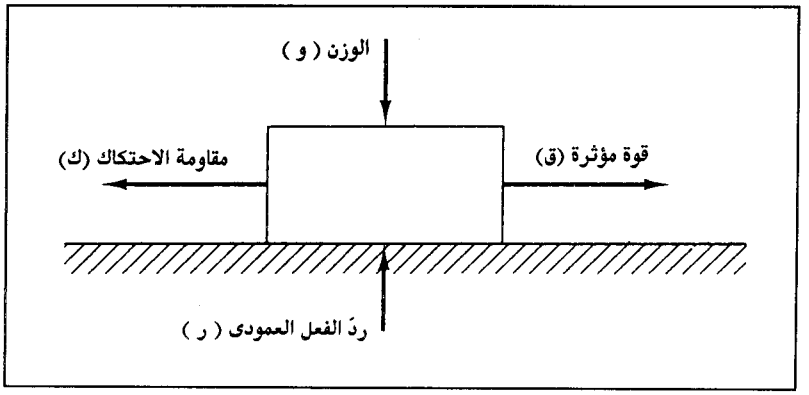
(صرير المعادن المحتكة) . كذلك فإن الحرارة الناتجة قد تؤدى فى النهاية إلى انصهار وأحياناً التحام المعادن المتلامسة . وهذه الحالة الأخيرة تسمى الالتصاق . فى كلتا الحالتين يتلف الكرسى . إن ذرات الغبار الدقيقة التى توجد على أسطوانة الفرامل فى السيارة ما هى إلا نتيجة التآكل المستمر لتيل الفرامل والإسطوانة نفسها ، وهذه الذرات كانت فى الأساس تلك النتوءات العالية التى قصت من السطحين . وحتى الآن فنحن نتناول الاحتكاك باعتباره سببًا من أسباب تآكل الأجزاء إلا أن الاحتكاك له مزايا كما أن له عيوبًا ، وبعض الأمثلة نسوقها فى الحالات الآتية

أ ــ الاحتكاك بين أسطح التحميل غير مرغوب فيه نظراً لفقدان الطاقة والتآكل وانهيار الدفة كما فى الأجزاء الدائرة والمنزلقة .



ب ـ الاحتكاك بين تيل الفرامل والأسطوانة أو بين السيور المختلفة وبكرات الدوران هو احتكاك مرغوب لنقل أو منع الحركة . وفى هذه الحالة يجب ألا يسمح الاحتكاك بالانزلاق (كوجود زيت أو نحوه) أو الإفلات .





الشكل العلوى يبين جسم على سطح فى حالة سكون والقوى المؤثرة عليه وهى

ـ وزن الجسم إلى أسفل .

ـ ردّ الفعل العمودى إلى أعلى والذى يؤثر به السطح على الجسم لمنعه من الحركة لأسفل وهو دائماً عمودى على السطح .

ـ القوة المؤثرة التى تحاول تحريك الجسم إلى اليمين (ق) .

ـ قوة الاحتكاك بسبب تفاعلات نتوءات السطحين المتلامسين وهى تقاوم القوة المؤثرة .

وحتى يتحرك الجسم لابد للقوة ق أن تتغلب على الاحتكاك وهى هنا قوة جرّ أو شدّ ، ومن الممكن أيضاً أن تكون قوة دفع بلا أى تغيير فى الأثر .

من ناحية أخرى فإن ر ، ك هما ردّا فعلّ للقوتين المؤثرتين وهما الوزن وقوة الشدّ وبالتالى لابد أن يكونا أقل منهما أو على أقصى تقدير مساويين لهما ، وبلغة الرياضة فإن :

ك ⩽ ق ، ر ⩽ و

فلنتناول أولاً الوضع فى حالة الاحتكاك الاستاتيكى (عند سكون الجسم) وعندما تكون القوة ق غير كافية للتغلب على قوة الاحتكاك ك . والعلاقة هى :

ك = م ر أو $\frac{ك}{ر}$ = م حيث ك = ق ، ر = و ، م = معامل الاحتكاك

أما فى حالة الحركة فإن ك تقل كثيراً وبالتالى فإن الاحتكاك عند الانزلاق هو دائماً أقل من الاحتكاك عند السكون .

ويبين الجدول التالى معامل الاحتكاك الاستاتيكى بين الأسطح المختلفة :

الأسطح عند الاحتكاك الجاف	م
حديد زهر على نحاس أصفر	٠,١٥
صلب على نحاس أصفر	٠,١٦
صلب على حديد زهر	٠,٢
صلب على صلب	٠,٢٥
حديد زهر على جلد	٠,٥٥
تيل فرامل على حديد زهر	٠,٦
مطاط على أسفلت	٠,٦٥
مطاط على أسمنت	٠,٧٠

* **مثال :**

احسب معامل الاحتكاك بين سطحين اذا كانت قوة من ٥٠ نيوتن غير قادرة على تحريك وزن ٢٥٠ نيوتن .

$م = \frac{ق}{ر} = \frac{٥٠ ن}{٢٥٠ ن} = ٠,٢$ حيث أن ك = ق = ٥٠ ن ، ر = و = ٢٥٠ ن

لاحظ أن معامل الاحتكاك ليس له وحدات .

* **مثال :**

احسب وزن كتلة من النحاس الأصفر على سطح حديد من الزهر إذا كانت القوة اللازمة لجعل الجسم على وشك الحركة هى ٣٠ نيوتن (استخدم الجدول السابق) .

$م = \frac{ك}{ر} = \frac{ق}{و} = \frac{٣٠ ن}{و} = ٠,١٥$

$\therefore و = \frac{٣٠}{٠,١٥} = ٢٠٠$ نيوتن

• التزييت :

يعتمد معامل الاحتكاك بين سطحين على ما يلى :

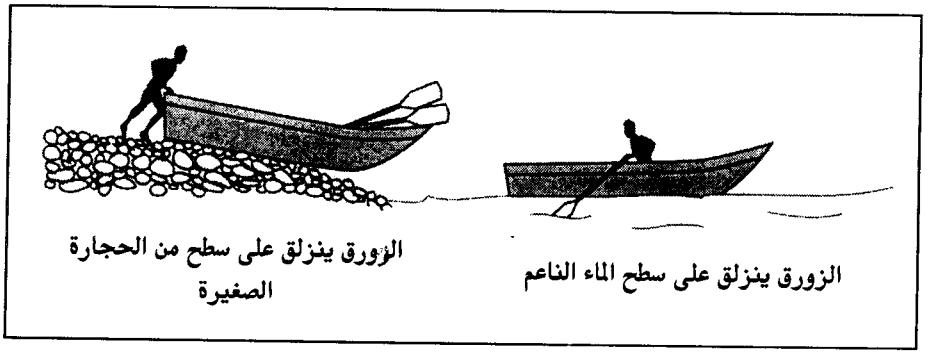
ـ درجة نعومة الأسطح الحاملة .

ـ المواد المصنوع منها الأسطح .

ـ السكون من الحركة (عند الحركة فإن الاحتكاك يكون أقل عند ثبوت العوامل الأخرى) .

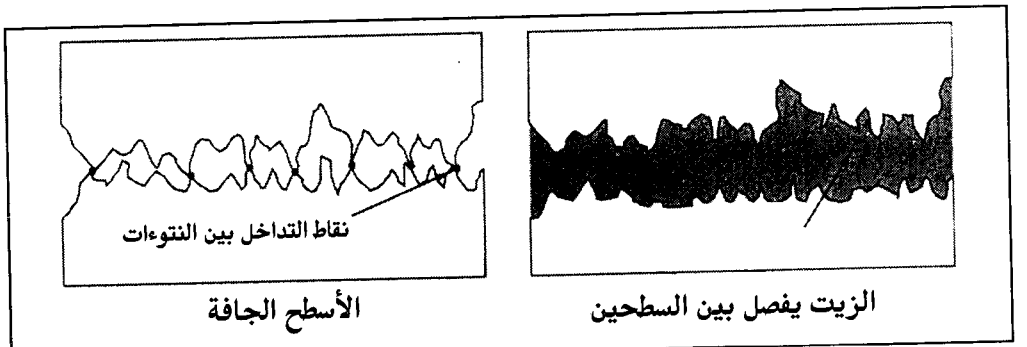
ـ وجود زيت أو شحم بين الأسطح المتلامسة .

وللأغراض العملية فإن مساحة التلامس بين السطحين لا تؤثر على الاحتكاك بينهما وإنما تؤثر على معدل التآكل عند بدء الحركة .

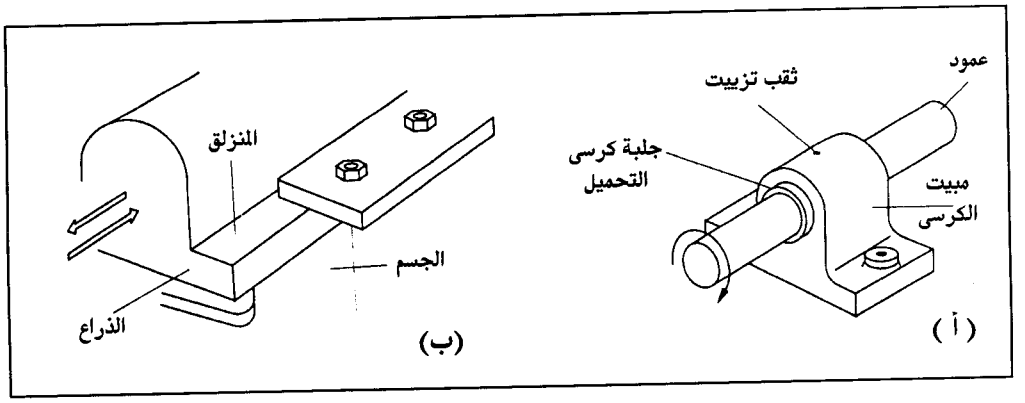


أى الوضعين فى الشكل المبين يتطلب قوة أكبر : جرّ القارب على سطح من الحجارة الصغيرة أم الانزلاق على سطح الماء ؟ وأى الوضعين يسبب تآكلاً أكبر لبطن القارب ؟

هذا المثال يوضح فائدة استخدام مشحم . فأى مادة تزييت تساعد على إبعاد السطحين عن بعضهما ، وهكذا يقع الاحتكاك بين جزيئات الزيت نفسه . من المهم أيضًا أن يتميز الزيت بمعامل احتكاك صغير وأن يلتصق بالسطحين جيدًا حتى يتكون غشاء من الزيت (فيلم) بصفة دائمة . ويبين الشكل التالى الفارق بين كراسى التحميل الجافة والأخرى باستخدام الزيت أو الشحم . وتعتمد المشحمات بصفة عامة على الزيوت المعدنية الناتجة من الصناعات



البتروكيميائية وهناك أيضاً بعض الزيوت المصنعة لأغراض خاصة . وتتميز هذه الزيوت بأنه يمكن ضبطها لتتحمل ظروفاً معينة وكذلك بأنها غير قابلة للاشتعال . وفى بعض الحالات أيضاً يستخدم فيها زيوت البذور النباتية أو الشحوم الحيوانية كما يمكن خلطها بالزيوت المعدنية لإنتاج زيوت القطع المعدنية ذات الخدمة الشاقة حيث لا تصلح الزيوت المعدنية وحدها لهذه الأغراض فهى لا تتحمل درجات الحرارة العالية والضغوط الكبيرة الموجودة بين أداة القطع ورقيقة المعدن التى تزيلها ، هذا إلى جانب أنها لا توفر تزييتًا صحيحاً وينتج عند احتراقها أدخنة ضارة .



فى الشكل (أ) عندما يدور العمود داخل كرس التحميل فإنه يشدّ الزيت حوله بين العمود والكرسى لمنع الاحتكاك الجاف . أما فى المقشطة المبينة فى الشكل (ب) فإن حركة الجزء المتردد ذهاباً وإياباً لا يجذب الزيت داخل كرسى التحميل وفى هذه الحالة ينبغى اختيار نوع من الزيت يلتصق بقوة بين الأسطح المحتكة . لاحظ أن :

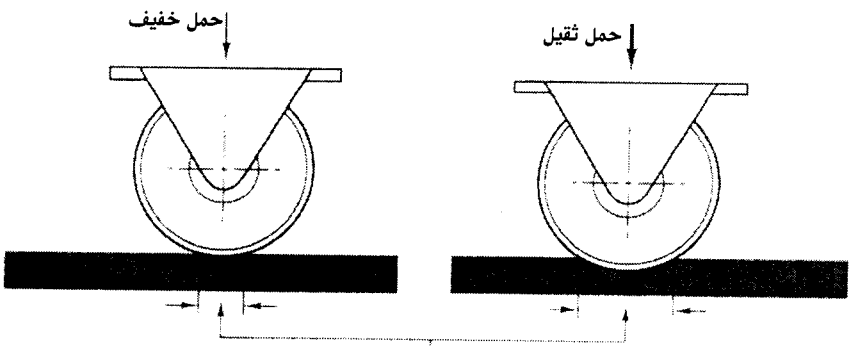
ـ الزيوت هى نوع من المشحمات السائلة .

ـ الشحوم هى خليط بين الزيوت والصابون الليّن .

ـ معظم السوائل توفر درجة ما من التزييت ، فالسيارة تنزلق بسهولة على الطريق المبتل أكثر من الطريق الجاف .

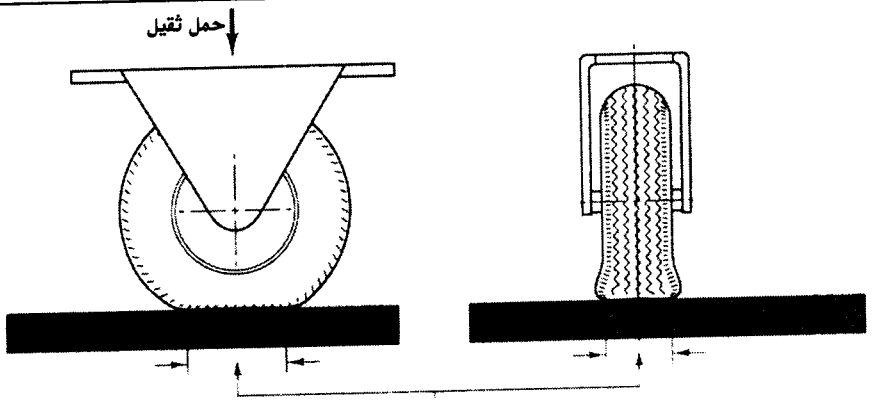
• الكراسى الدّوارة Rolling bearings :

إن الافتراض النظرى هو أن أى أسطوانة صلبة تتخذ شكلاً أسطوانياً تاماً إذا وضعت على سطح مستو ، وأنها تتماس مع هذا المستوى فى خط تلامس ، كما أن الأسطوانة لا تتشكل ولا حتى السطح الذى تتدحرج عليه وليس هناك أى انزلاق وبالتالى فليس هناك أى احتكاك . وعملياً فإن هذه الافتراضات غير سليمة وبعض التشكّل والتغيرّ يحدث للأسطوانة أو السطح أو الاثنين معًا اعتمادًا على صلادة المادتين حتى يستطيع السطح المتلامس تحمل الحمل الدافع على الكرسى ، كما أن هناك بعض الانزلاق بين الأسطح المتلامسة .



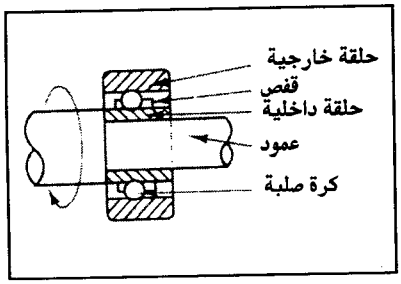
(تنغرس العجلة المعدنية فى الأرض حتى تكفى مساحة التلامس لتحمّل الحمل)

يبين الشكل أعلاه حالة عجلة صلبة تنغرس فى أرضية أقل صلابة حتى يمكن للحمل الثقيل أن يتوزع على مسافة أكبر .



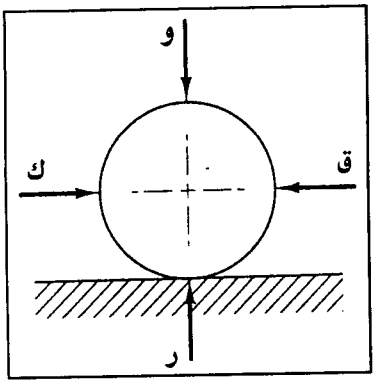
(يتشكل لإطار السيارة تحت تأثير الحمل حتى تكفى مساحة التلامس لرفع الحمل)

كما أن الشكل أعلاه يوضح كيف يتفلطح إطار السيارة حتى يتكون سطح كافٍ لرفع الحمل الواقع . والإطار المطاطى يسبب أقل تلف للسطح الذى يتدحرج عليه .



إن التركيب الحقيقى للكرسى الدّوار يعتمد على أسطوانات تتدحرج بين حلقتين كما هو مبين بالشكل أو كرات من الحديد على أبعاد متساوية . وهذه الكرات والحلقات تتشكل بدرجة كافية لتحمل أحمالاً كبيرة وحتى فى هذه الأنواع فهناك بعض الانزلاق وكذلك الحاجة إلى بعض التزييت . إلا أن الاحتكاك الواقع فى الكراسى الدوارة أقل بكثير منه فى الكراسى المسطحة التى تقاوم نفس الحمل . ولحساب معامل الاحتكاك فى الكراسى الدّوارة فإننا نستخدم مرة ثانية المعادلة :

$$م = \frac{ك}{ر}$$



جدير بالذكر أنه كلما كان تشكل أو انبعاج الحلقات والكرات أقل ما يمكن فإن الانزلاق يكون قليلاً وبالتالى الاحتكاك ولهذا فإن هذه الكراسى تصنع من مواد ذات صلابة عالية وعلى درجة من النعومة والدقة للإقلال أيضاً من التآكل .

• **الاحتكاك والأمن والسلامة على الطريق :**

يعتمد قائدو السيارات والدراجات على الاحتكاك لإيقاف عرباتهم ودراجاتهم . وعندما يضطر قائد السيارة لإيقافها فإنه يستغرق وقتاً يسيرًا لردّ الفعل . وخلال هذا الوقت تكون السيارة قد قطعت بعض الأمتار . تلك المسافة تسمى « مسافة التفكير » ويستغرق التفكير عادة حوالى ٠,٧ ثانية تزداد إذا كان السائق واقع تحت تأثير مخدر أو مرهق . أما مساحة الفرامل فهى المسافة التى تقطعها السيارة اعتبارًا من الضغط على بدال الفرامل حتى يتوقف تماماً . وتزيد مسافة الفرامل طبقاً للآتى .

ـ إذا كانت السيارة تسير أسرع . فالطاقة الحركية للسيارة تتناسب مع مربع سرعتها بمعنى أنه لو تضاعفت سرعة السيارة ثلاث مرات فإن طاقتها الحركية تتضاعف ٩ مرات وبالتالى تتضاعف مسافة الفرامل ٩ مرات . ومن المعروف أن الفرامل تحول كل الطاقة الحركية للسيارة إلى حرارة .

ـ إذا كانت السيارة أثقل وزناً لأن طاقة الحركة تتناسب مع الكتلة (التى تتناسب مع الوزن) .

ـ إذا كان الطريق مبتلاً أو ناعماً ، فعلى الطريق المبتل تصبح مسافة الفرامل الضعف كذلك من الممكن للسيارة أن تنزلق ، وعادة ما تستخدم طرق ذات خشونة عالية وبالأخص عند إشارات المرور حتى تساعد السيارات على الوقوف بسرعة .

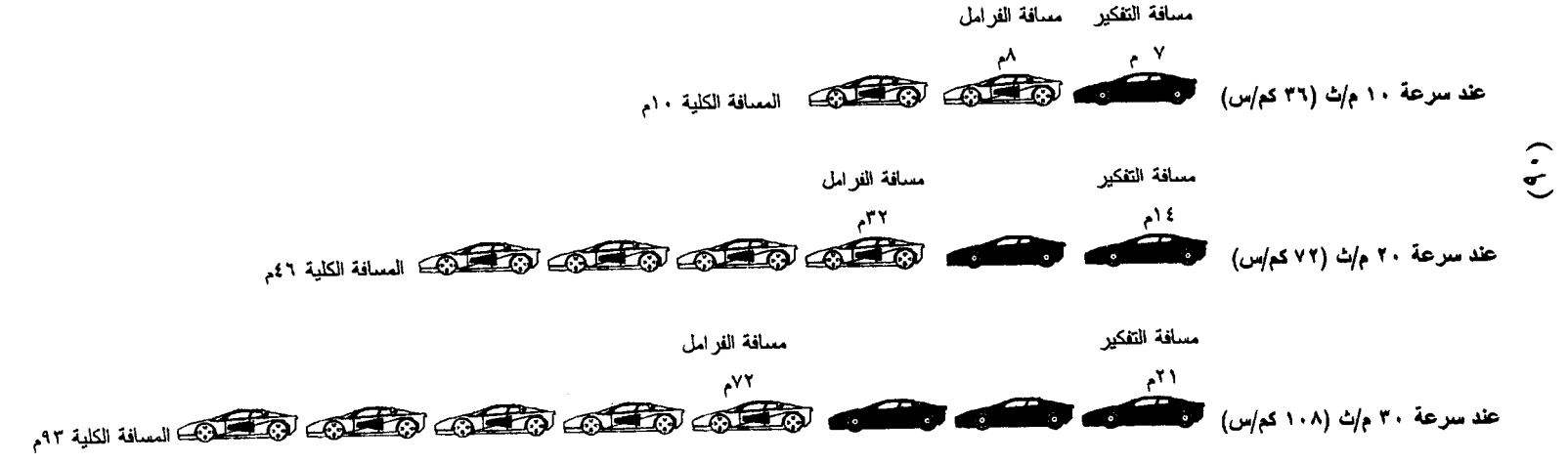
ـ إذا كانت السيارة رديئة الصيانة ومتآكلة الإطارات أو تيل الفرامل ، فالتجاديف التى فى إطار السيارة يجب ألا يقل عمقها عن ١,٦ مم لأنها تكسح الماء من على الطريق أثناء السير .

مما سبق يتضح أن المسافة الكلية تحسب من المعادلة الآتية :

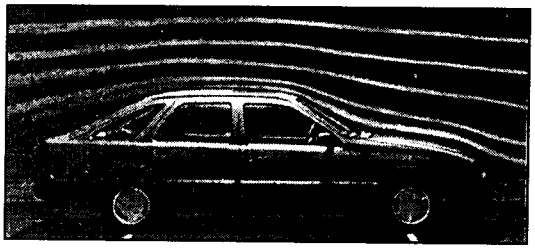
المسافة الكلية للفرامل = مسافة التفكير (رد الفعل لدى السائق) + مسافة الفرامل

ويبين الشكل التالى المسافات المثالية باستخدام فرامل جيدة وطريقة جاف وردّ فعل جيد لقائد السيارة .

أقصر مسافة فرملية على طريق جاف وفرامل جيدة ورد فعل جيد من السائق



• الاحتكاك بالـهواء :



يصمم جسم السيارة بحيـث تدفـق الـهواء سلسًا ناعمًـا بقـدر الإمكـان ، ويقلـل الشكـل الانسـياب لـــها مـــن مقاومة الـهواء الناتجة عن الاحتكـاك كما توضح السيارة أثناء التجربة فى نفق الريح وتعتمد مقاومة الـهواء على عدة عوامل كالآتى :

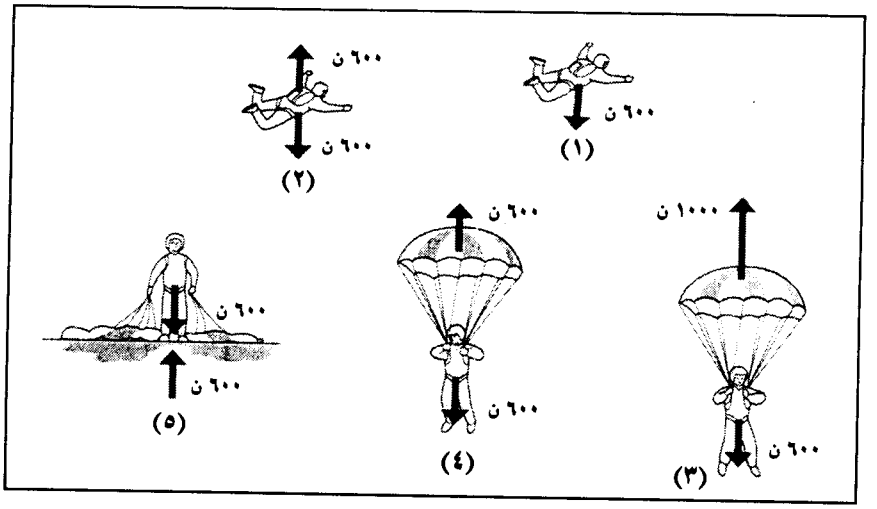
ـ الشكل ، فسيارات السباق والـزوارق تتميز بشكـل انسـيابى للتقليـل مـن مقاومة الـهواء .

ـ الحجم ، فالباراشوت الكبير يهبط ببطء .

ـ السرعة ، فالاحتكاك يزيد بزيـادة السـرعة حتـى تصـل سـرعة السـيارة أو الباراشوت إلى سرعة نهائية لا يتعداها .

ـ الوسط الذى يتحرك فيه الشىء ، فمثلاً الاحتكاك فـى المـاء أكـبر منـه فـى الـهواء بمعنى أن الماء أكثر لزوجة من الـهواء .

وعلى عكس السيارة فإن الباراشوت (أو مظلة الـهبوط) يصمم بحيث نحصل على أكبر قدر من المقاومة للحصول على هبوط سهل وناعم . وبينمـا يـهبط القـافز فإن طاقة الوضع لديه (بسبب ارتفاعه عـن الأرض) تتحـول تدريجيـاً إلى طاقـة حركية حيث يسرع الـهبوط وكذلك إلى حرارة بسبب الاحتكاك بالـهواء .



يوضح التسلسل المبين كيف يستخدم القافز بالمظلة مقاومة الهواء فى الهبوط إلى الأرض بسلام .

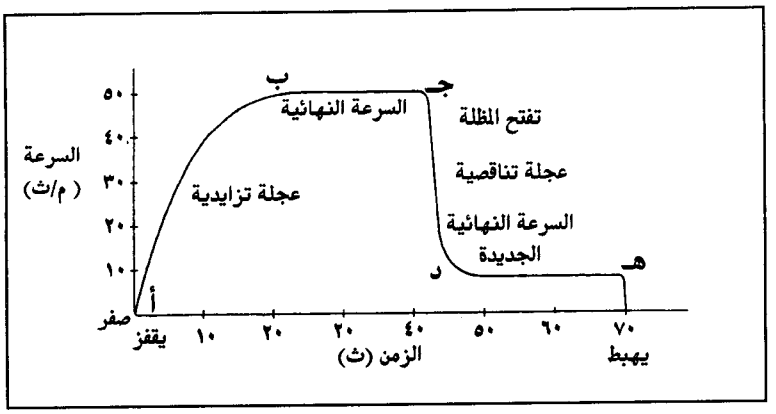
(١) فى البداية تكون هناك قوة واحدة مؤثرة على الهابط وهى وزنه ويساوى هنا ٦٠٠ ن ، وهذه القوة غير المتزنة تزيد من سرعة هبوطه .

(٢) وبينما يسرع الهابط تزداد فى المقابل قوة الاحتكاك وفى النهاية تتساوى القوتان وتتزنان فتثبت سرعته وتسمى فى هذه الحالة بالسرعة النهائية .

(٣) وعندما تنفتح المظلة تزداد مرة أخرى المقاومة وتكون المحصلة إلى أعلى فتبطئ سرعة هبوطه إلى أن ....

(٤) تتساوى القوتان مرة أخرى فتصل سرعة هبوطه إلى سرعة نهائية جديدة أقل من الأولى .

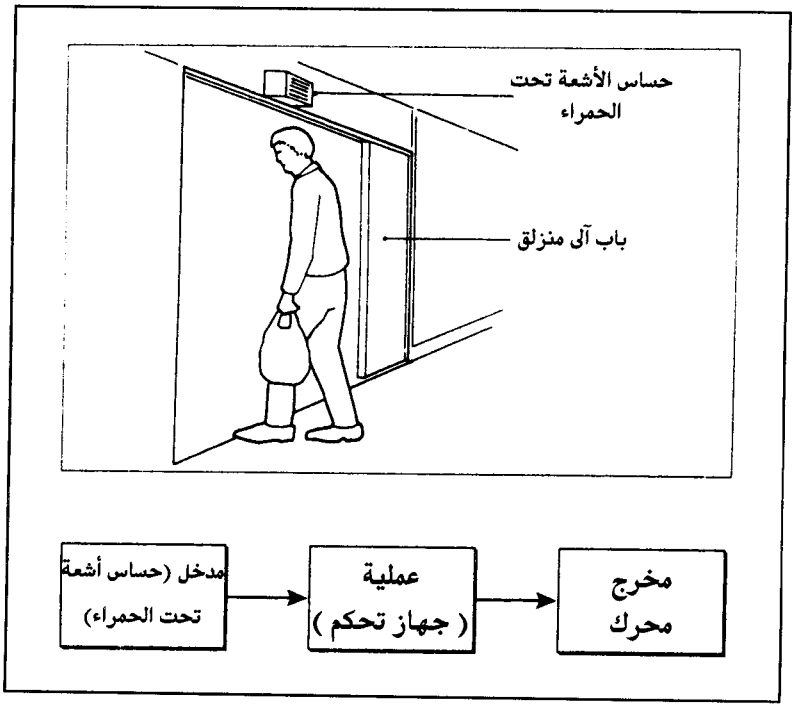
(٥) وعندما تصطدم قدماه بالأرض يلاقى ردًّا مفاجئًا يفقده سرعته ويكون هنا قد هبط بسلام ويوضح الشكل المقابل تغير سرعة الهابط من لحظة القفز إلى لحظة الوصول .



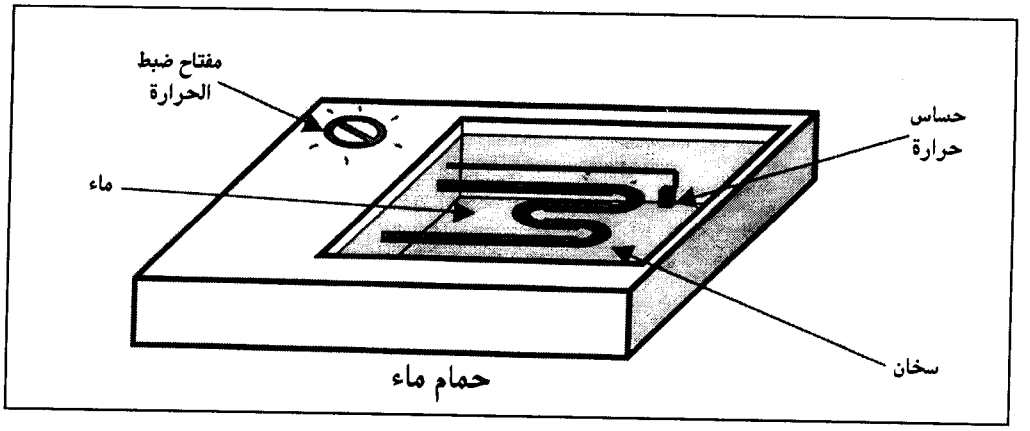
• نظم التحكم :

فى العصر الحديث يتخذ التحكم صوراً عديدة للسيطرة باستخدام الأجهزة الميكانيكية والإلكترونية والهوائية والتحكم فى معناه البسيط يدور حول جعل الأشياء تعمل بطريقة سليمة عن طريق التحكم فى هذا العمل . كمثال معروف أبواب المحلات فى الأسواق التى تفتح وتقفل آليًا وهذا النوع من نظم التحكم

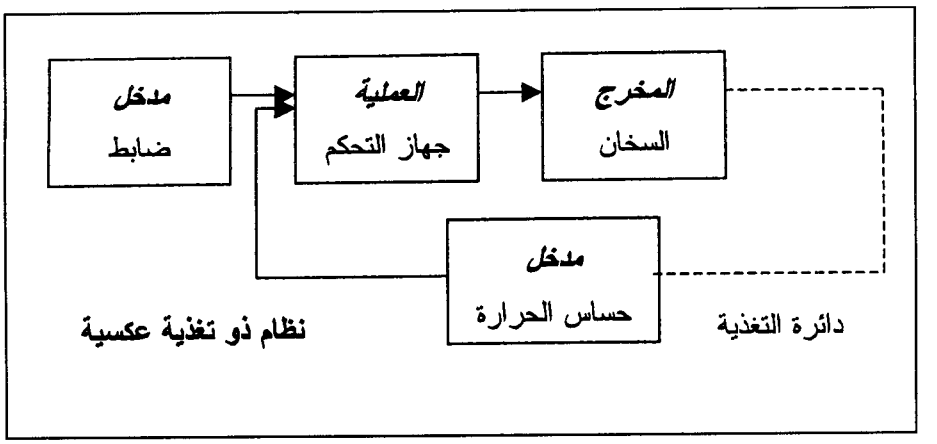
يسمى بالحلقة المفتوحة ويتكون نظام الحلقة المفتوحة من مدخل معين input ينتج عند مدخل معين output ، ففى المثال المبين بالشكل عندما ينشط حساس الأشعة تحت الحمراء (المدخل) يفتح الباب ويقفل (المخرج) ، كذلك فإنه لا شىء يغير هذا السلوك .



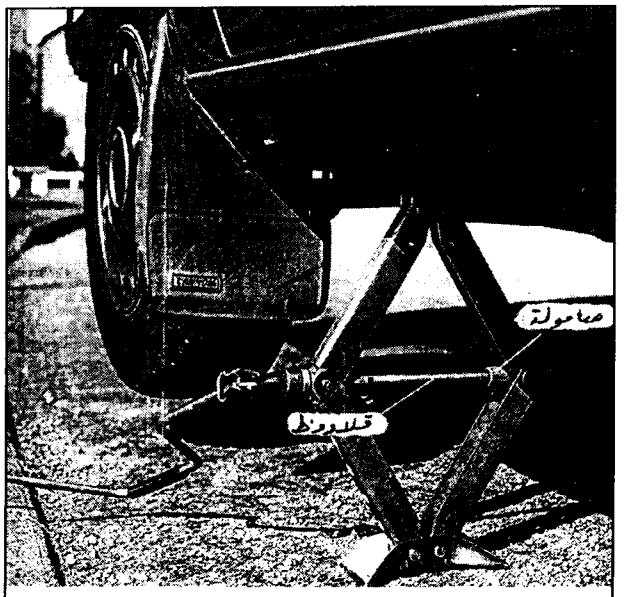
أما نظام الحلقة المغلقة Closed Loop فيتميز بوجود تغذية عكسية feed back وهذا ما يبين مثال حمام فيما يلى :



إذا نظرت لنظام حمام الماء فستعرف أنه أحد الأجهزة التى تستخدم فى المعامل لحفظ الأشياء عند درجة حرارة محددة . وهذا الجهاز له جزئان يعملان كمدخل ، أحدهما هو مفتاح ضبط الحرارة ومهمته ضبط درجة الحرارة المطلوبة للماء ، أما الجزء الثانى فهو حساس الحرارة ، ويعمل كمجسّ لها . والجزء الذى يعمل كمخرج فهو سخان وظيفته تسخين الماء ، أما جهاز التحكم فيتكون من دائرة إلكترونية مهمتها التحكم فى السخان بتشغيله وإبطاله والتغذية العكسية تصدر من حساس الحرارة فى صورة إشارة كهربية لجهاز التحكم الذى يقوم بمقارنة الإشارة القادمة بالإشارة من مفتاح ضبط الحرارة ، فإذا تساوت الإشارتان فإن جهاز التحكم يعرف أن الحرارة المطلوبة قد تم الوصول إليها فيطفىء السخان ، أما إذا انخفضت حرارة الماء فإن جهاز التحكم يقوم بتشغيل السخان مرة ثانية ، وهكذا يحتفظ الماء بدرجة حرارته وبالنظر إلى الرسم المبين فإن حلقة التغذية العكسية تعود واضحة ، ودورها فحص ما يحدث عند المخرج وإذا اقتضت الضرورة تغيير ما يحدث على عكس الحلقة المفتوحة .



• الآليات mechanisms :



كوريك السيارة

إن التطور التكنولوجى على مر العصور ارتبط دائماً بالقدرة على تطويع الطاقة . تلك الطاقة أطرف ما فيها أنه يمكن تحويلها من صورة إلى أخرى فمثلاً طاقة الحركة للماء المندفع يمكن تحويلها عن طريقة ناعورة water wheel إلى طاقة حركة دائرية وبالمثل فإن مولدات طواحين الهواء تحول الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربية فى أسلاك المولد الكهربى هذه وغيرها من محولات أشكال الطاقة المختلفة هى ما نسيمه بالآلات .

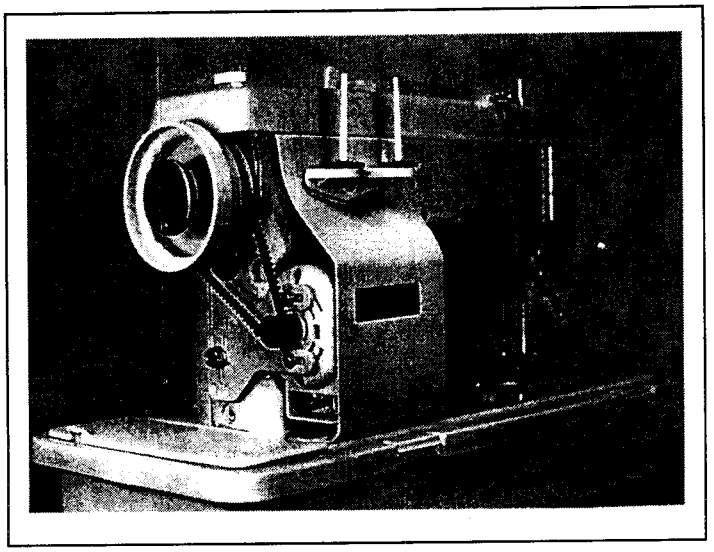
هذه الآلات سواء كانت بسيطة أو معقدة تتكون فى مضمونها من آليات بسيطة .

والآلية هى جهاز بسيط يحول مدخل من قوة وحركة إلى مخرج من قوة وحركة فى شكل آخر مطلوب . إن أبسط مثال على ذلك هو كوريك السيارة المبين فى الصورة ، فهو يتكون من قلاووظ وصامولة . وهذه الآلية تحول الحركة الدائرية الناتجة من لفّ القلاووظ إلى حركة مستقيمة عند الصامولة ، وهكذا تحول قوة صغيرة عند القلاووظ إلى قوة كبيرة عند الصامولة .

وبهذه الطريقة يمكن للسائق رفع السيارة . وغير رافعة السيارة فإن معظم الآلات الحديثة تخفى آلياتها عن الأنظار داخل أجسامها أو خلف ألواح ، وللأغراض الجمالية والوظيفية والأمان فنحن لا نراها . وسوف نتعرف فيما يلى على أنواع الآليات الشائعة :

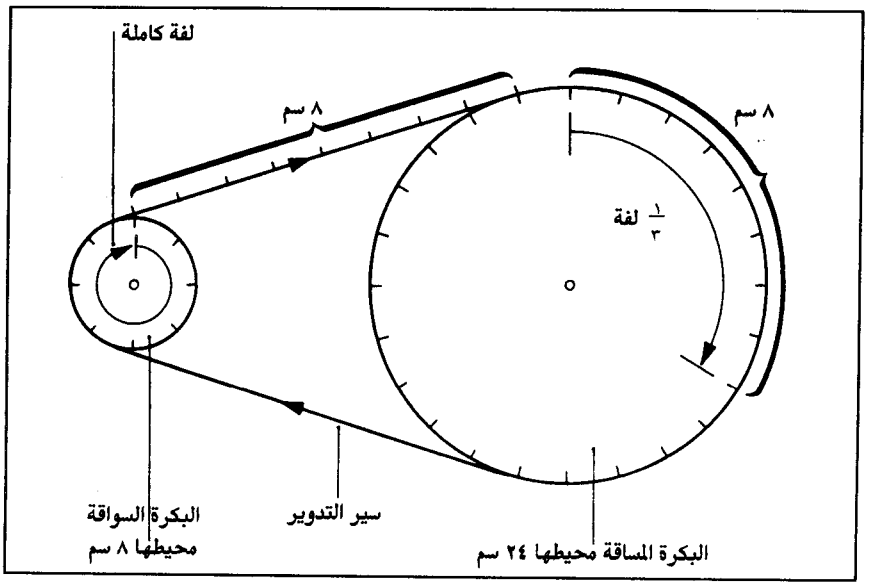
• البكرات :

تعتبر الحركة الدائرية من أكثر الأنواع شيوعاً بين الماكينات وفى بعض الأحيان تقتضى الضرورة نقل الحركة من عمود لآخر ، فماكينة الخياطة الموضحة ، وكذلك الغسالة الأتوماتيكية تنتقل فيهما الحركة من عمود المحرك إلى بكرة التشغيل . والبكرة هى عجلة ذات تجويف يمر فيه سير مرن يربط بين البكرات المختلفة وهكذا نستطيع نقل الحركة الدائرية أو العزم . ويتميز نظام البكرات بالهدوء عند التشغيل وعدم الاحتياج إلى تزييت بالإضافة إلى رخص ثمنه . أما أهم عيوبه فهو الانزلاق ولهذا ينبغى استعماله حيث لا يؤثر الانزلاق على عمل الماكينة .



• نسبة السرعة :

عندما تدور بكرة صغيرة لإدارة بكرة كبيرة فإن الأخيرة تدور بسرعة أبطأ . وهذا يمكن تفسيره بالنظر إلى الشكل المقابل لنظام البكرات إذا كان محيط البكرة « السوّاقة » هو ١٠ سم والبكرة « المساقة » هو ٣٠ سم فإن لفة كاملة للبكرة السواقة تدفع ١٠ سم للسير إلى الأمام وبالتالى تدور البكرة المساقة ثلث لفة . ونتيجة لذلك تدور البكرة المساقة بسرعة تساوى ثلث البكرة السواقة . والنسبة بين سرعة البكرة السواقة والبكرة المسوقة تسمى نسبة السرعة وهى فى حالتنا ٣ : ١



$$\therefore \text{نسبة السرعة} = \frac{\text{محيط البكرة المساقة}}{\text{محيط البكرة السواقة}} = \frac{\text{قطر البكرة المساقة}}{\text{قطر البكرة السواقة}}$$

وطالما عرفنا السرعة فإننا نستطيع حساب سرعة دوران عمود التشغيل إذا عرفنا سرعة دوران عمود البكرة السواقة كالآتى :

$$\text{سرعة عمود التشغيل (البكرة المساقة)} = \frac{\text{سرعة العمود السوّاق}}{\text{نسبة السرعة}}$$

$$\text{أو سرعة العمود المساق} = \frac{\text{سرعة دوران العمود السوّاق} \times \text{قطر البكرة السوّاقة}}{\text{قطر البكرة المساقة}}$$

* مثال :

إذا كانت نسبة سرعة نظام البكرات هو ٢ : ١ وسرعة دوران العمود السوّاق هو ٦٠ لفة/دقيقة فما سرعة العمود المساق ؟

$$\text{سرعة العمود المساق} = ٦٠ \div (\frac{٢}{١}) = \frac{٦٠}{٢} = ٣٠ \text{ لفة/دقيقة}$$

أحياناً يكون المطلوب نظام بكرات غير قابل للانزلاق ، وفى هذه الحالة تستخدم بكرات ، وسيور كما فى نظام توقيت الشرارة فى محركات السيارات .

بكرات توقيت الشرارة بمحرك السيارة

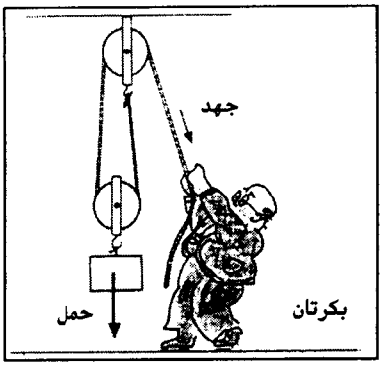
ولا تقتصر فائدة البكرات فقط على نقل الحركة ، وإنما تشتمل أيضاً على رفع الأحمال الثقيلة وحتى البكرة المفردة تفيد فى عكس اتجاه القوة المبذولة فمن الأسهل دائما الشدّ إلى أسفل والاستعانة بوزنك مع الشدّ عن دفع أو رفع أى حمل إلى أعلى

• **نظام البكرتين :**

من الأسهل رفع حمل باستخدام حبل يلتف حول بكرتين ويمكنك أن تلاحظ أن أحد طرفى الحبل يكون مثبتاً بينما يشدّ الرجل الطرف الآخر لرفع البكرة السفلية ولأن هناك بكرتين لرفع الحمل فإن الجهد المطلوب هو تقريبا نصف الحمل . كم يلزم أن يتحرك الجهد لرفع الحمل بمقدار متر واحد الى أعلى ؟

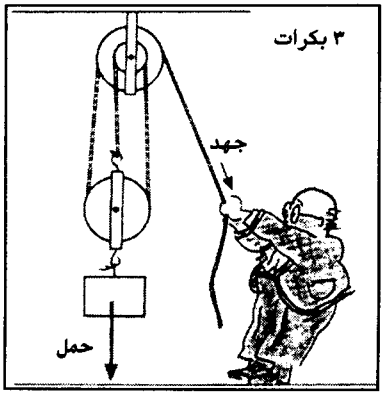
بكرة واحدة

إن البكرة (فى الشكل المقابل) معلقة بواسطة حبلين ، وحتى يرتفع الحمل بمقدار متر واحد لابد أن يقصر طول كل حبل بمقدار « ١ » متر وبالتالى يجب شد الطرف الحرّ لمسافة ٢ متر . وكما هو المبدأ دائماً فإن فى هذه الآلات لابد أن تتحرك القوة الأصغر لمسافة أكبر .



بكرتان

• نظام الثلاث بكرات :



يوضح الشكل كيفية توصيل ثلاث بكرات بحبل متصل لجعل عملية الرفع أسهل وأسهل فهناك بكرتان فى الكتلة والحبل مثبت فى البكرة السفلية (عمليًا تستخدم بكرات متساوية الأقطار إلا إننا نبين واحدة أصغر حتى يتبين أين يدور الحبل) .

ودائما ما تكون كفاءة البكرات اقل من ١٠٠٪ لسببين رئيسيين :

١ ـ الاحتكاك الذى يستهلك جزءًا من الطاقة .

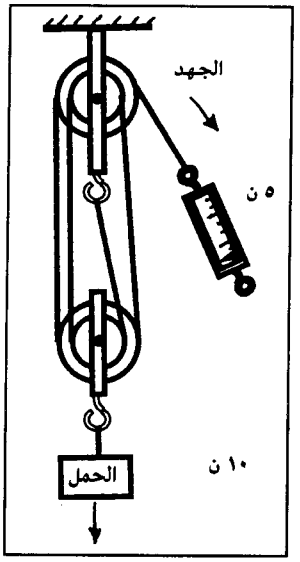
٢ ـ الطاقة المبذولة لرفع البكرة السفلية و الحبل .

ويستخدم نظام البكرات بصفة شائعة فى رفع محركات السيارات عند الإصلاح .

* مثال :

نظام بكرات مكون من أربع بكرات يستخدم لرفع حمل معلوم عند الكتلة السفلية وباستعمال ميزان زنبركى لقياس الجهد المبذول احسب كفاءة هذا النظام .

نفترض أن المراد رفع الحمل لمسافة « ١ » متر رأسياً ، فبناءًا على ذلك يجب أن تقص الأجزاء الأربعة للحبل بمقدار ١ متر لكل منها ، وعليه فإن الحبل ينبغى أن يتحرك بمقدار ٤ م من الطرف الحرّ .



الطاقة المستفادة = الشغل المبذول لرفع الحمل

= الحمل × المسافة الرأسية

= ١٠ ن × ١ متر = ١٠ نيوتن متر

= ١٠ جول

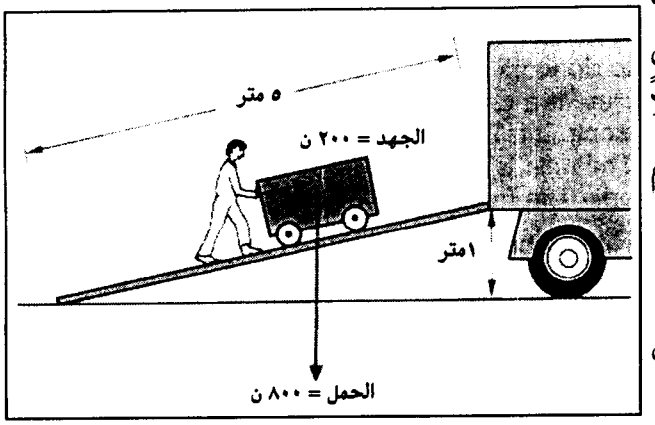
الطاقة الكلية المبذولة = الشغل المبذول بواسطة الجهد

= ٥ ن × ٤ م = ٢٠ نيوتن متر

= ٢٠ جول

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{الطاقة المستفادة}}{\text{الطاقة المبذولة}} = \frac{١٠}{٢٠} = ٥٠ \%$$

• المستوى المائل (المحور) :



الميل أو المنحدر هى أمثلة للمستوى المائل ففى الشكل يدفع الرجل حملاً كبيراً فى عربة باستخدام جهد صغير . وفى مثل هذه الآلات ينبغى أن تمشى تلك القوة الصغيرة لمسافة أطول وهى فى هذا المثال طول الميل كله ، بينما يتحرك الحمل رأسياً مسافة أقصر . يتحرك الرجل ٥ أمتار ويرتفع الحمل ١ مترًا واحدًا .

* مثال :

احسب كفاءة المنحدر فى الشكل المبين

الطاقة المستفادة = الشغل المبذول ضد الجاذبية = الحمل × المسافة الرأسية المرفوعة

= ٨٠٠ × ١ م = ٨٠٠ جول

الطاقة المبذولة = الشغل المبذول من الرجل = الجهد × المسافة التى تحركها الجهد

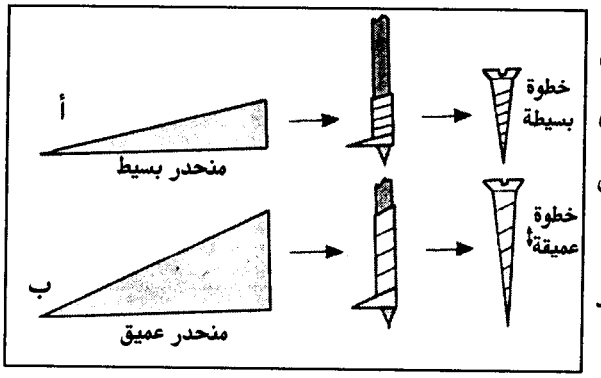
= ٢٠٠ ن × ٥ م = ١٠٠٠ جول

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{الطاقة المستفادة}}{\text{الطاقة المبذولة}} = \frac{٨٠٠}{١٠٠٠} = ٨٠ \%$$

أما كمية الطاقة الباقية وهى ١٠٠٠ – ٨٠٠ = ٢٠٠ جول فهى طاقة مفقودة بسبب الاحتكاك وسوف نتعرض تفصيلاً للطاقة والشغل المبذول فى الوحدة التالية .

أما الآن فلنتقرب أكثر من آلة شائعة هى القلاووظ :

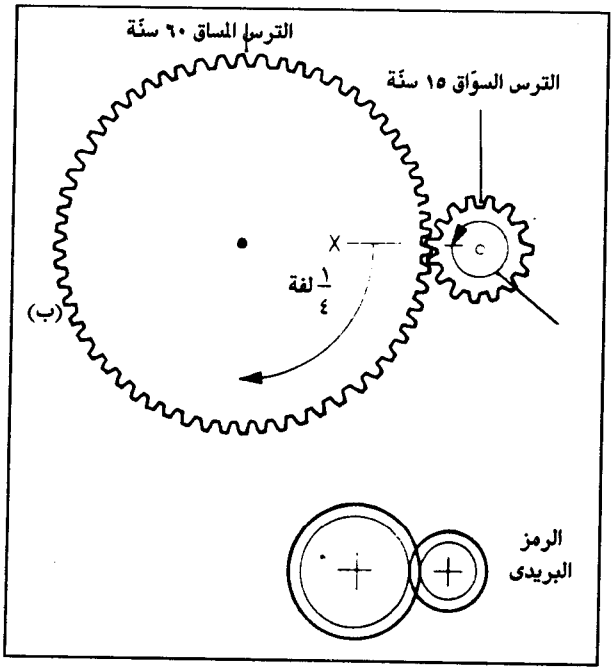
• القلاووظ :



القلاووظ ما هو إلا مستوى مائل ملتف حول المسمار المحوى كما هو مبين ، وكلما زاد ميل المسمار فإن خطوة القلاووظ تكون أكبر (أيهما يحتاج إلى جهد أكبر فى اعتقادك ؟)

والقلاووظ هو طريقة أخرى لتحويل الحركة الدائرية إلى حركة مستقيمة ، فالقلاووظ هو تجويف على سطح قضيب مستدير عند إدارته داخل ثقب مقلوظ أو صامولة يتحرك داخلها فى اتجاه المحور .

• التروس :



التروس تمثل آلة أخرى لنقل الحركة بدون استخدام وصلات نقل (سير أو جنزير .. الخ) فالتروس لديها أسنان تتداخل معًا بطريقة مباشرة ، وهذه الأسنان تتخذ أشكالاً عديدة طبقاً لنوع التروس أو محاور الحركة المنقولة ، فقد تكون متوازية أو متعامدة فى مستوى واحد أو أكثر من مستوى وهكذا .

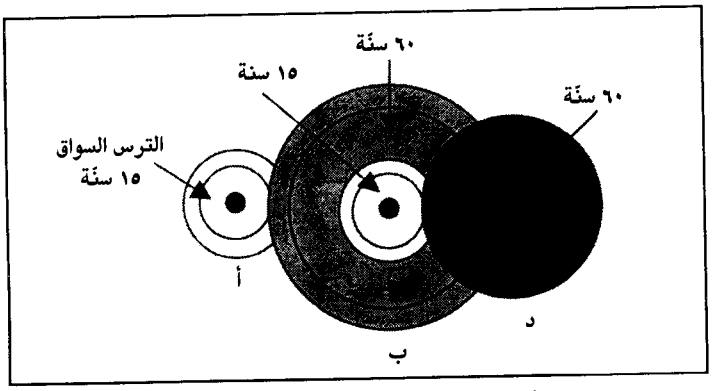
ويوضح الشكل المقابل مجموعة تروس بسيطة حيث الترس « أ » هو السوّاق و « ب » هو المساقة وعندما يدور أ لفة كاملة فإن ١٥ سنة تتحرك بعد العلامة (×) من الترس ب حيث أنه لا انزلاق بين التروس ، وهذا يعادل $\frac{١}{٤}$ لفة . وكما هو الحال فى البكرات فإن نسبة السرعة هنا هى ٤ : ١ وتسمى نسبة التروس وهى تحسب كالآتى :

$$\text{نسبة التروس} = \frac{\text{عدد أسنان الترس المساق}}{\text{عدد أسنان الترس السوّاق}}$$

$$= \frac{٦٠}{١٥} = \frac{٤}{١} \text{ أو } ٤ : ١$$

• مجموعة التروس المركبة :

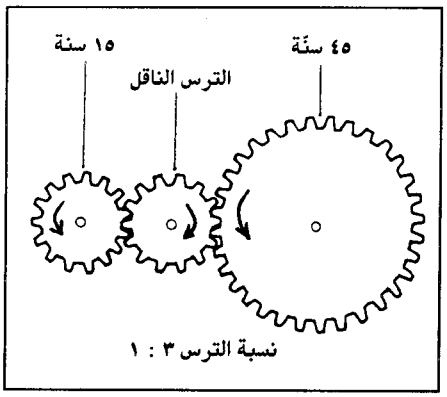
من ناحية أخرى يوضح الشكل التالى مجموعة مركبة من أربعة تروس ، فيهما الترسان ب ، جـ مثبتان على نفس العمود . وعندما يدور الترس أ لفة كاملة يدور ب ربع لفة وكذلك الترس جـ المثبت معه . وبالمثل فإن الترس د يدور ربع لفة إذا دار جـ لفة كاملة وبالتالى فعندما يدور أ لفة كاملة يدور د ربع الربع من اللفة (أى $\frac{١}{١٦}$ لفة) وهكذا فإن نسبة التروس لهذه المجموعة المركبة هى ١٦ : ١ وتحسب من المعادلة الآتية :



$$\text{نسبة التروس} = \frac{\text{عدد أسنان ب}}{\text{عدد أسنان أ}} = \frac{\text{عدد أسنان د}}{\text{عدد أسنان جـ}} =$$

$$= \frac{٦٠}{١٥} \times \frac{٦٠}{١٥} = \frac{٤}{١} \times \frac{٤}{١} = \frac{١٦}{١} \quad \text{أو} \quad ١٦ : ١$$

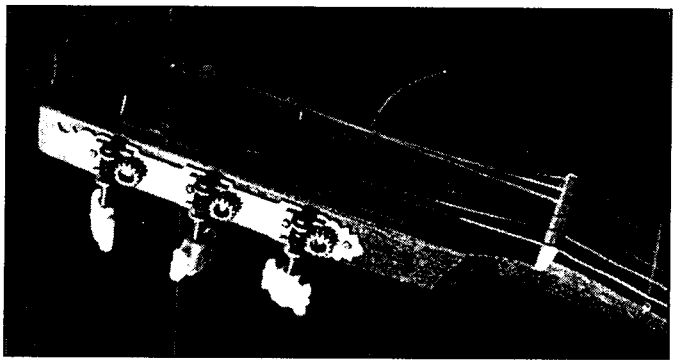
• الترس الناقل :



حينما يتصل ترسان فقط فإن اتجاه الدوران لأحدهما يكون عكس الآخر ، وبإضافة ترس إضافى بينهما (ترس ناقل) يدور الترس السوّاق والمساق فى اتجاه واحد كما يبين الشكل . ومن المهم أن نعرف أن الترس الناقل لا يؤثر على نسبة التروس ولا نسبة السرعة .

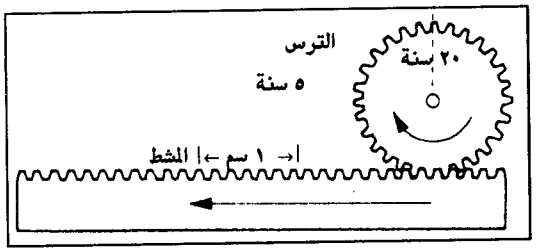
بصفة عامة يتميز نقل الحركة بواسطة التروس بأنه يحتل خيرًا أصغر ولعب (سماح) أقل بين أسنان التروس إلا أنه فى نفس الوقت غالى الثمن .

• مجموعة ترس الدودة :



وتتميز بنقل الحركة بين محاور دوران عمودية وتتكون من ترس الدودة وهو عبارة عن سنّة واحدة فى شكل حلزونى كالقلاووظ ، وعجلة الدورة وتتكون من عدة أسنان . وعند دوران ترس الدودة لفة كاملة تتحرك العجلة سنة واحدة ، وهكذا حتى تدور العجلة لفة كاملة يجب تدوير ترس الدودة عدداً من اللفات يساوى عدد أسنان العجلة (٢٠ لفة فى المثال المبين) ، كذلك فإن نسبة التروس لهذا النظام هى ٢٠ : ١ وحسابها ببساطة يأتى من النسبة بين عدد أسنان عجلة الدودة إلى عدد أسنان ترس الدودة (واحد فى هذه الحالة) . ولما كانت هذه النسبة عالية جدًا فهى قادرة على نقل عزم عال جداً علاوة على العمل بهدوء ونقل الحركة إلى محور متعامد كما يظهر فى الجيتار المبين والذى يمثل أحد تطبيقات هذا النوع من التروس لشدّ الأوتار بقوة بسيطة .

• تحويل الحركة الدائرية إلى حركة مستقيمة :



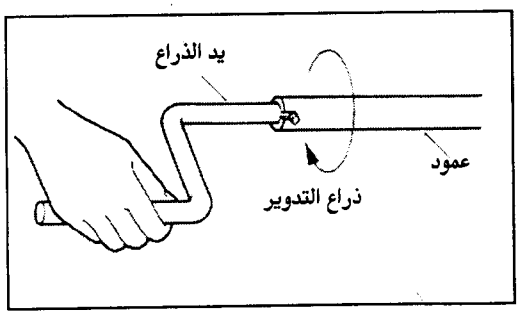
هنـــاك بعـــض المشكـــلات التكنولوجيـة التـى تتطلـب الحركـة فـى خـط مستقيم وهنـا يكـون مـن المناسب اسـتخدام مجموعـة الـترس والمشط المبينة . والمشط عبارة عن ترس مستقيم تتداخل أسنانه مع الترس السوّاق المرافق ، فإذا دار الترس تحـرك المشـط فى حركة مستقيمة ، كذلك فإن العكس صحيح عمليـاً ، بمعنـى أنـه إذا حركنـا المشط فإن الترس يدور حول نفسه . لكن ما هى نسبة السرعة فـى هـذه الحالـة . تعتمد النسبة بين سرعة المشط وسرعة الترس على ثلاثة عوامل هى :

١ ـ سرعة دوران الترس . ٢ ـ عدد أسنان الترس .

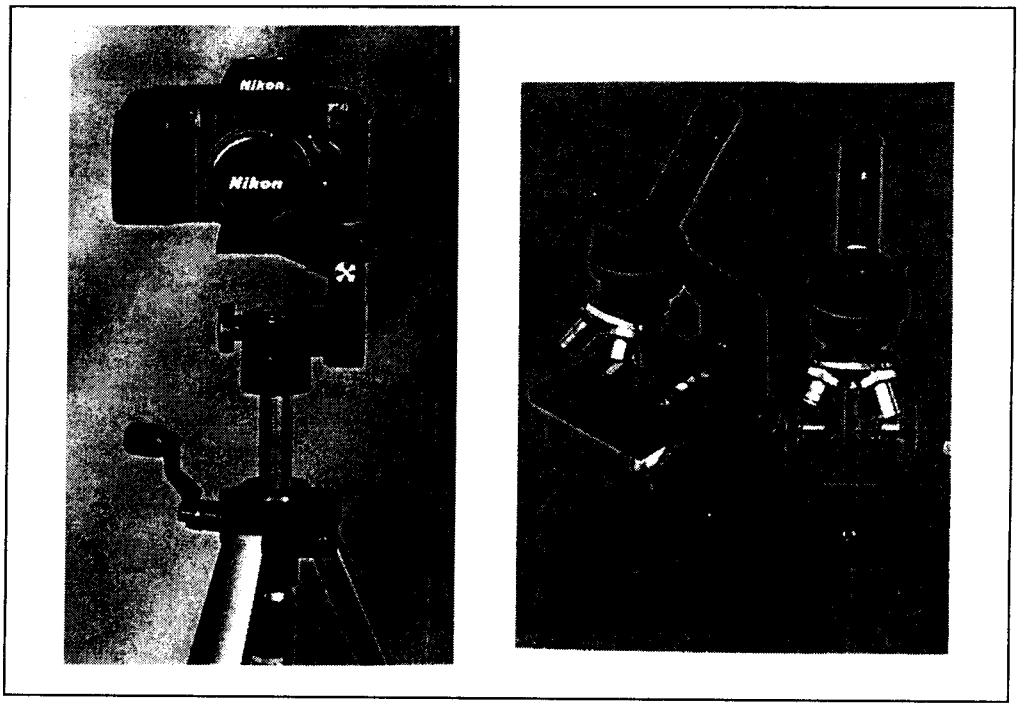
٣ ـ عدد الأسنان فى كل ١ سم من المشط .

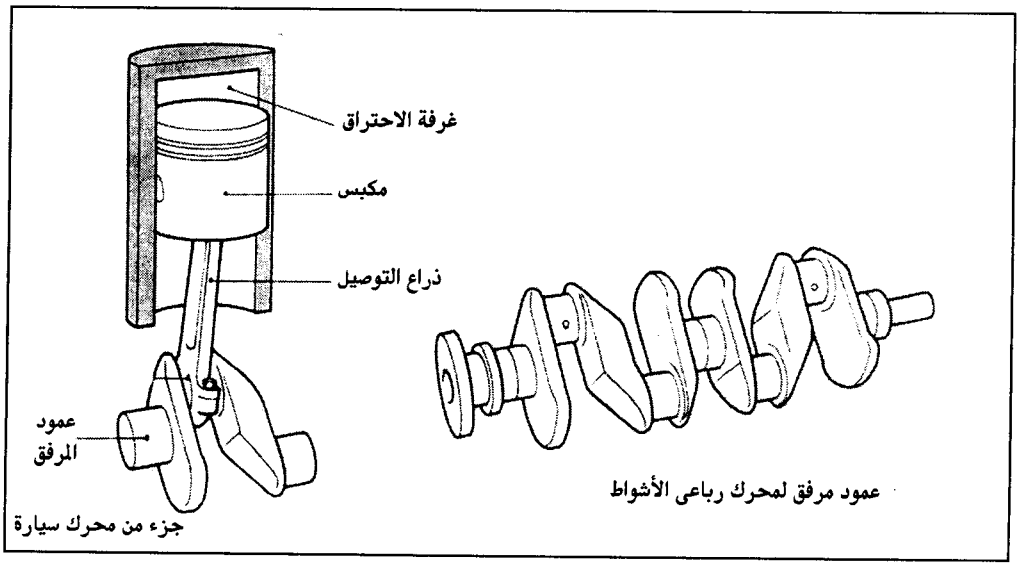
وفى المثال الواضح فإن لفة كاملة للترس تبعًا لـها نفـس عـدد الأسـنان مـن المشط فى حركة مسـتقيمة ، بمعنـى أن دوران الـترس ٢٠ سـنة مـن المشـط ، فإذا كان كل سم من المشط يضم ٥ سنات فإن الحركة المستقيمة للمشط تساوى ٢٠ ÷ ٥ = ٤ سم . وهكذا فإن نسبة السرعة المستقيمة هى ٤ سم لكل لفة من لفات الترس ، فإذا كـانت سـرعة دوران الـترس مثـلاً ١٠ لفـة/د فـإن سـرعة حركة المشط هى ١٠ × ٤ = ٤٠ سم فى الدقيقة . من أشـهر هـذه التطبيقـات الميكروسكوب وحامل الكاميرا (فى الصفحة القادمة).

• ذراع التدوير :



وهو من أشهر الألياف التى يمكـن عن طريقها نقـل الحركـة والعـزم مـن حركة مسـتقيمة وعندمـا يوجـد عـدد منها علـى عمـود واحـد فإنـه يسـمى عمود المرفق وهو الموجود فـى محـرك السيارة .





وتتكون هذه المجموعة فى السيارة من مكبس يتلقى قوة الاحتراق وذراع التوصيل ثم عمود المرفق الموضح . والمكبس فى هذه المجموعة يتحرك ترددياً فى خط رأسى مستقيم ، ويتصل بذراع التوصيل الذى يتصل بدوره بعمود المرفق . فإذا تحرك المكبس جيئة وذهاباً فى حركة مستقيمة فإن المرفق يدور لفة كاملة .

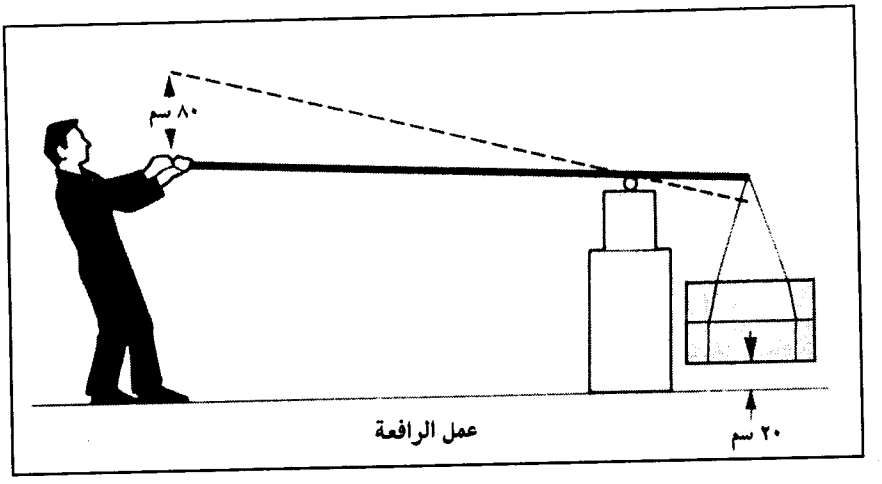
والعكس صحيح تماماً فهناك بعض الآليات يدور فيها المرفق فيتحرك المنزلق فى خط مستقيم . ويعتمد مشوار المكبس على طول المرفق الذى إذا دار لفة كاملة يتحرك المكبس مشواراً يساوى ضعف طول هذا المرفق .

• الروافع والوصلات :

الرافعة البسيطة هى قضيب صلب يرتكز على نقطة تسمى محور الارتكاز ، وفائدة الرافعة هى تحويل حركة وقوة إلى حركة وقوة أخرى مطلوبة . مثلاً فإن المفك يستخدم كرافعة عند فتح علبة الطلاء ، والقوة المدخلة تسمى الجهد أما القوة المخرجة فتسمى الحمل . وهناك العديد من الأدوات يحتوى على نظام الروافع بطريقة غير مرئية ، وكلها يشتمل على عناصر الرافعة الثلاثة ، وهى الجهد والحمل ومحور الارتكاز ، ولتقييم نسبة السرعة فى الروافع سنتناول المثال التالى وفيه يحاول نبيل تحريك حمل لمسافة ٢٠ سم ببذل جهد لمسافة ٨٠ سم ، والنسبة بين المسافتين المقطوعتين بواسطة الجهد والحمل تسمى نسبة السرعة :

$$\text{نسبة السرعة} = \frac{\text{المسافة التى يقطعها الجهد}}{\text{المسافة التى يقطعها الحمل}} = \frac{٨٠}{٢٠} = ٤ : ١$$

وكلما كانت النسبة كبيرة أمكننا رفع حمل أكبر بنفس المجهود . وطبقاً لهذه القاعدة فإن نبيل يمكنه رفع حمل قدره ١٢٠٠ نيوتن باستخدام جهد يساوى ٣٠٠ نيوتن فقط .



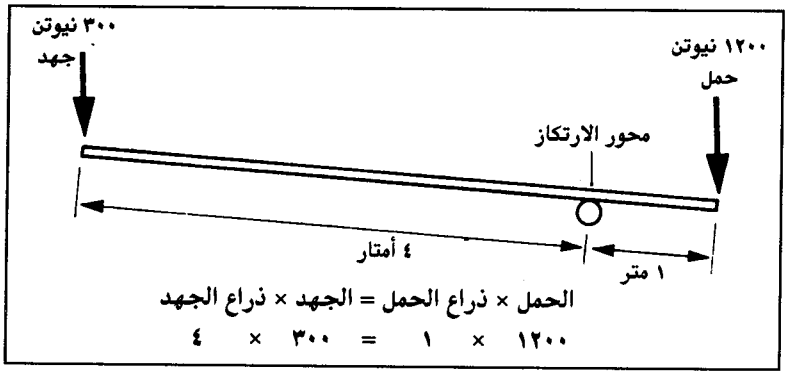
عمل الرافعة

وهندسياً نقول إن الفائدة الميكانيكية لـهذه الرافعة هى ٤ وتحسب كالآتى :

$$\text{الفائدة الميكانيكية} = \frac{\text{الحمل}}{\text{الجهد}} = \frac{١٢٠٠}{٣٠٠} = ٤$$

• العـزوم :

نستطيع أن نفسر الفائدة الميكانكية المكتسـبة بـين الرافعـة باسـتخدام نظريـة العزوم فعندنا نؤثر بقوة على رافعة فإنها تتحرك حول محور ارتكازهـا ، ويسـمى أثر الدوران هذا بالعزم الذى يعتمد على مقدار القـوة والمسـافة بينـها وبـين محـور الارتكاز وهذه تسمى بذراع القوة .



∴ العزم = القوة × ذراع القوة

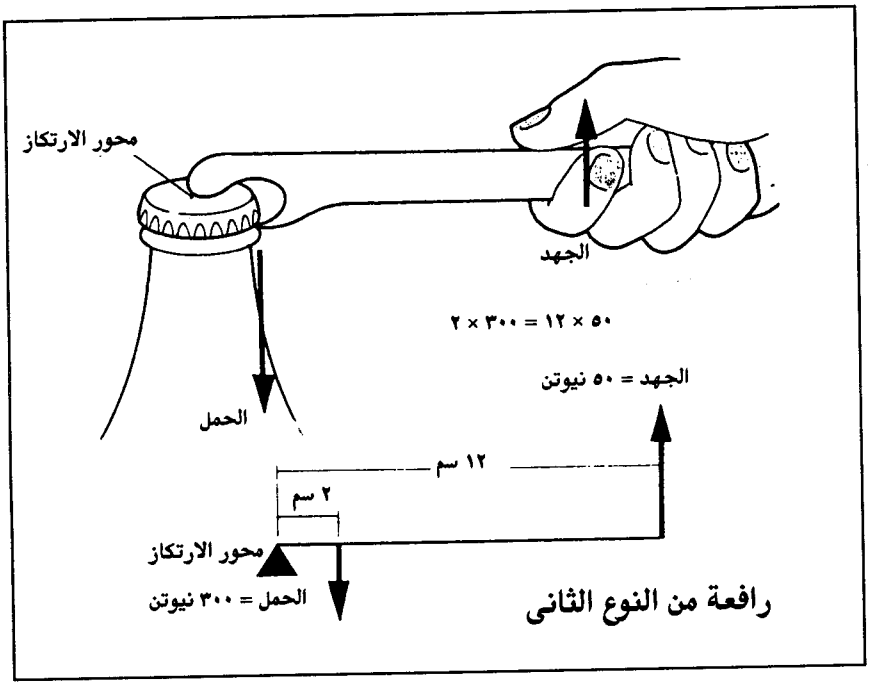
وعندما تكون الرافعة فى حالة اتزان ، بمعنى أن أثر قوة الجهد يعادل أثر قوة الحمل فإن العزوم عن يمين ويسار محور الارتكاز تكون متساوية بمعنى أن

الجهد × ذراع الجهد = الحمل × ذراع الحمل

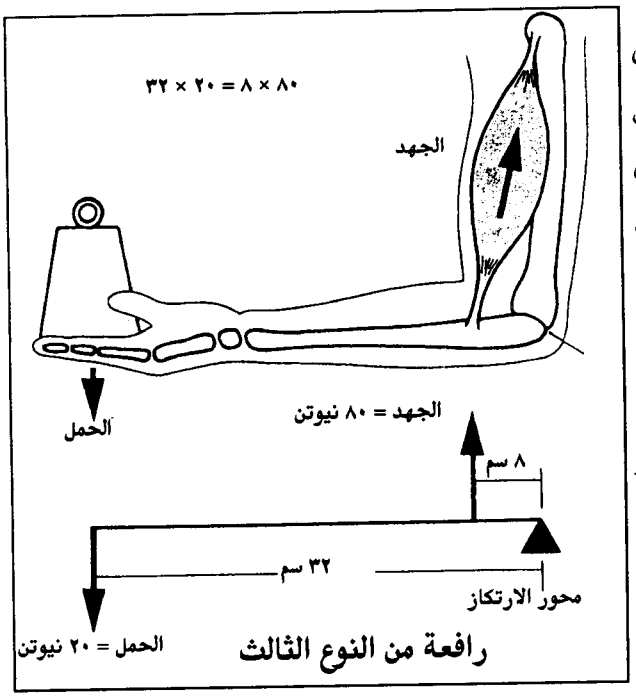
• أنواع الروافع :

هناك ثلاثة أنواع من الروافـع طبقـاً لـترتيب ووضـع الجـهد والحمـل ومحـور الارتكاز :

فالرافعة من النوع الأول (كما فى الشكل السابق) تتميز بـأن محـور الارتكـاز يقع بين الجهد والحمل ، أما الرافعة من النوع الثانى فتتميز بوقوع الحمـل بـين الجهد ومحور الارتكاز كما فى حالة فتاحة الزجاجة .



وحتى تزيد من الفائدة الميكانيكية ينبغى أن يكون الحمل أقرب ما يمكن إلى محور الارتكاز ومع ذلك فإن هذا يأتى على حساب ابتعاد الجهد عن المحور .



وتمثل ذراع الإنسان رافعة من النوع الثالث وفيها يقع الجهد بين الحمل ومحور الارتكاز ، وهى لا تتميز بأى فائدة ميكانيكية حيث أن الجهد دائماً أكبر من الحمل ، ومع ذلك فإن المسافة التى يتحركها الحمل أكبر من المسافة التى يتحركها الجهد ، وهذا هو التطبيق الوحيد الذى يتطلب رافعة من النوع الثالث .

اختبر معلوماتك

(١) اختر الإجابة الصحيحة مما يأتى :

(١) المقاومة التى تعاكس حركة سطح على آخر تسمى :

أ ــ الخشونة　　ب ــ رد الفعل العمودى

جـ ـ السحب　　د ـ الاحتكاك

(٢) التداخل والقص المستمر لنتوءات الأسطح غير المزِّيتة ينتج عنه :

أ ـ التآكل　　ب ـ تواؤم أفضل

جـ ـ عدم الاحتياج إلى مشحم　　د ـ كراسى تعيش أطول

(٣) الاحتكاك غير المرغوب بين

أ ـ نعل الحذاء والرصيف　　ب ــ العجلة ومحور الدراجة

جـ ـ إطار الدراجة والطريق　　د ـ السير والبكرة

(٤) نحتاج إلى ١٢,٥ نيوتن لبدء تحريك كتلة معدنية وزنها ٥٠ نيوتن على سطح ، معامل الاحتكاك هو :

أ ــ ٠,٢٥　　ب ـ ٤,٠

جـ ـ ٠,٢٥ نيوتن　　د ــ ٤,٠ نيوتن

(٥) القوة اللازمة لبدء تحريك ماكينة كتلتها ١ طن على سطح من الأسمنت هى ٥,٨٨٦ كيلو نيوتن باعتبار حـ = ٩,٨١ م/ث^{٢} فإن معامل الاحتكاك هو :

أ ـ ٠,١٦　　ب ـ ٠,٦

جـ ـ ٠,١٦ كيلو نيوتن　　د ـ ٠,٦ كيلو نيوتن

(٦) مقارنة بقوة مؤثرة فإن رد الفعل يكون :

أ ـ دائماً أقل　　ب ـ دائماً أكبر .

جـ ـ مساوٍ أو أصغر من القوة المؤثرة

د ـ مساوٍ أو أكبر من القوة المؤثرة

(٧) يستعمل مشحم للإقلال من الاحتكاك بين سطحين عن طريق :

أ ـ فصل السطحين عند الحركة فلا تتداخل النتوءات

ب ـ تنعيم السطحين عن طريق التفاعل الكيميائى

جـ ـ تصليد السطحين عن طريق التفاعل الكيميائى

د ـ صقل السطحين المتلامسين .

(٨) عندما يسخن الكرسى عند الاستعمال فإن الزيت المستخدم :

أ ـ يصبح أكثر غلظة ب ـ يظل كما هو

جـ ـ يصبح أخف د ـ يتحول إلى شحم

(٩) فى الكرسى الدوار المثالى :

أ ـ يحدث بعض الانزلاق

ب ـ دائماً ما نحتاج إلى تزييت

جـ ـ هناك بعض التشكل عند نقطة التلامس لمقاومة الحمل

د ـ لا يحدث انزلاق

(١٠) الكراسى الدوارة تستخدم للسبب الآتى :

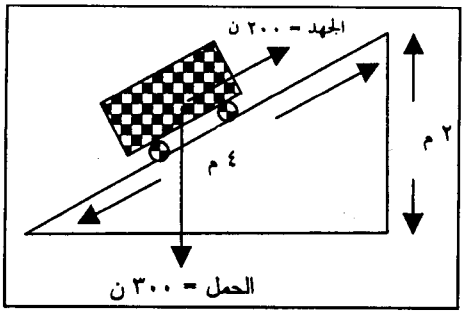
أ ـ الاحتكاك أقل فى الكراسى المسطحة .

ب ـ الاحتكاك أكبر منه فى الكراسى المسطحة

جـ ـ الاحتكاك هو نفسه كما فى الكراسى المسطحة

د ـ تكلفته أقل من الكراسى المسطحة

(١١) عربة يتم سحبها أعلى منحدر كما هو مبين. احسب :



أ ـ الشغل المبذول من الحمل
(الطاقة المستفادة)

ب ـ الشغل المبذول من الجهد
(الطاقة المبذولة)

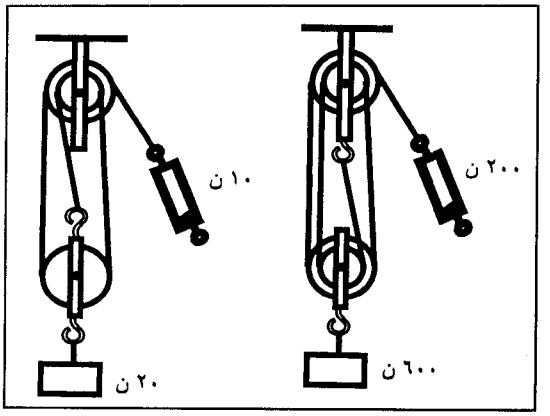
جـ ـ كفاءة الآلة .

(١٢) لكل من نظام البكرات المبين احسب :

أ ـ الشغل المبذول لرفع الحمل إلى أعلى ١ متر

ب ـ الشغل المبذول من الجهد .

جـ ـ النسبة المئوية لكفاءة النظام

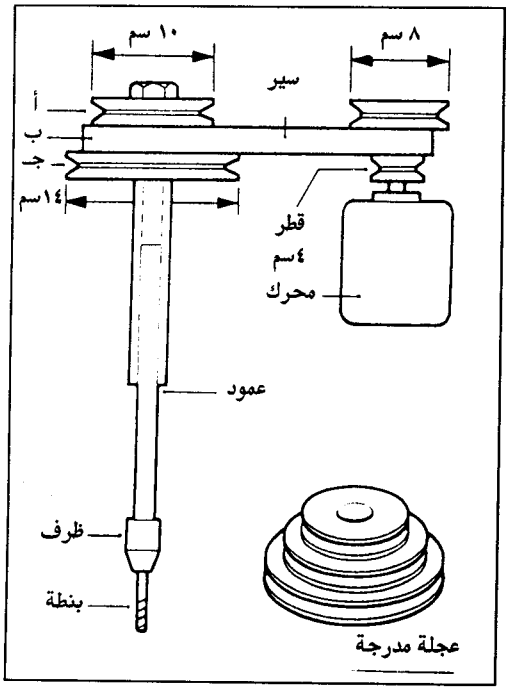


(١٣) الشكل المقابل يبين نظام البكرات متعدد السرعات لمثقاب تازجة ، وبتغيير وضع السير نستطيع الحصول على ثلاث سرعات مختلفة للمثقاب .

أ ـ فى أى وضع يجب تعشيق السير للحصول على أكبر سرعة ؟

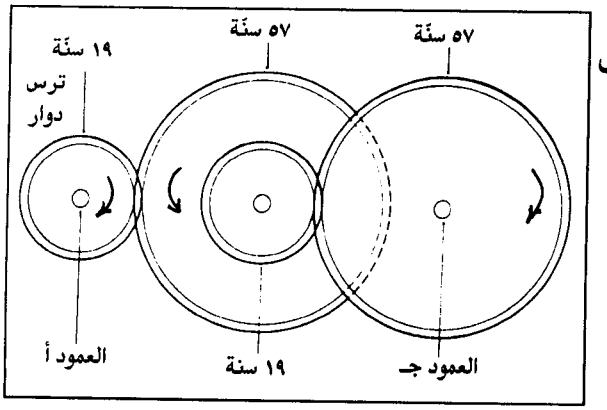
ب ـ اذا كان عمود المحرك يدور بسرعة ١٤٠٠ لفة / د فما هى أكبر سرعة للمثقاب ؟

جـ ـ ما هى أبطأ سرعة للمثقاب ؟

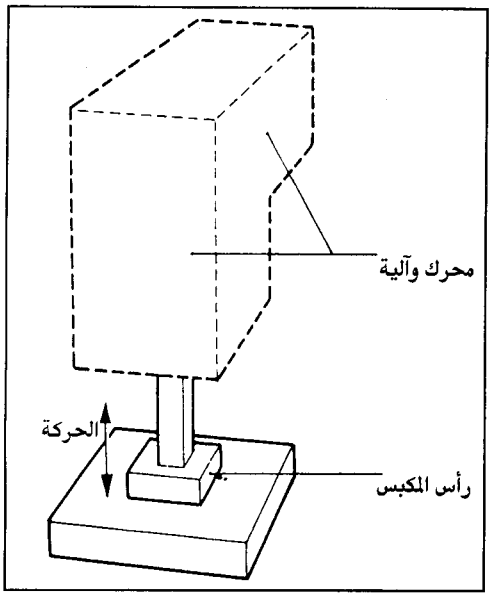


(١٤) ما هى نسبة التروس فى هذا النظام ؟

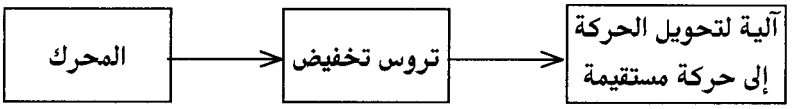
إذا دار العمود أ بسرعة ٣٦ لفة / د فما هى سرعة العمود جـ ؟



(١٥) صمّم آلية لمكبس بسيط يدور من محرك عدد لفاته ١٢٠ لفة/د . يجب أن تتحرك رأس المكبس إلى أعلى وأسفل باستمرار وتقطع مشوارين فى الدقيقة بحيث يكون عمق النزول والصعود ٣ سم .

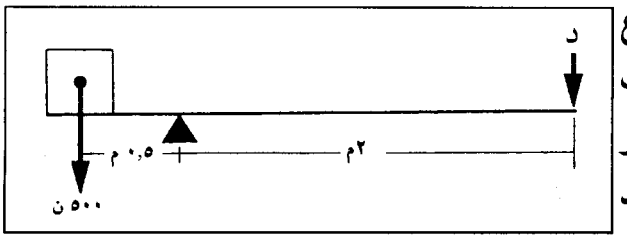


(استخدم الرسم التوضيحى التالى)

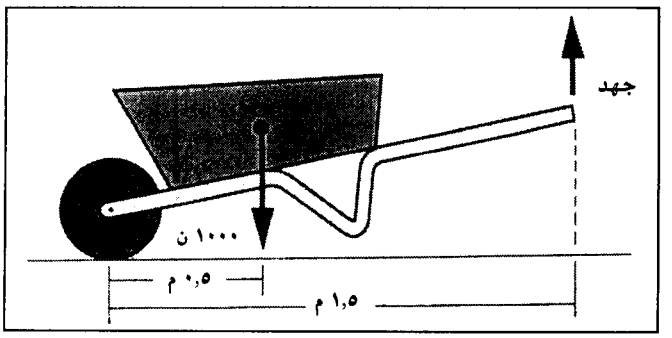


(١٦) احسب مقدار القوة د اللازمة لاتزان الرافعة .

وإذا كان الذراع الطويل للرافعة أطول بمقدار ٠,٥ متر فاحسب مقدار القوة د الجديدة .



(١٧) ما نوع الرافعة الممثلة بعربة اليد المبينة ؟ ما مقدار الجهد المطلوب لرفع هذه العربة ؟



(١٨) بين أنواع الروافع التالية بكتابة ١ ، ٢ ، ٣