مختصر الآلات الثقيلة

الطبعة الثالثة

محمد عبد الله الحسن العلي

مختصر الآلات الثقيلة (الجزء الثاني)

الطبعة الثالثة

كلية الهندسة التقنية بطرطوس

إعداد محمد عبد الله الحسن العلي

المقدمة

نتيجة للتطوير الذي أكرمنا الله به ، قمت بتحديث هذا المختصر ليأخذ هذه الحلة الجديدة ، مستنداً إلى المعايير العالمية في التأليف ، و لا سيما تلك المصادر الهندسية ذات الوزن العالمي المرموق التي وقعت بين يدي ، فعمدت إلى تغيير حجم الصفحة ، و تصغير الخط (حيث بعض الأشخاص تحفظ من صغر الخط و هذا حقهم لأنهم لم يعتادوا على ذلك ، لكن أتمنى منهم أن يعودوا إلى المراجع الأجنبية ليجدوا أنني لم أتخذ منحاً جديداً بل سرت على نهجم لأن جوهر التأليف يكمن في المضمون) ، مع تغيير نمط الخط ، و اعتماد مبدأ العمودين في الصفحة ، و بعض الميزات التي تعطي هذا المختصر الجمال و البهاء .

و أخيراً و ليس آخراً ، و بعد تفكيرٍ طويل و إلحاحٍ من بعض الزملاء لا يمكن وصفه إلا بالجميل . أقدّم بخبرتي المتواضعة هذه الوريقات إلى الطلبة الأعزاء بطريقةٍ جديدةٍ رائعة تجمع ما بين التأصيل العلمي و المنهج الهندسي . و بأسلوبٍ سهلٍ رقراق يعتمد على دقة المعلومة و النقل الصحيح و التلخيص السليم . و الأصعب من هذا كله هو توفيقي بالاقتباس في وسط زخم هذه المعلومات التي تجعل الدارس يتيه في بحر الشكوك و الالتباس . ثم وضع العناوين ، و تبويب الأفكار ، و تقسيم الفقرات إلى بنودٍ وتعدادات ، بطريقةٍ عذبةٍ جميلة ، تساعد على حفظ المعلومات بسهولةٍ و ثبات .

و أحب أن أنوّه الأخوة الطلبة بالرجوع إلى المرجع الأساسي ألا و هو نوطة المقرّر و محاضرات الأستاذ المحاضر .

حيث أن الهدف من " مختصر آلات ثقيلة (2) " ليس كما يفهم بعض الطلبة هو تقزيم و تصغير المقرّر و إنما هو عملية تسهيل الحفظ بالدرجة الأولى و هذا من البداهة بمكان .

و أتمنى من كل الطلبة أن يتطلعوا إلى الدرجات العُلى و المراتب الأولى و هذا حق مشروع للجميع و ليس حكراً على أحد ، و أعلم عزيزي الطالب أنّ جهدك الذاتي و نشاطك الفكري هو الركيزة الأساسية في نجاحك و تفوّقك ، فاحرص على بذل ما تستطيعه ، و تعاون مع مدرّسيك لتبلغ مُرادك .

كما أرجو من الأخوة الطلبة المتفوقين أو المتميزين عند دراستهم للمقرر الأساسي و رأوا أنّ هناك فقرات مهمة لا يحتويها هذا " المختصر " و لابّد من تدوينها فيه ، أو أنّ بعض الفقرات تحتاج إلى تصويب و تعديل ، بإهدائنا هذه الملاحظات لكي نتعاون يداً بيد لنُقدّم لطلبتنا الأعزاء في الطبعات القادمة ما يسهّل و يبسّط عليهم المقرّر الأساسي و يختصر لهم الوقت ، و الهدف من هذا كله أولاً و آخراً هو الارتقاء بكلية الهندسة التقنية بطرطوس التي ولدت في بداية الألفية الثالثة لكي تكون لها مكانةً محفوظةً و مرتبةً عاليةً بين أمّ الكلّيات التي نشأت في خمسينات القرن الماضي كأخواتها في حلب و الشام و اللاذقية و حمص و سائر محافظات بلدنا الحبيب ، و لكي نقول للجميع نحن قادمون و من أرض طرطوس منطلقون فانتظرونا و لا تعجلوا علينا .

سائلاً الله لكل الطلبة السداد و هو ولي التوفيق

و في النهاية أحبّ أن أتوجه بكلمة عطرة إلى الدكتور الكبير موسى المحمد الذي لا يمكن للوصف أن يعطيه حقه ، أو للكلمات أن تعبر عمّا يدور في ذهني ، أو للسان أن ينطق بخصاله الرائعة أو أوصافه المميزة . لكن أوجز و أقول : تتلمذنا على يديه ، و نهلنا من بحره ، غرس فينا حب هذا العلم ، و سقانا بحلم العمل ، فعشنا معه أجمل الدروس ، رغم الفترة الوجيزة التي درسّنا فيها . و نَعِدُ هذا البحر الوافر و كل أساتذتنا الكرام بأن نكون عند حسن ظنهم ، و سنكون القطفة التي ينتظرها البلد و ينشدها الوطن .

و أودّ أن ألفت النظر إلى المدرّسة الفاضلة ذات العقل الراجح و النبع الوافر و الخلق الرفيع و التعامل السامي ، و الشكر يتجدد للمهندسة رشا حمصية .

و أخيراً عند عدم وضوح أية فقرة أو للاستفسار أو لمزيد من المعلومات يمكن مراجعتي و دون تردد .

بقلم محمد عبد الله الحاج جاسم الحسن العلي

الفهرس

الفصل الأول : أجهزة مسير الآليات

1.1 مقدمة 1

2.1 أجهزة المسير على عجلات 1

1.2.1 خصائص الإطارات 1

2.2.1 خصائص تعليقة الآليات على عجلات 2

3.1 أجهزة المسير على سلاسل 3

1.3.1 جهاز الدفع بسلاسل و أجزاؤه 4

2.3.1 تعليقة الآليات على سلاسل 5

الفصل الثاني : الدارات الهيدروليكية

1.2 مقدمة 7

2.2 المضخات و المحركات الهيدروليكية الحجمية 7

1.2.2 المضخات و المحركات الهيدروليكية المسننية 8

2.2.2 المضخات و المحركات الهيدروليكية المروحية 8

3.2.2 المضخات و المحركات الهيدروليكية المكبسية المحورية 9

4.2.2 المضخات و المحركات الهيدروليكية المكبسية القطرية 10

5.2.2 الأسطوانات الهيدروليكية 10

3.2 الخصائص البيانية للمضخات و المحركات الهيدروليكية 11

1.3.2 حالات عمل المحرك الهيدروليكي المشترك مع المضخة 12

4.2 أجزاء الدارات الهيدروليكية و عناصرها 12

5.2 أنواع الدارات الهيدروليكية العاملة في آليات الطرق 12

6.2 أنظمة القيادة و التحكم الهيدروليكية 13

الفصل الثالث : أسس حساب شد الآليات

1.3 قوة دفع جهاز (الشد) المسير 14

2.3 مقاومة التدحرج 15

3.3 تماسك العجلات و السلاسل و انزلاقها على سطح التربة 15

4.3 خاصية شد جهاز المسير 15

5.3 التوازن الدفعي في الآليات 16

6.3 تحديد ردود الفعل الناظمية على العجلات أو السلاسل 17

7.3 خصائص الشد و السرعة للآليات 18

8.3 رسم خصائص الشد و السرعة للآليات 18

الفصل الرابع : ملحق الرسوم البيانية

1.4 مخططات تصميمية للتعليقة في الآليات على عجلات 19

2.4 مخططات قوة الدفع أو الشد للعجلات و السلاسل 19

3.4 مخططات حركة العجلة مع القوى المؤثرة لأنظمة عملها المختلفة 19

4.4 رموز بعض تجهيزات الدارات الهيدروليكية و عناصرها حسب النظام الأوربي 20

الفصل

1

أجهزة مسير الآليات

1.1 مقدمة

المهام الأساسية لأجهزة المسير :

1. تأمين تماسك جيد بين العجلات أو السلاسل و سطح الطريق أو التربة للحصول على خصائص شد و سرعة جيدة و بمردود عالٍ لمجمل ظروف عمل الآلية .
2. مقاومة تأثير مختلف القوى الناتجة خلال عمل الآلية و مناورتها و مسيرها .
3. تحقيق مرورية عالية لمسير الآلية في ظروف ا لطرق المتنوعة (كالطرق الوعرة و الصعبة أو الطرق ذات التربة الرخوة و غير المتماسكة و الرطبة أو الطرق المعبّدة الجيدة) .

أشكال أجهزة المسير :

1. أجهزة المسير على عجلات مرنة (مطّاطية) .
2. أجهزة المسير على سلاسل .
3. أجهزة المسير على عجلات فولاذية أسطوانية و هي خاصة بآليات رص التربة (المداحل) .

2.1 أجهزة المسير على عجلات

أجهزة المسير على عجلات :

☜ **تتألف من :** تتألف من مجموعة العجلات مع المحاور و التعليقة بالإضافة إلى ميكانيزم المسير .

☜ **آلية عملها :** تتلقى المحاور عبر نظام تعليق معين كافة الحمولات و القوى المختلفة من طرف الشاسي الحاملة لمجموعات الآلية، و تنتقل هذه الحمولات بواسطة العجلات إلى سطح الطريق أو مكان العمل و بالعكس .

☜ **الشروط الواجب توافرها فيها :**

1. تأمين تماسك موثوق مع الطريق و بمردود عالٍ خلال تدحرج العجلات .
2. تخفيف قوى الصدم الناتجة من رد فعل الطريق أو مكان العمل .
3. تحقيق مسير انسيابي للآلية .

☜ **أسباب انتشارها :**

1. إمكانيتها في تحقيق سرعات عالية ، و التي تتراوح لنظام النقل ($20 - 80\ km/h$) و لنظام العمل ($2 - 16\ km/h$) .
2. أجزاؤها لا تتعرض للاهتراء الكبير كما في السلاسل سريعة الاهتراء .
3. يمكن استخدامها حالياً للآليات التي يبلغ وزنها حتى ($160\ ton$) .

☜ **نواقصها :** ذات إمكانيات أقل في الشد بالمقارنة مع الآليات المسيرة على سلاسل .

1.2.1 خصائص الإطارات

ملاحظات :

✍ إنّ أهمّية كبيرة تولى في تصميم عجلات الآلية لأنه يتعلّق بها مؤشرات كثيرة مثل خصائص الشد و السرعة و الخصائص الديناميكية و المرورية و الاستقرار و الاقتصادية و غيرها .

✍ تستخدم في الوقت الحالي إطارات عريضة بضغط هواء منخفض جداً قابل للتعيير خلال مراحل عمل الآلية حسب المطلوب لأنها تستطيع تحمل قوى قطرية عالية جداً و لا تؤثر في التربة بضغط نوعي كبير .

✍ معظم الإطارات المستخدمة حالياً هي من النوع الذي لا يحتاج إلى إطار داخلي (توبلس) .

✍ تعمل الإطارات عموماً بضغط منخفض ($0,15 - 0,25\ MPa$) و بضغط متوسط ($0,3 - 0,4\ MPa$) و بضغط عالٍ ($0,45 - 0,55\ MPa$) .

✍ تعمل الإطارات عادة لفترة خدمة لا تقل عن ($4500 - 5000$) ساعة عمل أي ما يقابل ($60\ 000 - 80\ 000\ km$) كمسافة مقطوعة و ذلك حين العمل في ظروف وسطية ، و تنخفض هذه الفترة إلى ($2500 - 3000$) ساعة عمل أي ما يقابل ($30\ 000 - 40\ 000\ km$) كمسافة مقطوعة و ذلك حين العمل في ظروف قاسية و في تربة صخرية .

بنية الإطار

1. **الحزام :** الذي يوجد بداخله سلك أو أكثر لإحكام جسم الإطار ضمن طنبور العجلة أو الدولاب .
2. **الجدار الجانبي :** الذي يكون مدعّماً و يقاوم إجهادات الانحناء الناتجة من تشوه الإطار خلال العمل .
3. **الهيكل :**

☜ وظيفته : يعطي الجساءة و الصلابة و شكل المقطع للإطار .

☜ يتكون من : يتكون من طبقات نسيجية متينة و يكون أحياناً مسلّحاً بأسلاك فولاذية رفيعة .

☜ توضّعه :

- يتوضع إمّا طولانياً على كامل المحيط الدائري للإطار و يكون في هذه الحالة من النوع العرضي الذي يؤمن جدراناً جانبية متينة .
- أو يتوضع قطرياً ليأخذ شكل الإطار و يمسك بالحزام من كل طرف و يكون في هذه الحالة من النوع القطري الذي يتميّز بمواصفات جيّدة لأنه :
  - ☑ يؤمن سطحاً تماسياً كبيراً و عامل تماسك أعلى و مقاومة تدحرج أقل .
  - ☑ يؤمن خدمة أطول للإطار .

  لكن ارتكازه على سطح الأرض يكون قاسياً غير مرن .

4. **طبقات المتانة** : التي يوجد بداخلها أسلاك مرنة تتلقى الحمولة الأساسية في الإطار .
5. **طبقة ما تحت المداس** : التي يتلقّاها الإطار و تحمي الهيكل من التشوه .
6. **المداس** : الذي يكون على تماس مباشر مع سطح التربة أو الطريق ، و يحتوي على أخاديد بأشكال متعدّدة حسب ظروف استخدام الإطار .

أمثلة على قياس الإطار :

25 R 18,00

هذا يعني أنّ :

- عرض الإطار (18 *inch*) .
- و الإطار من النوع القطري .
- و قطر الجنط (25 *inch*) .

25 R 25/65

هذا يعني أنّ :

- عرض الإطار (25 *inch*) .
- و ارتفاع الجدار (65 %) من العرض أي (16 *inch*) .
- و الإطار من النوع القطري .
- و قطر الجنط (25 *inch*) .

25/16 – 18,00

هذا يعني أنّ :

- عرض الإطار (18 *inch*) .
- و الإطار من النوع العرضي .
- و قطر الجنط (25 *inch*) .
- و الرقم 16 يعبّر عن معدّل متانة الإطار و مقدار تحميله .

المواصفات التي يتميز بها مداس الإطار :

1. عمق الأخاديد الموجودة على سطحه .
2. سماكة المداس ذاته .
3. شكل الأخاديد عليه .

العوامل التي يتعلق بها الإطار الخارجي :

1. نوع العمل (للسرعات العالية أم السرعات البطيئة مع قوى دفع كبيرة) .
2. ظروف سطح الترية (للتربة الرملية أو الصلبة أو الرخوة أو الرطبة أو الصخرية أو للطرق المعبدة) .

ملاحظات :

- ✍ وجود الأخاديد على سطح المداس يؤمن قوى تماسك كبيرة لآليات الأعمال الترابية .
- ✍ سماكة المداس الكبيرة تحقق مقاومة اهتراء جيدة لظروف التربة الصخرية .
- ✍ تستخدم الإطارات قليلة الأخاديد في الطرق المعبدة للسرعات العالية لأن مقاومتها للتدحرج قليلة .

العوامل التي تحدد اختيار الإطار :

1. نظام العمل الأساسي للآلية الذي تعمل بموجبه الآلية المدة العظمى من العمل .
2. الحمولة القائمة على الإطار لتحديد قياسه و متانته المطلوبة و السرعة القصوى للعمل .

2.2.1 خصائص تعليقة الآليات على عجلات

تعريف التعليقة :

هي مجموعة من العناصر و العقد التي تربط الشاسي بالعجلات و المحاور ، و هي تقسم الآلية إلى قسمين :

- المحاور و العجلات المرتكزة على الأرض الصلبة .
- و الشاسي و مجموعاتها المرتكزة على التعليقة المرنة .

مهام التعليقة :

1. امتصاص قدرة الصدم عن طريق التشوه المرن لعناصر التعليقة .
2. نقل قوى الدفع و الفتل .
3. إخماد الاهتزازات و تحديد تأثيرها في الحدود المسموح بها .

العناصر الأساسية للتعليقة :

1. عناصر مرنة تتلقى القوى الديناميكية من العجلات و المحاور و تحولها إلى قوى اهتزازية انسيابية تنقلها إلى كتلة الشاسي .
2. عناصر موجهة تحدّد اتجاه الإزاحة النسبية للعجلات و تحرر العناصر المرنة من نقل القوى الطولانية أو العرضانية .
3. مخمّدات مخصّصة لإخماد الاهتزازات الناتجة عن العناصر المرنة للتعليقة و تخفيف سرعة الإزاحة الشاقولية للعجلات و تحديدها .

أشكال التعليقة في الآليات :

1. تعليقة مرنة .
2. تعليقة قاسية .

أشكال التعليقة المرنة حسب المخطط الكينيماتيكي لوصل العجلات مع بعضها و مع الشاسي :

1. تعليقة غير مستقلة حيث تكون فيها العجلات متصلة مع بعضها البعض بواسطة وصلة طولانية (و تسمى توازنية غير مستقلة) إضافة إلى وجود اتصال

مع الشاسي بواسطة عناصر مرنة و موجهة ، و تستخدم هذه التعليقة في آليات التسوية خاصةً .

2. تعليقة غير مستقلة حيث تكون فيها العجلات متصلة مع بعضها البعض بواسطة المحور" الجسر " (و تسمى محورية غير مستقلة) إضافة إلى وجود اتصال مع الشاسي بواسطة عناصر مرنة و موجهة أيضاً ، و تستخدم هذه التعليقة في معظم آليات الطرق تقريباً .
3. تعليقة مستقلة بدون أذرع (على شكل شمعة) حيث تكون فيها إزاحة العجلة في الاتجاه الذي يسمح به العنصر الموجه فيها .
4. تعليقة مستقلة بذراع أو بذراعين أو بعدّة أذرع حيث تكون فيها إزاحة العجلة حسب توضّع الأذرع و أبعادها و الوصل فيما بينها ، و نميز حالتين هما :

أ. عند الوصل العرضاني للعجلة : يتحرك محور العجلة في المستوي العرضاني مما يؤدي إلى ميلانها و تغير البعد بين العجلات على المحور الواحد كما تتغير حركة عجلات القيادة عند الانعطاف لذلك فهي تستعمل في الغالب للعجلات الخلفية .

ب. أما عند وصل الأذرع طولانياً : فإن العجلات تحافظ على البعد فيما بينها لكنها تتحرك في الاتجاه الشاقولي و تتغير المسافة بين عجلات المحور الأمامي و الخلفي مما يؤدي إلى زيادة في نسبة الانزلاق و اهتراء العجلات بشدة أكبر .

ملاحظات :

- يمكن للعجلات عند التعرض للصدم أن تتحرك نسبياً و تبدّل موقعها بالنسبة للشاسي و ذلك بفضل العناصر المرنة الموجودة في التعليقة التي تمتص قدرة الصدم عن طريق التشوه المرن لعناصر التعليقة .
- تكون نعومة حركة الآلية أكبر كلما ازدادت نسبة كتل الأجزاء المرتكزة على الأرض الصلبة إلى كتل الأجزاء المرتكزة على التعليقة المرنة .
- لم تلق التعليقة القاسية انتشاراً واسعاً و لو أنها تُصادف في بعض الجرارات الثقيلة لأن في التعليقة القاسية هناك فقط عناصر موجهة أمّا مهمّة العناصر المرنة فيها فتقوم بها العجلات .
- تتوضّع الأذرع بشكل مائل في بعض أشكال التعليقة المستقلة فتؤمن بذلك تحديد إزاحة العجلات في المستوي الشاقولي و العرضاني .

أشكال التعليقة المرنة :

1. النوابض الصفائحية أو الورقية (المقصات) نصف أو ربع إهليليجيه .
2. النوابض الحلزونية .
3. النوابض اللولبية .
4. أعمدة الفتل .
5. المصادم الهوائية أو الهيدروليكية أو الهيدروهوائية .

النوابض الورقية :

- **استخدامها** : تستخدم بشكل واسع في التعليقة غير المستقلة .
- **ميزاتها :**

1. تؤمن بساطة كبيرة في تصميم عناصر التعليقة .
2. أبعادها ملائمة و رخيصة الثمن و سهلة الصيانة .
3. تستطيع نقل القوى في الاتجاه الطولاني .
4. لا تتطلب عناصر موجهة خاصة .

- **نواقصها :**

1. وزنها الكبير نسبياً .
2. الاحتكاك الداخلي الكبير فيها .

ملاحظات :

- تستخدم النوابض الحلزونية و النوابض اللولبية و نوابض الفتل الأخرى في التعليقة المستقلة و غير المستقلة .
- تستخدم المخمّدات المطاطية (بسيطة التصميم) كعناصر مرنة إضافية أو مساعدة لأنها لا تحتفظ غالباً بصفات المرونة عند تغير ظروف المناخ الطبيعية .

المصادم الهوائية :

- **ميزاتها :**

1. تزداد صلابتها كلما ازدادت قوى الصدم لذلك فهي تؤمن سرعة أكبر للآلية في الطرق الوعرة .
2. خفيفة الوزن .

- **مساوئها :**

1. غالية الثمن و تتطلب تجهيزات إضافية .
2. لا تستطيع نقل الحمولات في الاتجاه الطولاني مما يتطلب وجود أذرع موجهة .

ملاحظات :

- وظيفة العناصر المخمّدة هي تحويل طاقة الاهتزازات إلى حرارة تنطلق من عناصر المخمد .
- لاقت المخمدات الهيدروليكية و الهيدروهوائية استعمالاً خاصاً لأن هذه المخمدات تعمل باتجاه واحد أو باتجاهين و هي تشبه بعملها الأسطوانات الهيدروليكية .
- تتلقى النوابض الورقية القوى الشاقولية و تؤمن نقل القوى و العزوم الطولانية و العرضانية أيضاً .

3.1 أجهزة المسير على سلاسل

أجهزة المسير على سلاسل :

- **تتألف من** : تتألف من مجموعة السلسلة و عناصر الاستناد و الشد و ملحقاتها و من التعليقة التي تؤمن اتصال الشاسي بعناصر الاستناد .
- **الشروط الواجب توافرها فيها :**

1. تحقيق قوى ضغط نوعية على سطح الطريق أو التربة في الحدود المسموح بها .
2. تأمين مسير انسيابي و مناورة جيدة للآلية .
3. تحقيق قوى شد عظمى حسب ظروف عمل الآلية .

4. تخفيف قوى الصدم ما أمكن خلال العمل .
5. تحويل الحركة الدورانية للعناصر النهائية في جملة التوصيل إلى حركة مستقيمة و بمردود عالٍ .

أسباب استخدامها :

1. إمكانيتها في تحمّل قوى كبيره مع تحقيق ضغط نوعي صغير نسبياً على سطح التربة .
2. مناورتها الجيدة في مختلف ظروف التربة و الطرق و أمكنة العمل .
3. مقدرتها على تحقيق قوى شد كبيره بفضل ارتفاع عامل تماسك السلاسل و عدم انزلاقها في التربة الرخوة و غير المتماسكة .

سرعاتها :

تستطيع الآليات المسيّرة على سلاسل المسير بسرعات مختلفة :

- حيث تبلغ السرعة ($13 - 18\ km/h$) وسطياً .
- و تنخفض إلى ($3 - 4\ km/h$) للآليات الثقيلة .
- و إلى ($0,3 - 0,4\ km/h$) للآليات الثقيلة جداً .

نواقصها :

1. الوزن الكبير .
2. السرعة المنخفضة .
3. المردود القليل بالمقارنة مع الآليات المسيّرة على عجلات .
4. قصر فترة خدمة أجزاء المسير نسبياً .
5. عدم إمكانية التنقل و العمل على الطرق المعبّدة بشكل جيد خوفاً من الإضرار بها .
6. تعمل في مجال جبهة العمل فقط .
7. تُنقل على مقطورات السيارات أو قاطرات سكك الحديد للعمل في أماكن أخرى بعيدة .

1.3.1 جهاز الدفع بسلاسل و أجزاؤه

الأجزاء الأساسية التي يتألف منها جهاز الدفع :

1. الدولاب القائد .
2. السلسلة .
3. بكرات الاستناد .
4. بكرات حاملة الاستناد .
5. دولاب توجيه السلسلة .
6. ميكانيزم شد السلسلة .
7. عارضة الاستناد .

ملاحظات :

تعمل أجزاء جهاز الدفع في ظروف قاسية لأنها تتعرض لقوى كبيرة في تحقيق دفع الآلية .

تؤثر في أجزاء جهاز الدفع عوامل الاهتراء و التآكل لأنها تعمل في وسط تربة متنوعة و حاوية على عناصر قاسية لذلك فإن أجزاء المسير تصنع من فولاذ عالي المتانة و مقاوم للاهتراء .

الدولاب القائد :

وظيفته : يقوم بتدوير السلسلة و بتحقيق قوى شد عالية .

الشروط الواجب توافرها في تكوينه :

1. أن يؤمن تعشيقاً صحيحاً مع السلسلة بحد أدنى من الضياعات في الاحتكاك .
2. أن يجري تنظيفه ذاتياً من بقايا التربة أو المواد الأخرى التي يمكن أن تعلق به أثناء العمل .
3. أن يكون سهل المراقبة و الصيانة .

أشكاله :

1. يأخذ شكل مسنن جنزير (نجمي) غالباً .
2. يأخذ شكل دولاب مع تجاويف عميقة على سطحه يتداخل فيها بروز خاص موجود على فقرات السلسلة .
3. يأخذ شكل دولاب مزدوج عند قوى الشد الكبيرة .

حيث يحتوي الدولاب القائد على فتحات لتخفيف وزنه كما يصنع كقطعة واحدة أو من عدة قطع ليسمح بتبديل أسنانه عند اهترائها .

السلسلة :

مهامها :

1. تنقل قوى شد كبيرة .
2. تؤمن التماسك مع التربة .
3. تشكل مداساً معدنياً لتتدحرج عليه بكرات الاستناد .

تتألف من :

1. فقرات السلسلة التي تتمفصل مع بعضها البعض بواسطة محاور لتشكل مداساً معدنياً عريضاً .
2. الجنزير الذي تتمفصل فقراته مع بعضها البعض بواسطة محاور خاصة ، و تحتوي فقرات الجنزير على فتحات لخروج أجزاء التربة العالقة بالجنزير .

حيث تثبت فقرات السلسلة مع فقرات الجنزير بواسطة البراغي .

ملاحظات :

تكون فقرات السلسلة ذي نتوءات للآليات التي تتطلب قوى دفع كبيرة خلال العمل لأن نتوءات فقرات السلسلة عندما تغرز في التربة تؤمن تماسكاً كبيراً .

تكون فقرات السلسلة مستوية دون نتوءات للآليات التي لا تتطلب قوى دفع كبيرة خلال العمل .

تتعرض نتوءات السلسلة و دحاريج الجنزير للاهتراء بشكل كبير .

بكرات الاستناد :

وظيفتها :

1. تعمل على توجيه الجنزير .
2. تعمل على نقل حمولات الآلية عبر السلسلة إلى سطح التربة .

توضّعها : تثبّت بكرات الاستناد مع عارضة الدعم بشكل ثابت أو مرن حسب نوع التعليقة .

دورانها : تدور على محامل عريضة انزلاقية عادةً أو تدحرجيه أحياناً ، و تكون المحامل محمية جيداً من الوسط الخارجي بموانع خاصة .

ملاحظات :

- تتعرض بكرات الاستناد لقوى كبيرة ناتجة من الوزن و قوى العمل و تتلقى رد الفعل الناتج من تعرجات سطح التربة و وعرتها .
- يتناسب عدد بكرات الاستناد مع طول السلسلة .
- تحتوي محاور بكرات الاستناد على قنوات تشحيم خاصة تصل إلى المحامل .
- تتآكل عادة الحواف الجانبية لبكرات الاستناد مع العمل لذلك يجري تبديلها خلال تنفيذ الإصلاحات الجارية على الآلية .

بكرات حاملة السلسلة :

وظيفتها : تقوم بحمل السلسة و توجيهها .

دورانها : تدور عادة على محامل تدحرجيه محمية من الوسط الخارجي بموانع خاصة .

ملاحظات :

- تعمل بكرات حاملة السلسلة في ظروف أفضل من بكرات الاستناد .
- وظيفة دولاب التوجيه هو القيام بمهمة توجيه السلسلة و شدها خلال حركتها .
- يجري تعيير شد السلسلة بشكل دوري خلال استثمار الآلية لأن اهتراء عناصر السلسلة و توسّع الفراغات في المفاصل يؤديان إلى ارتخاء السلسلة و تزايد مقاومة الحركة .
- تتعرض كافة عناصر جهاز الدفع للاهتراء الشديد ممّا يتطلب تبديلها خلال فترات الإصلاح الجارية على الآلية ، و يمكن تجديد القطع المهترئة عادة بطرق التعبئة باللحام و إعادة تشكيلها على آلات التشغيل مع معالجتها حرارياً .

طرق تعيير شد السلسلة :

1. يجري تعيير شد السلسلة بواسطة جهاز شد يحتوي على عنصر مرن (على شكل نابض حلزوني) يتلقى قوى الصدم و الضغط الحاصل عند تزايد شد السلسلة .
2. يجري تعيير شد السلسلة بواسطة أسطوانة خاصة تعمل كمكبس حيث تُملئ بالشحم بضغط معين مما يؤدي إلى دفع دولاب التوجيه ليشد السلسلة حسب المطلوب .
3. يجري تعيير شد السلسلة بطريقة ميكانيكية يكون فيها دولاب الشد على محور بمرفق ، فعندما يجري تدوير المحور يتغير ذراع دولاب الشد ، كما يجري تعيير وضع دولاب الشد ليحافظ على استقامة حركة السلسلة و هو يتعرض للاهتراء الشديد أثناء العمل .

2.3.1 تعليقة الآليات على سلاسل

مهام التعليقة :

1. تؤمن اتصال جسم الآلية مع بكرات الاستناد .
2. تنقل حمولات جسم الآلية .
3. تخفّف قوى الصدم و الدفع .
4. تعطي انسيابية في حركة المسير و اهتزازاتها .

العوامل التي تحدد شكل التعليقة :

1. نوع العمل و ظروفه .
2. حالة سطح التربة .
3. سرعات الحركة .

أشكال التعليقة :

1. **التعليقة القاسية :**

- في التعليقة القاسية يكون اتصال بكرات الاستناد و دولاب التوجيه مع العارضة و جسم الآلية بشكل ثابت أو قاسٍ .
- لا تستخدم هذه التعليقة في الجرارات و الآليات العاملة على نظام الشد أو المسير ، و إنما تستخدم للآليات العاملة في مكان ثابت ، و يشترط أن تكون قاعدتها ثابتة مثل الحفارات وحيدة السطل و الروافع السهمية ، و تكون سرعة حركتها بطيئة تصل إلى ($3-4\ km/h$) وسطياً ، و تسير في طرق معبّدة و لمسافات قصيرة نسبياً .

2. **التعليقة نصف القاسية :**

- في التعليقة نصف القاسية تكون محاور بكرات الاستناد مرتكزة على العارضة بشكل ثابت ، أمّا دولاب التوجيه فيتصل مع العارضة بوصلة مرنة (نابضيه على الأغلب) ، إضافة إلى ارتكاز جسم الآلية على العارضة بوصلة مرنة التي تكون :
  - ☑ إمّا على شكل مقصات (نوابض ورقية نصف إهليليجيه) توضع عرضانياً لترتكز على عارضتي الاستناد في الآلية .
  - ☑ أو على شكل إنشاء معدني بمرونة معينة يرتكز على العارضتين عن طريق مخدات مطاطية .
- تستخدم هذه التعليقة بشكل واسع في الآليات والجرارات لأنها تجمع ما بين إمكانية تحقيق قوى دفع كبيرة و إمكانية تخفيف قوى الصدم الناشئة خلال العمل ، و تؤمن سرعة مسير تصل إلى ($18-20\ km/h$) .

3. **التعليقة المرنة :**

- في التعليقة المرنة يكون اتصال بكرات الاستناد مع العارضة بوصلات مرنة ، أمّا دولاب التوجيه فيتصل مع العارضة بوصلة مرنة ، إضافة إلى ارتكاز جسم الآلية على العارضة بواسطة مفصل و وصلة مرنة .

أشكال التعليقة المرنة :

1. **التعليقة المرنة المستقلة :**

- التي يكون فيها كل محور بكرة استناد متصلاً عن طريق جملة أذرع و عناصر مرنة مع جسم عارضة الاستناد ، و تكون العناصر المرنة : إما على شكل أعمدة فتل غالباً و تكون مرونتها متناسبة مع طولها أو على شكل نوابض حلزونية أحياناً .
- في هذه التعليقة تعمل كل بكرة و في كل جانب من الآلية بشكل منفصل عن الأخرى .
- تستخدم هذه التعليقة نادراً في آليات الطرق لكنها تستخدم في الجرارات ذات المرورية العالية و بسرعة حركة تصل إلى ($20-25\ km/h$) و العاملة

في الأماكن الوعرة و الصعبة .

2. **التعليقة المرنة التوازنية :**

- التي تشكل فيها كل بكرتي استناد مجموعة متأرجحة موازنة و يتصلان فيما بينهما بوصلة مرنة ، و تثبّت المجموعة بمحور على جسم عارضة الاستناد .
- تستخدم هذه التعليقة في الجرارات و آليات جرف التربة و حرثها و غرفها و لمختلف الاستطاعات .
- تؤمن هذه التعليقة مرورية عالية مع تحقيق قوى دفع عالية و قوى تماسك جيدة مع سطح التربة و بسرعة حركة تصل حتى ($12\ km/h$) .

3. **التعليقة المركبة :**

- التي تجمع ما بين الشكلين السابقين للتعليقة المرنة ، و تكون مجموعة الموازنة مؤلفة من بكرتي استناده ، و تتصل هذه المجموعات بوصلات مرنة مع جسم عارضة الاستناد ، و غالباً ما تكون الوصلات المرنة على شكل أعمدة فتل .
- تتميز هذه التعليقة بأنه في جميع حالات تحميل الجرار يكون الضغط النوعي على التربة موزعاً بشكل منتظم ممّا يؤمن للجرار خصائص شد جيدة و بمردود عالٍ و مرورية عالية في الأراضي الرخوة و غير المتماسكة و بسرعة حركة تصل حتى ($12\ km/h$) .

ملاحظات :

- يكون إجهاد الشد مختلفاً في نقاط السلسلة و يتعلق بجهة دوران السلسلة و بتوضع المسنن القائد الذي يقوم بتدوير السلسلة .
- يتوضع المسنن القائد في كافة الآليات المسيرة على سلاسل في الجهة الخلفية للآلية .
- تتعرض السلسة عند الحركة الخلفية للآلية لقوى شد أكبر بكثير بالمقارنة مع الحركة الأمامية للآلية .
- يتراوح مردود نقل السلسلة (η_c) بحدود ($0,85 - 0,92$) و يزداد عند العمل على قوى شد كبيرة و بسرعات بطيئة .
- يتعلق الطول الفعّال للسلسلة الذي يضغط على التربة بعدد بكرات الاستناد و توزعها .
- يكون توزّع رد فعل التربة على السلسلة بشكل منتظم تقريباً و ذلك عندما تسير آلية ذات تعليقة مرنة على أرض وعرة غير مستوية لأن السلسلة تتخذ شكل سطح التربة تقريباً فيزداد عامل التماسك .

تحديد قيمة القوة الموزعة (q) في الحالات التالية :

الحالة (أ) :

- رد الفعل (R) في منتصف المسافة (L) .
- فتكون كافة بكرات الاستناد عاملة :

$$x = \frac{L}{2} \Rightarrow qL = R \Rightarrow q = \frac{R}{L}$$

الحالة (ب) :

- رد الفعل (R) في ثلث المسافة (L) .
- فتكون كافة بكرات الاستناد عاملة :

$$x = \frac{L}{3} \Rightarrow q_{max}\frac{L}{2} = R \Rightarrow q_{max} = \frac{2R}{L}$$

الحالة (ج) :

- رد الفعل (R) على مسافة (x) أقل من ($L/3$) .
- فلا تكون كافة بكرات الاستناد عاملة :

$$x = \frac{L'}{3}\ ; L' < L \Rightarrow {q'}_{max}\frac{L'}{2} = R \Rightarrow {q'}_{max} = \frac{2R}{L'}$$

حيث

- R = قيمة محصلة رد فعل التربة على السلسلة الواحدة .
- x = موقع محصلة رد فعل التربة .
- L = طول مسافة الاستناد .
- b = عرض السلسلة الواحدة .

معادلة الضغط النوعي المؤثر في التربة بفرض أن القوى الموزعة تتخذ شكل مثلث :

تعطى قيمة القوى الموزعة التي تتخذ شكل مثلث بالعلاقة :

$$q_{max} = \frac{2R}{3x}$$

فيكون الضغط النوعي المؤثر في التربة :

$$\sigma_{max} = \frac{q_{max}}{b} = \frac{2R}{3xb}$$

حيث

- σ_{max} = الضغط النوعي الأعظمي المؤثر في التربة والناتج عن عمل الآلية .
- R = رد فعل التربة على السلسلة الواحدة في الآلية .
- x = بعد مركز ثقل رد الفعل التربة عن الطرف القريب لمسافة استناد الآلية .
- b = عرض السلسلة الواحدة في الآلية .

ملاحظات :

- يمكن أن لا يتساوى رد فعل التربة على سلسلتي المسير أثناء العمل في بعض أنواع الآليات مثل الحفارات وحيدة السطل أو الروافع السهمية لأنه يتعلق بوضعية الجزء الدوار من الآلية الذي يحمل تجهيزات العمل كما تؤثر فيه محصلة قوى معينة .
- انغراز السلسلة في بعض أنواع التربة لأن الضغط النوعي المؤثر في التربة أكبر من مقاومة التربة للضغط ممّا يؤدي إلى انغراز السلسلة نتيجة لانهيار التربة .
- يتناسب عامل تماسك التربة طرداً مع الضغط النوعي المؤثر في التربة فيزداد مع ازدياده و ينخفض عند نقصانه .

الفصل

2

الدارات الهيدروليكية

1.2 مقدمة

تعريف الدارة الهيدروليكية :

هي مجموعة متكاملة من التجهيزات الهيدروليكية التي تقوم بنقل القدرة الحركية إلى الأجهزة المنفذة عن طريق الضغط الهيدروستاتيكي للسائل الهيدروليكي الذي يتحرك بالإزاحة الحجمية في دارة محدّدة .

التجهيزات التي تشملها الدارات الهيدروليكية :

1. المضخات التي تستهلك القدرة الحركية من أجل ضغط السائل الهيدروليكي .
2. مجموعات القيادة و التحكم التي توزع السائل الهيدروليكي و تتحكم بتدفقه و ضغطه .
3. المحركات و الأجهزة المنفذة كالأسطوانات التي تحوّل قدرة السائل الهيدروستاتيكة إلى قدرة حركية معيّنة .
4. ملحقات مساعدة كالخزان و المصافي و المبرّد و المجمع الادخاري .

استخدامات الدارات الهيدروليكية :

1. تستخدم لنقل القدرة إلى الميكانيزمات الأساسية في الآلية مثل ميكانيزمات المسير و الدوران و إلى ميكانيزمات أجهزة العمل المتنوعة .
2. تستخدم في قيادة أجزاء جملة التوصيل مثل الفاصل الواصل و محوّل العزم الهيدروليكي و علبة السرعة ذات القوابض متعددة الأقراص و مجموعة التوجيه .
3. تستخدم في التحكم بالمكابح .
4. تستخدم في قيادة الآلية و دورانها .

ملاحظات :

✍ أدخلت في السنوات الأخيرة التجهيزات الإلكترونية من أجل ضبط قيادة الآلية و عملها الأمثل مع الإنذار و الإشارة لدى حدوث أعطال أو أخطاء من قبل سائق الآلية .

✍ تتطلب عناصر الدارات الهيدروليكية دقة عالية في الصنع و خاصة للضغط العالي ، و يحتاج استثمارها لسوائل هيدروليكية معينة و لنظام حراري محدّد لا تتفاوت فيه درجات الحرارة في مجال واسع لكي لا تتغير اللزوجة كثيراً .

✍ يستعمل في الدارات الهيدروليكية سوائل ذات مواصفات خاصة تختلف عن الزيوت المعدنية المستخدمة في تزييت المحركات و علب السرعة .

الشروط الواجب توافرها في السائل الهيدروليكي :

1. يجب أن يتصف باللزوجة القليلة بهدف تخفيض ضياعات الاحتكاك مع إمكانية تزييت المحامل و الأجزاء المحتكّة و المنزلقة في الدارة الهيدروليكية .
2. يجب أن يقاوم تشكل الفقاعات و الرغوة بشكل ثابت خلال العمل .
3. يجب أن تكون درجة حرارة اشتعاله عالية و خاصة عند العمل في ظروف الحرارة المرتفعة .
4. يجب أن يكون مضاداً للتأكسد و بحموضة منخفضة بحيث لا يسبب تآكل قطع التجهيزات الهيدروليكية و عناصرها .
5. يجب أن يتصف بمقاومة ثابتة ضد انحلال الماء فيه و الذي يجب أن يُفرز و يُطلق خارج الدارة منعاً لتشكل مركبات تؤدي إلى صدأ القطع و العناصر في الدارة الهيدروليكية .
6. يجب أن يحافظ على ثباته الكيميائي و الفيزيائي خلال فترة استثماره و خاصة عند العمل على ضغوط عالية ، و أن يعمل لفترة خدمة لا تقل عن (500) ساعة عمل أو مدة سنة .
7. يجب أن لا يكون له تأثير سام أو مضر بالصحة .

2.2 المضخات و المحركات الهيدروليكية الحجمية

ملاحظة :

✍ يمكن اعتبار كلاً من المضخة و المحرك آلتين هيدروليكيتين عكسيتين لأنه يمكن استخدام كل منهما كمضخة أو محرك .

آلية عمل الدارة الهيدروليكية :

- تتلقى المضخة الهيدروليكية الطاقة الميكانيكية الحركية التي يمكن أن يعبر عنها بعزم و سرعة دوران (M , n) من محرك الآلية أو من مأخذ للحركة و تحولها إلى طاقة هيدروستاتيكة التي يمكن أن يعبر عنها بتدفق السائل الهيدروليكي العامل و ضغطه (Q , p) .
- ينقل السائل الطاقة الهيدروستاتيكة إلى الأجهزة المنفذة للعمل و هي :

☑ إمّا محركات هيدروليكية تقوم بتحويل الطاقة المستلمة من السائل الهيدروليكي إلى طاقة ميكانيكية التي يمكن أن يعبر عنها بعزم و سرعة دوران (M' , n') .

☑ أو أسطوانات هيدروليكية التي يمكن أن يعبر عنها بقوة و سرعة خطية (F' , ϑ) .

الفرق بين المضخة الحجمية و المحرك الهيدروليكي :

تعمل المضخة الحجمية على دفع السائل الهيدروليكي و إزاحته في حجم معين و يتم ذلك إمّا بحركة دورانية أو بحركة مستقيمة ترددية للعنصر العامل في المضخة ، أمّا المحرك الهيدروليكي فيعمل بعكس المضخة حيث يتحرك تحت دفع السائل الهيدروليكي المزاح من قبل المضخة .

أنواع الآلات الهيدروليكية من الناحية التصميمية :

1. آلات هيدروليكية دورانية (بحركة دورانية للعنصر العامل) .
2. آلات هيدروليكية مكبسية (بحركة مستقيمة للعنصر العامل) .
3. آلات هيدروليكية دورانية مكبسية .

الأنواع الأساسية للمضخات و المحركات الهيدروليكية المستخدمة في آليات بناء الطرق :

1. المضخات و المحركات الهيدروليكية الدورانية : المسننية و المروحية .
2. المضخات و المحركات الهيدروليكية الدورانية المكبسية : المحورية و القطرية.
3. الأسطوانات الهيدروليكية .

المؤشرات التي تؤخذ بالاعتبار عند دراسة المضخات والمحركات الهيدروليكية:

1. الضغط و الإنتاجية و السرعة القصوى لأن هذه المؤشرات تحدّد استطاعة الآلية الهيدروليكية و حجمها و وزنها .
2. إمكانية المضخة أو المحرك في التحكم بالسرعة عند العمل مع تغيير الحمولات في مجال معين .
3. تأمين المؤشرات الاستثمارية و الفنية الضرورية مثل الموثوقية و فترة الخدمة الطويلة و سهولة التحكم و مردود العمل في ظروف مختلفة و بساطة التصميم الذي يتعلق به الثمن و كلفة الصيانة .

1.2.2 المضخات و المحركات الهيدروليكية المسننية

مبدأ العمل :

- تتألف المضخة من زوج مسننات بتعشيق خارجي غالباً يحيط بهما جسم ثابت يحتوي على فتحتين لدخول السائل الهيدروليكي و خروجه ، و يكون الخلوص الحاصل بين الأسنان و الجسم بحدود ($0,03 - 0,15\ mm$)، و يكونا المسننين القائد و المقاد متماثلين و يتراوح عدد أسنان كل منهما ($6 - 12$) سن و كلما ازداد عدد الأسنان كلما كان التدفق الناتج أكثر انتظاماً .
- حيث تقوم الأسنان بسحب السائل الهيدروليكي من فتحة السحب و الذي ينحصر بين الأسنان و جسم المضخة ثم تدفعه مع حركة المسننات الدورانية عبر فتحة الضغط .

الضياعات :

1. ضياعات حجمية في إنتاجية المضخة أو تصريف المحرك نتيجة بقاء جزء من السائل الهيدروليكي في الفراغ الحاصل بين رأس سن المسنن الأول و قعر سن المسنن الثاني .
2. ضياعات الاحتكاك الهيدروليكي و الميكانيكي في العناصر الدوارة .

ملاحظات :

- تستخدم الآلات الهيدروليكية المسننية غالباً كمضخات هيدروليكية .
- تتميز المضخات المسننية بـ :
  1. **عدد وحدات الضخ** : مثل المضخات المزدوجة ثنائية التدفق .
  2. **عدد المسننات العاملة** : مثل المضخات ذات الثلاث مسننات بمسنن مركزي قائد و آخرين جانبيين مقادين .
- يمكن استخدام الآلات الهيدروليكية المسننية كمحركات هيدروليكية حين لا يتطلب عملها عزم إقلاع كبير لأن عطالتها صغيرة .

المواصفات الفنية :

1. الضغط العامل ($2,5 - 14\ MPa$) .
2. الإنتاجية ($200\ liter/min$) .
3. سرعة الدوران ($500 - 2500\ r.p.m$) .
4. المردود الإجمالي ($0,65 - 0,85$) .

الميزات :

1. البساطة الكبيرة في التصميم .
2. الأبعاد الصغيرة .
3. الثمن الرخيص .

النواقص :

1. عدم انتظام التدفق الكبير و يصل إلى (15 %) مع وجود ضجة و اهتزاز أثناء العمل .
2. فترة الخدمة غير طويلة و خاصة عند العمل على ضغوط عالية .
3. المردود الإجمالي منخفض و يتعلق بسرعة الدوران و الضغط العامل و يتغير في مجال واسع .
4. عدم قابلية تعيير التدفق إلا عن طريق تغيير سرعة الدوران .

الاستخدامات :

- تستخدم في الدارات التي لا تتطلب تغييراً دقيقاً في العمل .
- و في الأحوال التي لا يشكل فيها انخفاض المردود عاملاً هاماً في العمل .
- و خاصة للاستطاعات الصغيرة و بضغط عامل لا يزيد عن ($7\ MPa$) .

2.2.2 المضخات و المحركات الهيدروليكية المروحية

مبدأ العمل :

- تقوم صفائح خاصة (أو شفرات) متوضعة في الجسم الدوار بسحب السائل الهيدروليكي (الذي ينحصر بين كل صفيحتين و الجسم الثابت) من فتحة السحب و دفعه عبر فتحة الضغط ، حيث تكون الصفائح منزلقة في أخاديد على الجسم الدوار و مضغوطة في الوقت ذاته بواسطة نوابض أو بضغط السائل

الهيدروليكي نحو الجسم الثابت .

- و تكون مثل هذه الآلات غالباً ثنائية الطور ، أي خلال دورة واحدة من دوران الجسم الدوار تجري مرحلة سحب ثم ضغط مرتين .
- و من أجل تخفيض عدم انتظام التدفق يمكن زيادة عدد الصفائح حتى (12) صفيحة .

الضياعات :

1. ضياعات حجمية خلال العمل نتيجة عدم إحكام ضغط الصفائح على جسم المضخة الثابت .
2. ضياعات العمل نتيجة عدم إحكام ضغط الصفائح على جسم المضخة الثابت .
3. ضياعات هيدروليكية و ميكانيكية على الاحتكاك .

ملاحظات :

- تستخدم الآلات الهيدروليكية المروحية كمضخات و كمحركات هيدروليكية .
- يمكن تعيير التدفق في بعض الآلات الهيدروليكية وحيدة الطور و ذلك بتغيير وضعية الدوار الذي يكون وضعه لا مركزياً .

المواصفات الفنية :

1. الضغط العامل ($7 - 17\ MPa$) .
2. الإنتاجية ($300\ liter/min$) .
3. سرعة الدوران ($500 - 2000\ r.p.m$) .
4. المردود الإجمالي ($0,8 - 0,85$) .

الميزات :

1. الهدوء في العمل .
2. الأبعاد غير كبيرة .
3. البساطة في التصميم .
4. الثمن غير مرتفع .

النواقص :

المردود الإجمالي غير مرتفع و ينخفض مع زيادة سرعة الدوران .

الاستخدامات :

- تستخدم بشكل واسع في الدارات الهيدروليكية العاملة على تحريك أجهزة العمل مثل آليات الغرف و الجرف و الحرث و التسوية .
- و في دارات القيادة الهيدروليكية أيضاً .
- و كذلك في الحفارات و الروافع متوسطة و منخفضة الاستطاعة و بضغط عامل لا يزيد عن ($16\ MPa$) .

3.2.2 المضخات و المحركات الهيدروليكية المكبسية المحورية

مبدأ العمل :

- تعتمد المضخة في حركتها على تحرك المكابس بشكل ترددي ضمن أسطوانات متوضعة باتجاه محوري مع حركة دورانية لكتلة الأسطوانات مع المكابس .
- فعند تدوير عمود المضخة تدور كتلة الأسطوانات و المكابس و القرص المتحرك سوية ، و بفضل ميلان قرص الاستناد يتلقى كل مكبس خلال دورة واحدة حركة ترددية .
- و عند تراجع المكبس يسحب حجم معين من السائل الهيدروليكي عبر فتحة كتلة الأسطوانات التي تكون في هذه اللحظة أمام شق فتحة الدخول ، و عند تقدمه يدفع بهذا الحجم من السائل عبر فتحة كتلة الأسطوانات التي تكون في هذه اللحظة أمام شق فتحة الخروج .
- و هكذا تضخ المضخة خلال دورة واحدة حجماً فعالاً يساوي إلى مجموع حجوم الأسطوانات الفعالة ، حيث أنّ الحجم الفعال للأسطوانة الواحدة يزداد مع ميلان قرص الاستناد الذي يمكن التحكم بوضعيته عن طريق عنصر هيدروليكي يتحسّس بالضغط العامل للسائل الهيدروليكي فيتم التحكم ذاتياً حسب الحمل .

ملاحظات :

- يعمل نابض الإرجاع على دفع قرص الاستناد إلى وضعية تعطي المضخة فيها أكبر إنتاجية لتعمل على فراغ عند انعدام الحمل أو الضغط العامل .
- يعمل عنصر التحكم الهيدروليكي عند تحميل المضخة على دفع قرص الاستناد فيزداد الضغط العامل لحد معين مما يؤدي إلى انخفاض إنتاجية المضخة و ازدياد ضغط السائل فيتم التحكم الذاتي عند استطاعة ثابتة .
- في بعض الأنواع البسيطة يكون ميل قرص الاستناد ثابتاً لا يقبل التحكم ، و في هذه الحالة تكون الإنتاجية ثابتة عند سرعة دوران معينة .
- في بعض الأنواع الأخرى تكون كتلة الأسطوانات مائلة و قابلة للتحكم ، و في هذه الحالة توصل الكتلة مع عمود الدوران بوصلة كاردانية مزدوجة .
- لا يختلف تكوين المحركات الهيدروليكية المكبسية المحورية عن المضخات لأنه يمكن تغيير سرعة الدوران فيها بالاتجاه و القيمة .
- تستخدم الآلات الهيدروليكية المكبسية المحورية بشكل أساسي في جمل نقل الحركة الهيدروليكية لسهولة تنظيم السرعة ضمن مجال واسع .

المواصفات الفنية :

1. الضغط العامل ($16 - 38\ MPa$) .
2. الإنتاجية ($800\ liter/min$) .
3. سرعة الدوران ($1500 - 3000\ r.p.m$) .
4. المردود الإجمالي ($0,85 - 0,9$) .

الميزات :

1. الأبعاد غير كبيرة نسبياً .
2. الاستطاعة النوعية عالية ($12\ kW/kg$) .
3. المردود عالٍ عند الضغط العامل المرتفع .
4. العطالة الصغيرة .

5. الهدوء في العمل .

النواقص :

1. ضرورة التصفية الدقيقة للسائل الهيدروليكي .
2. التصميم المعقد و الثمن المرتفع .
3. فترة خدمة بعض القطع و العناصر غير طويلة .
4. اهتراء الأسطوانات و المكابس مرتفع .

الاستخدامات :

تستخدم بشكل واسع في الروافع و الحفارات وحيدة السطل الهيدروليكية لتحريك الأجهزة العاملة و لتشغيل ميكانيزمات المسير و الدوران فيها و ذلك نظراً لميزاتها المتعددة و خاصة قابليتها للتعيير و عملها عند الضغط العالي .

4.2.2 المضخات و المحركات الهيدروليكية المكبسية القطرية

مبدأ العمل :

- تتوضع المكابس على محيط جسم الآلة بحيث تتجه محاورها نحو المركز (أي في الاتجاه القطري) ، و تعتمد على حركة المكابس الترددية المنزلقة على سطح كامي ، و توجد على شكلين :
  - ☑ إما أن تكون المكابس غير دوارة و متوضعة في أسطوانات متأرجحة قليلاً و ترتكز على الجسم الثابت ، و تأخذ المكابس حركتها الترددية نتيجة دفع سواعدها من قبل كامة لامركزية على عمود الدوران .
  - ☑ أو أن تكون المكابس متوضعة في كتلة الأسطوانات التي تؤلف الجسم الدوار ، و تأخذ المكابس حركتها الترددية نتيجة دفع سواعدها من قبل سطح كامي ثابت عند دورانها .
- حيث يتم دخول السائل الهيدروليكي و خروجه من فتحات خاصة موزعة على محيط الجسم الثابت مقابل كل مكبس و عن طريق دسامات لدخول السائل الهيدروليكي و خروجه .

ملاحظات :

- كافة أشكال الآلات الهيدروليكية المكبسية القطرية غير قابلة للتحكم بالتدفق لكنها قابلة للحركة العكسية .
- تستخدم معظم الآلات الهيدروليكية المكبسية القطرية كمحركات هيدروليكية .عالية العزم و بطيئة الدوران .
- هناك أنواعاً من المحركات الهيدروليكية منخفضة العزم و بسرعة دوران ($50 - 4000\ r.p.m$) و تصريف أعظمي يصل حتى ($200\ liter/min$) .

المواصفات الفنية :

1. الضغط العامل ($10 - 45\ MPa$) .
2. التصريف الأعظمي ($1500\ liter/min$) .
3. سرعة الدوران ($3 - 500\ r.p.m$) .
4. المردود الإجمالي ($0,9 - 0,85$) .

الميزات :

1. المردود الجيد .
2. العمل على ضغط عامل مرتفع .
3. قابلية الحركة العكسية .
4. العمل في مجال واسع لسرعات الدوران .

النواقص :

1. الوزن و الحجم كبيران نسبياً .
2. ضرورة التصفية الدقيقة للسائل الهيدروليكي في العمل .
3. التصميم المعقد و الثمن المرتفع .

5.2.2 الأسطوانات الهيدروليكية

الاستخدامات :

تستخدم لتحريك أجهزة العمل لآليات الغرف و الجرف و الحرث و القشط و الحفر و آليات أخرى .

الأنواع :

1. **من ناحية اتجاه التأثير :**
   - أ. أسطوانات وحيدة الفعل (على الدفع أو السحب) .
   - ب. أسطوانات ثنائية الفعل (على الدفع و السحب) .
2. **من ناحية عدد مراحل التأثير :**
   - أ. أسطوانات وحيدة المرحلة .
   - ب. أسطوانات متعددة المراحل (تلسكوبية) .

ملاحظات :

- الأسطوانات الهيدروليكية شائعة الاستخدام في الآليات هي الأسطوانات ثنائية الفعل و وحيدة المرحلة .
- من أجل تجنّب التوقف القاسي للمكبس في نهاية شوطه توضع عناصر كبح أو مخمدات مختلفة مهمتها عرقلة خروج السائل الهيدروليكي و بالتالي تخفيف سرعة تحرك المكبس في نهاية شوطه .
- تثبّت الأسطوانات الهيدروليكية على الآلية بمفصل محوري عادةً أو كروي أحياناً و يتوضّع في نهايتها أو في وسطها حسب اللزوم .

التصميم :

- تصمم انطلاقاً من الضغط العامل الذي يتراوح بحدود ($2,5 - 40\ MPa$) .
- و يصنع جسم الأسطوانة من حديد الصب للضغط المنخفض ، و من فولاذ الصب أو فولاذ الأنابيب المسحوب للضغط العالي .
- و أمّا المكبس فيصنع من حديد الصب أو الفولاذ و أحياناً من مواد اصطناعية عالية المتانة .
- أمّا حلقات الإحكام المطاطية فإنها تصمم أيضاً على تحمل الضغط الأعظمي لمنع تسرب السائل ، و تصنع بمقاطع على شكل حرفي (U) أو (V) أو على

شكل دائري .

المفاقيد :

تفقد الأسطوانة جزءاً من قوة الدفع نتيجة احتكاك حلقات الأحكام عند تحرك المكبس بحدود (3 − 10 %) ، أما تسرب السائل فيكون بحدود جزئية صغيرة و يزداد كلما ازداد اهتراء حلقات الإحكام .

مؤشرات العمل :

1. **قوة دفع الساعد (F_{c1}) :**

$$F_{c1} = \frac{\pi}{4}[P_1 D^2 - P_2(D^2 - d^2)]\eta_h$$

2. **قوة سحب الساعد (F_{c2}) :**

$$F_{c2} = \frac{\pi}{4}[P_1(D^2 - d^2) - P_2 D^2]\eta_h$$

3. **تصريف الأسطوانة عند الدفع (Q_{c1}) :**

$$Q_{c1} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{D^2 \vartheta_{c1}}{\eta_v}$$

4. **تصريف الأسطوانة عند السحب (Q_{c2}) :**

$$Q_{c2} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(D^2 - d^2)\vartheta_{c2}}{\eta_v}$$

حيث :

- P_1 = الضغط العامل في حجرة المكبس المتصلة بخط الضغط .
- P_2 = الضغط الحاصل في حجرة الزند المتصلة بخط التصريف .
- D = قطر مكبس الأسطوانة .
- d = قطر زند الأسطوانة .
- η_h = مردود الأسطوانة و يأخذ بالاعتبار ضياعات الاحتكاك .
- η_v = مردود الأسطوانة و يأخذ بالاعتبار الضياعات الحجمية .
- ϑ_{c1} = سرعة تحرك مكبس الأسطوانة عند الدفع .
- ϑ_{c2} = سرعة تحرك مكبس الأسطوانة عند السحب .

3.2 الخصائص البيانية للمضخات و المحركات الهيدروليكية

معادلة المردود الكلي للمضخة :

$$\eta_p = \eta_v \eta_h$$

حيث :

- η_v = **المردود الحجمي للمضخة** : يأخذ بالاعتبار المفاقيد الحجمية في تدفق السائل الهيدروليكي التي تنتج بسبب عوامل تصميمية مختلفة كما في المضخات و المحركات و الأسطوانات .
- η_h = **المردود الميكانيكي الهيدروليكي للمضخة** : يأخذ بالاعتبار المفاقيد الميكانيكية الهيدروليكية الناتجة من المقاومات و الاحتكاك خلال تدفق السائل أو حركة عناصر الآلات الهيدروليكية .

معادلة إنتاجية المضخة :

$$Q_p = q_p n_p \eta_v \qquad [m^3/s]$$

حيث :

- q_p = الثابت الحجمي للمضخة أو سعة المضخة ، $[m^3/rev]$.
- n_p = سرعة دوران عمود المضخة ، $[rev/s]$.
- η_v = المردود الحجمي للمضخة .

معادلة الاستطاعة المستهلكة للمضخة :

$$N_p = \frac{Q_p p}{1000\,\eta_p} \qquad [kW]$$

حيث :

- Q_p = إنتاجية المضخة ، $[m^3/s]$.
- p = الضغط العامل ، $[N/m^2]$.
- η_p = المردود الكلي للمضخة .

معادلة العزم الفعال للمحرك الهيدروليكي :

$$M_m = \frac{1}{2\pi} q_m p \eta_h \qquad [N \cdot m]$$

حيث :

- q_m = الثابت الحجمي للمحرك الهيدروليكي ، $[m^3/rev]$.
- p = الضغط العامل ، $[N/m^2]$.
- η_h = المردود الميكانيكي الهيدروليكي للمحرك .

معادلة تصريف المحرك الهيدروليكي :

$$Q_m = \frac{q_m n_m}{\eta_v} \qquad [m^3/s]$$

حيث :

- q_m = الثابت الحجمي للمحرك الهيدروليكي ، $[m^3/rev]$.
- n_m = سرعة دوران المحرك ، $[rev/s]$.
- η_v = المردود الحجمي للمحرك .

معادلة الاستطاعة الفعالة للمحرك الهيدروليكي :

$$N_m = M_m \omega_m = M_m(2\pi n_m) \qquad [W]$$

$$N_m = \frac{M_m \omega_m}{159} \qquad [kW]$$

$$N_m = \frac{Q_m p \eta_m}{1000} \qquad [kW]$$

حيث :

- M_m = عزم دوران المحرك الهيدروليكي ، $[N \cdot m]$.
- ω_m = السرعة الزاوية لدوران المحرك ، $[rad/s]$.
- n_m = سرعة دوران المحرك ، $[rev/s]$.
- Q_m = تصريف المحرك ، $[m^3/s]$.
- p = الضغط العامل ، $[N/m^2]$.
- η_m = المردود الكلي للمحرك .

ملاحظات تتعلق بالخصائص البيانية :

- عند العمل على سرعات دوران جزئية تكون إنتاجية المضخة جزئية لأنها متناسبة مع سرعة الدوران .
- المضخة ذات التدفق الثابت تكون ذات خاصية قاسية لأن تدفق المضخة ثابت

تقريباً و لا يمكن تغيير سرعة دوران المضخة لذلك لابد من وجود منظمات سرعة التدفق مع المضخة في حال الحاجة إلى تنظيم سرعة الأجهزة المنفذة للحركة في الدارة .

✍ المضخة ذات التدفق المتغير تكون ذات خاصية لينة و لا ضرورة لوجود منظمات سرعة خاصة في الدارة .

1.3.2 حالات عمل المحرك الهيدروليكي المشترك مع المضخة

1. **حالة كون المحرك و المضخة غير قابلين للتعيير :**
   - تكون خصائص المحرك ذات خصائص المضخة مع إضافة المفاقيد في الدارة الهيدروليكية .
   - من أجل تنظيم سرعة المحرك يجري تعيير سرعة دوران المضخة للحصول على إنتاجية جزئية غير متغيرة و هكذا يعني عدم استخدام الاستطاعة كاملاً و يكون مجال التغيير متعلقاً بالمحرك الأساسي الذي يعطي الحركة للمضخة ، أو توضع منظمات تدفق خاصة في الدارة الهيدروليكية و هذا يترافق مع انخفاض مردود الجملة الهيدروليكية .
   - تستخدم هذه الطريقة في تنظيم السرعة للأسطوانات و المحركات الهيدروليكية العاملة على تحريك أجهزة العمل و الملحقات في الآلية ، أو لميكانيزمات غير أساسية لا تتطلب تغيير السرعة في مجال واسع ، و للاستطاعات الصغيرة حيث لا يكون هناك أهمية كبيرة للمردود .
2. **حالة كون المحرك غير قابل للتعيير و المضخة قابلة للتعيير :**
   - تكون خصائص المحرك ذات خصائص المضخة مع إضافة المفاقيد في الدارة الهيدروليكية .
   - من أجل تنظيم سرعة المحرك يجري تغيير تدفق المضخة حسب خصائصها البيانية .
   - تؤمن هذه الطريقة مردوداً عالياً مع إمكانية استخدام أمثل للاستطاعة في مجال محدد .
   - تستخدم هذه الطريقة في الآليات ذات جمل النقل الهيدروليكية باستطاعات مختلفة و المزودة بأسطوانات و محركات هيدروليكية مختلفة .
3. **حالة كون المحرك قابل للتعيير و المضخة غير قابلة للتعيير :**
   - يمكن في هذه الطريقة أن تعمل المضخة على نظام ثابت مع المحرك الأساسي للآلية .
   - تؤمن هذه الطريقة استخداماً أمثل للاستطاعة مع مردود عالٍ في مجال معين .
   - تستخدم هذه الطريقة في الأليات بمختلف الاستطاعات لكن بشكل أقل من حالة " كون المحرك غير قابل للتعيير و المضخة قابلة للتعيير" لأنها تتطلب أن تكون كافة المحركات قابلة للتعيير مما يزيد في ثمن التجهيزات .
4. **حالة كون المحرك و المضخة قابلين للتعيير :**
   - ميزة هذه الطريقة أنه يمكن الحصول على مجال واسع في تنظيم السرعة و العزم للمحرك الهيدروليكي .
   - تستخدم هذه الطريقة في الأليات العاملة على نظام النقل التي تتطلب إلى سرعات عالية ، أو في الآليات العاملة على نظام الشد التي تتطلب إلى قوى دفع كبيرة .

4.2 الأجزاء و العناصر التي تتكون منها الدارات الهيدروليكية

1. **مجموعات القدرة :**
   المضخات و المحركات و الأسطوانات الهيدروليكية .
2. **مجموعات التحكم و التنظيم :**
   - أ. صمامات الاتجاه (الموزعات) : لتوجيه السائل الهيدروليكي و توزيعه .
   - ب. صمامات لا رجعية : لتحديد اتجاه تدفق السائل و تنظيمه .
   - ج. صمامات الضغط : لتصريف (تخفيض) الضغط و تنظيمه .
   - د. صمامات التدفق : للتحكم بالتدفق و تنظيم السرعة .
3. **الأجهزة المساعدة و الملحقات :**
   الأنابيب و الوصلات و الخزانات و المجمعات الادخارية و المصافي و المبادلات الحرارية و أجهزة القياس .

5.2 أنواع الدارات الهيدروليكية العاملة في آليات الطرق

أنواع الدارات الهيدروليكية من الناحية التصميمية :

1. الدارات المفتوحة .
2. الدارات المغلقة .

الفرق بين الدارة المفتوحة و الدارة المغلقة :

في الدارة المفتوحة تقوم المضخة بسحب السائل الهيدروليكي من الخزان و دفعه إلى الدارة ثم بعد مروره بالمحرك أو الجهاز المنفذ يصب في الخزان الذي يقع تحت الضغط الجوي ، أمّا في الدارة المغلقة فإن السائل بعد مروره بالمحرك أو الجهاز المنفذ يتجه مباشرة إلى أنبوب سحب المضخة ليتابع دورته .

ملاحظة :

✍ يتدفق في حالة الدارة المغلقة حجم ثابت من السائل الهيدروليكي لكن بسبب التسرب أحياناً لا يبقى هذا الحجم ثابتاً ، لذلك من أجل منع التقطع في التدفق و تجنب ظاهرة التكهف تستخدم مضخات خاصة مؤازرة صغيرة لتعويض النقص في السائل .

الدارة المفتوحة

☜ **حالات الاستخدام :**

1. تستخدم عند الحاجة إلى تنظيم سرعة أجهزة العمل الهيدروليكية في حدود ضيقة و لفترات قليلة و لاستطاعات غير عالية حيث تستخدم منظمات التدفق لتعمل مع دارة مفتوحة ، و في هذه الحالة تكون المضخة ذات تدفق ثابت ، و يتحدد الضغط في الدارة حسب تحميل الأجهزة العاملة

من محركات أو أسطوانات هيدروليكية ، و يكون مردود العمل غير عالٍ .

2. تستخدم عندما لا يوجد تحميل في الدارة حيث تدفع المضخة السائل بضغط قليل يكفي للتغلب على المقاومات الهيدروليكية البسيطة في دارة مختصرة ليصب السائل بعدها في الخزان ، و لا تستهلك المضخة استطاعة كبيرة .
3. تستخدم عند الحاجة إلى تنظيم السرعة في مجال أوسع و لاستطاعات متوسطة أو عالية حيث تستخدم مضخات متغيرة التدفق مع دارات مفتوحة لأنها تؤمن استخداماً جيداً للاستطاعة و مردوداً عالياً .

☜ **الميزات :**

1. تبريد السائل الهيدروليكي يتم في ظروف جيدة لأنه دائماً يصب في الخزان.
2. وجود إمكانية مستمرة لتعويض التسرب مهما بلغ حجمه .
3. تستطيع مجموعة ضخ واحدة أن تؤمن عمل محركات وأسطوانات متعددة .

الدارة المغلقة

☜ **حالة الاستخدام :** تستخدم عند الحاجة إلى تنظيم واسع في السرعة و العزم و خاصة في الدارات الهيدروليكية لأجهزة المسير أو لأجهزة الرفع عالية الاستطاعة حيث تستخدم آلات هيدروليكية متغيرة التدفق و قابلة للتعيير و عكس الحركة في دارات صغيرة منفصلة لكل ميكانيزم مع مضخة خاصة لكل دارة .

☜ **الميزات :**

1. حماية السائل الهيدروليكي من التعرض للغبار و الأوساخ نظراً لجريانه في دارة مغلقة .
2. البساطة في تصميم الدارة .
3. موثوقية تنظيم السرعة .
4. الاستخدام الأقصى للاستطاعة .
5. المردود العالي .

☜ **النواقص :**

1. يعمل السائل الهيدروليكي في ظروف تبريد و تصفية سيئة .
2. أجزاء الدارة غالية الثمن .
3. تستخدم في حدود ضيقة للآليات عالية الاستطاعة .

6.2 أنظمة القيادة و التحكم الهيدروليكية

العناصر والأجهزة التي يتألف منها نظام القيادة الهيدروليكية :

1. لوحة القيادة التي تحتوي على عناصر القيادة (كبسات ، أذرع ، دعسات ، أجهزة قياس) .
2. مصدر القدرة اللازمة للقيادة (جهد السائق ، مصدر هيدروليكي أو كهربائي أو هوائي) .
3. جملة تحويل و نقل الحركة و هي دارة القيادة (صمامات ، موزعات ، حاكمات ، أنابيب ، كابلات) .
4. العنصر المنفذ (كباس هيدروليكي لتشغيل المكبح ، قارنة ، قابض ، موزع هيدروليكي أساسي ، أسطوانة هيدروليكية) .

المتطلبات التي تؤمنها أنظمة القيادة :

1. العمل المضمون للآلية .
2. سرعة تجاوب الأجهزة العاملة .
3. هدوء التشغيل و التوقف و انسيابيتهما .
4. سهولة العمل و راحته و أمنه على الآلية .

الشروط الواجب توافرها في أنظمة القيادة لتسهيل قيادة الآلية :

1. أن يكون عدد أذرع أو دعسات أو كبسات التحكم في الآلية أقل ما يمكن .
2. أن تكون حركة الأذرع متوافقة مع الحركة الأساسية للأجهزة المقادة .
3. أن يكون تغيير نظام القيادة سهلاً و مضموناً و عدد نقاط التعيير قليلة .

تصنيف أنظمة القيادة حسب مبدأ تشغيلها :

1. أنظمة قيادة ميكانيكية .
2. أنظمة قيادة هيدروليكية .
3. أنظمة قيادة كهربائية .
4. أنظمة قيادة مشتركة (مثل أنظمة قيادة هيدروميكانيكية) .

تصنيف أنظمة القيادة حسب درجة التحكم الآلي :

1. أنظمة قيادة غير آلية ذات تأثير مباشر .
2. أنظمة قيادة نصف آلية بتأثير غير مباشر عن بعد و تحتوي على مصدر إضافي للقدرة .
3. أنظمة قيادة آلية (أوتوماتيكية) حيث يقوم السائق بإعطاء بدء العمل و نهايته مع تعديل في شروطه حسب الطلب .

ملاحظة :

✍ لاقت أنظمة القيادة التتابعية ذات الصلة العكسية انتشاراً واسعاً لأنها تؤمن عمل العنصر المنفذ الذي يتطلب أحياناً مجهوداً كبيراً بشكل متناسب مع مجهود عنصر القيادة و حركته إضافة إلى أن الصلة الدائمة العكسية بين العنصر المنفذ و عنصر القيادة تؤمن تصحيح القيادة و إيقافها إذا لزم الأمر آلياً .

انتهى الفصل

الفصل

3

أسس حساب شد الآليات

1.3 قوة دفع جهاز (الشد) المسير

مهمة جهاز المسير :

هي تحويل عزم الدوران الواصل إلى العجلات أو مسننات تدوير السلاسل إلى حركة مستقيمة مع قوة دفع معينة .

معادلة قوة دفع أو شد العجلات :

تحدد قوة الدفع أو الشد على العجلات من العلاقة :

$$P = \frac{M}{r_d}$$

و بأخذ مجموع العزوم حول النقطة (c) يكون :

$$\sum M_c = 0$$
$$M - G_k a - T r_d = 0 \quad ; r_d \neq 0$$
$$\frac{M}{r_d} - G_k \frac{a}{r_d} - T = 0 \quad ; f = \frac{a}{r_d}$$
$$\frac{M}{r_d} = G_k f + T$$

ثم بعد التعويض ينتج :

$$P = G_k f + T \qquad ; P_f = G_k f$$
$$P = P_f + T$$

تبين العلاقة الأخيرة أن قوة الشد أو الدفع على العجلات (P) تصرف على مقاومة التدحرج (P_f) و يبقى منها قوة الشد المتبقية (T) التي تصرف للتغلب على مقاومات الآلية خلال العمل مثل :

- مقاومة العطالة (P_j) .
- مقاومة الميل (P_i) .
- مقاومة العمل المفيد (P_x) .
- مقاومة الهواء (P_w) .

حيث :

- M = عزم دوران العجلة القائدة .
- G_k = الوزن القائم على العجلة .
- a = بعد النقطة (c) عن مركز ثقل العجلة .
- r_d = نصف القطر الديناميكي للعجلة .
- f = عامل مقاومة التدحرج .

معادلات توازن القوى للعجلات

- **للعجلة القائدة :**

$$P = P_f + T$$

- **للعجلة القائدة الحرة :**

$$P = P_f$$

- **للعجلة القائدة الحيادية :**

$$P_f = P + T'$$

- **للعجلة المقادة :**

$$P_f = T'$$

- **للعجلة المقادة الكابحة :**

$$T' = P_B + P_f$$

معادلة قوة دفع أو شد السلاسل :

$$P = \frac{M}{r_s}\eta_c$$

حيث :

- M = عزم دوران المسنن القائد .
- r_s = نصف قطر المسنن القائد .
- η_c = مردود جهاز المسير على سلاسل و يأخذ بالاعتبار ضياعات الاحتكاك في السلاسل و أجزاء المسير الأخرى .

ملاحظات :

- ينخفض مردود جهاز المسير على سلاسل مع ازدياد قوة الدفع المحققة و السرعة المحيطية .
- في الحالة العامة تعطى قوة الشد أو الدفع على سلاسل بالعلاقة ($P = P_f + T$) .

معادلة قوة الشد النسبية :

قوة الشد النسبية (ψ) هي نسبة قوة الشد المتبقية (T) إلى رد الفعل الناظمي (R) أو الحمل القائم (G_k) على العجلات القائدة أو السلاسل :

$$\psi = \frac{T}{R} = \frac{T}{G_k}$$

ملاحظات :

- في الآليات التي تؤثر خلال عملها قوى ناظمية إضافية للوزن فإن رد الفعل (R) يساوي إلى الحمل القائم (G_k) على العجلات القائدة أو السلاسل .
- في الآليات التي لا تؤثر خلال عملها قوى إضافية فإن رد الفعل (R) يساوي إلى الوزن القائم الكلي (G) .
- في حالات حساب شد الآليات يؤخذ بالاعتبار رد الفعل (R) أو الحمل القائم (G_k) و ليس الوزن القائم الكلي (G) .

2.3 مقاومة التدحرج

سبب نشوء مقاومة التدحرج :

تنشأ مقاومة التدحرج نتيجة لتشوه التربة و لتشوه إطار العجلة أو السلسلة (للتعليقة المرنة) و يرافق هذا التشوه ضياعات على :

- الاحتكاك في التربة .
- الاحتكاك بين العجلة (أو جهاز المسير) و التربة نتيجة الانزلاق .
- قوى المرونة المؤثرة في إطار العجلة أو في بكرات و أجزاء المسير للسلاسل .

حيث يجري التعبير عن هذه الضياعات في قوة الدفع أو الشد بعامل مقاومة التدحرج .

العوامل التي يتعلق بها عامل مقاومة التدحرج :

1. نوع و قياس الإطار أو السلسلة .
2. شكل مداس الإطار أو الفقرات .
3. الضغط النوعي على سطح الاستناد .
4. الخواص الفيزيائية و الميكانيكية له .

ملاحظات :

- يمكن تخفيض الضغط النوعي على سطح التربة للآليات المسيرة على سلاسل و ذلك بتوزعّه المنتظم عن طريق استخدام مفاصل مرنة و زيادة أقطار بكرات الاستناد و خطوة الفقرات في السلسلة بعض الشيء .
- قطر الإطار و ضغط الهواء فيه يؤثران بشكل فعّال في عامل مقاومة التدحرج للآليات المسيرة على عجلات لأنه يتعلق بهما الضغط النوعي على سطح التماس و طبيعة توزعّه .
- زيادة قطر الإطار تؤدي إلى انخفاض في عامل مقاومة التدحرج .
- زيادة ضغط الهواء في الإطار الذي يتدحرج على أرض رخوة تؤدي إلى زيادة في عامل مقاومة التدحرج لأن مقاومة التربة للتشوه تزداد نتيجة لقوى الضغط النوعية الكبيرة التي تتعرض لها .
- انخفاض ضغط الهواء في الإطار الذي يتدحرج على أرض صلبة تؤدي إلى زيادة في عامل مقاومة التدحرج لأن تشوه الإطار المرن يزداد نتيجة لقوى الضغط النوعية الكبيرة التي يتعرض لها .
- التشوه الناتج في سطح التربة يؤدي إلى مقاومة تدحرج أكبر نسبياً بالمقارنة مع التشوه الحاصل في الإطار .
- تنخفض المقاومة النوعية للإزاحة مع ازدياد رطوبة التربة .
- ينخفض عامل مقاومة التدحرج للآليات على عجلات التي تحتوي على محورين أو أكثر بمقدار (40 – 70 %) لعجلات المحاور الخلفية بالنسبة للأمامية عند العمل في أرض رخوة لأن العجلات الخلفية تتدحرج على آثار العجلات الأمامية المرصوصة .

3.3 تماسك العجلات و السلاسل و انزلاقها على سطح التربة

معادلة عامل التماسك :

عامل التماسك (φ) هو نسبة قوة الشد العظمى (T_φ) الممكن تحقيقها من حدود التماسك إلى رد الفعل الناظمي (R) أو الحمل القائم (G_k) على العجلات أو السلاسل :

$$\varphi = \frac{T_\varphi}{R} = \frac{T_\varphi}{G_k}$$

حيث تعبر القوة (T_φ) عن قوة التماسك العظمى التي تؤمنها سطوح التماس و هي في حالة انزلاق تام .

العوامل التي يتعلق بها عامل التماسك :

1. حالة و نوعية التربة و رطوبتها .
2. ضغط الهواء في العجلات .
3. شكل العجلات و السلاسل و نوع مداسها .

معادلة عامل الانزلاق النسبي :

$$\delta = \frac{\vartheta_t - \vartheta_f}{\vartheta_t} \Rightarrow \vartheta_f = \vartheta_t(1-\delta)$$

حيث :

- ϑ_t = سرعة الحركة النظرية .
- ϑ_f = سرعة الحركة الفعلية .

العوامل التي يتعلق بها عامل الانزلاق النسبي :

1. نوع التربة و رطوبتها أو سطح الطريق .
2. نوع الإطار و شكله و ضغط الهواء فيه .
3. قوة الشد التي تحققها الآلية .

ملاحظات :

- بينت التجارب أن استخدام إطارات ذات ضغط منخفض أفضل في التربة الرخوة لأن سطح التماسك يزداد و لا ينخفض عامل التماسك في مجال واسع عند ازدياد رطوبة التربة كما لو كان ضغط الإطار مرتفعاً إضافة إلى أن عامل مقاومة التدحرج لهذه الحالة يكون منخفضاً .
- عندما تملأ مواد التربة الأخاديد على سطح الإطار فإن التماسك ينخفض و يزداد الانزلاق .
- يكون عادة عامل تماسك السلاسل أكبر من عامل تماسك العجلات ، حيث كلما كانت فقرات السلسة ملتصقة بالتربة (كما في التعليقة المرنة حيث تأخذ السلسة شكل تعرجات سطح الطريق) كلما كان عامل التماسك أكبر .

4.3 خاصية شد جهاز المسير

معادلة مردود جهاز المسير :

مردود جهاز المسير (η_k) هو نسبة الاستطاعة الواصلة إليه (N_T) إلى استطاعة الشد (N) :

$$\eta_k = \frac{N_T}{N} = \frac{T\vartheta_f}{P\vartheta_t}$$

حيث :

- ϑ_t = سرعة الحركة النظرية .
- ϑ_f = سرعة الحركة الفعلية .
- T = قوة الشد المتبقية .
- P = قوة الشد على العجلات أو السلاسل .

معادلتي مردودي القوة و السرعة :

من علاقة مردود جهاز المسير نجد :

$$\eta_k = \frac{T}{P} \cdot \frac{\vartheta_f}{\vartheta_t} = \eta_P . \eta_\vartheta$$

أي أن مردود القوة يساوي إلى :

$$\eta_P = \frac{T}{P} = \frac{P - P_f}{P} = 1 - \frac{P_f}{P}$$

و هذا المردود يأخذ بالاعتبار الضياع الحاصل في مقاومة التدحرج .

أمّا مردود السرعة فيساوي إلى :

$$\eta_\vartheta = \frac{\vartheta_f}{\vartheta_t} = \frac{\vartheta_t(1-\delta)}{\vartheta_t} = 1 - \delta$$

و يسمى أحياناً هذا المردود بالسرعة النسبية (v) :

$$\eta_\vartheta = v = 1 - \delta$$

و هذا المردود يأخذ بالاعتبار الضياع الحاصل في السرعة نتيجة الانزلاق المرافق للحركة .

معادلة توازن الاستطاعة لجهاز المسير :

إذا كانت معادلة توازن الشد لجهاز المسير هي :

$$P = P_f + T$$

فإن معادلة توازن الاستطاعة له تكون :

$$N = N_f + N_T + N_\delta$$

حيث :

- N_f = الاستطاعة اللازمة للتغلب على قوة مقاومة التدحرج :

$$N_f = \frac{P_f \vartheta_f}{270}$$

- N_T = استطاعة الشد المستفاد منها للتغلب على مقاومات العمل :

$$N_T = \frac{T\vartheta_f}{270}$$

- N_δ = الاستطاعة الضائعة على انزلاق العجلات أو السلاسل :

$$N_\delta = \frac{P(\vartheta_t - \vartheta_f)}{270}$$

أما الواحدات : (N) بـ [hp] و (ϑ) بـ [km/h] و (P, T) بـ [kp] .

5.3 التوازن الدفعي في الآليات

أنظمة العمل الأساسية :

1. نظام الشد .
2. نظام النقل .

مقارنة بين نظامي الشد و النقل :

نظام الشد :

- في نظام الشد تعمل آليات الطرق على حفر التربة بأشكال مختلفة مع حركة المسير مثل البلدوزر .
- في نظام الشد يجب أن تتصف الآلية بخصائص شد جيدة .

نظام النقل :

- في نظام النقل تعمل آليات الطرق على الانتقال بسرعات مختلفة مع نقل حمولات معينة مثل السكرير .
- في نظام النقل يجب أن تتصف الآلية بخصائص سرعة جيدة .

ملاحظات :

- ترتبط فعالية نظام الشد بتحقيق قوة شد عالية مناسبة للعمل بسرعات منخفضة و بمردود عالٍ .
- ترتبط فعالية نظام النقل بتحقيق سرعات عالية مناسبة للعمل و بمردود عالٍ .

العوامل التي يتعلق بها نظامي الشد والنقل :

1. تناسب مؤشرات المحرك و جملة التوصيل و أجهزة المسير .
2. وزن الآلية و الحمولة .
3. خصائص الاستقرار و المرورية و المناورة خلال العمل أو المسير .
4. الاختيار و التصميم الصحيح لكل من المحرك و جملة التوصيل و أجهزة المسير .

معادلة مجموع المقاومات للآليات العاملة على نظام الشد :

$$\sum W_T = W_f \pm W_i + W_j + W_x$$

معادلة مجموع المقاومات للآليات العاملة على نظام النقل :

$$\sum W_{tr} = W_f \pm W_i + W_j + W_w$$

شرح المعادلتين السابقتين :

(W_f) مقاومة التدحرج :

$$W_f = f \sum R = f\, G . cos\alpha$$

حيث :

- f = عامل مقاومة التدحرج .
- $\sum R$ = ردود أفعال الطريق أو التربة على السلاسل أو العجلات (القائدة و المقادة) .
- G = وزن الآلية المتحركة (مع الحمولة إن وجدت) .
- α = زاوية ميل مكان العمل عن الأفق .

(W_i) مقاومة الميل :

$$W_i = \pm G . sin\alpha$$

حيث :

- G = وزن الآلية المتحركة (مع الحمولة إن وجدت) .
- α = زاوية ميل مكان العمل عن الأفق .

(W_j) مقاومة العطالة :

$$W_j = \frac{\chi}{g}\, G\, \frac{d\vartheta_f}{dt}$$

حيث :

- $\frac{d\,\vartheta_f}{dt}$ = تسارع حركة الآلية ، [m/s^2] .
- g = تسارع الجاذبية الأرضية ، [$9{,}81\ m/s^2$] .
- G = وزن الآلية المتحركة ، [kg] .
- χ = عامل يأخذ بالاعتبار عطالة الكتل الدوارة في جملة الحركة المحولة إلى كتلة الآلية المتحركة و يحدد من العلاقة :

$$\chi = \frac{\frac{G}{g} + \frac{1}{r^2}\sum I_i\, i_i^2\, \eta_i + \frac{G_t}{g}}{\frac{G}{g}}$$

حيث أيضاً :

- I_i = عطالة دوران الكتلة i ($i = 1,2,3 \dots$ حذافة المحرك و عناصر جملة التوصيل و العجلات إن وجدت) ، [$kg.s^2$] .
- i = نسبة نقل الحركة من الكتلة (i) حتى العجلة أو السلسلة .
- η_i = مردود نقل الحركة من الكتلة (i) حتى العجلة أو السلسلة .
- G_t = وزن السلسة (إن وجدت) ، [kg] .
- r = نصف القطر الديناميكي للعجلة أو نصف قطر مسنن تدوير السلسلة ، [m] .

(W_x) مقاومة العمل المفيد :

للتنبيه فقط لم يُذكر أي علاقة تعبر عن مقاومة العمل المفيد .

(W_w) مقاومة الهواء :

$$W_w = \frac{K_w\, F\, \vartheta_f^2}{3{,}6^{\,2}}$$

حيث :

- K_w = عامل الانسياب و يعبر عن مقاومة الهواء لكل [m^2] من واجهة الآلية عند حركة الآلية بسرعة [$1\ m/s$] .
- F = سطح واجهة الآلية المعرضة للهواء ، [m^2] .
- ϑ_f = سرعة الحركة الفعلية ، [km/h] .

معادلة توازن الاستطاعة للآليات ذات جمل التوصيل الميكانيكية :

$$N = N'_e\, \eta_{TR}\, \eta_c$$

حيث :

- N'_e = استطاعة المحرك المنقولة إلى جملة التوصيل .
- η_{TR} = مردود نقل جملة التوصيل .
- η_c = مردود نقل السلاسل .

معادلة توازن الاستطاعة للآليات ذات جمل التوصيل الهيدروليكية :

$$N = N_t\, \eta_{TR}\, \eta_c$$

حيث :

- N_t = استطاعة التوربين المنقولة إلى جملة التوصيل .
- η_{TR} = مردود نقل جملة التوصيل .
- η_c = مردود نقل السلاسل .

معادلة توازن الاستطاعة للآليات العاملة على نظام الشد :

$$N = N_f \pm N_i + N_j + N_x + N_\delta$$

أي أنّ الاستطاعة الواصلة إلى العجلات أو السلاسل (N) تصرف على :

- N_f = الاستطاعة اللازمة للتغلب على مقاومة التدحرج :

$$N_f = \frac{W_f \vartheta_f}{270}$$

- N_i = الاستطاعة اللازمة للتغلب على مقاومة الميل :

$$N_i = \frac{W_i \vartheta_f}{270}$$

- N_j = الاستطاعة اللازمة للتغلب على مقاومة العطالة :

$$N_j = \frac{W_j \vartheta_f}{270}$$

- N_x = الاستطاعة اللازمة للتغلب على مقاومة التدحرج :

$$N_x = \frac{W_x \vartheta_f}{270}$$

- N_δ = الاستطاعة الضائعة على انزلاق العجلات أو السلاسل :

$$N_\delta = \frac{P(\vartheta_t - \vartheta_f)}{270}$$

أما الواحدات : (N) بـ [hp] و (ϑ) بـ [km/h] و (P, W) بـ [kp] .

معادلة توازن الاستطاعة للآليات العاملة على نظام النقل :

$$N = N_f \pm N_i + N_j + N_w + N_\delta$$

أي أنّ الاستطاعة الواصلة إلى العجلات أو السلاسل (N) تصرف على :

- N_f = الاستطاعة اللازمة للتغلب على مقاومة التدحرج :

$$N_f = \frac{W_f \vartheta_f}{270}$$

- N_i = الاستطاعة اللازمة للتغلب على مقاومة الميل :

$$N_i = \frac{W_i \vartheta_f}{270}$$

- N_j = الاستطاعة اللازمة للتغلب على مقاومة العطالة :

$$N_j = \frac{W_j \vartheta_f}{270}$$

- N_w = الاستطاعة اللازمة للتغلب على مقاومة الهواء :

$$N_w = \frac{W_w \vartheta_f}{270}$$

- N_δ = الاستطاعة الضائعة على انزلاق العجلات أو السلاسل :

$$N_\delta = \frac{P(\vartheta_t - \vartheta_f)}{270}$$

أما الواحدات : (N) بـ [hp] و (ϑ) بـ [km/h] و (P, W) بـ [kp] .

ملاحظة :

عندما تسير الآلية على سرعات عالية يمكن اعتبار ($\vartheta_t \simeq \vartheta_f$) و بالتالي يكون ($N_\delta \simeq 0$) لأن الانزلاق في هذه الحالة يكون صغيراً جداً و يمكن إهماله .

6.3 تحديد ردود الفعل الناظمية على العجلات أو السلاسل

القوى المؤثرة في آلية جرف التربة خلال العمل :

1. وزن الجرار (G) .
2. مقاومة العطالة (P_j) .
3. مقاومة التدحرج (P_f) .
4. قوة الشد على السلاسل (P) .
5. مقاومة العمل المفيد (P_x , P_z) .

6. رد الفعل الناظمي (R_z) .

القوى المؤثرة في آلية غرف التربة خلال المسير :

1. وزن الآلية (G) .
2. وزن الحمولة (Q) إن وجدت .
3. مقاومة العطالة (P_j) .
4. مقاومة التدحرج (P_{f_1} , P_{f_2}) .
5. قوة الشد على العجلات (P_1 , P_2) .
6. قوة الريح (P_w) إذا كانت السرعة أكثر من [$50\ km/h$] .
7. قوة إضافية لشد مقطورة ما (P_k) إن وجدت .
8. ردود الفعل الناظمية (R_{z_1} , R_{z_2}) .
9. عزم مقاومة التدحرج (M_{f_1} , M_{f_2}) .

القوى المؤثرة في آلية قشط التربة خلال العمل :

1. وزن الجرار (G) .
2. وزن الحمولة في السطل (Q) .
3. وزن السكريبر (G_c) .
4. مقاومة العمل المفيد (P_x , P_z) .
5. مقاومة التدحرج (P_{f_1} , P_{f_2}) .
6. ردود الفعل الناظمية (R_{z_1} , R_{z_2}) .
7. قوة الشد على العجلات (P) .
8. قوة إضافية لقشط التربة و ملء السطل (P_T) .
9. عزم مقاومة التدحرج (M_{f_1} , M_{f_2}) .

7.3 خصائص الشد و السرعة للآليات

المؤشرات الخارجية للآلية التي يمكن بيانها في خصائص الشد :

1. عامل الانزلاق (δ) .
2. السرعة الفعلية للحركة (ϑ_f) .
3. استطاعة الشد (N_T) .
4. مردود الشد (η_T).
5. الاستهلاك الساعي للوقود (G_T) .
6. الاستهلاك النوعي للوقود (g_T) .

المؤشرات الخارجية للآلية التي يمكن بيانها في خصائص السرعة :

1. قوة الشد على العجلات أو السلاسل (P) .
2. الاستهلاك الساعي للوقود (G_ϑ) .
3. الاستهلاك النوعي للوقود (g_ϑ) .
4. استطاعة المحرك المستهلكة (N_e) .
5. السرعة النظرية للحركة (ϑ_t) .

8.3 رسم خصائص الشد و السرعة للآليات

المعطيات الواجب توافرها في رسم خصائص الشد والسرعة للآليات :

1. عمل المحرك و بالتحديد خصائص السرعة و الحمل مع المنظم (لجمل التوصيل الميكانيكية) .
2. خصائص عمل المحرك المشترك مع محول العزم الخارجية (لجمل التوصيل الهيدروديناميكية) .
3. نسب النقل و مردود الحركة حتى العجلات أو السلاسل لكل سرعة .
4. معطيات جهاز الشد أو المسير (للسلاسل : نصف قطر مسنن تدوير السلسلة و مردود نقل السلسلة ، و للعجلات : قياس العجلات و نوعها و ضغط الاطار و توضع العجلات القائدة) .
5. ردود الفعل الناظمية على السلسلة أو على العجلات القائدة أو على العجلات العامة .
6. نوع التربة و حالتها و رطوبتها .

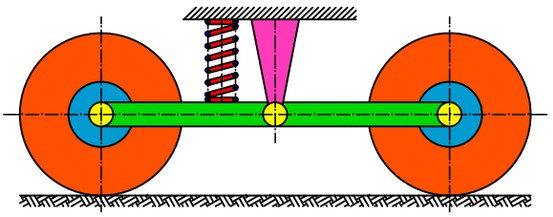
انتهى الفصل

الفصل

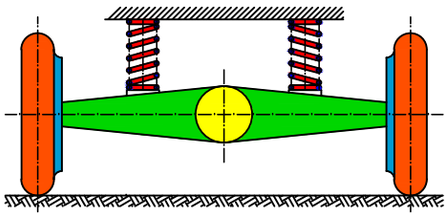
4

ملحق الرسوم البيانية

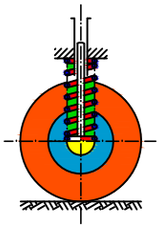
1.4 مخططات تصميمية للتعليقة في الآليات على عجلات



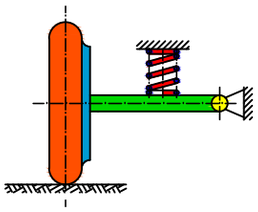
تعليقة توازنية غير مستقلة



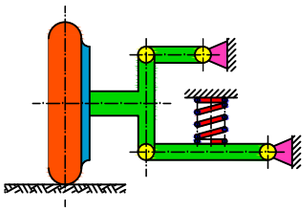
تعليقة محورية غير مستقلة



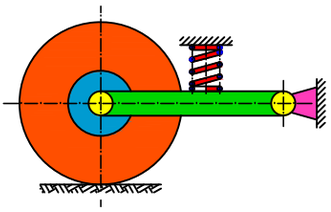
تعليقة مستقلة بدون أذرع



تعليقة مستقلة بدون أذرع
(الوصل عرضاني)

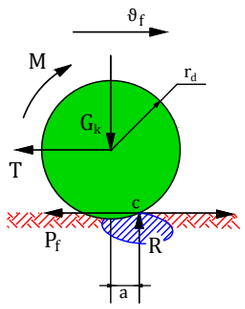


تعليقة مستقلة بذراعين
(الوصل عرضاني)

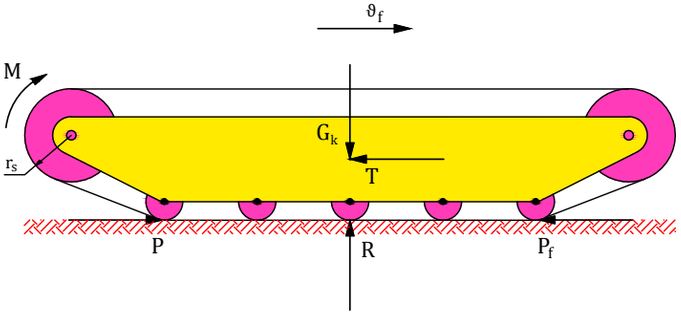


تعليقة مستقلة بأذرع طولانية
(الوصل طولاني)

2.4 مخططات قوة الدفع أو الشد للعجلات و السلاسل

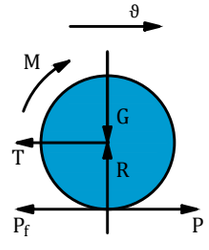


حركة العجلة القائدة مع القوى المؤثرة لآلية على عجلات

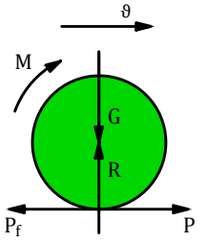


حركة جهاز المسير مع القوى المؤثرة لآلية على سلاسل

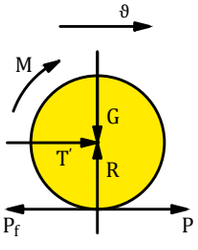
3.4 مخططات حركة العجلة مع القوى المؤثرة لأنظمة عملها المختلفة



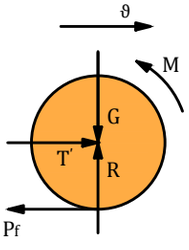
العجلة القائدة



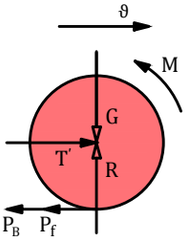
العجلة القائدة الحرة



العجلة القائدة الحيادية



العجلة المقادة



العجلة المقادة الكابحة

4.4 رموز بعض تجهيزات الدارات الهيدروليكية و عناصرها حسب النظام الأوربي