طرق الإنشاء

إعداد

د. عبدالأمير عطاالله كريم

د. يوسف جبار

2023 - 2024

المصادر:

1. R. L. **PEURIFOY,** C. J. **SCHEXNAYDER,** R. L. SHMITT and A. SHAPIRA "Construction Planning, Equipment, and Methods"

- تخطيط ومعدات وطرق الإنشاء, ترجمة محمد أيوب صبري العزي

2. D. D. GRANSBERG, C. M. POPESCU and C. RYAN, "Construction Equipment Management for Engineers, Estimators, and Owners"

3. S. W. NUNNALLY "Construction Methods and Management"

مفردات المنهج:

1) الكلف المالية للمعدات الأنشائية
2) الأسس الهندسية لعمل وتشغيل للمعدات الأنشائية
3) معدات ترسيخ و حدل التربة
4) الجرارات ومعدات قشط ونقل التربة
5) معدات حفر التربة
6) تصميم قوالب المنشئات الخرسانية
7) معدات إنتاج الخرسانة

الفصل الأول

الكلف المالية للمعدات الأنشائية

المكائن في المشاريع الهندسية:

- يعد استخدام المكائن والمعدات امرا أساسيا في نجاح تنفيذ المشاريع الهندسية.
- في المشاريع الكبيرة مثل الطرق والسدود فأن الإنتاج الفعلي يكون للآليات في حين يقتصر دور العمال على تشغيل وصيانة وإدارة تلك الآليات.
- لذا فأن اختيار المكائن المناسبة والاقتصادية امر أساسي لضمان ان يكون المشروع مربحا.
- ان عملية شراء وتشغيل أي ماكنة هي عملية استثمار للأموال.
- لذا يجب ان يغطي انتاج الماكنة خلال فترة استخدامها المبالغ التي تخصص لها مع أرباح مناسبة.

الكلف المالية للمعدات:

- تعد كلف المكائن من اكبر فقرات الأنفاق المالي للمقاول في كثير من المشاريع.
- لأجل ان يكون شراء ماكنة اختيارا صائبا يجب على المقاول معرفة ما يلي:

1. كم سيكلف إمتلاك و تشغيل الماكنة في المشروع.
2. ما هو افضل عمر اقتصادي لها وما هي الطريقة المثلى لأدامتها.

- السؤال الأول أساسي لغرض تسعير العمل والتخطيط لفعالياته, حيث يرتبط بتحديد كلف العمل بالماكنة الإنتاجية.
- هذه الكلف تسمى كلفة الامتلاك والتشغيل ((O&O Cost(Ownership & Operating Costs)
- كلفة الامتلاك والتشغيل (O&O Cost) تقاس بالكلفة لكل ساعة عمل, مثلا (ID/h, $/h)

- مثلا: اذا كانت مجرفة جرار تدفع تربة بإنتاجية مقدارها 200 m^3/hr وان كلفة امتلاك وتشغيل المجرفة هي 90$/h فان كلفة العمل للمتر المكعب الواحد ستكون:

$$\text{Cost per unit} = \frac{90\ \$/h}{200\ m^3/h}$$

$$= 0.45\ \$/m^3$$

- ان استخدام مقدار الكلفة لكل وحدة انتاج (cost per production unit) يُمَكن من تحديد الكلفة الكلية للعمل والتي ستساوي:

$$\text{Total cost} = \text{Cost per unit} \times \text{Total quantity}$$

- يهدف السؤال الثاني (ما هو افضل عمر اقتصادي للماكنة وما هي الطريقة المثلى لأدامتها) الى تحديد الوقت الأمثل لإستبدال الماكنة والطريقة المثلى لتأمين بقاء انتاجيتها.
- هذا السؤال يتعلق بموضوع يسمى تحليل الاستبدال (Replacement Analysis)
- للوصول الى تحليل متكامل يجب ان يتم المقارنة مع كلف إستئجار ماكنة او إحالة الاعمال الخاصة بها الى مقاولة ثانوية.

بيانات عمل المكائن:

- لغرض اتخاذ القرار الصحيح فيما يخص شراء او استئجار ماكنة في مشروع ما, يجب ان تتوفر معلومات عن عمل وانتاجية وكلف تشغيل وصيانة الماكنة في مشاريع مشابهة سابقة.
- لتوفير هذه المعلومات لغرض الاستفادة منها في المشاريع المستقبلية يجب ان يتم عمل سجل لكل ماكنة.
- هذا السجل يتضمن جدول زمني لإنتاجيتها والكلف المترتبة على استخدامها.

أنواع المعدات:

أولا- من الناحية التجارية:

- يقصد به تقسيم المعدات بناءا على سوق الانتاج والبيع والشراء.
- يمكن تقسيم المعدات بهذا الخصوص الى:

A. المعدات القياسية

B. المعدات الخاصة

A. المعدات القياسية Standard Equipment :

وهي المعدات التي تنتج بأعداد كبيرة وتستخدم بشكل واسع لأعمال مختلفة وتتميز بما يلي:

1) مألوفة الاستخدام مما يعني توفر المشغلين وفنيي الصيانة.

2) توفر الادوات الاحتياطية لها بسهولة في الأسواق.

3) سهولة بيعها بعد الانتهاء من استخدامها وبأسعار مقبولة لوجود طلب على شرائها.

4) هناك تنافس مستمر بين المنتجين لذا تكون أسعارها معتدلة.

B. المعدات الخاصة Special Equipment :

وهي المعدات التي تستخدم للقيام بنوع معين من الاعمال مثل الحفارات الكبيرة جدا.

من سلبيات هذه المعدات ما يلي:

1) صعوبة الحصول عليها لعدم انتاجها بأعداد كبيرة وعدم توفرها.
2) غير مألوفة الاستخدام مما يعني قلة توفر الكادر المتخصص بالتشغيل والصيانة.
3) عدم توفر ادواتها الاحتياطية.
4) ينحصر انتاجها بمصانع قليلة لذا تكون اسعار شراءها عالية جدا لعدم وجود تنافس.
5) صعوبة بيعها بعد الانتهاء من استعمالها لقلة الحاجة لأستخدامها.

أسباب استعمال المعدات الخاصة:

1. عندما لايمكن انجاز العمل باستخدام المكائن القياسية.
2. عندما تكون كلفة إنجاز العمل باستخدام المعدات الخاصة أقل من كلفة إنجازه بالمعدات القياسية.
3. عندما يكون الوقت هو العامل الأهم (العامل الحاكم) في إنجاز العمل بغض النظر عن الكلفة.

المثال التالي يوضح أسلوب دراسة الكلفة لإختيار الماكنة المناسبة لتنفيذ العمل

- مثال/ في مشروع لإنشاء سد خرساني كان من المطلوب نقل 2,000,000 طن من الصخور المكسرة الى موقع العمل. يوجد اسلوبين لإنجاز العمل:

1. الأسلوب الأول: استعمال المكائن القياسية وذلك باستخدام الشاحنات لنقل الصخور من المقلع. هذا الخيار يتضمن الكلف التالية:

a) انشاء طريق بكلفة $ 120,000

b) كلفة نقل الطن الواحد بالشاحنات 1.8 $/ton

2. الأسلوب الثاني: استخدام حزام لنقل الصخور بدلا من الشاحنات. ويتضمن الكلف التالية

a) كلفة شراء ونصب الحزام $ 640,000 وبعد انتهاء العمل من الممكن بيعه بمبلغ $ 60,000

b) كلفة تشغيل الحزام وتشمل الصيانة والكهرباء والأيدي العاملة 1.5 $/ton

الحل:

1. باستخدام الشاحنات:

كلفة الطريق = 120,000 $

كلفة النقل = 2,000,000 × 1.8 = 3,600,000 $

الكلفة الكلية في حالة استخدام الشاحنات = 120,000 + 3,600,000 = 3,720,000 $

كلفة نقل الطن الواحد = $\frac{3,720,000}{2,000,000}$ = 1.86 $/ton

2. باستخدام الحزام الناقل:

كلفة الاندثار للحزام = كلفة الشراء – كلفة البيع بعد الاستعمال (مبلغ الاسترداد)

كلفة اندثار الحزام = 640,000 - 60,000 = 580,000 $

كلفة النقل = 2,000,000 ×1.5 = 3,000,000 $

الكلفة الكلية في حالة استخدام الحزام الناقل = 580,000 + 3,000,000 = 3,580,000$

كلفة نقل الطن الواحد = $\frac{3,580,000}{2,000,000}$ = 1.79 $/ton

- في هذه الحالة فان استخدام المعدات الخاصة وهي الحزام الناقل يكون اكثر اقتصاديا من استعمال المعدات القياسية وهي الشاحنات.

ثانيا – من الناحية الفنية والأداء:

I. حسب نوع الطاقة المستعملة:

1) اليات تعمل بالبنزين: المعدات الصغيرة والمتوسطة

2) اليات تعمل بالديزل: المعدات المتوسطة والكبيرة

3) اليات تعمل بالطاقة الكهربائية: مثل الرافعات البوابية

II. بناء على طريقة الحركة:

1) اليات مركبة على عجلات (مدولبة).

2) اليات مركبة على سرفة معدنية (مجنزرة).

3) اليات تتحرك على سكة حديد.

III. حسب مصدر الحركة:

1) معدات ذاتية التشغيل

2) معدات مسحوبة (مقطورة)

الكلف المالية للمكائن والمعدات الإنشائية:

- يتعامل المنفذ مع الآليات ضمن إحدى الحالات التالية:

1. امتلاك الآلية
2. تأجير الألية
3. إحالة العمل الى مقاولة ثانوية

كلفة امتلاك وتشغيل المكائن والمعدات الإنشائية:

- ويقصد به حساب تكاليف استخدام المعدات لتنفيذ فعاليات المشروع لمعدة تم امتلاكها بالشراء
- يستفاد من ذلك في تقدير الكلفة المتولدة من استخدام هذا النوع من المعدات في تنفيذ وحدة انتاجية واحدة من كل فعالية من فعاليات المشروع
- يضاف الى تلك الكلفة المبالغ التي يتم صرفها في استخدام بقية المصادر مثل العمال والمواد.
- الناتج من جمع الكلف سيمثل الكلفة الكلية المطلوبة (الكلفة المباشرة) لتنفيذ وحدة إنتاجية واحدة من الفعالية.

- توجد عدة طرق لإيجاد كلفة امتلاك وتشغيل ماكنة انشائية.
- لكن الكلفة الفعلية تعتمد على ظروف العمل وحالة الماكنة.
- للحصول على حسابات قريبة من الواقع لماكنة ما يجب ان تتوفر سجلات مفصلة ودقيقة عن مكائن انشائية مماثلة استعملت سابقا.

كلفة إمتلاك المعدات:

- تتألف كلفة إمتلاك المعدات من الفقرات التالية:

1. الكلفة الابتدائية (Initial Cost)
2. الاندثار (Depreciation)
3. الاستثمار او الفائدة (Investment or Interest)
4. كلفة الضمان (Insurance)
5. الضرائب (Taxes)
6. كلفة الخزن (Storage)

1. الكلفة الابتدائية (Initial Cost):

- تشكل الكلفة الابتدائية كمعدل 25% من الكلفة الكلية المستثمرة خلال العمر النافع للماكنة.
- الكثير من كلف الإمتلاك والتشغيل يتم حسابها اعتمادا على الكلفة الابتدائية.
- هذه الكلفة بالإمكان حسابها عادة بشكل دقيق.
- تتألف الكلفة الإبتدائية من العناصر التالية:

a) السعر في المعمل + الملحقات + ضريبة البيع.

b) كلفة النقل

c) كلفة التجميع والتركيب.

2. الاندثار Depreciation:

- الاندثار هو الانخفاض بالقيمة السوقية للماكنة بسبب العمر والتآكل والتدهور والتقادم.
- ويمثل مقدار ما تفقده الماكنة من قيمتها المالية نتيجة الاستعمال او مرور الزمن.

الاندثار الكلي = كلفة شراء الماكنة – كلفة بيعها بعد الاستعمال

- يمكن حساب الاندثار السنوي للماكنة باستخدام الطرق التالية:

1. طريقة الخط المستقيم
2. طريقة موازنة الانخفاض
3. طريقة جمع ارقام السنوات

1. طريقة الخط المستقيم Straight-Line Depreciation:

- في هذه الطريقة يتم افتراض ان قيمة الماكنة تنخفض بمرور الزمن بمعدل ثابت عن قيمتها الأصلية.
- يتم حساب كلفة الاندثار السنوية كما يلي:

The total depreciation, D = Purchase Expense (initial cost) – Salvage Value

Annual depreciation, $D_n = D / N$

Depreciation Rate, Rn = 1/N where N is the number of years

الاندثار الكلي (Depreciation) = كلفة الشراء – مبلغ البيع بعد الاستعمال

مبلغ الاندثار السنوي (Annual) = الاندثار الكلي ÷ عدد سنوات الاشتغال

- كلفة الشراء (Purchase Expense) : وتشمل سعر الماكنة من المعمل مضافا اليه كلفة نقل ونصب الماكنة.
- مبلغ الاسترداد (Salvage Value) : ويقصد به السعر الذي تباع به الماكنة بعد استعمالها.

- يمكن ايضا ان يتم حساب معدل الاندثار لعمر الماكنة بالأشهر او الأسابيع او الأيام او الساعات.
- مثال: كلفة شراء ماكنة Purchase Expense = 12000 $
- العمر النافع لها 5 سنوات وأن عدد ساعات التشغيل في السنة الواحدة = 2000 ساعة
- قيمة الاسترداد لها بعد العمر النافع Salvage Value = 3000 $
- قيمة الاندثار تحسب كما يلي:

Total depreciation, D = 12000 – 3000 = 9000 $

Annual depreciation, D_n = D / N = 9000/5 = 1800 $/year

Depreciation per hour = 1800 / 2000 = 0.9 $/h

القيمة الدفترية للماكنة Book Value:

- وتساوي قيمة الماكنة في نهاية أي سنة خلال عمرها النافع.
- ويتم حسابها من طرح مجموع مبالغ الاندثار للسنوات السابقة من الكلفة الأصلية للماكنة.
- تحسب القيمة الدفترية في السنة n من المعادلة التالية:

$$BV_n = IC - \sum_{i=1}^{n} D_i$$

where:

BV_n: is the book value of the machine at year n

IC : is the initial cost (Purchase Expense) of the machine

D_i : is the depreciation at year i

2. طريقة موازنة الأنخفاض أو طريقة القيمة المضاعفة
Double-Declining Balance Depreciation

- في هذه الطريقة تتناسب قيمة الأندثار في كل سنة مع القيمة الدفترية للماكنة في نهاية السنة السابقة.
- لذا فان قيمة الأندثار في اي سنة تكون اقل من السنة السابقة.
- حيث تكون قيمة الأندثار في السنوات الأولى من العمر النافع للماكنة اكبر من الأندثار في السنوات التالية.
- معدل الأندثار حسب هذه الطريقة هو $R = \frac{2}{N}$ حيث N هو عدد سنوات العمر النافع للماكنة.
- تحسب قيمة الأندثار حسب هذه الطريقة من المعادلة التالية:

$$D_n = \frac{2}{N} BV_{n-1}$$

where:

D_n: is the depreciation at year n

N : is the useful life of the machine

BV_{n-1}: the book value at year $n-1$ (Note: BV_{n-1} must be $\geq S$)

in which S : is the salvage value

مثال: احسب الأندثاروالقيمة الدفترية في كل سنة من العمر النافع لماكنة بطريقة موازنة الأنخفاض اذا كان:

كلفة الشراء (القيمة الأبتدائية) = 160,000 $

العمر النافع = 8 سنوات

قيمة الأسترداد = 40,000 $

الحل: الأندثار السنوي

$$D_n = \frac{2}{N} BV_{n-1} = D_n = \frac{2}{8} BV_{n-1}$$
$$= 0.25\ BV_{n-1}$$

year n	$D_n = 0.25\ BV_{n-1}$ ($)	BV_n ($)
0	0	160,000
1	40,000	120,000
2	30,000	90,000
3	22,500	67,500
4	16,750	50,250
5	12,562.5 50,250 – 40,000 = 10,250	37,687.5 40,000
6	0	40,000
7	0	40,000
8	0	40,000

ملاحظة:

1) في طريقة موازنة الأنخفاض لم يتم طرح قيمة الأسترداد من الكلفة الأبتدائية عند حساب الأندثار.
2) ان القيمة الدفترية لأي سنة خلال العمر النافع يجب ان لاتقل عن قيمة الأسترداد للماكنة.
3) في حالة كون القيمة الدفترية المحسوبة عند سنة ما اقل من قيمة الأسترداد يجب تعديلها لتساوي قيمة الأسترداد, وتعديل مبلغ الأندثار لتلك السنة ليساوي الفرق بين القيمة الدفترية للسنة السابقة وقيمة الأسترداد.
4) مبلغ الأندثار لبقية السنوات يصبح مساويا للصفر.

3. طريقة جمع أرقام السنوات Sum-of-Years'-Digits Depreciation:

- في هذه الطريقة يتم جمع كل ارقام سنوات العمر النافع للماكنة $\sum_{i=1}^{N} i = 1 + 2 + \ ... + N$
- يتم ايجاد مبلغ الأندثار الكلي والذي يساوي $D = IC\ - S$
- معدل الأندثار في اي سنة يساوي $\frac{N+1-n}{\sum_{i=1}^{n} i}$
- مبلغ الأندثار في أي سنة يحسب من المعادلة التالية: $D_n = \frac{N+1-n}{\sum_{i=1}^{N} i}(IC\ - S)$

- Note that the sum of digits of N years can be found by:

$$\sum_{i=1}^{N} i\ = N \times \frac{1+N}{2}$$

مثال: احسب الأندثاروالقيمة الدفترية في كل سنة من العمر النافع لماكنة بطريقة جمع أرقام السنوات اذا كان:

كلفة الشراء (القيمة الأبتدائية) = 132,000 $, العمر النافع = 7 سنوات, قيمة الأسترداد = 18,000 $

الحل:

- مجموع ارقام السنوات: $\sum_{i=1}^{n} i = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 = 28$
- الأندثار الكلي : $D = IC - S = 132,000 - 18,000 = 114,000\ \$$

مبلغ الأندثار في أي سنة n: $D_n = \frac{N+1-n}{\sum_{i=1}^{n} i}(IC - S) = \frac{8-n}{28}(114,000)$

year, n	$D_n = \frac{8-n}{28}(114{,}000)$ ($)	BV_n ($)
0	0	132,000
1	28,500	103,500
2	24,429	79,071
3	20,357	58,714
4	16,286	42,428
5	12,214	30,214
6	8,143	22,071
7	4,071	18,000

3. كلفة الأستثمار INVESTMENT (OR INTEREST) COST:

- يقصد بكلفة الأستثمار هو مبلغ الفوائد المصرفية السنوية التي كان من الممكن الحصول عليها من ادخار قيمة الماكنة اذا لم يتم شرائها.
- كذلك يمكن ان تكون مساوية لمجموع الفوائد السنوية الواجب دفعها اذا كان مبلغ شراء الماكنة قد تم اقتراضه.
- ان قيمة ما يفقده مالك الماكنة يعتمد على القيمة الأصلية للماكنة عند شرائها.
- ففي السنة الأولى لشراء الماكنة تتناسب كلفة الأستثمار مع القيمة الأبتدائية للماكنة.
- تضاف لتلك الكلفة كلفة استثمار للسنة التالية من عمر الماكنة والتي بدورها تتناسب مع القيمة الدفترية للماكنة في تلك السنة. وهكذا لجميع سنوات عمر الماكنة.
- لذا فأن كلفة الأستثمار تعتمد على معدل قيمة الماكنة خلال عمرها النافع.

- يحسب معدل قيمة الماكنة من المعادلة التالية:

$$P = \frac{IC\ (N+1) + S\ (N-1)}{2N}$$

where:

P : is the average value of the machine,

IC: the initial cost,

N: the useful life,

S: the salvage value

مثال: احسب معدل قيمة ماكنة اذا كانت الكلفة الأبتدائية لها 50,000 $ وقيمة الأسترداد بعد 5 سنوات تساوي 15,000 $.

الحل: معدل قيمة الماكنة خلال 5 سنوات يساوي: $P = \frac{50{,}000\ (5+1)+15{,}000\ (5-1)}{2\times5} = 36{,}000\ \$$

4. كلف التأمين والضريبة والخزن INSURANCE, TAX, and STORAGE COSTS:

- كلفة التأمين: تمثل الكلفة المترتبة على التأمين ضد الحريق والسرقة والحوادث.
- كلفة الضريبة: تمثل كلفة ضريبة واجازة تملك الماكنة.
- كلفة الخزن: وتشمل كلفة استئجار وصيانة ساحة خزن المعدات, وأجور الحراسة والعمال المسؤولين عن دخول وخروج المعدات.
- هذه الكلف تكون معلومة على اساس سنوي.
- كلفة الخزن من الممكن ان تكون محسوبة لعدد من المعدات المخزونة في نفس الساحة.
- لذا فأن كلفة خزن اي ماكنة يمكن ايجادها من قسمة المبلغ الكلي على عدد المكائن المخزونة.

- ان كلف التأمين والضريبة والخزن تضاف عادةً الى كلفة الأستثمار ليتم حساب المبلغ السنوي الكلي المترتب على هذه الفقرات معا.
- هذه الكلف تمثل بحدود 8% - 12% من معدل قيمة الماكنة.
- الجدول رقم (1) يبين معدل كلف تلك الفقرات كنسبة من معدل قيمة الماكنة.

Table (1): Average Rates for Investment Costs

Item	Average Value (%)
Interest	3 - 9
Tax	2 - 5
Insurance	1 - 3
Storage	0.5 – 1.5

الكلفة الكلية للأمتلاك TOTAL OWNERSHIP COST:

- تحسب الكلفة الكلية لأمتلاك ماكنة من جمع كلف الأندثار والأستثمار والتأمين والضريبة والخزن.
- هذه الكلفة الكلية تحسب عادة على أساس سنوي ثم يتم تحويلها الى كلفة كلية لكل ساعة عمل للماكنة.

Example: Determine the hourly ownership cost in the second year for a scraper, if it works 8 hours per day and 250 work day per year in a normal work conditions. use the method of Sum-of-Years'-Digits to calculate the depreciation.

- Initial cost: $186,000
- Estimated life: 5 years
- Salvage value: $22,000
- Interest on the investment: 8%
- Insurance: 1.5%
- Taxes: 3%
- Storage: 0.5%

الحل: الأندثار خلال اي سنة يساوي: $D_n = \frac{N+1-n}{\sum_{i=1}^{N} i}(IC - S)$

$$\sum_{i=1}^{n} i = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15$$

الأندثار في السنة الثانية يساوي: $D_2 = \frac{4}{15}(186{,}000 - 22{,}000) = 43{,}733\ \$$

- معدل قيمة الماكنة:

$$P = \frac{IC\ (N+1) + S\ (N-1)}{2N} = \frac{186{,}000(5+1) + 22{,}000\ (5-1)}{2(5)}$$

P = 120,400 $

- مجموع نسب كلف الأستثمار والتأمين والضريبة والخزن = %8 + 1.5%+3%+0.5% =13%
- كلفة الأستثمار والتأمين والضريبة والخزن = 0.13 × 120,400 =15,652 $
- الكلفة الكلية للأمتلاك خلال السنة الثانية = 43,733 + 15,652 = 59,385 $
- كلفة الأمتلاك لكل ساعة = $\frac{59{,}385}{8\times250}$ = 29.6925 $/hr

كلفة تشغيل المعدات الأنشائية COST OF OPERATING CONSTRUCTION EQUIPMENT:

- تتألف كلفة تشغيل المعدات من الفقرات التالية:

1) كلفة الوقود
2) كلفة الزيوت
3) كلفة الصيانة
4) كلفة الأطارات
5) كلفة مشغل الماكنة

1. كلفة الوقود Cost of Fuel:

- في ظروف العمل القياسية فإن استهلاك الوقود (F) لكل وحدة حصانية في الساعة هو:

1. المكائن التي تعمل بالبنزين: q = 0.23 Letter/(hp-h)
2. المكائن التي تعمل بزيت الغاز (الديزل): q = 0.15 Letter/(hp-h)

- القدرة الحصانية في الساعة (horsepower hour) هو مقياس للشغل الذي ينجزه المحرك.
- الأستهلاك الفعلي للوقود في موقع العمل يعتمد على معامل التشغيل والذي يساوي:

Operating Factor = Engine Factor × Time Factor

- وبذلك فإن الأستهلاك الفعلي للوقود يحسب من المعادلة التالية:

F = Operating Factor × q × horsepower

القدرة الحصانية للمحرك تكون مثبتة على لوحة معلومات المحرك ويرمز لها احيانا بـ flywheel horsepower (fwhp)

- وتحسب كلفة الوقود المستهلك من المعادلة:

Cost of fuel = F × Price of litter

Table (1-2): Average Fuel Consumption Factors (gal/h/hp)

Equipment Type	Working Conditions (gal/h/hp)		
	Favorable	Average	Unfavorable
Loader track	0.030–0.034	0.040–0.042	0.046–0.051
Loader wheel	0.020–0.024	0.027–0.036	0.031–0.047
Motor grader	0.022–0.025	0.029–0.035	0.036–0.047
Scraper single engine	0.023–0.026	0.029–0.035	0.034–0.044
Scraper twin engine	0.026–0.027	0.031–0.035	0.037–0.044
Tractor crawler	0.028–0.342	0.037–0.399	0.046–0.456
Tractor wheel	0.020–0.028	0.026–0.038	0.031–0.052
Truck, off-highway	0.017–0.029	0.023–0.037	0.029–0.046
Truck, on-highway	0.014–0.029	0.020–0.037	0.026–0.046

Where 1 US Gallon = 3.785 Liters

- مثال: مجرفة ميكانيكية (Power Shovel) ذات قدرة 160 hp تعمل بوقود الديزل تستعمل لتحميل الشاحنات. تستغرق دورة التحميل والتفريغ 20 ثانية. تعمل هذه المجرفة بأعلى قدرتها فقط عند تحميل الشاحنة لمدة 5 ثواني, وخلال 15 ثانية المتبقية يعمل المحرك بنصف قدرته فقط. فترة عمل المجرفة بمعدل 50 دقيقة بالساعة. ما هو مقدار الوقود المستهلك خلال الساعة الواحدة؟
- الحل:

Time Factor = 50/60 = 0.833

Engine Factor= $\frac{5}{20} \times 1.0 + \frac{15}{20} \times 0.5 = 0.625$

Operating Factor= Time Factor × Engine Factor

$= 0.833 \times 0.625 = 0.521$

Fuel consumed in hour, F= Operating Factor × q × Hp

for diesel engines, q= 0.15 l/(hp-h)

$F= 0.521 \times 0.15 \times 160 = 12.504$ l/h

Example: Calculate the average hourly fuel consumption and hourly fuel cost for a twin engine scraper in unfavorable work conditions. It has a diesel engine rated at 465 hp and fuel cost $2.00/gal. During a cycle of 20 s, the engine may be operated at full power, while filling the bowl in tough ground requires 5 s. During the remaining of the cycle, the engine will use no more than 50% of its rated power. Also, the scraper will operate about 45 min/h on average.

Solution:

Engine Factor = $\frac{5}{20} \times 1.0 + \frac{15}{20} \times 0.5 = 0.625$

Time Factor = 45/60 = 0.75

Operating factor= $0.75 \times 0.625 = 0.46875$

From Table (1-2): for ‘‘unfavorable’’ the fuel consumption factor = 0.0405

Fuel consumed in hour, F= Operating Factor × q × Hp

F= $0.46875 \times 0.0405 \times 465$

F = 8.828 gal/h = 33.42 l/h

Hourly fuel cost: $8.828 \times 2.00 = 17.656$ $

2. كلفة الزيوت Lubricating Oil Cost:

تعتمد كلفة زيت المحرك على:

1. حجم المحرك
2. سعة حوض المحرك Crank Case
3. حالة المكابس في المحرك
4. عدد الساعات بين تغييرات الزيت (عادة كل 100 – 200 ساعة)
5. مقدار الزيت الذي يتم إضافته لتعويض النقص قبل تغيير الزيت.

- معدل استهلاك المحرك من الزيت بالكيلوغرام = 0.0027 kg/(hp-h)
- كثافة الزيت = 0.89 kg/litter
- فيكون معدل استهلاك المحرك للزيت باللتر = 0.003 litter/(hp-h)

- تحسب كمية الزيت التي (يستهلكها) المحرك في الساعة من المعادلة التالية:

$$q = 0.003 \times HP \times F + \frac{C}{t}$$

where: q: quantity of lubrication oil consumed (litter/h)

HP: is the horsepower of the engine (hp)

F: operation factor

C: the capacity of engine crankcase (liter)

t: the number of hours between changes.

مثال: ما مقدار الزيت المستهلك لماكنة قدرتها 100 hp وسعة حوض الزيت 15 liter والوقت بين تبديلات الزيت هو 100 h ومعامل التشغيل 0.6 .

الحل:

$$q = 0.003 \times HP \times F + \frac{C}{t} = 0.003 \times 100 \times 0.6 + \frac{15}{100}$$

q = 0.18 + 0.15 = 0.33 l/h

3. كلفة الصيانة MAINTENANCE AND REPAIR COST:

- تشكل كلفة الصيانة والأصلاح جزءا كبيرا من كلفة تشغيل المكائن الأنشائية.
- تتعرض المكائن لتلف واستهلاك لأجزائها المختلفة خلال فترة استعمالها.
- بصورة عامة, تزداد كلفة الصيانة والأصلاح كلما زاد عمر الماكنة.
- ان الفحص والصيانة والأصلاح الدوري للماكنة يساعد في إطالة العمر النافع لها ويقلل بشكل كبير من كلفة التشغيل لكونه يقلل من احتمالية مشاكل التشغيل للماكنة.
- ان الكلفة السنوية للصيانة والأصلاح يتم التعبير عنها كنسبة من الأندثار السنوي للماكنة, كما وقد يعبر عنها كمقدار مستقل عن الأندثار.

- كما ويمكن أن يتم تقدير كلفة الأصلاح الكلية خلال العمر النافع للماكنة (lifetime repair cost) كنسبة من الكلفة الأبتدائية للماكنة بعد خصم كلفة الأطارات.
- يتم حساب مقدار كلفة الصيانة والأصلاح في الساعة من قسمة كلفة الصيانة السنوية على عدد ساعات العمل السنوية.
- يمكن تقدير كلفة الصيانة في الساعة لسنة معينة من عمر الماكنة من المعادلة التالية:

$$Hourly\ repair\ cost = \frac{year\ digit}{sum\ of\ year's\ digits} \times \frac{lifetime\ repair\ cost}{operating\ hours\ per\ year}$$

- هذه الكلفة تعتمد على ظروف التشغيل كما مبين في الجدول رقم (3).

Table(3): Range of Typical Lifetime Repair Costs as a percentage of initial cost

	Initial Cost without Tires (%)		
	Operating Conditions		
Equipment Type	**Favorable**	**Average**	**Unfavorable**
Crane	40–45	50–55	60–70
Excavator crawler	50–60	70–80	90–95
Excavator wheel	75	80	85
Loader track	80–85	90	100–105
Loader wheel	50–55	60–65	75
Motor grader	45–50	50–55	55–60
Scraper	85	90–95	105
Tractor crawler	85	90	95
Tractor wheel	50–55	60–65	75
Truck, off-highway	70–75	80–85	90–95

Example: Estimate the hourly repair cost of a scraper for the second year of operation. The initial cost of the scraper is $186,000, tire cost $14,000, and its useful life is 5 years. Assume average operating condition and 2000 h of operation per year.

Solution:

lifetime operating cost factor = 92.5% (from table 3)

lifetime repair cost = $0.925 \times (186{,}000 - 14{,}000) = 159{,}100\ \$$

$$Hourly\ repair\ cost = \frac{year\ digit}{sum\ of\ year's\ digit} \times \frac{lifetime\ repair\ cost}{operating\ hours\ per\ year}$$

$$Hourly\ repair\ cost for\ the\ second\ year = \frac{2}{15} \times \frac{159{,}100}{2000}$$

$Hourly\ repair\ cost for\ the\ second\ year$ = 10.607 $/h

4. كلفة الأطارات Tire Cost:

- كلفة الأطارات تتضمن مبالغ تصليح وتبديل الأطارات
- لكون العمر المتوقع للأطارات المطاطية اقل بكثير من عمر الماكنة, فأن معدل الأندثار للأطارات سيكون مختلفا بشكل كبير عن معدل الأندثار لها.
- ان افضل مصدر لتقدير عمر الأطارات هو المعلومات السابقة المسجلة للمكائن تحت ظروف عمل مشابهة.
- الجدول (4) يبين معدلات نموذجية لعمر الأطارات لمختلف المعدات ولمختلف ظروف العمل.
- ان كلفة تصليح الأطار قد تضيف بحدود 15% لكلفة استبدال الأطار.
- لذا يمكن استخدام المعادلة التالية لتقدير كلفة صيانة وتبديل الأطارات:

$$Tire\ Repair\ and\ Replacement\ cost = 1.15 \times \frac{cost\ of\ set\ of\ tires\ (\$)}{expexted\ tire\ life\ (h)}$$

Table (4): Range of Typical Tire Life

	Average Tire Life (h)		
	Operating Conditions		
Equipment Type	Favorable	Average	Unfavorable
Loader wheel	3200–4000	2100–3500	1300–2500
Motor grader	5000	3200	1900
Scraper single engine	4000–4600	3000–3300	2500
Scraper twin engine	3600–4000	3000	2300–2500
Scraper elevating	3600	2700	2100–2250
Tractor wheel	3200–4000	2100–3000	1300–2500
Truck, off-highway	3500–4000	2100–3500	1100–2500

5. كلفة مشغل الماكنة EQUIPMENT OPERATOR COST:

- كلفة المشغل تمثل الأجور التي يتم دفعها للعامل المكلف بالعمل على الماكنة, بالأضافة الى اجور ساعات العمل الأضافية والمكافئات والتأمين على المشغلين.
- المبلغ الكلي خلال مدة العمل يتم تقسيمه على ساعات العمل لأيجاد كلفة المشغلين في الساعة.

Example: A diesel single engine scraper of 465hp works 8 h/day and 250 day/yr, in a severe working conditions. If the initial cost: 360,000 $, estimated life: 8 years, salvage value: 120,000 $, interest on the investment: 8%, insurance: 1.5%, taxes: 1.0%, storage: 0.5%, operation factor = 0.7, capacity of engine crankcase= 18 liter, tire cost 14,000 $, and time between oil changes= 150 h. Cost of diesel= 0.4 $/liter, cost of oil= 4 $/liter. Determine the hourly O & O cost in the third year using the method of Double-Declining Balance Depreciation.

Solution:

(1) Ownership cost:

(a) The depreciation, $D_n = \frac{2}{N} BV_{n-1} = \frac{2}{8} BV_{n-1}$

year n	$D_n = 0.25\ BV_{n-1}$ ($)	BV_n ($)
0	0	360,000
1	90,000	270,000
2	67,500	202,500
3	50,625	151,875

- Depreciation at 3rd year = 50,625 $

(a) Investment, tax, insurance, and storage = 8+1.5+1.0+0.5 = 11%

- Average value of machine is $P = \frac{IC\ (N+1)+S\ (N-1)}{2N}$

- $P = \frac{360{,}000\ (8+1)+120{,}000\ (8-1)}{2\times 8}$ = 255,000 $
- Investment, tax, insurance, and storage cost = 0.11 × 255,000 = 28,050 $
- The total ownership cost at the 3rd year = 50,625 + 28,050 = 78,675
- Hourly ownership cost at 3rd year = $\frac{78{,}675}{8\times 250} = 39.3375\ \$/h$

(2) Operation cost:

b) Fuel cost:

- q = 0.039 gallons = 0.1476 Liters (Table (1-2))
- F = Operating Factor × q × horsepower = 0.7 × 0.1476 × 465 = 48.0438 l/h
  - Fuel cost = 48.0438 × 0.4 = 19.2175 $/h

b) Oil cost:

- $q = 0.003 \times HP \times F + \frac{C}{t} = 0.003 \times 465 \times 0.7 + \frac{18}{150} = 1.0965\ l/h$
- Oil cost = 1.0965 × 4 = 4.386 $/h

c) Maintenance cost:

- $Hourly\ repair\ cost = \frac{year\ digit}{sum\ of\ year's\ digit} \times \frac{lifetime\ repair\ cost}{operating\ hours\ per\ year}$
- $year\ digit = 3$, then Sum of year's digit = (1+8)*8/2 = 36
- Lifetime repair cost = 105% of the initial cost (table 1-3)
- Lifetime repair cost = 1.05 × (360,000 – 14,000) = 363,300 $
- $Hourly\ repair\ cost = \frac{3}{36} \times \frac{363{,}300}{2000} = 15.137\ \$/\mathrm{h}$

d) Tire cost:

- $Tire\ Repair\ and\ Replacement\ cost = 1.15\ \times \frac{cost\ of\ set\ of\ tires\ (\$)}{expexted\ tire\ life\ (h)}$
- Cost of set of tires $= 14{,}000\ \$$, Expected tire life $= 2500$ h (Table (1-4))
- $Tire\ Repair\ and\ Replacement\ cost = 1.15\ \times \frac{14{,}000}{2500} = 6.440\ \$/h$

- Total operation cost $= 19.2175 + 4.386 + 15.137 + 6.440 = 45.181$ \$/h
- Total O&O cost $= 39.3375 + 45.181 = 84.5185$ \$/h$= 84.5$ \$/h

Equipment Life and Replacement Decision:
العمر الأقتصادي للمكائن وقرار الأستبدال

- يمكن تقسيم عمر المكائن الى:

1. العمر الفيزيائي Physical life: وهو الفترة الزمنية التي تكون فيها الماكنة قادرة على إنجاز العمل.
2. العمر الأقتصادي Economical life: وهو الفترة التي تكون خلالها الماكنة مربحة, أي ان كلفة إمتلاكها وتشغيلها أقل من المبالغ المكتسبة من عملها.

- وحيث أن المطلوب هو أن يكون الأحتفاظ بالماكنة مشروعا مربحا, لذا فإن العمر المهم هو العمر الأقتصادي للماكنة.
- عند إستبدال الماكنة قبل اكمال عمرها الأقتصادي فإن هذا يؤدي الى خسارة في رأس المال.
- وعند الأحتفاظ بها بعد العمر الأقتصادي فإن هذا يعني زيادة في الأنفاق مقابل إنتاج منخفض.
- لذا يجب تحديد الوقت المناسب لبيع الماكنة وإستبدالها بأخرى جديدة.

العمر الأقتصادي للمكائن Economic life of equipment:

- العمر الأقتصادي هو الفترة الزمنية التي تكون فيها الأرباح الناتجة من امتلاك وتشغيل الماكنة أكبر ما يمكن.
- لذا فإن إختيار العمر الأقتصادي للماكنة كمقياس لأتخاذ قرار استبدالها هو خطوة مهمة لزيادة الأنتاج مقارنة بالتكاليف.
- إن التحديد الصحيح لوقت الأستبدال يجنب ضياع الأرباح نتيجة زيادة تكاليف الصيانة والتشغيل عند الأحتفاظ بالماكنة بعد العمر الأقتصادي لها.
- الأحتفاظ بسجلات للصيانة والتصليح يساعد كثيرا بتحديد أفضل عمر أقتصادي.
- تحديد العمر الأقتصادي يتطلب ليس فقط معرفة كلف الأمتلاك والتشغيل بل كلف أخرى وإجراء مقارنة بين مجموع الكلف للماكنة الحالية وتلك المراد شرائها.

الكلف التي يجب دراستها لغرض تحديد العمر الأقتصادي وأتخاذ قرار بإستبدال الماكنة:

1) كلفة الأندثار والأستبدال Depreciation cost and Replacement
2) كلفة التضخم (زيادة الأسعار مع مرور الوقت) Inflation
3) كلفة الأستثمار Investment
4) كلفة الصيانة والتصليح Maintenance and Repair
5) كلفة توقف الماكنة عن العمل Downtime
6) كلفة التقادم Obsolescence

1. كلفة الأندثار والأستبدال Depreciation and replacement: وهو الفرق بين قيمة الماكنة الجديدة ومبلغ الأسترداد للماكنة القديمة. مع ملاحظة أن قيمة الماكنة الجديدة قد لاتساوي مبلغ شراء الماكنة القديمة, وذلك لتغير الأسعار بين السنوات نتيجة التضخم أوعوامل أخرى.
2. كلفة التضخم Inflation: وهو الزيادة في الأسعار بمرور الزمن بسبب انخفاض أسعار العملات.
3. كلفة الأستثمار Investment: وتساوي نسبة الأستثمار (قد تتضمن أيضا الخزن والضريبة والتأمين) مضروبة في سعر الماكنة في بداية كل سنة.
4. كلفة الصيانة والتصليح Maintenance and Repair: وتساوي المبلغ الذي يتم صرفه على صيانة وتصليح الماكنة في كل سنة.

4. كلفة توقف الماكنة عن العمل Downtime: تتوقف الماكنة عن العمل لغرض إجراء التصليح لها, وتزداد مدة هذا التوقف بمرور الوقت.

- يعبر عن التوقف كنسبة مؤية من ساعات العمل السنوية.
- فمثلا اذا كانت نسبة التوقف 10% فهذا يعني أن الماكنة تعمل او جاهزة للعمل بنسبة 90% من وقتها.
- تحسب كلفة التوقف في الساعة بضرب نسبة التوقف في كلفة التشغيل بالساعة, وعند ضرب الناتج في عدد ساعات العمل في السنة يتم الحصول على كلفة التوقف السنوية.

5. كلفة التقادم Obsolescence: حيث ان الشركات التي تكون معداتها ذات تقنيات قديمة يكون من الصعب عليها المنافسة مع الشركات التي تمتلك مكائن بتقنيات متقدمة.

- <u>خطوات إيجاد العمر الأقتصادي للمكائن:</u>

a) إيجاد المجموع التراكمي لساعات العمل لكل سنة.

b) حساب الكلف التالية:

1) الكلفة المترتبة من الأستبدال في كل سنة والتي تساوي الفرق بين سعر الماكنة الجديدة والقيمة الدفترية للماكنة القديمة في تلك السنة.
2) الكلفة التراكمية لمبلغ الأستثمار لكل سنة.
3) الكلفة التراكمية للصيانة والتصليح لكل سنة.
4) الكلفة التراكمية الناتجة عن ساعات التوقف في كل سنة.
5) الكلفة التراكمية الناتجة عن التقادم في كل سنة.

c) جمع الكلف السابقة وتقسيم الناتج على المجموع التراكمي لساعات العمل في كل سنة.

d) يكون العمر الأقتصادي هو السنة التي يكون مجموع الكلف فيها في قيمته الصغرى.

يمكن أيضا أيجاد العمر الأقتصادي للماكنة بحساب الكلف بالطريقة التالية:

a) إيجاد كلفة الأستبدال في كل سنة.

b) إيجاد المجموع الجبري لكلف الأستثمار و الصيانة وساعات التوقف والتقادم في كل سنة.

c) ايجاد المجموع التراكمي لمجموع الكلف في الفقرة أعلاه.

d) ايجاد حاصل جمع المجموع التراكمي للكلف في الفقرة السابقة مع الكلفة الناتجة عن الأستبدال في كل سنة.

e) تقسيم حاصل الجمع في الفقرة السابقة على المجموع التراكمي لساعات العمل في كل سنة.

f) يكون العمر الأقتصادي هو السنة التي يكون مجموع الكلف فيها في قيمته الصغرى.

Example: An equipment was purchased with an initial cost of 30,000$. As is usual, its book value is reduced with time, whereas, due to inflation, the price of a new equipment is expected to be increased by 1,500$ each year. The equipment works 2000 hours each year, with operation cost of 7$/h, while the investment cost is assumed to be 15% of the book value in each year. The maintenance and repair cost and downtime hours were expected to increase with time. The loss of productivity due to obsolescence (compared with a new machine of developed technology) is increased each year. The book value, the maintenance cost, downtime hours, and the obsolescence factor at each one of the first eight years are listed in the attached table. Find the economic life of this machine.

Year	Book value ($)	Maintenance and repair cost ($)	Downtime (h)	Obsolescence factor (%)
1	22,500	970	60	0
2	18,000	2,430	120	6
3	15,100	2,940	180	11
4	12,800	3,280	220	15
5	10,600	4,040	260	20
6	9,100	4,430	300	26
7	7,900	5,700	340	32
8	6,800	6,290	400	37

Solution:

1. The cost of replacement

year	Price of new machine ($)	Book value of old machine ($)	Replacement Cost ($)
0	30,000	30,000	0
1	31,500	22,500	9,000
2	33,000	18,000	15,000
3	34,500	15,100	19,400
4	36,000	12,800	23,200
5	37,500	10,600	26,900
6	39,000	9,100	29,900
7	40,500	7,900	32,600
8	42,000	6,800	35,200

2.

year	Machine price ($)	Cost of Invst. ($) = Price × 0.15	Maintenance and repair cost ($)	Downtime		Obsolescence			Sum of Inv+ Maint.+ Down+ Obs. ($)
				hours	Cost= hour × oper. cost per hour ($)	factor	Cost per hour= factor × oper. Cost ($)	Cost per year = cost per hour × hour per year ($) = cost × 2000	
1	30,000	4,500	970	60	420	0	0	0	5,890
2	22,500	3,375	2,430	120	840	0.06	0.42	840	7,485
3	18,000	2,700	2940	180	1260	0.11	0.77	1,540	8,440
4	15,100	2,265	3,280	220	1540	0.15	1.05	2,100	9,185
5	12,800	1,920	4,040	260	1820	0.20	1.4	2,800	10,580
6	10,600	1,590	4,430	300	2100	0.26	1.82	3,640	11,760
7	9,100	1,365	5,700	340	2380	0.32	2.24	4,480	13,925
8	7,900	1,185	6,290	400	2800	0.37	2.59	5,180	15,455

year	Sum of Inv + Main.+Down+ Obs. ($)	Cumulative sum of costs ($)	Replacement Cost ($)	Sum of all costs ($)	Cumulative hours	Cost /h
1	5,890	5,890	9,000	14,890	2000	7.445
2	7,485	13,375	15,000	28,375	4000	7.094
3	8,440	21,815	19,400	41,215	6000	6.869
4	9,185	31,000	23,200	54,200	8000	6.775
5	10,580	41,580	26,900	68,480	10000	6.848
6	11,760	53,340	29,900	83,240	12000	6.937
7	13,925	67,265	32,600	99,865	14000	7.133
8	15,455	82,720	35,200	117,920	16000	7.370

- The minimum cost is in the fourth year
- The economic life is four years

الفصل الثاني
الأسس الهندسية Engineering Fundamentals

- يتناول هذا لفصل:

a) قدرة محركات المعدات والمكائن والعوامل المؤثرة فيها.

b) كيفية تحويل قدرة هذه المحركات الى قوة سحب أو دفع.

c) القوى التي تعيق حركة المعدات وتأثيرها على قوة السحب.

- في المشاريع الكبيرة مثل السدود والطرق والمطارات يجب اختيار المكائن والمعدات المناسبة بأسلوب علمي لأنجاز العمل بأقل كلفة.
- لذا من الضروري للمهندس والمقاول الإلمام بالمكائن المناسبة لكل مشروع.

العوامل المؤثرة على قدرة وسرعة المعدات:

1. مقاومة الدحرجة
2. تأثير ميل الطريق على جهد الجر المطلوب
3. معامل الجر
4. تأثير الأرتفاع على أداء محركات الأحتراق الداخلي
5. تأثير درجة الحرارة والضغط على أداء محركات الأحتراق الداخلي

مقاومة الدحرجة Rolling Resistance:

- مقاومة الدحرجة هي المقاومة التي تجابهها المركبة عندما تتحرك على طريق أو سطح.
- تعتمد مقاومة الدحرجة على العوامل التالية:

1. طبيعة السطح: حيث تكون مقاومة الجر في التربة الرخوة اكبر منها على السطح الصلب.
2. بالنسبة للمركبات ذات الأطارات المطاطية فإن مقاومة الدحرجرجة تعتمد على:

a. حجم الأطار

b. مقدار ضغط الهواء داخل الأطار

c. شكل وتصميم سطح الأطار الملامس للتربة

- بالنسبة للمركبات المجنزرة فإن مقاومة الدحرجة تعتمد بشكل رئيسي على طبيعة سطح التربة.

- ان دفع عربة ذات اطارات مطاطية بضغط مناسب على سطح خرساني صلب اسهل مما لو تم خفض ضغط الأطارات.
- في حين اذا كان سطح الطريق رخو فإن حركة الأطارات ذات الضغط العالي ستكون اصعب بسبب انها ستغوص في سطح الطريق أكثر من الأطارات ذات الضغط المنخفض.
- مقاومة الدحرجة للطرق الترابية تتغير حسب الظروف الجوية ونوع التربة على طول الطريق.
- في حالة كون التربة مرصوصة بشكل جيد وتم تسوية سطح الطريق بآلة التسوية (Grader) فإن مقاومة الدحرجة لهذا الطريق الترابي تكون مساوية تقريبا لطريق مبلط بالأسفلت او الخرسانة.
- عند تعرض الطريق الترابي للمطر يصبح رطب وغير مستوي فتزداد مقاومة الدحرجة.
- لذا من الضروري في الطرق الترابية استخدام آلة التسوية والرش بالماء والحدل بصورة مستمرة للمحافظة عليه بشكل مناسب طيلة فترة استخدامه.

- تقاس مقاومة الدحرجة بمقدار القوة (بالكيلوغرام) اللازمة لتحريك طن واحد على الطريق.
- الجدول رقم (5) يبين قيم مقاومة الدحرجة لأنواع مختلفة من الطرق والأطارات.
- القوة الناتجة عن مقاومة الدحرجة التي تتعرض لها المركبة تحسب من المعادلة التالية:

$RR = W \times R$

RR: is the counter force from rolling resistance (kg)

W: total weight of the vehicle (ton)

R: rolling resistance (kg/ton)

مثال: جد القوة الناتجة عن مقاومة الدحرجة بوحدة (كغم) والتي تعيق حركة مركبة تزن 20 طن تسير على طريق ذو مقاومة دحرجة مقدارها 45 كغم/طن.

الحل:

$RR = 45 \times 20 = 900$ kg

جدول (5): مقاومة الدحرجة لأنواع مختلفة من الأطارات والسطوح بالكيلوغرام للطن الواحد من الوزن الكلي للمركبة

نوع السطح	إطارات حديدية	إطارات مجنزرة	إطارات مطاطية	
			ضغط عالي	ضغط واطيء
خرسانة صقيلة	18	25	15	20
أسفلت جيد	23 – 32	27 – 32	18 – 30	23 – 27
تراب مرصوص	27 – 45	27 – 36	32 – 40	23 – 32
تراب غير مرصوص	45 – 68	36 – 50	45 – 63	32 – 45
تراب طيني	91- 113	63 – 82	82 – 100	68 – 91
رمل رخو وحصى	127 – 145	73 – 91	118 – 132	110 - 118
تراب طيني جدا ومحروث	160 - 181	91 - 109	136 - 181	127 - 154

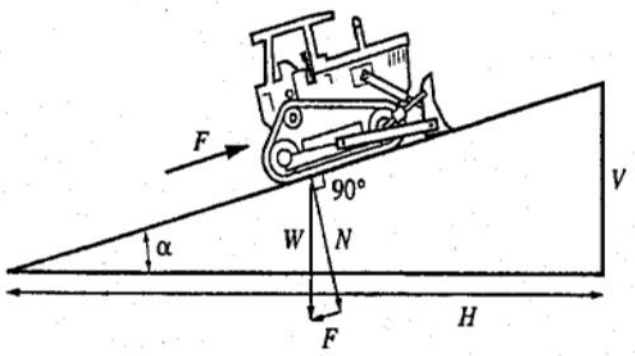
Table (2-1):Representative rolling resistances for various types of wheels and crawler tracks versus various

	Steel tires, plain bearings		Crawler type track and wheel		Rubber tires, antifriction bearings			
					High pressure		Low pressure	
Type of surface	lb/ton	kg/m ton	lb/ton	kg/m ton	lb/ton	kg/m ton	lb/ton	kg/m ton
Smooth concrete	40	20	55	27	35	18	45	23
Good asphalt	50–70	25–35	60–70	30–35	40–65	20–33	50–60	25–30
Earth, compacted and maintained	60–100	30–50	60–80	30–40	40–70	20–35	50–70	25–35
Earth, poorly maintained	100–150	50–75	80–110	40–55	100–140	50–70	70–100	35–50
Earth, rutted, muddy, no maintenance	200–250	100–125	140–180	70–90	180–220	90–110	150–200	75–100
Loose sand and gravel	280–320	140–160	160–200	80–100	260–290	130–145	220–260	110–130
Earth, very muddy, rutted, soft	350–400	175–200	200–240	100–120	300–400	150–200	280–340	140–170

*In pounds per U.S. ton or kilograms per metric ton of gross vehicle weight

2. تأثير درجة ميل الطريق على جهد الجر المطلوب
Effect of grade on required tractive effort

- يزداد جهد الجر لمركبة عندما تصعد طريق بزيادة درجة الأنحدارللطريق.
- يحدد ميل الطريق كنسبة مئوية تكون موجبة اذا كان الأتجاه هو الصعود وسالبة في حالة النزول.
- مثلا الطريق الذي ميله +5% يعني ان يرتفع شاقوليا 5m لكل 100m طول افقي.
- يمكن حساب مقدار القوة المطلوبة لمعادلة تأثيرالأنحدار من المعادلة: $F = W.sin\ \alpha$
- للقيم الصغيرة لزاوية الأنحدار $(\alpha < 10^o)$ فإن $\sin\alpha \approx \tan\alpha$
- وحيث أن $\tan\alpha = \frac{V}{H} = \frac{G\%}{100}$



- لذا تكون القوة المطلوبة تساوي $F = W.\frac{G\%}{100}$
- حيث تكون وحدة F بنفس مقدار وحدة W
- قيمة F بالكيلوغرام لكل طن من وزن المركبة W فيمكن حسابها من المعادلة:
- $F(kg) = 10\,W(ton).G\%$
- هذه المعادلة صحيحية لقيم $G < 10\%$
- أي إن جهد الجر يزداد او يقل حسب اتجاه الحركة بمقدار 10kg تقريبا لكل طن من وزن المركبة لكل 1% من انحدار الطريق.
- الجدول (6) يبين مقدار تأثير الأنحدار على جهدر الجر بالكيلوغرام لكل طن من وزن المركبة.

جدول (6): مقدار القوة الناتجة عن تأثير الأنحدار على جهد الجر (kg/ton)

Grade (%)	change in tractive effort (kg/ton)	Grade (%)	change in tractive effort (kg/ton)
1	10	12	119.2
2	20	13	128.9
3	30	14	138.7
4	40	15	148.3
5	50	20	196.2
6	59.9	25	242.6
7	69.9	30	287.4
8	79.6	35	330.3
9	89.6	40	371.4
10	99.5	45	410.4
11	109.0	50	447.2

ملاحظة:

- من المفضل ان يتم إختيار موقع جلب التربة (المقلع) بحيث يكون بمستوى أعلى من موقع العمل.
- وذلك لكون الشاحنة تصعد للمقلع وهي فارغة (وزنها الكلي يكون قليل) وهذا يعني ان القوة المعاكسة نتيجة الأنحدار (والتي تعتمد على الوزن الكلي) تكون قليلة.
- أما عندما تكون الشاحنة محملة (وزنها كبير) فإن الإنحدار سيكون نازلا مما يعني ان تأثير الإنحدار سيساعد الشاحنة على السير بسرعة وسهولة.

المقاومة الكلية (Total Resistance) :

- المقاومة الكلية لحركة المعدات تساوي مجموع مقاومة الدحرجة والمقاومة الناتجة من تأثير الإنحدار.

Total resistance (TR) = Rolling resistance (RR) + Grade resistance (GR)

الإنحدار المكافيء (Equivalent Gradient):

- يعبر احيانا عن مقاومة الدحرجة بما يكافئها من انحدار (G_{RR}) وهو قيمة الأنحدار الذي يسبب نفس مقدار مقاومة التدحرج

$$G_{RR}(\%) = \frac{Rolling\ Resistance\ \left(\frac{kg}{ton}\right)}{10\ \left(\frac{kg}{ton}\right)}$$

الإنحدار المؤثر (Effective Grade)

- ويساوي الإنحدار المكافيء (الناتج من مقاومة الدحرجة) مضافاً اليهِ (في حالة الصعود) او مطروحاً منهُ (في حالة النزول)

$G_{eff} = G_{RR} \pm G$ مقدارانحدار الطريق(G)

Example: The haul road from the borrow pit to the fill has an adverse grade of 4%. wheel type unit will be used on the job, and it is expected that the haul road rolling resistance will be 50 kg/ton. what will be the effective grade for the haul and return trip?

Solution:

$$G_{RR}(\%) = \frac{Rolling\ Resistance\ (\frac{kg}{ton})}{10\ (\frac{kg}{ton})} = \frac{50\ (\frac{kg}{ton})}{10\ (\frac{kg}{ton})} = 5\%$$

$G_{eff} = G_{RR} \pm G$

- For haul trip, $G_{eff} = G_{RR} + G$ = 5% + 4% = 9%
- For return trip, $G_{eff} = G_{RR} - G$ = 5% - 4% = 1%
- Note that the effective grade is not the same for the two cases.
- During the haul, the unit must overcome the uphill grade.
- On the return, the unit is aided by the downhill grade.

مثال: مجرفة آلية مجنزرة وزنها 20 ton وقوة جر محركها 15,000 kg تتحرك الى اعلى طريق أسفلتي انحداره 4%, احسب قوة الجر الصافية.

الحل:

- من جدول(5)نجد أن R= 29.5 kg/ton

Rolling resistance , RR = R × W = 29.5 kg/ton × 20 ton = 590 kg

- من جدول (6) نجد أن معامل تأثير الأنحدار يساوي 40 kg/ton

Resistance from Grade, GR = 40 × W = 40 × 20 = 800 kg

total resisting force = 590 + 800 = 1390 kg

- نلاحظ ان قوة الأعاقة من تأثير الأنحدار تم جمعها مع مقاومة الدحرجة لأن المركبة الى الأعلى.

Net Traction force, F = Engine force – Resisting forces

F = 15,000 – 1390= 13,610 kg

القدرة المتوفرة Available Power:

- تشكل محركات الإحتراق الداخلي القوة المحركة لمعظم معدات الأنشاء.
- في الأعمال الصعبة فإن أداء محركات الديزل هو أفضل من محركات البنزين.
- لذا تشكل محركات الديزل القدرة المحركة للصناعة الأنشائية.
- بالأضافة الى ان محركات الديزل تتصف بأن لها عمر أطول وأستهلاك وقود أقل وكونها أقل عرضة للحريق.

الشغل والقدرة Work and Energy:

- يحسب الشغل من المعادلة: $Work\ (J) = Force\ (N) \times Distance\ (m)$
- اما القدرة فتساوي: $Power\ (watt) = \frac{Work\ (N.m)}{Time\ (s)}$

The definition of horsepower:

- When James Watt developed the first practical steam engine and wanted to express the work of the engine to the work done by the horse, he used the following example.

Example: A 81.647 kg (180 lb) horse walks in circular path operating a pump that rises water from a well. The horse is attached to a 3.658 m (12 ft) lever arm that is connected to the pumping mechanism. The horse makes 144 revolutions per hour. How much work does the horse do in 1 hour?

Solution:

The moving force is the horse of mass 81.647 kg = 800.630 N

The distance is the circumference of the circle 144 times.

Circumference = $2\pi \times 3.658 = 7.316\,\pi$

Total distance = $144 \times 7.316\,\pi = 1053.504\,\pi$ m

Work in one hour = $800.630 \times 1053.504\,\pi = 2649829.44$ N.m/h

the work in second = 735.5 N.m/s (1 metric horsepower)

One mechanical horsepower = 745.7 watt

3. معامل الجر Coefficient of Traction:

- يعرف معامل الجر(C_T) على انه المعامل الذي يتم ضربه بالوزن الكلي المسلط على العجلات القائدة (Driving Wheels) لحساب أكبر قوة جر ممكنة بين العجلات والطريق قبل حصول الأنزلاق.

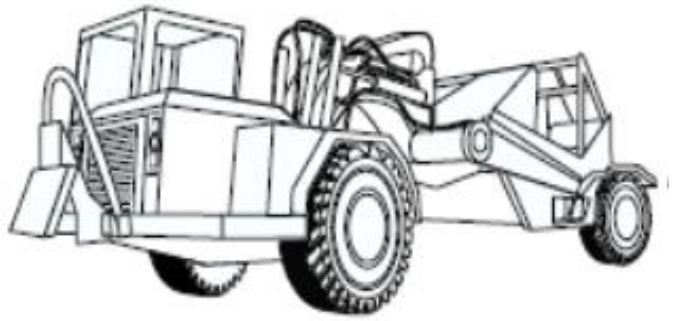
Maximum Tractive Force = C_T × Total Load on driving wheels

مثال: الوزن الكلي على العجلات (الدواليب) القائدة لمركبة هو 18000 kg وإن اعلى قوة سحب لمحرك المركبة هي 9000 kg, فأذا كانت المركبة تسير على طريق رملي رطب معامل الجر له 0.30. احسب أعلى قوة سحب ممكن تسليطها قبل ان تنزلق الأطارات.

الحل: Maximum Tractive Force = 0.3 × 18000 = 5400 kg

- نلاحظ أن قوة السحب للمركبة لايمكن استغلالها بالكامل لأن الأنزلاق أكبر قوة سحب ممكن تسليطها على العجلات هي اقل من قوة سحب المركبة. وهذا يعني انه اذا تم استخدام كامل قوة السحب للمحرك فستنزلق الأطارات على الطريق.
- في حالة كون معامل الجر هو 0.60 فأن أعلى قوة سحب يمكن تسليطها على الأطارات القائدة ستكون 10800 kg في هذه الحالة لايمكن جعل الأطارات تنزلق على الطريق حتى لو تم استخدام كامل قوة السحب للمحرك.

Example: A wheel tractor scraper is used on a road project. When the project begins, the scraper will experience high rolling and grade resistance at one work area. The rimpull required to maneuver in this work area is 19,000 kg. In the fully loaded condition, 52% of the total vehicle weight is on the drive wheels. The fully loaded vehicle weight is 105 ton. What minimum value of coefficient of traction between the scraper wheels and the traveling surface is needed to maintain the maximum required force?



Solution:

Weight on the drive wheels = 0.52 × 105,000 = 54,600 kg

Minimum required coefficient of traction = 19,000/54,600 = 0.348

جدول (7): قيم معامل الجر لأنواع متعددة من سطوح الطرق

نوع السطح	الأطارات المطاطية (Rubber Tires)	الدواليب المجنزرة (Crawler Tracks)
خرسانة جافة وخشنة	0.80 -1.00	0.45
تربة رملية طينية جافة	0.50 – 0.70	0.90
تربة رملية طينية رطبة	0.50 – 0.40	0.70
رمل وحصى رطب	0.30 – 0.40	0.35
رمل وحصى جاف	0.20 – 0.30	0.30
ثلج جاف	0.20	0.15 – 0.35
جليد	0.10	0.10 – 0.25

Type of Surface	Rubber Tires	Tracks
Concrete, dry	0.90	0.45
Concrete, wet	0.80	0.45
Earth or clay loam, dry	0.60	0.90
Earth or clay loam, wet	0.45	0.70
Gravel, loose	0.35	0.50
Quarry pit	0.65	0.55
Sand, dry, loose	0.25	0.30
Sand, wet	0.40	0.50
Snow, packed	0.20	0.25
Ice	0.10	0.15

4. تأثير الأرتفاع على أداء محركات الأحتراق الداخلي
Altitude’s Effect on internal combustion Engines:

- يتم تشغيل محركات الأحتراق الداخلي بواسطة خلط الأوكسجين من الهواء مع الوقود وحرقه لتحويل الطاقة الكامنة الى طاقة حركية.
- لأجل الحصول على أعلى كفاءة للمحرك يجب المحافظة على نسبة الخلط بين الأوكسجين والوقود في إسطوانات الإحتراق.
- النسبة المثالية لخلط الهواء مع الأوكسجين لمحركات البنزين هيgasoline 1.0 :14.7 air.
- النسبة المثالية لخلط الهواء مع الأوكسجين لمحركات الديزل هي diesel 1.0 :14.5 air.
- إذا انخفضت كثافة الهواء بسبب الإرتفاع فإن كمية الأوكسجين في الهواء ستنخفض أيضا وبالتالي ستقل كفاءة المحرك.
- ان تغير كثافة الهواء مع الأرتفاع عن سطح البحرلايكون بشكل منتظم.
- رغم ذلك توجد علاقات تجريبية يمكن عن طريقها إيجاد مقدار الفقدان في القدرة الحصانية للمحركات عندما تعمل في مناطق مرتفعة.

- لغاية إرتفاع 300 m عن سطح البحر لايوجد فقدان ملحوظ في قدرة المحرك.
- بعد 300 m يكون النقصان ملحوظا ويتناسب مع مقدار الأرتفاع عن سطح البحر.
- يمكن التغلب على الفقدان في القدرة الحصانية بسبب الأرتفاع وذلك بتزويد المكائن بجهاز لضغط الهواء داخل المحرك وبذل يعوض عن قلة نسبة الأوكسجين بسبب الأرتفاع.

Fuel	**Chemical formula**	**Air-Fuel ratio**
Methanol	CH_3OH	6.47:1
Ethanol	C_2H_5OH	9:1
Butanol	C_4H_9OH	11.2:1
Diesel	$C_{12}H_{23}$	14.5:1
Gasoline	C_8H_{18}	14.7:1
Propane	C_3H_8	15.67:1
Methane	CH_4	17.19:1
Hydrogen	H_2	34.3:1

الفقدان بالقدرة نتيجة الأرتفاع:

- للمحركات ذات الأربعة أشواط Four Stroke engines :

$$Loss\ in\ horsepower = \frac{(H - 300) \times 0.03}{300} \times hp$$

- للمحركات ذات الشوطين Two stroke engines :

$$Loss\ in\ horsepower = \frac{(H - 300) \times 0.01}{300} \times hp$$

where: H is the elevation with respect to sea level (m).

- مثال: ماكنة لها محرك ذو 4 أشواط بقدرة حصانية 100 hp عند مستوى سطح البحر, ما هو مقدار هذه القدرة عندما تعمل الماكن على ارتفاع 3000 m عن سطح البحر؟
- الحل:

$$Loss\ in\ horsepower = \frac{(H - 300) \times 0.03}{300} \times hp = \frac{(3000 - 300) \times 0.03}{300} \times 100$$

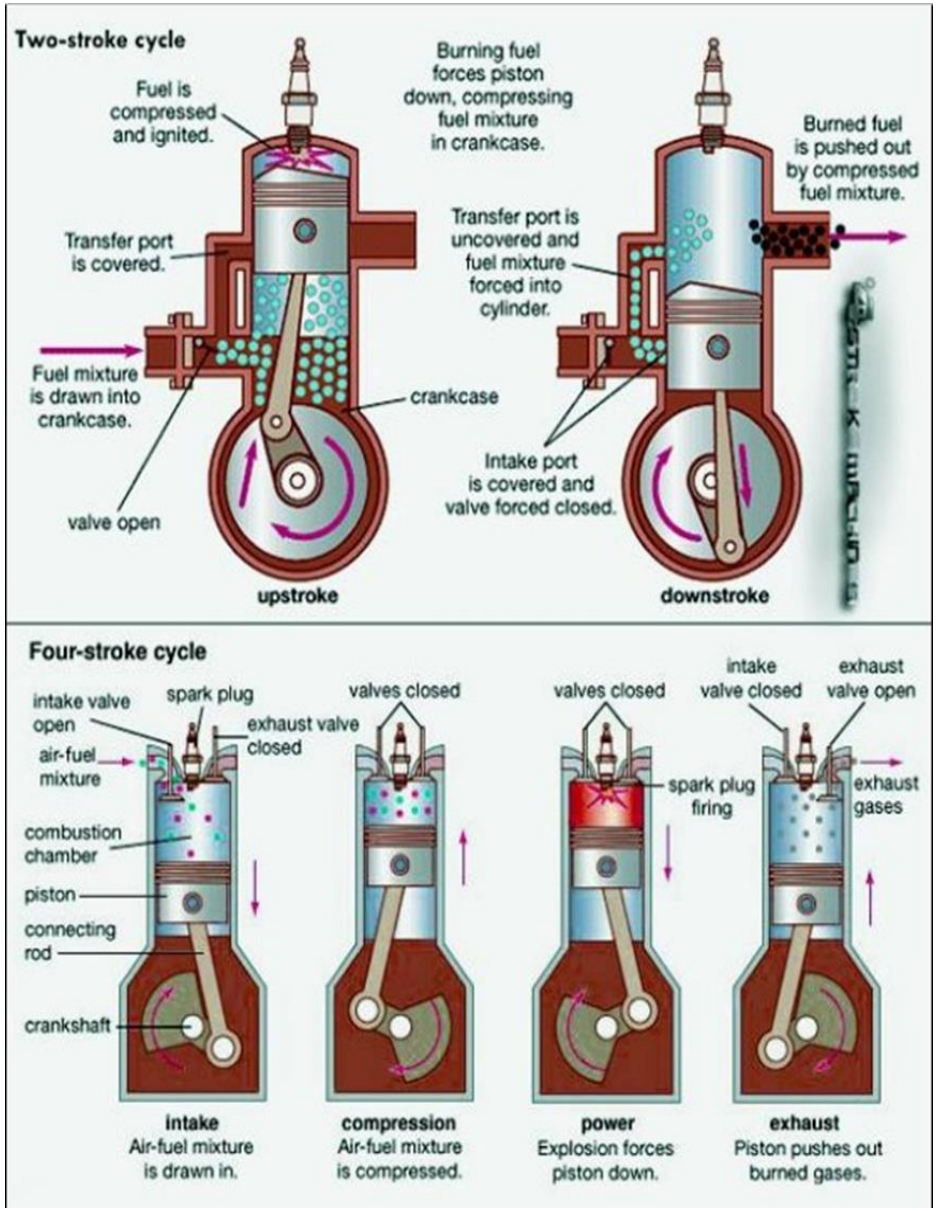
$$Loss\ in\ horsepower = 0.27 \times 100 = 27\ hp$$

the horsepower at 3000 m above sea level = 100 – 27 = 73 hp

Table (8): Percent flywheel horsepower for selected Caterpillar machines at specified altitudes

Model		Altitude (m)				
		0 - 760	760 - 1500	1500 - 2300	2300 - 3000	3000 - 3800
Tractor	D6D, D6E	100	100	100	100	94
	D7G	100	100	100	94	86
	D8L	100	100	100	100	93
	D8N	100	100	100	100	98
	D9N	100	100	100	96	89
	D10N	100	100	100	94	87
Graders	120G	100	100	100	100	96
	12G	100	100	96	90	84
	140G	100	100	100	100	94
	14G	100	100	100	94	87
	16G	100	100	100	100	100
Excavators	214B	100	100	100	100	92
	235D	100	100	100	98	91
	245D	100	100	100	94	87
Scrapers	615C	100	100	95	88	81
	621E	100	100	94	87	80
	623E	100	100	94	87	80
	631E	100	100	96	88	82
Trucks	769C	100	100	100	97	89
	773B	100	100	100	100	96
loaders	966E	100	100	100	93	86
	988B	100	100	100	100	93

Figure (2-1): Two stroke and four stroke engines



5. تأثير درجة الحرارة والضغط على أداء محركات الإحتراق الداخلي
Effect of temperature and atmospheric pressure on the performance of internal combustion engines:

- تنخفض كفاءة مكائن الأحتراق الداخلي عند إرتفاع درجة الحرارة, وتزداد الكفاءة عند انخاض درجة الحرارة.
- يتم معايرة مكائن الأحتراق الداخلي بإيجاد قدرتها تحت الظروف القياسية والتي هي:

a) ضغط جوي 760 ملم زئبق (101.3 kPa).

b) 15 درجة مئوية.

- تسمى القدرة الحصانية التي يتم قياسها في الظروف القياسية بالقدرة الحصانية الفرملية (Brake horsepower).

- أذا تم قياس قدرة المحرك في ظروف تختلف عن الظروف القياسية فإن هذه القدرة المقاسة سوف لاتساوي القدرة القياسية.
- لكن بالأمكان حساب القدرة الحصانية القياسية (Break horsepower) لهذا المحرك من القانون التالي:

- $H_c = H_o \frac{P_s}{P_o} \sqrt{\frac{T_o}{T_s}}$
- where: H_c: the modified horsepower for the standard conditions
- H_o: measured horsepower (at non standard conditions)
- P_s: standard atmospheric pressure (760 mm Hg)
- P_o: the actual measured atmospheric pressure (mm Hg)
- T_o: measured absolute temperature = Celsius + 273 (kelvins)
- T_s: Standard absolute temperature = 15 + 273 = 288 kelvins

- مثال: تم فحص محرك تحت ضغط جوي مقداره 750 mm Hg و درجة حرارة 35°C فوجد ان القدرة الحصانية المقاسة تساوي 90 hp. جد القدرة الحصانية القياسية (الفرملية) لهذا المحرك تحت الظروف القياسية.
- الحل:

- $H_c = H_o \frac{P_s}{P_o} \sqrt{\frac{T_o}{T_s}} = (90) \frac{760}{750} \sqrt{\frac{(35+273)}{288}}$
- $H_c = 94.3$ hp

جدول (9): الضغط الجوي عند مستويات مختلفة من سطح البحر

الأرتفاع فوق سطح البحر (متر)	الضغط الجوي المقاس (ملم زئبق)
0	760
300	733
600	707
900	682
1200	656
1500	632
1800	608
2100	586
2400	564
2700	543
3000	522

مثال: فحص جرار ذو محرك بأربعة أشواط تحت الظروف القياسية ووجد أن قدرته الحصانية 130 hp, فما هي قدرته الحصانية على ارتفاع 1115 m عن سطح البحر ودرجة حرارة 22.2º C ؟

الحل:

يمكن حساب الضغط الجوي عند ارتفاع مقداره 1115 متر من الجدول (9) بإستخدام قيم الضغط لأرتفاع 900 متر و1200 متر

P(900)= 682 mm Hg, P(1200) = 656 mm Hg

P_o(1115) = 682 + $\frac{656 - 682}{1200 - 900}$ (1115 -900) = 682 – 18.633 = 663.37 mm Hg

$$H_c = H_o \frac{P_s}{P_o} \sqrt{\frac{T_o}{T_s}}$$

$$130 = H_o \times \frac{760}{663.37} \times \sqrt{\frac{(22.2+273)}{288}}$$

$$130 = 1.16\ H_o$$

$$H_o = 112.07 \text{ hp}$$

جدول رقم (10): مقدار المعاملات التي يجب ضربها في القدرة الحصانية في الظروف القياسية لأي محرك ذو أربعة أشواط لأيجاد القدرة الحصانية عند درجة الحرارة والأرتفاع المطلوبين.

معاملات التصحيح لايجاد القدرة الحصانية الحقيقية
لمحركات ذات اربعة اشواط تحت تأثير مختلف الارتفاعات ودرجات الحرارة

درجات الحرارة (درجة مئوية)									الارتفاع عن سطح البحر
−29	−18	−7	4	10	15	21	32	43	متر
1.085	1.062	1.039	1.018	1.008	1.000	0.991	0.971	0.954	0
1.048	1.025	1.003	0.984	0.974	0.964	0.955	0.937	0.920	300
1.010	0.988	0.968	0.048	0.938	0.930	0.921	0.904	0.887	600
0.974	0.952	0.933	0.914	0.905	0.896	0.888	0.872	0.855	900
0.938	0.918	0.899	0.882	0.873	0.865	0.856	0.840	0.825	1200
0.904	0.885	0.867	0.849	0.842	0.833	0.825	0.809	0.795	1500
0.872	0.853	0.836	0.820	0.811	0.803	0.795	0.781	0.767	1800
0.840	0.823	0.806	0.790	0.782	0.755	0.767	0.752	0.738	2100
0.811	0.793	0.766	0.762	0.754	0.746	0.739	0.725	0.712	2400
0.782	0.764	0.748	0.734	0.727	0.720	0.713	0.699	0.686	2700
0.753	0.737	0.722	0.707	0.707	0.693	0.687	0.675	0.682	3000

جر الأطارات Rimpull:

- وهو قوة الجر بين الأطارات القائدة للجرار المدولب وسطح الطريق الذي يسير عليه.
- عندما يكون معامل الجر (coefficient of traction) كبيرا بصورة كافية بحيث لايحصل إنزلاق, فإن أكبرقوة جر للأطارات ستعتمد على قدرة المحرك وسرعة سير المركبة.
- عندما يكون معامل الجر قليل فسيحصل انزلاق, لذا فإن أكبر قوة جر للأطارات ستكون مساوية لحاصل ضرب معامل الجر في الوزن على الأطارات القائدة.
- يحسب مقدار قوة الجر (Rimpull) للمركبة من المعادلة التالية:

$$Rimpull = \frac{273.7 \times horsepower \times effeciency}{speed}$$

where:

Rimpull is in (kg)

speed: the speed of the vehicle (km/h)

efficiency: is the efficiency of the engine (0.80 – 0.85)

if efficiency is not known take it equals to 0.85

مثال: احسب قوة السحب (Rimpull) لشاحنة ذات إطارات مطاطية و محرك بقدرة 140 hp, عندما تسير الشاحنة بسرعة 5.0 km/h . افترض أن معامل الجر كافي لأستخدام كامل قوة الشاحنة. وما مقدار قوة السحب عندما تسير الشاحنة بسرعة 20 km/h؟

الحل:

$$Rimpull = \frac{273.7 \times horsepower \times effeciency}{speed}$$

$$= \frac{273.7 \times 140 \times 0.85}{5} = 6514.1 \text{ kg} = 6.514 \text{ ton}$$

when speed= 20 km/h

$$Rimpull = \frac{273.7 \times 140 \times 0.85}{20} = 1628.5 \text{ kg} = 1.629 \text{ ton}$$

- يمكن ملاحظة ان قوة السحب تتناسب عكسيا مع سرعة سير المركبة.

مثال: جر الأطار لجرار في الترس الأول يعادل 6000 kg ووزن الجرار هو 12.4 ton. يسير الجرار صعودا على طريق ذو إنحدار قدره 2% ومقاومة دحرجة مقدارها 50 kg/ton . جد مقدار القوة الصافية التي يمكن للجرار إستعمالها في جر أحمال أخرى.

الحل:

Rolling resistance, RR= $50 \times 12.4 = 620$ kg

Grade resistance, GR= $W.sin\,\alpha$ $\tan\alpha = G = 0.02$,

then $\alpha = 1.146^{o}$, $sin\,\alpha = 0.019996 \approx 0.02$ (note that $sin\,\alpha \approx \tan\alpha$)

GR = $12.4 \times 0.02 = 0.248$ ton = 248 kg

Net force available = Engine force – (RR + GR)

F = 6000 – (620 + 248) = 5132 kg

قوة الجر للجرارات المجنزرة Drawbar Pull:

- وهي قوة الجر التي يمكن لجرار مجنزر (crawler tractor) أن يسلطها على الأحمال.
- لحساب قوة السحب التي يمكن تسليطها لقطر حمل يجب طرح قوى الإعاقة من القوة الكلية للمحرك
- ان قوة الجر للجرار المجنزر تتناسب عكسيا مع السرعة لكل مستوى في ناقل الحركة.
- تكون قوة الجر أكبر مايمكن اذا اشتغل الجرار في الترس الأول (First Gear).
- مقدار قوة الجر تعتمد عادة على طريقة فحص نبراسكا (Nebraska tests).
- في هذه الطريقة يتم إيجاد قوة الجر للمكائن المجنزرة لكل سرعة على طريق له مقاومة دحرجة تساوي 50kg/ton.
- لذا عند ايجاد قوة الجر للمعدات المجنزرة (drawbar pull) في طريق له مقاومة دحرجة تختلف عن 50kg/ton يجب تعديل هذه القوة بإضافة أو طرح حاصل ضرب وزن الجرار في الفرق بين مقاومة الدحرجة للطريق عن 50kg/ton.

مثال: جرار مجنزر وزنه 12 ton يتحرك على طريق افقي من التراب المرصوص بقوة جر صافية مقدارها 2750 kg , كم ستكون قوة الجر الصافية اذا انتقل الجرار الى طريق افقي من التراب غير المرصوص.

الحل:

Net force= Drawbar pull – resistance

Resistance = RR (GR = 0 because the road is horizontal)

From table (5) for compacted earth R= 31.5 kg/ton, for noncompacted earth R=43.0 kg/ton

Drawbar pull = Net force on first road + resistance on first road

= 2750 + 31.5 × 12 = 3128 kg

Net force on road second road= Drawbar pull – resistance on second road

= 3128-43.0 × 12= 2612kg

الفصل الثالث
ترسيخ وحدل التربة Soil Stabilization and Compaction

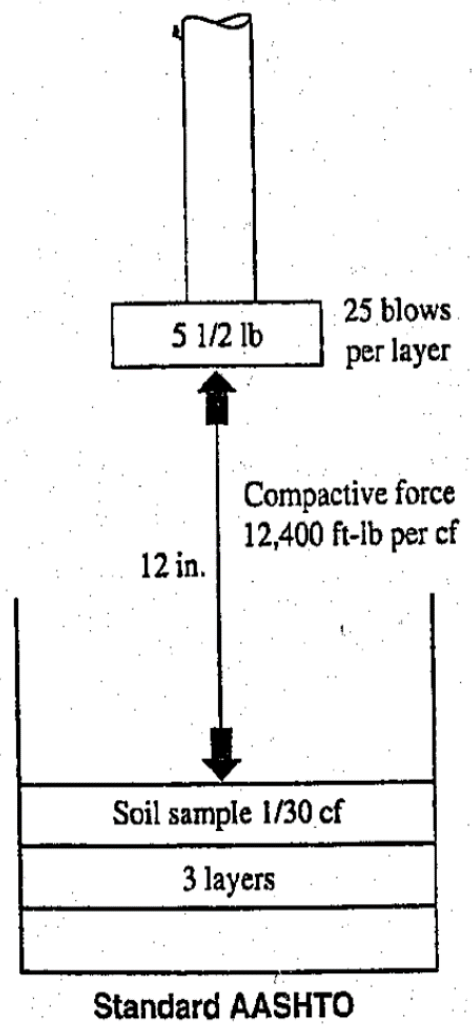
- تستعمل التربة في مجالات مختلفة من الحقول الأنشائية.
- التربة تمثل القاعدة التي تستند عليها المنشئات والطرق.
- تستعمل التربة أيضا لعمل السداد لمنع تسرب المياه من القنوات المائية .
- بعض أنواع التربة تستعمل كما هي بينما أنواع أخرى تحتاج لمعالجة لغرض تهيئتها للأستخدام.
- لذا يجب معرفة الخواص الأساسية للتربة.

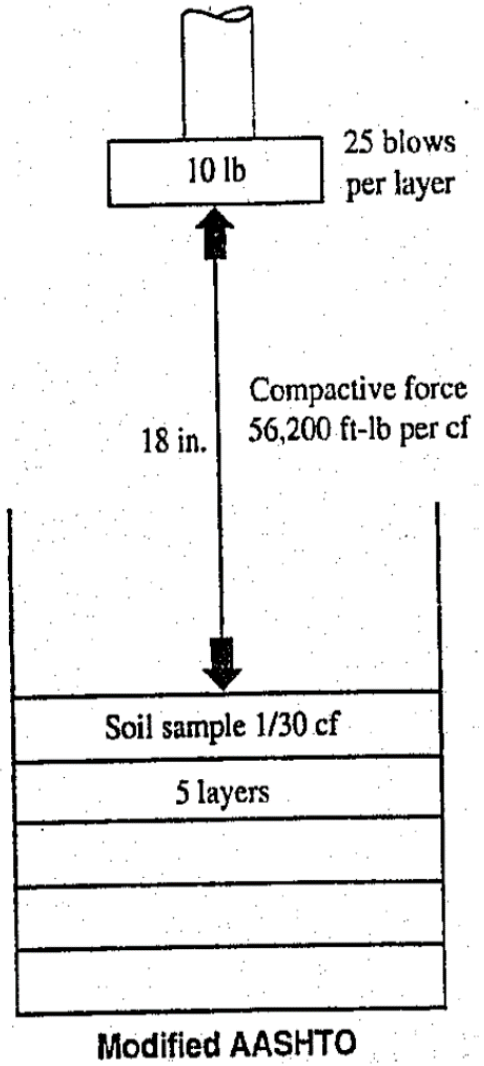
مصطلحات وإختصارات وتعاريف Terms, abbreviations and definitions :

- AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials
  - مواد الردم Backfill: المواد المستعملة في دفن وردم الحفريات
  - الضفة Bank: كتلة من التراب ترتفع عن معدل مستوى الأرض أو أي تربة تحفر من موقعها الأصلي
  - مقياس الضفة Bank measure: قياس حجم التربة وهي في وضعها في الطبيعة قبل حفرها.
  - القاعدة Base: طبقة المواد في طريق او مدرج التي توضع عليها طبقة التبليط.
- Standard Proctor Test: a method presented by Proctor to relate the maximum density of soil to its moisture content by applying a standard compaction effort.
- Modified Proctor: is similar to Standard proctor except that the effort is modified.
  - القاعدة الدنيا (تحت القاعدة) subbase: طبقة من التربة توضع تحت طبقة القاعدة لأعطائها قوة مناسبة.
  - الأرض الطبيعية Subgrade: هو السطح الناتج عن تسوية الأرض الطبيعية او هو سطح التربة التي تم استخدامها كقاعدة لمواد التبليط.
  - حفرة الأمداد Borrow pit: الحفرة أو الموقع الذي تجلب منه مواد الإملائيات.

Table 5–1 Characteristics of Proctor compaction tests

Test Details	Standard	Modified
Diameter of mold		
in.	4	4
mm	102	102
Height of sample		
in.	5 cut to 4.59	5 cut to 4.59
mm	127 cut to 117	127 cut to 117
Number of layers	3	5
Blows per layer	25	25
Weight of hammer		
lb	5.5	10
kg	2.5	4.5
Diameter of hammer		
in.	2	2
mm	51	51
Height of hammer drop		
in.	12	18
mm	305	457
Volume of sample		
cu ft	1/30	1/30
l	0.94	0.94
Compactive effort		
ft-lb/cu ft	12,400	56,200
kJ/m^3	592	2693





خواص التربة Soil Characteristics:

- الأنتفاخ والأنكماش Swell and Shrinkage:
- إن حجم وكثافة التربة يتغيران اثناء حفرها ونقلها ووضعها في المكان المطلوب ثم حدلها.
- لذا عند ذكر حجم التربة يجب ان يتم توضيح طبيعة ذلك الحجم وكما يلي:

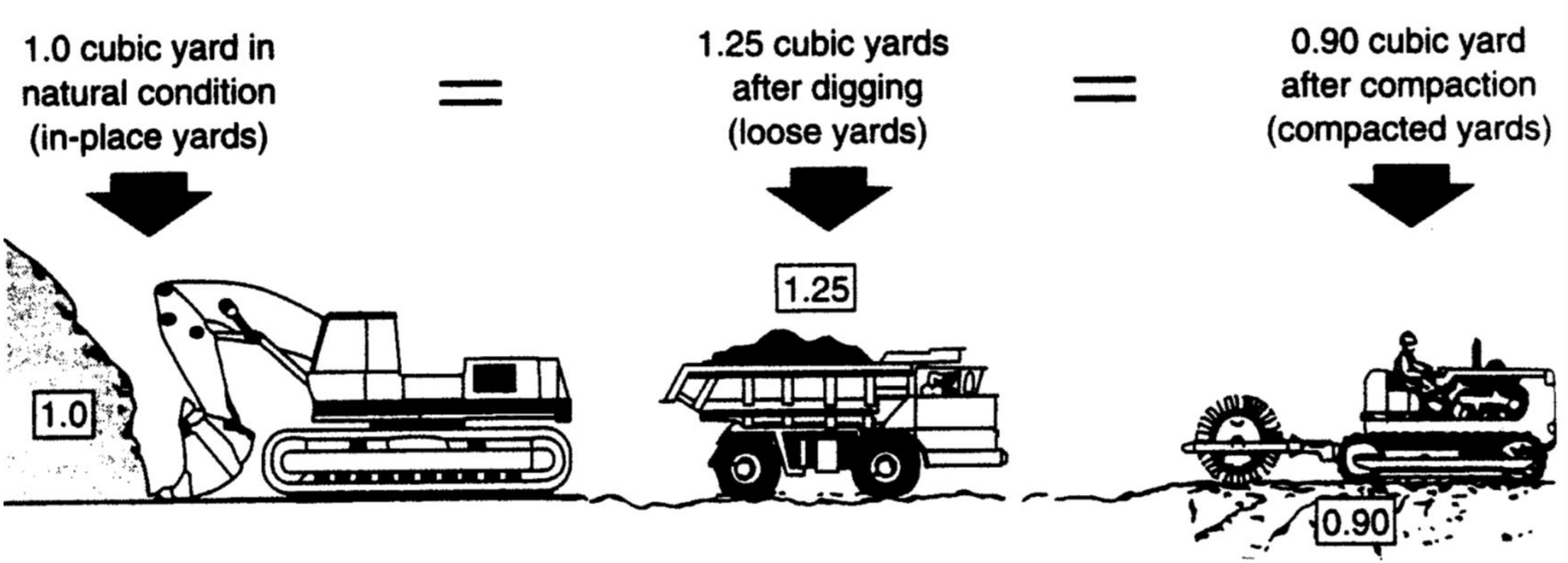
1. مقياس حجم الضفة Bank: وهو قياس حجم التربة وهي في حفرة الأمداد او الأرض الطبيعية قبل الحفر. وهذا الحجم هو الذي يستخدم عادة عند حساب الكلفة.
2. مقياس الحجم الرخو Loose: هو قياس حجم التربة بعد حفرها وهي بالشكل الرخو حيث تحمل في الشاحنات اوالقاشطات.
3. مقياس الحجم المحدول Compacted: وهو قياس حجم التربة بعد وضعها في المكان المطلوب وحدلها. يستعمل هذا الحجم أحيانا في دفع قيمة التربة اذا كان المطلوب أن تكون محدولة.

الأنتفاخ Swell:

- يزداد حجم التربة عند حفرها ويعبر عن هذه الزيادة بنسبة مئوية من الحجم الأصلي للتربة (حجم الضفة).
- مثلا اذا تم حفر $1\ m^3$ من التربة ووجد أن الحجم الرخو أصبح $1.25\ m^3$ فإن مقدار الأنتفاخ هو 25%.
- يعتمد مقدار الأنتفاخ على نوع التربة ورطوبتها.

الأنكماش Shrinkage:

- عند وضع التربة في مكان الدفن وحدلها فإن حجمها سيقل نتيجة زيادة كثافتها بسبب الحدل.
- يعبر عن هذا النقصان بنسبة مئوية من الحجم الأصلي (حجم الضفة).
- مثلا اذا تم حفر $1\ m^3$ من التربة ثم وضع في المكان المطلوب وتم حدله ووجد بإن حجمه اصبح $0.9\ m^3$ فإن مقدار الأنكماش هو 10%.
- يعتمد مقدار الأنكماش على نوع التربة ورطوبتها ودرجة الحدل.



Typical soil volume change during earthmoving

يمكن حساب نسبة الإنتفاخ من المعادلة:

$$Swell\ (\%) = \left(\frac{weight/bank\ volume}{weight/loose\ volume} - 1\right) \times 100$$

$$= \left(\frac{bank\ unit\ weight}{loose\ unit\ weight} - 1\right) \times 100$$

or

$$Swell\ (\%) = \left(\frac{loose\ volume}{bank\ volume} - 1\right) \times 100$$

Example: Find the swell of a soil that weighs 1661 kg/m^3 in its natural state and 1186 kg/m^3 after excavation.

Solution:

$$Swell\ (\%) = \left(\frac{bank\ unit\ weight}{loose\ unit\ weight} - 1\right) \times 100$$

$$Swell\ (\%) = \left(\frac{1661}{1186} - 1\right) \times 100 = 40\%$$

- This means that 1.0 m^3 of the soil will expand to 1.4 m^3 of loose soil after excavation.

تحسب نسبة الأنكماش من المعادلة:

$$Shrinkage\ (\%) = \left(1 - \frac{weight/bank\ volume}{weight/compacetd\ volume}\right) \times 100$$

$$= \left(1 - \frac{bank\ unit\ weight}{compacted\ unit\ weight}\right) \times 100$$

or

$$Shrinkage\ (\%) = \left(1 - \frac{compacted\ volume}{bank\ volume}\right) \times 100$$

Example: Find the shrinkage of a soil that weighs 1661 kg/m^3 in its natural state and 2077 kg/m^3 after compaction.

Solution:

$$Shrinkage\ (\%) = \left(1 - \frac{bank\ unit\ weight}{compacted\ unit\ weight}\right) \times 100$$

$$Shrinkage\ (\%) = \left(1 - \frac{1661}{2077}\right) \times 100 = 20\%$$

- This means that 1.0 m^3 of bank soil will shrink to 0.8 m^3 of compacted soil.

Swell (Load) Factor & Shrinkage Factor:

- عند تنفيذ الأعمال الترابية فمن المهم ان يتم تحويل حجوم التربة الى مقياس موحد مشترك.
- على الرغم أن مقياس الضفة Bank Measure هو الذي يكون معتمدا لهذا الغرض, مع ذلك يمكن استخدام أي واحد من الحجوم الثلاثة لمقياس مشترك لحساب الحجوم.
- بسبب كون كميات التربة التي يتم تحميلها والتربة التي يتم تكديسها تحسب على أساس الحجم الرخو, فمن الضروري ان يتوفر معامل للتحويل بين الحجم الرخو وحجم الضفة.
- هذا المعامل يسمى معامل الأنتفاخ او الحمل Swell or Load Factor, ويحسب من المعادلتين التاليتين:

$$Swell\ Factor = \frac{loose\ unit\ wiegt}{bank\ unit\ weight} \qquad or \qquad Swell\ Fctor = \frac{1}{1+swell}$$

$$Bank\ Volume = \text{Loose Volume} \times Swell\ Factor$$

حيث يتم ضرب كمية الحجم الرخو بمعامل الإنتفاخ لإيجاد كمية حجم الضفة.

- يستخدم معامل الأنكماش لتحويل حجم التربة المحدولة الى حجم الضفة, ويحسب من المعادلتين التاليتين:

$$Shrinkage\ Factor = \frac{bank\ unit\ wiegt}{compacted\ unit\ weight} \quad or \quad Shrinkage\ Fctor = 1 - shrinkage$$

$$Bank\ Volume = Compacted\ Volume\ /\ Shrinkage\ Factor$$

Example: A soil weighs 1163 kg/LCM, 1661 kg/BCM, and 2077 kg/CCM.

(a) Find the load (swell) factor and shrinkage factor.

(b) How many bank cubic meters (BCM) and compacted cubic meters (CCM) are contained in 593,300 loose cubic meter (LCM) of the soil?

Solution:

(a) $Swell\ Factor = \frac{loose\ unit\ wiegt}{bank\ unit\ weight} = \frac{1163}{1661} = 0.70$

$Shrinkage\ Factor = \frac{bank\ unit\ wiegt}{compacted\ unit\ weight} = \frac{1661}{2077} = 0.80$

(b) Bank Volume= Loose Volume × Swell Factor = 593,300 × 0.70 = 415,310 BCM

Bank Volume = Compacted / Shrinkage Factor

then

Compacted Volume = Bank Volume × Shrinkage Factor = 415,310 × 0.80 = 332,248 m^3 (CCM)

جدول (11): قيم وزن الضفة والوزن الرخو ونسبة الأنتفاخ ومعامل الأنتفاخ لأنواع مختلفة من التربة

Material	Bank weight		Loose weight		Percent swell	Swell factor*
	lb/cy	kg/m³	lb/cy	kg/m³		
Clay, dry	2,700	1,600	2,000	1,185	35	0.74
Clay, wet	3,000	1,780	2,200	1,305	35	0.74
Earth, dry	2,800	1,660	2,240	1,325	25	0.80
Earth, wet	3,200	1,895	2,580	1,528	25	0.80
Earth and gravel	3,200	1,895	2,600	1,575	20	0.83
Gravel, dry	2,800	1,660	2,490	1,475	12	0.89
Gravel, wet	3,400	2,020	2,980	1,765	14	0.88
Limestone	4,400	2,610	2,750	1,630	60	0.63
Rock, well blasted	4,200	2,490	2,640	1,565	60	0.63
Sand, dry	2,600	1,542	2,260	1,340	15	0.87
Sand, wet	2,700	1,600	2,360	1,400	15	0.87
Shale	3,500	2,075	2,480	1,470	40	0.71

*The swell factor is equal to the loose weight divided by the bank weight per unit volume.

جدول (12): قيم الكثافة الرخوة والضفة والمحدولة ونسب الأنتفاخ والأنكماش ومعامل الأنتفاخ ومعامل الأنكماش لأنواع الترب والصخور

	Unit Weight [lb/cu yd (kg/m^3)]			Swell	Shrinkage	Load	Shrinkage
	Loose	*Bank*	*Compacted*	(%)	(%)	Factor	Factor
Clay	2310 (1370)	3000 (1780)	3750 (2225)	30	20	0.77	0.80
Common earth	2480 (1471)	3100 (1839)	3450 (2047)	25	10	0.80	0.90
Rock (blasted)	3060 (1815)	4600 (2729)	3550 (2106)	50	–30**	0.67	1.30**
Sand and gravel	2860 (1697)	3200 (1899)	3650 (2166)	12	12	0.89	0.88

*Exact values vary with grain size distribution, moisture, compaction, and other factors. Tests are required to determine exact values for a specific soil.

**Compacted rock is less dense than is in-place rock.

أنواع التربة:

تقسم التربة هندسيا الى الأنواع التالية:

1. حصى
2. رمل
3. غرين
4. طين
5. مواد عضوية

- في الموقع فإن التربة في الغالب تتألف من خليط من عدد من هذه الأنواع.
- تكون بعض انواع التربة قوية ومتماسكة في حين تكون انواع اخرى ضعيفة ولايمكنها إسناد الأحمال التصميمية.
- يعتمد تحمل التربة على:

1) تصنيفها (والذي يعتمد على نسب الأنواع أعلاه)
2) كثافة التربة
3) نسبة الرطوبة

جدول (12): الخواص الأنشائية لأنواع مختلفة من التربة

Soil Type	Symbol	Drainage	Construction Workability	Suitability for Subgrade (No Frost Action)	Suitability for Surfacing
Well-graded gravel	GW	Excellent	Excellent	Good	Good
Poorly graded gravel	GP	Excellent	Good	Good to excellent	Poor
Silty gravel	GM	Poor to fair	Good	Good to excellent	Fair
Clayey gravel	GC	Poor	Good	Good	Excellent
Well-graded sand	SW	Excellent	Excellent	Good	Good
Poorly graded sand	SP	Excellent	Fair	Fair to good	Poor
Silty sand	SM	Poor to fair	Fair	Fair to good	Fair
Clayey sand	SC	Poor	Good	Poor to fair	Excellent
Low-plasticity silt	ML	Poor to fair	Fair	Poor to fair	Poor
Low-plasticity clay	CL	Poor	Fair to good	Poor to fair	Fair
Low-plasticity organic	OL	Poor	Fair	Poor	Poor
High-plasticity silt	MH	Poor to fair	Poor	Poor	Poor
High-plasticity clay	CH	Very poor	Poor	Poor to fair	Poor
High-plasticity organic	OH	Very poor	Poor	Very poor to poor	Poor
Peat	Pt	Poor to fair	Unsuitable	Unsuitable	Unsuitable

جدول (13): التصنيف الموحد للتربة

Coarse-Grained Soils (Less Than 50% Pass No. 200 Sieve)		Percent of Coarse Fraction Less Than $\frac{1}{4}$ in.	Percent of Sample Smaller Than No. 200 Sieve	Comments
Symbol	*Name*			
GW	Well-graded gravel	50 max.	< 10	Wide range of grain sizes with all intermediate sizes
GP	Poorly graded gravel	50 max.	< 10	Predominantly one size or some sizes missing
SW	Well-graded sand	51 min.	< 10	Wide range of grain sizes with all intermediate sizes
SP	Poorly graded sand	51 min.	< 10	Predominantly one size or some sizes missing
GM	Silty gravel	50 max.	≥ 10	Low-plasticity fines (see ML below)
GC	Clayey gravel	50 max.	≥ 10	Plastic fines (see CL below)
SM	Silty sand	51 min.	≥ 10	Low-plasticity fines (see ML below)
SC	Clayey sand	51 min.	≥ 10	Plastic fines (see CL below)

Tests on Fraction Passing No. 40 Sieve (Approx. $\frac{1}{64}$ in. or 0.4 mm)*

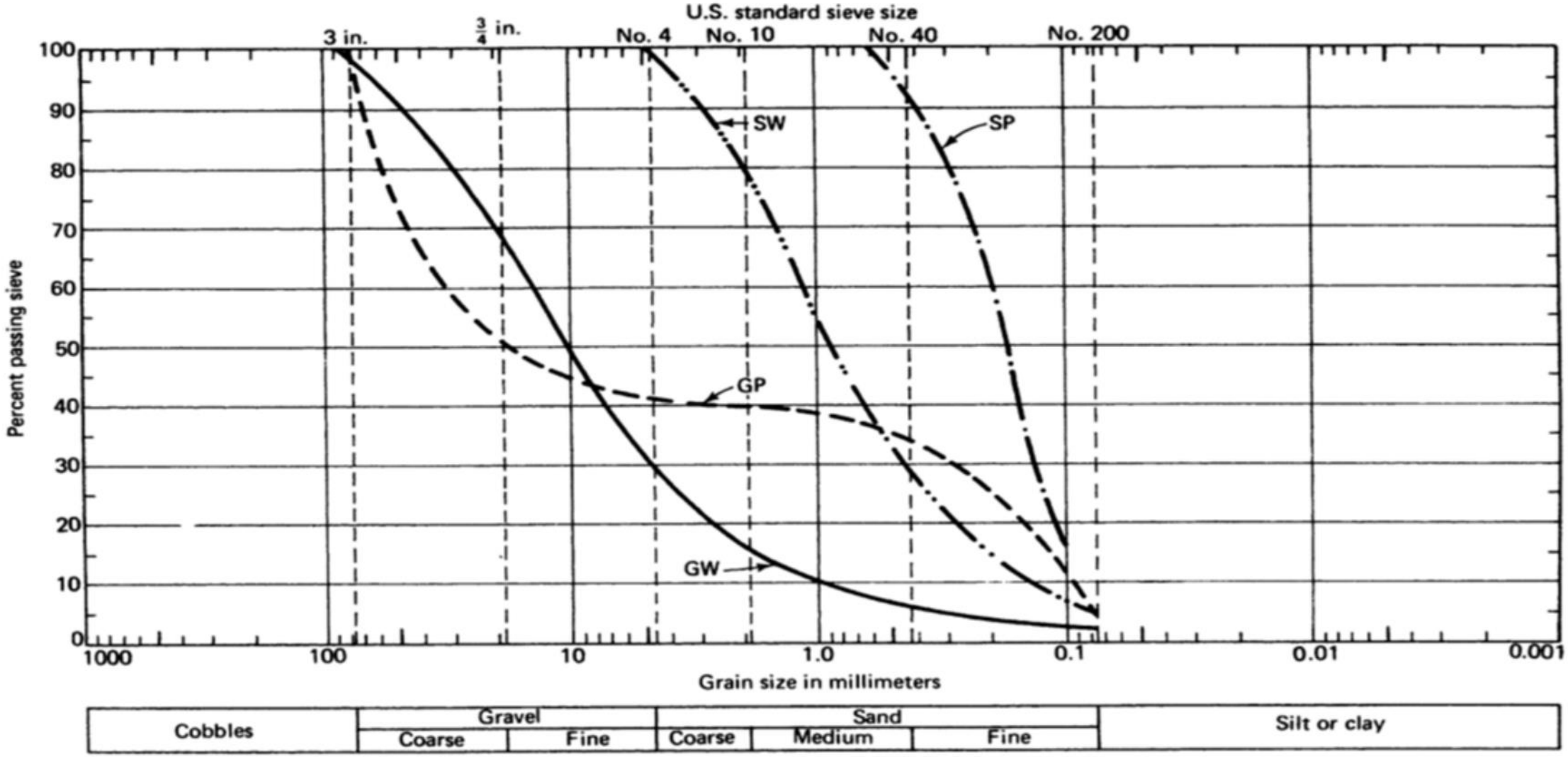
Fine-Grained Soils (50% or More Pass No. 200 Sieve)				
Symbol	*Name*	Dry Strength	Shaking	Other
ML	Low-plasticity silt	Low	Medium to quick	
CL	Low-plasticity clay	Low to medium	None to slow	
OL	Low-plasticity organic	Low to medium	Slow	Color and odor
MH	High-plasticity silt	Medium to high	None to slow	
CH	High-plasticity clay	High	None	
OH	High-plasticity organic	Medium to high	None to slow	Color and odor
Pt	Peat	Identified by dull brown to black color, odor, spongy feel, and fibrous texture		

*Laboratory classification based on liquid limit and plasticity index values.

جدول (14): تصنيف التربة حسب نظام AASHTO

	Group Number										
	A-1		A-2								
	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
Percent passing											
No. 10 sieve	50 max.										
No. 40 sieve	30 max.	50 max.					51 min.				
No. 200 sieve	15 max.	25 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	10 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Fraction passing No. 40											
Liquid limit	6 max.	6 max.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.		40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index			10 max.	10 max.	11 min.	11 min.		10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Typical material	Gravel and sand		Silty or clayey sand or gravel				Fine sand	Silt	Silt	Clay	Clay

نماذج من منحنيات التدرج للترب الحبيبية - الخشنة

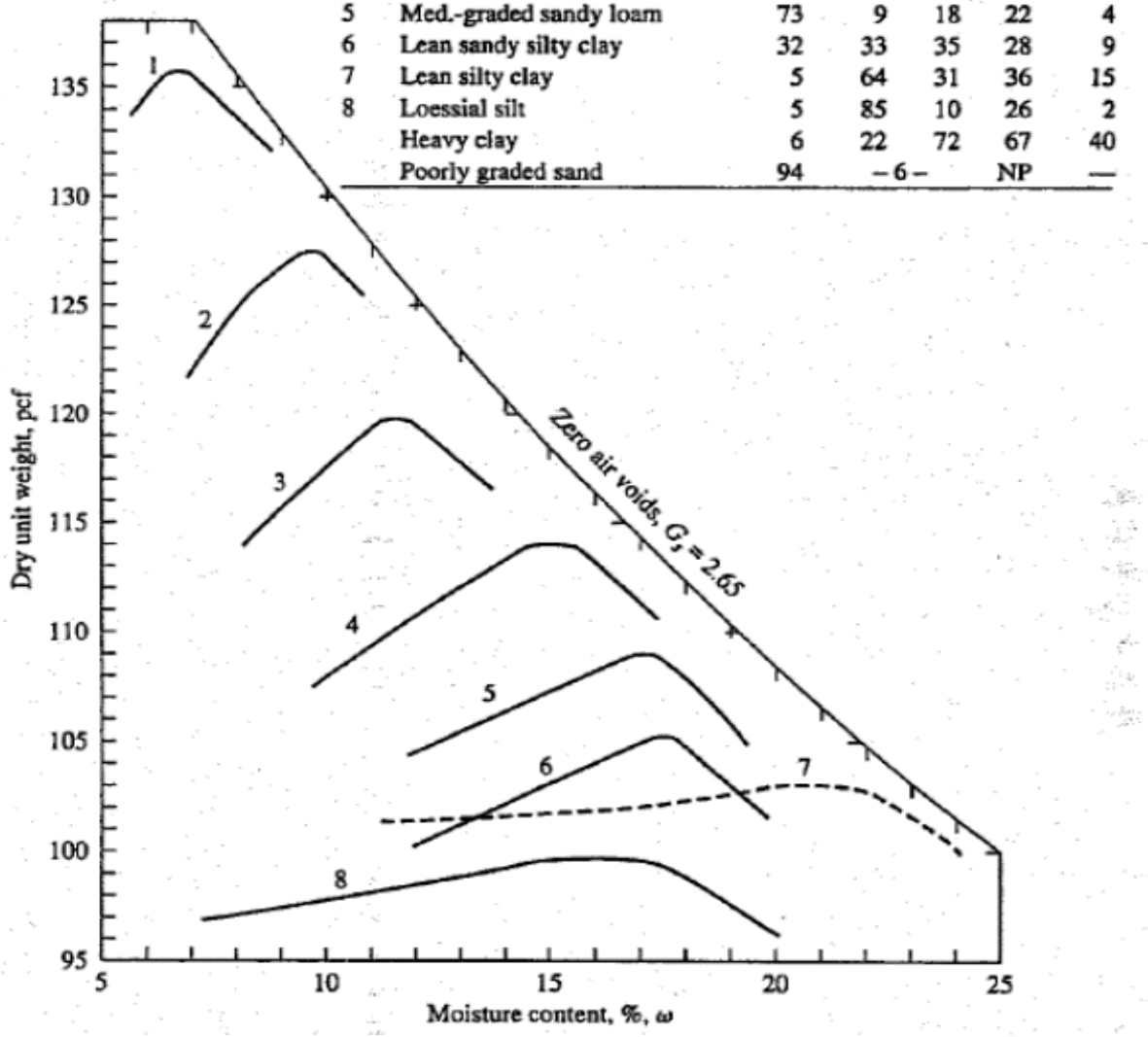


حدل التربة Soil Compaction:

- وهو عملية زيادة كثافة التربة عن طريق تسليط جهد لتقليل المسافات بين حبيبات التربة وطرد الهواء من الفجوات.
- محتوى الرطوبة الأمثل Optimum Moisture Content: وهو نسبة الرطوبة الموجودة في التربة والتي عندها يمكن الوصول الى الكثافة الجافة العظمى للتربة عن طريق تسليط جهد حدل محدد.
- يحسب محتوى الرطوبة من قسمة وزن الماء في التربة الى الوزن الجاف لها.
- تكون قيمة محتوى الرطوبة الأمثل للترب الناعمة من 12% - 25%.
- في حين تكون قيمته للترب الخشنة جيدة التدرج من 7% - 12%.

SOIL TEXTURE AND PLASTICITY DATA

No.	Description	Sand	Silt	Clay	LL	PI
3	Well-graded loamy sand	88	10	2	16	NP
4	Well-graded sandy loam	78	15	13	16	NP
5	Med.-graded sandy loam	73	9	18	22	4
6	Lean sandy silty clay	32	33	35	28	9
7	Lean silty clay	5	64	31	36	15
8	Loessial silt	5	85	10	26	2
	Heavy clay	6	22	72	67	40
	Poorly graded sand	94	–6–		NP	—



العلاقة بين الكثافة الجافة
و نسبة الرطوبة
لأنواع مختلفة من التربة

تعديل نسبة الرطوبة الموقعية الى محتوى الرطوبة الأمثل:

- قبل القيام بحدل التربة في الموقع يجب جعل نسبة الرطوبة الموقعية مساوية الى محتوى الرطوبة الأمثل وذلك للحصول على أكبر كثافة جافة.
- قد يكون محتوى الرطوبة في الموقع أقل من محتوى الرطوبة الأمثل وهذا يعني ضرورة إضافة ماء للتربة.
- عند إضافة الماء للتربة لغرض ايصال الرطوبة فيها الى المحتوى الأمثل يجب مراعاة النقاط التالية:

1) كمية الماء المطلوب إضافتها
2) معدل إضافة الماء
3) طريقة الأضافة
4) تأثير الطقس والظروف الجوية.

1. كمية الماء المطلوب إضافتها: وتحسب من المعادلة

$$Q = \gamma_{req} \times V \times (m_{req} - m_o)/100$$

Q: quantity of water to be added (t)

γ_{req}: the required density ($gm/cm^3 = t/m^3$)

V: volume of soil layer (m^3)

m_{req}: required moisture (%)

m_o: initial field moisture (%)

2. معدل إضافة الماء: ويقصد به كمية الماء المطلوب رشها لكل متر مربع.

ويحسب من المعادلة:

$$q = \frac{Q \times h}{V}$$

q: quantity of water per square meter (ton)

h: thickness of layer (m)

3. طريقة الأضافة: وغالبا ما يتم استخدام صهاريج الماء ذات المرشات.

4. تأثير الطقس والظروف الجوية: يؤثر الطقس على رطوبة التربة وعلى كمية الماء التي تم رشها على التربة, فالجو الغائم او الممطر يجعل التربة تحتفظ بالرطوبة في حين الجو الحار المشمس يجعل التربة تفقد الرطوبة بشكل سريع. لذا في الأجواء الحارة جدا قد يتطلب الأمر زيادة نسبة الماء في التربة الى 6% أعلى من المحتوى الرطوبي الأمثل.

تقليل رطوبة التربة:

- عندما تكون رطوبة التربة أكبر من الرطوبة المثلى, عندئذ يجب سحب الماء من التربة.
- طرق تقليل رطوبة التربة تتراوح من طرق بسيطة كتقليب التربة وتخديشها وتعريضها للهواء لحين الوصول لمحتوى الرطوبة الأمثل.
- وقد يكون تقليل الرطوبة بطرق أكثر تعقيد وكلفة تسمى تثبيت التربة.
- ويقصد بتثبيت التربة هو اضافة مواد تمتص الرطوبة مثل النورة والسمنت وغيرها.
- تثبيت التربة يؤدي الى تغيير خواص التربة بسبب المواد التي تم إضافتها.

فحوصات التربة:

- لغرض إعداد تصاميم الأعمال الترابية وطبقات الطرق يجب معرفة خواص التربة في الموقع.
- هذه الفحوصات تشمل الخواص الميكانيكية للتربة (المقاومة) والتدرج وحد السيولة ودليل اللدونة ونسبة الرطوبة والكثافة الموقعية.
- كذلك من الضروري اجراء فحوصات لغرض تقييم جودة تنفيذ العمل.
- والتي تشمل الكثافة الموقعية وايجاد قابلية التحمل لطبقات الحدل بواسطة فحص الصفيحة.
- وتقسم هذه الفحوصات الى نوعين:

1) فحوصات مختبرية: مثل ايجاد الكثافة العظمى والرطوبة المثلى بطريقة بروكتر.
2) فحوصات حقلية: مثل فحص الكثافة الحقلية وفحص تحميل الصفيحة (Plate Load Test)

Plate Load Test

Field Soil Density

Nuclear method

Core Cutter method

Sand Replacement method

تثبيت (ترسيخ) التربة Soil Stabilization:

- تتعرض بعض أنواع التربة الى الأنتفاخ والأنكماش عند تغير محتوى الرطوبة فيها.
- هذه التغيرات الحجمية تؤدي الى تكسير وتلف في المنشئات والطرق المنفذة على هذه التربة.
- للتخلص من هذه التغييرات الحجمية أو التقليل من مقاديرها تستخدم طريقة تثبيت التربة.
- تتم عملية التثبيت في نفس موقع العمل على التربة الطبيعية او التربة التي يراد وضعها في طبقات الدفن.
- يتم إجراء التثبيت لطبقة التربة الطبيعية (subgrade) او طبقة تحت القاعدة (sub-base) اوطبقة القاعدة.

طرق تثبيت التربة:

1) مزج وخلط التربة غير المتجانسة للحصول على تربة متجانسة.
2) مزج مادة الجير المطفأ (Hydrated Lime) مع التربة فيها نسبة عالية من الطين.
3) مزج التربة بمادة الأسفلت.
4) مزج التربة بالسمنت.
5) دمج أملاح ومركبات كيمياوية مختلفة في التربة.
6) حدل التربة بشكل جيد بعد معالجتها.

1) مزج وخلط التربة غير المتجانسة للحصول على تربة متجانسة.

- بسبب ان حفر التربة يكون من اعماق ومواقع مختلفة فمن المتوقع ان تكون لها خواص مختلفة.
- للحصول على تربة متجانسة يتم خلط التربة عند حفرها وكذلك عند فرشها بطبقات قبل الحدل للحصول على طبقة ذات خواص متجانسة.

2) مزج مادة الجير المطفأ (Hydrated Lime) مع التربة فيها نسبة عالية من الطين.

- يحصل الأنتفاخ في التربة عندما تكون قيمة دليل اللدونة (Plasticity Index) كبيرة(أكبرمن 50%).
- يمكن خفض قيمة دليل اللدونة عن طريق مزج التربة بالجير المطفأ.
- ان انخفاض دليل اللدونة عند مزج التربة بالجير المطفأ هو بسبب التبادل القاعدي بين الجير ودقائق الطين مما يسبب تكتل دقائق الطين على شكل حبيبات أكبر حجما.

3) مزج التربة بمادة الأسفلت:

- إن إضافة الأسفلت للتربة بنسبة 5% - 7% من حجم التربة يزيد من استقراريتها.
- يمكن ايضا استخدام مواد ناعمة جدا بنسبة 10% - 15% من حجم التربة لمليء الفراغات في التربة قبل إضافة الأسفلت.
- عند إستخدام الأسفلت لتثبيت التربة يجب ان تكون رطوبة التربة قليلة.
- كذلك يجب إعطاء الوقت الكافي للزيوت المتطايرة للتبخر من الأسفلت قبل بدء عملية الحدل.
- يمكن استخدام التربة المثبتة بالأسفلت كطبقة قاعدة تحت مواد التبليط اوكطبقة نهائية للطرق الثانوية.

4) مزج التربة بالسمنت:

- يعتبر استعمال السمنت من الطرق الشائعة والإقتصادية في تثبيت التربة الحاوية على نسبة عالية من الطين والغرين.
- تتم عملية التثبيت بنشر السمنت بنسبة 5% - 7% من وزن الطبقة المراد تثبيتها ثم تخلط التربة بماكنة مناسبة مع الرش بالماء للوصول الى نسبة الماء المثلى ثم يعدل السطح ويحدل.
- يجب ان يتم حدل التربة خلال 30 دقيقة من خلط السمنت.
- تستعمل في البداية حادلات رئوية (ذات اطارات مطاطية) ثم تتم عملية الحدل النهائي بإستخدام حادلات حديدية ملساء.

Table (15): Common stabilization materials

Material	Soil	Quantity (% by weight)	Curing Time
Granular admixtures	Various	Varies	None
Portland cement*	Gravel	3–4	24 h
	Sand	3–5	
	Silt/clayey silt	4–6	
	Clay	6–8	
Lime*			
Hydrated	Clayey gravel	2–4	7 days
	Silty clay	5–10	
	Clay	3–8	
Quicklime	Clayey gravel	2–3	4 h
	Silty clay	3–8	
	Clay	3–6	
Asphalt	Sand	5–7	
	Silty or clayey sand	6–10	1–3 days

مكائن ومعدات الحدل:

أن الغاية من حدل التربة هو لتحسين خواصها للغرض:

1. تقليل او منع الهبوط.
2. تحسين قابلية التحمل.
3. تقليل التغيرات الحجمية.
4. تقليل النفاذية.

- تستعمل كثافة التربة كمعيار لتقييم الصفات الجيدة للتربة وذلك لوجود ارتباط مباشر بين كثافة التربة وتلك الصفات.

أنواع مكائن الحدل:

- تتم عملية الحدل بتسليط طاقة معينة أو جهد على التربة بواحدة أو أكثر من الطرق التالية:

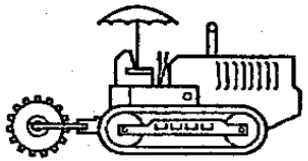
1. الأصطدام (ضربات ضربات حادة) Impact
2. الضغط (الحمل الساكن) Pressure
3. الأهتزاز Vibration (Shaking)
4. العجن Kneading

- إن كفاء طريقة الحدل تعتمد على خواص التربة. كما مبين في الجدول (16) أدناه:

Material	Method of Compaction			
	Impact	Pressure	Vibration	Kneading
Gravel	Poor	No	Good	Very Good
Sand	Poor	No	Excellent	Good
Silt	Good	Good	Poor	Excellent
Clay	Excellent with confinement	Very Good	No	Good

- تتم صناعة الحادلات بمواصفات متعددة لتحقيق واحد او أكثر من طرق الحدل السابقة.
- توجد عدة أنواع من معدات الحدل منها:

1. حادلات أضلاف الغنم

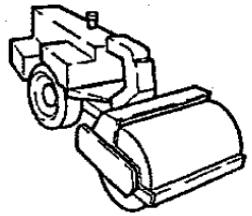


1. Sheepsfoot rollers

2. حادلات مدقية

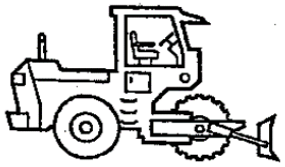
2. Tamping rollers

3. حادلات أسطوانية ملساء هزازة



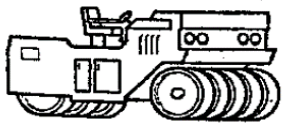
3. Smooth-drum vibratory soil compactors

4. حادلات مدقية اسطوانية هزازة



4. Pad-drum vibratory soil compactors

5. حادلات ذات اطارات رئوية



5. Pneumatic-tired rollers

- الجدول التالي يبين مبدأ العمل لكل نوع من الحادلات:

جدول (17): مبدأ العمل لأنواع الحادلات المختلفة

Compactor Type	Method of Compaction			
	Impact	Pressure	Vibration	Kneading
Sheepsfoot		yes		
Tamping roller	yes	yes		
Vibrating Smooth Roller	yes		yes	
Vibrating Pad Roller	yes		yes	
Pneumatic		yes		yes

- توجد أنواع أخرى من معدات الحدل مثل:

1. حادلات ذاتية الحركة ذات صفائح أو أقدام هزازة.
2. حادلات ذات اسطوانات مشبكة (Grid).
3. حادلات يدوية ذات صفائح هزازة.
4. حادلات يدوية.

- إن الهدف من استخدام معدات الحدل هو الحصول على اكبر كثافة للتربة بأقصر وقت وأقل كلفة.
- لذا يجب اختيار نوع الحادلة المناسب للتربة المراد حدلها.
- وبالتالي يجب اخذ نماذج من التربة واجراء فحوصات مختبرية عليها قبل تحديد نوع المعدات المناسبة.
- الجدول التالي بين النوع المناسب من معدات الحدل لكل نوع من التربة:
- جدول (18)

Material	Lift thickness (in.)	Number of passes	Compactor type	Comments
Gravel	8–12	3–5	Vib. padfoot	Foot psi 150–200
			Vib. smooth	—
			Pneumatic	Tire psi 35–130
			Sheepsfoot	Foot psi 150–200
Sand	8–10	3–5	Vib. padfoot	—
			Vib. smooth	—
			Pneumatic	Tire psi 35–65
			Smooth static	Tandem 10–15 ton
Silt	6–8	4–8	Vib. padfoot	Foot psi 200–400
			Tamping foot	—
			Pneumatic	Tire psi 35–50
			Sheepsfoot	Foot psi 200–400
Clay	4–6	4–6	Vib. padfoot	Foot psi 250–500
			Tamping foot	—
			Sheepsfoot	Foot psi 250–500

Table (19): Compaction Equipment Selection Guide

Material	Type of Compactor				
	Steel Wheel	Pneumatic	Vibratory	Tamping foot	Grid
Rock	Good	Poor	Good	Good	Good
Gravel, clean or silty	Good	Medium	Good	Good	Good
Gravel, clean	Good	Medium	Medium	Good	Medium
Sand, clean or silty	Poor	Poor	Good	Poor	Medium
Sand, clayey silt	Poor	Medium	Medium	Good	Poor
Clay	Poor	Good	Medium	Good	Poor

1. حادلات أضلاف الغنم Sheepsfoot Rollers:

- تكون هذه الحادلات بشكل إسطوانة حديدية فارغة ذات بروزات (أقدام).
- يمكن زيادة وزن الحادلة بمليء الأسطوانة بالماء ليصل الضغط لأكثر من 5 N/mm^2.
- تكون مناسبة للترب الناعمة (الطين والغرين) ولكنها غير مناسبة للترب الحبيبية غير المتماسكة.

- عندما تتحرك هذه الحادلة فإن أقدامها تتغلغل في التربة مولدة عملية عجن وخلط لها.
- مع تكرار مرور الحادلة يبدأ تغلغل الأقدام يقل تدريجيا لغاية الوصول الى درجة الحدل المطلوبة.
- يكون عمل هذه الحادلة فقط بسرعة من 4 الى 6 ميل بالساعة.
- طبقة التربة بسمك 20 سم تحتاج لمرور الحادلة من 6 الى 10 مرات.
- ان عملية العجن والخلط تؤدي الى تهوية التربة, لذا تكون هذه الحادلة مثالية للترب ذات الرطوبة العالية.
- هذه الحادلة لايمكنها حدل ال 5 الى 7.5 سم العلوية من الطبقة بشكل كافي لذا يجب ان تليها حادلة ذات اطارات رئوية أو حادلة اسطوانية ملساء لحدل وتسوية الطبقة الأخيرة.

2. حادلات مدقية Tamping Rollers:

- هذه الحادلات مشابهة لحادلات أضلاف الغنم مع ابدال الأقدام (البروزات) بفلق أو وسائد.
- يوجد نوع يمى بالحادلات الشبكية حيث يوجد فيها مشبك من قضبان حديدية حول الأسطوانة.
- وجدود المشبك يفيد في تهشيم الصخور الموجودة في التربة.
- يمكن زيادة وزن الحادلة بتحميلها بالرمل أو الأحجار لزيادة كفاءة الحدل.

3. حادلات أسطوانية ملساء:

- تكون هذه الحادلة ذات دواليب حديدية أسطوانية ملساء, يمكن ملئها بالماء أو الرمل لزيادة وزنها.
- تصنف هذه الحادلات حسب وزنها فمثلا حادلة 14 – 20 طن يعني ان وزنها وهي فارغة 14 ووزنها وهي مملوءة 20 طن.
- يمكن ان يشار الى هذه الحادلات حسب الوزن المسلط على الملمتر طول من عرض الدولاب, مثلا 6 كغم لكل ملمتر من عرض الدولاب.
- تكون هذه الحادلة مناسبة لحدل التربة الحبيبية مثا الرمل والحصى والصخور المكسرة.
- تكون جيدة في جعل سطوح الطرق ملساء بعد حدلها بالحادلات المدقية.
- غير مناسبة لحدل التربة الطينية وذلك لأنها تشكل قشرة قوية فوق سطح التربة دون تغلغل تأثير الحدل الى عمق الطبقة.

4. حادلات ذات إطارات رئوية:

- تكون هذه الحادلات ذات إطارات مطاطية تملأ بالهواء المضغوط.
- يكون الحدل في هذا النوع بطريقة العجن.
- الحادلات ذات الأطارات الصغيرة تكون عادة بمحورين في كل محور من 4 الى 9 إطارات.
- تثبت الأطارات الخلفية بوضع يجعلها تمر فوق المسار مابين الأطارات الأمامية وبذلك يتم حدل جميع المنطقة.
- يمكن زيادة وزنها بتحميلها بالحصى اوالرمل, او مليء خزان موجود ضمن هيكلها بالماء.
- أما الحادلات ذات الأطارات الكبيرة فإنها تكون بأوزان مختلفة من 15 – 200 طن.
- يمكن استعمال هذه الحادلات لجميع أنواع التربة ولأعماق مختلفة بسبب وزنها الكبير وارتفاع ضغط الهواء داخل إطاراتها.

- يمكن تحديد قابلية الحدل للحادلات الرئوية بالطرق التالية:

1. حسب الوزن الكلي للحادلة.
2. حسب الوزن الكلي المسلط على الأطار الواحد.
3. حسب الوزن لكل ملمتر طول من عرض الأطار.
4. حسب ضغط الهواء داخل الأطارات.

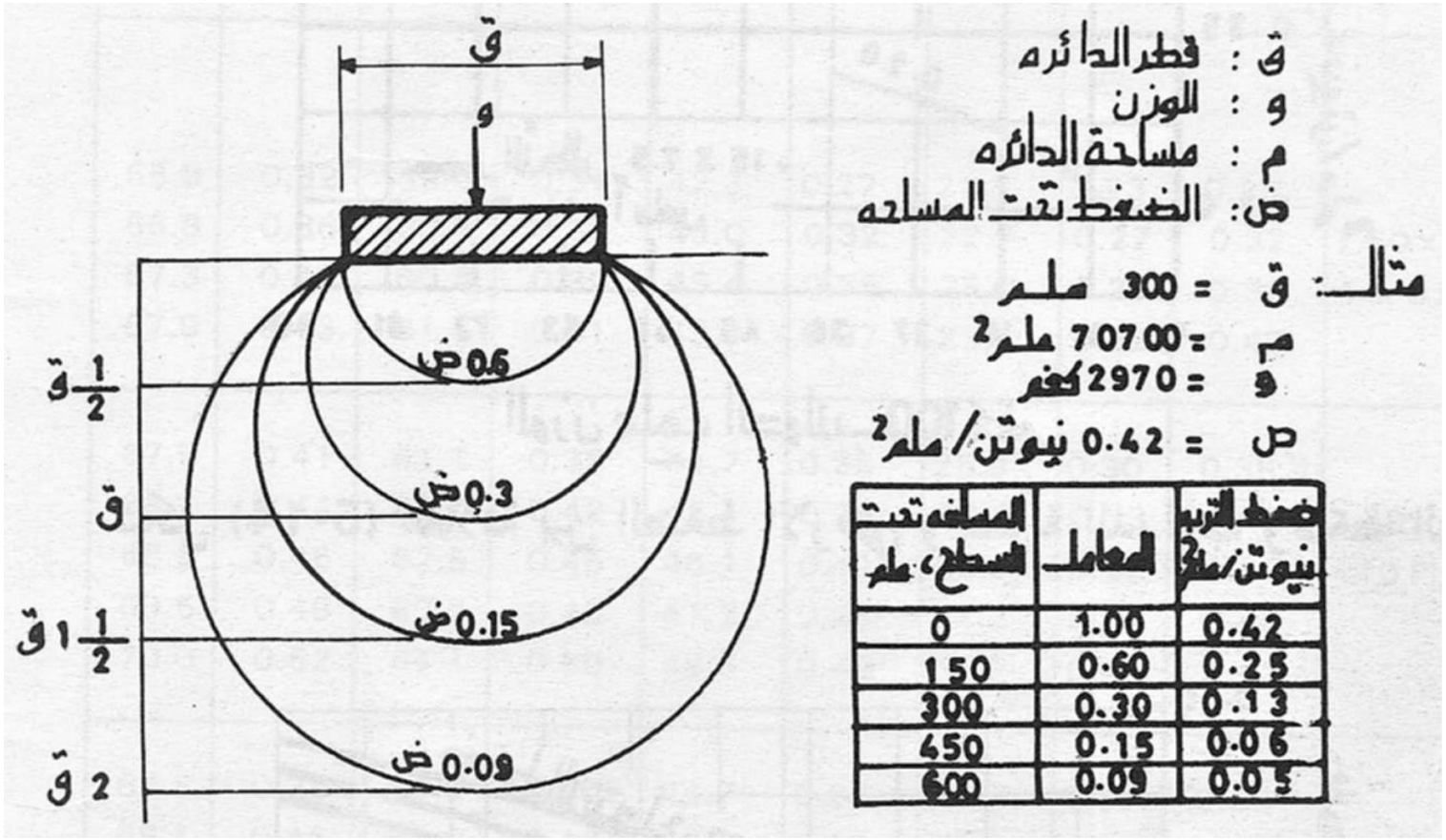
- بما أن مساحة التماس بين الأطار والتربة تتغير بتغير ضغط الهواء داخل الأطارات, فأن معرفة الوزن الكلي للحادلة أو الوزن لكل إطار لايعطي دلالة على كفاءة الحدل والضغط المسلط على التربة.
- لذا يجب معرفة الوزن الكلي للحادلة وعدد وحجم الأطارات بالأضافة الى ضغط الهواء داخل الأطارات.

الجدول (20): تأثير الوزن الأجمالي والضغط في الأطارات على ضغط التماس مع التربة

الوزن الاجمالي (كغم)		3470		6942		10208		11343	
حجم الاطار	الضغط في الاطار نيوتن/ملم²	ضغط التماس الارضي							
		نيوتن/ملم²	نيوتن/ملم	نيوتن/ملم²	نيوتن/ملم	نيوتن/ملم²	نيوتن/ملم	نيوتن/ملم²	نيوتن/ملم
7.50×15 4 or 6 Ply	0.25	0.23	22.3	0.27	42.3	0.31	59.5	0.32	65.9
	0.32	0.27	22.7	0.32	43.0	0.35	60.4	0.36	66.8
	0.39	0.31	23.0	0.35	43.4	0.39	60.9	0.40	67.3
	0.42	0.32	23.4	0.37	43.8	0.41	61.4	0.43	67.9
7.50×15 10 Ply	0.35	0.30	25.9	0.35	44.7	0.39	61.1	0.41	67.5
	0.42	0.33	27.1	0.38	45.4	0.42	62.0	0.44	68.2
	0.49	0.35	28.9	0.41	46.1	0.45	62.5	0.46	68.8
	0.56	0.38	31.3	0.44	47.2	0.48	63.2	0.49	69.5
	0.63	0.41	32.7	0.46	48.6	0.50	64.1	0.52	70.0
7.50×15 12 Ply	0.35	0.30	27.3	0.35	44.7	0.40	61.3	0.35	67.5
	0.42	0.33	29.3	0.39	45.7	0.43	62.0	0.45	68.4
	0.49	0.36	30.4	0.41	47.2	0.46	62.7	0.48	68.9
	0.56	0.39	32.9	0.44	48.2	0.49	63.8	0.50	70.0
	0.63	0.41	36.1	0.46	49.3	0.51	65.0	0.53	70.9
	0.70	0.44	38.9	0.49	51.6	0.53	65.9	0.55	71.8
	0.77	0.46	40.0	0.51	52.3	0.56	67.0	0.58	72.5
7.50×15 14 Ply	0.35	0.33	28.2	0.40	45.2	0.44	62.2	0.46	68.8
	0.42	0.35	30.4	0.4	46.4	0.47	63.0	0.48	69.5
	0.49	0.37	32.3	0.44	47.9	0.49	63.9	0.51	70.4
	0.56	0.39	34.3	0.46	49.3	0.51	65.2	0.53	71.3
	0.63	0.40	37.5	0.48	50.2	0.53	66.1	0.55	72.3
	0.70	0.43	40.2	0.50	51.8	0.56	67.3	0.58	72.9
	0.77	0.46	41.1	0.53	52.3	0.58	68.8	0.60	74.5
	0.74	0.48	42.7	0.56	53.8	0.61	69.8	0.63	75.5
	0.91	0.50	43.4	0.58	56.8	0.63	71.4	0.65	77.0

نظرية بصلة الضغط لتوزيع الأحمال:

- تتعلق هذه النظرية بتوزيع الضغط على التربة عندما تسلط عليها الأحمال من جسم دائري.
- تطبق هذه النظرية على مساحة التماس بين التربة والأطارالرئوي لأن مساحة التماس في هذه الحالة تكون بشكل دائرة تقريبا.



الحادلات رئوية الأطارات ذات ضغط الهواء المتغير:

- عند إستعمال الحادلات الرئوية في الحدل, يتم تخفيض ضغط هواء الأطارات في البداية لتوسيع مساحة التماس.
- مع تكرار مرور الحادلة على التربة يتم زيادة ضغط الهواء تدريجيا الى ان يصل الى الحد الأعلى المثبت في مواصفات الماكنة في المراحل النهائية لعملية الحدل.
- توجد حادلات يتمكن فيها السائق من التحكم بضغط هواء الأطارات دون الحاجة لأيقاف عملية الحدل.
- حيث تبدأ عملية الحدل بضغط منخفض يتم زيادته تدريجيا مع استمرار الحدل.
- ان كفاءة الحدل بإستعمال هذه الحادلات افضل أكبر من كفاءة الحدل بالحدلات ذات الضغط الثابت.

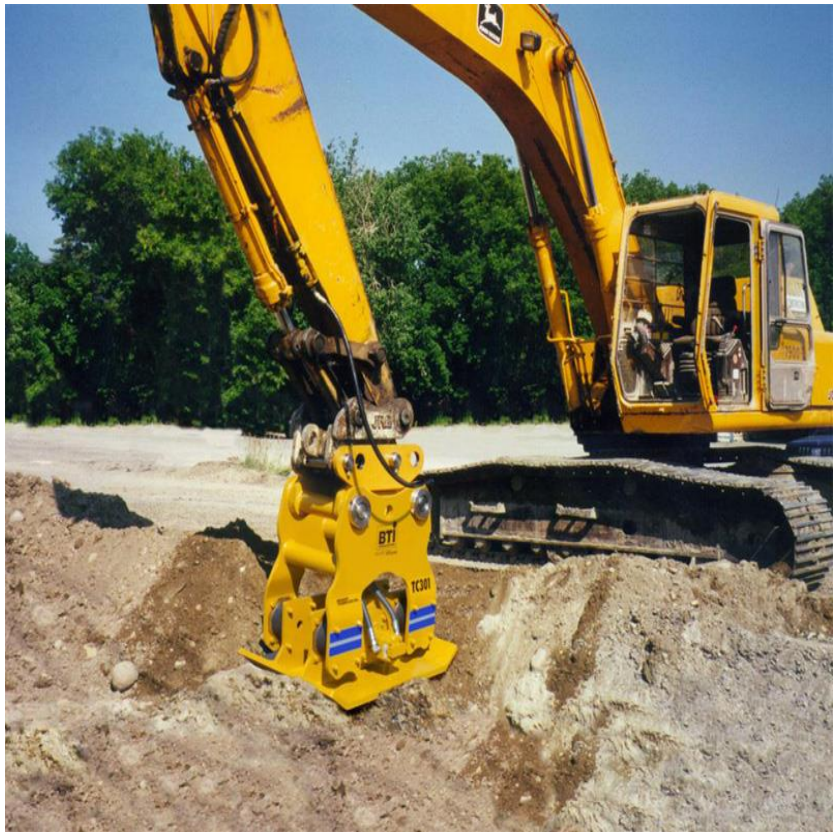
الحادلات الأهتزازية:

- بعض انواع التربة كالرمل والحصى تتأثر بالحدل الناتج من الوزن والأهتزاز الذي تولده الحادلة.
- عندما تتعرض مثل هذه التربة للأهتزاز, فإن حبيباتها تنزلق في الفراغات الموجودة بينها مسببة زيادة كثافة التربة.
- لذا صممت بعض الحادلات لتعطي تأثير الوزن والأهتزاز في نفس الوقت.
- من هذه الحادلات المزودة بوسيلة لتوليد الأهتزاز هي:

1. حادلات أضلاف الغنم الأهتزازية
2. الحادلات الحديدية الملساء الأهتزازية.
3. الحادلات رئوية الأطارات الأهتزازية.
4. الصفائح والأقدام الأهتزازية.

- الحادلات 1 – 3 تكون مزودة بمحرك منفصل يولد الأهتزاز, أو بجهاز هيدروليكي يدور بمحور افقي عليه أوزان غير متمركزة.
- يتراوح مقدار الأهتزاز بين 1000 – 5000 ذبذبة في الدقيقة.
- يعتمد مقدار الإهتزاز على طبيعة التربة.
- بشكل عام فإن فأن نتائج الحدل بإستخدام الحادلات الأهتزازية تكون جيدة اذا سارت الحادلة بسرعة بطيئة 2.5 – 4.0 كم/ساعة.
- ان سبب ذلك يعود الى أن الحركة البطيئة تسمح لأكبر طاقة ممكنة من التأثير على التربة.

- <u>الصفائح أو الأقدام الأهتزازية:</u>
- توجد حادلات بشكل صفائح إهتزازية متعددة مثبتة على حاملة ذاتية الحركة.
- تهتز كل صفيحة بشكل منفرد بواسطة أجهزة غير متمركزة تدار كهربائيا او ميكانيكيا.
- تكون أبعاد كل صفيحة عادة 0.9 م × 0.6 م.
- يمكن ان تهتز هذه الصفائح افقيا وعموديا في نفس الوقت.



الحادلات اليدوية:

1. الحادلات اليدوية الأهتزازية:

- وهي صفائح مركبة على محرك صغير يولد اهتزاز يعمل بالبنزين وتوجه يدويا.

2. المدقات اليدوية:

- وهي مدقات تعمل بالبنزين تسلط ذربات بمعدل 450 – 600 ضربة

تقدير إنتاجية الحادلات Estimating Compactor Production:

- يمكن تقدير انتاجية الحادلة من المعادلة التالية:

$$Production\ (CCM/h) = \frac{10\ \times W \times S \times L \times E}{P}$$

where:

W : width compacted per pass (m)
S : compactor speed (km/h)
L : compacted lift thickness (cm)
E : job efficiency
P : number of passes required

Note:

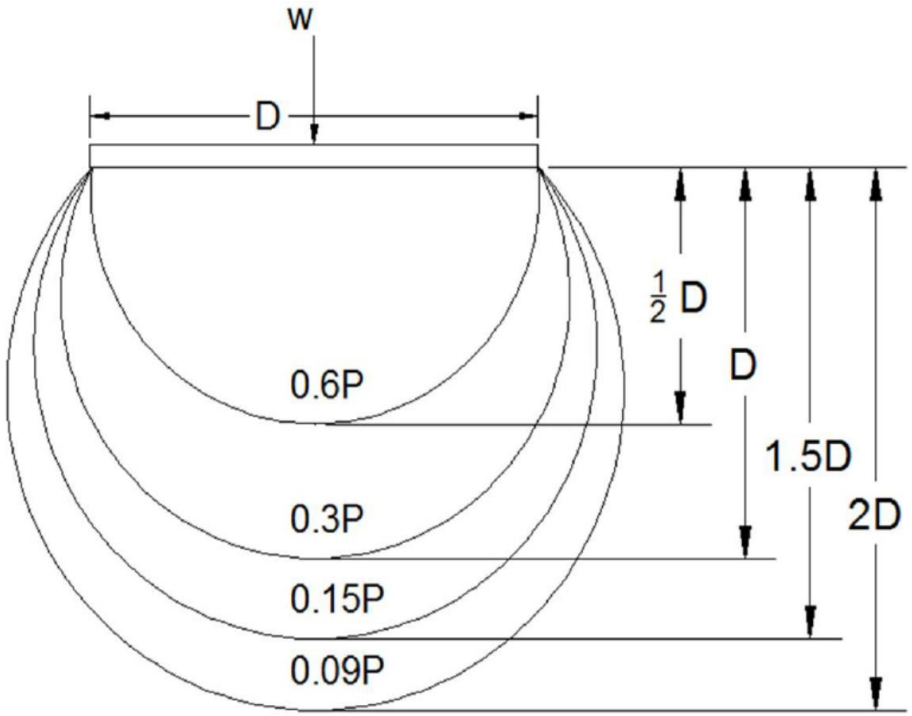
The power required to tow rollers depends on roller's total resistance (grade plus rolling).

The rolling resistance of tamping foot rollers has been found to be approximately 225 – 250 kg/t.

Table (20): Typical Speed operating speed of compactors

Compactor	Speed	
	mi/h	*km/h*
Tamping foot, crawler-towed	3–5	5–8
Tamping foot, wheel-tractor-towed	5–10	8–16
High-speed tamping foot		
First two or three passes	3–5	5–8
Walking out	8–12	13–19
Final passes	10–14	16–23
Heavy pneumatic	3–5	5–8
Multitired pneumatic	5–15	8–24
Grid roller		
Crawler-towed	3–5	5–8
Wheel-tractor-towed	10–12	16–19
Segmented pad	5–15	8–24
Smooth wheel	2–4	3–6
Vibratory		
Plate	0.6–1.2	1–2
Roller	1–2	2–3

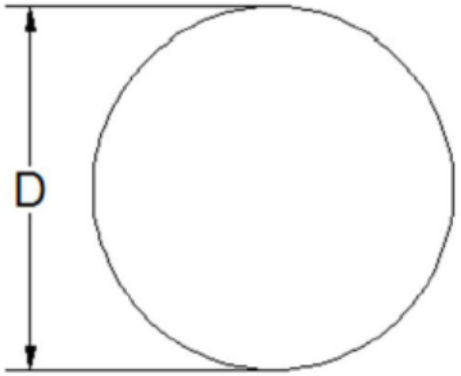
نظرية بصلة الضغط في التربة:

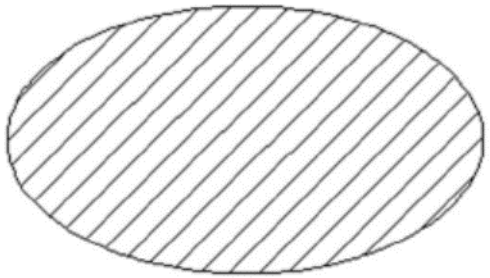


- في حالة استخدام حادلة رئوية الإطارات لرص طبقة تربة وفي داخل الأطارات ضغط مقداره (P).
- فإنه يتوزع في يتوزع على التربة بشكل بيضوي ويتم تحويله الى دائرة مكافئة تسمى دائرة التماس الأرضي.
- وقد وجد أن توزيع الضغط تحت الأطارات هو كما في الشكل المجاور.
- حيث تستطيع تحديد عمق الطبقة المتأثرة وكم تستطيع الحادلة أن تحدل من عمق قي التربة.

- مساحة التماس الأرضي = الوزن المسلط على الأطار / ضغط التماس الأرضي

- $A = \frac{W}{P}$
- $\frac{\pi}{4} D^2 = \frac{W}{P}$
- $D^2 = \frac{4\,W}{\pi\,P}$
- $D = \sqrt{\frac{4\,W}{\pi\,P}}$





- حيث D: قطر الدائرة المكافئة (mm)
- W: الوزن المسلط (N)
- P: الصغط داخل الأطار (MPa)

- Example: A (7.50 ×15-14Ply) Pneumatic Roller of 1530 kg load on each tire and 0.6 MPa tire pressure, is used to compact a soil. What could be the maximum height of soil lift (layer) such that the stress beneath it is not less than 0.35 MPa.
- *Solution:*

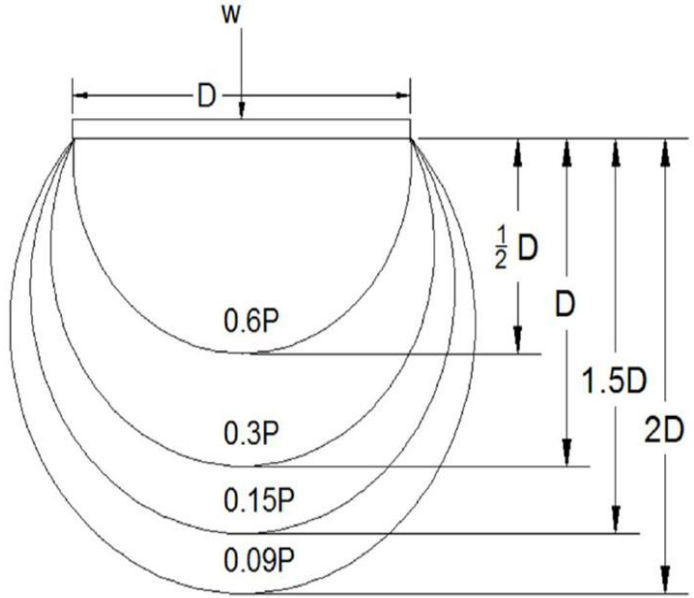
$$A = \frac{W}{P}$$

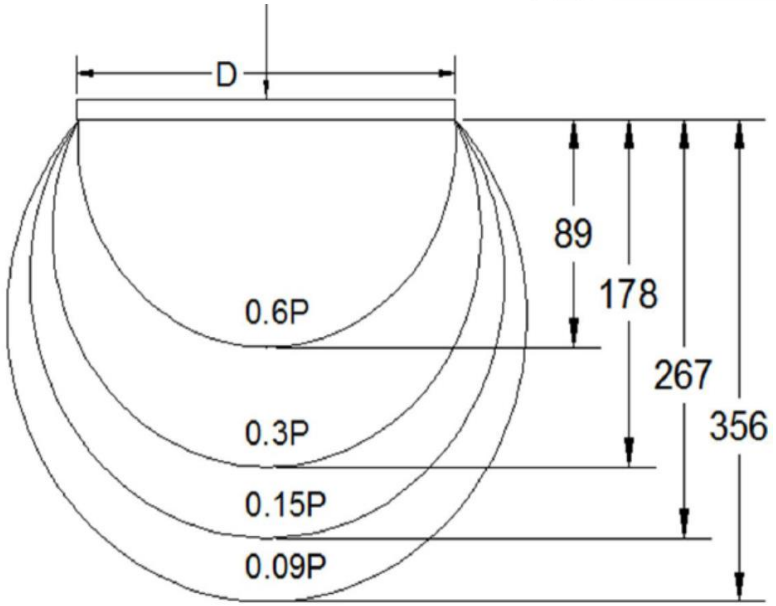
$$A = \frac{1530 \times 9.806}{0.6} = 25{,}005\ mm^2$$

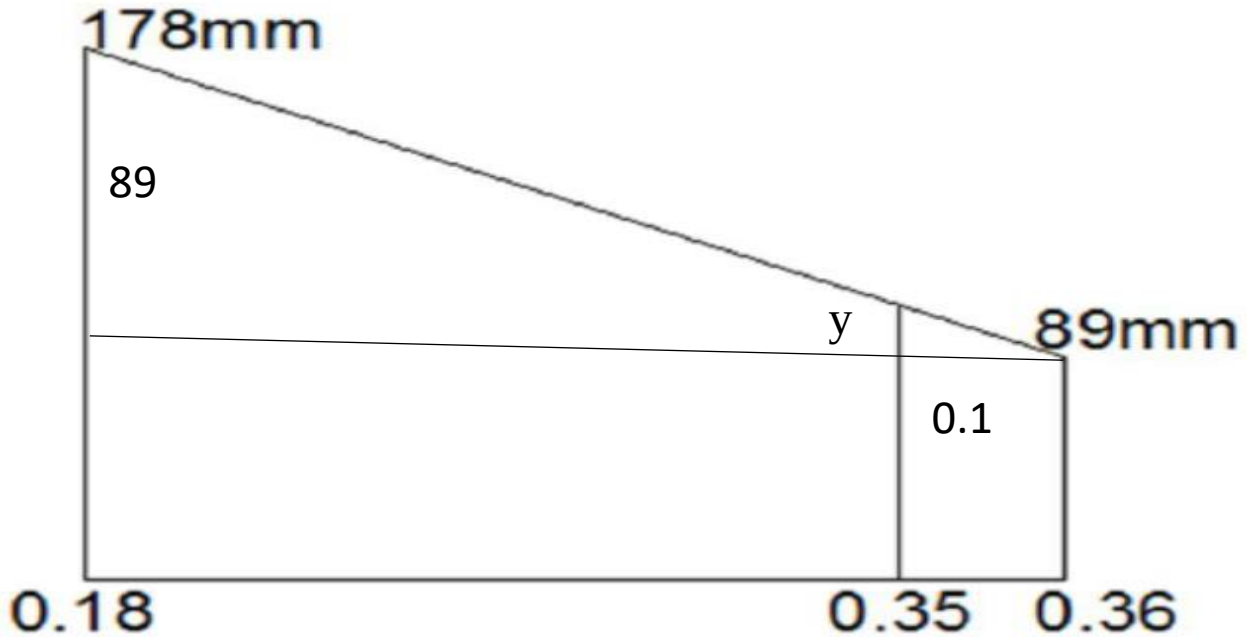
$$\frac{\pi}{4} D^2 = 25{,}005\ mm^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times 25{,}005} = 178\ \text{mm}$$

Depth (mm)	Factor	Pressure (MPa)
0	1	0.6
0.5 D = 89	0.6	0.36
D = 178	0.3	0.18
1.5 D = 267	0.15	0.09







$$\frac{y}{0.01} = \frac{89}{0.18} \rightarrow y = 4.94$$

$$\therefore \text{سمك الطبقة المحدولة} = 89 + 4.94 = 94 \text{ ملم}$$

الفصل الرابع
الجرارات والمكائن المشابهة لها

الجرار Tractor

- تستعمل الجرارات بصورة رئيسية لسحب أو دفع الأحمال.
- قد تستعمل ايضا لأغراض أخرى اذا اضيف لها بعض الأجهزة المساعدة كأن تصبح مقلعة او مجرفة ميكانيكية او حفارة خنادق.

أنواع الجرارات:

1. جرارات مجنزرة Crawler Tractors
2. جرارات مدولبة Wheel Tractor
   1.2 جرارات ذات دولابين
   2.2 جرارات ذات أربعة دواليب

الجرارات المجنزرة Crawler Tractors

2. الجرارات المدولبة Wheeled Tractors
ذات دولابين

الجرارات المدولبة Wheel Tractor
ذات أربعة دواليب

العوامل المؤثرة في اختيار نوع الجرار:

1. حجم العمل المطلوب
2. نوعية العمل الذي يستعمل به الجرار: سحب قاشطات, دفع تربة, تنظيف موقع وغيرها.
3. معامل الجر للمنطقة التي سيعمل بها الجرار.
4. رسوخ وتماسك الطريق الذي سيتحرك به الجرار
5. انحدار وميل الطريق
6. طول الطريق

1. الجرارات المجنزرة:

- تصنف الجرارات المجنزرة اما بالحجم او بالوزن وقوة المحرك.
- الوزن مهم لأن أعلى قوة للجر تعتمد على الوزن (وتساوي حاصل ضرب الوزن في معامل الجر)
- تحسب قوة الجر المتوفرة لجر حمل من طرح مقاومة الدحرجة ومقاومة الانحدار من قوة الجر الكلية.
- قوة الجر الكلية تساوي حاصل ضرب معامل الكفاءة في قوة جر المحرك.

الجرارات المدولبة:

- تتميز الجرارات المدولبة بسرعتها العالية والتي من الممكن ان تصل الى 50 كم/ساعة.
- ان زيادة السرعة تكون على حساب قوة الجر المتوفرة.
- معامل الجر للإطارات أقل من معامل الجر للجرارات المجنزرة.
- قوة جر الإطارات تنخفض عند زيادة السرعة.
- حاصل ضرب السرعة في قوة جر الإطار يساوي مقدار ثابت تقريبا.

- $Rimpull = \frac{273.7 \times horsepower \times effeciency}{speed}$
- then Rimpull × speed = $272.2 \times horsepower \times effeciency$

أنواع الجرارات المدولبة:

- يوجد نوعان من الجرارات المدولبة, هما الجرارات ذات الدولابين والجرارات ذات الأربعة دواليب.
- تدار وتحرك الجرارات ذات الدولابين بنفس الدولابين.
- في الجرارات ذات أربعة دواليب, تستخدم الدولابين الخلفيين للحركة وتستخدم الدواليب الأمامية للتوجيه.
- بما أن مقدار جر الإطار يعتمد على الوزن المسلط على الدواليب المحركة (القائدة). لذا فعند تساوي قوة جر المحركات ووزن الجرار فأن الجرارات ذات الدولابين تعطي قوة جر أكبر من الجرارات ذات أربعة دواليب.

1. <u>مميزات الجرارات ذات الدولابين:</u>
2. زيادة مرونة التوجيه والقيادة.
3. زيادة قوة الجر.
4. قلة مقاومة الدحرجة بسبب قلة عدد الإطارات.
5. قلة عدد الإطارات المطاطية المطلوبة.

<u>مميزات الجرارات ذات الأربعة دواليب:</u>

1. تكون أكثر استقرارا وتعطي اطمئنانا أكثر للسائق.
2. قلة احتمال قفزها على السطوح غير المستوية.
3. تكون سرعتها أكبر بسبب العاملين 1 و 2.
4. يمكن استعمالها كماكنة منفصلة للإستفادة منها في أعمال مختلفة.

الإنحدارية Gradability:

- وهي نسبة مئوية تمثل أعلى درجة للانحدار تتمكن المركبة أن تصعدها بسرعة منتظمة.
- تتغير الإنحدارية بتغير وزن المركبة وبتغير الترس المتحكم بالسرعة.
- تحسب الإنحدارية للمركبة بإيجاد القوة الصافية المتوفرة للتغلب على إنحدار الطريق.
- القوة الصافية تساوي قوة الجر الكلية مطروحا منها مقاومة الدحرجة للمركبة وحمولتها.
- قوة الجر الكلية تساوي حاصل ضرب قوة جر المحرك في معامل لاتزيد قيمته عن 85%.

- مثال: جد مقدار الانحدارية لجرار مجنزر يجر قاشطة محملة ذات إطارات مطاطية, بإستعمال المعلومات التالية:
- القدرة الحصانية للجرار= 180 حصان.
- وزن الجرار= 20.25 طن
- قوة الجر في الترس الأول (محسوبة لطريق ذو مقاومة دحرجة 50 كغم/طن)= 15300 كغم
- وزن القاشطة المحملة= 39.48 طن
- الطريق ترابي غير جيد
- مقاومة الدحرجة للجرار= 73 كغم/طن
- مقاومة الدحرجة للقاشطة= 95 كغم/طن

الحل:

قوة الجر الكلية المتوفرة= 0.85 × 15300 = 13005 كغم

مقاومة الدحرجة للجرار= (73 – 50) × 20.25 = 456.75 كغم

مقاومة الدحرجة للقاشطة المحملة= 95 × 39.48= 3750.6 كغم

مقاومة الدحرجة الكلية (للجرار والقاشطة)= 4216.35 كغم

قوة الجر المتوفرة للتغلب على الانحدار= 13005 – 4216.35 = 8788.65 كغم

وحيث أن القوة اللازمة للتغلب على الأنحدار تحسب من المعادلة التالية:

$$F\ (kg) = 10 \times W\ (t) \times G\%$$

حيث ان W تساوي الوزن الكلي (وزن الجرار + وزن القاشطة المحملة)

$$W = 20.25 + 39.48 = 59.73\ t$$

لذا يمكن إيجاد الأنحدارية K

$$K = G\% = \frac{F}{10 \times W} = \frac{8788.65}{10 \times 59.73}$$

$$K = 14.714\ \%$$

- ملاحظة: حيث أن مقدار الأنحدار أكبر من 10% لذا فإن استعمال المعادلة أعلاه يعطي نتيجة غير دقيقة.
- للحصول على نتيجة دقيقة يجب استعمال الجدول الخاص بمقاومة الأنحدار (جدول رقم (6)) او استخدام المعادلة

Grade resistance, GR= $W.\ sin\ \alpha$

جدول (6): مقدار القوة الناتجة عن تأثير الأنحدار على جهد الجر (kg/ton)

Grade (%)	change in tractive effort (kg/ton)	Grade (%)	change in tractive effort (kg/ton)
1	10	12	119.2
2	20	13	128.9
3	30	14	138.7
4	40	15	148.3
5	50	20	196.2
6	59.9	25	242.6
7	69.9	30	287.4
8	79.6	35	330.3
9	89.6	40	371.4
10	99.5	45	410.4
11	109.0	50	447.2

❑ بإستخدام الجدول رقم (6)

- قوة الجر المتوفرة للتغلب على الانحدار = 8788.65 كغم
- الوزن الكلي = 59.73 طن
- القوة لكل طن = 147.140 كغم/طن
- من جدول (6) نجد ان قيمة الأنحدار المقابل لهذه القوة يساوي 14.879%

❑ بإستخدام المعادلة

- GR= $W.\ sin\ \alpha$ then $sin\ \alpha$ = GR/W = 8788.65/59730 = 0.14139

$\alpha = \sin^{-1}(0.14139) = 8.4612^{o}$

$\tan\ \alpha = 0.1488$ = G = K then the gradability, K = 14.88%

- يمكن أيجاد الأنحدارية للجرارات المدولبة أو الشاحنات بنفس الطريقة التي استخدمت للجرارات المجنزرة.
- يمكن أيضا أيجاد الإنحدارية للجرارات المدولبة بإستعمال القانون التالي:

$$K = \frac{81 \times T \times G}{R \times W} - \frac{N}{91} \bullet$$

- حيث أن:

K: الأنحدارية (%)

T: عزم التدوير المقدر للمحرك (كغم – متر)

G: معامل تخفيض الترس (%)

R: نصف قطر الدحرجة للدولاب ويقاس من محور الدولاب الى سطح الأرض (متر)

W: الوزن الكلي (كغم)

N: مقاومة الدحرجة (كغم/طن)

المقلعة Bulldozer:

- تقسم المقلعات حسب نوعية عجلات الجرار المستعمل الى:

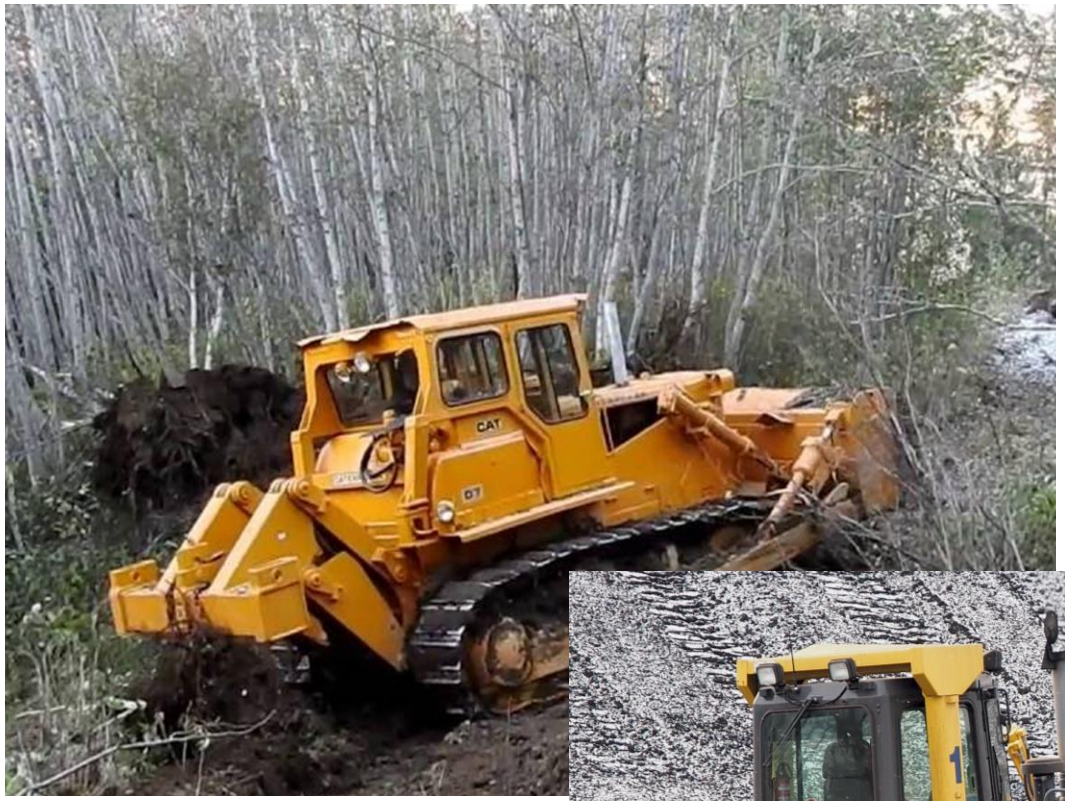
A. مقلعات بجرار مدولب. و

B. مقلعات بجرار مجنزر.

- وتقسم حسب طريقة تحريك النصل (Blade) فقد تكون الحركة بواسطة:

A. السلك (Cable).

B. منظومة هيدروليكية.


CAT
D7

KOMATSU
D85PX

إستخدامات المقلعة:

1. تنظيف الأرض من الأخشاب المقطوعة وبقايا الأشجار.
2. فتح الطرق في المناطق الجبلية والصخرية.
3. دفع التربة لمسافة لاتزيد عن 100 متر.
4. مساعدة القاشطات في تحميل التربة.
5. نشر تراب الدفن.
6. إعادة دفن الخنادق والحفر.
7. تنظيف موقع العمل من الأنقاض.
8. صيانة الطرق.
9. تنظيف أرضيات المقالع ومحلات جلب التربة.

مقارنة بين مميزات السيطرة بالسلك والمنظومة الهيدروليكية:

- مميزات التحكم بالسلك:

1. بساطة التركيب والتشغيل
2. بساطة الصيانة والأدامة

- مميزات التحكم بالمنظومة الهيدروليكية:

1. إمكانية تسليط قوة اضافية على النصل بالأضافة الى وزنه مما يساعد على إدخال النصل في التربة
2. التحكم بشكل أحسن بحركة النصل وتوجيهه

مقارنة بين مميزات المقلعة المجنزرة والمدولبة:

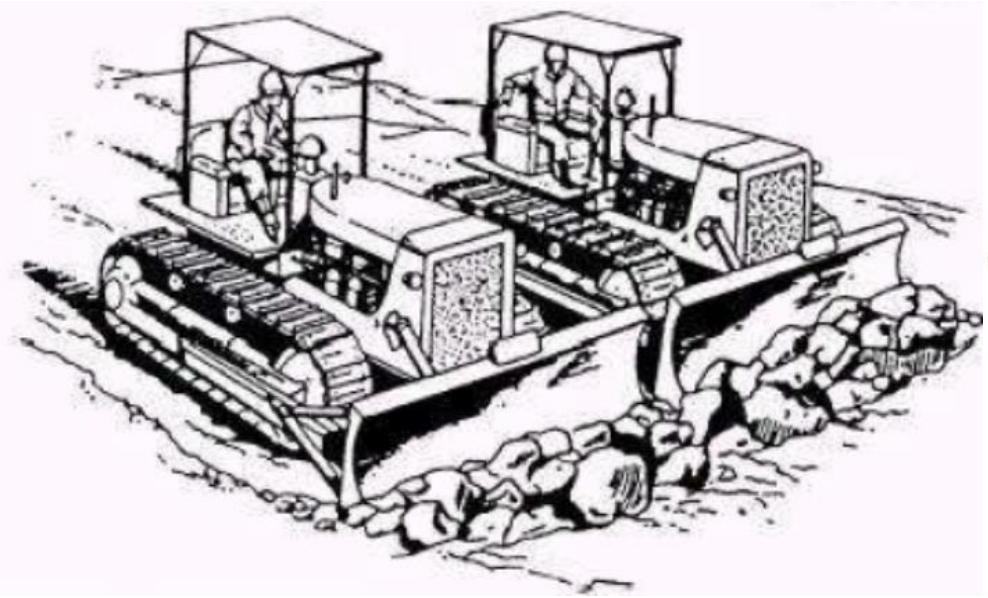
- مميزات المقلعة المجنزرة:

1. أعطاء أعلى جهد للجر خاصة في الترب الطينية والرخوة.
2. إمكانية العمل على السطوح الصخرية والطينية والخشنة وغير المستوية, مما يقلل من كلف تهيئة الطرق.
3. قلة الضغط تحت الجنزير يساعدها على الحركة بسهولة (41 to 62 kPa).

مميزات المقلعة المدولبة:

1. سرعتها العالية داخل موقع العمل وأثناء التنقل بين المواقع.
2. عدم الحاجة لتحميلها على مركبات لأيصالها الى موقع العمل.
3. انتاجيتها العالية خاصة عندما تعمل لمسافات طويلة.
4. امكانية سيرها على الطرق المبلطة دون إتلافها.
5. الضغط تحت الأطارات عالي (172 – 241 kPa) مما يمكن من استخدامها لحدل التربة.

نقل التربة بواسطة المقلعة:



دفع التربه ونقلها بواسطة المقلعه

١. للمسافات الطويله او للسطوح المرصوصه والقويه يفضل المقلعه المدولبه.
٢. للمسافات القصيره او للسطوح الرخوه او الطينيه يفضل المقلعه المجنزره
٣. لعملية قشط التربه ودفعها . تكون انتاجيه مقلعتين متجاورتين اكبر مما لو استخدمنا مقلعتين بشكل منفرد وذلك بسبب ازاحة التربه الى الجوانب .

عملية تخلية موقع العمل:

- تعتمد على نوع النباتات والتربة ودرجة التخلية المطلوبة وتتم عملية التخلية وفق الخطوات التالية:

1. إكمال قلع وإزالة الأشجار وجذورها.
2. إزالة المزروعات فوق الأرض
3. التخلص من المزروعات بجمعها وحرقها
4. قلع جذور المزروعات وتقطيعها أو سحقها وحرقها.

- ويمكن اجراء التخلية بإستخدام المعدات التالية:

1. المقلعات بأنواعها
2. جرار مركب عليه نصل
3. جرار مركب علية مشط لتسوية الأرض
4. جرار يسحب سلسلة حديدية
5. مكائن خاصة مزودة بقضبان ودواليب على شكل براميل ذات نصول لقطع المزروعات.

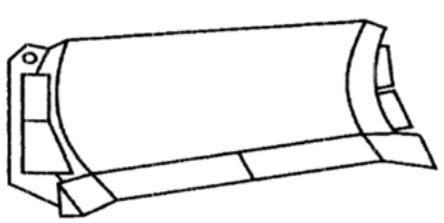
انتاجية المقلعة:

- تعتمد انتاجية على:

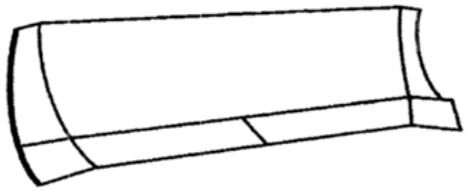
1. نوع النصل:

حيث من الممكن ان يكون النصل مستقيم او بشكل مثلث او مقعر بشكل U.

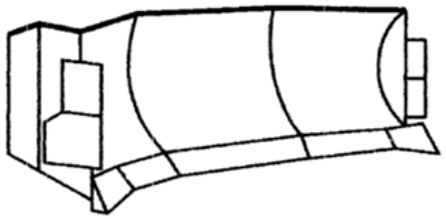
2. نوع وظروف التربة
3. وقت دورة العمل



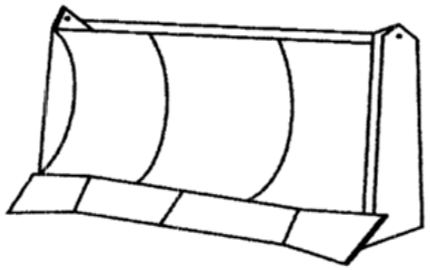
Straight blade



Angle blade



Universal blade



Cushion blade

يمكن تقدير سعة النصل بأستخدام:

1. معلومات المصنع: وتستخدم السعة المحسوبة بهذه الطريقة للمقارنة بين سعات النصول المختلفة وليس لحساب الحجم الفعلي للتربة في الموقع. حيث تكون سعة النصل:

For straight Blade: $V_s = 0.8\, W\, H^2$

where W is the length (m) and H is the height (m)

2. القياس الموقعي و 3. الخبرة السابقة.

Production of Earthmoving Equipment: انتاجية معدات تحريك التربة

- The basic relationship for estimating the production of all earthmoving equipment is:

$$\textit{Production} = \textit{Volume per cycle} \times \textit{Cycles per hour} \qquad \textbf{(4–1)}$$

- The term “volume per cycle” should represent the average volume of material moved per equipment cycle.
- The nominal capacity of the excavator or haul unit (الحفارة أو الة النقل) must be modified by an appropriate fill factor (معامل مليء) based on the type of material and equipment involved.
- The term “cycles per hour” must include any appropriate efficiency factors, so that it represents the number of cycles actually achieved (or expected to be achieved) per hour.

Estimating Dozer Production: تقدير إنتاجية المقلعة

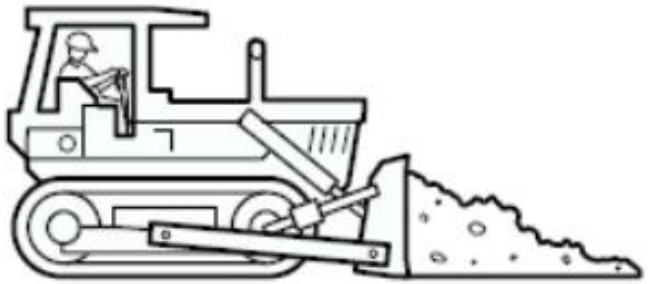
- The basic earthmoving production equation (Eq. 4–1) may be applied in estimating dozer production.
- This method requires an estimate of the average blade load (حمولة النصل) and the dozer cycle time.
- There are several methods available for estimating average blade load:

1) the blade manufacturer's capacity rating, السعة المحددة من المصنع
2) previous experience under similar conditions, and الخبرة السابقة في ظروف عمل مشابهة
3) actual measurement of several typical loads. القياس الفعلي للسعة لبضع محاولات

Measuring blade load: قياس سعة النصل

- A suggested method for calculating blade volume by measuring blade load is as follows:

1) Obtain a normal blade load: الحصول على الحمل الأعتيادي للنصل



a) The dozer pushes a normal blade load onto a level area.

تقوم المقلعة بدفع التربة على مساحة مستوية

b) Stop the dozer's forward motion. While raising the blade, move forward slightly to create a symmetrical pile. ايقاف المقلعة ورفع النصل للأعلى وخلال عملية رفع النصل يتم تحريك المقلعة الى الأمام قليلا لعمل كومة متناظرة.

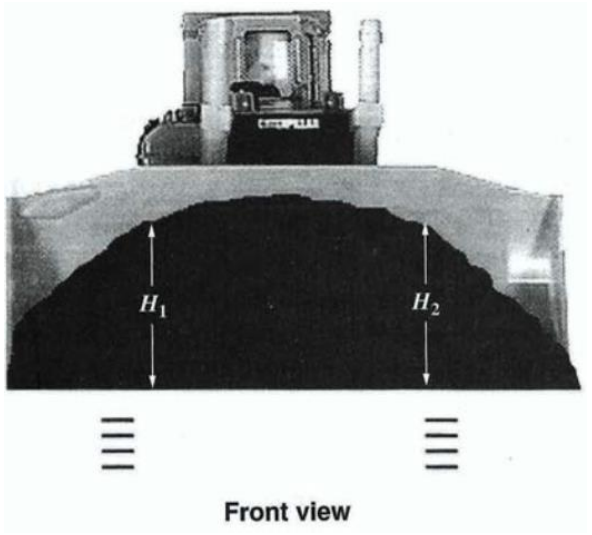
c) Reverse and move away from the pile. حرك المقلعة للخلف بعيدا عن الكومة.

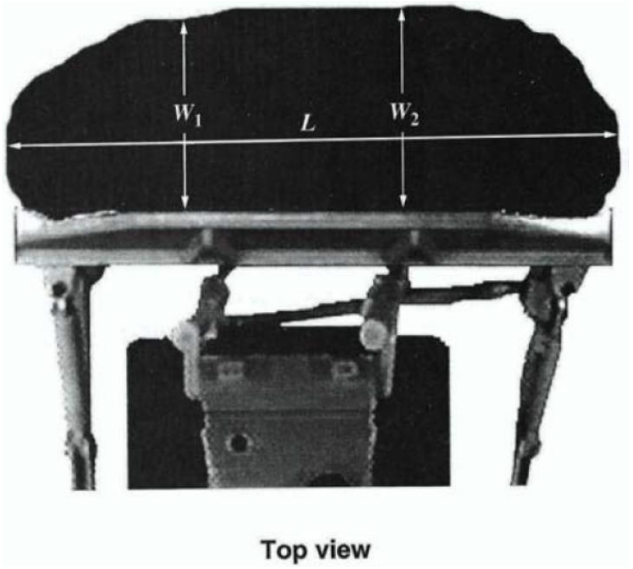
2) Measurements:

a. Measure the height (H) of the pile at the inside edge of each track. قياس ارتفاع الكومة عند موقعي الحافتين الداخليتين للجنزيروحساب المعدل لهما.

b. Measure the width (W) of the pile at the inside edge of each track. قياس عرض الكومة (عمودي على النصل) عند نفس المقعين أعلاه وحساب المعدل

c. Measure the greatest length (L) of the pile. This will not necessarily be at the middle. قياس أكبر طول للكومة (بموازاة النصل)





3) Calculation:

- The blade volume is calculated using the equation:

$$\text{Blade load (LCM)} = 0.375 \times H\,(\text{m}) \times W\,(\text{m}) \times L\,(\text{m})$$

Cycle Time:

- Total dozer cycle time is the sum of its fixed cycle time and variable cycle time.
- Fixed cycle time represents the time required to maneuver, change gears, start loading, and dump.
- Table below may be used to estimate dozer fixed cycle time.
- Depending on power transmission from engine there are three operation conditions:

A. Power shift
B. Direct drive
C. Hard digging

Table (4-1): Typical dozer fixed cycle times	
Operating Conditions	**Time (min)**
Power-shift transmission	0.05
Direct-drive transmission	0.10
Hard digging	0.15

The variable time depends on the length of rout and the speed of dozing and speed of return.
Variable time = (L/dozing speed) + (L/return speed)

Table 4–5 Typical dozer operating speeds

Operating Conditions	Speeds
Dozing	
Hard materials, haul 100 ft (30 m) or less	1.5 mi/h (2.4 km/h)
Hard materials, haul over 100 ft (30 m)	2.0 mi/h (3.2 km/h)
Loose materials, haul 100 ft (30 m) or less	2.0 mi/h (3.2 km/h)
Loose materials, haul over 100 ft (30 m)	2.5 mi/h (4.0 km/h)
Return	
100 ft (30 m) or less	Maximum reverse speed in second range (power shift) or reverse speed in gear used for dozing (direct drive)
Over 100 ft (30 m)	Maximum reverse speed in third range (power shift) or highest reverse speed (direct drive)

تحسب انتاجية المقلعة من المعادلة العامة التالية:

Production = Volume per cycle × Cycles per hour

For bulldozer

Volume per cycle= $Blade\ Vol.(LCM)$

Cycle

$$Production\ (LCM/h) = Blade\ Vol.(m^3) \times \frac{work\ minutes\ per\ hour(min)}{Push\ time(min) + return\ time(min) + maneuver\ time(min)}$$

تحسب انتاجية المقلعة من المعادلة التالية:

$$Production\ (LCM/h) = Blade\ Vol.\ (m^3) \times \frac{work\ minutes\ per\ hour(min)}{Push\ time(min) + return\ time(min) + maneuver\ time(min)}$$

مثال: جد انتاجية مقلعة تحت الظروف التالية:

سعة النصل = 2.5 متر مكعب (بمقياس الرخو)

مسافة النقل= 30 متر

معامل الوقت= 50 دقيقة في الساعة

سرعة الدفع= 2.4 كيلومتر/ساعة

سرعة العودة= 5.6 كيلومتر/ساعة

وقت التحميل وتبديل التروس= 0.32 دقيقة

الحل:

وقت الدفع= 30/2400=0.0125 ساعة = 0.75 دقيقة

وقت الرجوع= 30/5600= 0.0054 ساعة= 0.32 دقيقة

$$Production\ (LCM\ per\ hour) = \frac{50 \times 2.5}{0.75 + 0.32 + 0.32} = 89.928\ LCM/h$$

Example:

A power-shift crawler tractor has a rated blade capacity of 10 LCY (7.65 LCM). The dozer is excavating loose common earth and pushing it a distance of 200 ft (61 m). Maximum reverse speed in third range is 5 mi/h (8 km/h). Estimate the production of the dozer if job efficiency is 50 min/h.

SOLUTION

$$\text{Fixed time} = 0.05 \text{ min} \quad \text{(Table 4–4)}$$

$$\text{Dozing speed} = 2.5 \text{ mi/h } (4.0 \text{ km/h}) \quad \text{(Table 4–5)}$$

$$\text{Dozing time} = \frac{200}{2.5 \times 88} = 0.91 \text{ min}$$

$$\left[= \frac{61}{4 \times 16.7} = 0.91 \text{ min} \right]$$

Note: 1 mi/h = 88 ft/min; 1 km/h = 16.7 m/min

$$\text{Return time} = \frac{200}{5 \times 88} = 0.45 \text{ min}$$

$$\left[= \frac{61}{8 \times 16.7} = 0.45 \text{ min} \right]$$

$$\text{Cycle time} = 0.05 + 0.91 + 0.45 = 1.41 \text{ min}$$

$$\text{Production} = 10 \times \frac{50}{1.41} = 355 \text{ LCY/h}$$

$$\left[= 7.65 \times \frac{50}{1.41} = 271 \text{ LCM/h} \right]$$

Fixed time = 0.05 min (Table 4-1)

Dozing speed = 4.0 km/h

Dozing time= (61/4000)*60 = 0.915 min

Return time = (61/8000)*60 = 0.4575 min

Cycle time = 0.915 + 0.4575 + 0.05 = 1.4225 min

No of cycles per hour = 50/1.4225 = 35.15 cycles

Production = 7.65 * 35.15 = 268.89 LCM/h

المجرفة الجرار (LOADERS) Tractor Shovel:

- تستعمل المجرفة الجرار بشكل واسع في المشاريع الأنشائية لحفر وتحميل المواد المختلفة
- تستعمل احيانا لنفس أغراض استعمال المقلعة.
- يمكن ان تكون المجرفة مجنزرة او مدولبة.
- تحسب انتاجية المجرفة الجرار بنفس اسلوب حساب انتاجية المقلعة.

القاشطة Scraper

- تستخدم القاشطات لحفر وتحميل وتفريغ التربة عندما تكون مسافة النقل متوسطة الى طويلة.
- تقوم القاشطة بالحفر والقطع بواسطة غرس الحافة الأمامية للحوض في التربة.

- حيث تكون الحافة الأمامية للحوض مجهزة بنصل قابل للتبديل.
- تمتاز القاشطة بعدم حاجتها الى معدات لتحميلها بالتربة.
- حيث تقوم القاشطة بقشط التربة وتجميعها ونقلها وتفريغها.
- يمكن ان تصل سعة القاشطة الى أكثر من 30 متر مكعب.

أنواع القاشطات:

- على الرغم من وجود أنواع مختلفة من القاشطات فإن الأصناف الرئيسية هي:

A. قاشطات يتم تحميلها بالدفع Pusher-loaded (conventional) scrapers:

تحتاج هذه القاشطات الى جرار دافع أثناء مرحلة قشط التربة, وضمنها النوعين التاليين:

1. قاشطات ذات محرك واحد ثنائية المحاور أو ثلاثية المحاور

Single engine overhung (two or three axle scraper

2. قاشطة ذات محركين متزامنين كل الأطارات قائدة

.Twin engine all wheel drive scraper (Tandem powered axle)

B. قاشطات ذاتية التحميل Self loading scrapers:

حيث لاتحتاج الى جرار اثناء عملية قشط التربة, وضمنها النوعين التاليين:

1. قاشطات دفع وسحب تزامنية Push-pull tandem powered axels:

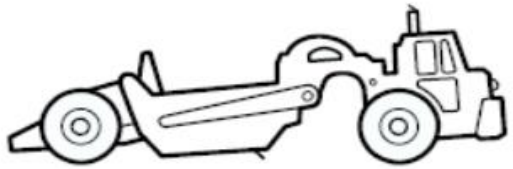
2. قاشطة رافعة Elevating scraper:

- تحتوي على حافات قطع (سكاكين) بشكل مساطر مرتبة بطريقة تشبه السلم الكهربائي.
- تقوم هذه السكاكين بقطع التربة ورفعها الى الأعلى ورميها في فوهة الحوض.

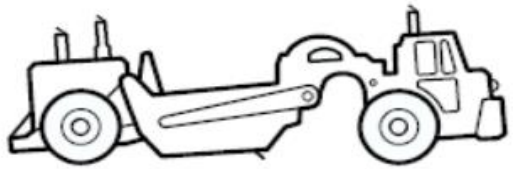
Types of Scrapers:

Pusher-loaded (conventional) scrapers

Single-powered axle

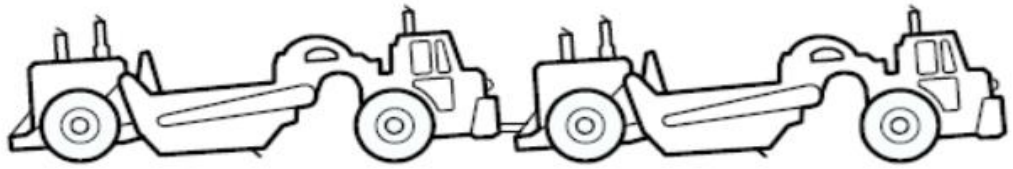


Tandem-powered axles

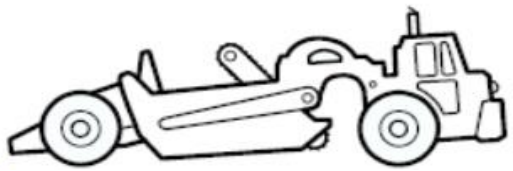


Self-loading scrapers

Push-pull, tandem-powered axles



Elevating



Elevating Scraper

Tractor push Scraper

Single Scraper

Push – Pull Scrapers

أجزاء القاشطة:

1. الحوض (bowl): يمكن ان يكون حجم الحوض من 5 الى أكثر من 30 متر مكعب.
2. البوابة Apron: وهو الحاجز الأمامي للحوض حيث يتم فتحه أثناء الملئ والتفريغ.
3. النصل (السكين) (Blade): وهو الحافة الحادة للحوض.

• حجم الحوض للقاشطة (ولمعدات حفر أخرى) يقاس بطريقتين:

a) الحجم الثابت للحوض (Struck Volume of Bowl): وهو حجم التراب الذي يملأ الحوض بشكل مستوي الى حافته العُليا.

b) الحجم المكدس للحوض (Heaped Volume of Bowl): وهو حجم التراب عندما تكون التربة مكدسة بصورة مائلة فوق مستوى الحافة العُليا للحوض. يعتمد ميل التربة فوق حافة الحوض على خواص التربة ويكون بحدود 1:2.

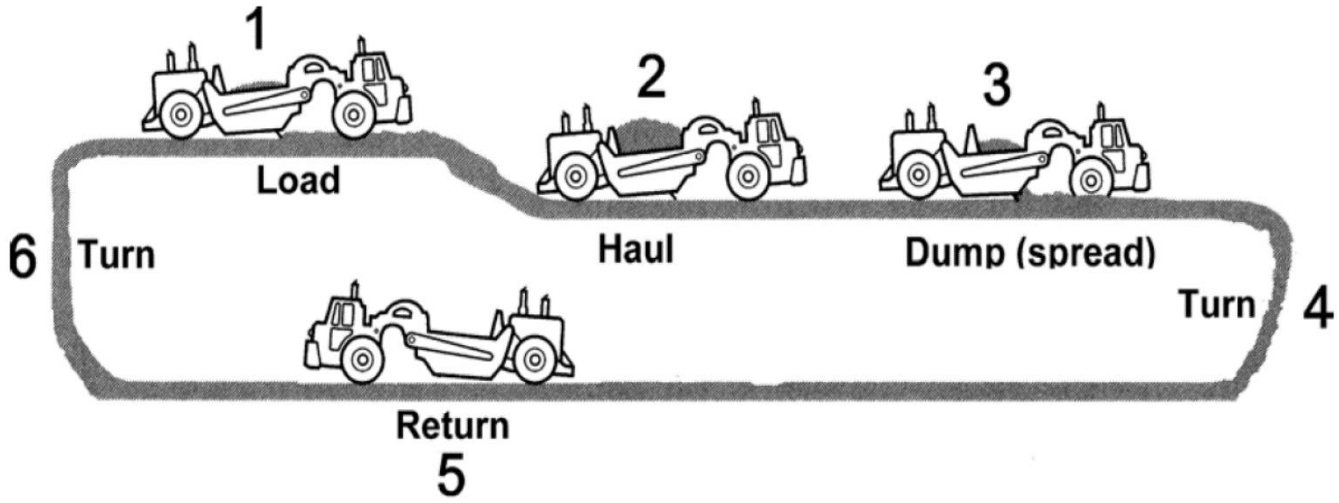
تشغيل القاشطة SCRAPER OPERATION:

1. يتم رفع الحاجز Apron لجعل فوهة الحوض مفتوحة.
2. يتم خفض حافة الحوض وغرسها في التربة.
3. أثناء سير القاشطة تتجمع التربة داخل الحوض لحين إمتلائه.
4. يتم رفع الحوض وخفض الحاجز لغلق فوهة الحوض.
5. تسير القاشطة وحوضها ممتليء بالتربة الى موقع التفريغ.
6. تتم عملية التفريغ برفع الحاجز وخفض الحوض لنشر التربة.
7. الأستدارة والعودة لعملية جديدة.

SCRAPER PRODUCTION CYCLE:

- The production cycle for a scraper consists of six operations:-

1) loading,
2) haul travel,
3) dumping and spreading,
4) turning,
5) return travel, and
6) turning and positioning to pick up another load.



- So that, scraper cycle time can be classified into two main parts:

1. fixed time, and
2. variable time.

- Fixed cycle time in this case includes spot time, load time, and maneuver and dump time.
- Spot time represents the time required for a unit to position itself in the cut and begin loading.
- Variable cycle time, or travel time, includes haul time and return time.
- Thus, Scraper cycle time is determine from:

$$T_s = T_{constant} + T_{travel}$$

$$T_{travel} = T_{haul} + T_{return}$$

$$T_{constant} = T_{spot} + T_{load} + T_{maneuver} + T_{dump}$$

Table (4-2) list typical values of the components of fixed time.

Table (4-2): Scraper fixed time (min)

Conditions	Spot Time	
	Single Pusher	*Tandem Pusher*
Favorable	0.2	0.1
Average	0.3	0.2
Unfavorable	0.5	0.5

Conditions	Load Time				
	Single Pusher	*Tandem Pusher*	*Elevating Scraper*	*Auger*	*Push-Pull**
Favorable	0.5	0.4	0.8	0.7	0.7
Average	0.6	0.5	1.0	0.9	1.0
Unfavorable	1.0	0.9	1.5	1.3	1.4

Conditions	Maneuver and Dump Time	
	Single Engine	*Twin Engine*
Favorable	0.3	0.3
Average	0.7	0.6
Unfavorable	1.0	0.9

Production of Earthmoving Equipment: انتاجية معدات تحريك التربة

- The basic relationship for estimating the production of all earthmoving equipment is:

$$\textit{Production} = \textit{Volume per cycle} \times \textit{Cycles per hour} \qquad \textbf{(4–1)}$$

- The term “volume per cycle” should represent the average volume of material moved per equipment cycle.
- Thus the nominal capacity of the excavator or haul unit (الحفارة أو الة النقل) must be modified by an appropriate fill factor (معامل مليء) based on the type of material and equipment involved.
- The term “cycles per hour” must include any appropriate efficiency factors, so that it represents the number of cycles actually achieved (or expected to be achieved) per hour.

انتاجية القاشطة Scraper Production :

Production = Volume per cycle × Cycles per hour

- In determining the payload per scraper cycle, it is necessary to check both the rated weight payload and the heaped volume capacity.
- The volume corresponding to the lesser of these two values will, of course, govern.
- Cycles per hour = work minutes per hour / cycle time (min)
- Work minutes per hour = work efficiency × 60

- مثال: احسب انتاجية قاشطة سعة حوضها 15 متر مكعب, طول الطريق 1200 متر وسرعة الذهاب 20 كم/ساعة, وسرعة العودة 48 كم/ساعة, الوقت الثابت 1.9 دقيقة ومعامل الوقت 75%.

Solution:

Production = Volume per cycle × Cycles per hour

Volume per cycle = 15 m^3

Cycle time , $T_s = T_{constant} + T_{haul} + T_{return}$

$T_{constant}$ = 1.9 min.

T_{haul} = (1.200 / 20) × 60 = 3.6 min.

T_{return} = (1.200 / 48) × 60 = 1.5 min.

T_s = 1.9 + 3.6 + 1.5 = 7.0 min.

Work minutes per hour = work efficiency × 60 = 0.75 × 60 = 45 min.

Cycles per hour = work minutes per hour / cycle time = 45/ 7 = 6.42 cycles/h

Production = 15 × 6.42 = 96.3 m^3/h (LCM/h)

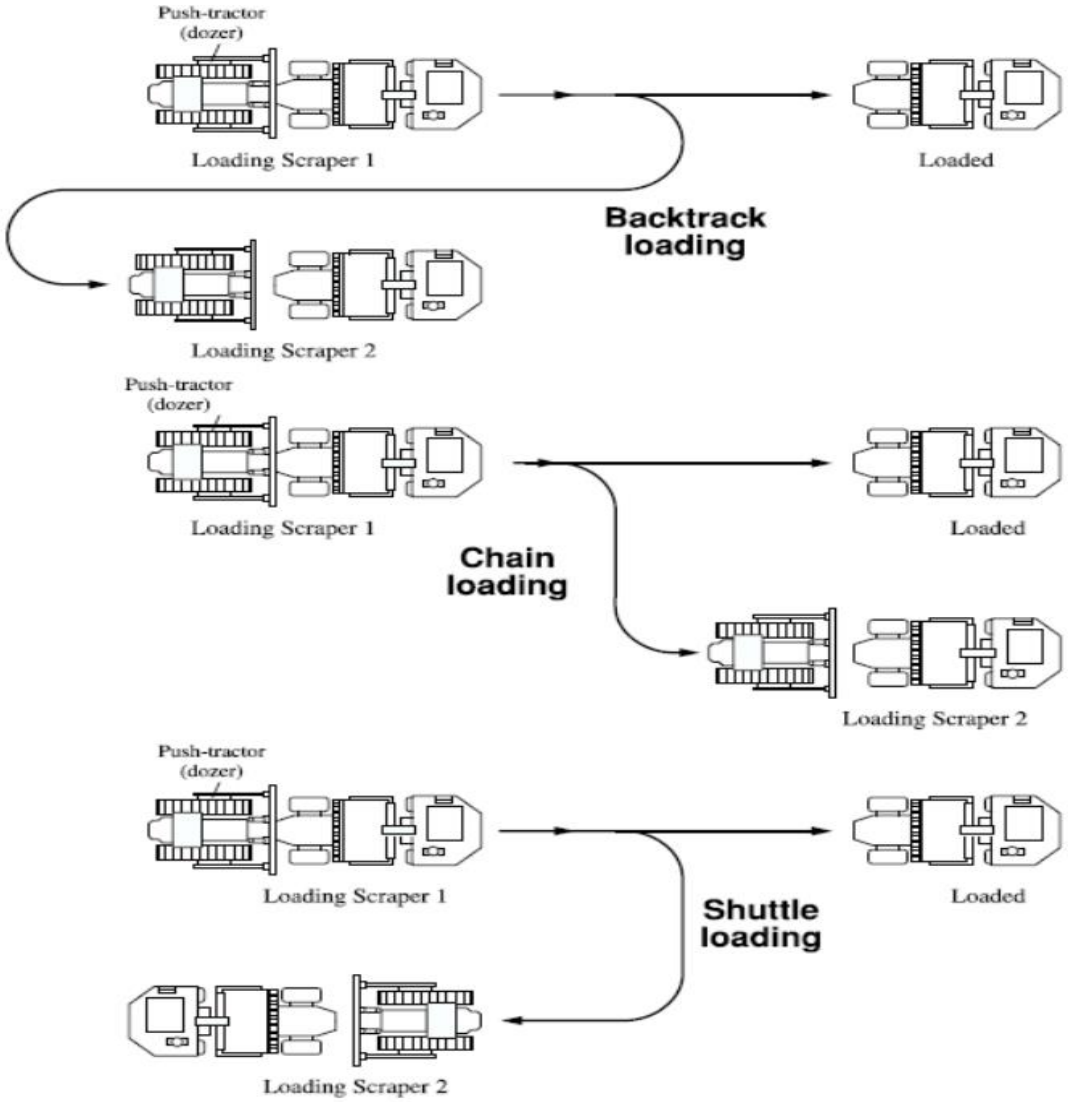
طرق زيادة انتاجية القاشطة:

ان زيادة انتاجية القاشطه يؤدي الى تقليل كلفة التنفيذ للمشروع لذلك يستخدم اسلوب تنظيم عمل المكائن وتهيئة الظروف المناسبه لعملها لتقليل الكلفه

ومن الطرق المستخدمه لتحسين الانتاجيه :-

١. تشقيق الصخور وتفتيت التربه :- تساعد في عملية تحميل القاشطه (ظروف التحميل جيده) ويكون عمق التشقيق اكثر من سمك الطبقه التي ستحمل بالقاشطات.
٢. ترطيب التربه مسبقا" :- يؤدي الى سهولة دخول التربه الى حوض القاشطه وعدم الاحتياج الى عدد كبير من السيارات المستخدمه لرش التربه بالماء وعدم تعارض عمل القاشطات مع عمل السيارات المستخدمه في رش التربه بالماء.
٣. التحميل نزولا على منحدر:- في حالة سماح ظروف العمل فمن الافضل التحميل نزولا (حفرة الامداد تكون في اعلى المنحدر) وذلك لكي تربح قوة تاثير الميل.

تحميل القاشطة بمساعدة الجرارات:



- التحميل الخلفي Backtrack loading
- التحميل المتسلسل Chain loading
- التحميل المكوكي Shuttle Loading

عدد القاشطات التي يمكن مساعدتها بجرار واحد:

لغرض ايجاد عدد القاشطات الملائم لمساعدتها في عملية التحميل باستخدام جرار دافع واحد نستخدم المعادله التاليه :-

$$N = Ts / Tp$$

حيث Ts = وقت دورة القاشطه ،
Tp = وقت دورة الجرار الدافع،
وقت دورة الجرار الدافع يعتمد على

- ظروف العمل في موقع التحميل (جيده ، معتدله ، غير جيده)
- سعة القاشطه والجرار
- طريقة التحميل بواسطة الجرار

$$\text{Number of scrapers served} = \frac{\text{Scraper cycle time}}{\text{Pusher cycle time}}$$

$$\text{Number of pushers required} = \frac{\text{Number of scrapers}}{\text{Number served by one pusher}}$$

وقت دورة العمل لجرار دافع (دقيقة) :Table (4-3)

طريقة التحميل	ظروف موقع التحميل		
	جيدة	معتدلة	غير جيدة
الدفع الخلفي	1.7	2.5	3.0
الدفع المتسلسل	1.2	1.6	2.0
الدفع المكوكي	1.2	1.6	2.0

مثال:

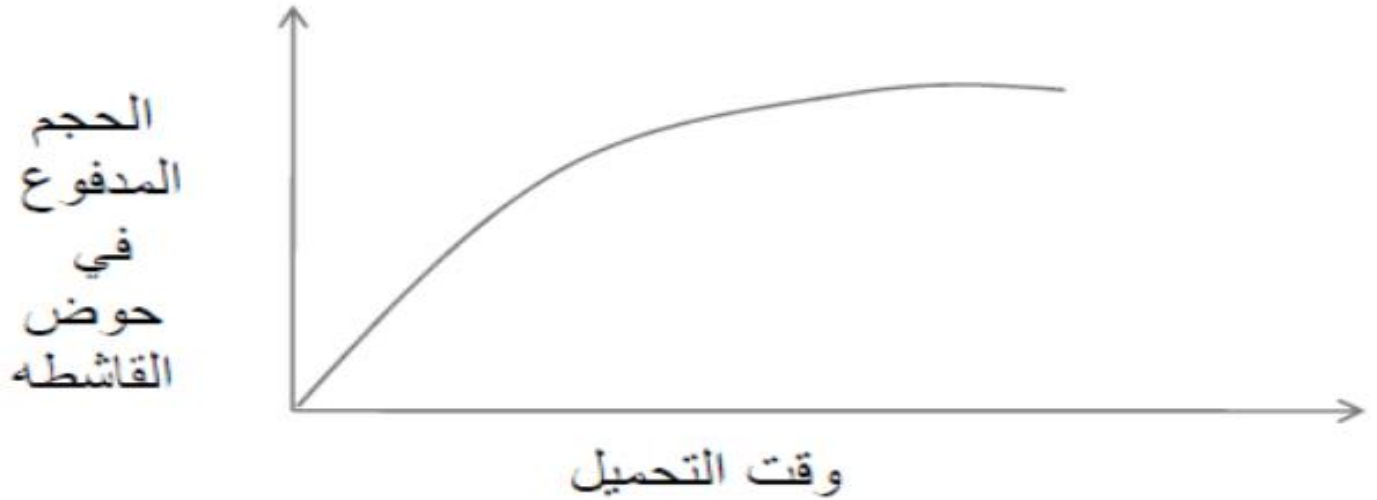
اذا استعمل جرار لدفع قاشطه اثناء عملية التحميل وكان وقت الدوره الكامله للقاشطه 7.2دقيقه
اوجد عدد القاشطات التي يمكن للجرار خدمتها تحت ظروف معتدله في حالة الدفع بالطريقه الخلفيه

الحل:

عدد القاشطات = $N = Ts / Tp = 7.2/2.5 = 2.8 \approx 3$

مخطط نمو الحمل للقاشطة Load Growth Curve:

في بداية التحميل تكون عملية دخول التربه في حوض القاشطه سهله وسريعه وبعد ملىء جزء من حوض القاشطه تصبح عملية دخول التربه بطيئه وذلك لتكدس التربه داخل حوض القاشطه .



منحني نمو الحمل

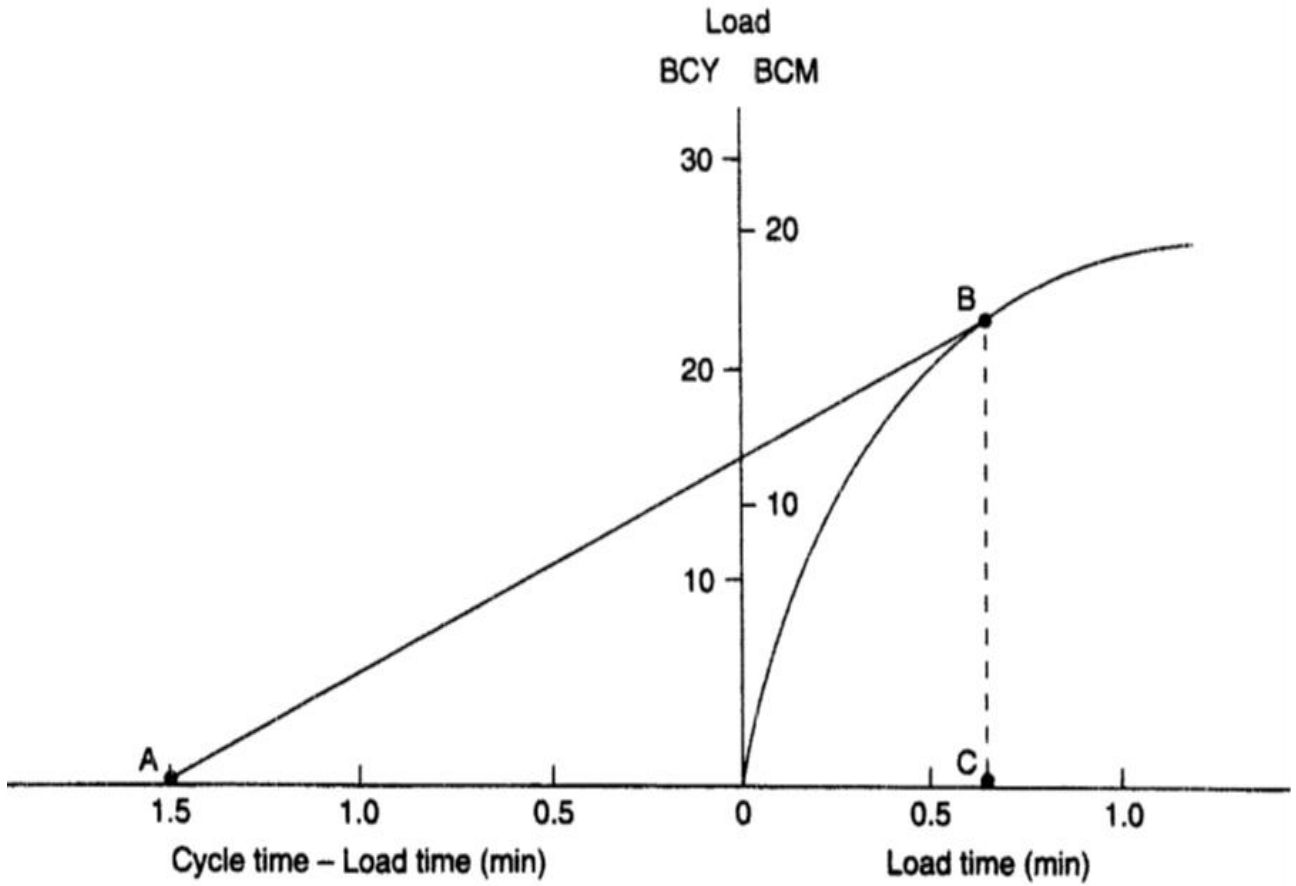
الوقت الأمثل للتحميل Optimum Load Time:

- وهو المدة الزمنية التي تستمر فيها القاشطة بقشط التربة وتحميلها للحصول على أفضل انتاجية.
- حيث ان معدل زيادة الحمل مع الزمن تنخفض بإستمرار التحميل
- لذا يجب ايقاف تحميل القاشطة عند وقت امثل وإستغلال الوقت بإكمال دورة عمل القاشطة بالذهاب لتفريغ حمولتها, أفضل من إضاعة الوقت بزيادة طفيفة بالحمل.

خطوات حساب الوقت الأمثل للتحميل:

- رسم مخطط نمو الحمل للقاشطة
- تحديد النقطة A, حيث ان المسافة AO تساوي زمن دورة القاشطة ناقص وقت التحميل. أي انه يساوي وقت التفريغ والأستدارة والتهيئة للتحميل مضافا اليه وقت الذهاب ووقت العود.

$$T_1 = T_{spot} + T_{maneuver} + T_{dump} + T_{haul} + T_{return}$$



- رسم مماس لمخطط نمو الحمل من النقطة A.
- رسم عمود من نقطة التماس B على المحور الأفقي ليقطعه في نقطة C.
- المسافة OC تمثل الوقت الأمثل للتحميل.

الشاحنات Trucks:

استعمالاتها :-
لنقل المواد المختلفه كـ (الركام و الطابوق والصخور)
مميزاتها :-
١. انتاجيتها جيده بسبب سرعتها الكبيره في عملية النقل
٢. هناك مرونه في استعمالاتها حيث يمكن زيادة عددها عند الحاجه
٣. يمكن استعمالها في انواع مختلفه من الطرق

العوامل التي تعتمد في تصنيف الشاحنات :
١. حجم ونوع المحرك ٢- عدد التروس ٣- عدد الدواليب والمحاور ٤ – السعه بالاطنان
٥- طريقة تفريغ المواد (خلفيه ، قعريه) ٦ – نوعية المواد المحموله

الشاحنات الخلفية التفريغ :-
يستعمل بسهوله لنقل الركام مهما كان شكل البدن . اما في حالة استخدامها لنقل تربه رطبه فيفضل ان يكون البدن خالي من الزوايا الحاده .
الشاحنات القعرية التفريغ :-
يستعمل اذا كان العمل المطلوب هو دفن الموقع بشكل طبقات وخاصة اذا كانت التربه او الركام بهيئة جافه.
ان التفريغ بهذه الطريقه يقلل من وقت التفريغ للشاحنات مقارنة مع الشاحنات الخلفية التفريغ .ولكن في حالة التربه الرطبه فانها تلاقي بعض الصعوبه في التفريغ بسبب السعه المحدوده لفتحة التفريغ

سعة الشاحنات يقاس اما
١. بالاطنان ٢- السعه الثابته للشاحنه ٣- السعه المكدسه للشاحنه

بالنسبة للسعه بالاطنان نستخدم في حالة نقل المواد الخام كالحديد مثلا . اما بالنسبه الى السعه الثابته والمكدسه فأنها تقاس بالامتار المكعبه وفي حالة السعه المكدسه فان تحميل التربه الرطبه يمكن ان يكون بميل (١:١) اما في حالة التربه الجافه فيكون الميل (١:٣).

انتاجية الشاحنات :

نعتمد على حجم الشاحنه وعدد الدورات في الساعه . كما يمكن ايجاد انتاجيه الشاحنات باستخدام مخطط الاداء للشاحنه وهذ المخطط يربط مابين وزن الشاحنه والمقاومه الكليه التي تساوي (مقاومة الدحرجه + تأثير ميل الانحدار) ومن هذا المخطط يمكن ايجاد سرعة الشاحنه وبالتالي ايجاد وقت الدوره للشاحنه .

موازنه حجم الشاحنه مع حجم ماكنة الحفر :-

عند استخدام شاحنات ذات سعات مناسبه لانتاجيه ماكنة الحفر فأن ذلك يؤدي الى تقليل الكلفه الكليه للعمل وهناك فوائد واضرار على الانتاجيه في حالة استخدام الشاحنات الكبيره وكذلك فوائد واضرار في حالة استخدام الشاحنات الصغيره .

ايجاد عدد الشاحنات التي تعمل مع مجرفة واحدة:

- أقل عدد من الشاحنات التي تجعل المجرفة تعمل دون توقف = دورة عمل الشاحنة/ وقت تحميل الشاحنة
- دورة عمل الشاحنة = وقت التحميل + وقت النقل والتفريغ والعودة
- وقت التحميل = عدد المغارف المطلوبة لتحميل الشاحنة × وقت دورة عمل المجرفة
- عدد المغارف المطلوبة لتحميل الشاحنة = حجم الشاحنة/ حجم المغرفة
- معامل التشغيل للشاحنة = (وقت دورة عمل الشاحنة / الوقت الكلي لتحميل كافة الشاحنات)×100%

مثال : استعملت مجرفه اليه حجمها 0.8م مكعب في تحميل شاحنات بحجم ١٢ م مكعب . وقت الدوره الواحده للمجرفه ٢٠ ثانيه . وقت النقل والتفريغ والعوده للشاحنه ٨ دقائق . المطلوب :-

١. ايجاد عدد الشاحنات التي تجعل المجرفه تعمل بأستمرار
٢. حساب معامل التشغيل للشاحنه

عدد المغارف = حجم الشاحنه / حجم المجرفه = 12/ 0.8= 15مغرفه

وقت التحميل = ١٥ * ٢٠ / ٦٠ = ٥ دقائق
وقت الدوره الكامله للشاحنه = ٥+٨ =١٣ دقيقه

١. اقل عدد ممكن من الشاحنات لجعل المجرفه تعمل باستمرار =13/ 5= 2.6
عدد الشاحنات التي تجعل المجرفه تعمل باستمرار هو ٣ شاحنات.
٢. معامل التشغيل للشاحنات = 13/ (5*3)* 100= 86%

Trucks and Hauling Equipment: الشاحنات ومعدات النقل

- In addition to the dozer, loader (المجرفة) , and scraper, hauling equipment includes trucks (الشاحنات) , wagons (العربات المقطورة) , conveyor belts (أحزمة ناقلة) , and trains.
- Trucks haul (تنقل) at relatively low costs because of their high travel speeds and moderate to large payload capacities (سعات التحميل).
- The use of trucks as the primary hauling units provides a high degree of flexibility, as the number in service can usually be increased or decreased easily to permit modifications in the total hauling capacity of a fleet (أسطول الشاحنات).
- The number of trucks employed should be balanced with the loading equipment (loader المجرفة) for a cost-effective operation.
- Some trucks are specifically designed as off-highway (خارج الطرق) units.
- These units are so large their size and weight are greater than what is permitted on public highways

Types of Trucks:

- Trucks can be classified by:

A. **Method of discharging the load:** Rear, bottom, side, conveyor, push plate.
B. **Type of frame:** Rigid (هيكل بدون مرونة) or articulated (هيكل مرن)
C. **Size and type of engine:** Gasoline, diesel, biodiesel, natural gas, or propane
D. **Steering:** Front axle or multiple forward axles (crab steering).
E. **Configuration of drive:** All-wheel, rear-wheel, or front-wheel
F. **Transmission of power:** Direct drive, torque converter, diesel electric
G. **Class of material hauled:** Earth, rock, coal, ore, unclassified
H. **Capacity:** Gravimetric (weight) or volumetric (cubic measure)

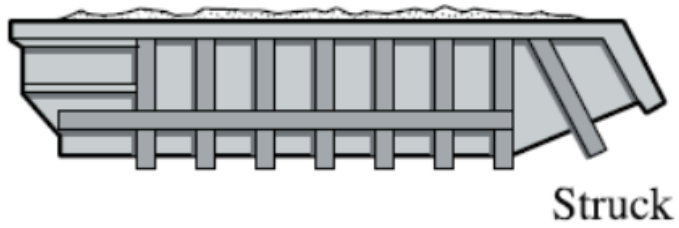
CAPACITIES OF TRUCKS AND HAULING EQUIPMENT:

- There are three standard methods for rating the capacities of trucks and wagons (العربات او المقطورات):

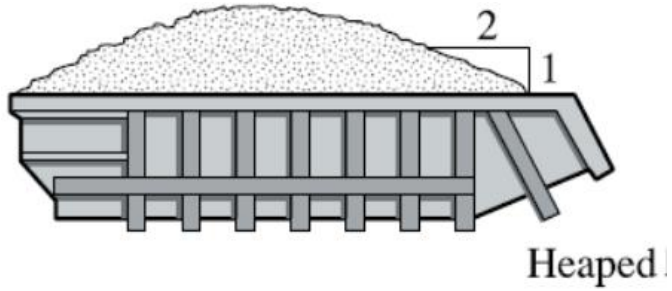
I. **Gravimetric:** the carried load, expressed as a weight.

II. **Struck volume:** the carried load expressed as a volumetric amount, assuming the load is water level in the dump box.

III. **Heaped volume:** the carried load expressed as a volumetric amount, assuming the load is heaped on 2:1 slope above the dump box.



Material measured straight across the top of the body



Based on a 2:1 slope above hauler bodies

SELECTION OF TRUCK CAPACITY:

- The most important consideration when matching excavators and haul trucks is finding equipment with compatible capacities.
- Balancing the capacities of hauling units with the excavator bucket size (حجم مغرفة الحفارة) and production capability is critically important.
- Matched capacities yield maximum loading efficiency and reduced total costs.
- **A practical rule of thumb used in matching the haul truck with the loader is a truck cargo body capacity of four to six times the excavator bucket capacity.**

Truck Cycle Time:

- The components of the truck or wagon cycle are similar to those of the scraper.
- Thus total cycle time is the sum of the fixed time (spot, load, maneuver, and dump) and the variable time (haul and return).
- The fixed time elements of spot, maneuver, and dump may be estimated by the use of Table 4–9.

Table (4-4): Spot, maneuver, and dump time for trucks and wagons (min)

Conditions	**Bottom Dump**	**Rear Dump**
Favorable	1.1	0.5
Average	1.6	1.1
Unfavorable	2.0	2.5

- Loading time, however, should be calculated by the use of Equations (1) below:

$$Load\ time = \frac{Haul\ unit\ capacity}{Loading\ production\ at\ 100\%\ efficiency} \qquad (1\text{- a})$$

Or

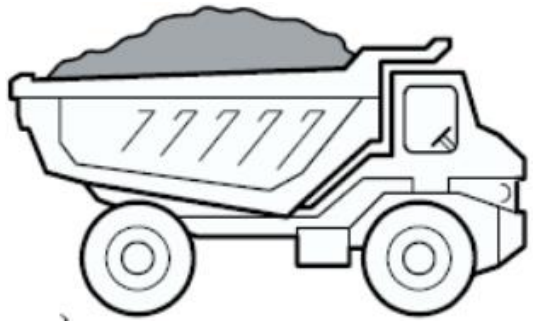
$$Load\ time = Number\ of\ bucket\ loads \times Excavator\ cycle\ time \qquad (1\text{- b})$$

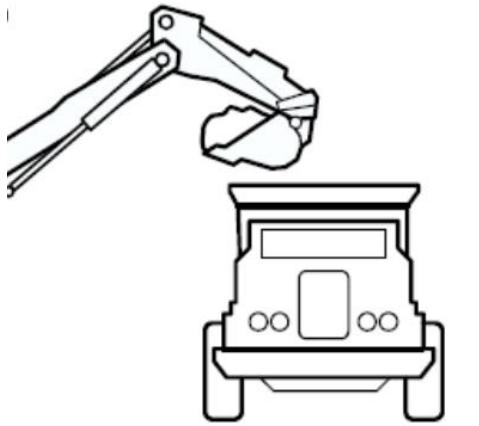
- The use of the 100% efficiency loading rate is intended to ensure that an adequate number of trucks is provided so that the excavator will not have to wait for a truck.
- Either bank or loose measure may be used in Equation (1- a), but the same unit must be used in both numerator and denominator.

Number of Bucket Loads:

The number of buckets required to fill the truck capacity is determined from:

$$Number\ of\ bucket\ loads = \frac{Truck\ capacity}{Bucket\ capacity} \qquad (2)$$





- The actual number of bucket cycles to load the truck cargo body must be an integer.
- The calculated number of buckets is usually rounded to the next integer.

Number of Haul Units Needed:

- The number of trucks theoretically required to keep a loader fully occupied and thus obtain the full production of the loader may be calculated by the use of Equation (3) below:

$$Number\ of\ haulers\ required\ (N) = \frac{Haul\ unit\ cycle\ time}{Load\ time} \qquad (3)$$

- The result obtained from Equation above must be rounded up to the next integer.
- If more than the theoretically required number of trucks is supplied, no increase in system production will occur, because system output is limited to excavator output.

- If less than the required number of trucks is supplied, system output will be reduced, because the excavator will at times have to wait for a haul unit.
- The expected production in this situation may be calculated by the use of Equation (4) below:

$$Expected\ production = \frac{Available\ Number\ of\ units}{N} \times \text{Actual Excavator production} \qquad (4)$$

- In performing this calculation, use the precise value of N, not its integer value.

Example: Given the following information on a shovel/truck operation,

(a) calculate the number of trucks theoretically required and the production of this combination;

(b) calculate the expected production if two trucks are removed from the fleet.

- Shovel production at 100% efficiency = 283 BCM/h , Job efficiency = 0.75 , Truck capacity = 15.3 BCM , Truck cycle time, excluding loading = 0.5 h

Solution:

(a)

Loading time (from eq. 1-a) is:

$$Load\ time = \frac{Haul\ unit\ capacity}{Loading\ production\ at\ 100\%\ efficiency} = \frac{15.3}{283} = 0.054\ \text{h}$$

Truck cycle time = 0.5 + 0.054 = 0.554 h

$$Number\ of\ haulers\ required\ (N) = \frac{Haul\ unit\ cycle\ time}{Load\ time} = \frac{0.554}{0.054} = 10.3$$

Use N = 11.

Expected production = Ideal excavator production × Job efficiency

Expected production = 283 × 0.75 = 212.25 BCM/h

(b) When two trucks are removed:

Available no. of trucks = 11 – 2 = 9

$$Expected\ production = \frac{Available\ Number\ of\ units}{N} \times \text{Actual Excavator production}$$

$$Expected\ production = \frac{9}{10.3} \times 212.25 = 185.46\ \text{BCM/h}$$

الفصل الخامس
معدات الحفر
Excavators

Excavators and Crane-Shovels:

- An excavator is defined as a power-driven digging machine. (ماكنة حفر)
- In 1836, William S. Otis developed a machine that mechanically duplicated the motion of a worker digging with a hand shovel.
- From this machine evolved (تطورت) a family of cable operated construction machines known as the *crane-shovel.*

- The major types of excavators used in earthmoving operations include hydraulic excavators and the members of the cable-operated crane-shovel.
- Members of this family include the shovel (المجرفة) , backhoe (المعزقة – المجرفة الخلفية) , dragline (الحفارة السلكية) , and clamshell (الحفارة المحارية) .

Hydraulic and Cable operated machines:

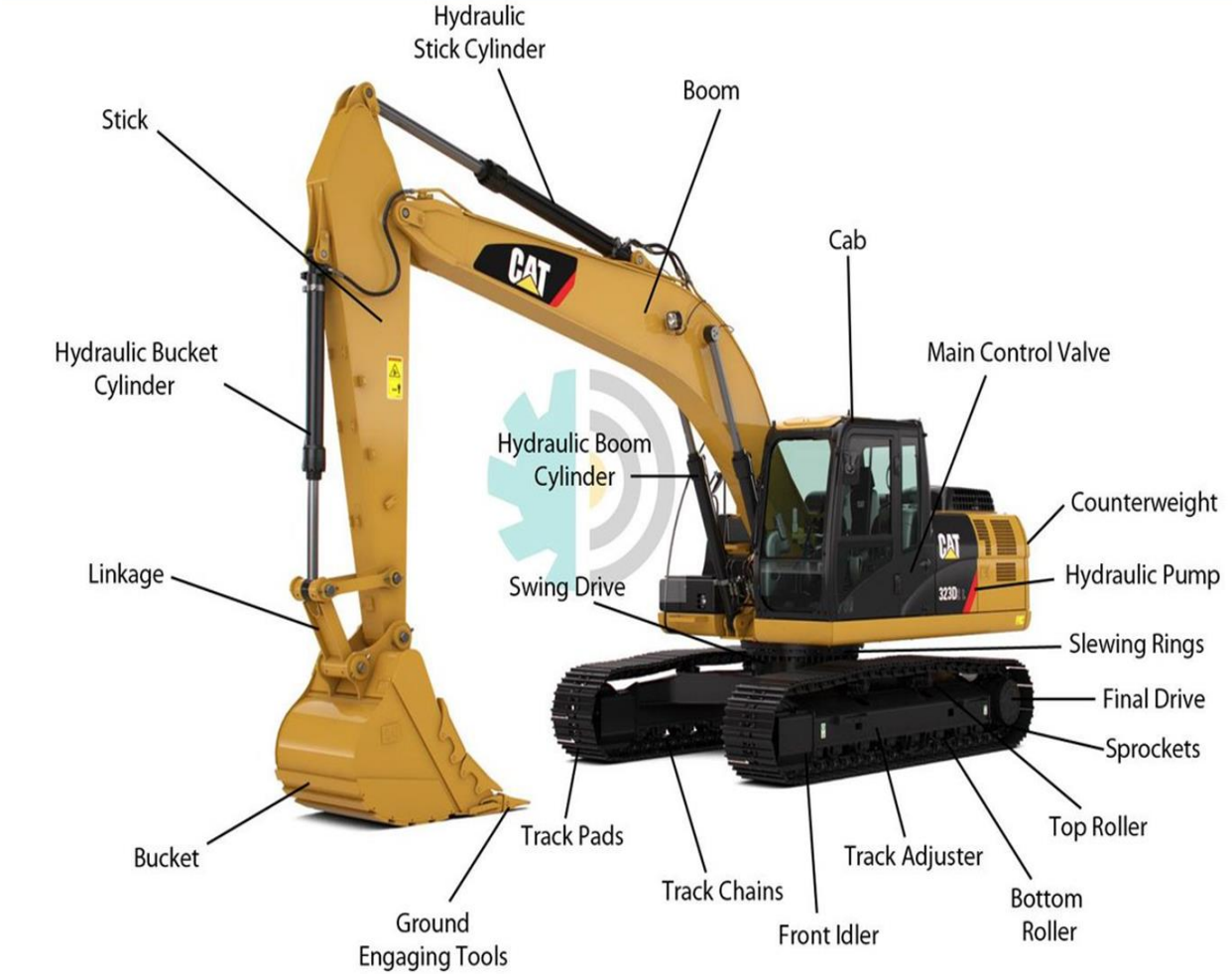
- While *hydraulic excavators* have largely replaced the cable-operated crane-shovel family, functionally similar hydraulic machines are available including the front shovel and backhoe.
- The advantages of hydraulic excavators over cable-operated machines are:

1) faster cycle time,
2) higher bucket penetrating force,
3) high overall efficiency,
4) more precise digging, and
5) easier operator control.

- The major remaining cable-operated machines based on the original crane-shovel are the dragline and the mobile lattice-boom crane.

HYDRAULIC EXCAVATORS:

- Hydraulic excavators use diesel engines to drive hydraulic pumps, motors, and cylinders.
- The hydraulic force from these components is then used to power the excavator's motions of digging and loading materials.
- These excavators may be either crawler or pneumatic-tire mounted.

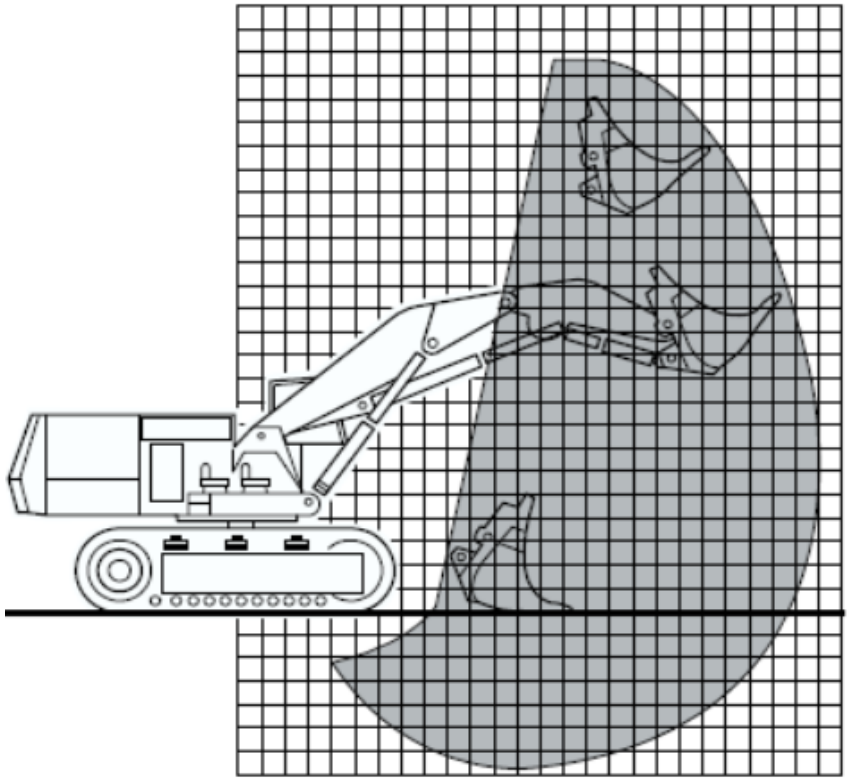


Types of hydraulic excavators:

- Boom (برج) and stick (عصا) hydraulic excavators are classified by the digging motion of the bucket.

1) An upward motion machine is known as a "front shovel."

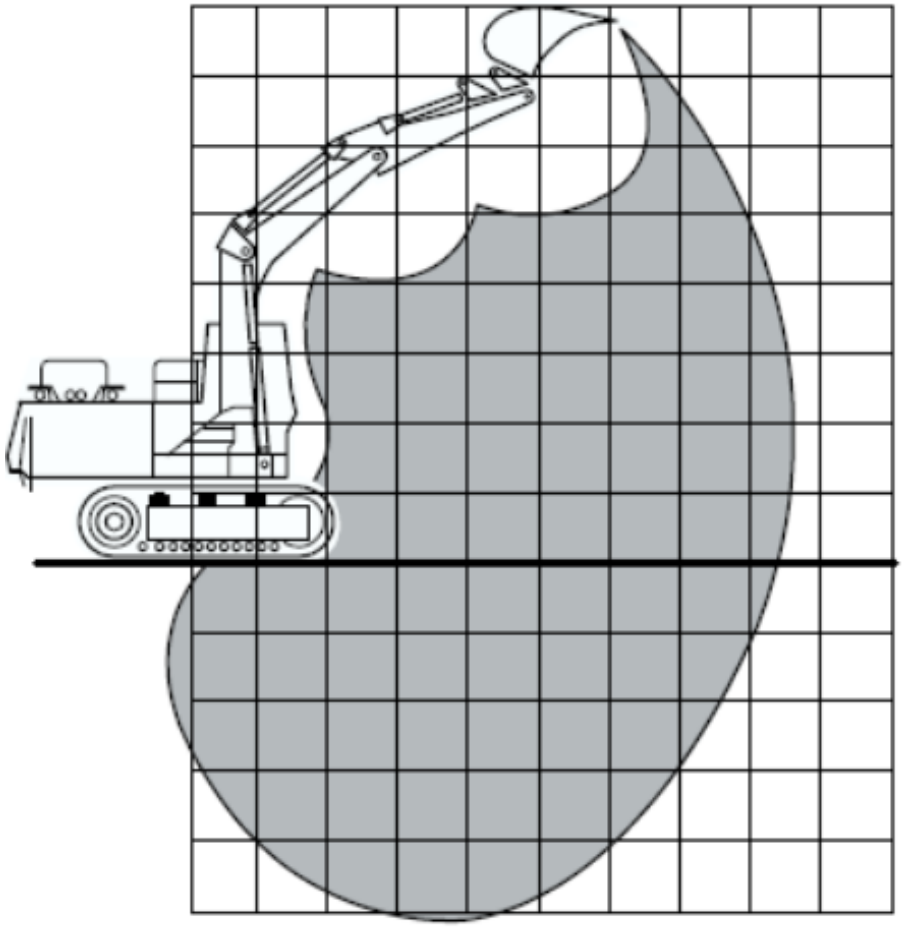
- A shovel develops breakout force by **crowd (دفع)**and **curl (ميلان)** bucket motions away from the machine.
- The boom of a shovel swings in an upward arc to load; therefore, the machine requires material banked above track level.



Hydraulic shovel–upward arc

2) A downward arc machine is classified as a "hoe."

- It develops excavation breakout force by pulling the bucket toward the machine and curling the bucket inward.
- The downward swing of a hoe dictates usage for excavating below the track level.



Hydraulic hoe–downward arc

Productivity of Excavation Equipment:

- If an excavator is used as an independent machine (a one-link system), its production rate can be estimated using the following steps:

Step 1. Obtain the heaped bucket load volume (usually in LCM).

Step 2. Apply a bucket **fill factor** based on the type of machine and the class of material being excavated.

Step 3. Estimate a peak cycle time. This is a function of machine type and job conditions to include angle of swing, depth or height of cut, and, in the case of loaders, travel distance. (angle of swing: الزاوية التي تدورها الحفارة بين وضعي الحفر والتفريغ)

Step 4. Apply a work-time efficiency factor.

Step 5. Conform the production units to BCM.

Step 6. Calculate the production rate.

The basic production formula is:

$$Production = V \times N$$

Where:

V: is the material carried per one load in (BCM)

N: number of cycles per hour.

In the case of excavators:

$$\mathrm{V} = (Q \times F \times Vol\ Corr.)$$

and

$$N = \frac{3600}{T} \times E \times ASD$$

Where:

Q = heaped bucket capacity (LCM)

F = bucket fill factor

$Vol\ Corr.$ = volume correction for loose to bank = $\frac{1}{1+percent\ swell}$

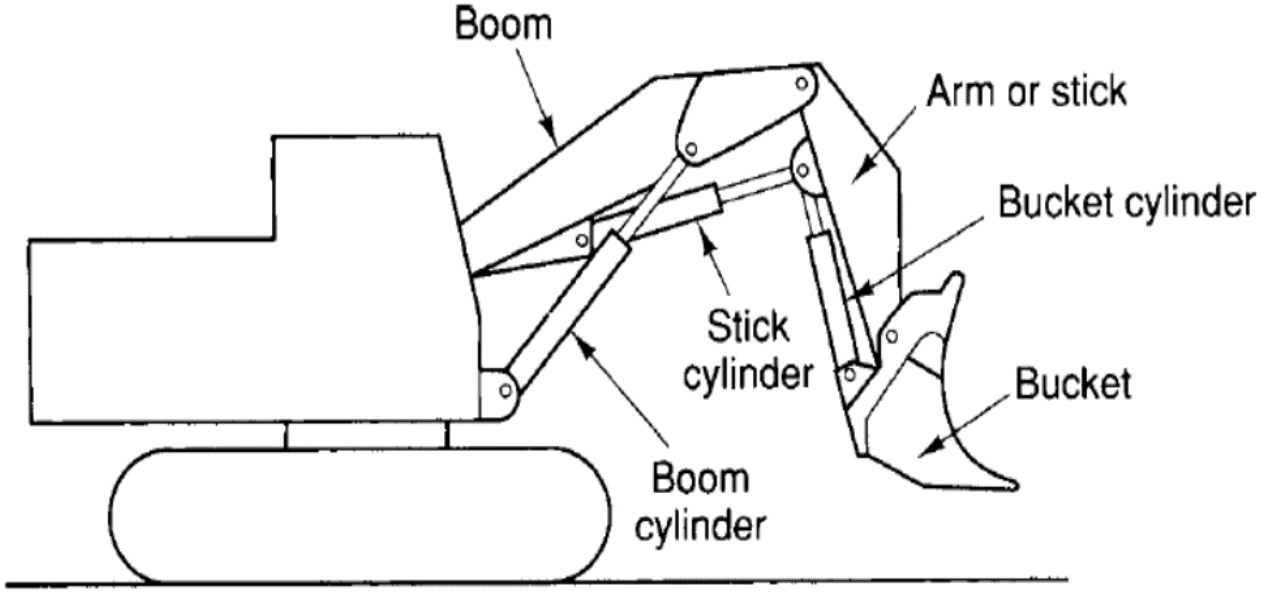
ASD = angle of **swing** and depth (height) of cut correction

T = cycle time in seconds

E = time efficiency = $\frac{work\ time\ (min.)}{60}$

FRONT SHOVELS:

- The *front shovel* is also called a *hydraulic shovel* or *hydraulic excavator-front shovel.*
- Front shovels are used predominantly for hard digging above track level and for loading haul units.
- Loading of rock is a typical application.
- Shovels are capable of developing high breakout force with their buckets.
- Most shovels are crawler-mounted and have very slow travel speeds, less than 5 km/h.



Size Rating of Front Shovels:

- Buckets of hydraulic shovels for construction work range in from 2 to 11 m^3.
- The capacity of a bucket is based on its heaped volume, which would be loose volume.
- Fill factors represent percentages greater than or less than the rated-heaped capacity.
- The load in the bucket is adjusted based on material type by multiplying the rated-heaped capacity by the material fill factor.

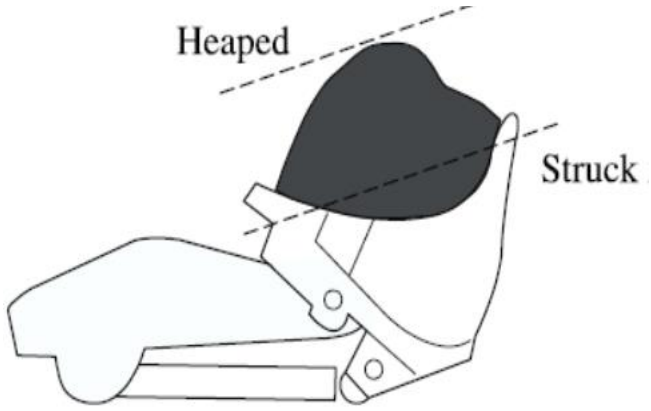


TABLE 9.1 Fill factors for front shovel buckets

Material		Fill factor* (%)
Bank clay; earth	**(Easy digging)**	95–105
Rock-earth mixture	**(Easy digging)**	95–105
Rock—well blasted	**(Medium digging)**	90–100
Rock—poorly blasted	**(Hard digging)**	85–95
Very hard digging		80–90

- مثال: خمن الحجم الفعلي لحمل المغرفة بمقياس الضفة لمجرفة الحجم المكدس لها $3.82m^3$ علما ان التربة لها معامل الأنتفاخ هو 0.8 , ومعامل الملئ 0.9.
- الحل:

Bucket load (LCM) = Fill factor × Bucket Volume = 0.9 × 3.82 = 3.438 m^3

$$Bank\ Volume = \text{Loose Volume} \times Swell\ Factor$$

$$Bank\ Volume = 3.438 \times 0.8 = 2.750\ BCM$$

Thus, Bucket Volume (BCM) = 2.7504 (BCM)

Note: $Swell\ Fctor = Load\ factor = \frac{1}{1+swell}$

Shovel cycle time:

- There are four elements in the production cycle of a shovel:

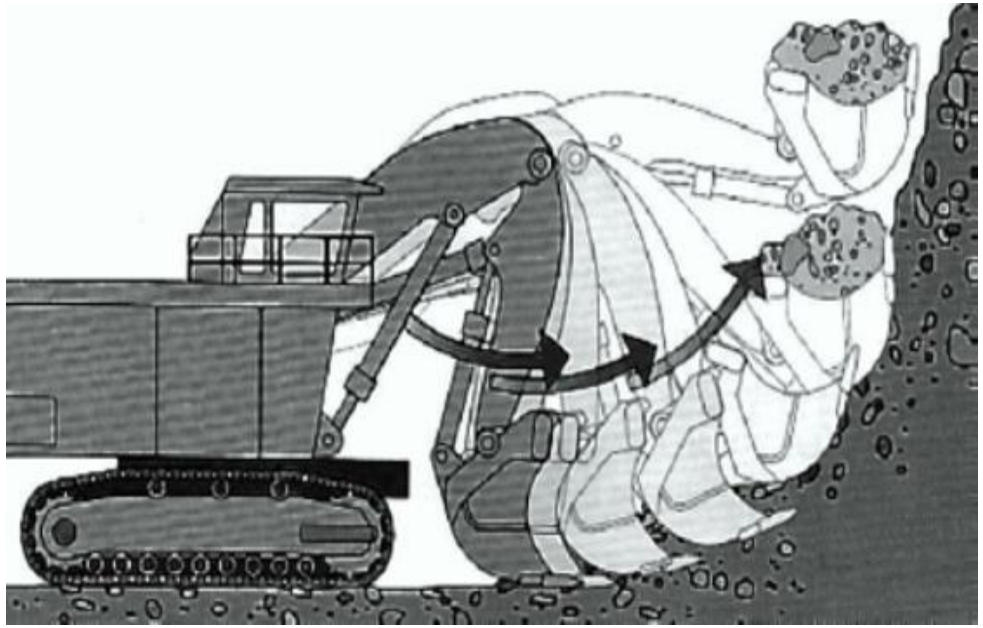
1) **Load bucket (digging):** Move bucket to the bank, fill, and raise bucket clear of the bank.
2) **Swing with load:** When bucket is full, raise to dump height and swing over the haul unit.
3) **Dump load:** Open bucket to dump while controlling dump height.
4) **Return swing:** Swing upper frame back to the bank and lower bucket to start next cycle.

- A shovel does not travel during the digging and loading cycle.
- Travel is limited to moving into or along the material face as the excavation progresses.
- One study of shovel travel found it was necessary to move after about 20 bucket loads, this is an average value.
- This movement into the face of the material took an average of 36 sec.

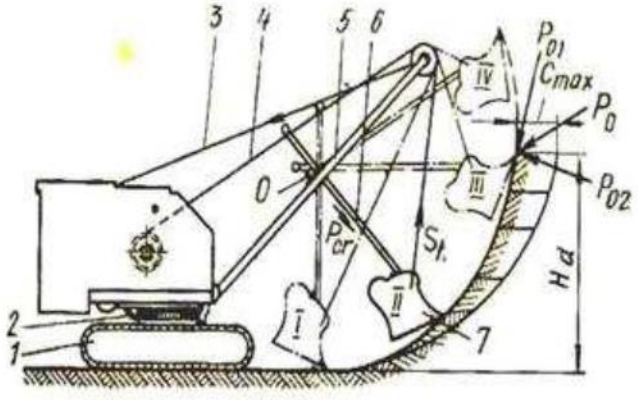
- Thus each cycle can be increased by 1.8 sec to take account for travel.
- Typical cycle element times under average conditions, for 2 to 4m^3 size shovels are as given in the table:
- Larger mining shovels theoretically cycle in 25 to 45 seconds depending on their size.

Table (9-4):Typical cycle time for front shovel	
Step	Time (sec)
Load bucket	7-9
Swing with load	4-6
Dump load	2-4
Return swing	4-5

طريقة عمل المجرفة الالية:

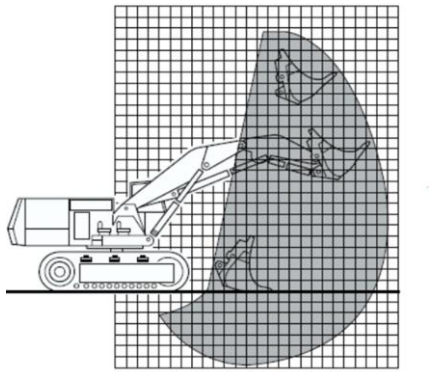


1. تقف المجرفة بمواجهة التربة
2. يتم تنزيل المغرفة الي أسفل التعلية الترابية وجعل الأسنان متجهة للتربة.
3. تسليط قوة لدفع المغرفة في التربة وفي نفس الوقت يتم تسليط شد على الحبل لسحب المغرفة للأعلى.
4. اذا كان ارتفاع التربة مناسب (حسب نوعية التربة وحجم المغرفة) فأن المغرفة ستمتليء بالتربة عند وصولها الى أعلى الحفر.
5. اذا كان ارتفاع التربة أقل فأن المغرفة لن تمتليء الا بتسليط قوة اضافية على المغرفة لزيادة تغلغلها في التربة.
6. أما إذا كان إرتفاع التربة كبير فيجب تقليل القوة لتقليل دخول حافة المغرفة فيها.



الأرتفاع الأمثل للقطع :Optimum depth of cut

- وهو الأرتفاع الذي يعطي أعلى انتاجية للمجرفة, وعنده يمكن مليء المغرفة دون تسليط أي قوة اضافية.


Hydraulic shovel–upward arc

- يعتمد هذا الأرتفاع على نوع التربة وحجم المغرفة.
- يتراوح الأرتفاع الأمثل بين 30 – 50% من أقصى ارتفاع للحفر يصل الية برج الحفارة.
- النسب المنخفضة تناسب الترب سهلة التحميل مثل الترب المزيجية والرمل والحصى.
- أما المواد صعبة التحميل مثل الطين المتلاصق والصخور المكسرة فتكون النسبة بحدود 50%.
- التربة الأعتيادية تكون النسبة لها بحدود 40%.
- الجدول التالي يبين قيم الأرتفاع الأمثل للقطع والأنتاجية بالمتر المكعب بحجم الضفة لأنواع مختلفة من التربة ولحجوم متعددة من المجرفات.

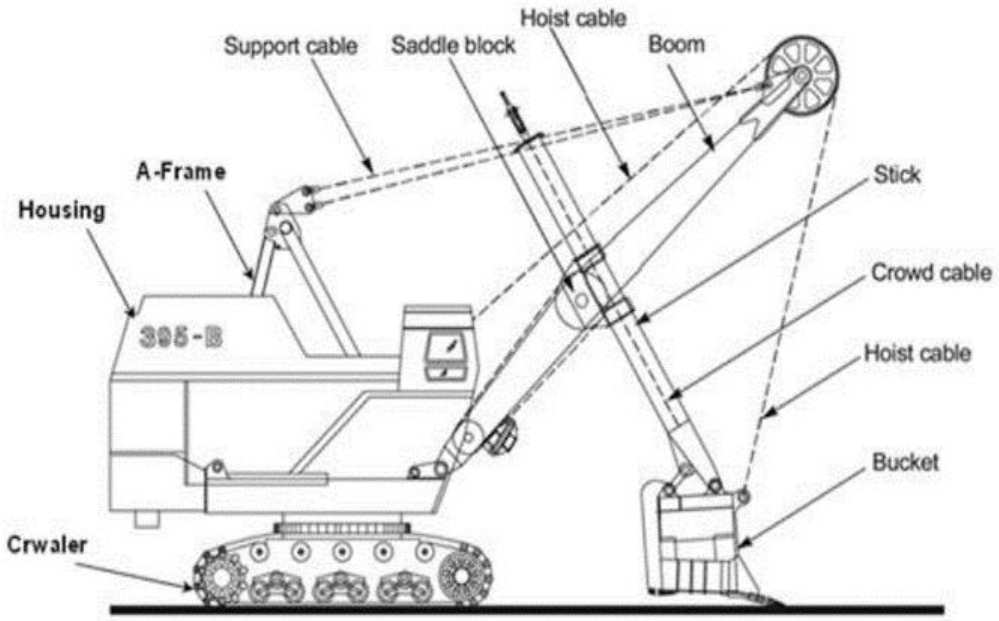
Table (9.2): Ideal Outputs of Cable-Operated Power Shovel, in Cubic meters Per 60-min hour, Bank Measure

Class of material	Size shovel, cubic meter								
	0.3	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	2
Moist loam or high sand clay	1.1* 65**	1.4* 88**	1.6* 126**	1.8* 157**	2.0* 190**	2.1* 218**	2.2* 245**	2.4* 271**	2.6* 310**
Sand and gravel	1.1 61	1.4 84	1.6 118	1.8 153	2.0 178	2.1 206	2.2 229	2.4 252	2.6 298
Good common earth	1.4 54	1.7 73	2.1 103	2.4 134	2.6 160	2.8 183	2.9 206	3.1 229	3.4 268
Hard, tough clay	1.8 38	2.1 57	2.4 84	2.7 111	3.0 137	3.3 156	3.5 180	3.7 202	4.1 236
Well-blasted rock	— 30	— 46	— 72	— 95	— 118	— 137	— 156	— 175	— 210
Wet, sticky clay	1.8 19	2.1 30	2.4 53	2.7 73	3.0 91	3.3 110	3.5 125	3.7 141	4.0 175
Poorly blasted rock	— 11	— 19	— 38	— 57	— 73	— 88	— 107	— 122	— 149

* These values are the optimum depth of cut in meters.
** These values are the ideal outputs in cubic meters.
- Source: Power Crane and Shovel Association.

انتاجية المجرفة الآلية:

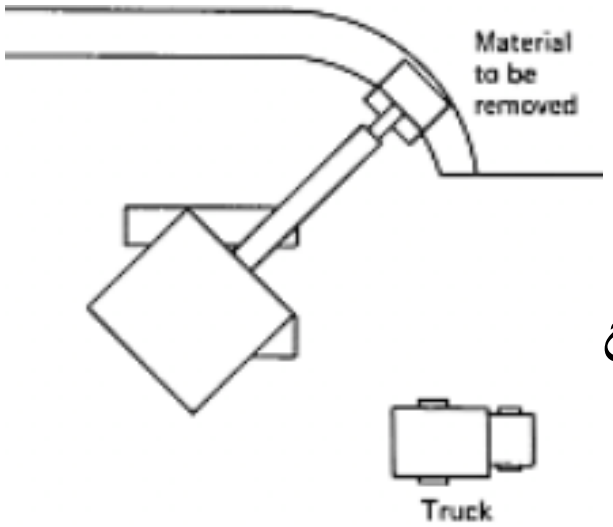
- يتم حساب انتاجية المجرفة بالمتر المكعب في الساعة محسوبة بمقياس الضفة.
- العوامل التي تؤثر على انتاجية المجرفة الآلية:



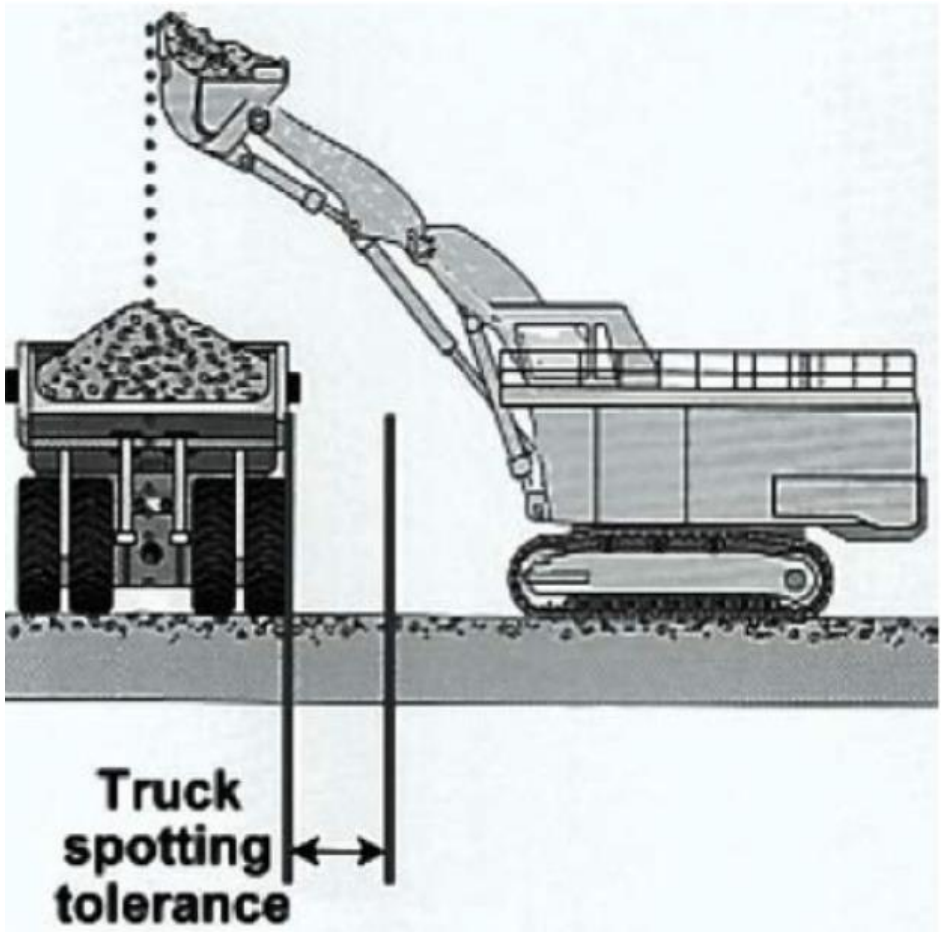
1. نوع التربة
2. ارتفاع القطع
3. زاوية الدوران
4. ظروف العمل وتهيئة منطقة العمل
5. حجم المكائن الناقلة
6. مهارة المشغلين
7. حالة ونوعية المجرفة
8. سرعة تهيئة معدات النقل
9. طريقة التعامل مع الصخور كبيرة الحجم.

- المقصود بتهيئة معدات النقل هو الوقت الكلي المطلوب لناقلة محملة لترك موقعها تحت المجرفة لفسح المجال للناقلة الفارغة التالية لتقف في وضع التحميل.
- عند حفر الصخور المكسرة يجب حساب كمية الصخور ذات الحجوم الكبيرة التي تتجاوز حجم مغرفة المجرفة.
- حيث ان المجرفة ذات الدلو الذي يكون حجمه مناسبا للحجم المتوسط للصخور تستغرق وقت طويل للتخلص من الصخور ذات الحجوم الكبيرة.
- لذا يمكن التفكير ببدائل مثل استخدام دلو أكبر او استبدال المجرفة بحفارة أكبر او تغيير طريقة تفجير الصخور.
- ان استخدام معدات اضافية مثل المقلعة (البلدوزر) لتنظيف وتهيئة منطقة التحميل يمكن ان يقلل من التأخير الناجم عن أيقاف العمل لغرض التنظيف.

تأثير زاوية الدوران على انتاجية المجرفة الآلية:



- زاوية دوران المجرفة هي الزاوية الأفقية بين وضعية المغرفة اثناء الحفر ووضعيتها اثناء التفريغ.
- الوقت الكلي لدورة المجرفة يشمل الحفر والدوران الى وضع التفريغ ثم التفريغ والعودة الى وضع الحفر.
- عند زيادة زاوية الدوران فمن الطبيعي أن يزداد وقت دورة العمل للمجرفة الألية.
- الجدول التالي يبين تأثير زاوية الدوران على انتاجية المجرفة.
- مثلا اذا كانت مجرفة تحفر بالأرتفاع الأمثل وتم تقليل زاوية دورتها من 90 درجة الى 60 درجة فإن انتاجيتها ستزداد بمعدل 16%.


Truck
spotting
tolerance

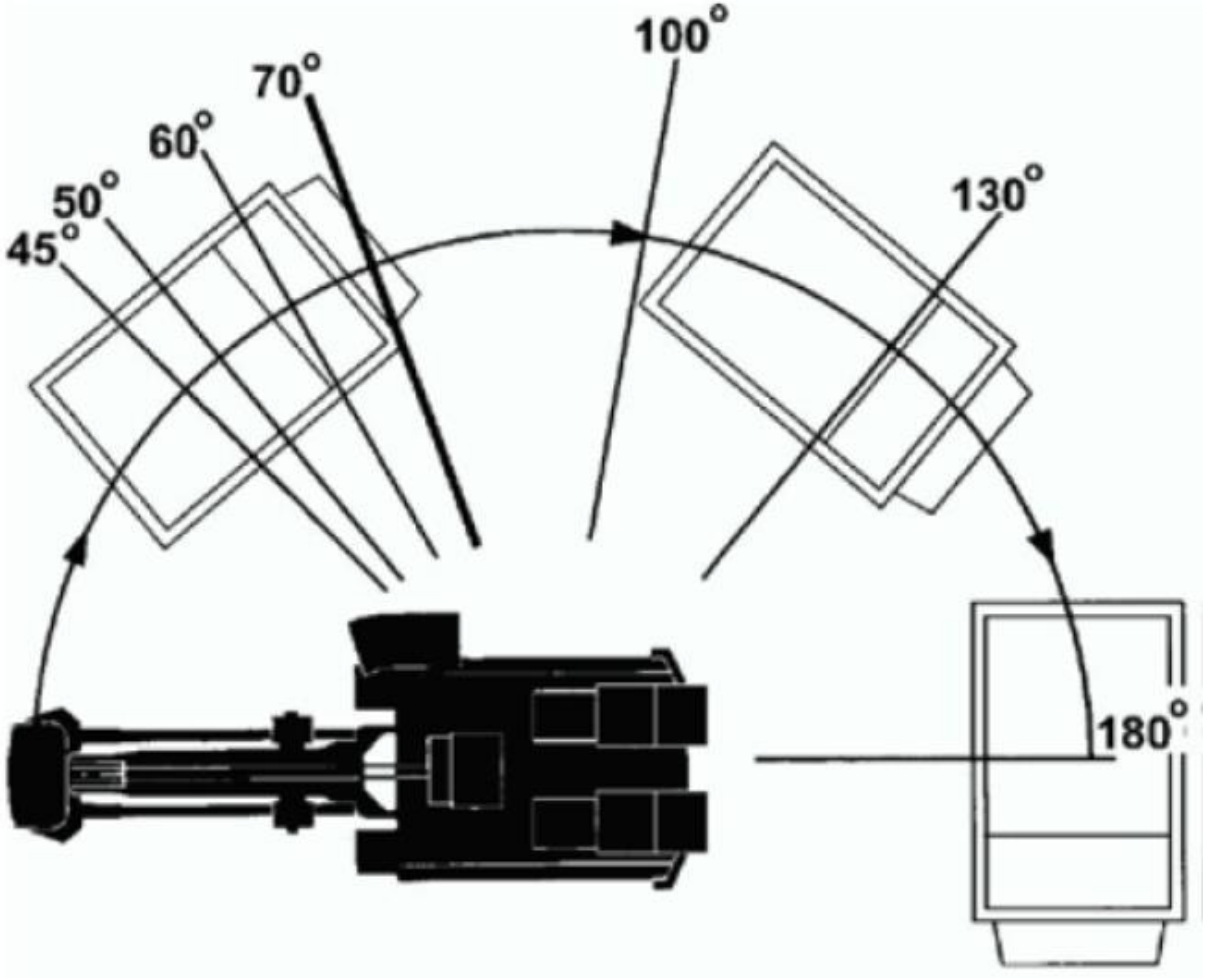

45°
50°
60°
70°
100°
130°
180°

Table (9.3): Factors for height of cut and angle of swing effect on shovel production (ASD Factor)

TABLE 9.2 Factors for height of cut and angle of swing effect on shovel production

Percentage of optimum height	Angle of swing (degrees)						
	45	60	75	90	120	150	180
40	0.93	0.89	0.85	0.80	0.72	0.65	0.59
60	1.10	1.03	0.96	0.91	0.81	0.73	0.66
80	1.22	1.12	1.04	0.98	0.86	0.77	0.69
100	1.26	1.16	1.07	1.00	0.88	0.79	0.71
120	1.20	1.11	1.03	0.97	0.86	0.77	0.70
140	1.12	1.04	0.97	0.91	0.81	0.73	0.66
160	1.03	0.96	0.90	0.85	0.75	0.67	0.62

خطوات حساب انتاجية معدات الحفر:

1. ايجاد الحجم المكدس للمغرفة من معلومات المنتج, بمقياس الرخو.
2. حساب الحجم الفعلي للتربة عن طريق ضرب حجم المغرفة بمعامل المليء.
3. ايجاد زمن دورة الحفارة.
4. حساب معامل كفاءة الوقت.
5. حساب معامل زاوية الدوران والأرتفاع.
6. تحويل الحجوم الى المقياس المطلوب (مقياس الضفة عادة).
7. حساب معدل الأنتاجية

- تحسب انتاجية الحفارة من المعادلة التالية:

$$Production = Material\ carried\ per\ load \times cycles\ per\ hour$$

$$Material\ carried\ per\ load = Q \times F \times Volume\ correction$$

$$Cycles\ per\ hour = \frac{3600 \times E}{T(sec)} \times ASD$$

where: Q= heaped bucket capacity (m^3) , F= Bucket fill factor

ASD= angle of swing and depth (height of cut) correction

T= work cycle time (sec)

volume correction= $\frac{1}{1+percent\ swell}$ = swell (load) factor

E= efficiency = $\frac{work\ minutes\ per\ hour}{60\ (min)}$

- مثال: مجرفة ذات دلو بحجم 3.8 متر مكعب, تستعمل لحفر وتحميل صخور مكسرة بصورة سيئة (poorly blasted rocks). ارتفاع الحفر 3.6 متر وإن أقصى أرتفاع للحفر للمجرفة هو 10.2متر. العربات الناقلة تقف بحيث تكون زاوية الدوران 60 درجة. أحسب الأنتاجية المثالية (60 دقيقة/ساعة) المتحفظة (conservative) بوحدة (LCM/hr).

Solution:

$$Production = Material\ carried\ per\ load \times cycles\ per\ hour$$

$$Material\ carried\ per\ load = Q \times F \times Volume\ correction$$

Q= 3.8 m, F= 0.85 (from table 9.1) conservative value

Volume correction= 1.0 (Loose production)

V= material carried per load= 3.8 *0.85*1.0= 3.23 LCM

TABLE 9.1 Fill factors for front shovel buckets

Material		Fill factor* (%)
Bank clay; earth	(Easy digging)	95–105
Rock-earth mixture	(Easy digging)	95–105
Rock—well blasted	(Medium digging)	90–100
Rock—poorly blasted	(Hard digging)	85–95
Very hard digging		80–90

For poorly blasted rocks, optimum height = 0.5 × Max. digging height

= 0.5 ×10.2= 5.1 m

Actual height/optimum height= 3.6/5.1= 0.71

Angle of swing = 60

from Table (9.3), ASD= 1.08 (by interpolation)

- *Shovel cycle = 9+6+4+5 +1.8= 25.8 sec.* (from table 9.4 conservative)
- *E= 60/60 = 1.0 (ideal production)*
- $Cycles\ per\ hour = \frac{3600 \times 1.0}{25.8} \times ASD =$ 150.69cycle/hr

$Production$= $3.23 \times 150.69 = 486.72\ m^3$ /hr (LCM/h)

Actual Work Efficiency:

- Transportation Research Board (TRB) studies have shown that actual production times for shovels used in highway construction excavation operation are 50% to 75% of the available working time.
- Therefore, the actual work time is only 30 to 45 min/hr.

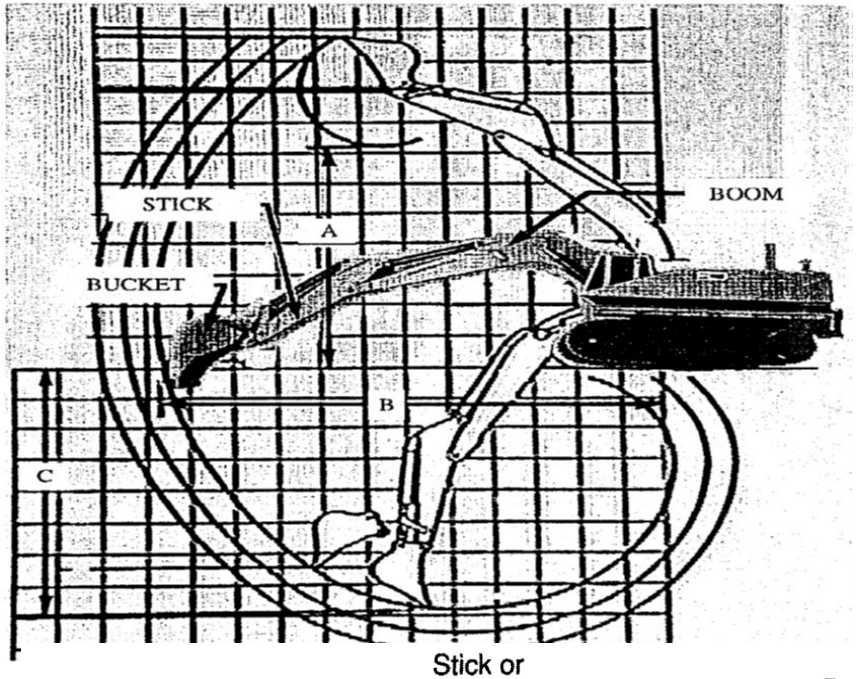
Example: A shovel with a 2.3m^3 heaped capacity bucket is loading well-blasted rock on a highway project. The average face height is expected to be 20m. The shovel has a maximum rated digging height of 27.4m. Most of the cut will require a 140-degree swing of the shovel to load the haul units. What is a conservative production estimate in bank cubic meter?

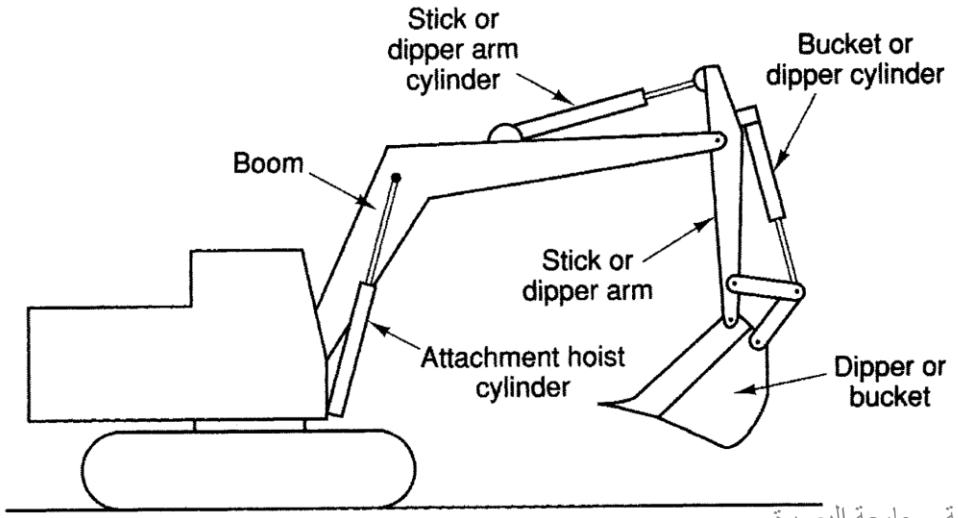
Solution:

المجرفة الخلفية Hoes :

- ماكنة من صنف المجارف الالية وتسمى أحيانا المجرفة الهيدروليكية (Hoe or backhoe).
- تستعمل لحفر التربة تحت مستوى الأرض التي تقف عليها
- مناسبة جدا لحفر الخنادق (Trenches) وحفر السراديب (Basements)
- وهي الية لا تعتبر ماكنة ذات أنتاجية في أعمال الحفر, بل مخصصة لأعمال الحفر اثناء الحركة وأعمال الحفر العامة.
- من الممكن أن تكون محمولة على سرفة أو على عجلات.
- يصل حجم الدلو للحفارة الخلفية المحمولة على عجلات الى 1.4متر مكعب.
- أكبر مقدار لعمق الحفر تصله الحفارات الكبيرة هو بحدود 7.5 متر.
- عند إنزال جميع المساند (الأرجل outriggers) للحفارات الكبيرة فإن بإمكانها تحميل وزن يصل الى 4.5 طن, بنصف قطر 6 متر.

أجزاء وحدود عمل المجرفة الخلفية Basic parts and operation of hoes :





- تتألف المجرفة الهيدروليكية (الخلفية) من الأجزاء التالية:
  1. البرج Boom
  2. الذراع Stick
  3. الدلو Bucket
- أن القوة المطلوبة لغرس أسنان الدلو في التربة المراد حفرها, يتم تسليطها من المكابس الهيدروليكية للذراع وللدلو.
- الجدول (5-5) يبين الأبعاد والأحمال النموذجية لحفارة هيدروليكية مجنزرة.

Table (5-5): Represented dimensions, loading clearance, and lifting capacity of hydraulic crawler hoes

Size bucket (cy)	Stick length (ft)	Maximum reach @ ground level (ft)	Maximum digging depth (ft)	Maximum loading height (ft)	Lifting capacity at 15 ft			
					Short stick		Long stick	
					Front (lb)	Side (lb)	Front (lb)	Side (lb)
$\frac{3}{8}$	5–7	19–22	12–15	14–16	2,900	2,600	2,900	2,600
$\frac{3}{4}$	6–9	24–27	16–18	17–19	7,100	5,300	7,200	5,300
1	5–13	26–33	16–23	17–25	12,800	9,000	9,300	9,200
$1\frac{1}{2}$	6–13	27–35	17–21	18–23	17,100	10,100	17,700	11,100
2	7–14	29–38	18–27	19–24	21,400	14,500	21,600	14,200
$2\frac{1}{2}$	7–16	32–40	20–29	20–26	32,600	21,400	31,500	24,400
3	10–11	38–42	25–30	24–26	32,900*	24,600*	30,700*	26,200*
$3\frac{1}{2}$	8–12	36–39	23–27	21–22	33,200*	21,900*	32,400*	22,000*
4	11	44	29	27	47,900*	33,500*		
5	8–15	40–46	26–32	25–26	34,100†	27,500†	31,600†	27,600†

*Lifting capacity @ 20 ft.

†Lifting capacity @ 25 ft.

تقييم مغرفة الحفارة الهيدروليكية Bucket rating for hydraulic hoes:

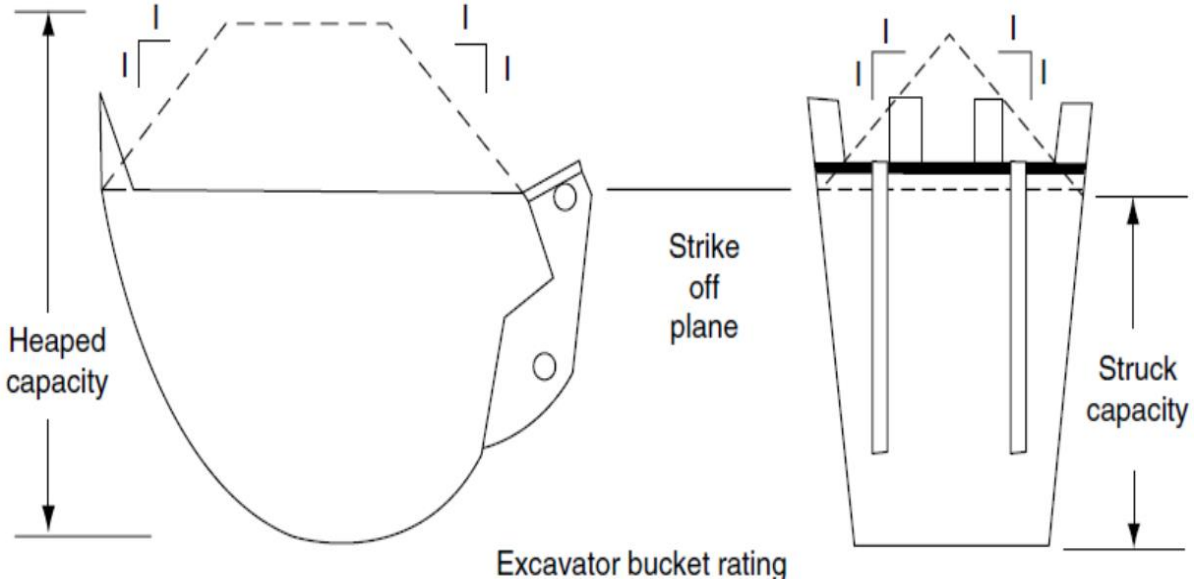
- في المجرفة الخلفية ـ كما في المجرفة الآلية, فأن التربة تتجمع في المغرفة بميل 1:1, كما في الشكل أدناه, وقيم معامل ملئ المغرفة كما في الجدول (5-6).

Table (5-6): Fill factor for hydraulic hoe buckets

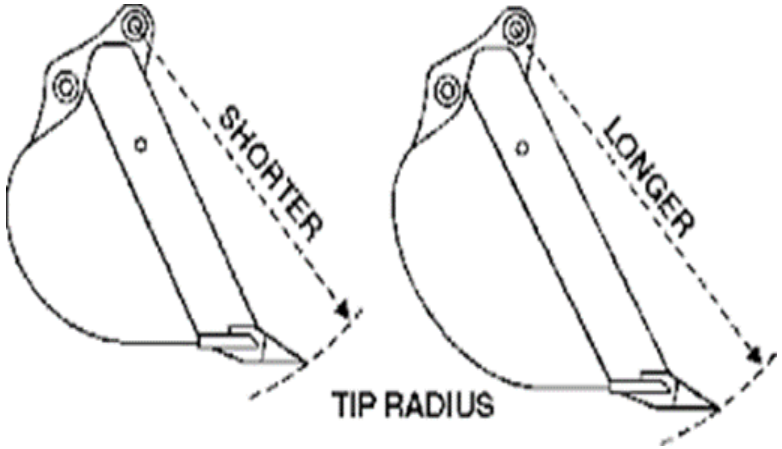
Material	Fill factor* (%)
Moist loam/sandy clay	100–110
Sand and gravel	95–110
Rock—poorly blasted	40–50
Rock—well blasted	60–75
Hard, tough clay	80–90

*Percent of heaped bucket capacity.

Reprinted courtesy of Caterpillar Inc.



أختيار نوع المغرفة:



- يجب أن يتم اختيار نوع المغرفة حسب نوع التربة المطلوب حفرها.
- بالأمكان الحصول على إنتاجية عالية وذلك بأختيار عرض ونصف قطر اسنان المغرفة المناسبين للتغلب على مقاومة المواد المطلوب حفرها.
- للمواد التي يمكن حفرها بسهولة, فإن المغرفة العريضة تكون مناسبة.
- للحفر في الصخور, فإن المغرفة الضيقة تكون ملائمةأكثر.
- في أعمال أمدادات الخدمات. فأن عرض الخندق (trench) هوالذي سيحدد عرض المغرفة المناسبة.

إنتاجية المجرفة الخلفية:

- تتأثر إنتاجية المجرفة الخلفية بنفس العوامل التي تؤثر بإنتاجية المجرفة الآلية.
- ان دورة عمل المجرفة الخلفية تكون اطول ب 20% تقريبا من دورة المجرفة الآلية التي لها نفس الحجم.
- هذه الزيادة تكون بسبب كون مسافة رفع المغرفة أكبر, وذلك لضرورة ان يكون البرج والذراع ممدودين بكامل طوليهما للتمكن من تفريغ الحمل.
- الجدول (7-5) يبين تفاصيل دورة العمل للمجرفة الخلفية حسب حجم المغرفة وللظروف المعتدلة.
- العمق المثالي للحفر يعتمد على نوع المادة المطلوب حفرها وعلى حجم ونوع المغرفة.
- كقاعدة, فإن العمق المثالي للحفر يتراوح عادة بين 30% الى 60% من أكبر عمق حفر للماكنة.
- لاتتوفر جداول تربط بين دورة عمل المجرفة الخلفية مع التغير بعمق الحفر وزاوية الدوران الأفقية.
- لذلك عند استخدام الجدول (7-5) فيجب أخذ زمن الحفر وزمني الأستدارة بنظر الأعتبار.

Table (5-7): Excavation cycle times for hydraulic crawler hoes under average conditions

Bucket size		Load bucket (sec)	Swing loaded (sec)	Dump Bucket (sec)	Swing empty (sec)	Total cycle (sec)
cy	m^3					
<1	<0.765	5	4	2	3	14
1-1.5	0.765-1.15	6	4	2	3	15
2.2.5	1.53-1.91	6	4	3	4	17
3	2.29	7	5	4	4	20
3.5	2.68	7	6	4	5	22
4	3.05	7	6	4	5	22
5	3.82	7	7	4	6	24

حساب انتاجية الحفر للمجرفة الخلفية:

- تحسب انتاجية الحفر للمجرفة الخلفية من المعادلة التالية:

- $Hoe\ excavation\ production = Material\ per\ load\ \times Cycles\ per\ hour$
- $Material\ per\ load = Q \times F \times Vol.Correction$
- $Cycles\ per\ hour = \frac{3600 \times E}{t}$

where:

Q= heaped bucket capacity (LCM)

F= bucket fill factor for hoe bucket

t= cycle time in seconds

E= efficiency = work minutes per hour/60

Vol. Correction (from loose volume to bank volume) = 1/(1+swell)

Example: A crawler hoe having a 2.68 m^3 bucket is used on a project to excavate very hard clay from a barrow pit. The clay will be loaded into trucks. Soil boring information indicates that below 2.5m, the material changes to unacceptable silt material. What is the estimated production of the hoe in bank measure, if the hoe works 50 minutes per hour.

Solution:

Material per load = Q × F × Vol. Corr. = $2.68 \times 0.85 \times \frac{1}{1+0.35}$ = 1.687 BCM per load

Cycle time = 22 sec, E = 50/60 = 0.833

$Cycles\ per\ hour = \frac{3600 \times 0.833}{22}$ = 136.3

- $Hoe\ excavation\ production = 1.687 \times 136.3 = 229.938$ BCM/hr
- Note: the ratio of depth of excavation to the maximum digging depth should be checked to be in the range of (30 – 60%) to consider its effect on the cycle time.

Example:

A crawler hoe having a $3\frac{1}{2}$-cy bucket is being considered for use on a project to excavate very hard clay from a borrow pit. The clay will be loaded into trucks having a loading height of 9 ft 9 in. Soil-boring information indicates that below 8 ft, the material changes to an unacceptable silt material. What is the estimated production of the hoe in cubic yards bank measure, if the efficiency factor is equal to a 50-min hour?

Step 1. Size of bucket, $3\frac{1}{2}$ cy

Step 2. Bucket fill factor (Table 9.4), hard clay 80 to 90%; use average 85%

Step 3. Typical cycle element times

Optimum depth of cut is 30 to 60% of maximum digging depth. From Table 9.3 for a $3\frac{1}{2}$-cy size hoe, maximum digging depth is 23 to 27 ft

Depth of excavation, 8 ft

$$\frac{8 \text{ ft}}{23 \text{ ft}} \times 100 = 34\% \geq 30\%; \text{ okay}$$

$$\frac{8 \text{ ft}}{27 \text{ ft}} \times 100 = 30\% \geq 30\%; \text{ okay}$$

Therefore, under average conditions and for a $3\frac{1}{2}$-cy size hoe, cycle times from Table 9.5 would be:

1.	Load bucket	7 sec	very hard clay
2.	Swing with load	6 sec	load trucks
3.	Dump load	4 sec	load trucks
4.	Return swing	5 sec	
	Cycle time	22 sec	

Step 4. Efficiency factor, 50-min hour

Step 5. Class of material, hard clay, swell 35% (Table 4.3)

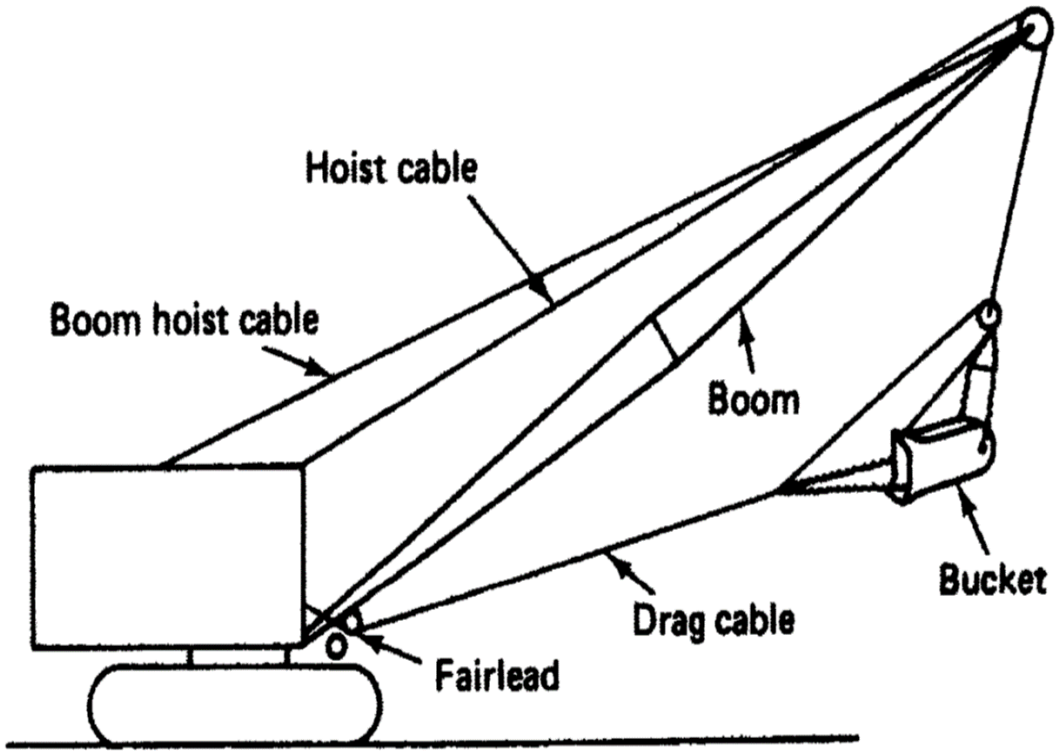
Step 6. Probable production:

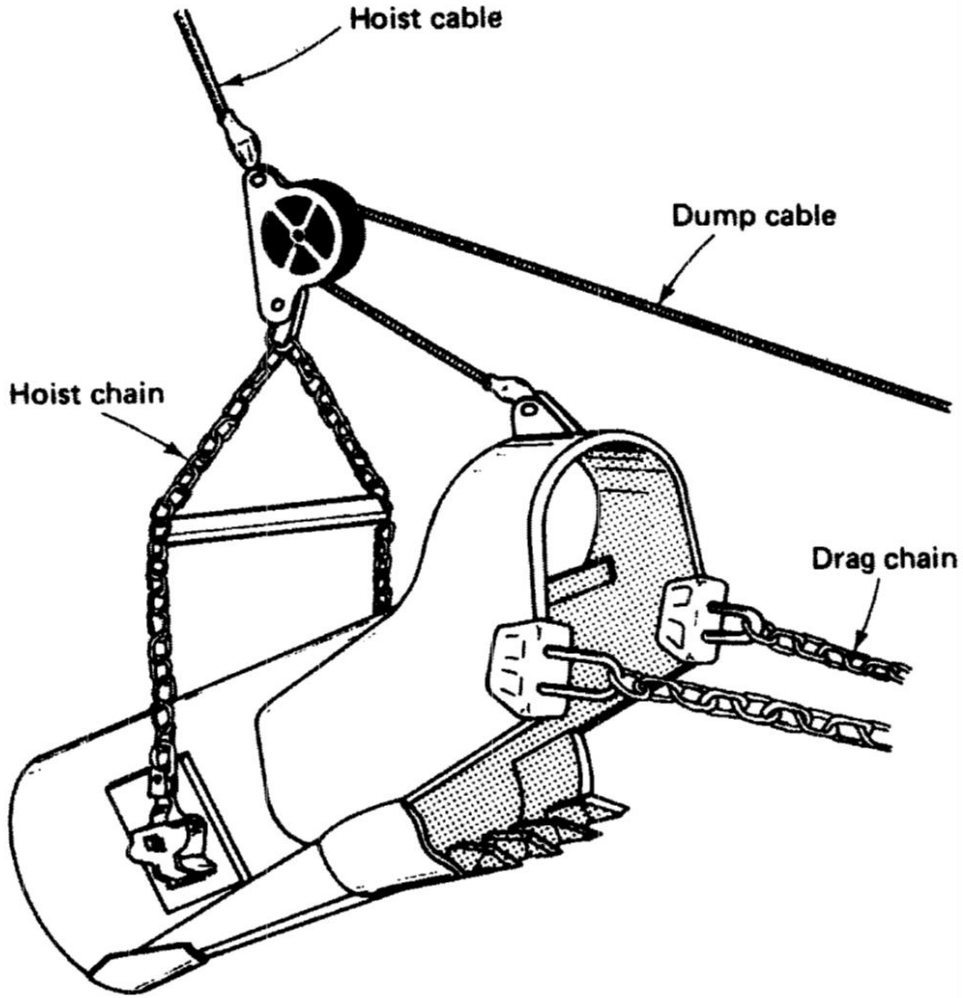
$$\frac{3{,}600 \text{ sec/hr} \times 3\frac{1}{2} \text{ cy} \times 0.85}{22 \text{ sec/cycle}} \times \frac{50 \text{ min}}{60 \text{ min}} \times \frac{1}{(1 + 0.35)} = 300 \text{ bcy/hr}$$

Check maximum loading height to ensure the hoe can service the trucks, from Table 9.3, 21 to 22 ft

$$21 \text{ ft} > 9 \text{ ft } 9 \text{ in. okay}$$

الحفارة الناعورية (السلكية) Dragline:





إستخدامات الحفارة الناعورية ومميزاتها:

- تستخدم الحفارة الناعورية لحفر التربة وتحميلها في الشاحنات أو أي واسطة نقل أو تكديس التربة بشكل أكوام.
- في معظم المشاريع يمكن استخدام المجرفة الآلية أو الحفارة الناعورية للقيام بأعمال الحفر.
- في بعض المشاريع فإن استخدام الحفارة الناعورية أفضل من استخدام المجرفة الألية , وذلك للأسباب التالية:

1. لاتحتاج الحفارة الناعورية الى الدخول الى الحفرة, حيث يمكن ان تقف على الأرض الطبيعية وتحفر بواسطة انزال القادوس في مكان الحفر.هذه الصفة مهمة جدا في حالة كون الحفر من سرداب أو خندق يحتوي على مياه.
2. تستطيع الحفارة الناعورية تحميل التربة على شاحنات بدون ان تحتاج الشاحنات للدخول الى مكان الحفر ومنطقة العمل, مما يسهل كثيراً من حركة الشاحنات.
3. في حالة امكانية وضع التربة التي يتم حفرها على جانب الحفرة اذا كانت قناة أو خندق طويل, فان الحفارة ناعورية بذراع طويل تكون قادرة على القيام بذلك دون الحاجة لشاحنات او آليات لنقل التربة وتكديسها, مما يقلل من كلف العمل.

- إن إحدى أهم مساوئ الحفارة الناعورية هي قلة انتاجها مقارنة بالمجرفة الآلية, حيث تكون انتاجيتها بحدود 75 – 80% من انتاجية المجرفة الآلية.

أنواع الحفارات الناعورية:

- توجد ثلاثة أقسام هي:

1. مركبة على جنزير: وتكون مناسبة للأستعمال في المواقع ذات التربة الرخوة, وتكون سرعتها بطيئة (بحدود 1.5 كم/ساعة), لذا يجب نقلها الى موقع العمل بواسطة ناقلة.
2. مركبة على دواليب
3. مركبة على شاحنة

- تصل سرعة الحفارات الناعورية المركبة على دواليب او شاحنة الى أكثر من 45 كم/ساعة.

حجم الحفارة الناعورية:

- يعبر عن حجم الحفارة الناعورية بحجم القادوس (المغرفة) والتي تكون بشكل عام مشابهة لحجوم مغارف المجرفة الآلية.
- إن أكبر وزن للتربة تتمكن الحفارة الناعورية من رفعه يتم تحديده بالقوة اللازمة لقلب الحفار, لذا من الضروري تقليل حجم المغرفة عند استعمال ذراع تطويل (برج) طويل, او عندما تكون التربة ذات كثافة عالية.
- من الناحية العملية, يفضل ان لا يتجاوز وزن القادوس وحمولته من التربة 75% من القوة اللازمة لقلب الحفارة.

عمل الحفارة الناعورية:

1. تبدأ عملية الحفر برمي القادوس الفارغ في موقع العمل مع إرخاء أسلاك السحب والرفع.
2. تتم عملية الحفر بسحب القادوس بإتجاه الحفارة مع تنظيم عمق الحفر عن طريق التحكم بشد سلك الرفع.
3. عند إمتلاء القادوس, يتم سحب سلك الرفع وإرخاء سلك السحب.
4. يتم تفريغ القادوس بإرخاء سلك السحب.

- بما أن السيطرة على تفريغ القادوس في الحفارة الناعورة أصعب من تفريغ مغرفة الحفارة الآلية, لذا من المفضل ان تكون شاحنات التحميل التي تعمل مع الحفارة الناعورية أكبر من تلك التي تعمل مع المجرفة الآلية.
- يكون حجم الشاحنة بحدود 5- 6 أضعاف حجم قادوس الحفارة.

أنتاجية الحفارة الناعورية:

- تتأثر انتاجية الحفارة الناعورية بالعوامل التالية:

1. نوع التربة
2. إرتفاع القطع
3. زاوية الدوران
4. حجم ونوع القادوس
5. طول ذراع التطويل (البرج)
6. ظروف العمل
7. طريقة تفريغ التربة: التفريغ بشاحنات او التكديس بأكوام.
8. حجم الشاحنات (عند استخدامها)
9. مهارة المشغل
10. حالة الحفارة

حساب انتاجية الحفارة الناعورية:

- تقاس انتاجية الحفارة الناعورية بالمتر المكعب في الساعة بمقياس الضفة.
- وتحسب من ضرب حجم التربة في القادوس بمقياس الضفة في عدد دورات التحميل في الساعة.
- قيم الأنتاجية المثلى والأرتفاع الأمثل للقطع لحفارة ناعورية ذات برج قصير مدرجة في الجدول (8-5).
- تأثير إرتفاع القطع وزاوية الدوران على انتاجية الحفارة الناعورية مدرجة في الجدول (9-5).

الجدول (8-5): الأرتفاع الأمثل للقطع (متر) والأنتاجية المثلى بمقياس الضفة (متر مكعب لكل 60 دقيقة) لحفارة ناعورية ذات ذراع قصير

Type of Material	Bucket Size [cu yd (m^3)]										
	$\frac{3}{4}$ (0.57)	1 (0.75)	$1\frac{1}{4}$ (0.94)	$1\frac{1}{2}$ (1.13)	$1\frac{3}{4}$ (1.32)	2 (1.53)	$2\frac{1}{2}$ (1.87)	3 (2.29)	$3\frac{1}{2}$ (2.62)	4 (3.06)	5 (3.82)
Light moist clay or loam	130 (99)	160 (122)	195 (149)	220 (168)	245 (187)	265 (203)	305 (233)	350 (268)	390 (298)	465 (356)	540 (413)
Sand and gravel	125 (96)	155 (119)	185 (141)	210 (161)	235 (180)	255 (195)	295 (226)	340 (260)	380 (291)	455 (348)	530 (405)
Common earth	105 (80)	135 (103)	165 (126)	190 (145)	210 (161)	230 (176)	265 (203)	305 (233)	340 (260)	375 (287)	445 (340)
Tough clay	90 (69)	110 (84)	135 (103)	160 (122)	180 (138)	195 (149)	230 (176)	270 (206)	305 (233)	340 (260)	410 (313)
Wet, sticky clay	55 (42)	75 (57)	95 (73)	110 (84)	130 (99)	145 (111)	175 (134)	210 (161)	240 (183)	270 (206)	330 (252)

*Based on 100% efficiency, 90° swing, optimum depth of cut, material loaded into haul units at grade level.

Type of Material	Bucket Size [cu yd (m^3)]										
	$\frac{3}{4}$ (0.57)	1 (0.75)	$1\frac{1}{4}$ (0.94)	$1\frac{1}{2}$ (1.13)	$1\frac{3}{4}$ (1.32)	2 (1.53)	$2\frac{1}{2}$ (1.87)	3 (2.29)	$3\frac{1}{2}$ (2.62)	4 (3.06)	5 (3.82)
Light moist clay, loam, sand, and gravel	6.0 (1.8)	6.6 (2.0)	7.0 (2.1)	7.4 (2.2)	7.7 (2.3)	8.0 (2.4)	8.5 (2.6)	9.0 (2.7)	9.5 (2.9)	10.0 (3.0)	11.0 (3.3)
Common earth	7.4 (2.3)	8.0 (2.4)	8.5 (2.6)	9.0 (2.7)	9.5 (2.9)	9.9 (3.0)	10.5 (3.2)	11.0 (3.3)	11.5 (3.5)	12.0 (3.7)	13.0 (4.0)
Wet, sticky clay	8.7 (2.7)	9.3 (2.8)	10.0 (3.0)	10.7 (3.2)	11.3 (3.4)	11.8 (3.6)	12.3 (3.7)	12.8 (3.9)	13.3 (4.1)	13.8 (4.2)	14.3 (4.4)

جدول (9-5): تأثير زاوية الدوران وارتفاع القطع على انتاجية الحفارة الناعورية

Depth of Cut (% of Optimum)	Angle of Swing (deg)							
	30	45	60	75	90	120	150	180
20	1.06	0.99	0.94	0.90	0.87	0.81	0.75	0.70
40	1.17	1.08	1.02	0.97	0.93	0.85	0.78	0.72
60	1.25	1.13	1.06	1.01	0.97	0.88	0.80	0.74
80	1.29	1.17	1.09	1.04	0.99	0.90	0.82	0.76
100	1.32	1.19	1.11	1.05	1.00	0.91	0.83	0.77
120	1.29	1.17	1.09	1.03	0.98	0.90	0.82	0.76
140	1.25	1.14	1.06	1.00	0.96	0.88	0.81	0.75
160	1.20	1.10	1.02	0.97	0.93	0.85	0.79	0.73
180	1.15	1.05	0.98	0.94	0.90	0.82	0.76	0.71
200	1.10	1.00	0.94	0.90	0.87	0.79	0.73	0.69

مثال:

Determine the expected dragline production in loose cubic yards (LCM) per hour based on the following information.

Dragline size = 2 cu yd (1.53 m^3)
Swing angle = 120°
Average depth of cut = 7.9 ft (2.4 m)
Material = common earth
Job efficiency = 50 min/h
Soil swell = 25%

SOLUTION

Ideal output = 230 BCY/h (176 BCM/h) (Table 3–7)
Optimum depth of cut = 9.9 ft (3.0 m) (Table 3–8)
Actual depth/optimum depth = 7.9/9.9 × 100 = 80%
[= 2.4/3.0 × 100 = 80%]
Swing-depth factor = 0.90 (Table 3–9)
Efficiency factor = 50/60 = 0.833
Volume change factor = 1 + 0.25 = 1.25
Estimated production = 230 × 0.90 × 0.833 × 1.25 = 216 LCY/h
[= 176 × 0.90 × 0.833 × 1.25 = 165 LCM/h]

Operation and Employment

The *dragline* is a very versatile machine that has the longest reach for digging and dumping of any member of the crane-shovel family. It can dig from above machine level to significant depths in soft to medium-hard material. The components of a dragline are shown in Figure 3–10.

Bucket teeth and weight produce digging action as the drag cable pulls the bucket across the ground surface. Digging is also controlled by the position at which the drag chain is attached to the bucket (Figure 3–11). The higher the point of attachment, the greater the angle at which the bucket enters the soil. During hoisting and swinging, material is retained in the bucket by tension on the dump cable. When tension on the drag cable is released, tension is removed from the dump cable, allowing the bucket to dump. Buckets are available in a wide range of sizes and weights, solid and perforated. Also available are archless buckets which eliminate the front cross-member connecting the bucket sides to provide easier flow of material into and out of the bucket.

الفصل السادس
قوالب المنشئات الخرسانية
Forms for concrete structures

قوالب المنشآت الخرسانية Form for concrete structure:

- **متطلبات القوالب**

1) يوفر القالب القوة والمتانة الكافية لتحمل الضغط
2) تحمل الاحمال الاخرى المسلطة
3) الاحتفاظ بالشكل المطلوب

- تصميم المشروع من اجل قوالب اقتصادية
- الخطوات التي يمكن للمصمم اتباعها لتقليل كلفة القالب:

1) تقليل عدد الاشكال غير المنتظمة
2) تصميم القالب بما يسمح باستخدام القوالب التجارية
3) استخدام الاساليب الاقتصادية (القوالب المنزلقة)
4) استخدام المفاصل الانشائية
5) عدم اللجوء الى قالب معقد التصميم
6) تسهيل مهمة نصب القالب

كلفة القوالب:

- ان كلفة اعمال الخرسانة تشمل كلفة مادة الخرسانة مضافا اليها كلفة القوالب اللازمة لحفظ الخرسانة الى ان تتصلب بما فيه الكفاية للحصول على القوة اللازمة لإسناد نفسها وفي بعض الحالات فإن كلفة القالب تزيد على كلفة الخرسانة.
- لذا فإن أي محاولة لتقليل الكلفة الكلية لأعمال الخرسانة يجب أن تتضمن تقليل كلفة القوالب.
- تتكون كلفة القوالب من: المواد و اجور العمل والتي تشمل عمل و نصب ورفع القوالب.

متطلبات القوالب:

- بما ان الخرسانة مادة لدنة عند وضعها لذلك من الضروري استعمال القوالب لحصرها وتثبيتها، لذلك يجب ان يتوفر في القوالب الصفات التالية:

1) ذات قوة كافية لمقاومة الضغط الناتج من وزن الخرسانة الحديثة مضافا اليها اي قوة خارجية.
2) ان تكون متينة للاحتفاظ بشكلها المطلوب دون اي تغيير.
3) ان تكون اقتصادية بالنسبة للكلفة الكلية لأعمال الخرسانة.

الضغط الناتج من الخرسانة على القوالب العمودية:

- عندما توضع الخرسانة في القالب فإنها تولد ضغطا عموديا على سطح القالب.
- يعتمد هذا الضغط على:

1) كثافة الخرسانة
2) عمق الخرسانة
3) سرعة إملاء القالب
4) درجة الحرارة

- في بداية وضع الخرسانة في القالب فإنها تكون سائلة أو شبه سائلة.
- بمرور الوقت فإن الخرسانة تبدأ بالتصلب, مما يؤدي الى إنخفاض الضغط المسلط على القالب.
- إن الوقت اللازم للتصلب الأبتدائي للخرسانة يتناسب عكسيا مع درجة الحرارة.
- لذا فإن أعلى ضغط تسلطه الخرسانة على القالب يتناسب عكسيا مع درجة الحرارة.

حساب أعلى ضغط تسلطه الخرسانة على القوالب العمودية:

a) قوالب الجدران:

- قوالب الجدران لسرعة املاء (R) اقل من 2.1 م\ساعة

$$P_m = 7 + \frac{1414R}{1.8T + 32}$$

- قوالب الجدران لسرعة املاء (R) اكثر من 2.1 م\ساعة

$$P_m = 7 + \frac{2079 + 441R}{1.8T + 32}$$

حيث:

P_m: أعلى ضغط تسلطه الخرسانة على السطح الشاقولي للقالب (kPa)

R: سرعة إملاء القالب.

- على أن لا تتجاوز قيمة الضغط ما مقداره 96 kPa.

b) قوالب الأعمدة:

$$P_m = 7 + \frac{1414R}{1.8T + 32}$$

حيث T: درجة حرارة الخرسانة (درجة مئوية)

- على أن لاتتجاوز قيمة الضغط ما مقداره 144 kPa.

- ملاحظة: في جميع الأحوال فإن أعلى ضغط محسوب للخرسانة على القالب يجب أن لايزيد عن 23.5 H.
- حيث H: ارتفاع الخرسانة في القالب (m).

مثال: تم استخدام خلاطة لغرض صب جدار بطول 25 متر وسمك 0.4 مترو ارتفاع 4.5 متر اوجد الفترة الزمنية للصب واعلى ضغط مسلط على القالب إذا توفرت لك المعلومات التالية:

سعة الخلاطة = 1 متر مكعب

درجة الحرارة 30 درجة مئوية

عدد دقائق العمل في الساعة = 50 دقيقة

الوقت اللازم لمليء وعاء الخلط 1 دقيقة

الوقت اللازم لتفريغ محتويات الوعاء 45 ثانية

الوقت الضائع للدورة الواحدة 45 ثانية

الوقت اللازم للحصول على خرسانة متجانسة 25 تدويرة

معدل سرعة الخلاطة 12.5 تدويرة بالدقيقة

الحل:

سرعة الاملاء = إنتاجية الخلاطة \ (الطول × العرض)

إنتاجية الخلاطة بالساعة = سعة الخلاطة × عدد الدورات بالساعة

عدد دورات بالساعة = عدد دقائق العمل \ وقت الدورة

وقت الدورة الواحدة = وقت التحميل + وقت الخلط + وقت التفريغ + الوقت الضائع

وقت الدورة الواحدة = 1+ (12.5 / 25) + 60/ 45 + 60/ 45 = 4.5 دقيقة

عدد الدورات بالساعة = 50 / 4.5 = 11.1 دورة / الساعة

إنتاجية الخلاطة بالساعة = 1.0 × 11.1 = 11.1 متر مكعب / ساعة

سرعة الاملاء = 11.1\ (25 × 0.4) = 1.11 متر/ساعة

الوقت اللازم للصب = الأرتفاع/ سرعة الأملاء = 4.5 / 1.11 = 4.05 ساعة

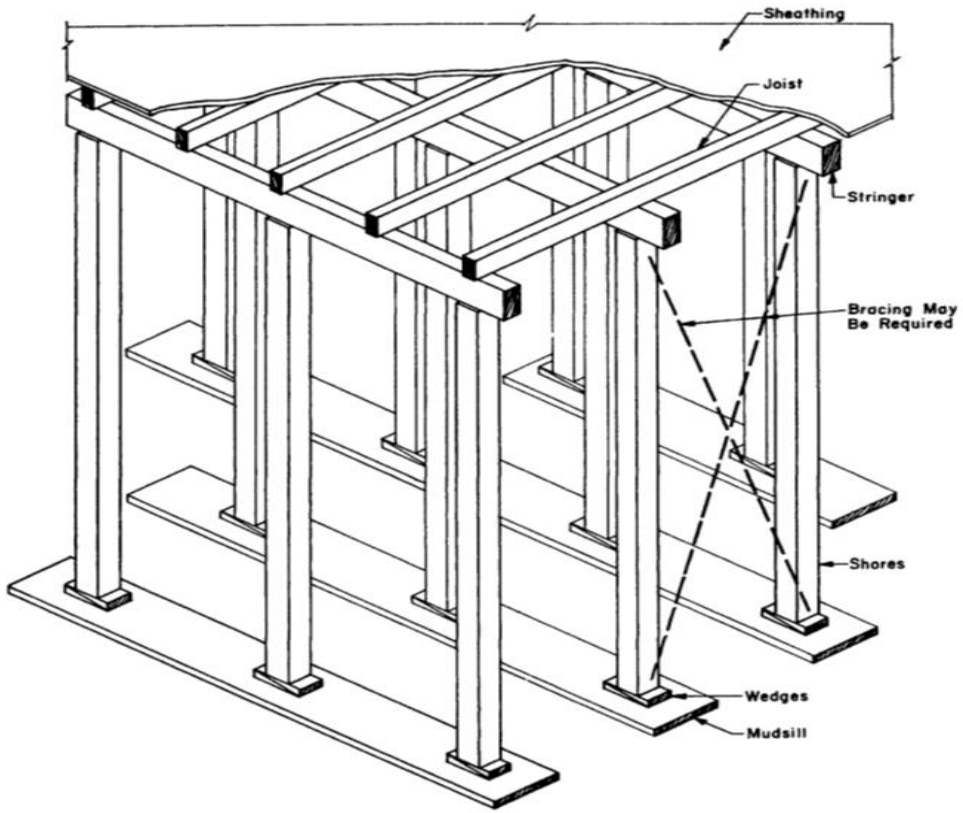
- حيث أن سرعة الأملاء أقل من 2.1 متر/ساعة, لذا يتم حساب أعلى ضغط على الجدار من المعادلة:

$$P_m = 7 + \frac{1414R}{1.8T + 32}$$

- $P_m = 7 + 1414 \times 1.11 / (1.8 \times 30 + 32) = 23.44\ kN/m^2$
- $P_m < 96\ kN/m^2$ (o.k.)
- < 23.5*4.5 (o.k)

أسس تصميم القوالب:

- القالب يجب أن يكون قويا لمقاومة الأجهادات المتولدة من الأحمال المسلطة عليه.
- كذلك يجب أيضا أن يكون متينا بحيث لايكون التشوه خارج حدود المواصفات.
- إن المواصفات تحدد عادة مقدار الأنحراف (deflection) المسموح به في العتبات والألواح (الغلاف – sheathing) بمقدار 3 ملم أو (1/270) من الفضاء بين المساند.
- في أكثر الحالات فإن أجهادات الإنحناء والقص, تحدد حجم الأخشاب القائمة والألواح الأفقية والمسافة بينها.
- الأنحراف يحدد عادة طول الفضاء بالنسبة للغلاف.



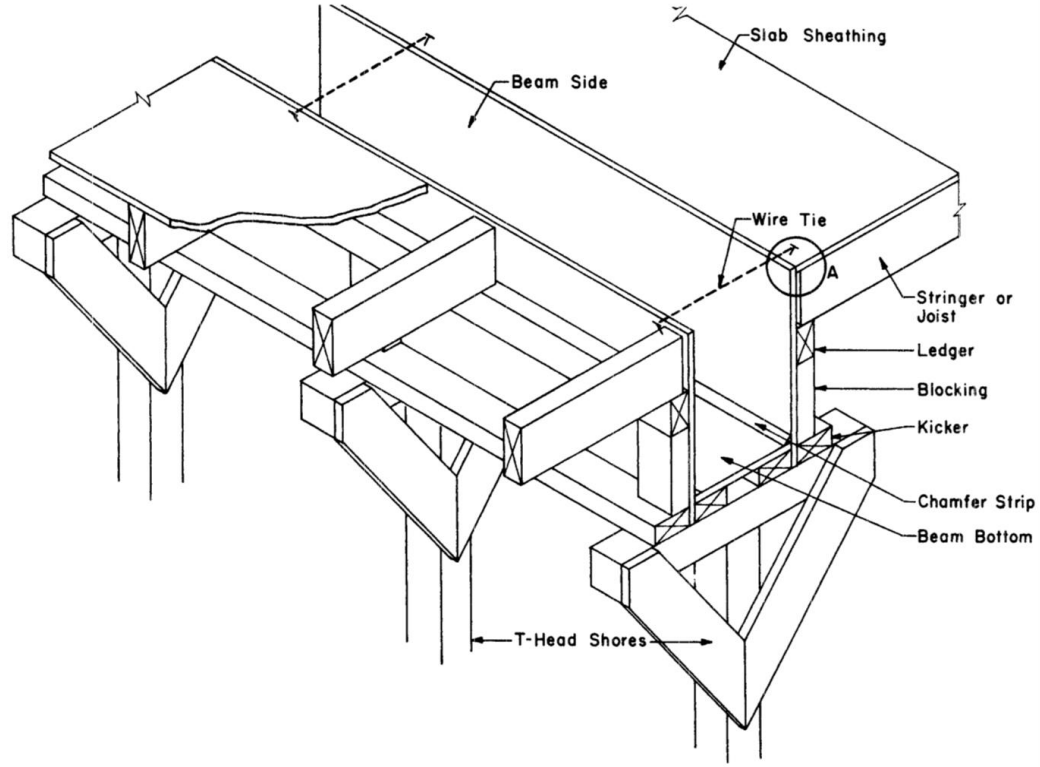


Figure 12–22 Beam and slab form. (Courtesy of American Concrete Institute)

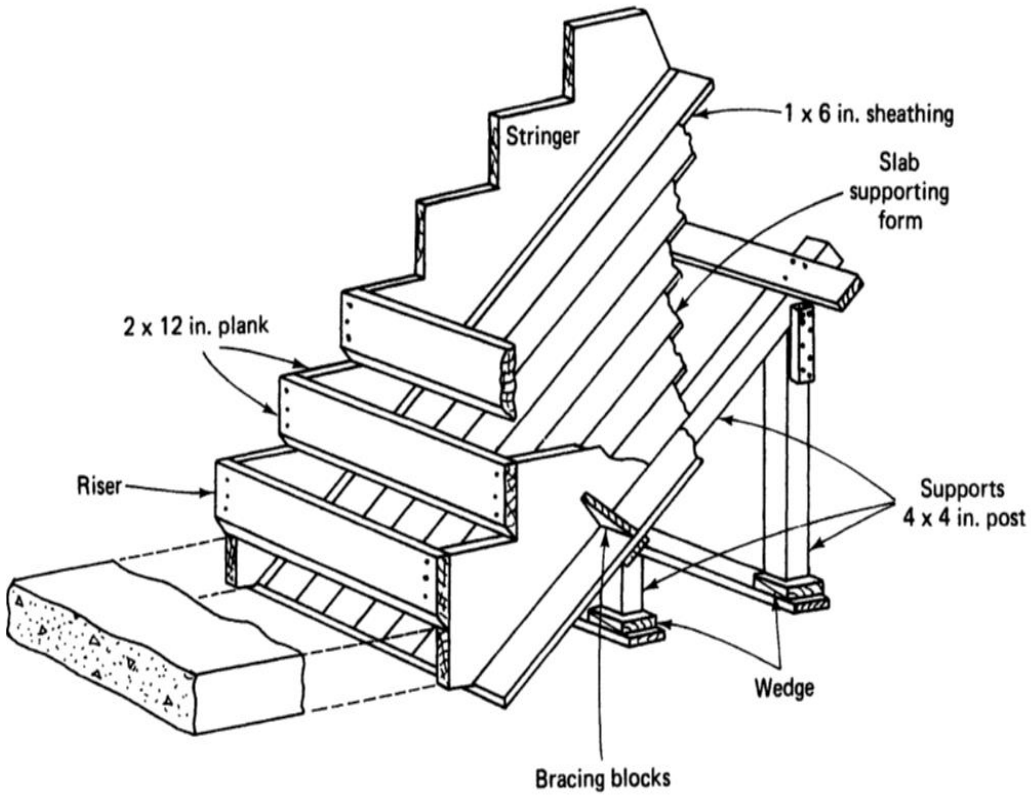
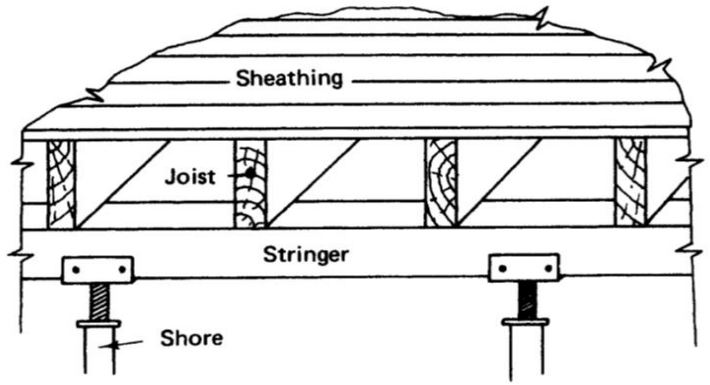
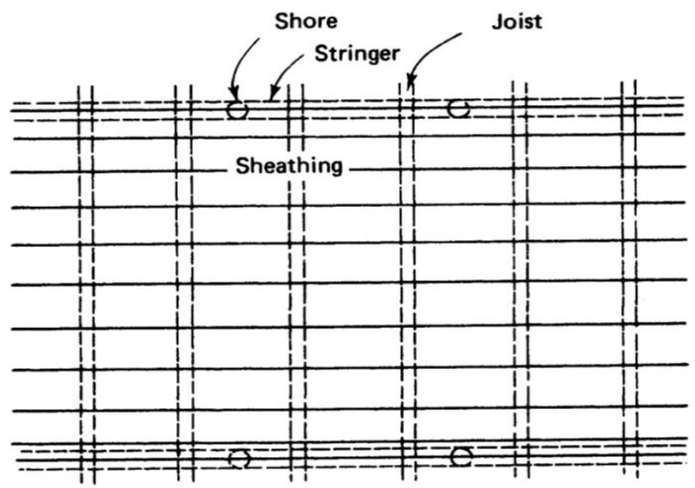


Figure 12–25 Wood form for stairway. (U.S. Department of the Army)

Slab form,





Plan

قالب جدار خرساني

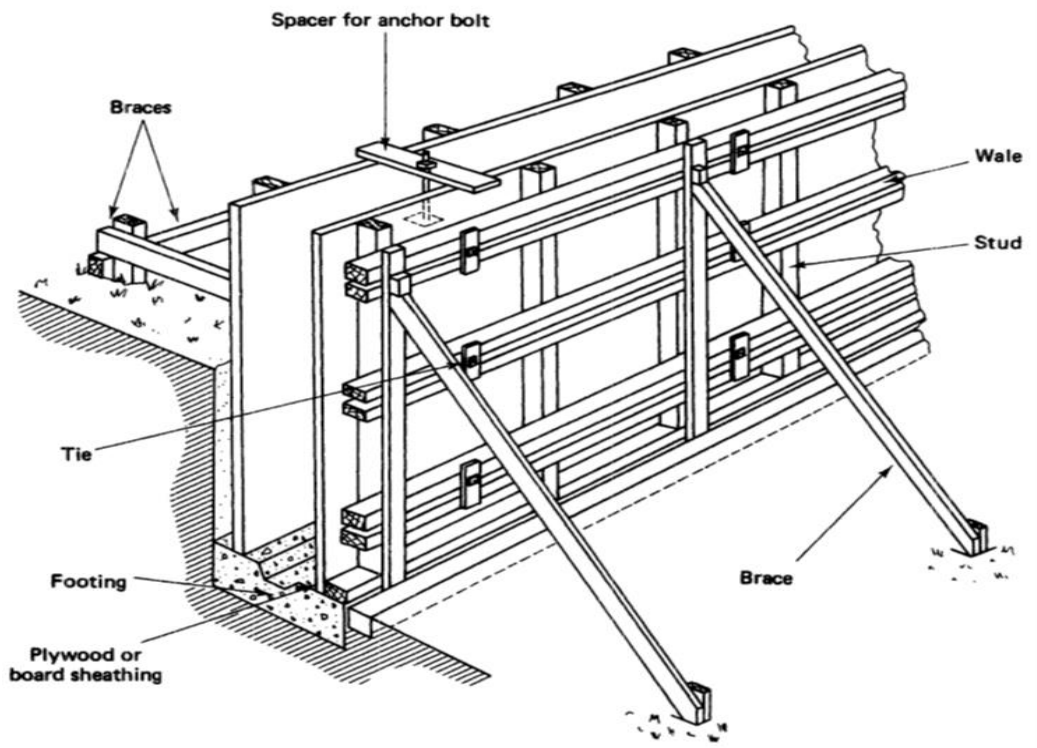
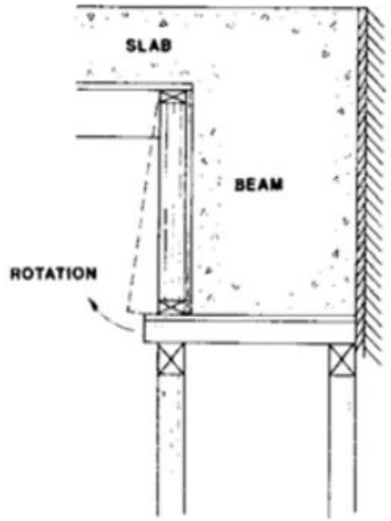
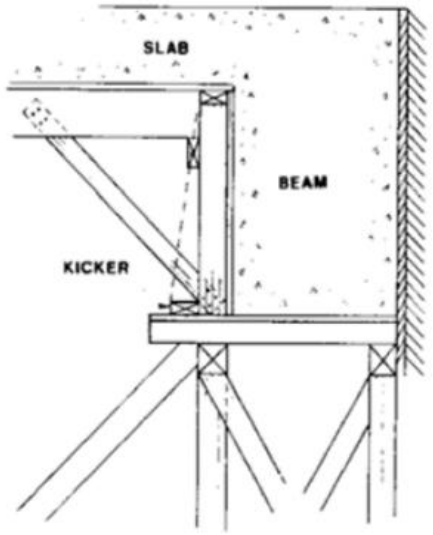


Figure 12–18 Typical wall form.



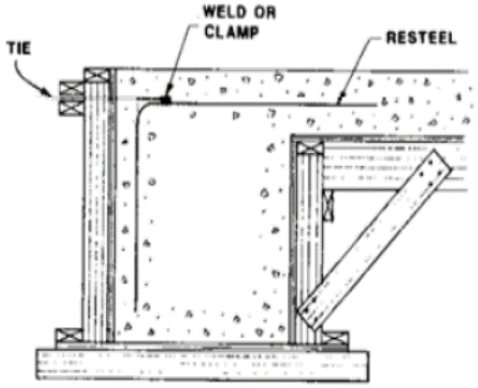
INCORRECT: BEAM FORM WILL ROTATE WHEN SLAB FRAMES IN ON ONE SIDE AND BRACING IS NOT PROVIDED.



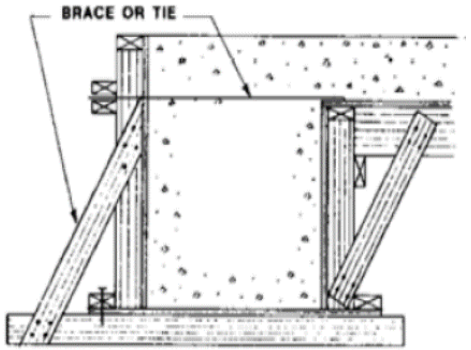
CORRECT: BRACING KEEPS FORM FROM ROTATING ALTHOUGH SLAB FRAMES IN ON ONLY ONE SIDE.

- قد يحصل دوران لقالب العتب خصوصاً عندما يكون السقف بإتجاه واحد.
- لذا يجب إسناد جوانب القالب بأضلاع مائلة (Bracing

- من الخطأ ربط القالب بحديد التسليح, لأن ذلك قد يؤدي الى حصول تشوية بسبب حركة حديد التسليح.



INCORRECT: ATTACHING FORM TIE TO RESTEEL MAY PERMIT MOVEMENT.



CORRECT: TIE TO FORM OR SET FORM TIES THROUGH BOTH SIDES.

تفاصيل ومتطلبات تصميم القوالب ورفعها يمكن ايجادها في المصدر

ACI 347-04

Guide to Formwork for Concrete

An ACI Standard

Reported by ACI Committee 347

1. الأجهادات الناتجة من الأنحناء:

- في معظم أعمال القوالب فإن الغلاف (sheathing) والأخشاب القائمة (Studs) والألواح الرابطة الأفقية (Wales) تكون مستمرة فوق عدة مساند.
- يحسب أعلى عزم إنحناء من المعادلة:

$M = w L^2 / 10$

where

M: the applied moment

w: uniformly distributed load (kN/m)

L: span between supports (c/c)

The resisting moment is $M' = f \frac{b\,h^2}{6}$

Equating the applied and resisting moments gives: $\frac{w\,L^2}{10} = f \frac{b\,h^2}{6}$

then $L^2 = \frac{10\,f\,b\,h^2}{6\,w}$

From which the max span is: $L = \sqrt{\frac{10\,f\,b\,h^2}{6\,w}}$ (1-A)

or, The max. safe load is: $w = \frac{10\,f\,b\,h^2}{6\,L^2}$ (1-B)

2- أجهاد القص:

Applied shear force is:

$$V = \frac{w\,L}{2}$$

The maximum shear stress in the rectangular section is 1.5 × average shear stress, i.e.

$$v = \frac{1.5\,V}{b\,h} = \frac{1.5\,w\,L}{2\,b\,h}$$

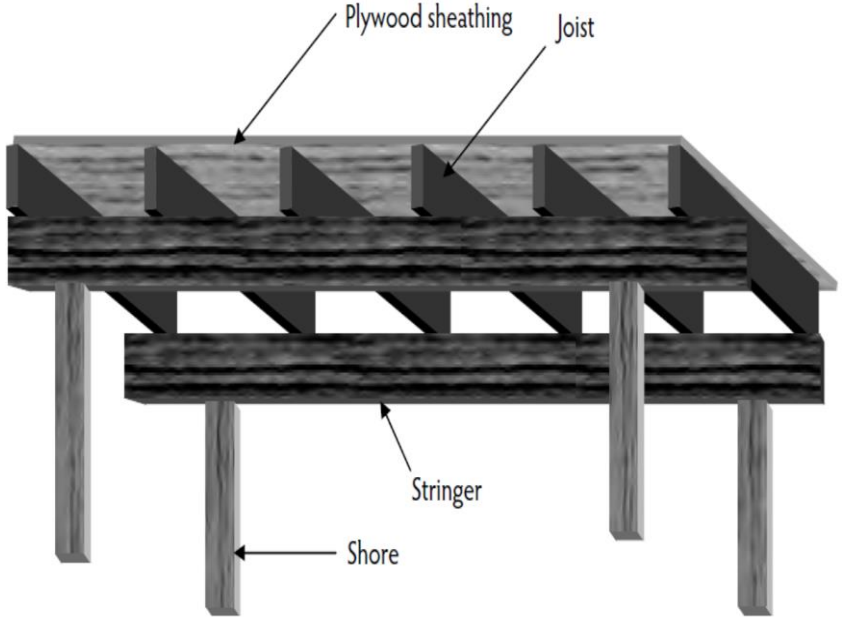
then the maximum span between supports such that shear stress does not exceeds the allowable shear stress is:

$$L = \frac{2\,v\,bh}{1.5\,w}$$

3- الأنحراف Deflection:

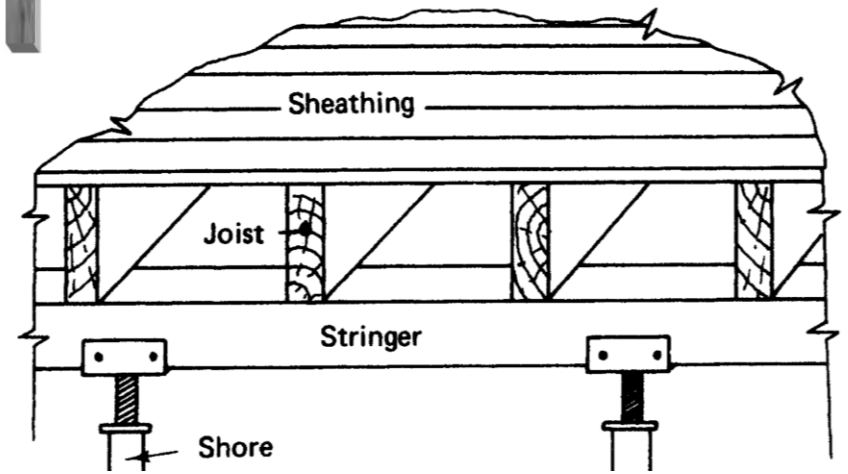
- Deflection, $\Delta = 1000 \times \frac{5\ w\ L^4}{384\ EI}$
- then if the maximum deflection Δ is specified, then the maximum span can be determined from:
- $L = 0.526 \sqrt[4]{\frac{E\ I\ \Delta}{w}}$

عناصر قوالب السقوف:



- يتكون القالب من العناصر التالية:

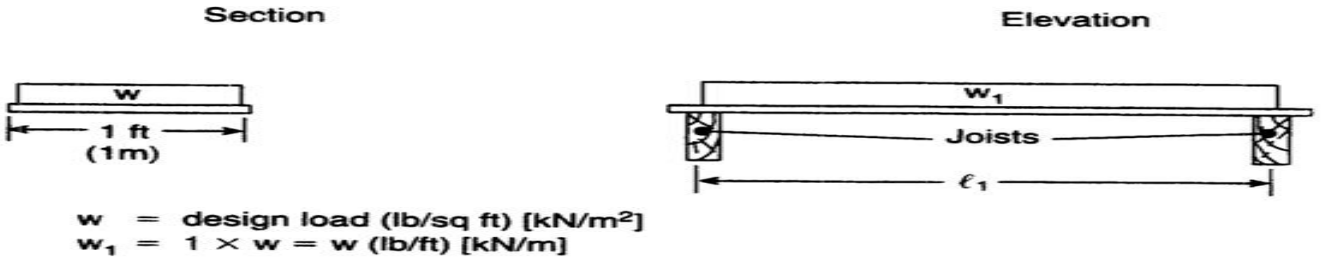
1) الألواح (الغلاف) sheathing
2) العوارض Joists
3) الرافدات الطولية Stringer
4) الدعامات Shores



الأحمال المسلطة على قوالب السقوف:

I. الأحمال على الألواح (الغلاف) sheathing :

- تتعرض الألواح الى أحمال شاقولية تتألف من أحمال حية وأحمال ميتة.
- الحمل الميت يتكون من أوزان القالب والتسليح والخرسانة الطرية.
- الحمل الحي يتكون من أوزان العمال والمعدات والممرات والأحمال الصدمية, ويكون بشكل حمل موزع.
- حسب متطلبات ACI 347-2004 فإن القوالب يجب أن تصمم لحمل حي شاقولي لايقل عن kPa.2.4
- في حالة أستخدام العربات ذات المحركات لنقل الخرسانة فإن الحمل الحي يجب أن يصبح kPa.3.6
- الحمل الكلي المشترك من الأحمال الميتة والأحمال الحية يجب أن لاتقل عن kPa 4.8, وعند إستخدام العربات ذات المحركات يجب أن لايقل عن kPa 6.0.
- تصميم الغلاف يعني أيجاد طول فضاءها والذي يساوي المسافة بين العوارض.



a. Sheathing

2) العوارض Joists:

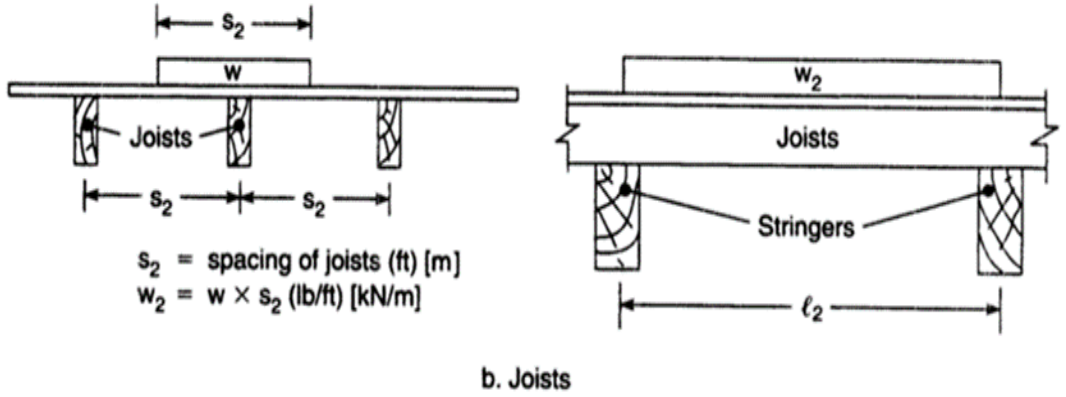
- العوارض تمثل العتبات التي تسند الغلاف (والذي يشبه السقف).
- لذا يكون الحمل المسلط على العوارض بشكل حمل منتظم يمثل رد فعل تلك العوارض على الغلاف المستند عليها.
- الحمل المسلط على العوارض يحسب من المعادلة:

$w_2 = w \times S_2$

where:

S_2 : is the span of sheathing

= spacing between joists.



b. Joists

- عند تصميم العوارض فإن المطلوب هو إيجاد طول فضاءها والذي يساوي المسافة بين مساندها (أي المسافة بين الرافدات Stringers).

3) الرافدات الطولية Stringer:

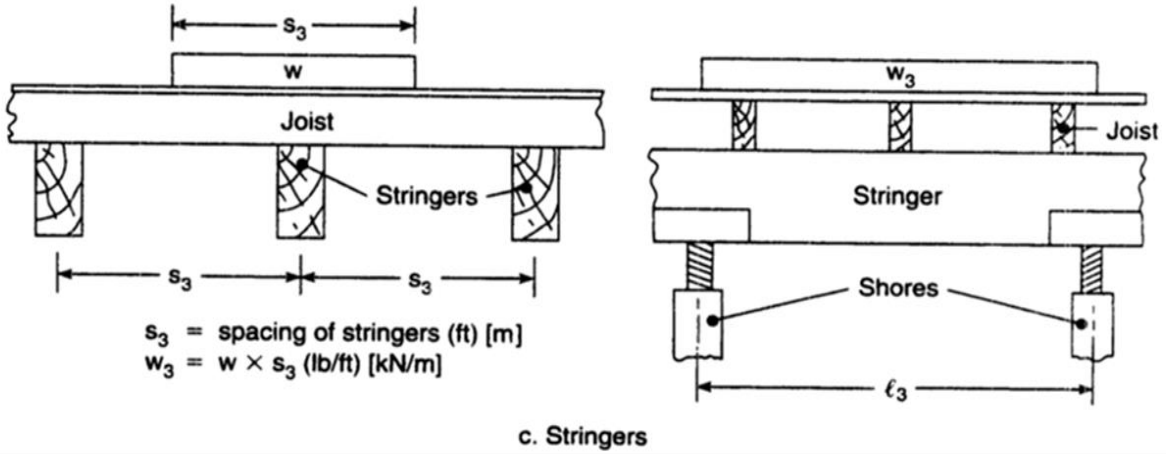
- الرافدات هي عتبات كبيرة تسند العارضات.
- لذا يكون الحمل المسلط عليها بشكل أحمال مركزة عند نقاط أستناد العارضات.
- يمكن تبسيط التحليل بإفتراض أن الحمل المسلط على الرافدات هو حمل موزع.
- ويحسب من المعادلة:

$w_3 = w \times S_3$

where:

S_3 : is the span of joist

= spacing between stringers.

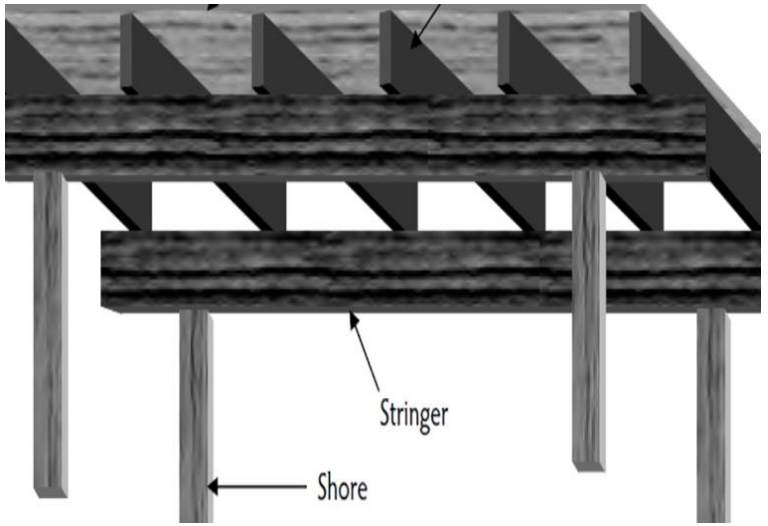


c. Stringers

- عند تصميم الرافدات فإن المطلوب هو إيجاد طول فضاءها والذي يساوي المسافة بين مساندها (أي المسافة بين الدعامات Shores).

4) الدعامات Shores:

- الدعامات عبارة عن أعمدة شاقولية تسند الرافدات.
- الحمل المسلط عليها يكون حمل مركز محوري.
- يحسب من المعادلة:



$P = w \times L_x \times L_y$

when $L_x = L_y$, then

$P = w \times (L_3)^2$

where:

L_x , L_y: spacing between shores in x and y directions, respectively.

L_3: spacing between shores = $L_x = L_y$.

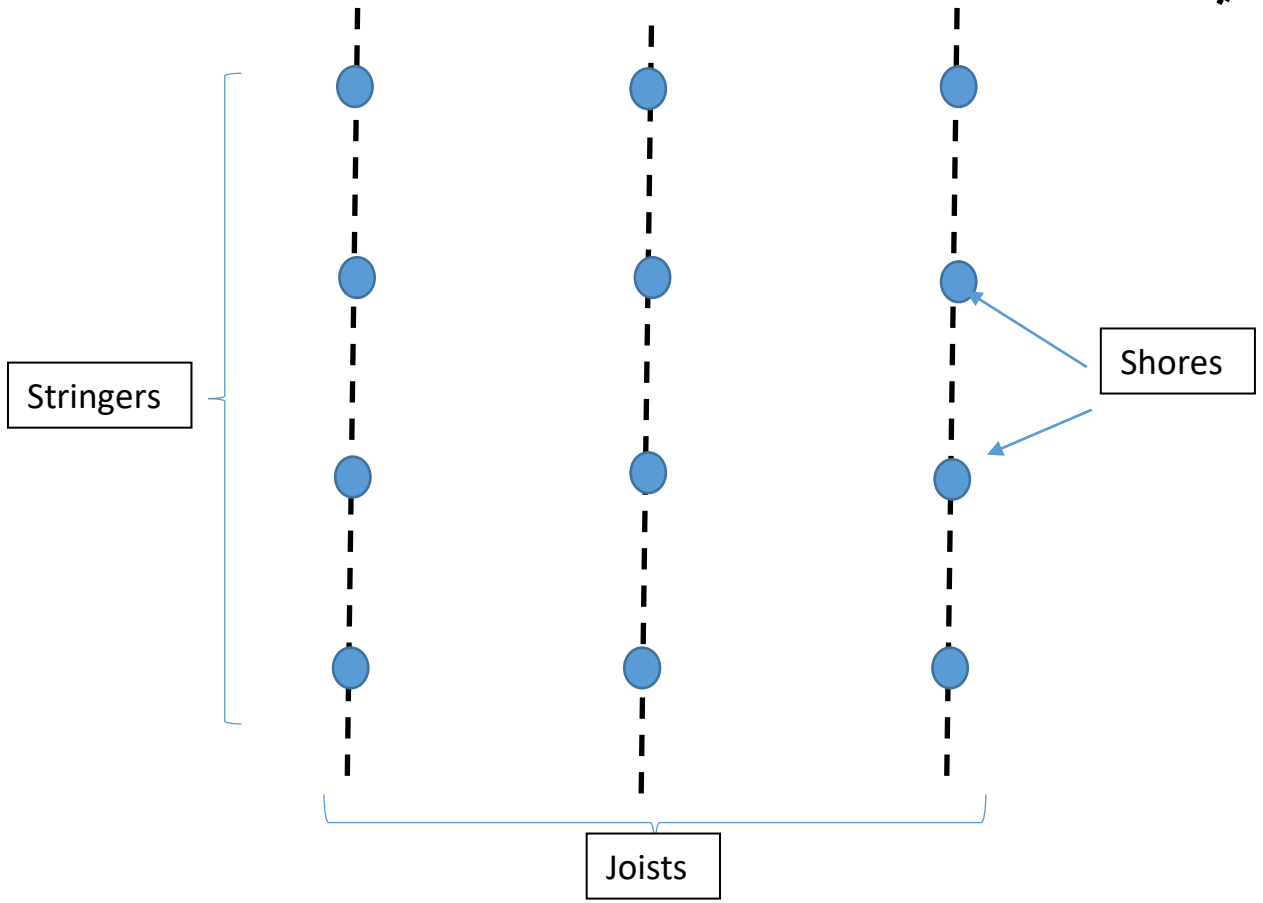
Note that: L_x (or/and) L_y should be equal to spacing between stringers.

thus, $P = w \times (S_3)^2$

Shores الأحمال المسلطة على الدعامات :

- الدعامات عبارة عن أعمدة شاقولية تسند الرافدات.
- الحمل المسلط عليها يكون حمل مركز محوري.

يحسب من المعادلة:



$$P = w \times L_x \times L_y$$

when L_x = spacing between stringer = span of joist

L_y = span of stringer

Example: A timber formwork to be used for a concrete slab of the following information:

Slab thickness = 150 mm

Sheathing nominal thickness = 25 mm (Actual thick (S4S) = 19 mm)

Joist section = 50 × 200 mm (Actual S4S = 38 × 184 mm)

Stringer section = 100 × 200 mm (Actual S4S = 89 × 184 mm)

Commercial shores of capacity = 17.8 kN are used.

Assume that all members are continuous over three or more spans.

Estimated weight of formwork = 0.24 kPa.

- The properties of timber are:

Property	For sheathing	Other members
Bending strength, F_b (kPa)	7412	8619
Shear strength, F_v (kPa)	1200	1241
Modulus of elasticity, E (kPa)	9.4×10^6	9.7×10^6

- Maximum deflection of form members is limited to L/360.
- Use the minimum live load permitted by ACI.
- Determine:

1) The joist spacing
2) Stringer spacing
3) shore spacing

Solution:

Assume density of reinforced concrete = 24 kN/m^3 (في حالة عد إعطائها بالسؤال يتم فرضها)

Pressure per m^2:

Reinforced concrete = 0.150 × 24 = 3.6 kN/m^2

Formwork = 0.24 kN/m^2 (given in question) (في حالة عد أعطاءه بالسؤال يتم فرضه)

Live load = 2.4 kN/m^2 (minimum L.L. from ACI)

Total design load = 6.24 kN/m^2

(ملاحظة: الحمل التصميمي لايضرب بمعاملات الحمل الحي والحمل الميت)

1)<u>The joist spacing:</u> (عن طريق ايجاده من طول الفضاء للغلاف)

- Load on sheathing (for a strip of 1 m width) is
- $w1 = 1.0 \times 6.24 = 6.24$ kN/m

a) Maximum length for bending: (eq. 1-A)

- (حسب السؤال فإن جميع عناصر القالب هي عتبات مستمرة لثلاث فضاءات أو أكثر)
  - $M = w L^2/10$
  - Also, $M = f \times S = f \times (b h^2/6)$
  - Then, $w L^2/10 = f \times (b h^2/6)$
  - thus, $L = \sqrt{\frac{10\ f\ b\ h^2}{6\ w}}$
- f= 7412 kPa = 7.412 MPa, h = 19 mm= 0.019 m , w=w1= 6.24 kN/m

$$L = \sqrt{\frac{10\,(7.412\times10^{6})(1.0)\,(0.019)^{2}}{6\,(6.24\times10^{3})}} = 0.845 \text{ m} = 845 \text{ mm}$$

a) maximum length for shear: $L = \frac{2\,v\,bh}{1.5\,w} = \frac{2\,(1.2\times10^{6})\,(1.0)\,(0.019)}{1.5(6.24\times10^{3})} = 4.872$ m

- (ملاحظة: معادلة حساب القص هنا تقريبية لأن قوة القص في العتبات المستمرة مختلفة)

a) maximum length for deflection:

Note: Maximum Deflection for various beam cases		
Simply supported	Two spans	Three or more spans
$\Delta = \frac{5\,w\,L^{4}}{384\,EI}$	$\Delta = \frac{w\,L^{4}}{185\,EI}$	$\Delta = \frac{w\,L^{4}}{145\,EI}$

In this example, $\Delta = \frac{w\,L^4}{145\,EI}$ and the limit is given as: Δ = L/360 ,

I = $1000 \times (0.019)^3/12 = 5.7158\times 10^{-7}$ m^4, E = 9.4×10^6 kPa = 9.4×10^9 Pa

$\frac{L}{360} = \frac{(6.24\times10^3)L^4}{145\,(9.4 \times 109\,)(5.7158\times10^{-7})}$, from which L = 0.697 m

The minimum length is L for deflection = 0.697 m = 697 mm

This value represent the span of sheathing = spacing of joists

Use L = 675 mm (practical spacing)

The stringer spacing: (عن طريق إيجاد طول فضاء العارضات)

(الرافدات stringers تتعرض لحمل منتظم من الغلاف sheathing)

w_2 = span of sheathing × design load = 0.675 × 6.24 = 4.212 kN/m

For bending:

For continuous beams, $L = \sqrt{\frac{10\ f\ b\ h^2}{6\ w}}$

(ملاحظة: إن ايجاد المسافات بين الرافدات يعني ايجاد طول فضاء العارضات, لذا يجب أن نتذكر أن الخواص وأبعاد المقطع التي ستستخدم هي للعارضات وليست للرافدات)

f = 8619 kPa = 8.619 MPa (given in the table of the example)

b = 38 mm (given in the table of the example for joist)

h = 184 mm (given in the table of the example for joist)

$$L = \sqrt{\frac{10\,(8.619\times10^{6})(0.038)\,(0.184)^{2}}{6\,(4.212\times10^{3})}} = 2.095 \text{ m}$$

For shear $L = \frac{2\,v\,bh}{1.5\,w}$ [v = 1.241 MPa (given in example)]

$$L = \frac{2\,(1.241\times10^{6})\,(0.038)\,(0.184)}{1.5(4.212\times10^{3})} = 2.686 \text{ m}$$

- For deflection: $\frac{L}{360} = \frac{w\,L^{4}}{145\,EI}$

$EI = (9.7 \times 10^{9}) \times (0.038 \times (0.184)^{3}/12) = 1.9135 \times 10^{5}$ (N.m^{2})

$$\frac{L}{360} = \frac{4.212\times10^{3}\,L^{4}}{145\,(1.9135\times10^{5})}$$

$L^{3} = 18.298$ then L = 2.635 m

The smaller value of L is that for bending, thus bending governs.

L = 2.095 m Use L = 2.00 m

1) Shore spacing:

- ان المسافات بين الدعامات shores يتم تحديده عن طريق:

1. ايجاد طول فضاء الرافدات
2. التأكد من امكانية مقطع الدعامة لتحمل الثقل المسلط عليه

- Span of stringer:
- Design load on stringer:
- w_3 = design load × span of joists = 6.24 × 2.00 = 12.48 kN/m

a) For bending

- For continuous beams, $L = \sqrt{\frac{10\ f\ b\ h^2}{6\ w}}$
- f = 8619 kPa = 8.619 MPa (given in the table of the example)
- b = 89 mm (given in the table of the example for stringer)

- h = 184 mm (given in the table of the example for stringer) L

$$= \sqrt{\frac{10\,(8.619\times10^{6})(0.089)\,(0.184)^{2}}{6\,(12.48\times10^{3})}} \quad = 1.862 \text{ m}$$

a) For shear $L = \dfrac{2\,v\,bh}{1{,}5\,w}$

- v = 1.241 MPa (given in example)
- L = $\dfrac{2\,(1.241\times10^{6})\,(0.089)\,(0.184)}{1.5(12.48\times10^{3})}$ = 2.171 m

a) For deflection: $\dfrac{L}{360} = \dfrac{w\,L^{4}}{145\,EI}$

- EI = $(9.7 \times 10^{9}) \times (0.089 \times (0.184)^{3}/12) = 4.482 \times 10^{5}$ (N.m^{2})
- $\dfrac{L}{360} = \dfrac{12.48\times10^{3}\,L^{4}}{145\,(4.482\times10^{5})}$ $thus,$ L^{3}= 14.465 then L = 2.437 m
- The bending is governs, the smaller value is L = 1.862 m

- Before using the stringer span, we must check the capacity of shore to carry the applied load.
  - (ملاحظة: الدعامات تسند الرافدات, لذا المسافة بين الدعامات بالأتجاه العمودي على الرافدة يساوي المسافة بين الرافدات والذي هو نفسه طول فضاء العارضة.
  - اما المسافات بين الدعامات بالأتجاه الموازي للرافدات فيساوي طول فضاء الرافدة, وهو الذي يجب أن نتأكد ان الدعامة قادرة على تحمل الثقل المنقول عليها)
- Capacity of shore = 17.8 kN
- Design load × spacing between stringer × span of stringer = capacity of shore
- Spacing between stringer = span of joist = 2.00 m
- Span of stringer هو الذي سيتم ايجاده من قوة تحمل الدعامة ومقارنته بالقيم المحسوبة للعزم والقص والهطول
- 6.24 × 2.00 × S = 17.8 then S = 1.426 m
- This distance is smaller than the span of stringer (1.862 m)
- Then the span of stringer should be the smaller, L = S = 1.426 m
- Use L = 1.40 m (the span of stringer

Design of wall and column’s formworks:

- تصميم قوالب الجدران والأعمدة:

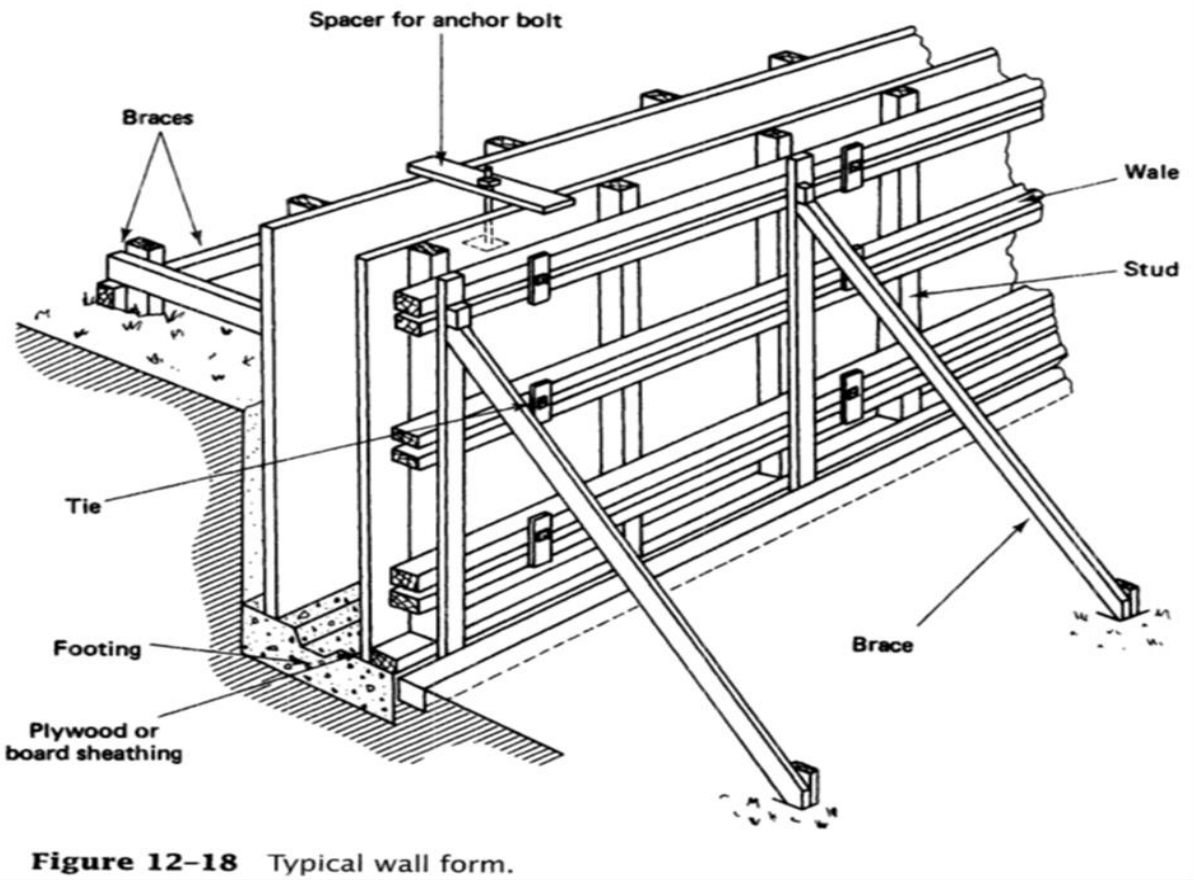
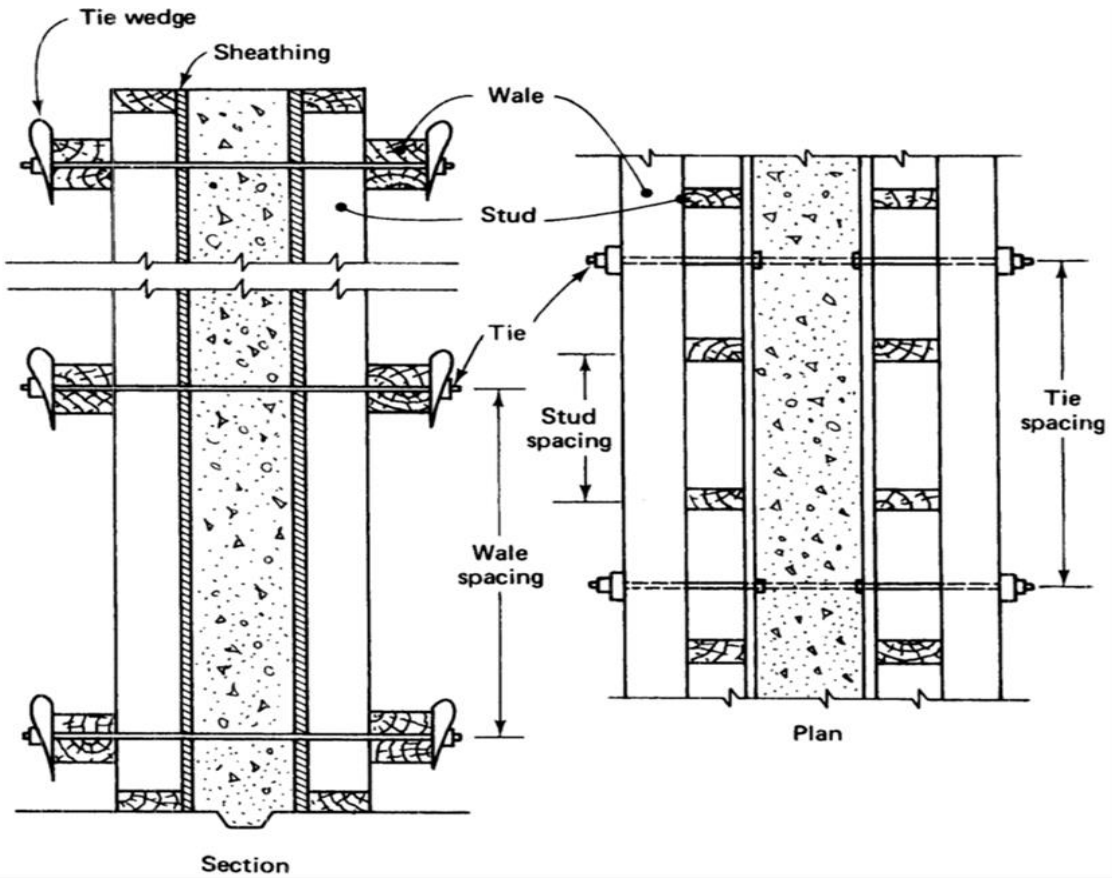


Figure 12–18 Typical wall form.



- تتألف قوالب الجدران والأعمدة من المكونات التالية:

1) الواح التغليف *sheathing*
2) الالواح القائمة *Stud*
3) لوح ربط أفقي *wale*
4) رباطات القالب *Ties*
5) الشكالات أو المساند *Brace*

- خطوات التصميم:

- إن خطوات تصميم قوالب الجدران والأعمدة تشبه لخطوات تصميم قوالب السقوف.
- حيث أن الواح الغلاف هي نفسها كما في قوالب السقوف.
- الالواح القائمة *studs* تشبه العارضات *joists*.
- الواح الربط الأفقية *wales* تشبه الرافدات *stringer* .
- رباطات القالب *Ties* تشبه الدعامات *shores*.

- يكون تسلسل خطوات تصميم قوالب الجدران والأعمدة كما يلي:

1. يتم حساب أكبر قيمة للضغط الجانبي المسلط على الواح الغلاف, وذلك بإستخدام واحدة من المعادلات التالية:

قوالب الأعمدة	قوالب الجدران	
	R > 2.1 m/h	R < 2.1 m/h
$P_m = 7 + \frac{1414\ R}{1.8\ T + 32}$	$P_m = 7 + \frac{2079 + 440\ R}{1.8\ T + 32}$	$P_m = 7 + \frac{1414\ R}{1.8\ T + 32}$
$P_m \not> 144\ kPa$	$P_m \not> 96\ kPa$	
In all cases $P_m \not> 23.5$ H		

Where: P_m: maximum pressure on sheathing (kPa)
R: rate of concrete filling (m/h)
T: temperature of concrete (C)
H: height of form (m)

1. عندما يكون سمك الغلاف معلوم , يتم حساب طول فضاء الواح الغلاف *sheathing* والذي يساوي المسافة بين الالواح القائمة, وذلك بإستخدام معادلات الأنحناء والقص والهطول, كما في قوالب السقوف.
- في حالة كون المسافة بين الألواح القائمة هي المعلومة, فيمكن حساب مقدار السمك المطلوب للغلاف بإستخدام نفس معادلات الأنحناء والقص والهطول.

3. يتم حساب طول فضاء الالواح القائمة (المسافة بين الواح الربط الأفقية *wales*) بإستخدام أبعاد مقطع الالواح القائمة ومعادلات الأنحناء والقص والهطول.
- إذا كان طول فضاء الالواح القائمة هو المعلوم فيمكن أيجاد المقطع المطلوب بإستخدام المعادلات الثلاث أيضا.

4. بعد ذلك يتم حساب طول فضاء الواح الربط الأفقية *wales* بإستخدام المعادلات الثلاث. هذا الطول يمثل المسافة الأفقية بين الرباطات *Ties*.
5. بعد ذلك يتم التأكد من قدرة الرباطات *Ties* على تحمل الحمل المسلط عليها بطريقة مشابهة لخطوات تدقيق تحمل الدعامات *shores* في قوالب السقوف.

- حيث أن الحمل المسلط على الرباط *Tie* يحسب كالآتي:

- $Q = design\ load\ (kN/m^2) \times span\ of\ wale \times span\ of\ studs$
- *In which span of wale = horizontal spacing between ties*
- *And span of studs = spacing between wales*

- من هذه المعادلة يمكن تحديد طول فضاء الواح الربط الأفقية, ومقارنته مع طول الفضاء المحسوب بإستخدام المعادلات الثلاث (الانحناء والقص والهطول) وأختيار الطول الأقصر من بينها.
- اما اذا كان طول فضاء الواح الربط الأفقية محدد مسبقا, فمن المعادلة أعلاه يمكن ايجاد القوة المطلوبة من الرباطات.

Example 1: A concrete wall 60m length, 40 cm thick and 4m height. Calculate number of tie bar required to support the wall. Sheathing thick 25mm. Joists 100x150mm. Stringers 100x100mm. f=112400 kN/m^2, τ= 1000kN/m^2, deflection 3 mm, tie bar dia. 10 mm, yield 425 MPa, P_m=25 kN/m^2

- في هذا المثال تم استخدام نفس تسميات عناصر قوالب السقوف.
- قيمة الضغط الأكبر معطاة بالسؤال $P_m = 25\ kN/m^2$, لذا يبدأ الحل بإيجاد طول فضاء الغلاف.
- ثم طول فضاء العارضات *joists* ثم طول فضاء الرافدات *Stringer* بإستخدام أبعاد المقطاطع كما معطاة بالسؤال وأستخدام قيمة مقاومة الأنحناء $f = 112400\ kN/m^2$ ومقاومة القص $\tau = 1000kN/m^2$ ومقدار الهطول المسموح *deflection 3 mm*.
- يتم بعد ذلك تدقيق المسافة الأفقية بين الرباطات *Ties* والتي تساوي طول فضاء الرافدات كما يلي:

- $Capacity\ of\ tie = \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 425 = 33379.4\ N = 33.379\ kN$

- *Load on each tie = design load × span of joist × span of stringer (A)*
- *Design load = P_m=25 kN/m^2*
  - *Span of joist* يفترض انه تم ايجاده بخطوة سابقة.
  - *span of stringer* ايضا تم ايجاده (قيمة اولية) بخطوة سابقة من المعادلات الثلاث.
  - من المعادلة *(A)* أعلاه نجد الحمل المسلط على الرباط, ونقارنه بقدرة تحمل الرباط *(33.379 kN)* فاذا كان الحمل المحسوب من معادلة *(A)* أصغر من قدرة التحمل عندها سيكون *span of stringer* هو كما تم حسابه من المعادلات الثلاث.

- اما اذا كان الحمل من معادلة *(A)* اكبر من التحمل فهذا يعني ضرورة تقليل *span of stringer* وذلك بإيجاد القيمة المناسبة عن طريق:
- *Span of stringer = Capacity of tie / (design load × span of joist)*
- اي ان طول فضاء الرافدات قد تغير حسب متطلبات تحمل الرباطات.
- أخيرا يمكن حساب عدد الرباطات كما يلي:
- عدد الصفوف الأفقية للرباطات = أرتفاع الجدار / طول فضاء ال*Stringer* (يقرب للعدد الصحيح الأكبر)
- عدد الخطوط العمودية للرباطات = طول الجدار / طول فضاء ال *joist* (يقرب للعدد الصحيح الأكبر)
- العدد الكلي للرباطات = عدد الصفوف × عدد الخطوط العمودية

- Example 2: Form are being designed for a 2.44m high concrete wall to be poured at a rate of 1.291 m/h, at temperature of 32^{o}C. The concrete is estimated to weigh 2403 kg/m^{3}. Sheathing will be sheets of 19 mm thick, studs and **double wales** will be 50 × 150 mm lumber. Ties are 13.34 kN capacity. Deflection must not exceed l/360. Determine stud, wale, and tie spacing. The allowable stresses are as in the first example.

- في هذا المثال يتم حساب أكبر ضغط لحالة جدار وسرعة المليئ أقل من 2.1 وتعويض درجة الحرارة.
- بعد معرفة أكبر ضغط والذي يساوي الحمل التصميمي نحسب فضاء الواح الغلاف ثم الالواح القائمة studs ثم الالواح الأفقية wales.
- بعد ذلك ندقق طول فضاء الالواح الافقية مع قدرة تحمل الرباطات.

- ملاحظة: في المثال ورد مصطلح **double wales** هنا يقصد به انه بدلا من استخدام لوح افقي *wale* واحد يتم ثقبه لأمرار الرباط *Tie* (والذي هو عبارة عن برغي يخترق طبقتي القالب) بدلا من ذلك يتم استخدام مقطعين متجاورين من ال *wales* يوضعان جنبا الى جنب يتم امرار الرباط بينهما بدلا من عملية ثقب الالواح الافقية.
- الفرق الوحيد هنا ان خواص مقطع ال *wales* يتم ضربها في 2 (مضاعفتها) لأنه تم استخدام قطعتين وليست قطعة واحدة. اي ان

- $E_2 = 2 \times E$ and $S_2 = 2 \times S$