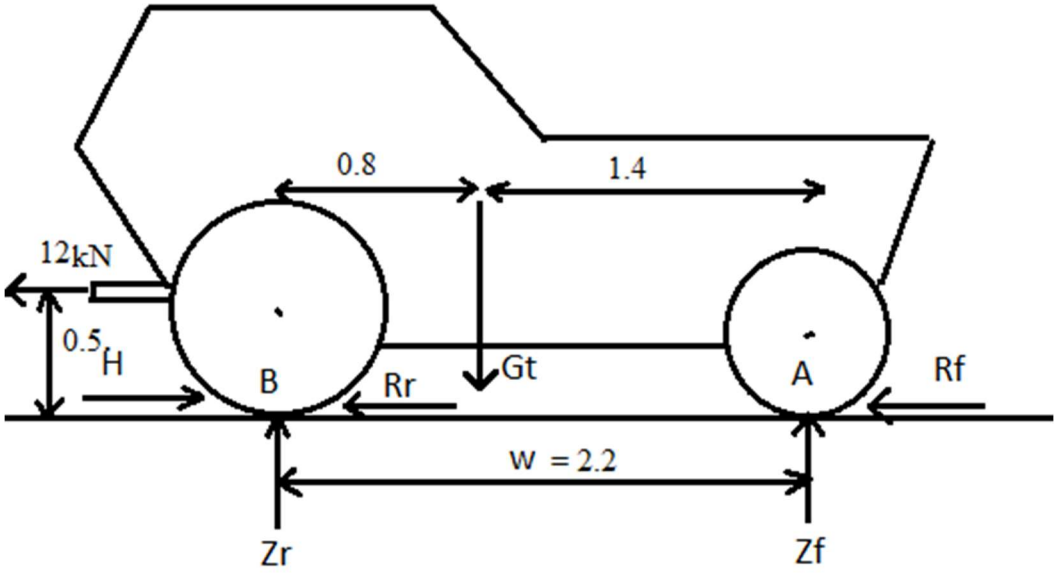
$Zr.w = Gt.\ A + F.\ h$

$$\therefore Zr = Gt\ .\frac{a}{w} + F.\frac{h}{w} \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

توضح المعادلة (8) ان قيمة Zr الديناميكية هي اكبر من Zr الاستاتيكية، أي ان الوزن الذي تحمله العجلات الخلفية يزداد عندما يسحب الجرار حملا خلفه. والوزن الذي اضيف الى العجلات الخلفية يسمى الوزن المنقول $F.\frac{h}{w}$ لانه نقل من العجلات الامامية واضيف للعجلات الخلفية ولمنع وصول Zr الى الصفر (Zr = 0) تضاف اوزان الى العجلات الامامية.

.....

مثال : جرار كتلته 3 طن يسحب خلفه محراث يحتاج الى قوة سحب مقدارها 12 كيلو نيوتن المسافة بين مركز العجلات الامامية والخلفية 2,2 م ويبعد مركز الثقل عن العجلات الخلفية بمقدار 0,8 م ، احسب قوة الدفع (H) اذا كانت مقاومة التدحرج الكلية على العجلات الامامية والخلفية 2 كيلو نيوتن واحسب رد فعل التربة على العجلات الامامية والخلفية اذا كان عمود السحب يرتفع عن سطح الأرض بمقدار 0,5 م.



يمكن حساب قوة الدفع كالاتي

H = F + R

H = 12+2 = 14 kN

لحساب Zr ناخذ عزم حول النقطة A

$$Zr = Gt.\frac{a}{w} + F.\frac{h}{w}$$

Gt = 3 * 9.81 = 29.43 kN

$$Zr = 29.43 * \frac{1.4}{2.2} + 12 * \frac{0.5}{2.2} = 21.46\ kN$$

ولحساب Zf ناخذ عزم حول النقطة B

$$Zf = Gt.\frac{b}{w} - F.\frac{h}{w}$$

$$Zf = 29.43 * \frac{0.8}{2.2} - 12 * \frac{0.5}{2.2} = 7.97\ kN$$

او

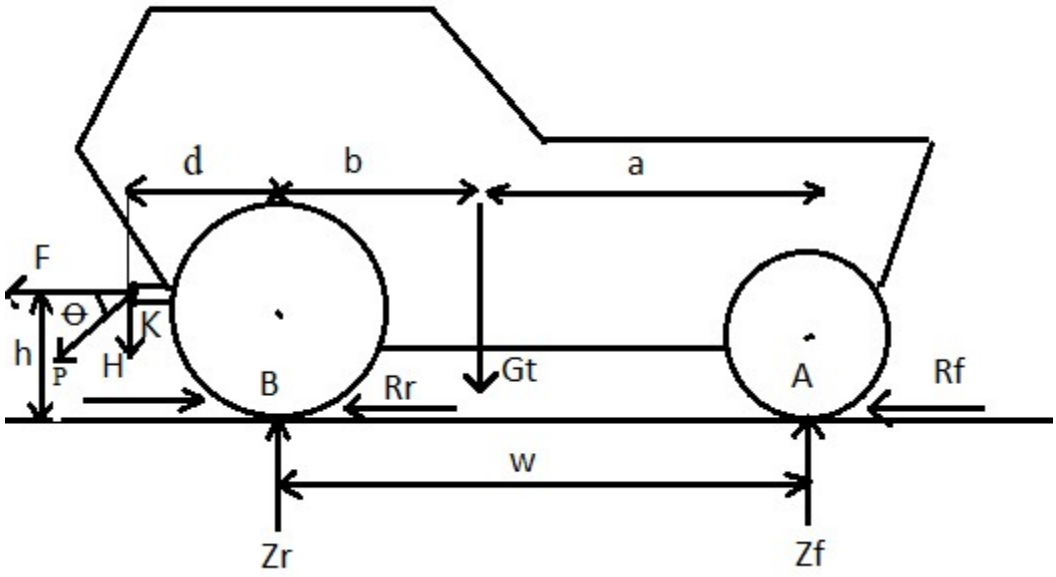
Zf = Gt – Zr

Zf = 29.43 – 21.46 = 7.97 kN

……

حالة الحركة مع وجود قوة سحب (P) المائلة

يوضح الشكل الاتي القوى المؤثرة على الجرار عند الحركة مع وجود قوة سحب مائلة (P)



مجموع القوى الافقية = صفر ، حيث

H = F + R …….. (9)

F = P cos Θ ……. (10)

حيث Θ زاوية ميل القوة P

مجموع القوى العمودية = صفر

Zr + Zf = Gt + K …… (11)

$K = P \sin \Theta$ …….. (12)

ولحساب قيمة Zf ناخذ عزم حول النقطة B

$Zf \cdot w + F \cdot h + K \cdot d = Gt \cdot b$

$$\therefore Zf = Gt \cdot \frac{b}{w} - F \cdot \frac{h}{w} - K \cdot \frac{d}{w} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (13)$$

حيث d = المسافة بين K ومركز العجلات الخلفية

ولحساب قيمة Zr ناخذ عزم حول النقطة A.

$Zr \cdot w = Gt \cdot a + F \cdot h + K (d + w)$

$$\therefore Zr = Gt \cdot \frac{a}{w} + F \cdot \frac{h}{w} + K \cdot \frac{(d+w)}{w} \dots\dots\dots\dots\dots (14)$$

ويلاحظ من المعادلة (14) ان الوزن المؤثر على العجلات الخلفية Zr يزداد بمقدار كبير عندما تكون قوة السحب مائلة لان ذراع عزم القوة (K) كبير (d+w) بينما تفقد العجلات الامامية وزن مقداره $(K \cdot \frac{d}{w})$ ويسمى الوزن $(K \frac{(d+w)}{w})$ بالوزن المضاف للعجلات الخلفية.

.....

مثال

جرار زراعي كتلته 4.5 طن يبعد مركز الثقل عن العجلات الخلفية بمقدار 1 م والمسافة بين مركز العجلات الامامية والخلفية 2.8 م. والجرار يسحب خلفه حمل يحتاج 10 كيلو نيوتن الذي يميل عن الأفق بزاوية 30° المركبة العمودية لقوة السحب تبعد عن مركز العجلات الخلفية بمقدار 1م ارتفاع عمود السحب عن سطح التربة 0.5 احسب الوزن المؤثر على العجلات الامامية والخلفية.

.....

قوة التربة Soil Strength

تعتبر قوة التربة أحد العوامل الأساسية تحديد قابلية الجرار على توليد قوة الدفع وبالتالي تحديد قوة السحب التي يستطيع الجرار ان يوفرها لسحب الآلات الزراعية المختلفة. فعندما تكون التربة جافة ومتماسكة يستطيع الجرار توليد قوة دفع عالية. اما في التربة المفككة تنخفض قابليته بصورة كبيرة لضعف قوتها بالإضافة الى الانزلاق العالي الذي يؤدي الى خفض السرعة الامامية والذي يؤدي الى خفض قدرة السحب وبالتالي كفاءته.

تعرف **قوة التربة** على انها المقاومة التي تبديها التربة عند تعرضها الى قوة قطع، وهذه المقاومة تأتي من عاملين هما: التماسك والاحتكاك بين دقائقها.

التماسك يأتي من الاواصر الايونية والشحنات الكهربائية الموجودة على معادن الطين وقوة فاندرفالز والمادة العضوية والشد السطحي بين دقائق التربة.

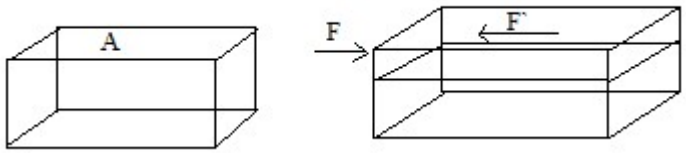
والتماسك يكون عاليا عندما تكون التربة بالحالة الصلبة (جافة) والحالة البلاستيكية، يطلق على التماسك عندما تكون التربة جافة بالتماسك الجزيئي ويأتي من العوامل الأربعة التي ذكرت سابقا، اما عندما تكون التربة رطبة (الحالة البلاستيكية) فيطلق عليه بالتماسك المتأتي من الأفلام المائية. والتماسك لا يتأثر بالقوة الضاغطة على التربة (عند فرض قوة عمودية عليها). الا انه يتأثر بصورة واضحة بنسبة الطين بالتربة والرطوبة.

اما الاحتكاك فيعتمد على خشونة دقائق التربة والتداخل بين هذه الدقائق، فالتربة الصلبة احتكاكها أكبر من التربة المزيجية. والاحتكاك يتأثر بصورة كبيرة بالقوة الضاغطة لأنها تؤدي الى زيادة التداخل بين زوائد دقائق التربة.

تصنف الترب من الناحية الميكانيكية الى ثلاث أنواع:

1) الترب التماسكية الاحتكاكية Cohesive – Frictional Soil

يتميز هذا النوع من الترب باحتوائها على صفة التماسك والاحتكاك وتزداد قوتها بزيادة القوة الضاغطة فمثلا لو عُرضّ المكعب الموضح بشكل الاتي الى قوة قطع مقدارها F فان التربة تبدي مقاومة مقدارها F´ معاكسة للقوة المفروضة F وهذه المقاومة تاتي من التماسك والاحتكاك.



وبما ان القوة F تفرض مساحة المكعب بأكمله فانها تولد ما يسمى باجهاد القطع

$$\tau = \frac{F}{A}$$

حيث

τ اجهاد قطع التربة kN/m^2

A مساحة مقطع المكعب m^2

ولو وضع وزن مقداره w على المكعب فانه يولد اجهاد عمودي مقداره σ لان الوزن يؤثر على المساحة A بأكملها.

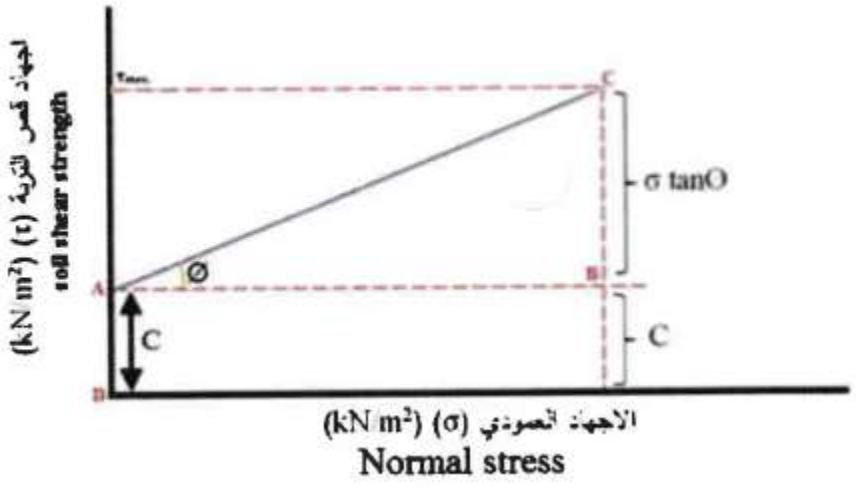
$$\sigma = \frac{w}{A}$$

حيث

σ = الاجهاد العمودي kN/m^2

w = الوزن kN

ونتيجة الاجهاد العمودي σ فان الاجهاد المطلوب لقطع التربة τ يزداد والذي يعني من ناحية أخرى زيادة القوة المطلوبة F لقطع التربة وعند الاستمرار بإضافة اوزان أخرى فان الاجهاد العمودي يزداد والذي يؤدي الى زيادة قوة التربة وبالتالي زيادة اجهاد القطع المطلوب لقطعها وعند رسم العلاقة بين اجهاد القطع τ والاجهاد العمودي لهذه التربة تحصل على :



يلاحظ من الشكل أعلاه ان اجهاد القطع τ للتربة التماسكية الاحتكاكية يزداد مع زيادة الاجهاد العمودي σ (الوزن / المساحة). وان الخط المستقيم يقطع المحور الصادي (τ) عند النقطة A والتي تمثل التماسك (C) حيث لا يتاثر التماسك بالاجهاد العمودي، وهذا يعني ان اجهاد قطع التربة يساوي التماسك عندما يكون الاجهاد العمودي يساوي صفر. اما بوجود الاجهاد العمودي σ فان اجهاد القطع τ يكون

$$\tau = C + x$$

ولكن x يمكن حسابها كالاتي

$$tan\emptyset = \frac{x}{\sigma} \rightarrow x = \sigma \tan\theta$$

حيث θ هي زاوية احتكاك التربة وبذلك يمكن التعبير عن τ بالمعادلة الاتية

$$\tau = C + \sigma \tan\theta \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

نلاحظ من المعادلة (1) ان قوة التربة تعتمد على التماسك والاحتكاك، والاحتكاك تأثيره يزداد بزيادة الاجهاد العمودي ولتحسين قابلية الجرار على توليد الدفع في هذا النوع من الترب يجب زيادة الوزن المؤثر على عجلاته التي تولد دفعا. فعند ضرب طرفي المعادلة (1) بمساحة تلامس عجلات الدفع مع التربة نحصل على

$$\tau . A = C . A + \sigma \tan\theta . A$$

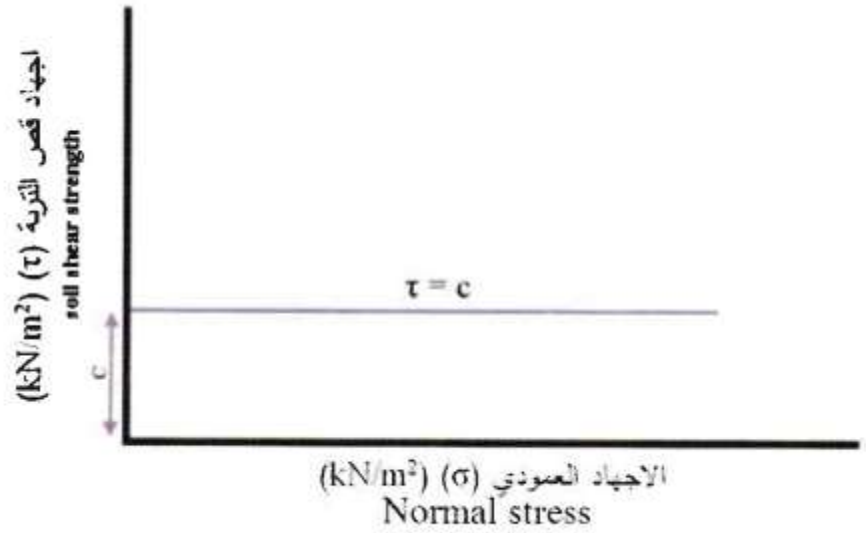
$$F = C . A + W \tan\theta$$

حيث F تمثل قوة القطع بالنسبة الى التربة ولكنها تمثل قوة الدفع بالنسبة الى عجلات الجرار (H) و (W) تمثل الوزن المؤثر على عجلات الجرار

$$H = C . A + W \tan\theta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

2) التربة التماسكية Cohesive Soil

تعتمد قوة هذه التربة على التماسك فقط اما الاحتكاك فصغير جدا ($\theta \approx 0$) ولا تتأثر قوتها بالإجهاد العمودي والشكل الاتي يوضح العلاقة بين اجهاد قطعها والاجهاد العمودي المؤثر عليها.



$\tau_{Max} = C$ ……. (3)

ويطلق على هذه التربة بالتربة البلاستيكية Plastic Soil او التربة الطينية Clay Soil

وعند ضرب مساحة تلامس عجلات الدفع (A) بطرفي المعادلة (3) فان الدفع الذي يولده الجرار يحسب كالاتي

$\tau \,.\, A = C \,.\, A$

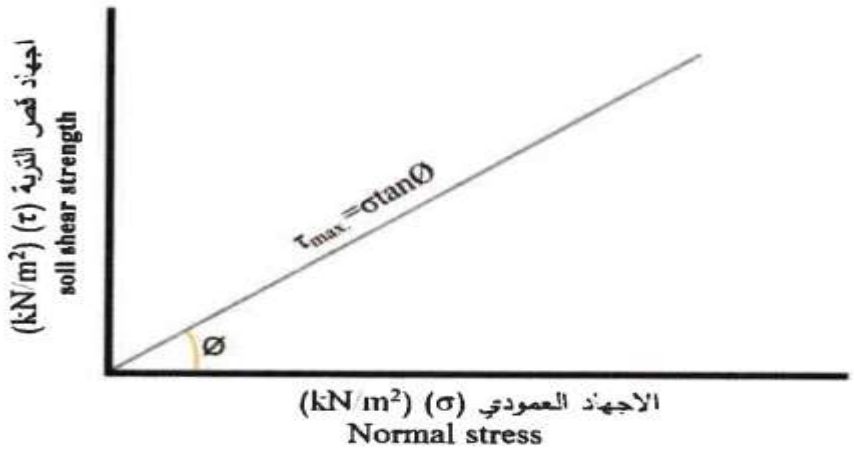
$H = C \,.\, A$ ……. (4)

نلاحظ من المعادلة (4) ان قوة الدفع الذي يمكن ان يولدها الجرار تعتمد على تماسك التربة ومساحة تلامس اطارته اما وزنه فليس له تاثير.

3) التربة الاحتكاكية Frictional Soil

تعتمد قوة هذه التربة على الاحتكاك فقط ($C \approx 0$) ويطلق عليها بالتربة الرملية وتزداد قوتها بزيادة الاجهاد العمودي

ويوضح الشكل الاتي العلاقة بين اجهاد قطعها والاجهاد العمودي



واجهاد القطع يمكن تمثيله بالمعادلة الاتية

$$\tau = \sigma \tan\theta$$

$$\tau . A = \sigma . A \tan\theta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

وعند ضرب طرفي المعادلة بمساحة تلامس إطارات الدفع بالجرار (A) فان الدفع الذي يولده الجرار هو

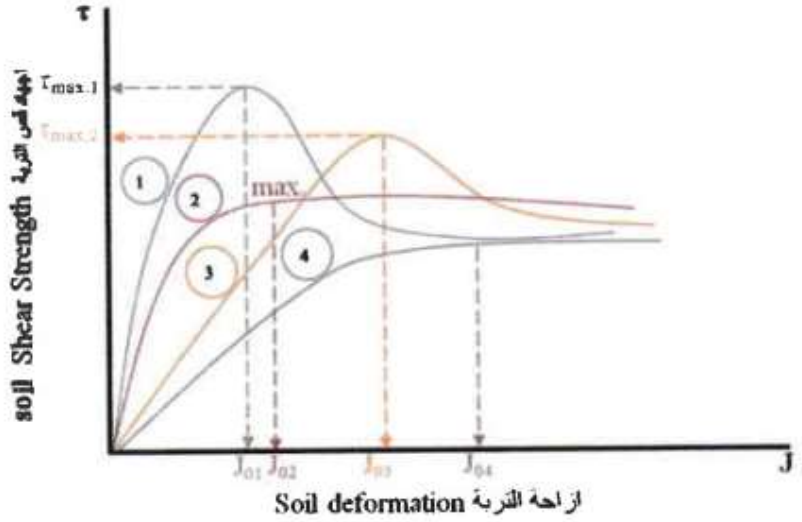
$$H = W . \tan\theta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

توضح المعادلة (6) ان قوة دفع الجرار في هذا النوع من التربة يعتمد على وزن الجرار فكلما زاد وزن الجرار زادت قوة دفعه ولكن ضمن حدود معينة والا زادت مقاومة التدحرج.

.....

العلاقة بين اجهاد قطع التربة والازاحة

ان قوة التربة التي ذكرت سابقا لا يمكن اثارتها الا بإزاحة التربة نفسها وعملية الازاحة تعمل على دفع دقائق التربة على بعضها البعض وهذا الاندفاع للدقايق يقاومها التماسك والاحتكاك وان العلاقة كما هي في الشكل الاتي.



(1) تربة تماسكية صلبة.
Solid cohesion soil

(2) تربة احتكاكية مكبوسة.
Compacted frictional soil

(3) تربة تماسكية–احتكاكية مكبوسة رطبة.
Wet compacted frictional soil

(4) تربة محروثة (مفككة).
Plowed soil (loose)

والعلاقة الموضحة بالشكل أعلاه يمكن التعبير عنها بالمعادلة

$$\tau = \tau_{max} \left(1 - e^{-\frac{J}{K}}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots . . (7)$$

حيث τ اجهاد قطع التربة kN/m^2

τ_{max} اجهاد قطع التربة الأعظم kN/m^2

^{J} إزاحة التربة (mm)

^{K} معامل إزاحة التربة (mm) وقيمته محصورة بين 20-40 mm

ومعامل إزاحة التربة k يعرف على انه إزاحة التربة التي يقع عندها اقصى اجهاد قطع وعندها اقصى اجهاد قطع.

وعند الرجوع للشكل السابق نلاحظ ان اجهاد قطع التربة يزداد مع زيادة الازاحة وتستمر الزيادة الى ان تنهار التربة ويحدث هذا عند وصول اجهاد قطع التربة الى أقصاه. ان الانزلاق الذي يحدث لاطارات الجرار يعود الى إزاحة التربة المؤدية الى اثارة قوتها وعند انهيارها تحت الاطار بصورة تامة تصبح قيمة الانزلاق 100%.