مکانیک شاسی تراکتورهای کشاورزی

(Mechanics of Farm Tractors Chassis)

مدرس: دکتر مرتضی صادقی

مقدمه

- منظور از این بخش مطالعه نیروهای وارده بر تراکتور (مکانیک شاسی) و همچنین بررسی تعادل تراکتور است. برای این کار تراکتور را به عنوان یک جسم در نظر می گیریم و دیاگرام جسم آزاد آن را رسم می کنیم. سپس با نوشتن معادلات تعادل نیروها را بدست می آوریم و دو حالت زیر را در نظر می گیریم:

- حالت A: وضعیت استاتیک که تراکتور ساکن بوده و یا با سرعت ثابت حرکت می کند.
- حالت B: وضعیت دینامیک که مي خواهیم مطالعه کنیم در تراکتور در اثر ترمز کردن و یا تغییر سرعت دادن چه نیروهایی بوجود می آید.

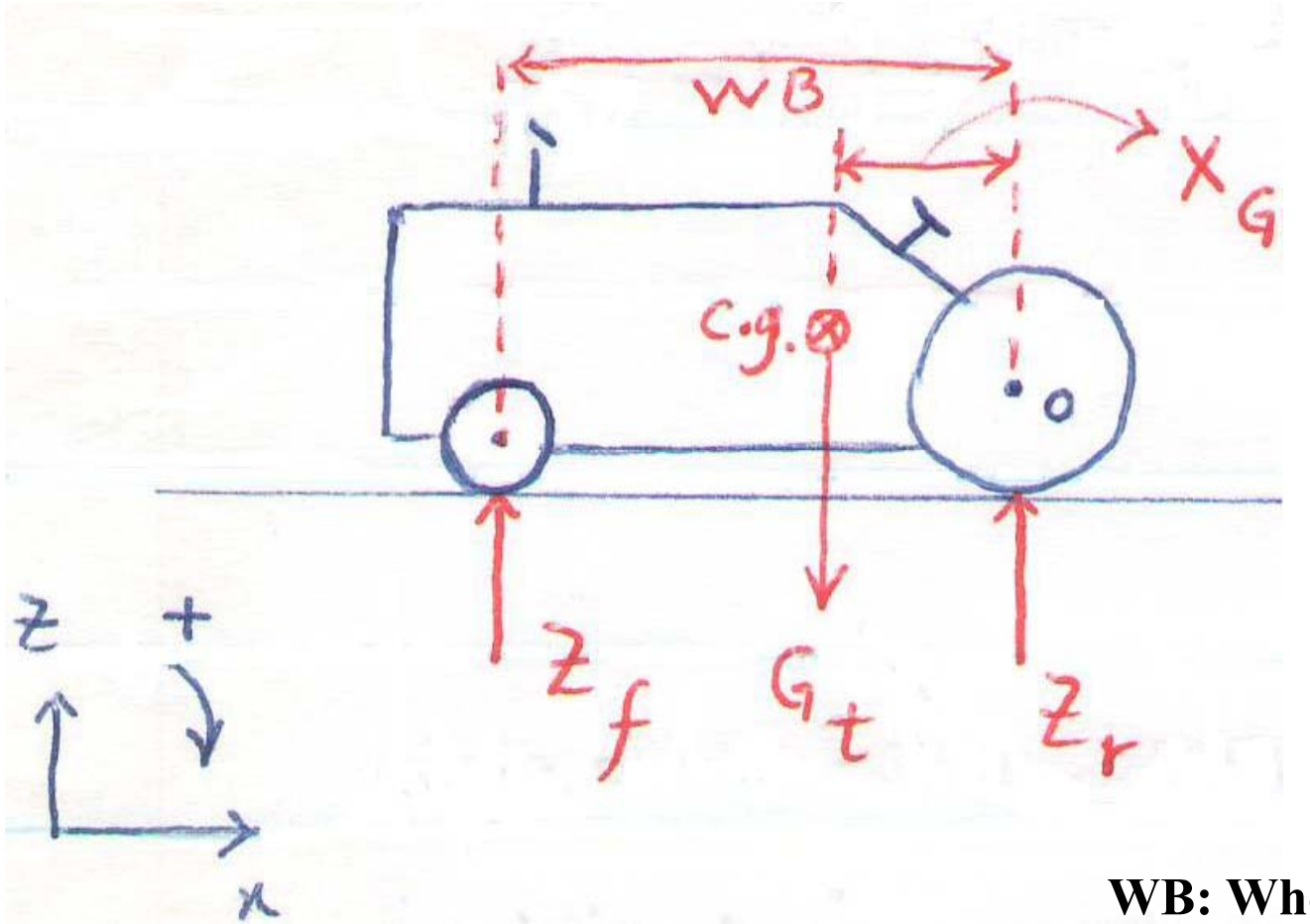
A- Tractor statics

● استاتیک تراکتور

Forces acting on the 2WD tractor:

1. Tractor in the "static" condition , i.e. at rest

در این حالت، در واقع توزیع وزن استاتیکی روی هر یک از چرخ ها مجهول است.



WB: Wheel Base طول اتکاء

$$\sum F_z = 0 \rightarrow Z_r + Z_f - G_t = 0$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow Z_f . WB - G_t X_G = 0$$

$$\longrightarrow \boxed{Z_f = G_t \left(\frac{X_G}{WB} \right)}$$

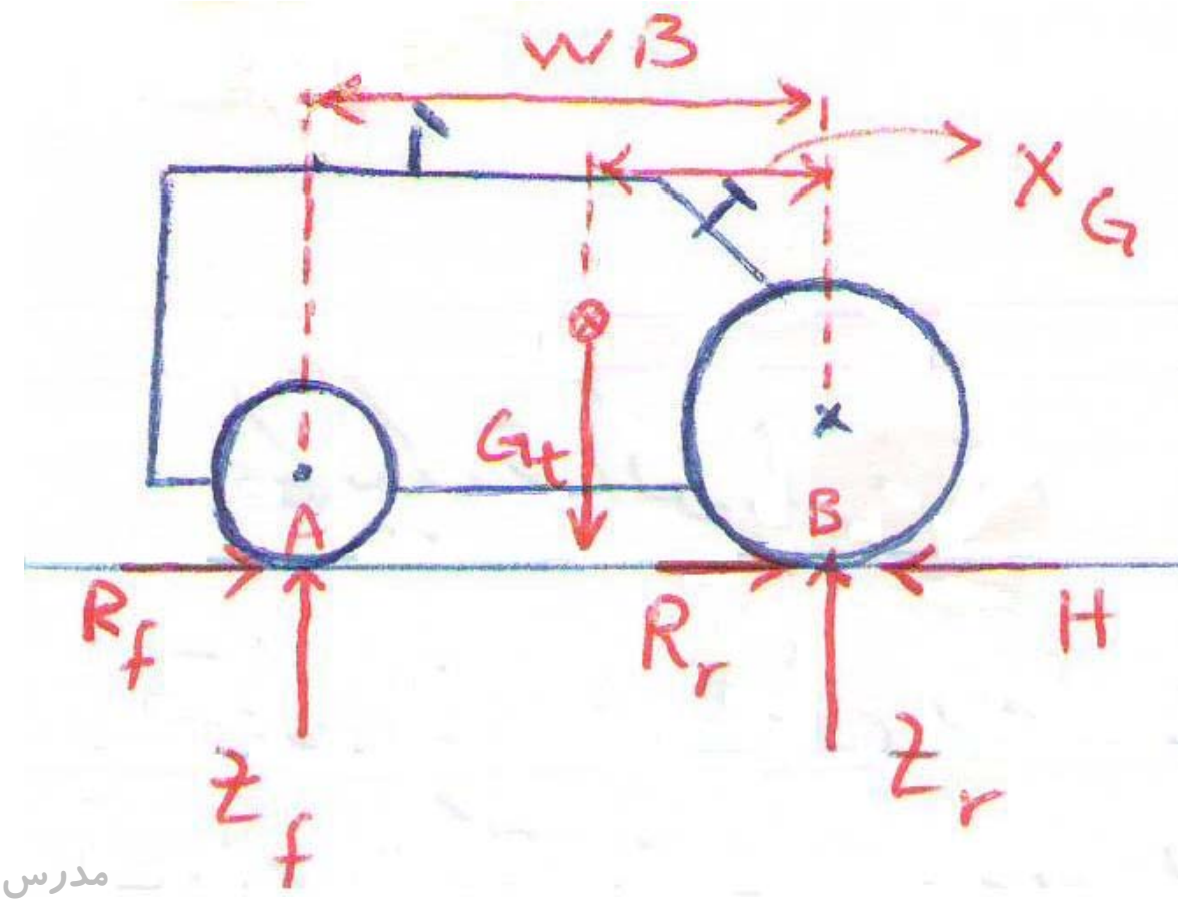
$$G_t \left(\frac{X_G}{WB} \right) + Z_r - G_t = 0$$

Z_f را در معادله تعادل نیروها قرار مي دهيم:

$$\longrightarrow \boxed{Z_r = G_t (1 - \frac{X_G}{WB})}$$

2- When there is no pull, no implement force acting at all (steady state condition)

- در این حالت هیچ نوع کششی به تراکتور اعمال نمی شود و سرعت حرکت هم ثابت و یکنواخت است.
- دراین حالت H (thrust) تولید می شود، ولی مقدار آن در حدی است که مقاومت غلتشی را خنثی کند (مثل چرخ خود گردان).



$$\sum F_X = 0 \rightarrow \; R_r + R_f - H = 0 \; \rightarrow H = R_r + R_f$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow \; Z_r + Z_f - G_t = 0$$

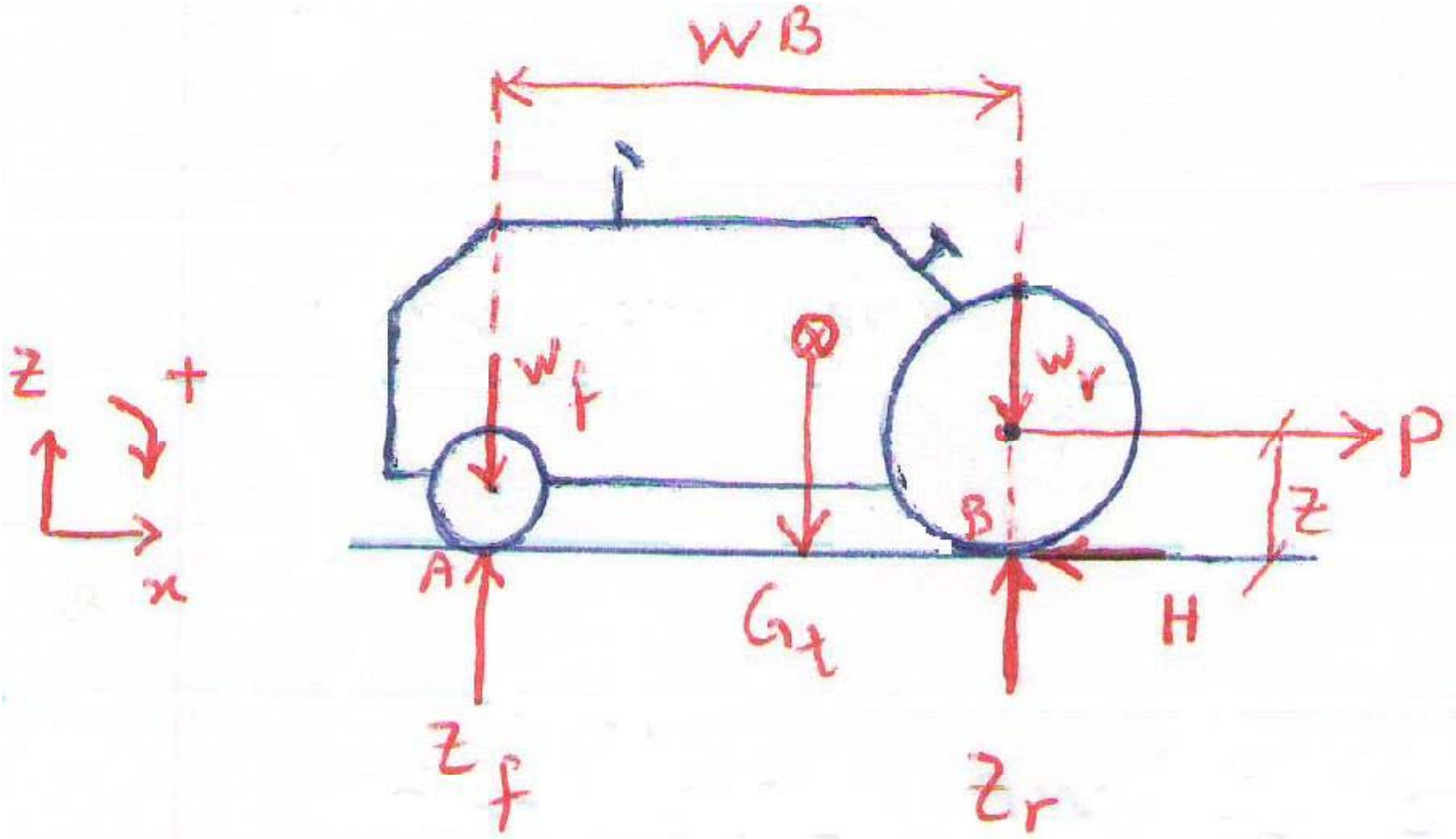
$$\sum M_B = 0 \rightarrow Z_f . WB - \; G_t X_G = 0$$

$$\longrightarrow \quad Z_f = G_t . \left(\frac{X_G}{WB}\right) \qquad Z_r = G_t . \left(1 - \frac{X_G}{WB}\right)$$

بنابراین در این حالت نیز توزیع بار عمودی با حالت تراکتور ایستاده فرقی نکرده است. (وقتی حرکت داشته باشیم ولی هیچ باری اعمال نشود)

3- Tractor pulling (parallel pull)

- در این حالت تراکتور وسیله ای را می کشد و نیروی کشنده به موازات سطح زمین است.



فرضیات حل مسئله عبارتند از:

1- 2WD Tractor

2- Constant speed

3- Line of pull parallel to the ground

4- The direction of Z_r is passing through the center of driving wheel

اگر تایر صلب باشد، فرض ۴ از واقعیت دور می باشد ولی چون چرخ لاستیکی است، تقریبا فرض درستی است و به همین صورت است.

5- The direction of tractive force is passing through the soil wheel contact point

6- Rolling resistance force = 0

چون می خواهیم مسئله را روی حالت ۳ متمرکز کنیم، فرض ۶ را در نظر گرفته ایم.

$$\sum F_X = 0 \rightarrow \quad P - H = 0 \rightarrow P = H$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow -w_r - w_f + Z_r + Z_f = 0$$

$$\sum M_B = 0 \rightarrow -w_f(WB) + Z_f(WB) + P.Z = 0$$

$$\rightarrow \quad Z_f = w_f - \frac{P.Z}{WB}$$

در معادله تعادل در جهت محور Z قرار می دهیم:

$$\rightarrow \quad Z_r = w_r + \frac{P.Z}{WB}$$

مقدار P.Z/WB برابر مقدار انتقال وزن (Transferred weight) است که بیان می کند در حال حرکت مقداری از وزن روی چرخ های جلو به چرخ های عقب منتقل می شود و در حالتی که وسیله سوار شونده داشته باشیم حداکثر است.

در واقع در حالت ایستایی (استاتیکی) بدون کشش داشتیم: $Z_f = W_f$ و $Z_r = W_r$

که W_r وزن روی چرخ های عقب است که با وجود کشش ترم انتقال وزن یعنی P.Z/WB به آن اضافه شد .

همان طور که مشخص است، مقدار انتقال وزن متناسب با کشش (pull) و فاصله نیروی کشش تا سطح زمین است و نسبت معکوس دارد با WB .

چه عاملی سبب انتقال وزن می شود؟

تغییر در وزن (بار) روی چرخ های عقب در واقع برای خنثی کردن اثر گشتاوری P به بدنه تراکتور صورت می گیرد. به عبارت دیگر، در واقع مرکز ثقل جابجا نمی شود.

با مسئله انتقال وزن از دو دیدگاه برخورد می کنیم:

الف – بهبود کشش (تولید Traction)

ب – پایداری تراکتور (Stability)

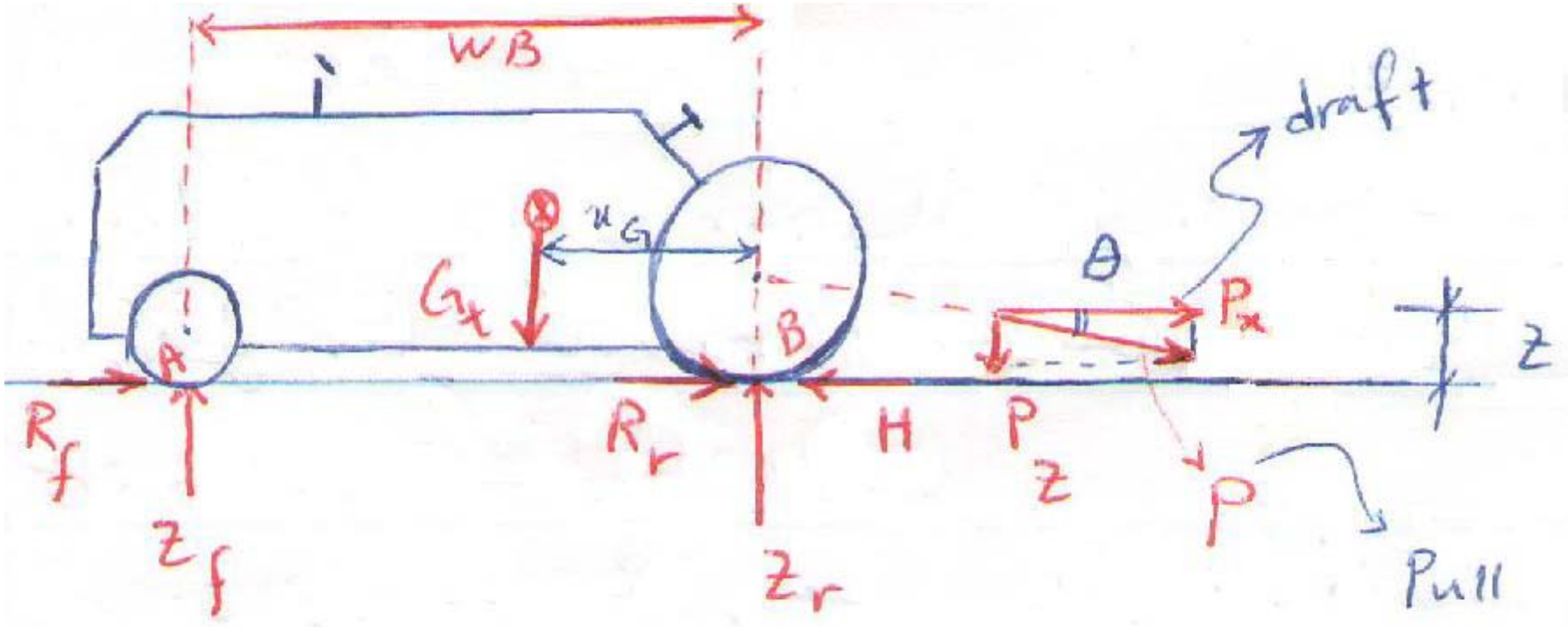
هر چه مقدار انتقال وزن بیشتر شود، زمین گرایی یا کشش بهبود پیدا می کند. اما از سوی دیگر، پایداری تراکتور با مشکل مواجه می شود.

$$Z_f = 0 \rightarrow P_{critical} = \frac{W_f . WB}{Z}$$

- به عبارت دیگر، هرچه WB بیشتر شود، تراکتور دیرتر واژگون می شود. اما افزایش WB از حدی بیشتر نیز سبب ایجاد مشکل در سیستم انتقال قدرت می شود و لذا افزایش طول اتکاء نیز حدی دارد و اینها مسائل مهم در طراحی تراکتورهاست.
- هرچه نقطه اتصال مالبندی پایین تر باشد (Z کمتر شود)، تراکتور دیرتر واژگون می شود، چون $P_{critical}$ بزرگتر می شود. اما نمی توانیم نقطه اتصال مالبندی را هم از حدی پایین تر آوریم و برای مقایسه کردن دو تراکتور مهم است.
- در مورد Z_f قسمتی از آن از وزن استاتیکی ناشی می شود و قسمتی هم که ناشی از کشش است (انتقال وزن) از آن کاسته می شود. در کل این نیرو به چرخ جلو وارد می شود و بنابراین برای محاسبه $P_{critical}$ این نیرو را مساوی صفر قرار می دهیم.
- هم چنین اگر P به $P_{critical}$ برسد فرمان دادن هم مشکل می شود، چون برای فرمان دادن عکس العمل خاک (نیروهای خاک) لازم است.

4-Tractor Pulling (non-parallel pull)

- در این حالت فرضیات حالت ۳ به غیر از ۳ و ۶ صادق هستند.



$$\sum F_X = 0 \rightarrow \; R_r + R_f + p.\cos\theta - H = 0$$

$$\rightarrow H = R_r + R_f + p.\cos\theta$$

بنابراین باید بقدری H تولید شود که علاوه بر مقاومت غلتشی P_x را هم خنثی کند.

منظور از قدرت مالبندی $P_x.V_a$ است. اگر سرعت نظری مشخص باشد، با استفاده از $V_a=V_t(1-i)$ به سرعت واقعي تبديل كرده و در P_x ضرب می کنیم.

$$\sum F_z = 0 \rightarrow Z_r + Z_f - G_t - p.\sin\theta = 0$$

$$\sum M_B = 0 \rightarrow Z_f(WB) - G_t x_G + P\cos\theta.Z = 0$$

$$Z_f = G_t\left(\frac{X_G}{WB}\right) - \frac{P\cos\theta.\, Z}{WB}$$

$$Z_r = G_t\left(1 - \frac{X_G}{WB}\right) + \frac{P\cos\theta.\, Z}{WB} + P\sin\theta$$

W_s= Static weight

W_t= Transferred weight

W_a=Added weight

بنابراین در مورد Z_f از نظر فیزیکی و مفهوم فیزیکی هیچ گونه تغییری در ماهیت رابطه بدست آمده در حالت ۳ نداریم و فقط پارامترهای رابطه عوض شده اند.

- اما در مورد Z_r وقتی کشش با زاویه اعمال می شود علاوه بر ترم W_t یعنی انتقال وزن، ترم دیگری هم پیدا شد که همان W_a یعنی اضافه وزن (Weight addition) می باشد که متناسب با کشش مقداری وزن روی چرخ های محرک اضافه می شود و هر چه θ بیشتر باشد، این اضافه وزن هم بیشتر می شود

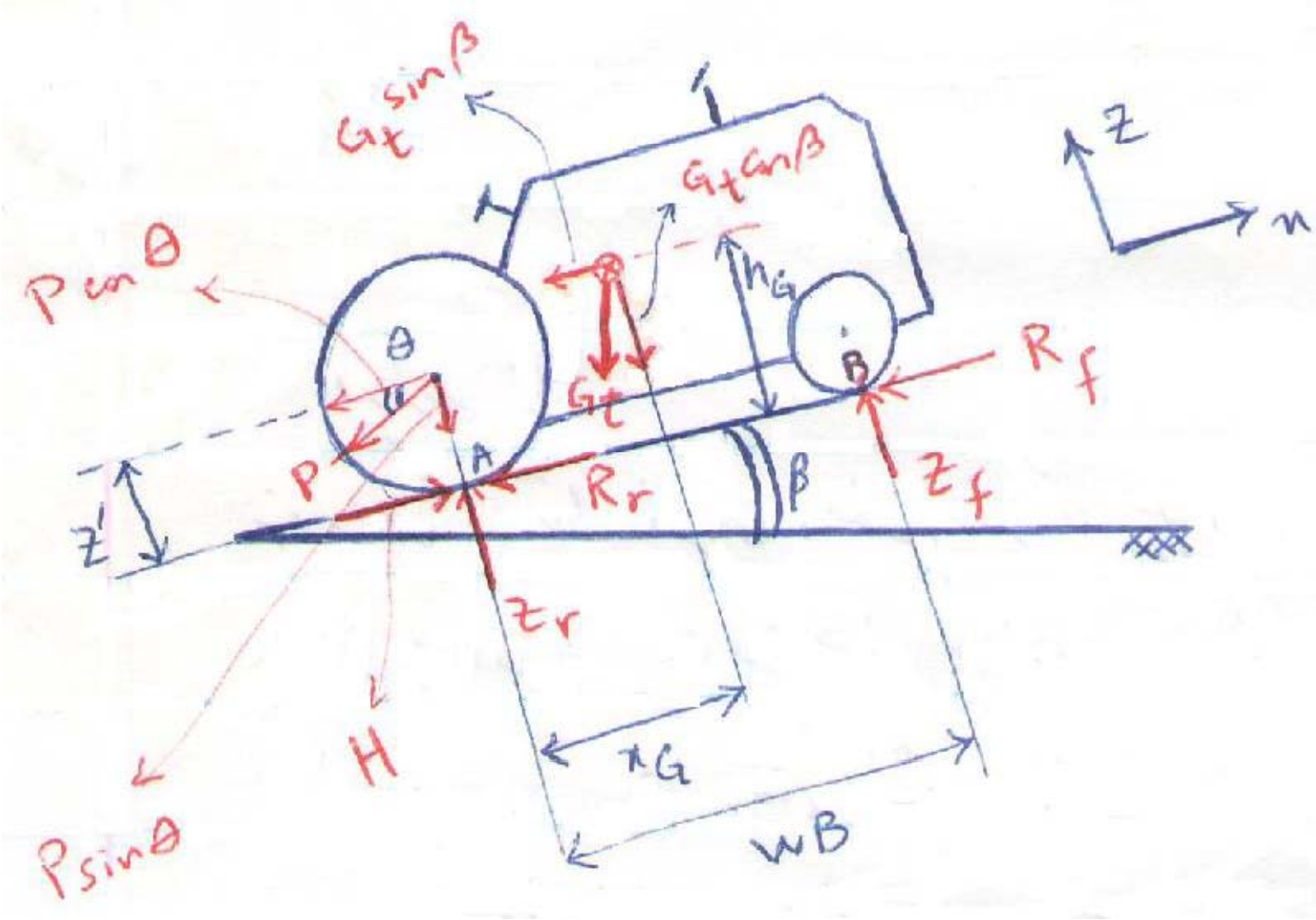
- پس هر وسیله ای که انتخاب می کنیم اگر θ کمتری داشته باشد، اضافه وزن روی چرخ های عقب کمتر می شود و اگر چرخ تثبیت عمق هم داشته باشیم، مقداری از وزن را می گیرد (چون نیروی N حمایت کننده چرخ به سمت بالاست).

- **نکته ۱:** حتی اگر وسیله هم موازی سطح زمین بسته شود (D افقی)، بر اثر وزن وسیله G_p، کشش عملاً موازی با سطح زمین نخواهد بود و اغلب همین است.

- **نکته ۲:** در مسائل کشش مدام صحبت از بار دینامیکی بود که منظور مجموع سه ترم W_s وW_t و W_a است. به عبارت دیگر، $W_s + W_t + W_a$ = بار دینامیکی و مجموع این سه ترم است که روی تولید H اثر می گذارد.

5- Tractor Pulling grade and non-parallel pull (steady-state condition)

حرکت تراکتور با یک کشش زاویه دار روی سطح شیب دار



تنها مولفه ای که کار انجام می دهد $P\cos\theta$ است. زیرا $V_a \times DBP = P\cos\theta$

$$\sum F_X = 0 \rightarrow H - R_r + R_f + G_t \sin\beta + p\cos\theta = 0 \qquad (۱)$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow Z_r + Z_f - G_t \cos\beta - p\sin\theta = 0 \qquad (۲)$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow P.Z - (G_t \cos\beta)x_G + (G_t \sin\beta)h_G + Z_f.WB = 0 \qquad (۳)$$

تنها مجهول در رابطه ۳، Z_f است، لذا این رابطه را برحسب Z_f می نویسیم:

$$Z_f = \frac{G_t}{WB}(x_G \cos\beta - h_G \sin\beta) - \frac{P.Z}{WB} \qquad (۴)$$

$$Z_f = Z_f' - W_t \qquad (۵)$$

چون در رابطه Z_f علاوه بر ترم منفي انتقال وزن، يك ترم منفي هم در Z'_f داريم يعني عبارت $-h_G.\sin\beta$، لذا خيلي سريع به حالت بحراني مي‌رسيم و هرچه h_G و زاويه شيب (β) بيشتر باشند، اين ترم منفي هم بيشتر خواهد شد.

با جايگذاري رابطه ۵ در رابطه ۲:

$$Z_r = G_t.WB - Z'_f + W_t + P\sin\theta$$

$$\longrightarrow \quad Z_r = Z_r^{'} + W_t + W_a$$

Z'_r : بيانگر مقادير نيروي استاتيكي است كه روي چرخ‌هاي عقب است، صرف‌نظر از اينكه كشش وجود داشته باشد يا خير.

W_t: همان انتقال وزن است (P.Z/WB).

W_a: همان اضافه وزن است (P.Sinθ) كه مؤلفه‌اي از نيروي كششي بود كه به چرخ‌هاي عقب منتقل شده و باعث بهتر درگير شدن آنها مي شود.

- بنابراين زماني كه روي سطح شيب‌دار حركت مي‌كنيم، تنها در Z'_f و Z'_r تأثير داشت (در پارامترها) ولي در مقدار انتقال‌ها نسبت به زماني كه روي سطح صاف حركت مي كنيم تفاوتي پيدا نكرده است.

- تأثير اساسي Z_r روي توليد Traction است. با افزايش زاويه نيروي كشش، مقدار بار ديناميكي روي چرخ‌هاي عقب زياد مي‌شود (تأثير θ در عبارت $P\sin\theta$) و در نتيجه بهبود درگيري و توليد كشش بيشتر را باعث مي شود. بنابراين، هر اتصالي كه باعث كم شدن زاويه كشش شود، باعث مي‌شود كه مقدار بار ديناميكي روي چرخ‌هاي عقب كم شود. بنابراين، نوع اتصال هم مهم است.

تأثير زاويه سطح شيبدار: با افزايش β، عبارت $G_t.\cos\beta$ كم مي‌شود و لذا باعث كم شدن Z_r مي شود.
تأثير ديگر آن طبق رابطه ۱ مشخص مي‌شود:

$$P = \frac{H - G_t \sin\beta - (R_r + R_f)}{\cos\theta}$$

مطابق اين رابطه با افزايش β، مقدار P كاهش پيدا مي‌كند. در نتيجه، افزايش β از يك سو Z_r را كاهش مي‌دهد و از طرف ديگر، عبارت $G_t.\sin\beta$ كه خلاف جهت شيب است زياد شده و P كاهش پيدا مي‌كند.