دينـاميك تراكتور B- Tractor Dynamics

- فرضيات:
- صاف بودن سطح زمين
- تحليل حركت تراكتور به صورت ۲ بعدي
- صرف‌نظر كردن از اثرات اينرسي چرخ هاي جلو به علت سبك بودن آنـها
- صرف‌نظر كردن از اثرات نيروهاي آيروديناميكي به علت پائين بودن سرعت حركت

- کل تراکتور را به دو زیرمجموعه (Sub System) تقسیم‌بندي مي‌کنیم:

الف) سیستم چرخ‌هاي عقب و اکسل عقب

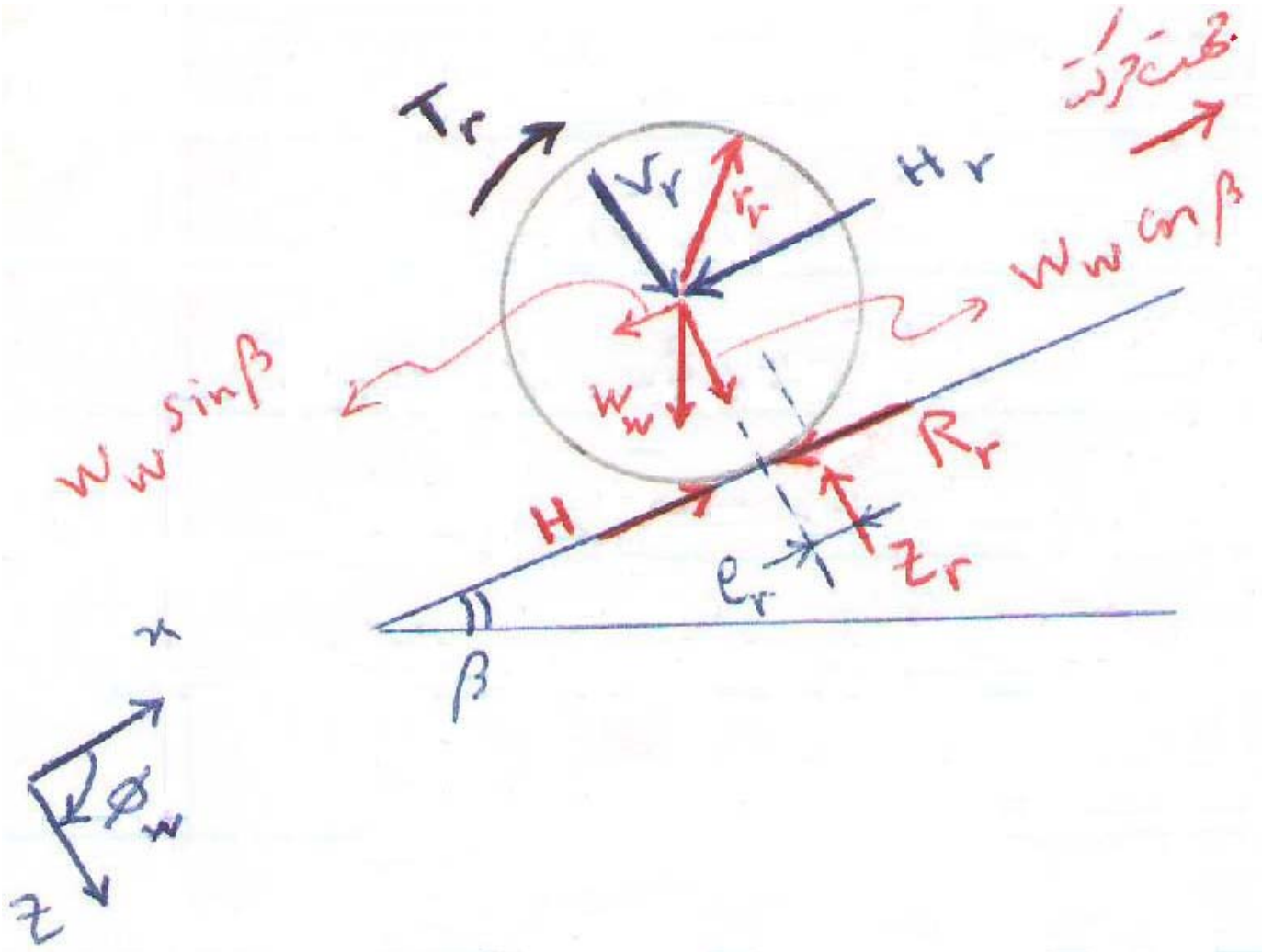
Rear wheels & rear axle

ب) سیستم شاسي تراکتور، موتور و اکسل جلو

Body of the tractor, the engine and the front axle

سپس اثرات دو سیستم روي یکدیگر را به صورت نیروها و گشتاور نشان مي‌دهیم.

الف- سيستم چرخ‌هاي عقب و اكسل عقب



W_W: وزن روي چرخ‌هاي عقب

نيروهاي H_r و V_r و گشتاور T_r نيز عكس‌العمل زير مجموعه ب هستند.

با توجه به شكل:

$$\Sigma F_x = ma_x \rightarrow \quad H - R_r - W_w \sin\beta - H_r = (\frac{W_w}{g})\ddot{x} \qquad (۱)$$

$$\Sigma F_z = ma_z \rightarrow \quad V_r + W_w \cos\beta - Z_r = (\frac{W_w}{g})\ddot{Z} \qquad (۲)$$

به غير از معادلات فوق، يك جسم چرخان داريم كه براي شتاب دادن به آن به گشتاور احتياج داريم:

$$M_p = I_p \alpha_p \rightarrow T_r - Z_r e_r - (H - R_r) r_r = I_w \ddot{\phi}_w$$

I_w: ممان اينرسي چرخ نسبت به گرانيگاه

بنابراين، فرض بر اين است كه مركز چرخش با گرانيگاه چرخ يكي است (مركز جرم با مركز دوران يكي است).

اما طبق تئوري كشش:

$$R_r \times r_r = Z_r \times e_r \rightarrow e_r = (\frac{R_r}{Z_r}) r_r$$

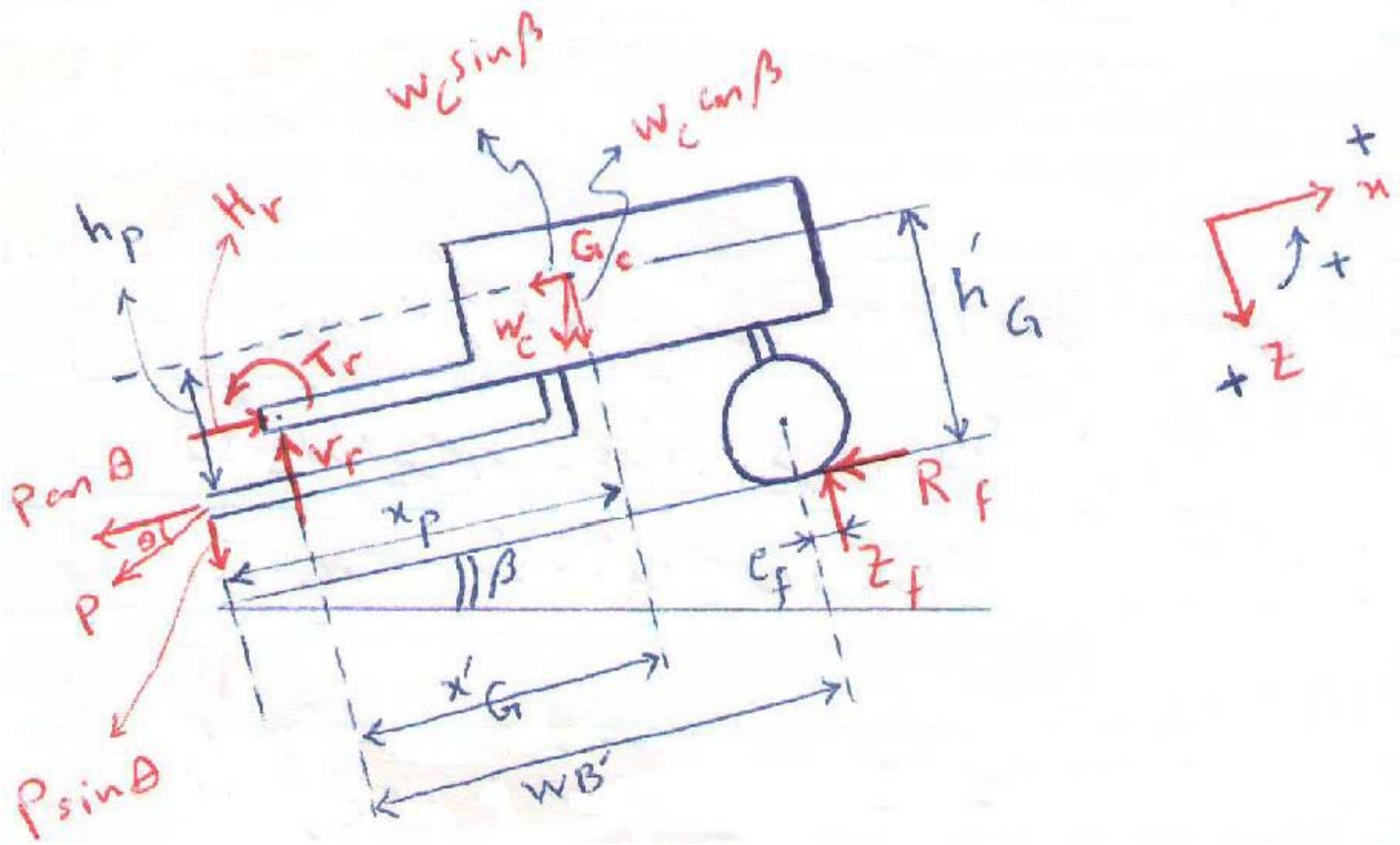
$$\rightarrow I_w \ddot{\phi}_w = T_r - Hr_r + R_r r_r - Z_r e_r$$

جايگزيني e_r در رابطه فوق نتيجه مي دهد:

$$\boxed{\rightarrow I_w \ddot{\phi}_w = T_r - Hr_r} \quad (۳)$$

در اينجا اثري از كشش مشاهده نمي‌شود، چون كشش به شاسي منتقل مي‌شود نه به چرخ.

ب- سيستم شامل شاسي تراكتور، موتور و اكسل جلو



با توجه به شكل:

$$\Sigma F_x = ma_x \rightarrow H_r - W_c \sin\beta - P\cos\theta - R_f = (\frac{W_c}{g})\ddot{x} \quad (۴)$$

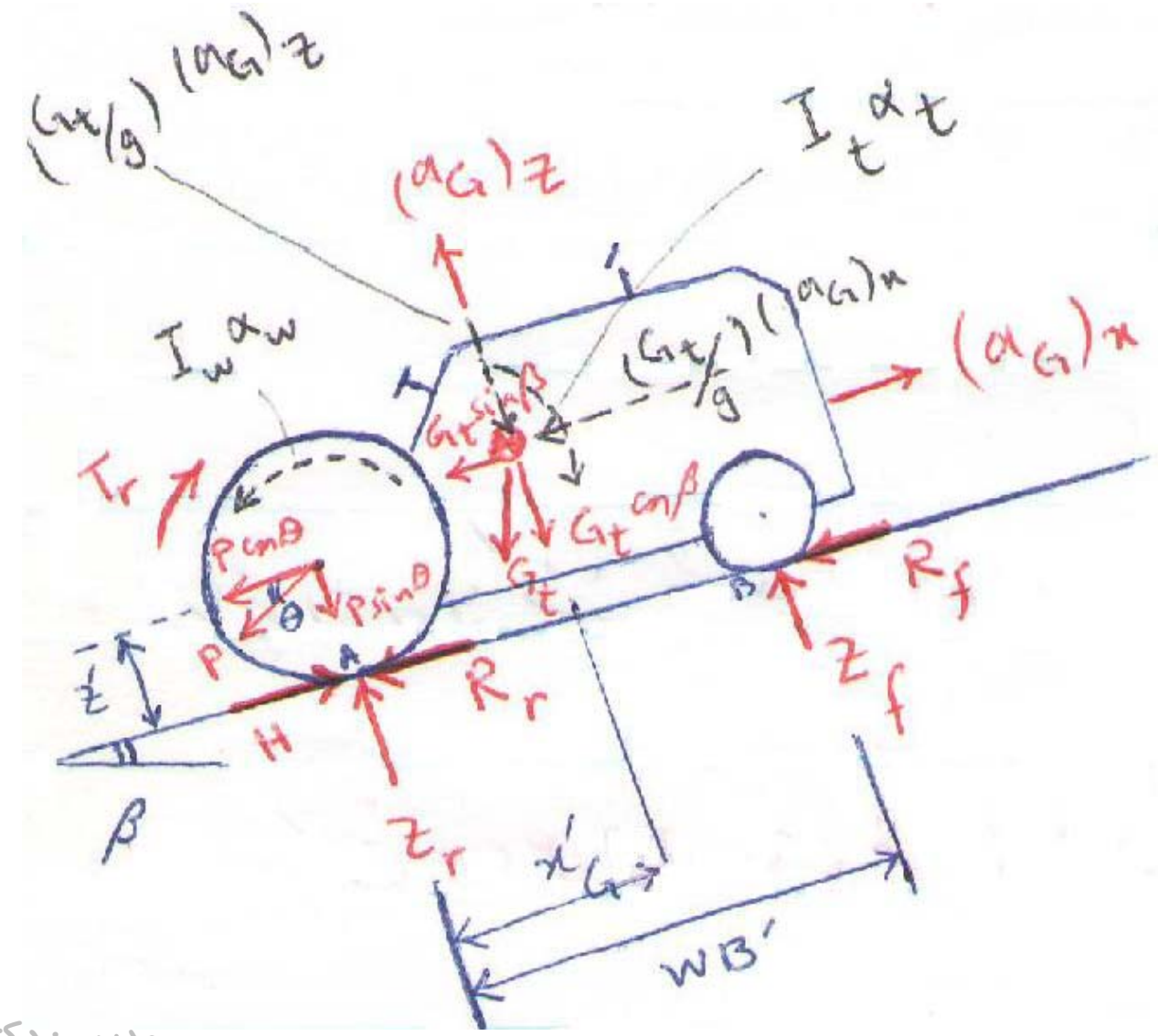
$$\Sigma F_z = ma_z \rightarrow P\sin\theta + W_c \cos\beta - V_r - Z_f = (\frac{W_c}{g})\ddot{z} \quad (۵)$$

$$\Sigma M_c = I_c\alpha_c \rightarrow Z_f[(WB' + e_f) - x'_G] - R_f h'_G - V_r x'_G + H_r(h'_G - r_r) + T_r + (P\sin\theta)x_p - (P\cos\theta)h_p = 0 \quad (۶)$$

كل تراكتور ۴ درجه آزادي دارد و حال آنكه ۶ معادله داريم (در صورتي كه براي هر درجه آزادي بايد يك معادله داشته باشيم).
هر نوع قيدي در سيستم اعمال شود، يك درجه آزادي را كم مي‌كند و لذا وقتي دو زير سيستم را با هم در نظر مي‌گيريم، ۴ معادله به دست مي‌آيد و دوتاي آنها حذف مي‌شود. پس كل تراكتور ۴ معادله حركت دارد.

حرکت تراکتور روي سطح شیب‌دار با سرعت متغیر

Tractor movement on inclined plane with variable velocity



در شکل نشان داده شده:

- **در تعادل ديناميكي سيستم مختصات شامل دو نوع نيرو است كه يكي نيروهاي واقعي و ديگري نيروهاي ديناميكي ناشي از اينرسي مي باشند.**
- **در شكل نيروهاي واقعي با سهم‌هاي ممتد و نيروهاي ناشي از اينرسي به صورت خط چين نشان داده شده اند، چون واقعي نمي باشند (وجود خارجي ندارند).**
- **يك كوپل اينرسي به خود تراكتور وارد مي‌شود كه با چرخش تراكتور مخالفت مي‌كند.**
- **يك كوپل اينرسي هم به چرخ وارد مي‌شود، چون دومين جسم چرخان خود چرخ است كه اين كوپل با تغيير دور آن مخالفت مي كند.**

۱ـ تغییر ناگهاني سرعت در تراکتور به دو حالت صورت مي‌گیرد:

الف- افزایش سرعت و ب- کاهش سرعت

و در این دو حالت نیروي اینرسي $F=(G_t/g)(a_G)_x$ وارد مي‌شود که با تغییر ناگهاني سرعت مخالفت مي‌کند.

مثال: مي‌خواهیم سرعت یك تراکتور با جرم ۳۰۰۰kg را از حالت توقف در مدت ۵s به ۳/۶ km/h برسانیم:

$$F = (\frac{G_t}{g})(a_g)_x = 3000(\frac{1-0}{5}) = 600\,N$$

همین تراکتور رامي‌خواهیم در مدت ۰/۵ s متوقف کنیم:

$$F' = 3000(\frac{1-0}{0.5}) = 6000\,N$$

بنابراین، زمان بسیار مهم است و نیروي اینرسي در هنگام ترمز کردن شدید است و ظهور آن بیشتر است.

۲- اگر به هر دليلي تعادل تراکتور برهم بخورد و تراکتور بخواهد به عقب دوران کند، مؤلف دوم اينرسي يعني $F=(G_t/g)(a_G)_z$ ظاهر مي‌شود و اين نيروي اينرسي تمايل دارد از چپه شدن تراکتور جلوگيري کند.

۳- کوپل اينرسي $I_t\alpha_t$ موقعي ظاهر مي شود که تراکتور بخواهد حول محور عرضي بچرخد، که I_t ممان اينرسي کل تراکتور حول محور عرضي تراکتور است.

۴- کوپل اينرسي $I_w\alpha_w$ هم زماني ظاهر مي‌شود که چرخ تغيير دور داشته باشد که α_w نسبت به شاسي يا بدنه تراکتور است.

- لازم بـه توضـيح اسـت کـه **مقاومـت هـوا** هـم ظـاهر مـي‌شـود کـه چـون سرعت تراکتور کم است از آن صرف‌نظر مي کنيم.

- **نيروهاي ژيروسکوپي** نيز که موقع دوران داشتن يـا دور زدن تراکتـور يا هر وسيله ديگر ظـاهر مـي‌شوند، وجـود دارنـد. در تراکتـور قطعـات دورانـي زيـاد اسـت (مثـل موتـور)، لـذا اگـر خـود تراکتـور هـم حرکـت دورانـي نداشـته باشـد و دورنزنـد و بـه عبـارت ديگـر، در خـط مسـتقيم حرکت کند، اين نيروها وجود دارند، ولي در کل از آنـها نيز صـرف‌نظر مـي‌شود.

$$\Sigma \vec{F} - m\vec{a} = \vec{0}$$

$$\Sigma F_x = ma_x \Rightarrow H - R_r - R_f - G_t \sin\beta - P\cos\theta = \left(\frac{G_t}{g}\right)(a_G)_x$$

$$H - R_r - R_f - G_t \sin\beta - P\cos\theta - \left(\frac{G_t}{g}\right)(a_G)_x = 0 \quad (1)$$

- در صورتي تراكتور شتاب مي‌گيرد كه نيروي H (مقدار thrust) كه در سطح زمين ايجاد مي‌شود، بيشتر از نيروهاي منفي (نيروهايي كه با حركت مخالفت مي‌كنند) موجود در رابطه ۱ بشود. در اين صورت تغيير سرعت (شتاب) داريم.

- مفهوم رابطه ۱ اين است كه يك نيروي اضافي نيز در خلاف جهت حركت ظاهر مي شود كه H بايد آن را هم خنثي كند. به عبارت ديگر، وقتي عمليات شخم‌زدن را انجام مي‌دهيم و ترمز مي گيريم و يا برعكس سرعت را زياد مي كنيم، يك نيروي مقاوم ديگر هم ظاهر مي‌شود.

$$\Sigma F_z = ma_z \Rightarrow Z_r - Z_f - P\sin\beta - G_t\cos\beta = (\frac{G_t}{g})(a_G)_z$$

$$Z_r + Z_f - P\sin\beta - G_t\cos\beta - (\frac{G_t}{g})(a_G)_z = \circ \quad (۲)$$

معادلات ۱ و ۲ براي حركت انتقالي (Translational motion) هستند.

$$\Sigma M_A = I_t\alpha_t + ma_G d$$

d: فاصله بين مركز جرم تا مركز دوران

$$Z_f.WB' + P.Z_1' + (G_t\sin\beta)h_G' - (G_t\cos\beta)x_G' + I_w\alpha_w =$$
$$I_t\alpha_t + (\frac{G_t}{g})(a_G)_z x_G' - (\frac{G_t}{g})(a_G)_x h_G' \quad (۳)$$

α_w: شتاب زاويه‌اي چرخ

قبلاً اشاره شد كه از ۶ معادله نوشته شده براي دو زيرسيستم در نظر گرفته شده، ۲ تاي آنها بر اثر قيود حذف خواهد شد و در نهايت ۴ معادله بدست مي‌آيد.

تا اينجا ۳ رابطه نوشته شده است و تنها يك رابطه ديگر احتياج داريم تا بتوانيم حركت تراكتور با ۴ درجه آزادي را تفسير و بررسي كنيم.

يك رابطه هم براي چرخ مي‌نويسيم:

$$I_w = \ddot{\phi}_w = T_r - Hr_r \quad (۴)$$

مفهوم اصلي Slip:

$$i = 1 - \frac{V_a}{V_t} \rightarrow i = 1 - \frac{\dot{x}_w}{r_r \dot{\phi}_w}$$

- معادله ۳ براي تفسير تعادل و پايداري طولي تراکتور به کار مي‌رود:

$$\Sigma M - I.\alpha = 0$$

$$PZ'_1 + G_t h'_G \sin\beta + Z_f WB' + I_w \alpha_w + (\frac{G_t}{g})(a_G)_x h'_G$$

$$-[G_t x'_G \cos\beta + I_t \alpha_t + (\frac{G_t}{g})(a_G)_z . x'_G] = 0$$

اگر مقادير داخل کروشه زياد شوند، به تعادل و پايداري تراکتور کمك مي‌کنند.

از نظر تعادل، اضافه کردن وزنه به شاسي باعث افزايش I_t شده و تعادل را بهبود مي‌بخشد. در صورتي که وسايل کمك کش و اضافه کردن آب داخل چرخ عقب، باعث افزايش I_w شده و تعادل کمتر مي شود.

- اگر ساير عوامل ثابت باشند، با افزايش ممان اينرسي تراکتور احتمال واژگون شدن تراکتور کم مي‌شود.
- عامل سوم، ارتفاع مرکز ثقل تراکتور است يعني h'_g. بنابراين در لحظه‌اي که تراکتور روي سطح شيب‌دار حرکت مي‌کند فاصله عمودي خيلي مهم است و دو حالت دارد:

الف- وقتي مرکز ثقل تراکتور بالاتر از مرکز چرخ قرار دارد، طول بازوي وزن بيشتر شده و تعادل بهبود بخشيده مي‌شود.

ب- وقتي مرکز ثقل پايين‌تر از مرکز چرخ قرار بگيرد، طول بازوي وزن کوتاه‌تر شده و باعث عدم تعادل مي‌شود.

- در مورد تأثير ترم‌هاي I_w، I_t و h'_g بحث کرديم. ليکن در مورد عوامل ديگر، چون هم داخل کروشه هستند و هم بيرون از کروشه، نمي‌توانيم بحث کنيم.
- وقتي در موقع حرکت در سطح شيب‌دار کلاچ بگيريم، اگر I_w زياد باشد، احتمال واژگون شدن تراکتور بيشتر است، چون ترم $I_w\alpha_w$ هرچه کمتر باشد در بهبود تعادل بهتر است.