

روش تجربی

روش تجربی

- روش تجربی ارزیابی کشش یا گیرایی با استفاده از تحلیل ابعادی و شاخص مخروطی
- همان طور که قبلاً اشاره شد، در ارزیابی و برآورد کشش، سه روش استفاده می شود .

۱- روش نظری

۲- روش نیمه تجربی

۳- روش کاملاً تجربی

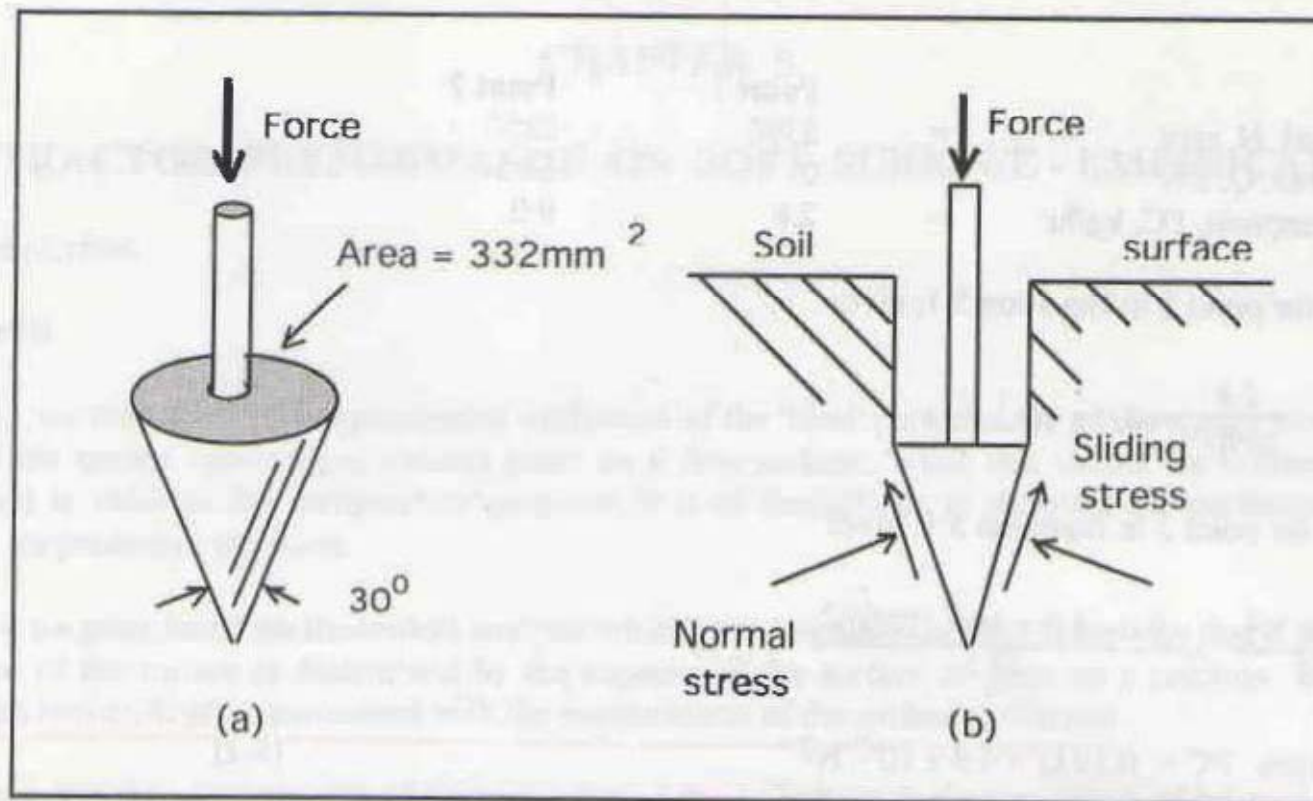
- در روش نظری از تئوری های شناخته شده برای ارزیابی کشش استفاده میشود. همان طور که در طراحی جامدات از **تئوری الاستیسیته**، استفاده می شود، در اینجا چون با خاک سروکار داریم، از **تئوری پلاستیسیته** استفاده می شود. البته روابط ایجاد شده در این روش خیلی پیچیده است و معمولاً با کامپیوتر حل می شود، چون شرایط مرزی فرق می کند و متغیر است.
- بنابراین، روش نظری هر چند برای تحلیل مفید است، لیکن برای طراح چندان مناسب نیست. زیر طراح لازم دارد تأثیر عوامل مختلف را در کشش در نظر بگیرد. از این رو معمولاً از روش های دوم و سوم استفاده می شود.

روش تجربی

- روش نیمه تجربی همان **آزمایش های برش و فرورفتگی (نشست)** بود که در آزمایش برش پارامترهای **C، ϕ و K** (ضریب تغییر فرم برشی) تعیین شده و کشش ناخالص محاسبه می شود. در آزمایش فرو رفتگی نیز ثابت های سفتی خاک (**n، k_C و k_ϕ**) تعیین و سپس مقاومت غلتشی محاسبه می شود.
- پس باید ۶ خاصیت اندازه گیری شود که احتیاج به امکانات پیچیده داشته و بعلاوه زمان بر هم بار می باشد.
- مسئله دوم برای روش نیمه تجربی **مبحث تفاوت نمونه های خاک دست خورده و خاک دست نخورده** است.
- در این آزمایش ها چون از کارهای عملی استفاده می شود و از سوی دیگر از یک سری روابط برای محاسبه پارامترها استفاده می شود، به این روش نیمه تجربی یا نیمه نظری گفته می شود.
- در مورد چرخ های محرک به ویژه چرخ های لاستیکی که از مسائل خاص خودشان برخوردار هستند، روش نیمه تجربی مناسب نمی باشد. بنابراین، معمولاً از روش کاملاً تجربی استفاده می شود.
- در روش کاملاً تجربی پارامتر خاک، **شاخص مخروطی (Cone Index)** می باشد. پارامترهای ماشین هم که قبلاً گفته شد.

شاخص مخروطی (Cone Index)

- این شاخص در واقع یک پارامتر مرکب (complex and ill defined parameter) است که هم تأثیر چسبندگی خاک و ضریب اصطکاک داخلی خاک را در بر می گیرد و هم تأثیر ضریب اصطکاک خاک روی فلر (اصطکاک خارجی) را.



Cone penetrometer for measurement of soil parameter

روش تجربی

- برای تعیین شاخص مخروطی خاک که بیانگر مقاومت خاک است از وسیله ای بنام **نفوذ سنج یا فروسنج مخروطی (Cone penetrometer)** استفاده می شود.

- در حقیقت، نیروی لازم برای فرو بردن یک مخروط با زاویه رأس 30° در خاک به سطح مقطع پایه مخروط را شاخص مخروطی خاک می گویند.

$$CI = \frac{\text{Force on the cone}}{\text{Base area of the cone}}$$

روش تجربی

- در تعیین شاخص مخروطی خاک از دو نوع مخروط استاندارد استفاده می شود که قطر سطح مقطع یکی ۲۰/۲۷ میلیمتر و قطر سطح مقطع دومی ۱۲/۸۳ میلیمتر است.
- برای خاک های نرم از آنکه قطر سطح مقطع بیشتری دارد استفاده می شود. برای خاک های سنگین، مثل خاک های ایران از مخروط استاندارد با قطر کمتر استفاده می شود.
- در انواع قدیمی یک حلقه لغزشی Slip ring وجود دارد که تغییر فرم ایجاد شده به یک عقربه مندرج منتقل شده که بوسیله آن نیرو قرائت می شود، همچنین عمق نفوذ هم قرائت می شود.
- در خاک های با مقاومت متغیر باید تعداد نمونه گیری زیاد باشد و میانگین نمونه برداری ها ذکر شود که در انواع دستی این کار مشکل است، لیکن امروزه با انواع کامپیوتری و دیجیتالی نفوذ سنج ها که هم نیرو و هم عمق را به صورت اتوماتیک اندازه گیری می کنند، این کار به آسانی انجام می شود.

روش تجربی

- از دیگر نکات مهم در مورد نفوذ سنج ها این است که مخروط باید با یک **سرعت ثابت استاندارد** در خاک وارد شود. این سرعت استاندارد 30 mm/s (72 in/min) است. این نکته از آنجا اهمیت دارد که در بعضی موارد سرعت نفوذ روی عکس العمل نفوذ سنج مخروطی تأثیر می گذارد.

- معمولاً شاخص مخروطی (CI) به یکی از روش های زیر بیان می شود:
- CI در یک نقطه تعیین و گزارش می شود، به عنوان مثال:

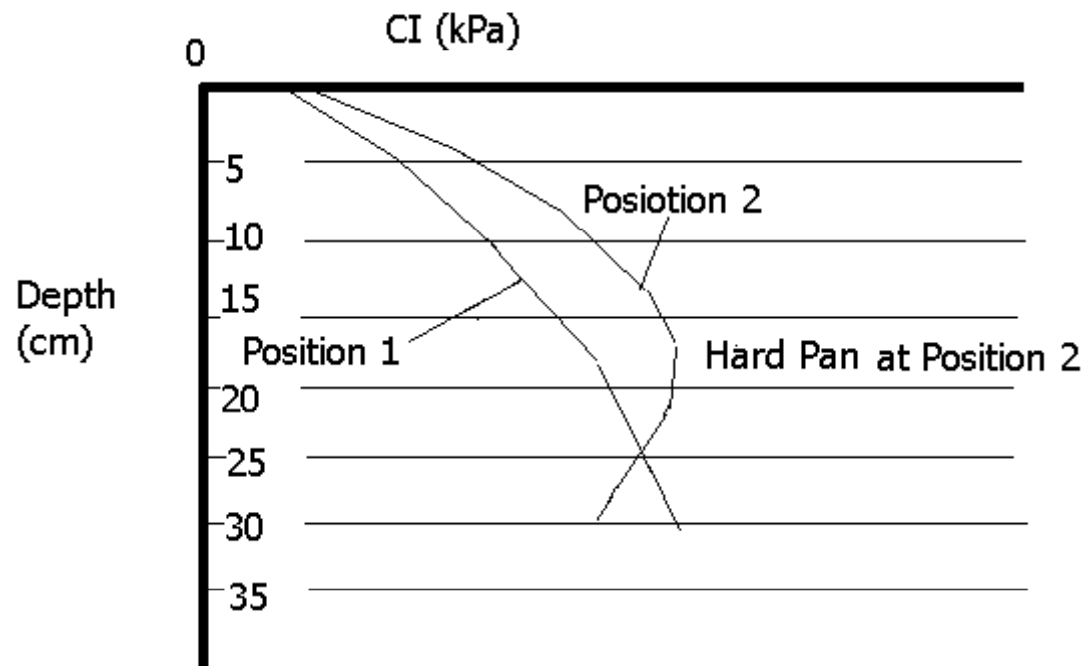
$$\text{CI at 25 mm} = 100 \text{ N/cm}^2$$

- CI برای یک محدوده از عمق تعیین می شود:

مثلاً از 0 تا 15 cm و سپس میانگین گرفته می شود و CI برای خاک گزارش می شود. در برآورد Traction به روش کاملاً تجربی، معمولاً از این روش استفاده می شود و عمق 0-15 cm.

روش تجربی

- CI به صورت یک پروفیل یا گراف ارائه می شود که معمولاً برای تشخیص سخت لایه از این روش استفاده می شود.



عوامل مؤثر بر C.I. خاک:

- ۱- رطوبت خاک (MC)
- ۲- وزن مخصوص ظاهری (BD)
- ۳- بافت خاک: Soil texture

بنابراین، اگر دو خاک رطوبت یکسانی نداشته باشند، مقایسه CI آنها غیر اصولی است و باید شرایط رطوبتی آنها یکسان باشد.

و در نتیجه، هنگام اندازه گیری CI، باید MC و BD خاک گزارش شوند. در ارزیابی کشتش این گزارشات لازم است، لیکن در مورد خاک ورزی حتماً باید گزارش شوند و خیلی ضروری است.

در روش کاملاً تجربی برای ارزیابی کشش از روش **تحلیل ابعادی** استفاده می شود که به صورت ذیل انجام می شود (Wismes & Luth , 1974):
- در اولین قدم تمام پارامترهایی که به نحوی تأثیر دارند باید لیست شوند.

پارامترهای مدل چرخ و خاک

بارامتر	نماد	بعد
پارامترهای سیستم		
نیروی بوکسیر	TF	F
نیروی کشش	P	F
گشتاور	T	FL
بار روی چرخ	W	F
لغزش	i	-
پارامترهای چرخ		
پهنای مقطع چرخ	B	L
قطر کلی چرخ	D	L
شعاع فلنشی چرخ	R	L
پارامترهای خاک		
شاخص مخروطی	CI	FL ⁻²

روش تجربی

در حقیقت پاسخ به سؤالات " **what if ...?** " در روش تجربی بستگی به انتخاب مناسب متغیرها و نسبت های بدون بعد، داده های آزمایشی و برآزش معادلات به داده ها دارد.

- در قدم بعدی بعد از تعیین و لیست گیری پارامترها، تعدادی **نسبت بدون بعد** نوشته می شود.

برای تعیین تعداد نسبت های بدون بعد از **تئوری پی باکینگهام** (Bukingham P Theorem) استفاده می شود که بیان می کند:

تعداد واحدهای مستقل – تعداد متغیرها = تعداد نسبت های بدون بعد

که در اینجا:

$$7 = 9 - 2 = \text{تعداد نسبت های بدون بعد}$$

$$\frac{TF}{W}, \frac{P}{W}, \frac{T}{rW} = f\left(\frac{Cl.b.d}{W}, \bar{d}, \bar{d}', i\right)$$

روش تجربی

انتخاب نسبت های بدون بعد وابسته مهم است و باید مفهوم فیزیکی داشته باشند، به عنوان مثال P/W همان ضریب کشش خالص است.
ترم زیر:

$$C_n = \frac{C_l \cdot b \cdot d}{W}$$

تحت عنوان عدد چرخ "**wheel numeric**" نامیده می شود. در این عدد هم تأثیر اندازه لاستیک وجود دارد و هم تأثیر بار دینامیکی روی چرخ و مقاومت خاک.

روش تجربی

- برای محاسبه عدد چرخ، CI را برای متوسط عمق ۰ تا ۱۵ سانتی متر بدست می آورند، چون این لایه از خاک در کشش مؤثر است.
- به عبارت دیگر، برای معادلات کشش، شاخص مخروطی متوسط بین ۰ تا ۱۵ سانتی متر، بهترین نتیجه را برای ماشین هایی با فرورفتگی لاستیک تا کمتر از ۷/۵ سانتی متر در خاک نشان داده است.
- بهر حال، چنانچه فرورفتگی لاستیک در خاک بیش از این مقدار باشد، شاخص مخروطی متوسط باید تا عمق بیشتر از ۱۵ سانتی متر مشخص شود.

۱- نیروی بوکسیر شده (Towed Force):

عوامل اصلی مؤثر بر نیروی بوکسیر شده عبارتند از:

- بار روی چرخ
- اندازه لاستیک
- مقاومت خاک
- فشار بار لاستیک

برای ساده تر شدن، دو فرض در نظر گرفته می شود:

اولاً خاک خیلی نرم نباشد و ثانیاً فشار بار لاستیک به اندازه متعارف باشد.

فشار باد متعارف: فشار متعارفی باد لاستیک ادوات کشاورزی که در زمین یا جنگل کار می کنند، مقداری است که در آن مقدار خوابیدگی لاستیک تحت بار، بیش از ۲۰٪ طول مقطع لاستیک (بلندی مقطع لاستیک) در حالت بدون بار و خمیدگی نباشد (معادلات کشش بر این اساس پایه گذاری شده اند).

در این صورت نیروی بوکسیر شده را می توان به طریق زیر پیش بینی کرد:

$$\rho = \frac{TF}{w} = \frac{1.2}{C_n} + 0.04$$

روش تجربی

لازم به ذکر است که برای **حالت نهایی (یعنی خاک خیلی سخت باشد)**، CI خیلی زیاد بوده و در نتیجه C_n خیلی بزرگ می شود و نیروی بوکسیر شده برابر 0.04 بار وارد بر چرخ خواهد شد:

$$TF = 0 + 0.04$$

یعنی نیروی بوکسیر شده در حدود ۴٪ بار دینامیکی وارد بر چرخ می شود و **این حاصل تغییر شکل لاستیک است**، چون خاک خیلی سفت و سخت است (مثل زمین و پی خشک فشرده شده) و **یک مقداری هم از سایش بین لاستیک و خاک ناشی می شود**. به عبارت دیگر، وقتی خاک سخت باشد، عامل اصلی که باعث مقاومت غلتشی می شود، ناشی از تغییر شکل لاستیک و سایش بین لاستیک و خاک است.

لازم به یادآوری است که رابطه اسلاید قبل برای لاستیک هایی با نسبت پهنا به قطر (b/d) در حدود ۳٪ نوشته شده است. می توان انتظار داشت که هرگونه انحراف زیاد از این نسبت پهنا به قطر، رابطه کمی مربوط به تابع نیروی بوکسیر شده را تغییر دهد.

۲- نیروی کشش ناخالص (Gross Traction Force):

تغییرات نیروی کشش ناخالص با مقاومت خاک و لغزش چرخ روی زمین، با رابطه زیر که شامل اثر بار وارده بر چرخ و همچنین اندازه لاستیک است، ارائه شد:

$$\mu_{gt} = \frac{H}{W} = \frac{T}{rW} = 0.75(1 - e^{-0.3C_n l})$$

$$\tau = \tau_{max} (1 - e^{-ix/k})$$

این رابطه مشابه رابطه

است و همه عوامل مؤثر بر کشش ناخالص در آن وجود دارند (مقاومت خاک و اندازه لاستیک و W در C_n وجود دارند و i هم در رابطه وجود دارد).

۳- نیروی کشش خالص (Net Traction Force):

با قرار دادن معادله نیروی بوکسر کننده و نیروی کشش ناخالص در معادله ی

$$\mu_{nt} = \frac{H}{W} - \frac{TF}{W} = \mu_{gt} - \rho$$

نسبت یا ضریب کشش خالص به صورت زیر خواهد شد:

$$\mu_{nt} = \frac{P}{W} = (0.75(1 - e^{-0.3C_n t})) - \left(\frac{1.2}{C_n} + 0.04\right)$$

معادله های ۱، ۲ و ۳ برآورد درستی از عملکرد لاستیک تکی (منفرد)، بجز هنگامی که زمین نرم و سست باشد، نتیجه می دهند. تأثیر تفاوت آج لاستیک در معادلات پیش بینی نشده است.

بازده گیرایی یا کشش (Tractive Efficiency):

همانطور که قبلاً ذکر شد، بازده گیرایی عبارت است از نسبت توان خروجی بدست آمده از یک چرخ به توان ورودی مورد نیاز برای حرکت آن که می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$TE = \frac{\text{Output Power}}{\text{Input Power}} = \frac{PV_a}{T\omega} = \frac{PV_t}{T\omega} (1 - i)$$

$$\longrightarrow TE = \frac{PV_t}{H \cdot r \cdot \frac{V_t}{r}} (1 - i) = \frac{\frac{P}{W}}{\frac{H}{W}} (1 - i) \longrightarrow TE = \frac{\mu_{nt}}{\mu_{gt}} (1 - i)$$

طبق این رابطه، بازده گیرایی بر حسب **نسبت های بدون بعد** نوشته شده است.

روش تجربی

رابطه فوق برای یک چرخ نوشته شده است، لیکن برای یک تراکتور 2WD، چرخ های جلو هر چند هیچ گونه کششی تولید نمی کنند، اما مقاومت غلتشی اعمال می کنند، لذا برای تراکتور دو چرخ محرک، رابطه بازده گیرایی به صورت زیر بیان می شود (Alcock , 1983):

$$(TE)_2 = \left[1 - \left(\frac{1.2}{C_{n2}} + 0.04 \right) + \left(\frac{1}{R} - 1 \right) \left(\frac{1.2}{C_{n2}} + 0.04 \right) (1 - R_{slip}) \right] \times \left[0.75 \left(1 - e^{(-0.3)(C_{n2})(R_{slip})} \right) \right]^{-1}$$

که در آن:

C_{n2} : rear-wheel numeric

C_{n1} : front-wheel numeric

R_{slip} : rear-wheel slippage (decimal)

$$R = \frac{\text{dynamic rear wheel weight}}{\text{total weight}}$$

بنابراین، رابطه فوق اثر چرخ های جلو را هم لحاظ می کند.

اگر slip منفی باشد یعنی سرش دارد و بیش از آنکه وسیله بر اثر چرخیدن باید جلو بیاید، حرکت کرده است.

روش تجربی

عبارت مشابهی نیز برای بیان بازده گیرایی وسیله چهار چرخ محرک ارائه شده است
:(Alcock , 1983)

$$(TE)_4 = DBP / \left[\frac{FAP}{(1 - F_{slip})} + \frac{RAP}{(1 - R_{slip})} \right]$$

در این رابطه،

R_{slip}: rear-wheel slippage (decimal)

F_{slip}: front-wheel slippage (decimal)

FAP : front-wheel axle power

RAP: rear-wheel axle power

DBP : drawbar power

بیشینه کشش:

- برای بیشینه کشش نیز رابطه زیر از طریق مشتق گرفتن از معادلات Wismer و Luth بدست آمد (Voorhees & walker, 1977):

$$\frac{P}{W} = 0.75(1 - e^{-0.3C_n i}) - \left(\frac{1.2}{C_n} + 0.04\right) \quad \text{می دانیم:}$$

$$\longrightarrow \frac{\partial P}{\partial W} = 0.71 - (0.225 C_n i + 0.75)e^{0.3C_n i} - \frac{2.4}{C_n}$$

روش تجربی بر مبنای عدد حرکت (Mobility Number):

- Gee-clough و همکاران همانند معادلات آنالیز ابعادی Wisner و Luth، از یک پارامتر بی بعد به اسم **عدد حرکت** برای ارائه تجربی معادلات پیش بینی کشش استفاده کردند.
- عدد حرکت در واقع یک فرم توسعه یافته ای از عدد چرخ می باشد و به صورت زیر تعریف می شود:

$$M = \frac{CI \cdot b \cdot d}{W} \left(\frac{\delta_t}{h} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{1 + b/2d} \right)$$

که در آن CI شاخص مخروطی خاک، b عرض تایلر، d قطر تایلر، W بار دینامیکی روی تایلر، h ارتفاع یا بلندی مقطع تایلر (section height) و δ_t مقدار خوابیدگی تایلر زیر بار می باشند.

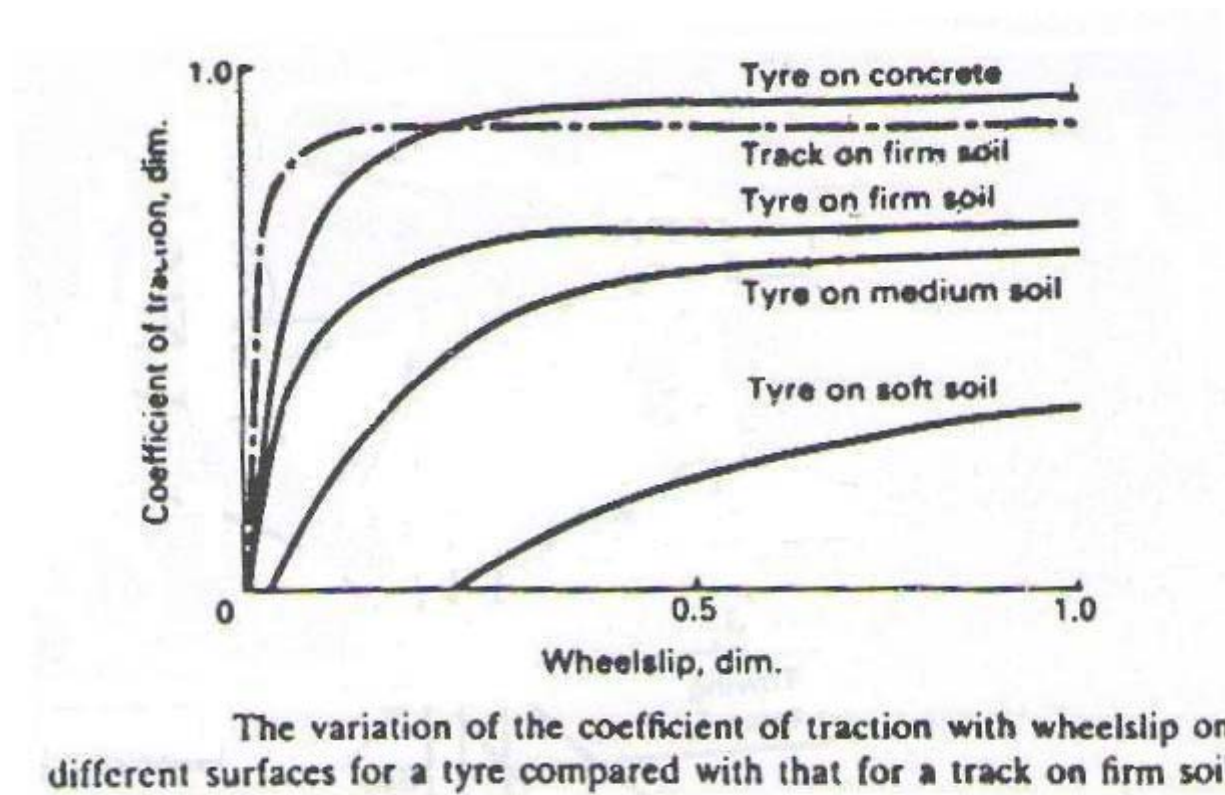
- Wisner و Luth عبارت بدون بعد P/W را در مقابل لغزش رسم کردند، در حالیکه Gee-clough و همکاران همان پارامتر را در مقابل عدد حرکت M رسم کردند.

روش تجربی

- روابط تجربی ارائه شده توسط Gee-clough و همکاران برای **نسبت کشش یا ضریب گیرایی** به صورت زیر می باشد:

$$\mu_{nt} = (\mu_{nt})_{max} (1 - e^{-Ki})$$

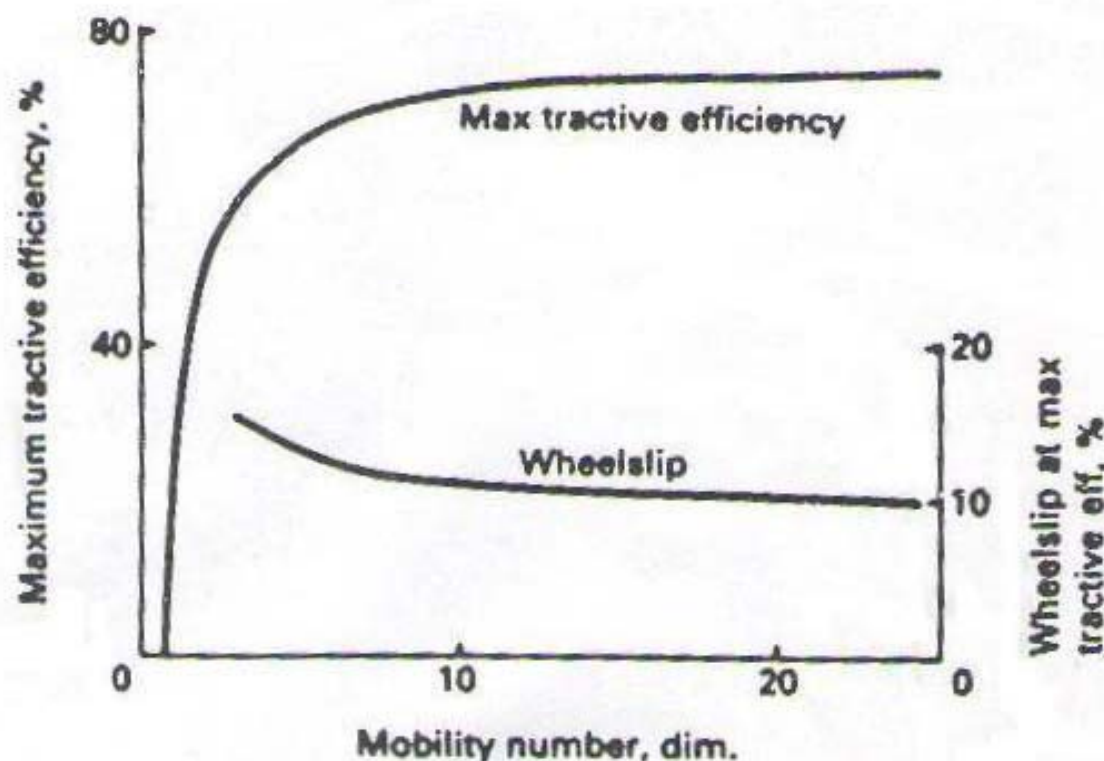
که در آن K **ثابت تغییر (rate constant)** و $(\mu_{nt})_{max}$ **بیشینه ضریب گیرایی** است.



روش تجربی

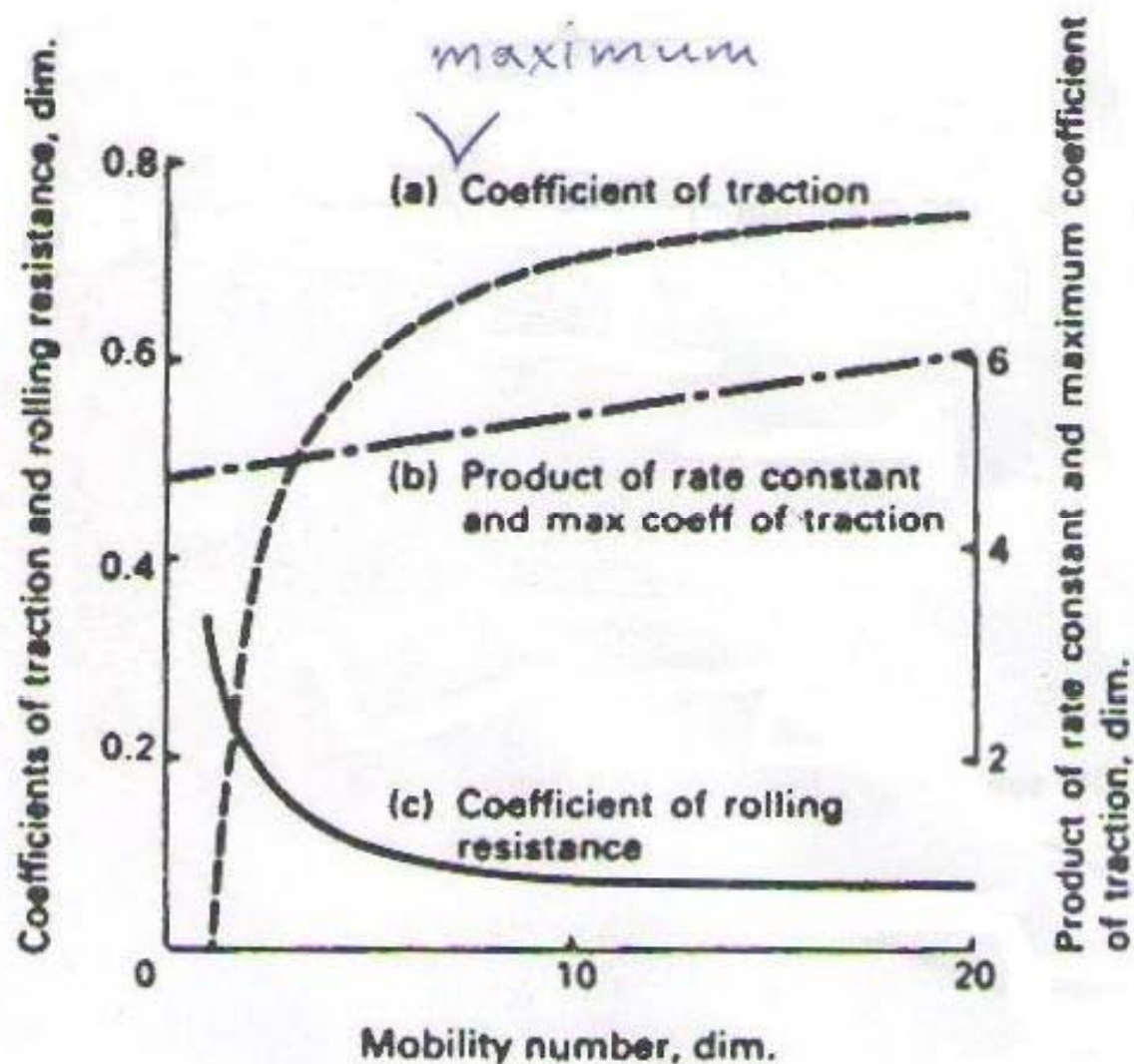
بیشینه ضریب گیرایی خود از رابطه زیر بدست می آید:

$$(\mu_{nt})_{max} = 0.796 - 0.92/M$$



The variation of wheel slip at maximum tractive efficiency and maximum tractive efficiency itself with tyre mobility number.

روش تجربی



The variation of the main traction parameters with tyre mobility number: (a) maximum coefficient of traction; (b) product of rate constant and the maximum coefficient of traction; (c) coefficient of rolling resistance (adapted from Gee-Clough, 1980).

روش تجربی

و برای مقدار ثابت K ، رابطه حاصلضرب این مقدار در بیشینه ضریب کشش خالص به صورت زیر است:

$$K. (\mu_{nt})_{max} = 4.838 + 0.61M$$

Luth و Wismer برای پیش بینی نیروی بوکسیر کننده (TF) از نسبت بدون بعد TF/W استفاده کردند که **ضریب مقاومت غلتشی** نام داشت. در حالیکه، Gee-clough و همکاران برای بیان این ضریب رابطه زیر را ارائه کردند:

$$\rho = \frac{TF}{W} = 0.049 + \frac{0.287}{M}$$

همان طور که ملاحظه می شود شباهت آشکاری بین معادلات ارائه شده توسط هر دو روش وجود دارد.

- لازم به توضیح است که روابط ارائه شده توسعه یافته توسط Gee-clough و همکاران برای شرایط مزرعه ای مثل زمینهای کلشی، شخم خورده و شیار خورده کاربرد دارد.
- این معادلات را برای زمینهای خشک و سخت که مقدار گیرایی بیشتر می شود و یا زمینهای خیلی سست که مقدار عملکرد و گیرایی کم خواهد شد، نباید استفاده کرد.

روش تجربی

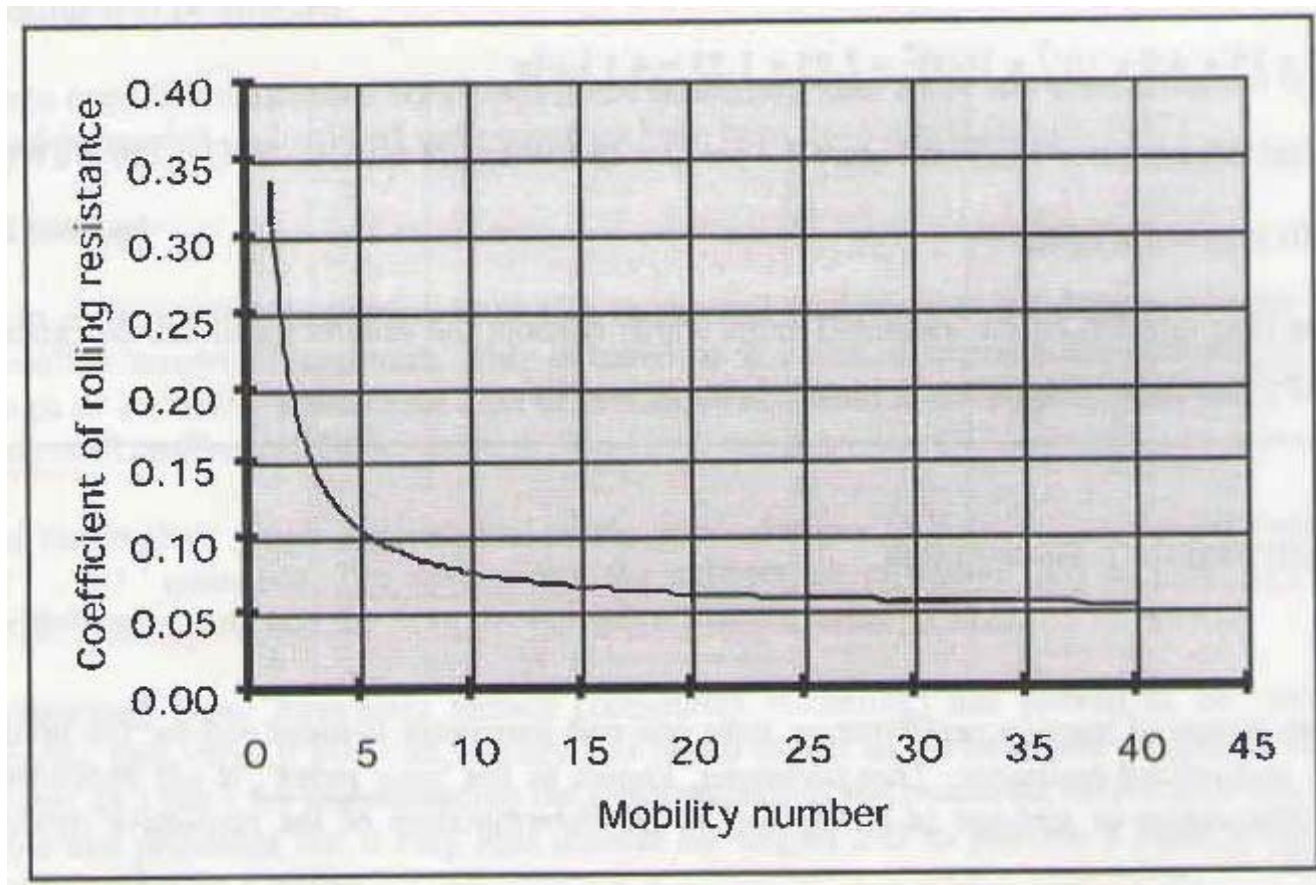
● شکل زیر نشان می دهد که چگونه **ضریب مقاومت غلتشی** به صورت معنی داری

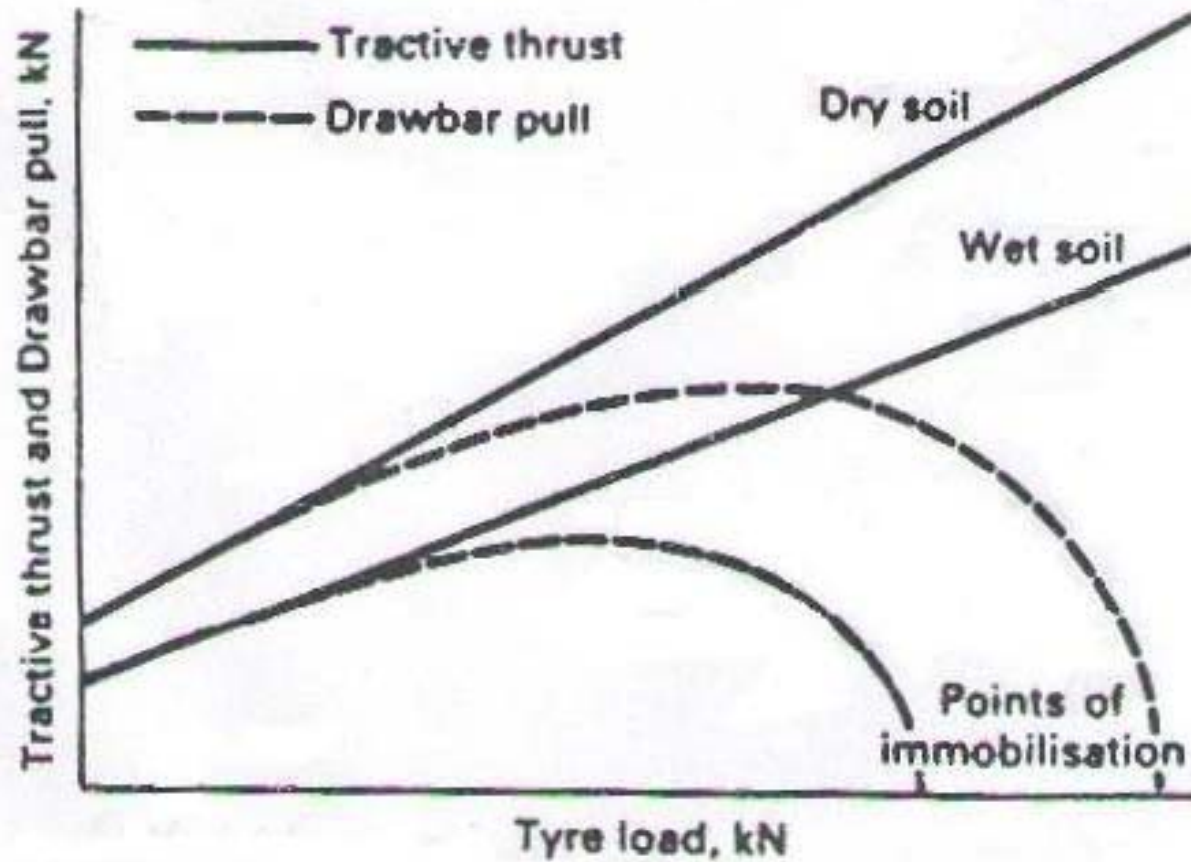
برای **مقادیر کوچک M** و بنابراین، پارامترهای زیر **افزایش** می یابد:

۱- مقادیر کوچک CI: soft surface ۲- مقادیر کوچک d: small tire diameter

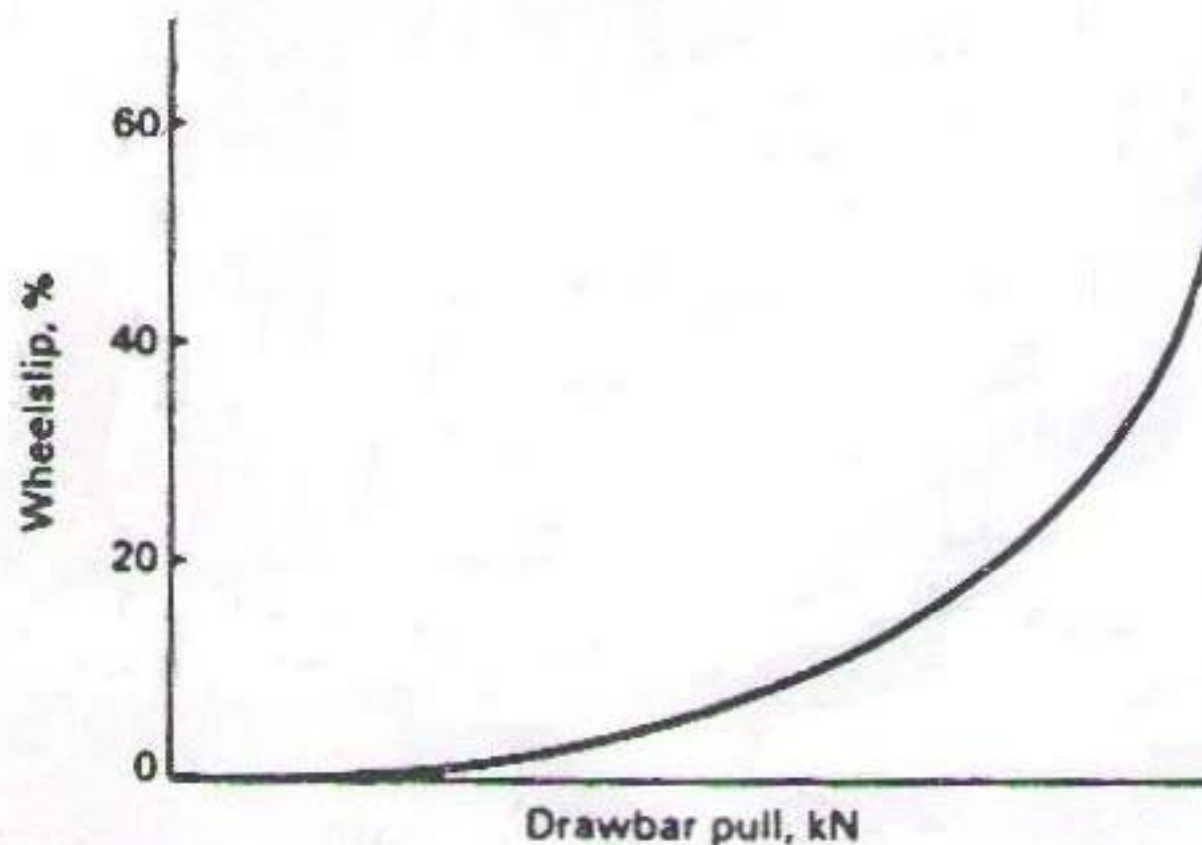
۳- مقادیر کوچک b: narrow tire ۴- مقادیر کوچک δ/h : stiff tire

۵- مقادیر بزرگ W: large weight

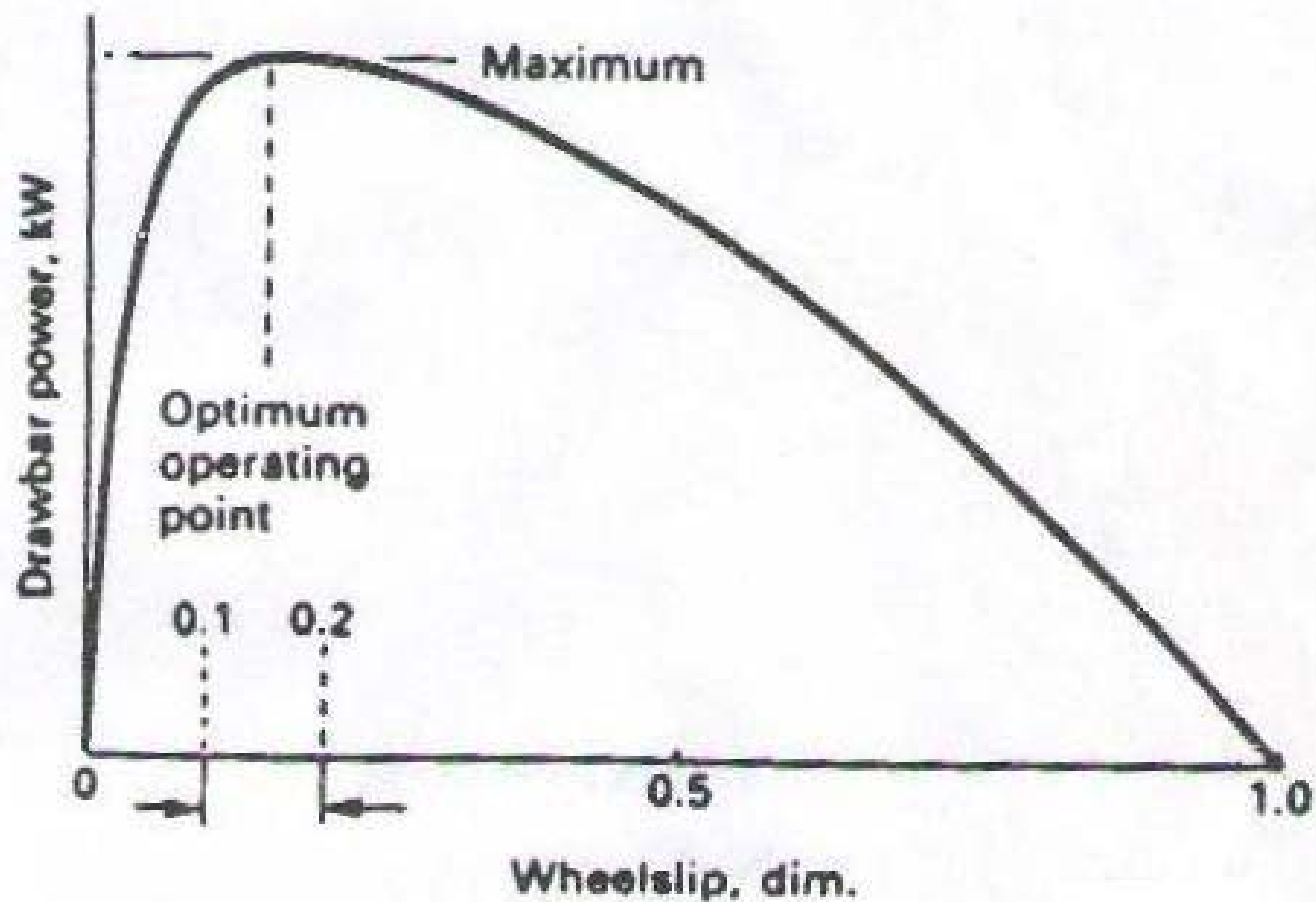




For different soil conditions, trafficability curves show the drawbar pull available from a drive wheel after deducting the rolling resistance from the gross tractive thrust.



The tractive performance of a tractor is indicated by the level of wheel slip at different drawbar pulls, the maximum pull occurring at complete wheelspin.



The optimum wheel slip for maximum drawbar power.