الفصل الرابع : توازن المنحدرات

1.4 تصنيف حركة الأرض

يمكن تصنيف حركة الأرض إلى :

أ- **حركة طويلة الأمد** : يحدث الانهيار نتيجة تراكم الحركة خلال فترة طويلة من الزمن كحالة **زحف التربة** على طول المنحدر بسبب طبوغرافية الموقع وحالة الانهيار التدريجي لبنية التربة نتيجة لترطيب تربة المنحدر ... الخ

ب- **حركة قصيرة الأمد :** يحدث الانهيار نتيجة لتغير مفاجئ وكبير إما في الحمولات المطبقة على المنحدر أو لخواص تربة المنحدر، كحالة حدوث حفر أو انهيار في تربة قدم المنحدر أو حالة تطبيق حمولات إضافية كبيرة أعلى المنحدر أو حالة تجوية تربة قدم المنحدر نتيجة للسيول الناتجة عن الأمطار .. الخ.

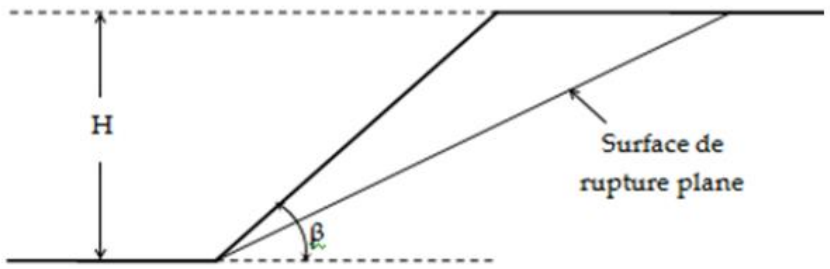
2.4 الانزلاقات الأرضية

تعتبر الانزلاقات الأرضية من الظواهر الطبيعية الهامة وذلك بسبب الأضرار الكبيرة المادية والبشرية التي تتسبب بها. يمكن تعريف الانزلاق الأرضي بالحركة نحو أسفل كتلة ترابية على طول سطح انهيار ينتشر في منحدر بفعل الجاذبية الأرضية.

3.4 أشكال الانزلاقات الأرضية

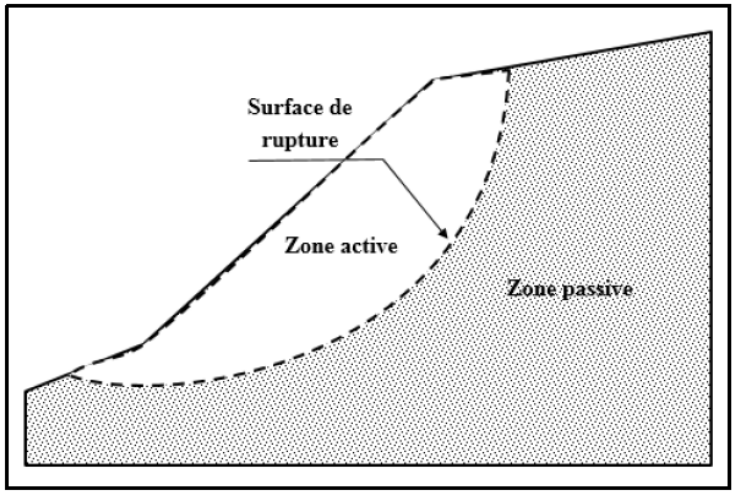
أ- انزلاقات مستوية :

تحدث الانزلاقات المستوية عندما يتمكن أحد الأسطح من توجيه الانزلاق وفق أحد الأسطح كحالة طبقة غضارية دهنية ضعيفة المقاومة مستندة على طبقة صخرية مائلة وسطحها مستوي أو حالة الترب المفككة.

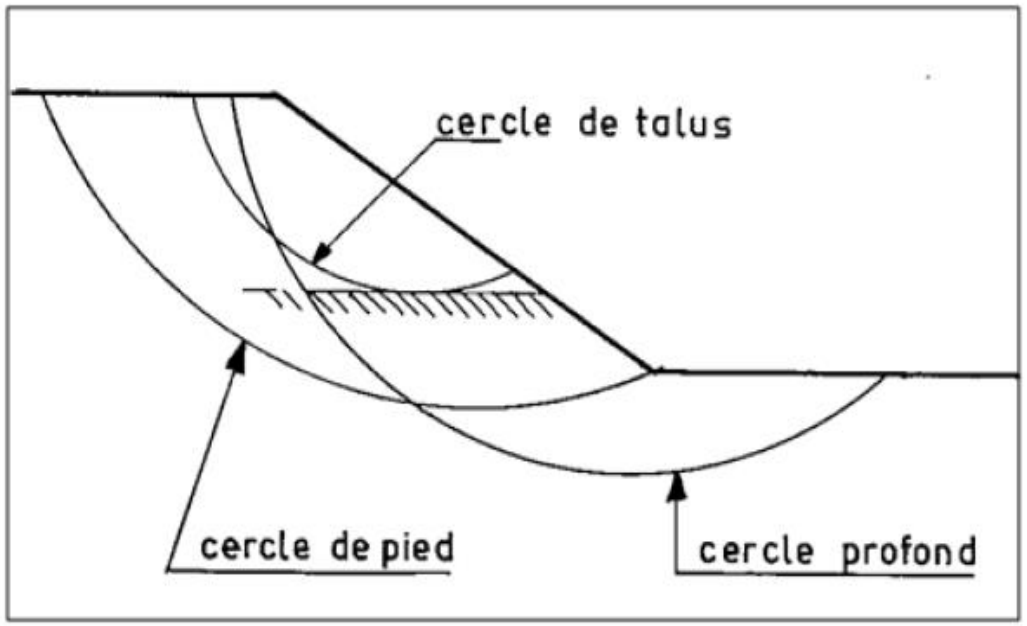


ب- انزلاقات دائرية

تتحرك كتلة التربة المنزلقة نحو الوجه الأمامي للمنحدر على طول سطح انهيار دائري، وتحدث عادة الانزلاقات الدائرية في الترب المتماسكة المتجانسة وضعيفة المقاومة



يمكن أن تحدث الانزلاقات الدائرية وفق عدة أشكال :

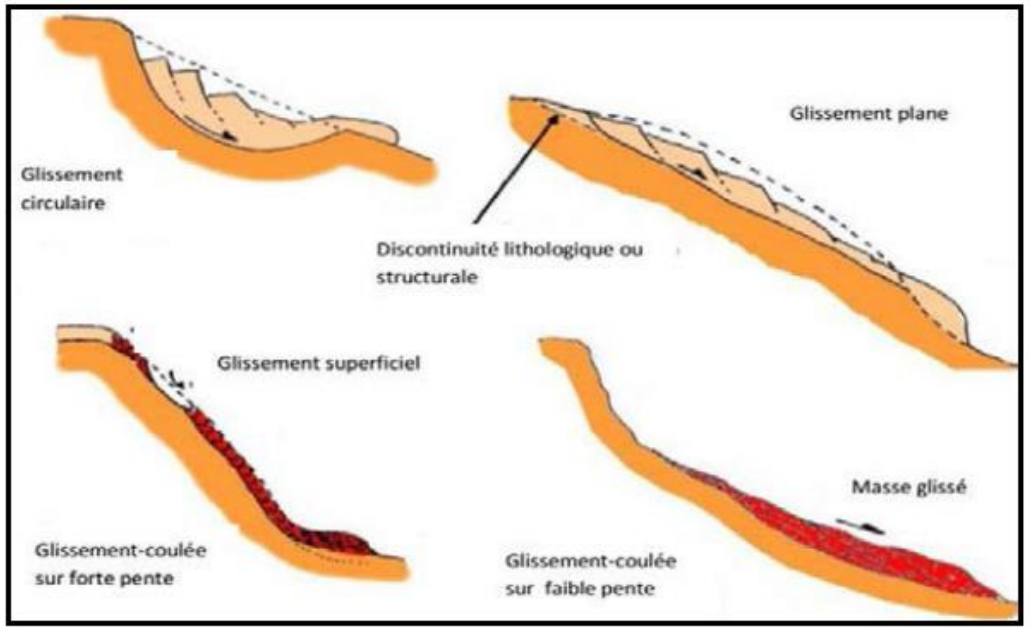


انزلاق دائري لقمة المنحدر : يحدث هذا النوع من الانزلاق عندما تكون تربة المنحدر متماسكة وغير متجانسة وبحيث تستند طبقة ضعيفة أعلى المنحدر على طبقة عالية المقاومة تستمر تحت أسفل قدم المنحدر، أو عندما يكون سطح المنحدر مكون من ميلين بحيث يكون كبيراً في أعلى المنحدر وصغيراً في جزئه السفلي.

انزلاق دائري لقدم المنحدر : وهو الحالة الأكثر شيوعاً

ج- انزلاقات مختلطة

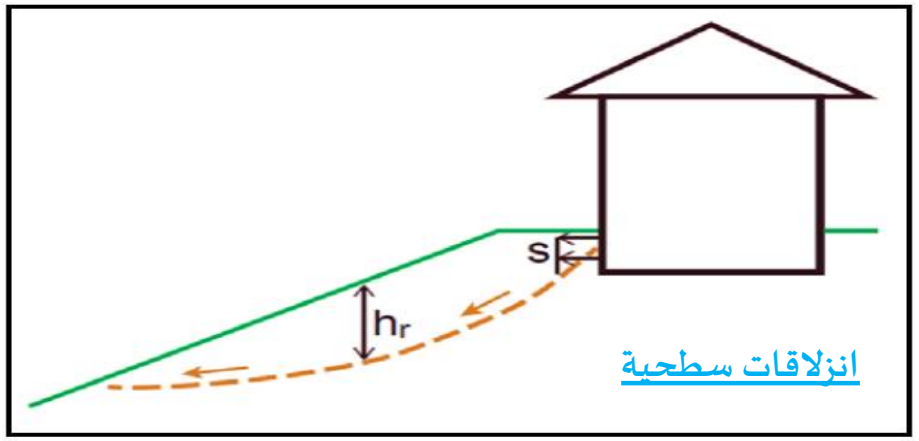
يكون فيها سطح الانهيار غير منتظم



4.4 تصنيف الانزلاقات بحسب عمق مستوي الانزلاق

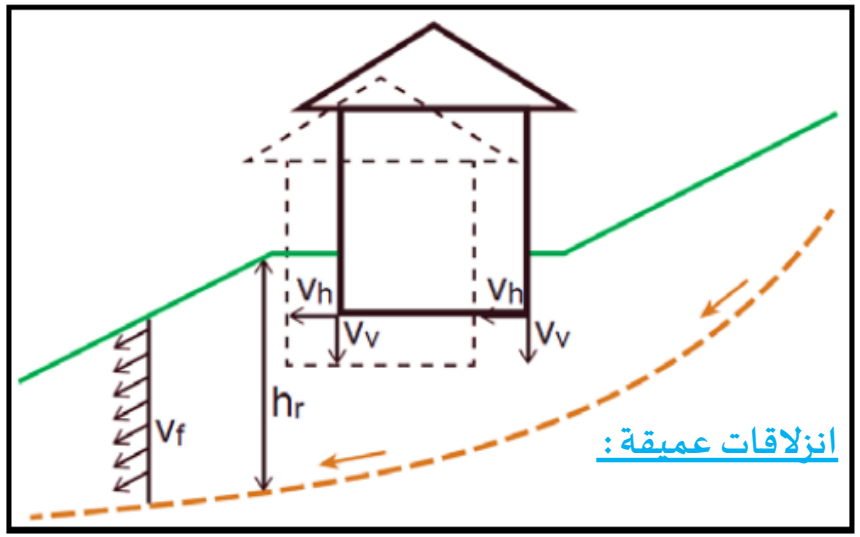
انزلاقات سطحية :

تتصف هذه الانزلاقات بسطح انهيار قريب من سطح الأرض ولا يتجاوز عمقه 2m ، ففي الترب الغضارية تحدث هذه الانزلاقات عادة نتيجة لاشباع التربة السطحية نتيجة للأمطار



انزلاقات عميقة :

تحدث عادة عند تلاقي عدة سطوح انهيار لترب ضعيفة متوضعة على أعماق كبيرة ، ويلعب وجود الحمولات الخارجية بالقرب أو ضمن كتلة التربة المتحركة دوراً كبيراً في تحديد شكل وحجم الكتلة الترابية المنزلقة



تصنيف الانزلاق	عمق سطح الانزلاق
سطحي	(0-2)m
متوسط العمق	(2-10)m
عميق	(10-30)m
عميق جداً	>30m

تصنيف الانزلاقات الأرضية حسب عمق مستوي الانزلاق

الانزلاق	عمق سطح الانزلاق
بطيء جداً	0-2m/year
بطيء	2-10m/year
سريع	>10m/year

تصنيف الانزلاقات الأرضية حسب سرعة انزلاق مستوي الانهيار

5.4 أسباب الانزلاقات الأرضية

أ- طبوغرافية الموقع : يمثل ميل سطح أرض الموقع العامل الأساسي لحدوث الانهيارات الأرضية

ب- تأثير المياه : في معظم الحالات تلعب المياه دوراً أساسياً في حدوث الانهيارات الأرضية

ت- العوامل الخارجية كالحمولات الخارجية والاهتزازات وغيرها من العوامل التي يمكن أن تجعل الاجهادات القاصة على طول أحد مستويات الانزلاق المحتملة أكبر من تحمل التربة على القص.

6.4 عامل الأمان للمنحدر

يمكن حساب عامل الأمان الموافق لـ:

- الاجهادات القاصة
- للقوى
- عزوم الدوران

يتم تكرار حساب عامل الأمان لعدد كبير من مستويات الانهيار المحتملة وتكون قيمة عامل الأصغرية التي يتم الحصول عليها هي قيمة عامل الأمان للمنحدر المدروس.

تتعلق قيمة عامل الأمان الأصغرية المسموحة بطبيعة المنشأ وباستخداماته بالأضرار البشرية والمادية التي يمكن أن يسببها انهيار المنحدر (الجدول).

حالة المنشأ	Fs
خطر	< 1
أمان غير كافي	1-1.25
أمان كافي للمنشآت قليلة الأهمية	1.25-1.5
أمان للمنشآت الهامة	>1.5

7.4 دراسة توازن المنحدر

أنواع حسابات توازن المنحدر

حسابات قبل انهيار المنحدر

في هذا الحساب يكون سطح الانهيار مجهول، لذلك يتلخص الحساب باختبار أكبر عدد من السطوح المرشحة للانهيار والبحث عن السطوح الذي يكون عنده عامل الأمان أصغرياً، فيكون هو سطح الانهيار المحتمل ويكون عامل الأمان لهذا السطح هو عامل أمان المنحدر.

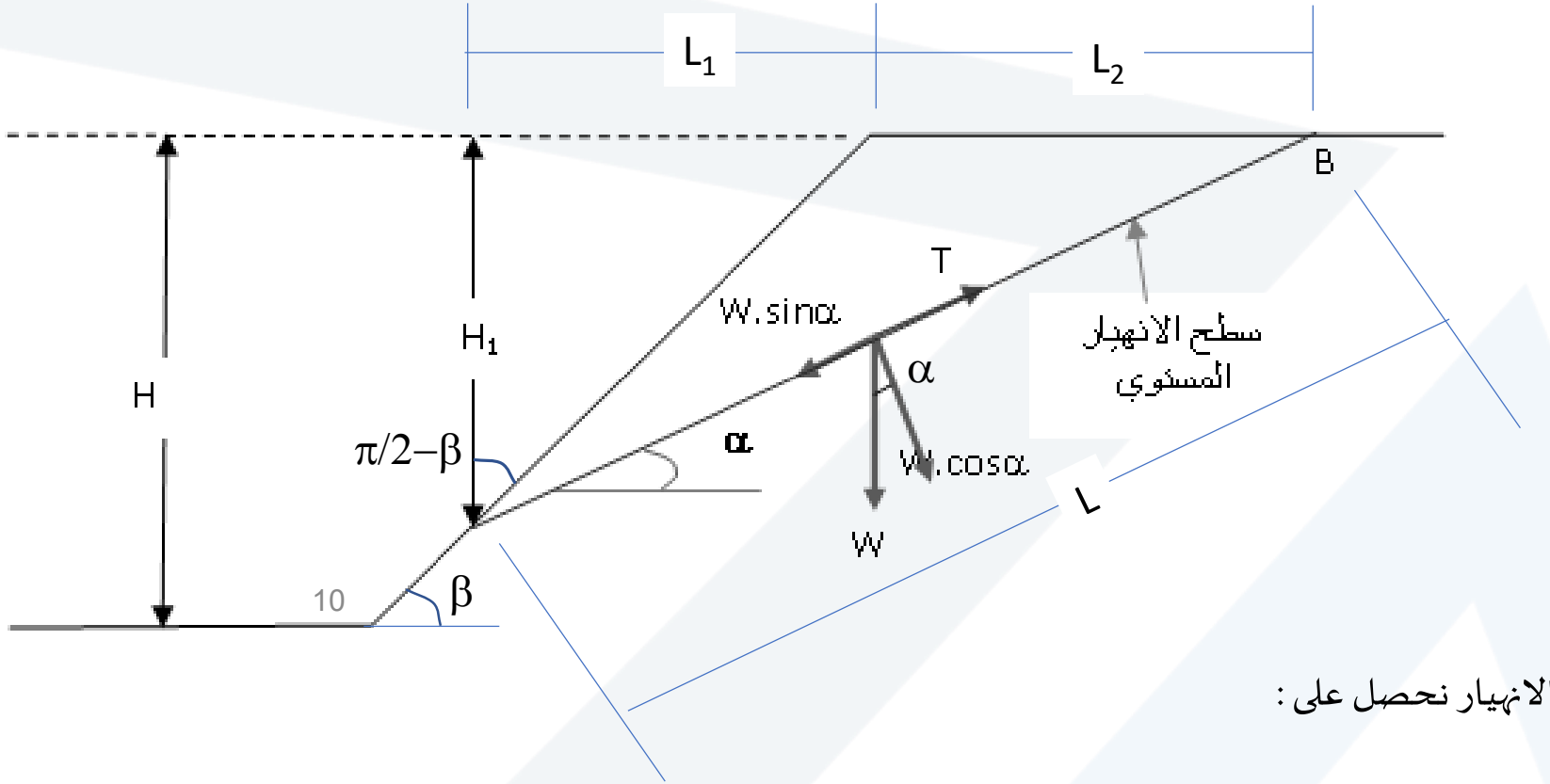
حسابات بعد انهيار المنحدر

يتلخص الحساب بدراسة عامل الأمان لهذا المستوي قبل وبعد الإصلاح والتدعيم وذلك من أجل التأكد من فعالية الحل المقترح ومن عدم تكرار الانهيار بعد تنفيذ الحل المقترح.

اختيار طريقة دراسة المنحدر

إما عددياً باستخدام طريقة العناصر المنتهية أو طريقة الفروقات المحدودة، أو يمكن استخدام إحدى طرق التوازن الحدي

حالة منحدر محدود الأبعاد



بأخذ معادلة توازن للقوى على مستوي الانهيار نحصل على :

$$W.\sin\alpha - T = 0$$

$$T=\frac{1}{F_s}\left(C'+\sigma_n\,.\tan\phi'\right).L=\frac{1}{F_s}\left(C'.L+W.\cos\alpha\,.\tan\phi'\right)$$

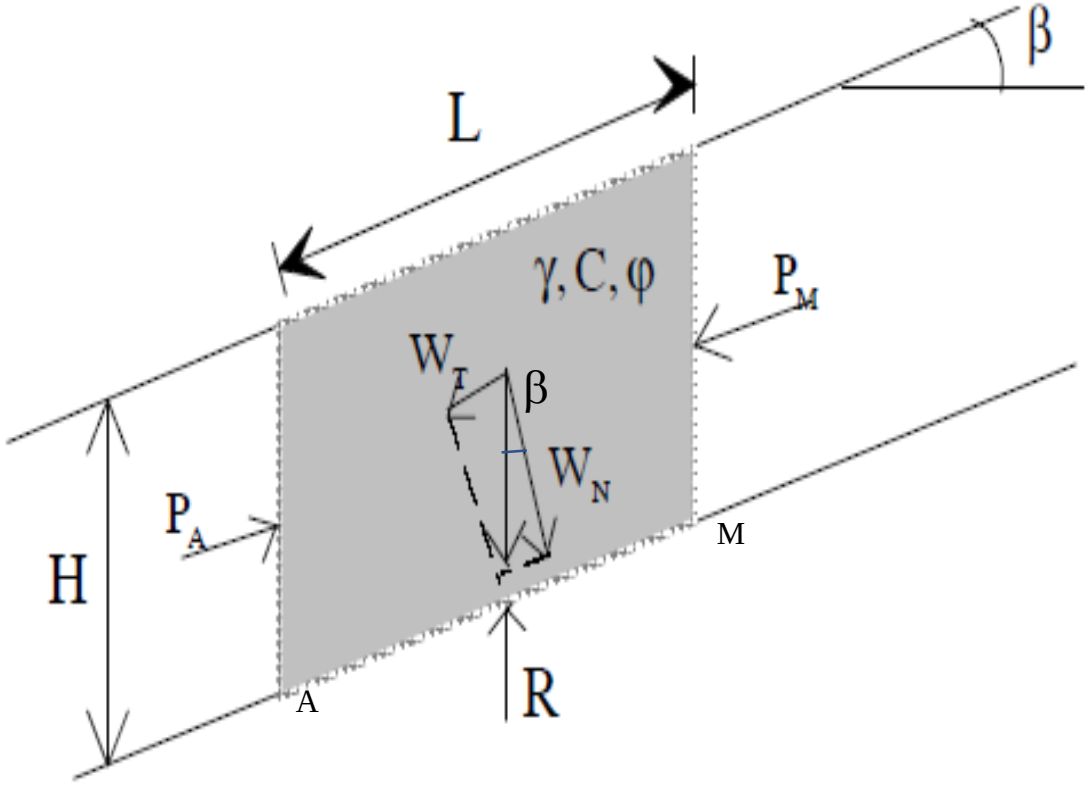
بالتعويض في المعادلة السابقة نحصل على :

$$W.\sin\alpha-\frac{1}{F_s}(C'.L+W.\cos\alpha\,.\tan\phi')=0$$

$$\Rightarrow F_s=\frac{C'.L+W.\cos\alpha\,.\tan\phi'}{W.\sin\alpha}$$

حيث :

$$L=\sqrt{H_1^2+(L_1+L_2)^2}\qquad L_1=H_1.\tan(\frac{\pi}{2}-\beta)\qquad W=L_2.\frac{H_1}{2}.\gamma$$



$$W.\sin\alpha - T = 0$$

القوى المسببة للانزلاق $W_T = w.\sin\beta$

القوى الممانعة للانزلاق

$$T = \frac{1}{F_s}(C'.+\sigma_N.\tan\phi').L = \frac{1}{F_s}(C'.L + w.\cos\beta\tan\phi')$$

$$\Rightarrow F_s = \frac{C'.L + W.\cos\beta.\tan\phi'}{W.\sin\beta}$$

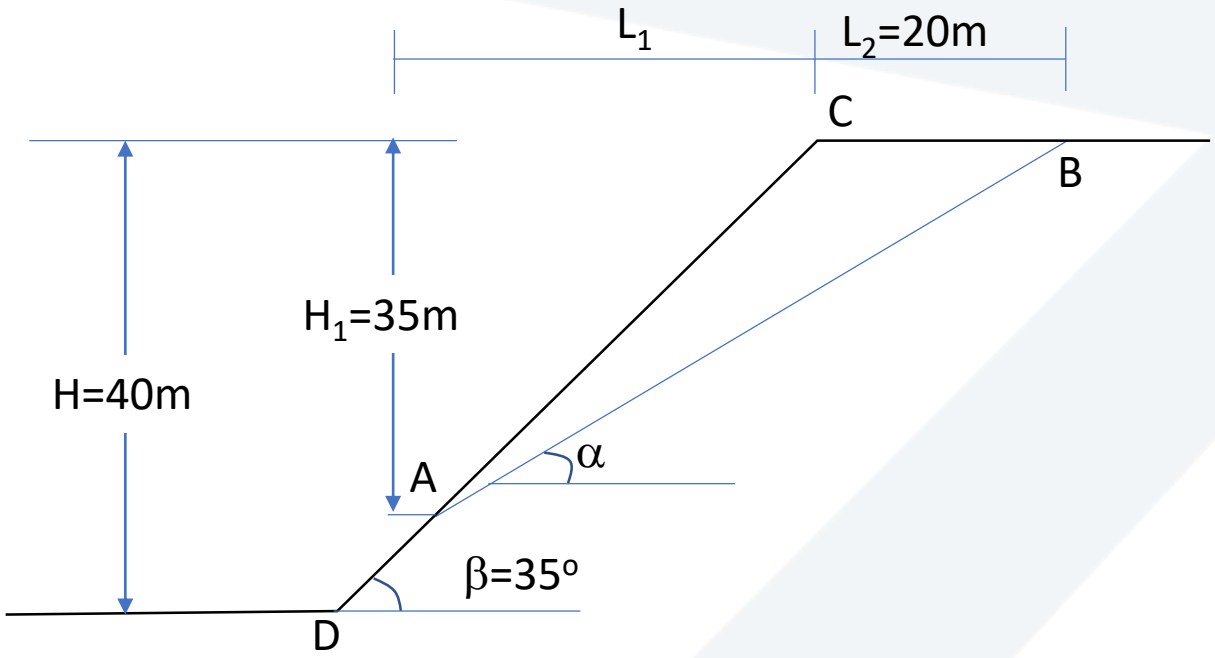
حيث : $W = \gamma.H.L.\cos\beta$

في حالة الترب المفككة (C=0) يصبح عامل الأمان : $F_s = \frac{\tan\phi'}{\tan\beta}$

مثال

منحدر ارتفاعه 40m وميله 35 درجة ، تربته متجانسة، مواصفات تربته كالتالي :
تربة سيلتية $\gamma=19kN/m^3$ $C'=40kPa$ و $\phi'=15^o$

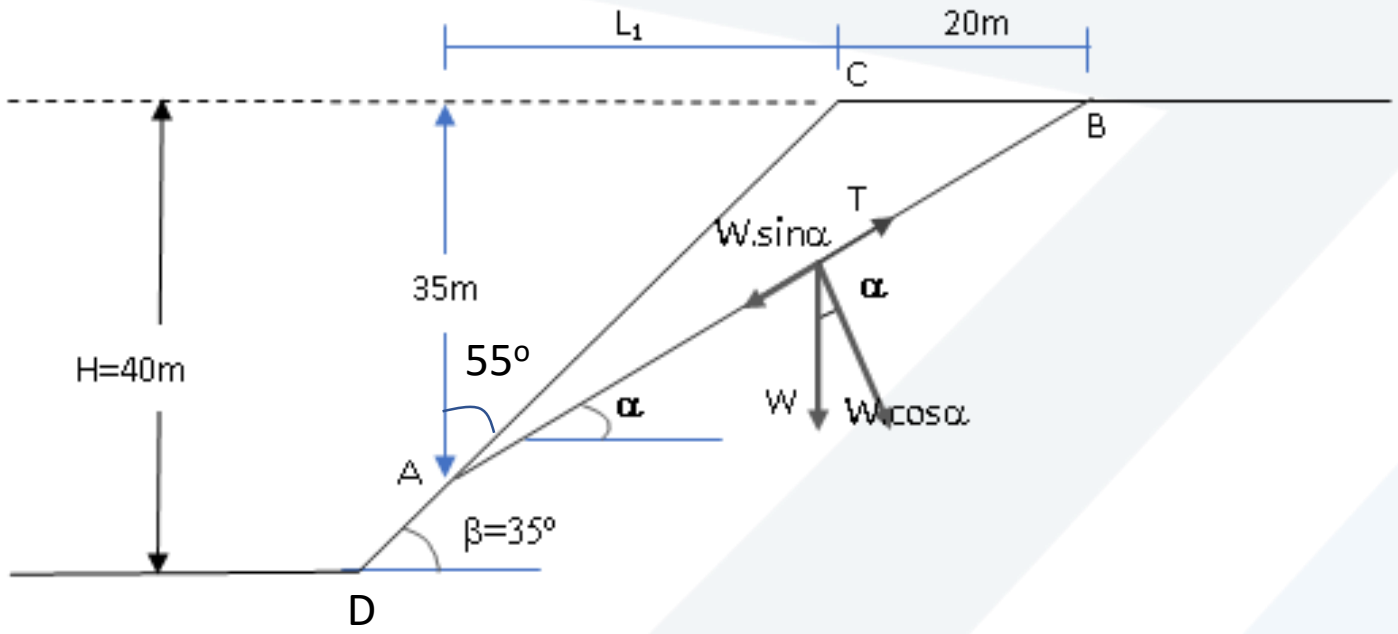
1- احسب عامل الأمان للمنحدر وذلك بفرض أن الانهيار قد حصل على بعد 20 متر من ذروة المنحدر (المستوي AB).
2- أعد حساب عامل الأمان للمنحدر وذلك بفرض أن مستوي الانهيار هو DB



جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

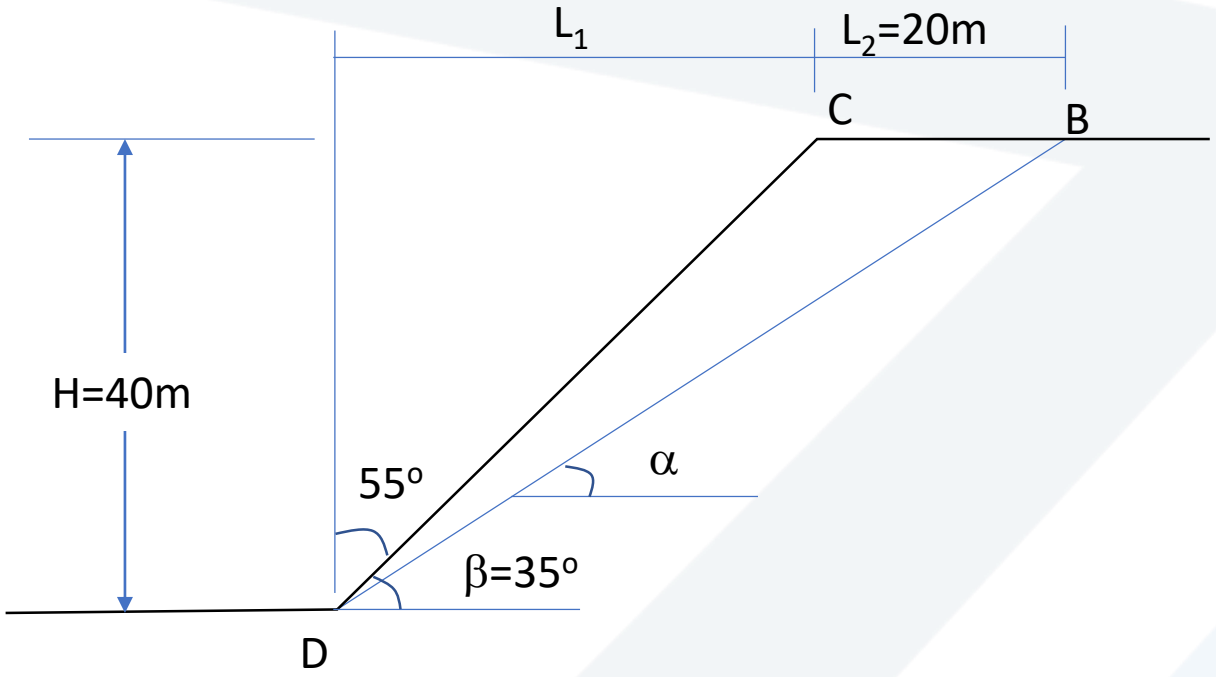
الحل

1- مستوي الانهيار AB

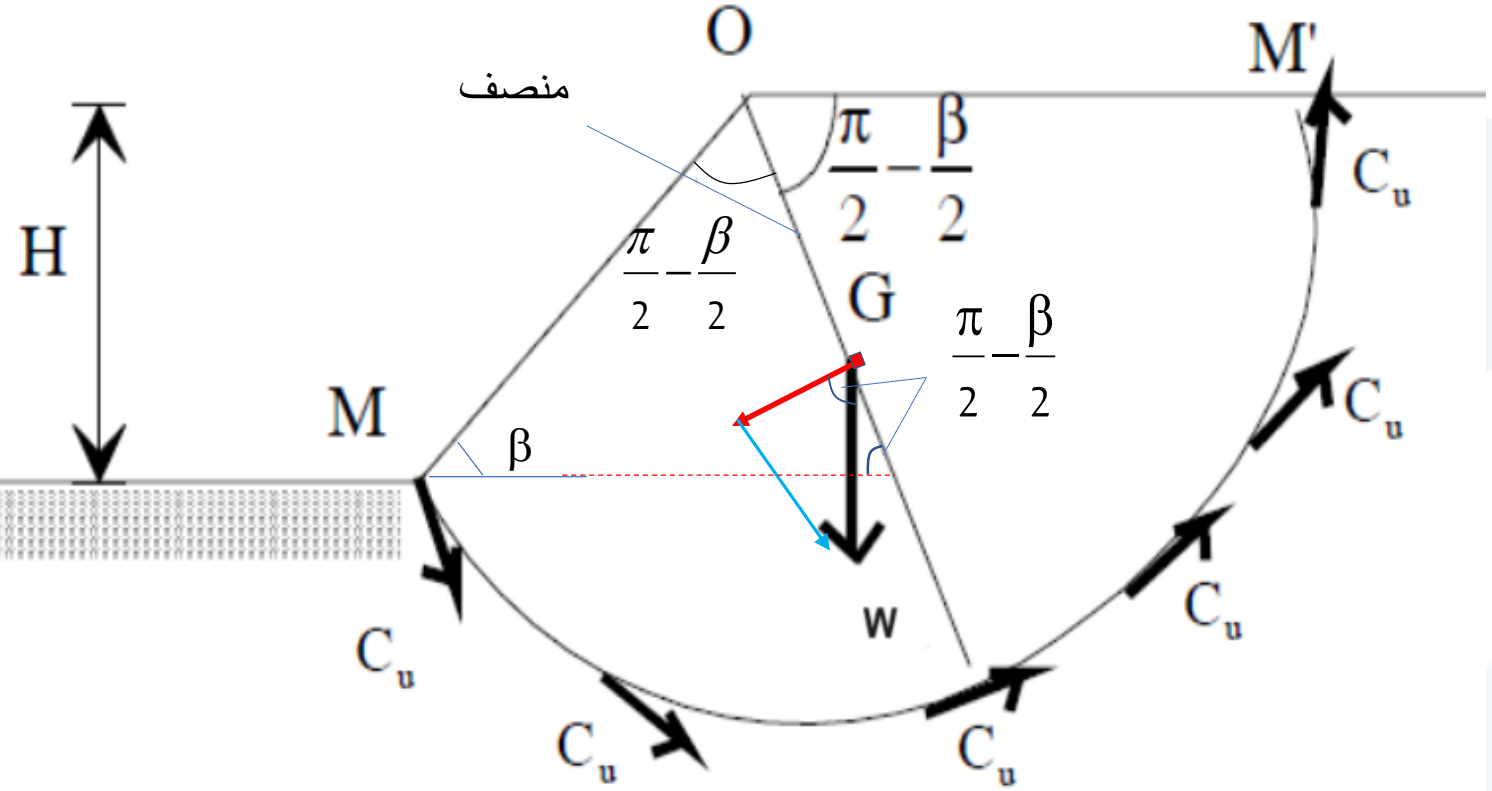


$F_s = 1.59$

2- مستوي الانهيار DB



$F_s = 1.51$



الطريقة المبسطة (طريقة العزوم لكامل كتلة التربة المنزلقة)

لندرس الانزلاق وفق سطح دائري للمنحدر المبين في الشكل والمكون من تربة مترابطة مثالياً (ϕ=0). لنفرض O مركز الدائرة و R نصف قطرها (R=H/sinβ). لنحسب عامل الأمان للعزم حيث يعرف عامل الأمان بنسبة عزوم القوى الممانعة للانزلاق إلى عزوم القوى المسببة للانزلاق :

$$F_s = \frac{M_o(Res)}{M_o(Glis)}$$

$$M_O(Res) = 2R^2 . C_U . (\frac{\pi}{2} - \frac{\beta}{2})$$

$$M_O(Glis) = W . OG . \cos(\frac{\pi}{2} - \frac{\beta}{2})$$

OGبعد مركز ثقل كتلة التربة المنزلقة عن مركز الدائرة

Cu التماسك غير المصرف للتربة

حيث

طريقة الشرائح

تعتمد طريقة الشرائح على تقسيم كتلة التربة المنزلقة إلى شرائح شاقولية متساوية العرض كما هو مبين في الشكل التالي، وتطبيق جميع القوى على هذه الشرائح.
من أجل تحديد مقاومة القص للتربة عند مستوي الانهيار . يتم عادة استخدام قانون مور-كولومب الذي يكتب على الشكل التالي :

$$\tau = c' + \sigma' . \tan\phi'$$

حيث $\sigma' = \sigma - u$

u تمثل ضغط الماء المسامي

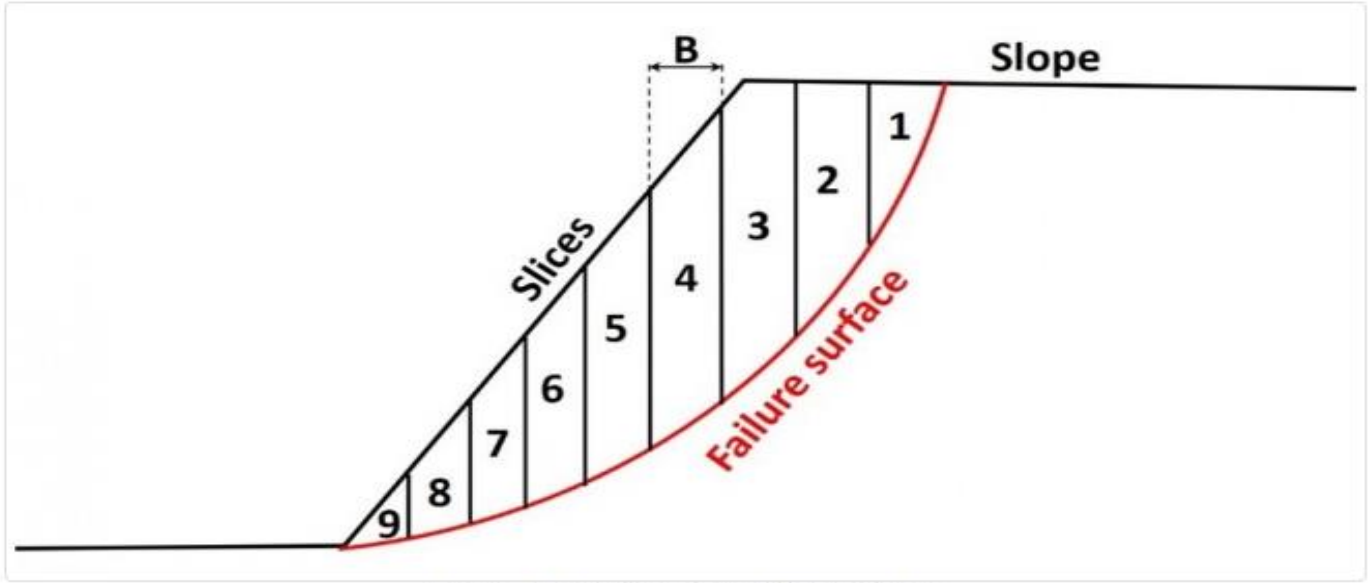


Figure 1. Illustration of the Method of Slices.

h ارتفاع الشريحة

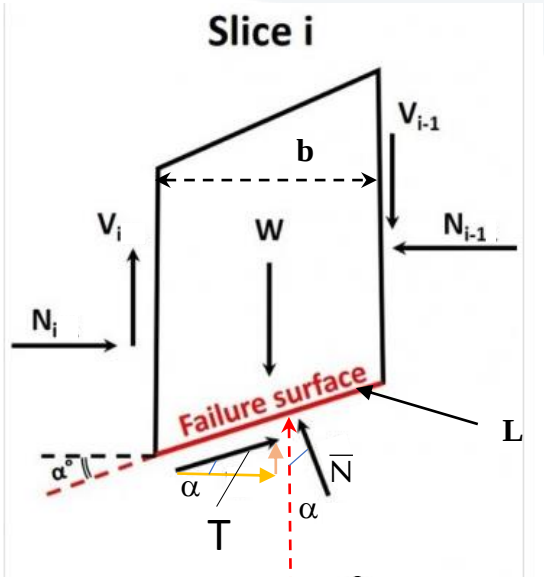
b عرض الشريحة b=L.cosα

w الوزن الكلي للشريحة

N′ القوة الناظمية الفعالة المؤثرة على قاعدة الشريحة

u ضغط الماء المسامي

$\overline{N}$ القوة الناظمية الكلية المؤرة على قاعدة الشريحة $\overline{N} = N' + u$



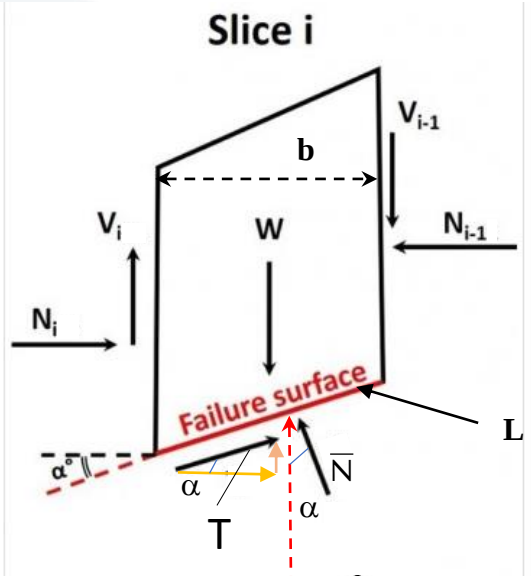
Tالقوة المماسية المؤثرة على قاعدة الشريحة

Ni-1وNiالقوى الأفقية بين الشرائح

Vi-1 و Vi القوى الشاقولية بين الشرائح

αالزاوية التي تصنعها قاعدة الشريحة مع الأفق

L طول مستوي الانزلاق للشريحة



$$\bar{N}=\sigma'_n.L \qquad T=\tau_m.L \qquad \tau_m=\frac{\tau}{F_s}=\frac{1}{F_s}(C'+\sigma'_n.\tan\phi')$$

$$T=\tau_m.L=\frac{L}{F_s}(C'+\sigma'_n.\tan\phi')=\frac{C'.L+\sigma'_n.L.\tan\phi'}{F_s}=\frac{C'.L+\bar{N}.\tan\phi'}{F_s}$$

من أجل شريحة واحدة وباسقاط جميع القوى على الشاقول نحصل على :

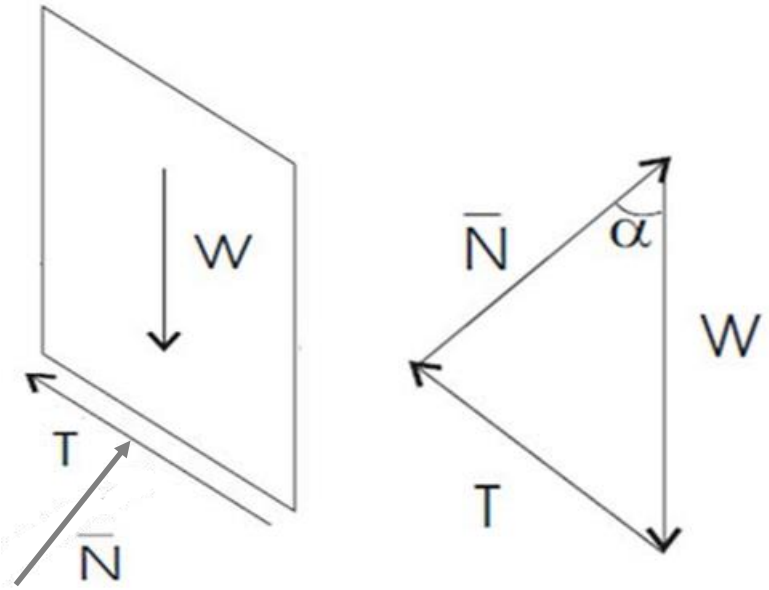
$$\bar{N}.\cos\alpha+T.\sin\alpha-W+(V_i-V_{i-1})=0$$

$$\bar{N}.\cos\alpha+\frac{C'.L+\bar{N}.\tan\phi'}{F_s}\sin\alpha=W-(V_i-V_{i-1})\Rightarrow \bar{N}(\cos\alpha+\frac{\sin\alpha.\tan\phi'}{F_s})+\frac{C'.L}{F_s}\sin\alpha=W-(V_i-V_{i-1})$$

$$\Rightarrow \bar{N}=\frac{W-(V_i-V_{i-1})-\frac{C'.L}{F_s}\sin\alpha}{\cos\alpha+\frac{\sin\alpha.\tan\phi'}{F_s}}$$

طريقة فيلينوس

$$\overline{N} = W \cdot \cos \alpha$$



فرضيات طريقة فيلينوس

1- سطح الانزلاق دائري

2- القوى بين الشرائح (الأفقية والشاقولية) مهملة(Vi=Vi-1=0, Ni=Ni-1=0) وبالنتيجة يكون

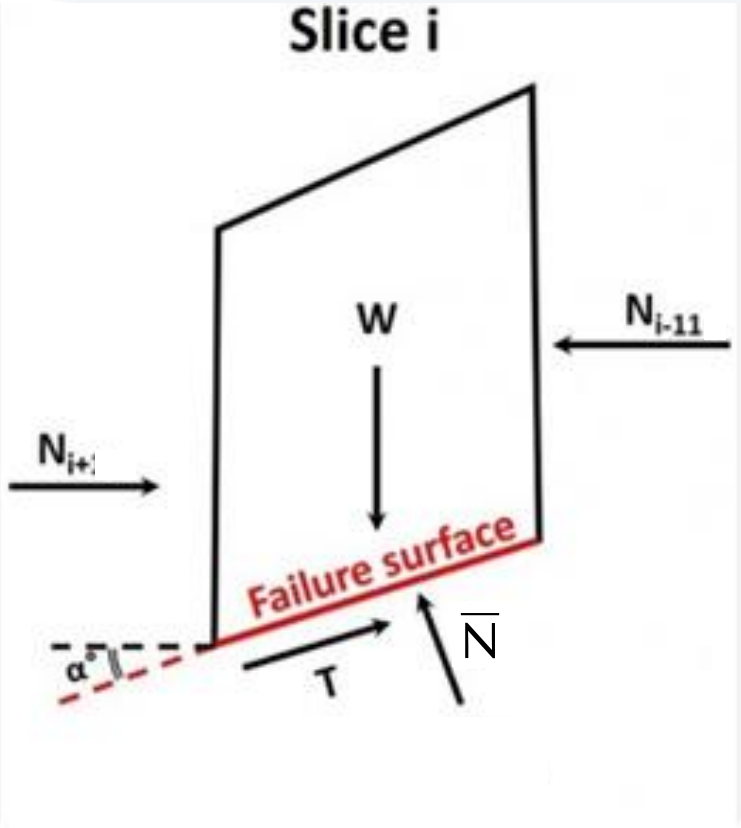
جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

طريقة بيشوب المبسطة

فرضيات طريقة بيشوب المبسطة

أ- سطح الانزلاق دائري

ب- القوى الشاقولية بين الشرائح مهملة (Vi=Vi-1=0)



يتم في هذه الطريقة حساب عامل الأمان عن طريق

تحقيق ثلاثة معادلات توازن :

- توازن للعزوم لكامل سطح الانهيار بالنسبة لمركز الدائرة O
- توازن القوى الأفقية على كامل سطح الانهيار
- توازن القوى الشاقولية لكل شريحة

طريقة جانبو المبسطة

تم تطوير هذه الطريقة عام 1956. يتم في هذه الطريقة حساب عامل الأمان بتحقيق التوازن العام للقوى الأفقية وللقوى الشاقولية وإهمال التوازن العام للعزم.

فرضيات طريقة بيشوب المبسطة

أ- سطح الانزلاق لا على التعيين

ب- القوى المؤثرة على الشريحة مماثلة للقوى في طريقة بيشوب المعدلة