

پردیس دانشگاهی

گروه عمران

گرایش : مکانیک خاک و پی

تحلیل عددی ظرفیت باربری پی های سطحی مجاور شیب های ساحلی

از

محمد رضا رفعتی گورابی

استاد راهنما

دکتر میراحمد لشته نشایی

استاد مشاور

مهران کریمپور فرد

تیر ۱۳۹۳

تقدیم به:

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی ،
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگازان
بهترین پشتیبان است ،
به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به
شجاعت می گراید.
با سپاس از دو وجود مقدس :

آنان که تکیه گاهم بودند تا به توانایی برسم

موهایشان سپید شد تا روسپید شوم

و عاشقانه سوختند تا گرمای وجودم و روشنگر

راهم باشند

تقدیم به پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت، از رفتارشان محبت و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

تقدیر و تشکر:

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته
است از استاد

فرهیخته و فرزانه خود دکتر میر احمد لشته نشایی

که با کرامتی چون خورشید ، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و
گلشن سرای علم و

دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند ، تقدیر و
تشکر نمایم.

فهرست مطالب

صفحه	فهرست
.....ث	فهرست مطالب.....
.....ح	فهرست جدول ها
.....خ	فهرست شکل ها
.....ر	فهرست نمادها
.....ش	چکیده فارسی
.....ص	چکیده انگلیسی

۱. فصل اول : کلیات

.....۲	.....۱-۱. مقدمه
.....۳	.....۲-۱. اهداف
.....۳	.....۳-۱. معرفی فصول پایان نامه.....

۲. فصل دوم : ادبیات فنی و مطالعات پیشین

.....۴	.....۱-۲. مطالعات صورت گرفته بر روی ظرفیت باربری خاکهای همگن
.....۵	.....۱-۲. پی بر روی زمین مسطح.....
.....۱۹	.....۲-۱. پی بر روی زمین شیبدار.....
.....۲۸	.....۲-۲. مطالعات صورت گرفته بر روی ظرفیت باربری خاکهای لایه بندی شده
.....۳۰	.....۳-۲. مطالعات صورت گرفته بر روی ظرفیت باربری خاکهای ناهمگن

۳. فصل سوم : معرفی و تئوری Flac و مدل سازی عددی

.....۳۲۱-۳. مقدمه
---------	-----------------------

۳۲	.....	۳-۲ نرم افزار ۲d Flac
۳۵	.....	۳-۳ تئوری ۲dFLAC
۳۸	.....	۳-۳-۱. میرایی
۳۹	.....	۳-۳-۲. مدل‌های رفتاری
۴۱	.....	۳-۳-۳. ایجاد مش بندی
۴۲	.....	۳-۳-۴. مکانیزم کاربرد FLAC
۴۲	.....	۴-۳. مدل‌سازی عددی

۴. فصل چهارم : نتایج مدل‌سازی عددی

۴۶	.....	۴-۱-۱. تاثیر $\frac{D}{B}$
۴۶	.....	۴-۱-۱. معرفی
۴۹	.....	۴-۱-۲. نتایج کمی
۶۴	.....	۴-۲-۲. تاثیر $\frac{H}{B}$
۶۴	.....	۴-۲-۱. معرفی
۶۶	.....	۴-۲-۲. نتایج کمی
۷۲	.....	۴-۲-۳. چارتهای طراحی

۵. فصل پنجم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۷۷	.....	۵-۱. کلیات
۷۷	.....	۵-۲. نتیجه گیری
۷۹	.....	۵-۳. ارائه پیشنهادات
۸۰	.....	مراجع و منابع

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۲ ضرایب ظرفیت باربری نسبت به زاویه اصطکاک داخلی خاک (ترزاقی)..... ۱۲
- جدول ۲-۲ ضرایب شکل، عمق و شیب بار (میرهوف، ۱۹۵۴)..... ۱۴
- جدول ۳-۲ مقادیر عددی ضرایب ظرفیت باربری وابسته به زاویه اصطکاک داخلی خاک (میرهوف، ۱۹۵)..... ۱۵
- جدول ۴-۲ ضرایب شکل و عمق (هانسن)..... ۱۷
- جدول ۵-۲ ضرایب شیب بار، شیب زمین و بستر (هانسن، ۱۹۷۰)..... ۱۷
- جدول ۶-۲ مقایسه نتایج برای خاک رسی (ناریتا و یاماگوچی ۱۹۹۰)..... ۲۶
- جدول ۱-۴ جدول طراحی ظرفیت باربری نرمال شده برای شیب ۹۰ درجه $(\frac{D}{B})$ ۷۲
- جدول ۲-۴ جدول طراحی ظرفیت باربری نرمال شده برای شیب ۶۰ درجه $(\frac{D}{B})$ ۷۲
- جدول ۳-۴ جدول طراحی ظرفیت باربری نرمال شده برای شیب ۳۰ درجه $(\frac{D}{B})$ ۷۳
- جدول ۴-۴ مقدار $\frac{D}{B}$ جهت آغاز مکانیزم گسیختگی سطح زمین..... ۷۳
- جدول ۵-۴ ظرفیت باربری نرمال شده برای شیب ۹۰ درجه $(\frac{H}{B})$ ۷۴
- جدول ۶-۴ ظرفیت باربری نرمال شده برای شیب ۶۰ درجه $(\frac{H}{B})$ ۷۵
- جدول ۷-۴ ظرفیت باربری نرمال شده برای شیب ۳۰ درجه $(\frac{H}{B})$ ۷۶

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲ مکانیزم گسیختگی در زیر پی سطحی..... ۴
- شکل ۲-۲ مکانیزم گسیختگی پراندتل ۶
- شکل ۳-۲ مکانیزم گسیختگی فلنیوس ۸
- شکل ۴-۲ مکانیزم گسیختگی ترزاقی ۱۰
- شکل ۵-۲ مکانیزم گسیختگی میرهوف ۱۳
- شکل ۶-۲ یک نمونه از پی سطحی در مجاورت سطح شیبدار ۲۰
- شکل ۷-۲ چارت معرفی شده توسط میرهوف برای خاکهای دانه ای ۲۰
- شکل ۸-۲ چارت معرفی شده توسط میرهوف برای خاکهای چسبنده ۲۱
- شکل ۹-۲ مقدار $N_{\gamma q}$ معرفی شده توسط گراهام برای $\frac{b}{B} = 1, 2$ و $\frac{D_f}{B} = 0$ ۲۲
- شکل ۱۰-۲ مقدار $N_{\gamma q}$ معرفی شده توسط گراهام برای $\frac{b}{B} = 0, 0.5$ و $\frac{D_f}{B} = 0$ ۲۲
- شکل ۱۱-۲ مقدار $N_{\gamma q}$ معرفی شده توسط گراهام برای $\frac{b}{B} = 0, 0.5, 1, 2$ و $\frac{D_f}{B} = 0.5$ ۲۳
- شکل ۱۱-۲ مقدار $N_{\gamma q}$ معرفی شده توسط گراهام برای $\frac{b}{B} = 0, 0.5, 1, 2$ و $\frac{D_f}{B} = 1$ ۲۳
- شکل ۱۲-۲ هندسه سطح گسیختگی ترزاقی (پذیرفته شده توسط کودوتو ۲۰۰۱) ۲۵
- شکل ۱۳-۲ شکل مسئله تعریف شده توسط شیآیو و همکارانش (۲۰۰۸) ۲۷
- شکل ۱-۳ اساس چرخه محاسباتی FLAC ۳۶
- شکل ۲-۳ المانهای مستطیلی حاصله از المانهای مثلثی در FLAC ۳۷
- شکل ۳-۳ نمونه ای از هندسه مدل ۴۲
- شکل ۴-۳ شکل نهایی مدل ۴۵
- شکل ۱-۴ حالت کلی از مسئله ۴۷
- شکل ۲-۴ مدل معرفی شده به FLAC ۴۸
- شکل ۳-۴ ظرفیت باربری نرمال شده برای $\frac{c}{\gamma B} = 2.22$ و $\beta = 90$ ۴۹
- شکل ۴-۴ ظرفیت باربری نرمال شده برای $\frac{c}{\gamma B} = 3.33$ و $\beta = 90$ ۵۰

- شکل ۴-۵ ظرفیت باربری نرمال شده برای $\beta = 90$ و $\frac{c}{\gamma B} = 4.44$ ۵۰
- شکل ۴-۶ ظرفیت باربری نرمال شده برای $\beta = 90$ و $\frac{c}{\gamma B} = 5.55$ ۵۱
- شکل ۴-۷ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با موقعیت پی برای شیب ۹۰ درجه ۵۱
- شکل ۴-۸ تغییرات ظرفیت باربری با نسبت مقاومت برای شیب ۹۰ درجه ۵۲
- شکل ۴-۹ شیب ۹۰ درجه بعد از قرار دادن پی سطحی ۵۲
- شکل ۴-۱۰ ظرفیت باربری نرمال شده برای $\beta = 60$ و $\frac{c}{\gamma B} = 2.22$ ۵۳
- شکل ۴-۱۱ ظرفیت باربری نرمال شده برای $\beta = 60$ و $\frac{c}{\gamma B} = 3.33$ ۵۳
- شکل ۴-۱۲ ظرفیت باربری نرمال شده برای $\beta = 60$ و $\frac{c}{\gamma B} = 4.44$ ۵۴
- شکل ۴-۱۳ ظرفیت باربری نرمال شده برای $\beta = 60$ و $\frac{c}{\gamma B} = 5.55$ ۵۴
- شکل ۴-۱۴ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با موقعیت پی برای شیب ۶۰ درجه ۵۵
- شکل ۴-۱۵ تغییرات ظرفیت باربری با نسبت مقاومت برای شیب ۶۰ درجه ۵۶
- شکل ۴-۱۶ شیب ۶۰ درجه بعد از قرار دادن پی سطحی ۵۶
- شکل ۴-۱۷ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با موقعیت پی برای $\beta = 30$ و $\frac{c}{\gamma B} = 2.22$ ۵۷
- شکل ۴-۱۸ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با موقعیت پی برای $\beta = 30$ و $\frac{c}{\gamma B} = 3.33$ ۵۷
- شکل ۴-۱۹ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با موقعیت پی برای $\beta = 30$ و $\frac{c}{\gamma B} = 4.44$ ۵۸
- شکل ۴-۲۰ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با موقعیت پی برای $\beta = 30$ و $\frac{c}{\gamma B} = 5.55$ ۵۸
- شکل ۴-۲۱ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با موقعیت پی برای شیب ۳۰ درجه ۵۹
- شکل ۴-۲۲ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با موقعیت پی برای $\frac{c}{\gamma B} = 2.22$ ۶۰
- شکل ۴-۲۳ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با موقعیت پی برای $\frac{c}{\gamma B} = 3.33$ ۶۰

- شکل ۴-۲۴ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با موقعیت پی برای $\frac{c}{\gamma B} = 4.44$ ۶۱
- شکل ۴-۲۵ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با موقعیت پی برای $\frac{c}{\gamma B} = 5.55$ ۶۱
- شکل ۴-۲۶ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با نسبت مقاومت برای $\beta = 30$ ۶۲
- شکل ۴-۲۷ شیب ۳۰ درجه بعد از قرار دادن پی سطحی ۶۲
- شکل ۴-۲۸ تاثیر تغییر شیب و نسبت مقاومت بر روی موقعیت تاثیر پی ۶۳
- شکل ۴-۲۹ حالت کلی مسئله برای شیب ۶۵
- شکل ۴-۳۰ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده در مقابل نسبت ارتفاع برای $\frac{c}{\gamma B} = 2.22$ ۶۶
- شکل ۴-۳۱ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده در مقابل نسبت ارتفاع برای $\frac{c}{\gamma B} = 3.33$ ۶۷
- شکل ۴-۳۲ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده در مقابل نسبت ارتفاع برای $\frac{c}{\gamma B} = 4.44$ ۶۷
- شکل ۴-۳۳ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده در مقابل نسبت ارتفاع برای $\frac{c}{\gamma B} = 5.55$ ۶۸
- شکل ۴-۳۴ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با ارتفاع شیب برای $\frac{c}{\gamma B} = 2.22$ و $\beta = 60$ ۶۸
- شکل ۴-۳۵ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با ارتفاع شیب برای $\frac{c}{\gamma B} = 3.33$ و $\beta = 60$ ۶۹
- شکل ۴-۳۶ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با ارتفاع شیب برای $\frac{c}{\gamma B} = 4.44$ و $\beta = 60$ ۶۹
- شکل ۴-۳۷ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با ارتفاع شیب برای $\frac{c}{\gamma B} = 5.55$ و $\beta = 60$ ۸۵
- شکل ۴-۳۸ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با ارتفاع شیب برای $\frac{c}{\gamma B} = 2.22$ و $\beta = 30$ ۸۵
- شکل ۴-۳۹ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با ارتفاع شیب برای $\frac{c}{\gamma B} = 3.33$ و $\beta = 30$ ۸۶
- شکل ۴-۴۰ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با ارتفاع شیب برای $\frac{c}{\gamma B} = 4.44$ و $\beta = 30$ ۸۶
- شکل ۴-۴۱ تغییرات ظرفیت باربری نرمال شده با ارتفاع شیب برای $\frac{c}{\gamma B} = 5.55$ و $\beta = 30$ ۸۷

فهرست نمادها

۲	.....	نماد ۱-۱ نسبت موقعیت پی سطحی $\frac{D}{B}$
۲	.....	نماد ۲-۱ نسبت ارتفاع شیب $\frac{H}{B}$
۲	.....	نماد ۳-۱ نسبت مقاومت خاک رسی، $\frac{c}{\gamma B}$
۲	.....	نماد ۴-۱ زاویه شیب، β
۶	.....	نماد ۱-۲ r
۶	.....	نماد ۲-۲ σ_i
۶	.....	نماد ۳-۲ F
۶	.....	نماد ۴-۲ M_1
۷	.....	نماد ۵-۲ P_p
۷	.....	نماد ۶-۲ M_p
۷	.....	نماد ۷-۲ M_1
۷	.....	نماد ۸-۲ N_q
۷	.....	نماد ۹-۲ N_c
۷	.....	نماد ۱۰-۲ q_{ult}
۷	.....	نماد ۱۱-۲ c'
۷	.....	نماد ۱۲-۲ q_{ult}
۸	.....	نماد ۱۳-۲ q_{ult}
۸	.....	نماد ۱۴-۲ q_{ult}
۹	.....	نماد ۱۵-۲ $Q_{ult} \cdot l$
۹	.....	نماد ۱۶-۲ Q_{ult}
۹	.....	نماد ۱۷-۲ q_{ult}
۹	.....	نماد ۱۸-۲ q_{ult}
۱۰	.....	نماد ۱۹-۲ q_f
۱۱	.....	نماد ۲۰-۲ N_c
۱۱	.....	نماد ۲۱-۲ N_γ
۱۱	.....	نماد ۲۲-۲ a
۱۱	.....	نماد ۲۳-۲ q_f
۱۱	.....	نماد ۲۴-۲ q_f
۱۳	.....	نماد ۲۵-۲ q_u
۱۳	.....	نماد ۲۶-۲ q_u

۱۳.....	N_q	نماد ۲۷-۲
۱۳.....	N_c	نماد ۲۸-۲
۱۳.....	N_γ	نماد ۲۹-۲
۱۶.....	q_f	نماد ۳۰-۲
۱۶.....	N_q	نماد ۳۱-۲
۱۶.....	N_c	نماد ۳۲-۲
۱۶.....	N_γ	نماد ۳۳-۲
۱۶.....	N_γ	نماد ۳۴-۲
۱۸.....	$d\varepsilon^P$	نماد ۳۵-۲
۱۹.....	q_u	نماد ۳۶-۲
۳۶.....	$m \frac{d\dot{u}}{dt} = F$	نماد ۱-۳
۳۶.....	$\rho \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i$	نماد ۲-۳
۳۶.....	$e_{ij} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right]$	نماد ۳-۳
۳۷.....	$\sigma_{ij} = M(\sigma_{ij}, e_{ij}, k)$	نماد ۴-۳
۳۷.....	$\dot{u}_i^{(t+\Delta/2)} = \dot{u}_i^{(t-\Delta/2)} + \sum F_i^{(t)} \frac{\Delta t}{m}$	نماد ۵-۳
۳۷.....	$x_i^{(t+\Delta t)} = x_i^{(t)} + \dot{u}_i^{(t+\Delta/2)} \Delta t$	نماد ۶-۳
۳۸.....	$\dot{u}_i^{(t+\Delta/2)} = \dot{u}_i^{(t-\Delta/2)} + \sum [F_i^{(t)} - (F_d)_i] \frac{\Delta t}{m_n}$	نماد ۷-۳
۳۹.....	$\Delta t < \frac{\Delta x}{C}$	نماد ۸-۳
۳۹.....	$C_p = \sqrt{\frac{K + 4G/3}{\rho}}$	نماد ۹-۳

تحلیل عددی ظرفیت باربری پی های سطحی مجاور شیب های ساحلی

محمد رضا رفعتی گورابی

هدف عمده ی ضرورت اجرا و اهمیت این تحقیق ، بررسی تاثیر پارامترهای بدون بعد بر روی ظرفیت باربری پی های سطحی مجاور شیبهای ساحلی می باشد. با توجه به اینکه ساخت و ساز در کنار سواحل دریا زیاد شده است و بخصوص اینکه تپه ها و سواحل فراوانی در اطراف محیط زندگی ما وجود دارد ، به همین منظور از نرم افزار Flac ۲d جهت بررسی تاثیر پارامترهای بدون بعد D/B ، H/B ، β ، $c/\gamma B$ استفاده شده است. مطالعات پارامتری به صورت جامع انجام شده و چارتهایی برای مهندسان جهت طراحی ارائه شده است. امتیاز روش معرفی شده در این تحقیق سادگی آن می باشد که پیچیدگی های چند بعدی پی های مجاور شیبهای ساحلی را نیز احتساب می کند. این پایان نامه اثبات می کند که Flac ۲d ابزار معتبری برای مدلسازی پی های مجاور شیبهای ساحلی مخصوصا وقتی که مطالعات بصورت پارامتریک می باشد است. به هر حال باید دقت شود که استفاده از نرم افزار عددی Flac ۲d برای اطمینان از نتایج محاسبات، درست می باشد. نتایج بدست آمده بصورت کمی بررسی و تحلیل می باشد.

در این تحقیق به ازای نسبت مقاومتهای مختلف با تغییر موقعیت پی و ارتفاع شیب و همچنین زاویه شیب به محاسبه ظرفیت باربری نرمال شده پی پرداخته شده و در انتها چارتهای نمودارهایی جهت طراحی در اختیار مهندسان قرار داده می شود.

کلید واژه: پی سطحی، شیب ساحلی، Flac ۲d، ظرفیت باربری

۱. فصل اول

مقدمه

۱-۱. مقدمه

این پایان نامه در مورد تاثیر پارامترهای بدون بعد و تکنیک های مدل سازی مختلف بر روی ظرفیت باربری پی های سطحی مجاور شیبهای ساحلی مطالعه می کند. برنامه شبیه سازی عددی D FLAC^۲ برای بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر روی ظرفیت باربری پی های سطحی مجاور شیبهای ساحلی بر روی خاک رسی استفاده شده است. نتایج این مطالعات بصورت جداول و چارت های طراحی ارائه می شود تا مورد استفاده ی مهندسیین عمران قرار گیرد.

تاثیر پارامترهای بدون بعد زیر مورد مطالعه قرار گرفته است:

- نسبت موقعیت پی سطحی، $\frac{D}{B}$

- نسبت ارتفاع شیب، $\frac{H}{B}$

- نسبت مقاومت خاک رسی، $\frac{c}{\gamma B}$

- زاویه شیب، β

ظرفیت باربری پی های سطحی مجاور شیبهای ساحلی یکی از موارد خاصی می باشد که باید بررسی شود. مسئله ظرفیت باربری از ۱۵۰ سال پیش توسط افراد مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است و به نتایج قابل قبولی دست یافته اند. ظرفیت باربری شیبها در عمل نیز توسط محققین مختلفی بررسی شده است.

به هر حال، بسیاری از کارهای انجام شده در گذشته بر روی پایداری شیروانی ها و روش های ارزیابی پایداری شیبها تمرکز کرده اند.

در سالهای اخیر بیشتر بر روی ظرفیت باربری پی های سطحی مجاور شیبهای ساحلی و غیرساحلی تمرکز شده است. به هر حال در بسیاری از این کارها از تحلیل حد مرزی بالا و پایین استفاده شده است تا با نتایج بدست آمده در گذشته مقایسه شود و تصحیحات جدیدی بر روی فرمول های بیان شده توسط گذشتگان انجام شود.

در این پایان نامه در مورد تاثیر پارامترهای بدون بعد معرفی شده بر روی ظرفیت باربری پی سطحی مجاور شیبهای ساحلی با استفاده از روش های نسبتا جدیدی بحث می شود و سعی شده است یک راهنمایی برای مهندسیین مهیا شود تا راحت و بدون پیچیدگی، جهت تعیین ظرفیت باربری پی های سطحی مجاور شیبهای ساحلی اقدام کنند.

۲-۱. اهداف

- محاسبه ظرفیت باربری پی های سطحی مجاور شیبهای ساحلی و مطالعه پارامتریک
- معرفی چارتهایی جهت طراحی
- تحلیل بحرانی نتایج بدست آمده

۳-۱. معرفی فصول پایان نامه

در فصل اول در مورد عنوان مورد مطالعه و اهداف و پارامترهای تاثیر گذار بحث می شود و یک کلیتی در مورد کارهایی که قرار است انجام شود، داده می شود.

در فصل دوم در مورد کارهایی که توسط محققین دیگر در گذشته انجام شده است، تمرکز می شود و ظرفیت باربری پی های سطحی بر روی سطوح صاف و شیبدار بررسی می شود.

در فصل سوم کلیاتی در مورد نرم افزار تفاضل محدود ۲D FLAC بیان می شود و هندسه و مشخصات داده شده به نرم افزار بصورت خلاصه آمده است.

در فصل چهارم در مورد تاثیر پارامترهای بدون بعد همانند نسبت فاصله و نسبت ارتفاع بر روی ظرفیت باربری پی سطحی بحث می شود و نمودارها و چارتهایی جهت طراحی آسان و راحت ارائه می شود.

در فصل پنجم نیز به بیان نتیجه گیری و پیشنهادات پرداخته شده است.

۲. فصل دوم

ادبیات فنی و

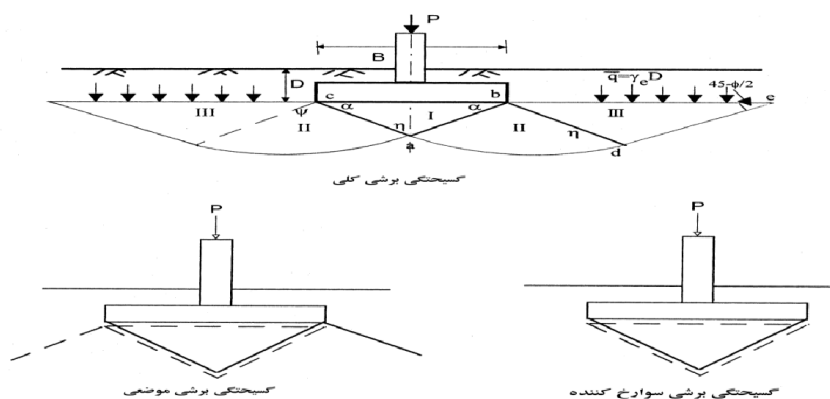
مطالعات پیشین

۱-۲. مطالعات صورت گرفته بر روی ظرفیت باربری خاکهای همگن

پائین‌ترین بخش یک سازه، پی می‌باشد که وظیفه آن انتقال نیرو از سازه به خاک زیرین آن است. با طراحی صحیح پی، بارها بدون ایجاد هرگونه تنش اضافی وارده در خاک، به خاک منتقل می‌شوند. تنش اضافی وارده به خاک می‌تواند نشست‌های غیرمجاز یا گسیختگی برشی در خاک ایجاد کند، که باعث خرابی سازه می‌گردد. بنابراین مهندسین سازه و ژئوتکنیک در انجام مراحل طراحی سازه و پی باید ظرفیت باربری خاک بستر را مورد ارزیابی قرار دهند.

قبل از اعمال بار، خاک بستر پی در حالت الاستیک قرار دارد. بعد از اعمال بار، نشست نسبی ناشی از بار وارده رخ می‌دهد. با افزایش بار و در نتیجه افزایش نشست، خاک از حالت تعادل الاستیک به تعادل پلاستیک می‌رسد. بنابراین در چنین حالتی توزیع عکس‌العمل خاک تغییر کرده و گسیختگی در خاک رخ می‌دهد. گسیختگی برشی کلی، گسیختگی برشی موضعی و گسیختگی ناشی از سوراخ شدن (پانچ) بسته به تراکم نسبی و خصوصیات ذاتی خاک، سه نوع مدل گسیختگی می‌باشند که ممکن است در خاک رخ دهد.

گسیختگی برشی کلی در خاک‌های نسبتاً تراکم ناپذیر با مقاومت برشی محدود رخ می‌دهد. در این حالت گسیختگی با برآمدگی قابل ملاحظه‌ای در سطح زمین همراه می‌باشد. گسیختگی برشی موضعی در خاک‌های نسبتاً تراکم پذیر رخ می‌دهد که در این حالت نواحی گسیخته شده قابل مشاهده می‌باشند و همچنین گسیختگی سوراخ شدگی در خاک‌های با تراکم پذیری بالا رخ می‌دهد (شکل ۱-۲)



شکل ۱-۲ مکانیزم گسیختگی در زیر پی سطحی

۲-۱-۱. پی بر روی زمین مسطح

در طی پنجاه سال گذشته معادلات زیادی جهت تعیین ظرفیت باربری نهایی پی‌های سطحی بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و تحلیل‌های عددی ارائه شده است. در ادامه بعضی از نتایج مهم توسعه یافته تا به امروز، به طور مختصر مورد بحث قرار می‌گیرند. همچنین فرض می‌شود که خاک زیر پی تا عمق بسیار زیادی امتداد یافته و پی در معرض بار قائمی قرار دارد، که بر مرکز سطح آن وارد شده و هیچ گونه خروج از مرکزیتی ایجاد نمی‌نماید.

۲-۱-۱-۱. مکانیزم گسیختگی پراندتل

در سال ۱۹۲۰، پراندتل^۱ نتایج مطالعات خود را در ارتباط با نفوذ یک جسم صلب در داخل یک محیط نرم تر منتشر ساخت و از نظر تئوری نشان داد که وقتی جسم صلب تحت اثر بارهای متمرکز قرار می‌گیرد یک توده گوه‌ای شکل داخل محیط نرم تر و در زیر جسم شکل می‌گیرد. پراندتل در ۱۹۲۱ روابط ظرفیت باربری را برای پی‌های واقع بر خاک همگن ارائه نمود. شکل زیر فرضیات بکار رفته در تئوری پراندتل عبارتند از:

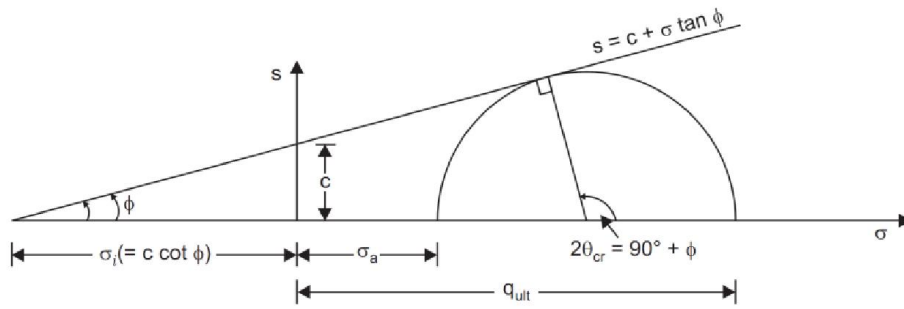
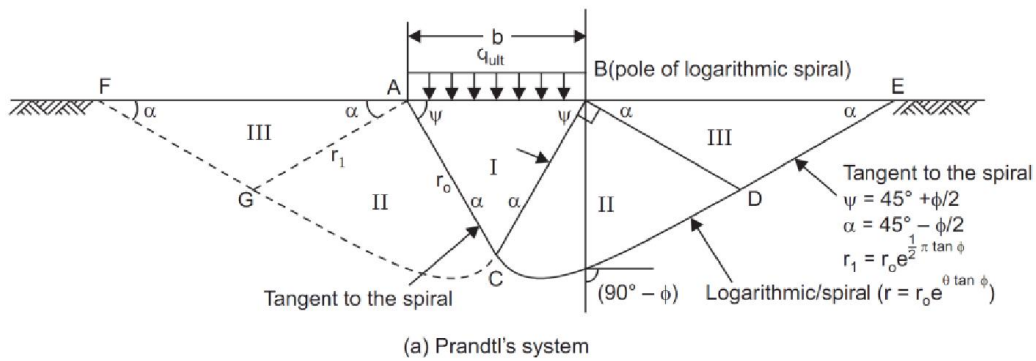
خاک همگن، ایزوتروپ و بی وزن میباشد.

معیار گسیختگی موهر- کولمب برای خاک معتبر است.

گوه‌های ۱ و ۳ رفتار جسم صلب را داشته و ناحیه ۲ دچار تغییر شکل پلاستیک میگردد. (شکل ۲-۲)

تنش‌های ایجاد شده در ناحیه به صورت هیدرواستاتیک در تمامی جهات منتقل میگرددند.

۱. Prandtl



شکل ۲-۲ مکانیزم گسیختگی پراندتل

سطح گسیختگی پراندتل

معادله ناحیه (اسپیرال لگاریتمی) به شکل زیر است:

$$r = r_0 \cdot e^{\pi \tan(\phi)} \quad (1-2)$$

با توجه به دایره موهر نشان داده شده، تنش اولیه برابر است با:

$$\sigma_i = c \cdot \cot(\phi) \quad (2-2)$$

این تنش به همراه q_{ult} به صورت نرمال (طبق فرض شماره ۴) بر سطح BC اعمال میگردد. بنابراین نیروی وارد بر این سطح

برابر است با:

$$F = (\sigma_i + q_{ult}) \cdot BC = (\sigma_i + q_{ult}) \cdot r. \quad (3-2)$$

ممان ایجاد شده توسط این نیرو حول نقطه B برابر است با:

$$M_1 = F \times \frac{r_1}{\psi} = (\sigma_i + q_{ult}) \cdot \frac{r_1^2}{\psi} \quad (4-2)$$

نیروی مقاوم ایجاد شده در سطح BD ناشی از تنش σ_i بوده و برابر است با: