فصل اول: مقدمه و کلیاتی در مورد شمع ها و روش تحلیل

1-1- مقدمه

سازه ها و ساختمانهایی که بر روی محیط خاک قرار می گیرند، به واسطه وزن و سنگینی خود بارهای قابل توجهی را به این محیط اعمال می نمایند. این نیروها می توانند فشاری یا کششی، همانند وزن سازه و یا جانبی، همانند نیروهای ناشی از باد یا زلزله باشند. اگر چنین نیروهایی مستقیماً به محیط خاک وارد شوند قادرند در خاک خرابی های موضعی پدید آورند و به دنبال چنین خرابی هایی، خودسازه دچار نشست و یا چرخش های خواهد گردید که به تبع آن سازه ناپایدار، ناکارآمد و یا منهدم خواهد شد. برای حل چنین مشکلی از عضو واسطی بهره گرفته می شود. این عضو واسط را پی و خاک زیر پی را شالوده می نامیم. عملکرد پی در واقع درگیر کردن حجم بیشتری از خاک جهت تحمل بار اعمالی از سازه است تا تنش در محیط خاک کاهش یابد. گونه ای از پی های متعارف پی هایی عمیق هستند. پی عمیق عضوی است که نسبت عمق به عرض آن حداقل شش باشد. شمع ها را می توان از این دستهٔ پی ها دانست. مزایای قابل توجه شمع باعث شده که در چند دههٔ اخیر توجه ویژه و مطالعات ارزشمندی در مورد رفتار و عملکرد این گونه پی ها صورت گیرد. برخی کاربردهای عمده و اساسی شمع ها را می توان به شرح زیر برشمرد:

1) جهت انتقال بارهای متمرکز و بسیار سنگین به خاک
2) جهت انتقال بار در نقاطی که خاک سطحی دارای ضعف های اساسی باشد.
3) در مناطقی که خاک دارای قابلیت فشردگی باشد.
4) جهت تقویت پی های گسترده ای که در زیر سطح ایستایی آب های زیرزمینی قرار گرفته اند و تحت تأثیر نیروهای برکنشی[1] قرار دارند.
5) برای کاهش دامنه ارتعاش پی ماشین آلات صنعتی
6) جهت احداث بنا در خاک های متورم شونده و یا خاک های فروریزنده[2]
7) در اسکله ها و سازه های دریایی و متکی بر بستر دریا

[1] Uplift
[2] Collapsible

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

8) به منظور متراکم کردن خاک های سست

9) مقابله با خطر آب شستگی در پل ها

10) کنترل نشست پی های تک یا گسترده

11) پایدارسازی شیب ها

12) مقاومت در برابر بارهای جانبی سنگین

از نقطه نظر انتقال بار شمع ها به سه گروه تقسیم می شوند که عبارتند از شمع های اصطکاکی، شمع های اتکایی و شمع های اصطکاکی- اتکایی. از نقطه نظر شکل نیز شـمع ها با مقاطع دایره، مربع، چندضلعی، I ،H و لوله طراحی و اجرا شده اند. فنداسیونهای شمعی معمولاً بمنظور تحمل بارهای فشاری ناشی از سازه ها استفاده می شوند. بعضی از سازه ها مانند، دکلهای انتقال نیرو، لنگرگاهها ویا سکوهای غوطه ور در آب، دودکشهای طویل، اسکله ها ویا موج شکنها وغیره، برروی فنداسیونهای شمعی ساخته می شوند و فنداسیونها باید ترکیبی از بارهای کششی و جانبی را در اینگونه سازه ها تحمل کنند.

اگرچه روابط محاسباتی برای بررسی رفتار شمع تحت بار کششی و جانبی بطور جداگانه در دست است اما به علت کمبود اطلاعات از ماهیت رفتار شمع های بارگذاری شده تحت بار کشش کج چنین روابطی برای این نوع بارگذاری موجود نیست. هدف از این پایان نامه نیز مشاهده اثر زاویه اعمال بار کششی مورب در شمع قائم با مقطع یکنواخت مربعی و مدفون در خاک های ماسه ای می باشد. به علت این که اطلاعات کافی از رفتار چنین شرایط بارگذاری در دست نیست و از طرفی عمده مطالعات برروی چنین بارگذاری در شرایط اجرایی شمع درجا صورت پذیرفته، در این پایان نامه نیز شرایط مشابهی جهت مدل سازی عددی مبنای کار قرار گرفته و از اثرات تنش های باقی مانده در جسم خاک ناشی از کوبش شمع صرف نظر شده است. لذا نتایج این پایان نامه حالت اجرای شمع به روش درجا در محیط کارگاهی را شبیه سازی می کند.

با توجه به اینکه در این پایان نامه از روشهای عددی جهت تحلیل رفتار شمع صورت گرفته در اینجا مقدمه ای بر تحلیلگرهای عددی و مزایای این روش بر تحلیلگرهای سنتی ارائه می شود.

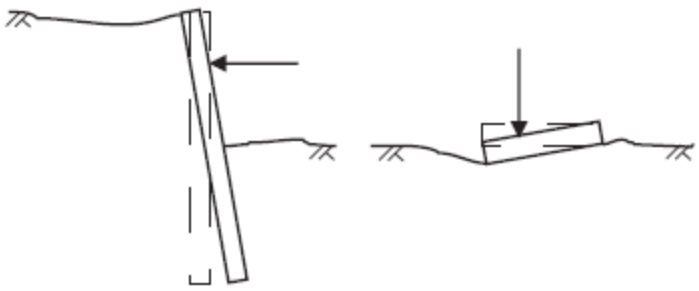
اگرچه بیشتر مهندسان ژئوتکنیک از قبل با تحلیلگرهای عددی آشنا هستند، این روش اغلب دور از دسترس بوده و تعداد زیادی از مهندسان این روش را بجهت پیچیدگی آن و بدلیل آنکه ظرافت در استفاده از آن بکار نرفته است بطور کامل درک نکرده اند.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

برای اینکه چنین تحلیلگری بعنوان یک روش سازنده مورد استفاده قرار گیرد، وبرای جلوگیری از بلایایی که درآینده امکان دارد رخ دهد، درک کردن نقاط قوت وضعف این نوع تحلیلگر برای مهندس ژئوتکنیک بسیار مهم می باشد. اخیراً روشهای بسیار مختلفی از تحلیل در دسترس مهندس ژئوتکنیک می باشد تا آنها را دسته بندی وبا یکدیگر مقایسه نماید. ولی آنچه که در اینجن مورد بحث می باشد آنست که، روشهای عددی تحلیل به مرحله ای رسیده اند که بالاتر از روشهای سنتی گذشته می باشند و می توانند جایگزین آنها درروند طراحیهای ژئوتکنیکی شوند.

1-2- نقش تحلیل در طراحی

واضح است که، نقش تحلیل در روند طراحی بعنوان هدف مورد نظر در طراحی در نظر گرفته می شود. زمانی که هرگونه سازۀ ژئوتکنیکی طرح می گردد، مهندس باید از پایدار بودن آن مطمئن شود. پایداری[3] شکلهای مختلفی دارد. اول، ساختمان و سیستمهای نگهدارنده باید بصورت یکجا پایدار باشند. نباید هیچ گونه خطر گسیختگی ناشی از حرکات چرخشی وبالا وپایین ویا حرکات انتقالی وجود داشته باشد (شکل 1-1 رابببیند). دوم، پایداری کلی باید درنظر گرفته شود. برای مثال، زمانی که یک سازۀ نگهدارنده زمین شیبداری را نگه می دارد، احتمال اینکه این سازه باعث گسیختگی کل شیب شود باید مورد بررسی قرار گیرد.



شکل 1-1- پایداری [1]

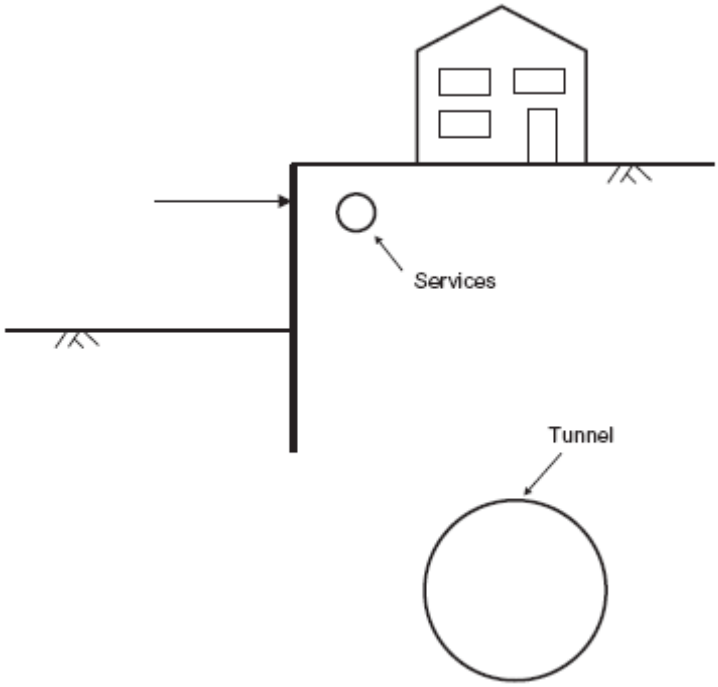
بارهای خارجی و نیروهای داخلی اجزای هر سازه ای مانند دیوارها، دالها، شمعها، مهارها ویا پوسته هایی که باید تحت شرایط بسیار سختی قرار بگیرند، باید بگونه ای طراحی شوند تا ایمنی لازم را برای این سازه ها ایجاد

[3] Stability

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

کنند. برای مثال زمانی که دیوار حائل مدفون را برای نگهداری محل حفاری طراحی می کنیم، لازم است تا لنگرهای خمشی و نیروهای محوری و برشی المانهای دیوار وهر گونه شمع ویا مهاری را تخمین بزنیم.

تغیر مکان سازه و زمین، باید تعیین شود. این موضوع بویژه زمانی که در مجاورت سازۀ مورد نظر ساختمان ویا تأسیسات حساسی وجود داشته باشد، اهمیت خاصی پیدا می کند. برای مثال، اگر حفاری در ناحیۀ شهری درنزدیکی ساختمان ویا تأسیسات قرار داشته باشد (شکل1-2)، یکی از موارد کلیدی طراحی تأثیری است که حفاری روی ساختمانها و تأسیسات مجاور[4] می گذارد. این اثر می تواند شامل تخمین زدن تغییر مکان و نیروهای ایجادشده توسط ساختمان گردد.



شکل 1-2- اندرکنش سازه ها [1]

بمنظور ارضاء اهداف طراحی، یک مهندس لازم است تا محاسباتی را انجام دهد- برای مثال بوسیلۀ در نظر گرفتن ضریب ایمنی در محاسبات پایداری، ویا بوسیلۀ انجام محاسبات برای تخمین تغییر مکانها و نیروهای ساختمانی. در چنین محاسباتی از ریاضیات استفاده می شود که اساس تحلیل را تشکیل می دهد. یک تحلیل خوب، که رفتار واقعی را شبیه سازی می کند، برای مهندس این امکان را فراهم می آورد که مسائل را بهتر درک کند.

[4] Adjacent structures

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تحلیل نه تنها بخشی از روند طراحی می باشد، که شامل موارد زیادی از قبیل پارامتر تعیین ماهیت و پارامتر تجربه می شود، بلکه نقش مهمی را ایفا می کند.

1-3- روشهای تحلیل

1-3-1- مقدمه

در اینجا هدف فراهم کردن چهار چوبی می باشد که در مقایسه با دیگر روشهای تحلیل در دسترس مهندس ژئوتکنیک قرار داشته باشد. این مورد از مزیتهای تحلیل عددی در مقایسه با روشهای سنتی می تواند باشد. با این وجود، باتوجه به شکلهای مختلف تحلیل، آنچه که مهم می باشد، توجه به شرایط تئوریک است که باید در نظر گرفته شود که چهار مورد ازآنها به قرار زیر می باشد.

1-3-2- تعادل[5]

تعادل خود به دو دسته تقسیم می شود: تعادل کل مجموعه و تعادل داخلی. تعادل کلی توأم با نیروهای تجزیه شده و لنگرها بوده، در حالیکه تعادل داخلی توأم با حوزهٔ تنش ایجاد شده می باشد که بوسیلهٔ معادلات دیفرانسیل شناخته شدهٔ زیر ارضاء می شود:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial s_x}{\partial x}+\frac{\partial t_{yx}}{\partial y}+\frac{\partial t_{zx}}{\partial z}+g=0\\
&\frac{\partial t_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial s_y}{\partial y}+\frac{\partial t_{zy}}{\partial z}=0\\
&\frac{\partial t_{xz}}{\partial x}+\frac{\partial t_{yz}}{\partial y}+\frac{\partial s_z}{\partial z}=0
\end{aligned} \qquad (1\text{-}1)$$

توجه کنید که معادلات بالا برای تنشهای کلی $(s_x, s_y, s_z, t_{xy}, t_{xz}, t_{yz})$ ودر سیستم مختصات کارتزین می باشد و فرض بر این است که وزن مخصوص (γ) بوده ودر جهت منفی محور x عمل می کند، بنابراین تعادل به نیروها و تنشها مربوط می شود.

[5] Equilibrium

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1-3-3- سازگاری[6]

بعبارت دیگر، آنچه که به تغییرمکانها وکرنشها مربوط می شود. سازگاری بیان کنندۀ آن می باشد که، اگر جسمی تحت بارگذاری حرکت کند، حفره ها در جسم مورد نظر آشکار نبوده و رویهم قرار گیری مواد صورت نمی گیرد. این جمله بطور واضحی مفهوم عادی سازگاری را می رساند، اما باید توجه کرد که در هنگام تحلیل چنین شرایطی باید به شکل ریاضی فرموله شود. درحالتی که کرنشها کوچک باشند، سازگاری بوسیلۀ وضع کردن شرایطی بدست می آید که تغییرات جابجایی در کل جسم معادلات کرنش زیر را ارضاء می کنند:

$$e_x = -\frac{\partial u}{\partial x}; e_y = -\frac{\partial v}{\partial y}; e_z = -\frac{\partial w}{\partial z}$$
$$g_{xy} = -\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}; g_{yz} = -\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}; g_{xz} = -\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} \qquad (2\text{-}1)$$

تغییر مکان u ،v و w در جهات x ،y و z می باشد. برای حالتی که تغییر مکان سازگار وجود دارد، سازگاری می تواند بشکل ریاضی نشان داده شود، وتمام مؤلفه های کرنش گفته شده در بالا و مشتقات آنها باید وجودداشته و پیوسته باشند.

1-3-4- رفتار مشخصه[7]

این مورد توصیفی از رفتار مواد می باشد. بعبارت ساده این مورد رفتار تنش- کرنش خاک می باشد. رفتار مشخصه معمولاً در برگیرندۀ رابطۀ بین تنشها و کرنشها می باشد، و بنابراین رابطه ای را بین تعادل و سازگاری ایجاد می کند. برای اهداف محاسباتی رفتار مشخصه باید بشکل ریاضی بیان شود:

$$\{\Delta s\} = [D]\{\Delta e\} \qquad (3\text{-}1)$$

این معادلات می تواند هم برای تنشهای کل وهم برای تنشهای مؤثر بیان شود. با این وجود، اگر این معادلات برای تنشهای مؤثر بیان شوند، رفتار سیال در خلل و فرج باید در نظر گرفته شود تا بتوانیم تنشهای کل را بدست آورده وآنها را بامعادلات تعادل ترکیب کنیم. اگر خاک الاستیک خطی باشد، مجموع تنشها وکرنشها می

[6] Compatibility
[7] Constitutive behavior

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

توانند از طریق خاصیت الاستیک بهم مربوط شوند. با این وجود، بدلیل اینکه خاک معمولاً بصورت غیرخطی رفتار می کند، بهتر است که معادلات مشخصه ازدیاد تنش ($\Delta\sigma$) و کرنش ($\Delta\varepsilon$) را بهم مربوط سازند، همانطوریکه در معادلهٔ 3 نشان داده شده است، وماتریس [D] به تاریخچهٔ تنش وکرنش در گذشته وحال بستگی دارد.

1-3-5- شرایط مرزی[8]

حالات خاصی برای موقعیت های مورد بررسی وجود دارد و ماهیت مسائل مقدار مرزی را که باید مورد بررسی قرار گیرند مشخص می کند. برای مثال، آنها می توانند فشار جابجـایی، توالی بارگذاری، حفاری، ساخت و ساز ویا تغییرات فشـار آب حفره ای را مشخص کنند.

برای مثال، اگر جریان سیال در خلل وفرج درنظر باشد، برای معادلات پیوستگی و شرایط مرزی درنظر گرفتن جریانهای مجاز ویا فشارهای سیال حفره ای لازم می باشد. همینطور، اگر بارگذاری دینامیکی مورد نظر باشد، معادلات تعادل باید با درنظر گرفتن اثرات اینرسی ومیرایی توسعه پیدا کنند.

روشهای تحلیل اخیر می تواند بطور مناسبی به دسته های زیر تقسیم شود: قالب بسته، تحلیل ساده وعددی. هریک ازاین گروه ها بنوبت مورد بررسی قرار خواهد گرفت. توانایی هرروش برای ارضای شرایط اساسی تئوریک وفراهم کردن اطلاعات مورد نیاز برای طراحی بترتیب در جداول 1-1 و 2-1 مختصراً آورده شده است.

1-3-6- راه حل قالب بسته[9]

راه حل قالب بسته روش نهایی تحلیل می باشد. برای هر سازهٔ ژئوتکنیکی خاص، اگر استفاده از این راه حل ممکن باشد، می توان یک مدل ساختمانی واقعی را برای رفتار مواد وماهیت شرایط مرزی ایجاد کرده، واین مدل را با معادلات تعادل وسازگاری ترکیب می کنیم، وسپس با انجام انتگرال گیری نهایی، یک راه حل تئوریک واقعی بدست آید. این راه حل درواقع دارای مفهوم تئوریک بوده ، اما در مسائل واقعی هنوز دارای تقریب می باشد، مانند فرضیات مربوط به شکل مسئله، شرایط مرزی بکاررفته و رفتار ساختمانی که درحالت ایده آل مسئلهٔ واقعی را بشکل معادلات ریاضی در می آورد. درواقع، این راه حل ممکن است تبدیل به یک راه حل کاملاً تحلیلی برای تغییرمکانها،

---

[8] Boundary conditions
[9] Closed form solutions

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

نیروها، تنشها وکرنشها درهر نقطه خواسته شده درصورت مسئله وبرای تمام مراحل ساخت شود. درحالی که یک تحلیل صرفاً اطلاعات مربوط به تغییر مکان وپایداری را فراهم می کند.

با این وجود، باتوجه به اینکه خاک یک مادۀ چند فازی خیلی پیچیده می باشد که درهنگام بارگذاری بصورت غیرخطی رفتار می کند، معمولاً راه حلهای کاملاً تحلیلی برای مسائل واقعی ژئوتکنیکی وجود ندارند. راه حلها تنها می توانند برای دوگروه از مسائل بدست آیند.

اول، راه حلهایی که فرض می کنند خاک بصورت الاستیک خطی وایزوتروپیک رفتار کرده و شرایط مرزی ساده ای دارد. اگرچه این راه حلها می توانند برای ایجاد یک تخمین اولیه از تغییرمکانها و نیروی ساختمانی مفید باشند، اما استفاده از این راه حلها برای بررسی پایداری کم می باشد. مقایسه ای که با رفتارهای مشاهده شده صورت گرفته است نشان می دهد که چنین راه حلهایی در اغلب موارد نادرست می باشند.

دوم، راه حل مسائلی که دارای تقارن هندسی هستند واین مسائل به مسائل یک بعدی تبدیل می شوند. انبساط کروی و حفرات استوانه ای با طول خیلی زیاد دریک محیط پیوستۀ الاستو- پلاستیک نامحدود مثالهایی از این مورد می باشد. اگرچه این راه حلها سودمند می باشند ولی کاربردهای عملی را محدود می سازند.

جدول 1-1- قابلیت روش های تئوریک اصلی برای هریک از روش های تحلیل [1]

قابلیت شرایط تئوریک					روش تحلیل	
شرایط مرزی		رفتار مشخصه	سازگاری	تعادل		
تغییر شکل	نیرو					
اری	اری	الاستیک خطی	اری	اری	راه حل قالب بسته	
خیر	اری	صلب با معیار گسیختگی	خیر	اری	تعادل حدی	
خیر	اری	صلب با معیار گسیختگی	خیر	اری	حوزه تنش	
خیر	اری	کاملا پلاستیک با درنظر گرفتن قانون حریان همراه	خیر	اری	مرز پایین	تحلیل حدی
اری	خیر		اری	خیر	مرز بالا	
اری	اری	در همه حالات	اری	اری	تحلیل عددی	

قابلیت دارد، اری ؛ قابلیت ندارد، خیر

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدول 1-2- قابلیت شرایط طراحی برای هر یک از روش های تحلیل [1]

روش تحلیل		شرایط طراحی		
		سازه های مجاور	جابجایی	پایداری
راه حل قالب بسته		اری	اری	خیر
تعادل حدی		خیر	خیر	اری
حوزه تنش		خیر	خیر	اری
تحلیل حدی	مرز پایین	خیر	خیر	اری
	مرز بالا	خیر	غیر قابل تخمین	اری
تحلیل عددی		اری	اری	اری

1-3-7- روشهای ساده[10]

در مواجهه با شرایط مورد نیاز برای اکثر روشهای تحلیل مهندس ژئوتکنیک ساده سازیهایی را انجام می دهد. این ساده سازیها باعث می شود که شرایط راه حل به یک شرط که معمولاً شرط سازگاری می باشد کاهش پیدا کند. روشهای تحلیل را می توان به گروههای تعادل حدی[11]، حوزۀ تنش[12] و روشهای تحلیل حدی[13] تقسیم بندی کرد (جدول 1-1 رابببینید).

مثالهایی از تحلیل تعادل حدی عبارتند از آنالیز گوۀ کولمب[14] (کولمب 1776)، آنالیز انجام شده توسط کاکوت[15] و کریسل[16] برای نتیجه گرفتن از ضرایب رانش محرک ومقاوم زمین (کاکوت و کریسل 1984) و بخشی از روشهای استفاده شده در پایداری شیب (بروم هد[17] 1992).

ضرایب رانش زمین رانکین (رانکین 1857)، راه حل سکلسکی[18] (1960، 1965) و ضرایب ظرفیت باربری مثالهایی از راه حل حوزۀ تنش می باشند.

---

[10] Simple methods
[11] Limit equilibrium
[12] Stress field
[13] Limit analysis
[14] Coulomb
[15] Caquot
[16] kerisel
[17] Bromhead
[18] Sokolovskii

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تحلیل حدی شامل راه حلهای حد بالا (که غیرمطمئن بوده) وحد پایین(که مطمئن است) می باشد. درواقع، اگر بتوان راه حلهای حد بالا وحد پایین را بگونه ای ایجاد کرد که همان نتایج را دارا باشند، این راه حلها، راه حل واقعی مسئلهٔ تحلیل شده می باشند. با این وجود، موارد کمی وجود دارند که می توانند مارا به این هدف برسانند، هرچند که این موارد از مدلهای ساختمانی خیلی ایده آلی استفاده می کنند.

توجه به این نکته که تمام این روشها نیازمند فرضیاتی مانند مکانیسم گسیختگی می باشند اهمیت دارد. همچنین محدودیتهایی نیز برای فرضیات وجود دارد مانند اینکه خاک یا بصورت زهکش ویا زهکشی نشده رفتار می کند. در گذشته معیار گسیختگی ترسکا برحسب مقاومت زهکشی نشده، S_u، بیان می شد، بعدها معیار گسیختگی موهر- کولمب برحسب چسبندگی، c'، وزاویهٔ مقاومت برشی، f'، بیان شد.

با توجه به ارضاءکردن شرایط طراحی، این روشها اطلاعات را تنها بر پایهٔ پایداری فراهم می نمایند. این روشها نه تنها نمی توانند شرایط تئوریک را مرتفع سازند بلکه راه حلهای تقریبی نیز می باشند. در ادامهٔ مطالب، روشهای تحلیل ساده وقالب بسته بعنوان روشهای سنتی درنظر گرفته می شوند.

1-3-8- روشهای عددی[19]

در این روش تحلیل تمام شرایط یک راه حل تئوریک درنظر گرفته شده است، اما ممکن است بصورت تقریبی تحلیل را انجام دهد. این روشها تنها در 15-10 سال گذشته توسعه یافته تاجایی که درروند طراحی مفید واقع می شوند. بنابراین در دسترس مهندسان ژئوتکنیک نبوده اند.

این روشها براساس روشهای تفاوت محدود[20] و المان محدود[21] بوده وبطور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرند. این روشها شامل شبیه سازیهای کامپیوتری تاریخچهٔ مسائل مقدار مرزی در شرایط محل، در طولانی مدت ودر طول مدت ساخت می باشد. یک تحلیل تنها می تواند اطلاعات مورد نیاز شرایط طراحی را فراهم آورد: جدول شمارهٔ 1-2 را ببینید.

توانایی این روشها به شرایط محل برمی گردد که خود به توانایی مدلهای ساختمانی بستگی دارد ورفتار واقعی خاک و توانایی مهندس ژئوتکنیک را ارائه داده وشرایط مرزی رابه مراحل مختلف ساخت نسبت می دهند.

---

[19] Numerical methods
[20] Finite difference
[21] Finite element

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مزایای دیگر این روشها نسبت به روشهای سنتی عبارتند از توانایی شبیه سازی تأثیر زمان بر گسترش فشار آب حفره ای بوسیلهٔ درنظر گرفتن تحکیم ثانویه، تورم و رفتار دینامیکی می باشد و شاید مهمتر از همه عدم نیاز به مکانیسم گیسختگی یا چگونگی رفتار مسئله می باشد، چون این موارد بوسیلهٔ خود تحلیل پیش بینی می شوند.

از بسیاری جهات روشهای عددی بهتر از روشهای سنتی می باشند. با این وجود، آنها نیز تقریبی هستند. برای دو فرض اساسی که درمورد آنها بحث خواهد شد از روش المان محدود بعنوان یک مثال استفاده می شود.

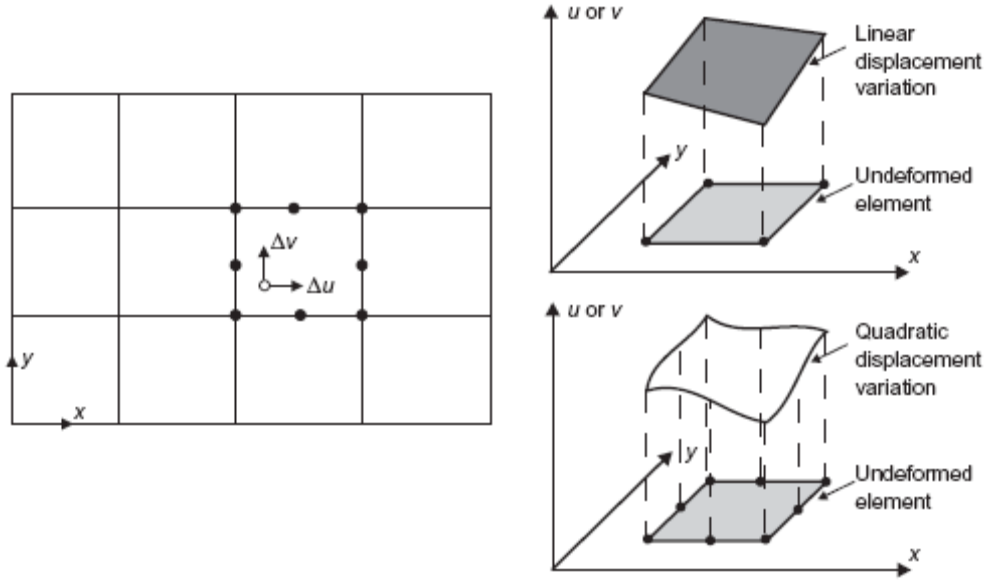
1-3-8-1- تقریب مناسب[22]

زمانی که شکل یک مسئله مقدار مرزی را بوسیلهٔ مجـموعه ای از نواحی کوچک مدل می کنیم، المـان محدود نامیده می شود (شکل 1-3 را ببینید). این المان ها گره هایی دارند، که این گره ها بر روی مرزهای المان ویا در داخل المـان تعریف می شوند. برای استفاده از این روش، متغیرهای اولیه ای باید انتخاب شوند (مانند تغییر مکان ویا تنش)، وقوانینی که چگونگی تغییر این متغیرها را درسرتاسر یک المان بیان می کنند، باید تعیین شود. این متغیرها برحسب مقادیر گرهی بیان می شوند.

در مهندسی ژئوتکنیک معمولاً تغییرمکان را بعنوان متغیر اولیه درنظر می گیرند و فرض می کنند که تغییر مکان بصورت یک چند جمله ای درسرتاسر المان تغییر می کند. برای مثال، فرض می شود که یک المان کرنش مسطح 4 گرهی تغییرات خطی دارد، درحالیکه یک المان 8 گرهی دارای تغییرات درجهٔ دوم تغییر مکانهایu وv می باشد: شکل 1-3 را ببینید. بنابراین یک تحلیل تنها زمانی درست خواهد بود که فرضیات آن بتوانند بدرستی مسیری راتجسم کنند که خاک در آن مسیر درمسئله مقدار مرزی تغییر شکل می یابد. با این وجود، دقت بکاررفته در مسئله را می توان بااستفاده از المانهای کوچکتر بهبود بخشید وبنابراین المانهای بیشتری برای یک حجم ثابت خاک باید بررسی شود. این نتایج بیان می کنند که زمان محاسبات ودقت محاسبات نسبت عکس دارند.

[22] Discretisation approximation

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل 1-3- تقریب های مناسب [1]

1-3-8-2- استراتژی راه حل غیر خطی

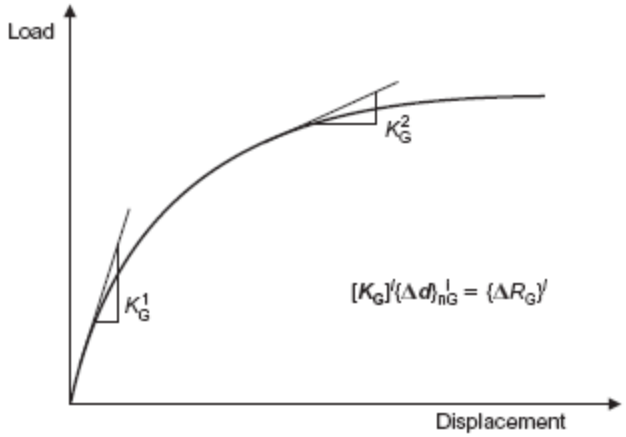
براساس تئوری روشهـای عددی (که عبارتنداز المـانهای محدود، تفاوتهای محدود والمانهای مرزی[23])، فرض می شود که رفتار مواد خطی بوده وتغییر مکانها کوچک می باشد. این فرضیات به این موضوع اشاره دارد که رفتار مواد لزوماً الاستیک خطی بوده ودارای سختی ثابت ومقاومت نامحدود می باشند. متأسفانه، خاک به این صورت رفتار نکرده، ودر نتیجه بعلت اینکه مصالح ویا شکل مسئله بصورت غیرخطی رفتار می کند، سختی خاک درطول مدت تحلیل متغیر خواهد بود. این نتایج بوسیلهٔ منحنی یک بعدی بار- تغییرمکان نشان داده می شودکه در شکل 1-4 شرح داده شده است.

یک استراتژی حل نیازمند این است که بتواند تغییرات رفتار مواد رادر نظر بگیرد. به این صورت که یک تقریب اولیه ای را برای سختی درنظر گرفته وبارگذاری را بصورت افزایشی ویا گام به گام بکار بگیریم. برای هرگام سختی مناسبی انتخاب کرده وتغییر مکانها، تنشها وکرنشهای اضافی را محاسبه می کنیم. همانطورکه بار به اندازهٔ کم افزایش می یابد، این نتایج نیز تغییر می یابند. بعضی از بسته های نرم افزاری پیشرفته تر تلاش می کنند تااین روش را بکار ببرند، ولی هیچ راهکار ریاضی برای انجام این روش وجود ندارد. بنابراین، تقریبها، هرچند که مقادیر خیلی کوچکی هم باشد، وجود خواهند داشت.

[23] Boundary elements

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

بدلیل اینکه استراتژی حل مؤلفه ای کلیدی در هرتحلیل غیرخطی می باشد، می تواند بردرستی نتایج ومنابع کامپیوتری مورد نیاز برای بدست آوردن آنها تأثیر زیادی گذارد.



شکل 1-4- راه حل غیر خطی [1]

براساس بحثی که دربالا انجام شد، تحلیلگر عددی بنظر می آیدکه بتواند هرچیزی که روشهای سنتی انجام می دهد وحتی بیشتر از آنرا نیز انجام دهد. این موضوع سؤالاتی را ایجاد می کند که چراما هنوز از روشهای سنتی استفاده می کنیم. درگذشته ممکن بود بعضی محدودیتها توسط دستورالعملهای تجربی بوجود بیاید، اما این محدودیتها با دستورالعملهای جدیدتر (مانند یوروکد[24]) خیلی زیاد نیست.

موضوعی که در اینجا مورد بحث قرار می گیرد، جایگزینی روش های تحلیل عددی با روش های سنتی در روند طراحی ژئوتکنیکی می باشد. به همین منظور در زیر قابلیت هایی را که روش تحلیل عددی باید دارا باشد ارائه شده است.

1) هرکاری راکه تحلیل سنتی انجام می دهد، انجام دهد.
2) منطبق با رفتار واقعی خاک باشد.
3) تحکیم را درنظر بگیرد.
4) مکانیسم رفتار را ایجاد کند.
5) منطبق با چینه شناسی خاک مخلوط باشد.

[24] Eurocode 7

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

6) اندرکنش بین سازه ها را درنظر بگیرد.

7) منطبق با شکل سه بعدی باشد.

همچنین مواردی نیز وجود دارند که جایگزینی روش تحلیل عددی با سنتی را مورد تردید قرار می دهند، که عبارتند از:

8) هیچ استانداردی دراستراتژی غیرخطی وجود ندارد.

9) بعضی از مدلهای ساختمانی نمی توانند پیش بینیهای معقولی را ارائه دهند.

10) تحلیل برخی از مسائل ساده مشکل می باشد.

11) نتایج به کاربر وابسته می باشد.

1-4- هدف از این پایان نامه

در مراجع مختلف می توان روش های بسیار متفاوتی برای تحلیل و طراحی شمع تحت بار جانبی و کششی بطور مستقل یافت. این روابط بصورت گسترده ای در موارد عملی بکار گرفته شده اند و صحت و کارایی خود را به اثبات رسنده اند. این در حالی است که مطالعات اندکی بر روی رفتار و عملکرد شمع تحت بار کشش کج صورت گرفته است. لذا در این پایان نامه سعی شده است با بهره گرفتن از مدل های عددی و به کمک نسخه 3/00-261 از نرم افزار Flac3D مطالعاتی بر روی رفتار شمع تحت این گونه بارگذاری صورت گیرد. این نرم افزار که مبتنی بر روش حل تفاضلات محدود، عمل می نماید قادر است بر مبنای حل تقریبی معادلات تعادل بر اساس رویه حل تکرار متوالی شرایط مورد نظر را چه از لحاظ هندسی و چه از لحاظ خواص خاک بازسازی نموده و نتایج را ارائه دهد.

در بخش مطالعات انجام شده رفتار شمع با نسبت لاغری پایین را به طور موردی تحلیل کرده، به اینصورت که در بخشی تأثیر تغییر زاویه اصطکاک خاک را در زوایای مختلف بارگذاری بررسی کرده و در بخش دیگر تأثیر کاهش وزن مخصوص شمع را در زوایای مختلف یارگذاری مورد بررسی قرار می گیرد.

در این پایان نامه تمرکز بر این خواهد بود که تأثیر زاویه اعمال بار کشش کج بر رفتار شمع مورد بررسی قرار گیرد. در این جا پس از ارائه کلیاتی از شمع ها که در این فصل ارائه گردید در فصل بعد خلاصه ای از مطالعات

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مرتبط با این گونه بارگذای در شمع ها بررسی خواهد شد. در فصل سوم مبانی مدل سازی با نرم افزار Flac3D بررسی خواهد شد. در فصل چهارم نیز به کمک گزارشات آزمایشگاهی صحت نتایج خروجی از نرم افزار و عملکرد مناسب مدل مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در فصل پنجم هدف، مطالعات صورت گرفته به منظور رفتار سنجی شمع ها تحت بارگذاری کشش کج خواهد بود. در فصل ششم نیز نتیجه گیری ها و پیشنهادات کلی حاصل از این پایان نامه ارائه خواهد شد.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱- شمع تحت بار جانبی

2-1-1- مقدمه

شمعها اغلب تحت بارهای مایل قرار دارند. این بارها برآیند بارهای محوری و جانبی وارد بر شمع هستند. بارهای جانبی ممکن است ناشی از فشار آب ، باد و یا خاک باشد. اگر مولفه جانبی نیروی وارد بر شمع نسبت به مولفه محوری کوچک باشد، می‌توان از آنالیز شمع تحت اثر بار جانبی صرف‌نظر کرد. به عنوان مثال لازم نیست که شمع زیر ساختمان در مقابل نیروی جانبی ناشی از باد آنالیز شود. ولی آنالیز شمع اسکله‌ها ، پایه پلها ، دودکشهای بلند ، دیوارهای حایل و از این قبیل ضروری است. در گذشته طراحان فکر می‌کردند که شمع فقط می‌تواند بار محوری را تحمل کند. آنان در یک گروه شمع برای محاسبه بار محوری وارد بر هر شمع از روشهای ترسیمی استفاده می‌کردند و برای اینکه چند ضلعی نیروها بسته شود نیاز به حداقل یک شمع مایل در گروه شمع بود اما امروزه محققان دریافته‌اند که شمعهای قایم علاوه بر بار محوری قابلیت تحمل بار جانبی را نیز دارند و دیگر نیازی به طراحی شمع مایل به مفهوم قبلی نمی‌باشد ، با این حال اگرظرفیت باربری جانبی برای تحمل بارجانبی کافی نباشد امروزه نیز از شمعهای مایل استفاده می‌کنند. در طراحی شمعهای تحت بار جانبی لازم است که ظرفیت سازه‌ای شمع و تغییر شکلهای خاک در قبال بارهای جانبی مد نظر قرارگیرند. بدین منظور لازم است تا شناخت کافی درباره نحوه گسیختگی شمع تحت بار جانبی داشته باشیم. ظرفیت حدی جانبی شمع قائم از طریق زیر می-تواند محدود شود :

1- بار وارده از ظرفیت خاک تجاوز کند که ماحصل آن جابجایی افقی بزرگ شمع و در نهایت شکست فونداسیون را در بر دارد. (معیار ژئوتکنیکی)

2- ممان خمشی در شمع در نتیجه بار جانبی ممکن است موجب بروز تنشهای بزرگی در مصالح شمع شده که موجب شکست سازه‌ای در شمع می‌شود. (معیار سازه‌ای)

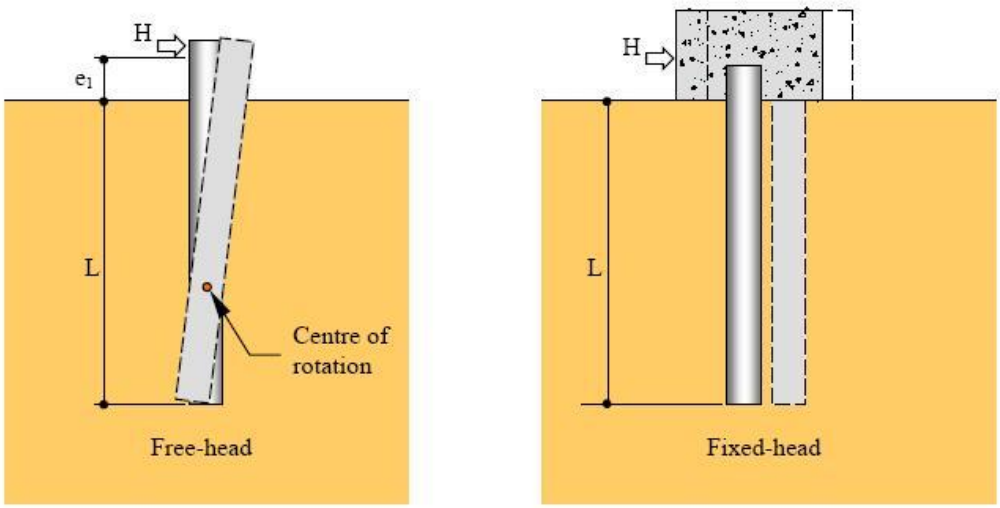
3- تغییر مکان جانبی بیش از حدسرشمع با مقادیر مجاز روسازه سازگاری نداشته باشد.(معیار جابجایی)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

بنابراین ظرفیت باربری جانبی شمع بر اثر ظرفیت برشی خاک ، ظرفیت سازه‌ای مقطع و جابجایی جانبی مجاز شمع محدود می‌گردد. در ادامه به بررسی نحوه گسیختگی شمعهای تحت بار جانبی می‌پردازیم.

2-1-2- مکانیسم گسیختگی شمعهای تحت بار جانبی

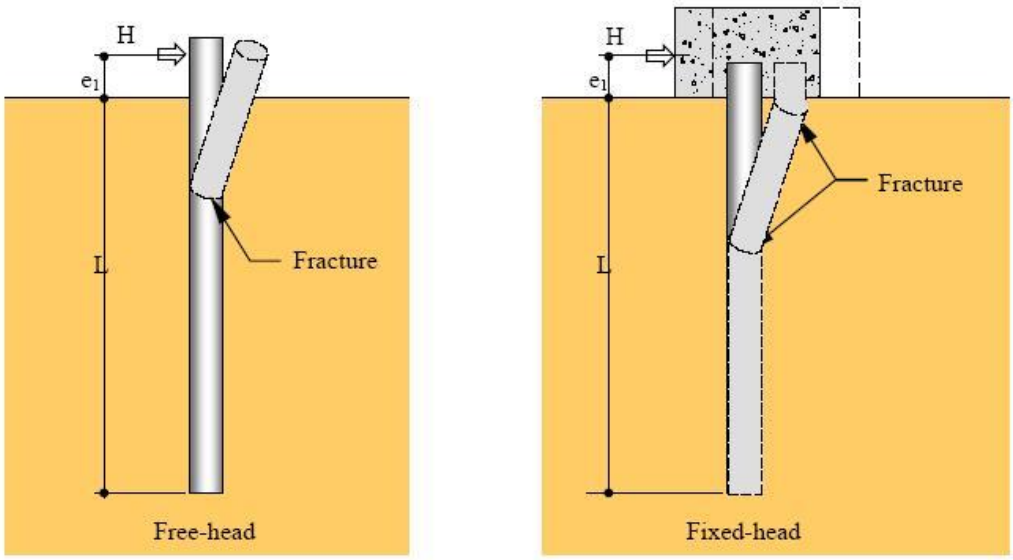
مکانیسم گسیختگی شمعهای کوتاه تحت بار جانبی در مقایسه با شمعهای بلند متفاوت است و به طور کلی به طول شمع، ظرفیت باربری خاک، نوع خاک و شرایط مرزی سر شمع (گیرداری یا آزادی سر شمع) بستگی دارد. وقتی که یک شمع تحت بار جانبی قرار می‌گیرد ، در ابتدا سهم عمده‌ای از بار توسط قسمت‌های فوقانی خاک تحمل می‌شود و مقدار کمی از بار به لایه‌های تحتانی انتقال می‌یابد. با افزایش بار خاک لایه‌های بالایی به حالت خمیری می‌رسد و بار بیشتری به لایه‌های تحتانی منتقل می‌شود. اگر شمع کوتاه و سر شمع آزاد باشد ، در اثر اعمال بار جانبی بزرگ ، حول نقطه‌ای در امتداد طول خود دوران می‌کند و خاک مجاور شمع به حالت مقاوم می‌رسد. شمع در این حالت تحت فشار جانبی مقاوم خاک در بالا و پایین نقطه دوران ولی در دو جهت قرینه است (شکل2-1). گسیختگی زمانی رخ می‌دهد که فشار جانبی خاک در بالا و پایین مرکز دوران از ظرفیت باربری جانبی آن تجاوز کند. اگر شرایط سر شمع به گونه‌ای باشد که از دوران سر شمع کوتاه جلوگیری کند آنگاه تمام طول شمع به صورت یکنواخت انتقال می‌یابد و تحت فشار جانبی خاک قرار می‌گیرد (شکل2-1).



شکل2-1: مکانیسم گسیختگی شمع کوتاه تحت بار جانبی

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

شمعهای بلند انعطاف پذیرند و نحوه گسیختگی خاک برای یک شمع بلند با نحوه گسیختگی یک شمع کوتاه و صلب متفاوت است. ظرفیت باربری جانبی خاک برای این شمعها بزرگ است لذا دوران یا انتقال در شمع به وجود نمی‌آید و گسیختگی زمانی رخ می‌دهد که سازه شمع گسیخته شود (شکل2-2).



شکل2-2: مکانیسم گسیختگی شمع بلند تحت بار جانبی

2-1-3- توزیع مقاومت جانبی خاک

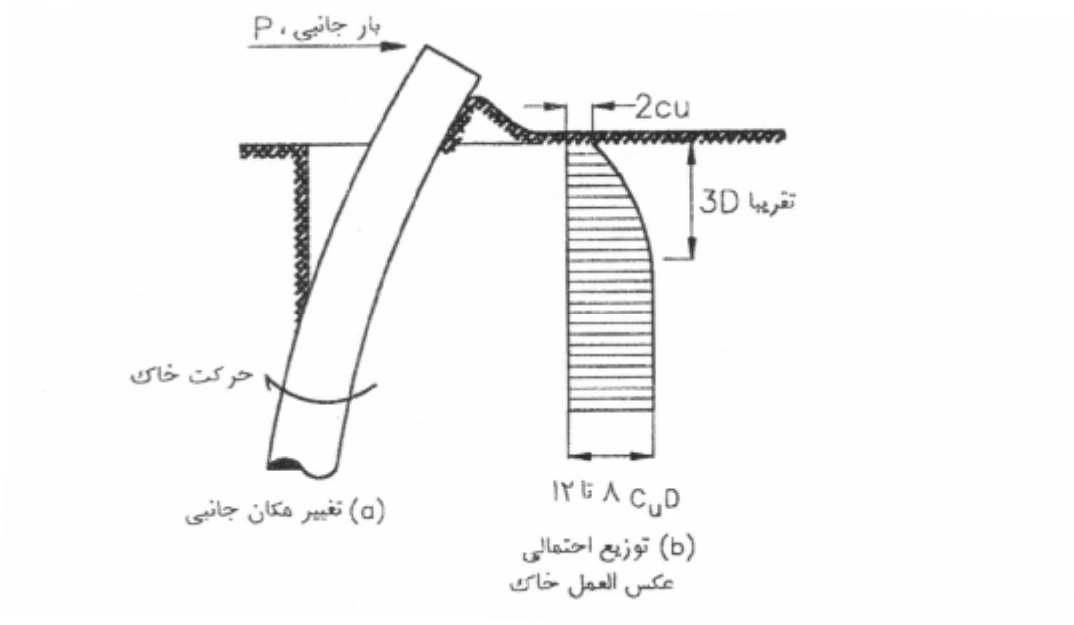
برای محاسبه ظرفیت باربری جانبی شمع لازم است تا مقاومت جانبی نهایی خاک و نحوه توزیع آن در امتداد طول شمع را بدانیم. برای خاک کاملا" چسبنده مقاومت جانبی نهایی (P_u) از سطح زمین تا حدود 3 برابر قطر شمع افزایش می‌یابد و پس از آن ثابت باقی می‌ماند(شکل2-3). وقتی که P_u ثابت می‌شود ، انهدام جانبی در صفحه افقی باعث خمیری شدن خاک حول شمع می‌شود و مقدار P_u از نظریه خمیری بدست می‌آید. مقدار مقاومت جانبی نهایی ضریب از چسبندگی خاک است :

$$P_u = K_c.C_u \qquad (1\text{-}2)$$

k_c، ضریب مقاومت جانبی است که به نسبت چسبندگی شمع به چسبندگی خاک (C_a / C_u) و به مقطع شمع بستگی دارد. مهمترین پارامتر مربوط به مقطع شکل ضریب شکل می‌باشد. در شکل 2-4 تأثیر ضریب شکل

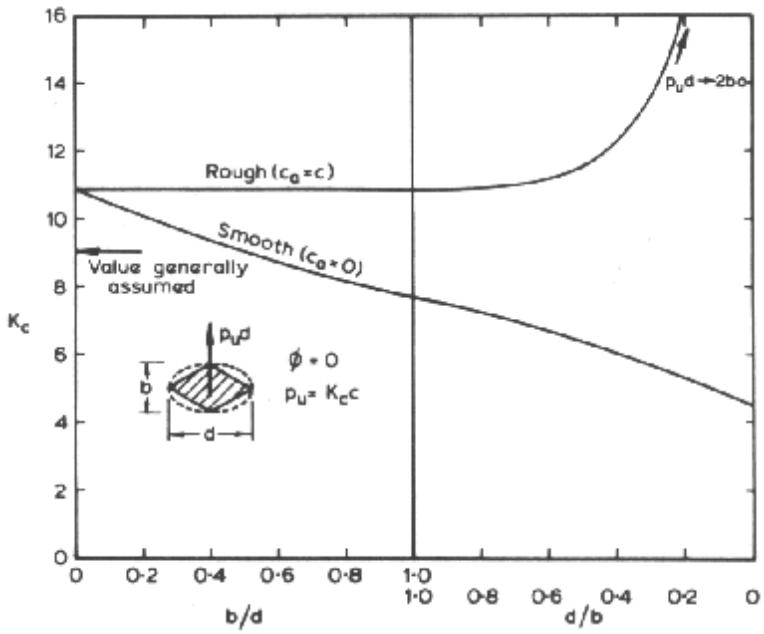
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

بر K_c برای $C_a / C_u = 0$ و $C_a / C_u = 1$ نشان داده شده است. با دقت کافی می‌توان مقادیر مربوط به صفر و یک را با درونیابی خطی بدست آورد. منحنی‌های شکل 2-4 با استفاده از نظریه خمیری و برای مقطع شمع لوزی شکل بدست آمده است ، اما می‌توان آنرا با همین ضریب شکل به طور محافظه‌کارانه برای شکلهای دیگر بکار برد. با این وجود ، در اکثر متون علمی مکانیک خاک مقاومت جانبی در عمق خاکهای کاملا" چسبنده با هر مقدار C_a / C_u و هر شکل مقطع ، $9C_u$ در نظر گرفته می‌شود.



شکل 2-3: توزیع مقاومت جانبی شمع واقع در خاک چسبنده

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل 2-4 : تأثیر ضریب شکل و چسبندگی بر روی ضریب مقاومت نهایی جانبی خاک

برای خاکهای $C-\phi$ روش دیگری مبتنی بر نظریه فشار خاک ، جهت تعیین مقاومت جانبی نهایی خاک توسط برینچ هانسن[25] ارایه شده است که در ان مقاومت با عمق شمع تغییر می‌کند.

وی مقاومت نهایی خاک در هر عمق زیر سطح زمین را به صورت زیر بیان کرد :

$$P_{u(z)} = \sigma'_v k_{qz} + c k_{cz} \qquad (2\text{-}2)$$

$P_{u(z)}$: مقاومت غیر فعال خاک بر واحد عرض شمع

σ'_v : تنش موثر خاک در عمق z

[25] Brinch Hansen

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com