بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست

فصل۱۶فوندانسیون برج ها

۱-مقدمه..... ۵

. ۲-رده بندی زمینهای مسیر خطوط انتقال نیرو:..... ۶

۲-۱-رده بندی لایه های زمین..... ۶

۲-۱-۱-رده بندی سنگها..... ۶

. ۲-۱-۲-رده بندی خاک ها..... ۷

. ۲-۲-روابط موجود بین حجم و وزن مخصوص..... ۱۰

۲-۳-مقاومت برشی خاک..... ۱۲

. ۲-۴-نشت خاک تحت عمل بار گذاری و مقاومت باربری خاک..... ۱۴

. ۳- مبانی طراحی..... ۱۶

. ۳-۱- تعیین ابعاد پی :..... ۱۶

. ۳-۱-۱ تعیین عمق پی..... ۱۷

. ۳-۱-۲- تعین بعد پی..... ۲۰
.. ۳-۱-۲-۱- نیروی کششی..... ۲۰
. ۳-۱-۲-۲- نیروی فشار..... ۲۵
. ۳-۱-۳- تعیین ضخامت پی..... ۲۸
. ۳-۱-۳-۱- روش تیر عرضی..... ۲۸
. ۴- محاسبه نیرو های وارد بر فونداسیون..... ۳۲
۴-۱-انتقال نیروی وارد بر برج به پایه های ان..... ۳۲

فصل ۱۶
فوندانسیون برج ها

۱-مقدمه:

فوندانسیونها نیز یکی از اجزای سیستم انتقال انرژی بشمار می روند. وظیفه آنها نگهداری برج و تحمل نیروهای کششی و فشاری موجود که از طریق پایه ها بدان ها منتقل گردیده می باشد.اصول اولیه طراحی فوندانسیون بر این مبناست که زمین زیر پایه برج مقاومت کافی در مقابل کلیه فشارهای وارد بر آن را دارا بوده و از طرفی وزن فوندانسیون و خاک بتواند در مقابل نیروی کششی که تمایل به بیرون کشیدن فوندانسیون از زمین را دارد مقاومت نماید.

نیروهای فشاری شامل کلیه نیروهای عمودی وارد بر بازوهای برج و وزن برج و همچنین نیروهای حاصل از ممان ایجاد شده توسط

مقابل این نیروها مقاومت نموده و کافیست که باتفاق نیروی وزن فوندانسیون و خاک (قسمتی که روی فوندانسیون قرار دارد)بتوان این نیروهای کششی را خنثی نمود.

فوندانسیون های شبکه انتقال نیز به علت نقش مهمی که در نگهداری و امنیت سیستم انتقال دارند حائز اهمیت فراوان بوده و طراحی و نظارت بر اجرای این قسمت از تاسیسات توجه بیشتری نیاز دارد.به علت قرار گیری طیف وسیعی از خاکها در مسیر یک خط انتقال نیرو لازم است در هنگام طراحی دقت بیشتری به عمل اید تا در هر حالت فوندانسیون متناسب با نوع خاک اجرا گردد.

۲-رده بندی زمینهای مسیر خطوط انتقال نیرو:

مشخصه خاکهای مسیر عبور خط انتقال عامل مهمی در طراحی و تعیین ابعاد پی محسوب می شود.مقاومت مجاز زمین و اصولا زمین شناسی و مکانیک خاک مسیر عبور خط از پیش فرضهای طراحی پی بشمار می رود.

۲-۱-رده بندی لایه های زمین :

مصالح تشکیل دهنده لایه بیرونی سطح کره زمین را بطور کلی به سنگها و خاکها تقسیم بندی می نمایند.

۲-۱-۱-رده بندی سنگها:

بطور کلی سنگها به سه دسته عمده بشرح زیر طبقه بندی می شوند.

الف)سنگهای آذرین

ب)سنگهای رسوبی

ج)سنگهای متامورفی

مقاومت فشاری مجاز تعدادی از سنگ ها در جدول شماره(۱)آمده است:

نوع سنگ	(Kg/cm^2 فشار مجاز)
سنگهای آذرین	بیش از ۵۰
سنگهای گنیس	بیش از ۵۰
سنگهای آهکی و ماسه و سنگهای سخت	۳۰
سیست هاو تخته سنگ ها	۲۰
سنگ های رسی و لای سنگ	۱۰
بلوک های گچی سخت	۶

۲-۱-۲-رده بندی خاک ها:

خاکها معمولا از لحاظ وضعیت ظاهری و خواص مکانیکی و شیمیایی رده بندی می شوند و برای بدست آوردن اطلاعات دقیق در مورد خاک بایستی آن را تحت آزمایشهای مختلف قرار داد.

بر حسب درشتی دانه ها خاکها به گروه های مختلف تقسیم می شوند .در جدول شماره(۲) طبقه بندی خاکها را بر حسب درشتی دانه ها مشاهده می کنید.

mm)۲(	۱,۰	۰,۵	۰,۲۵	۰,۱	۰,۰۵	۰,۰۰۵
شن ریز	ماسه درشت	ماسه	ماسه ریز	ماسه خیلی ریز	لیمون	رس

mm)۲(	۰,۶	۰,۲	۰,۰۶	۰,۰۲	۰,۰۰۶	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰۶	۰,۰۰۰۲
درشت	متوسط	ریز	درشت	متوسط	ریز	درشت	متوسط	ریز

	ماسه(Sand)	(Silt)لیمون	(Clay) رس

جدول شماره (۲)-طبقه بندی خاک بر حسب درشتی دانه

مقاومت خاکها از دو خاصیت فیزیکی آنها منشا می گیرد.

الف-خاصیت چسبندگی

ب-خاصیت اصطکاک بین ذرات

بر حسب اینکه آیا مقاومت خاک فقط از چسبندگی منشا می گیرد یا خیر آنها را به انواع خاکهای چسبنده و غیر چسبنده نیز تقسیم بندی می نمایند.

مقاومت خاکهای غیر چسبنده از اصطکاک داخلی ذرات آنها منشا می گیرد .وقتی خاکهای غیر چسبنده در داخل اب قرار می گیرند ذرات آنها در آب غوطه ور شده و به اندازه وزن آب هم حجم خود سبک می گردند و در نتیجه از مقاومت ناشی از اصطکاک داخلی ان کاسته می شود زیرا هر چه فشار وارده بر خاکهای غیر چسبنده کمتر باشد مقاومت ان نیز کمتر است .

تقریبا ظرفیت فشاری خاکهای غرقاب نصف خاک مشابه در حالت خشک است.بنابراین برای پی های در حدود سطح زمین که در داخل و یا نزدیکی های آبهای زیر زمینی هستند ظرفیت تحمل فشاری را باید نصف مقدار نظیرش برای شرایط خشک اختیار کرد و این موضوع در جداول زیر نشان داده شده است.

نوع خاک	فشار مجاز(KG/CM^2)
رس های خیلی سفت و سخت	۳-۶
رس های سخت	۱,۵-۳
رس های محکم	۰,۷۵-۱,۵
رس های نرم و لای	۰-۰,۷۵
رس های خیلی نرم	صفر

جدول شماره (۳)-مقاومت فشاری تعدادی از خاک های چسبنده

نوع خاک	(KG/CM^2)فشار مجازخاک خشک	(KG/CM^2)فشار مجازخاک غرقاب
سنگ ریزه متراکم و سنگ ریزه ماسه ای یا شن متراکم	بیش از ۶	**بیش از ۳**
شن با تراکم متوسط شن ماسه ای با تراکم متوسط	۶-۲	**۳-۱**
شن سست و شل و شن ماسه ای سست و شل	کمتر از ۲	**کمتر از ۱**
ماسه متراکم	بیش از ۳	**بیش از ۱,۵**
ماسه سست و شل	کمتر از یک	**کمتر از ۰,۵**

جدول شماره (۴)-مقاومت قشاری تعدادی از خاک های غیر چسبنده(خشک و غرقاب)

جدول شماره (۵)نیز قسمتی از مشخصات خاکها از جمله رنگ وزن مخصوص و مقاومت یا باربری آنها را نشان می دهد.

طبقه‌بندی	علامت مشخصه		رنگ	نوع	وزن مخصوص ton / m^3	حد روانی	مقاومت
شن و خاکهای شنی	GW		قرمز	شن ماسه‌ای مخلوط خوب	2.0 - 2.2	—	خوب
	GP			شن ماسه‌ای مخلوط نامتجانس	1.8 - 2.0	—	خوب
	GM		زرد	شن لیمونی	1.9 - 2.2	—	خوب
	GC			شن رسی	1.8 - 2.1	—	خوب
ماسه و خاکهای ماسه‌ای	SW		قرمز	ماسه شنی مخلوط خوب	1.7 - 2.1	—	خوب
	SP			ماسه شنی مخلوط بد	1.6 - 1.9	—	خوب تا متوسط
	SM		زرد	ماسه لیمونی	1.7 - 2.0	—	خوب تا متوسط
	SC			ماسه رسی	1.9 - 2.0	—	متوسط
لیمون و رس	ML		سبز	لیمون ماسه‌ای یا شنی	1.5 - 1.9		بد
	CL			رس ماسه‌ای یا شنی	1.5 - 1.9	< 50	متوسط
	OL			لیمون آلی، مخلوط باموادآلی	1.3 - 1.6		متوسط
	MH		آبی	لیمون رسی	1.1 - 1.5		بد
	CH			رس	1.2 - 1.7	> 50	متوسط تا بد
	OH			رس مخلوط باموادآلی	1.0 - 1.6		خیلی بد
مواد آلی	PT		نارنجی	مواد آلی	–	—	به خارج حمل شود

۲-۲-روابط موجود بین حجم و وزن مخصوص خاک:

در بین خاک مقداری فضای خالی وجود دارد که بوسیله هوا یا آب اشغال می شود .هر گاه مقداری خاک به وزن و حجم در نظر بگیریم با توجه به شکل (۱) روابط زیر را میتوان نوشت :

$$(1) \quad V = V_s + V_v$$

$$(2) \quad n = \frac{V_v}{V} \cdot 100$$

$$(3) \quad w = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

$$(4) \quad S = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100$$

$$(5) \quad e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1 - n}$$

$$(6) \quad n = \frac{e}{1 + e}$$

$$(7) \quad P_G = 1.G.P_w = G.P_w$$

$$(8) \quad P' = P_s - P_w$$

با فرض $V_s = 1$ می‌توان نوشت:

$$(9) \quad W_w = V_w \cdot P_w = e.s\,P_w$$

$$(10) \quad W_w = \frac{W_w}{W_s} W_s = W.1P_G = WGP_w$$

از روابط 9 و 10 داریم:

$$(11) \quad eS = WG$$

بنابراین:

$$(12) \quad Pd = \frac{GPW}{1 + e} = \frac{W_s}{V}$$

$$(13)\quad P_s = \frac{(G+e)}{1+e}\,\rho_w$$

$$(14)\quad P_b = \frac{G+es}{1+e}\,\rho_w = \frac{1+w}{1+e}\,G\rho_w$$

$$(15)\quad P' = P_s - P_w = \frac{G-1}{1+e}\,\rho_w$$

در روابط بالا تعریفهای زیر بکار برده شده است.

V : حجم خاک نمونه.

V_v : حجم فضای خالی خاک (آب و هوا).

V_s : حجم قسمت جامد خاک.

e : ضریب فضای خالی که عبارتست از نسبت حجم فضای خالی به حجم قسمت جامد.

G : چگالی قسمت جامد خاک.

n : درجه تخلخل که عبارتست از نسبت حجم خالی به حجم کل.

S : درجه اشباع که عبارتست از نسبت حجم آب موجود به حجم فضای خالی.

w : درجه رطوبت که عبارتست از درصد نسبت وزن آب به وزن قسمت جامد.

P_b : وزن مخصوص خاک بصورت طبیعی.

P_s : وزن مخصوص خاک اشباع شده از آب (تمام فضای خالی از آب اشباع شده).

P_d : وزن مخصوص خاک پس از خشک شدن.

P_w : وزن مخصوص آب 62.4 pcf یا 1 gr / cc

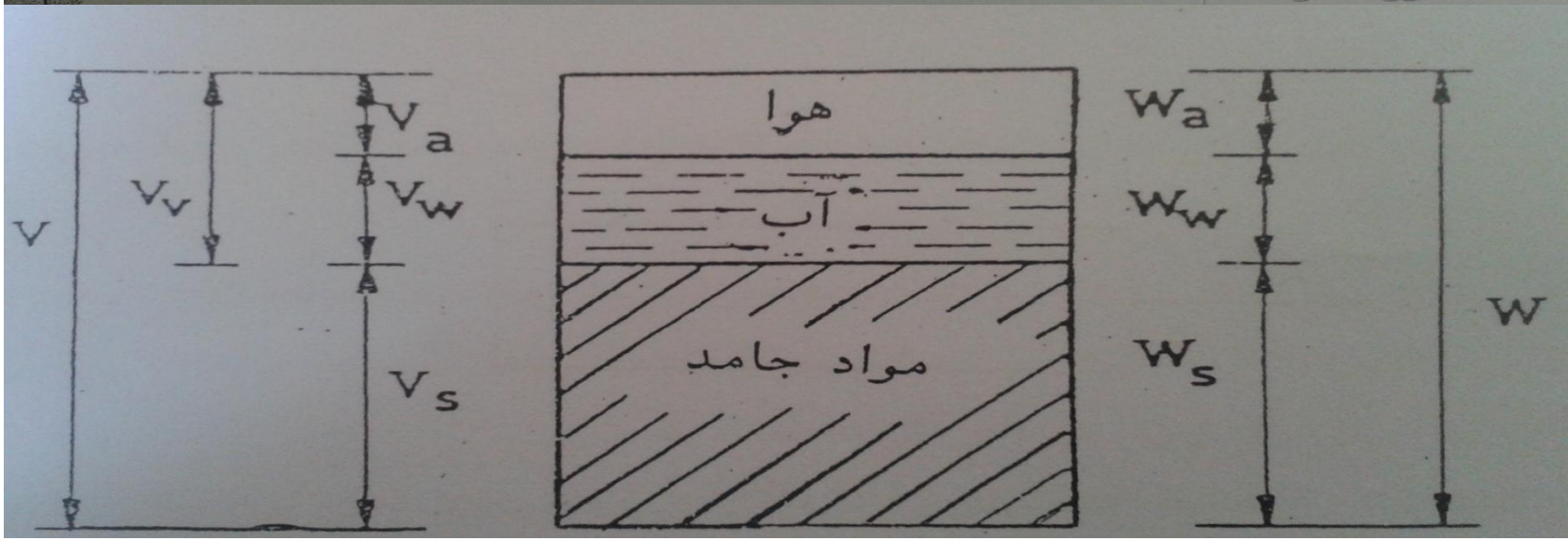
P_G : وزن مخصوص قسمت جامد خاک $(P_G = GP_w)$

P' : وزن مخصوص خاک در حال شناور.

W_w : وزن آب در نمونه.

W_s : وزن قسمت جامد در نمونه.

W : وزن نمونه.



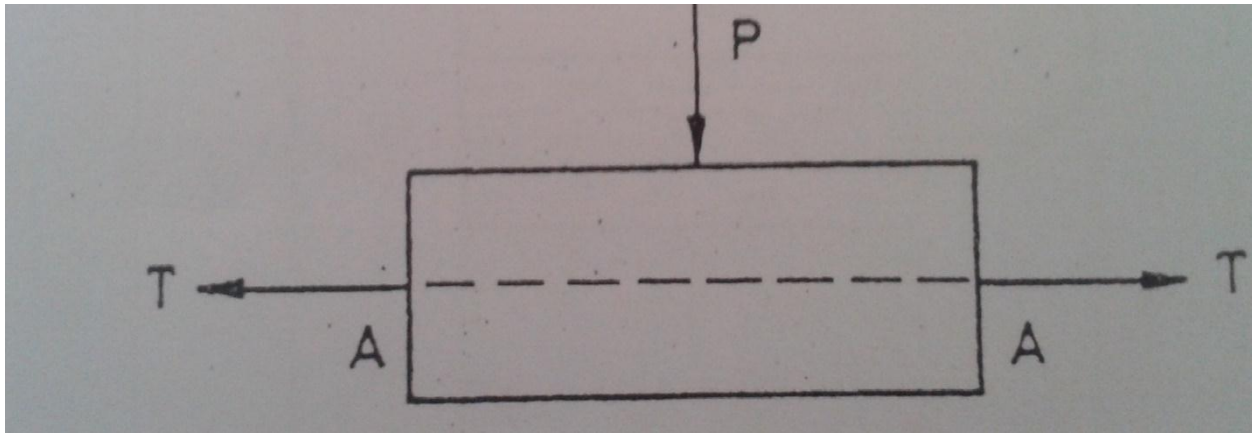
شکل(۱)

۲-۳-مقاومت برشی خاک:

خاکها بر خلاف سایر مصالح ساختمانی دارای مقاومت برشی متغیر می باشند.مقاومت برشی متغیر می باشند.مقاومت برشی نه تنها از یک نمونه خاک به نمونه دیگر فرق می کند بلکه در یک نوع خاک هم بر حسب مقدار درصد آب و جریان آبهای زیر زمینی و سایر عوامل دیگر تغییر می نماید.

برای تعیین مقاومت برشی خاکها در آزمایشگاه از دستگاه آزمایش برش مستقیم استفاده می شود .در این آزمایش نمونه کوچکی را در دستگاه گذارده پس از وارد کردن بار عمودی نیروی افقی را زیاد میکنند تا برش در سطح ایجاد شود (شکل ۲) اگر سطح مقطع برش را Aفرض کنیم تنش برشی عبارت است از :

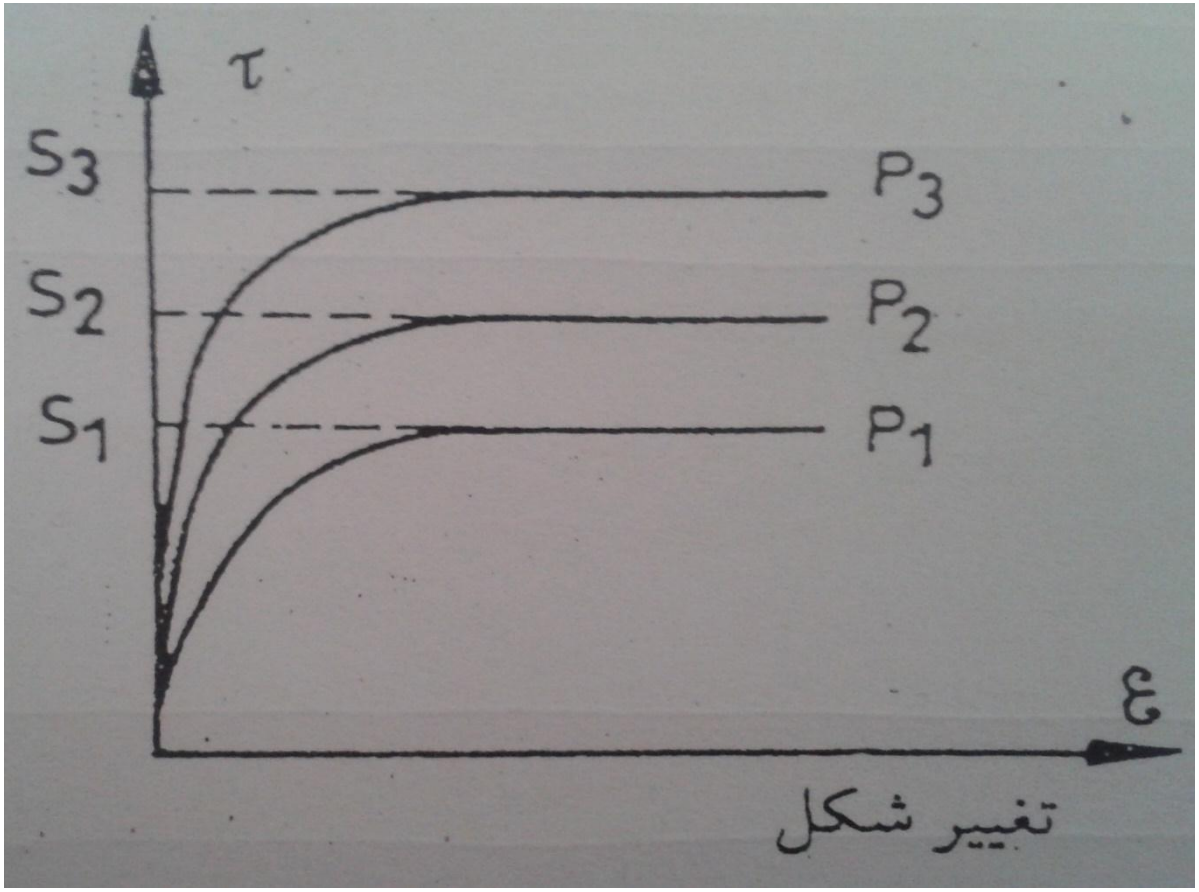
ح=T/A



شکل (۲)

هر گاه تغییرات Tرا بر حسب تغییر شکل افقی نمونه برای بار گذاریهای مختلف رسم نمائیم نمودار شکل (۳)حاصل میشود.با توجه به شکل مشخص است که با ازدیاد نیروی عمودی Pمقاومت برشی خاک بیشتر میشود..

S_i:تنش برشی خاک در حالتی است که فشار P_i به آن وارد میشود.

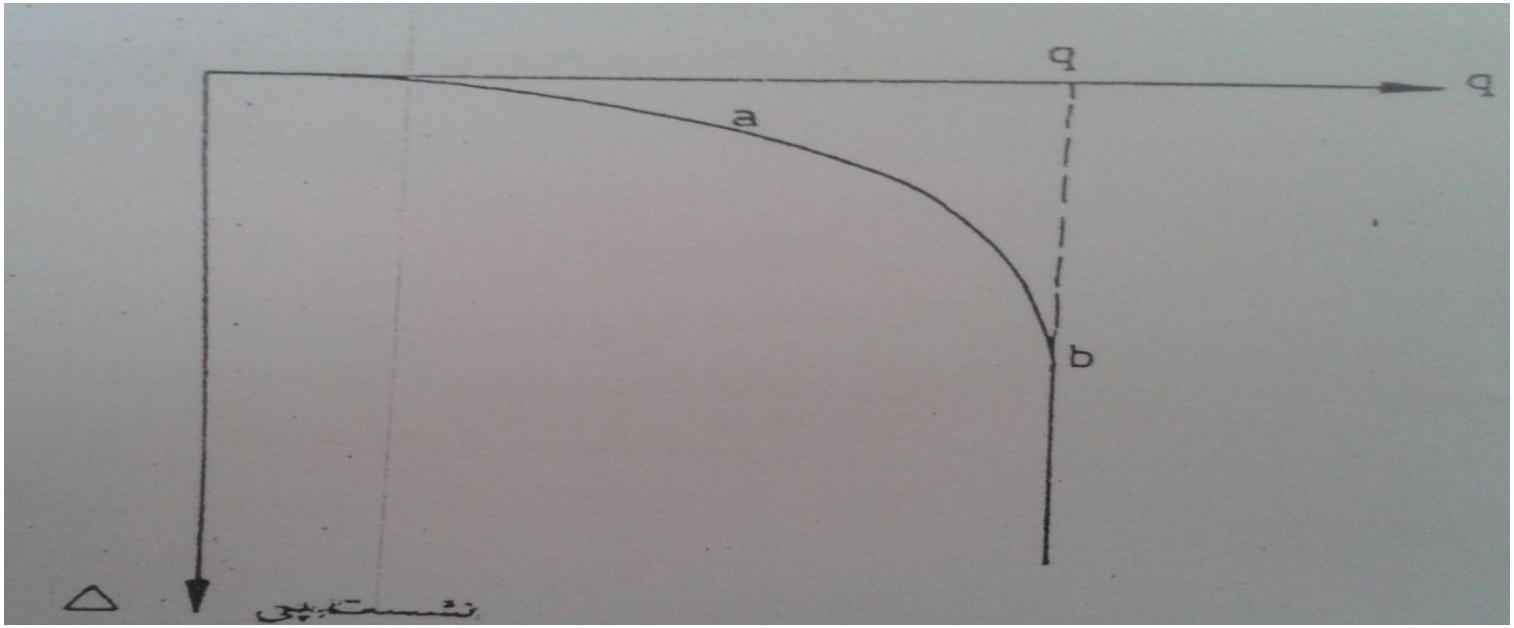


شکل (۳)

۲-۴-نشت خاک تحت عمل بار گذاری و مقاومت باربری خاک :

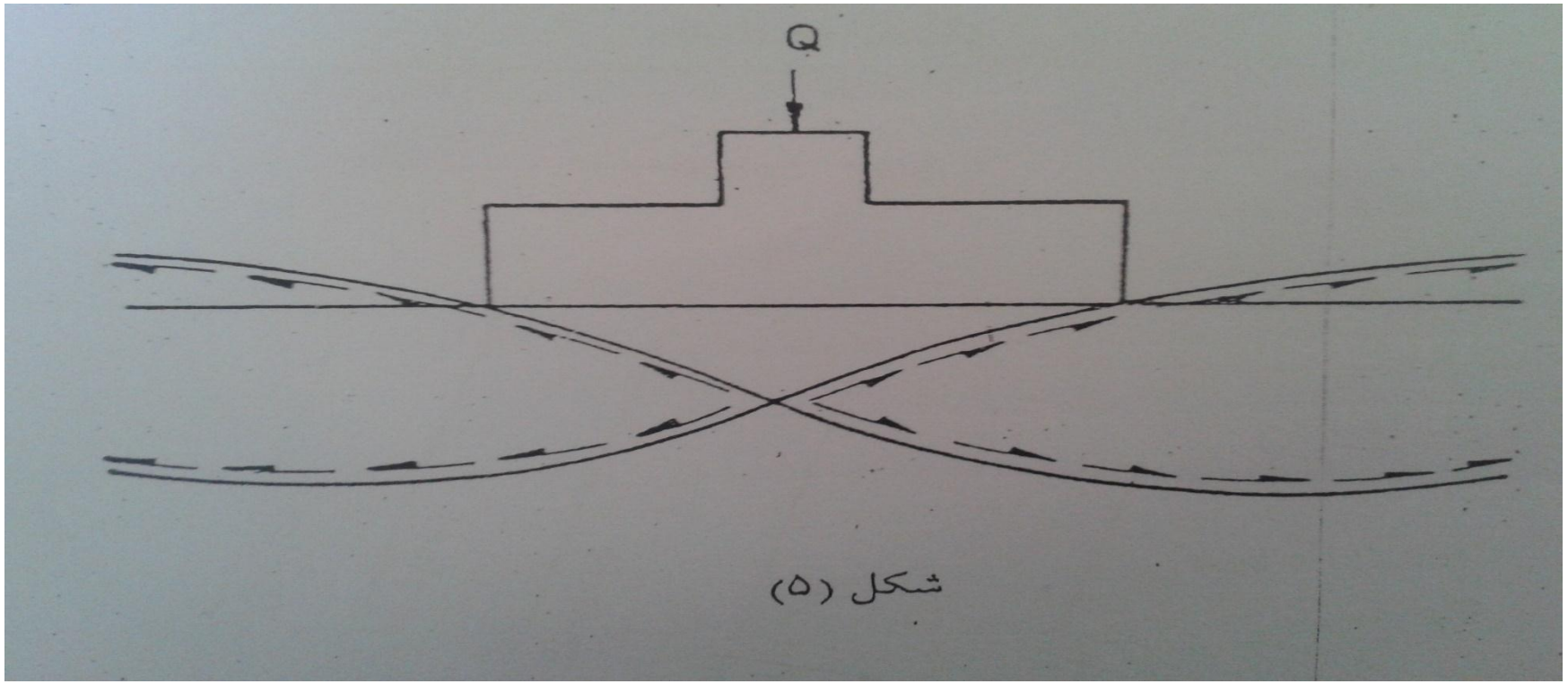
پی یک سازه باید به نحوی طرح و محاسبه گردد که در اثر انتقال بارها به زمین مقدار تنشهای ایجاد شده در سطوح مختلف خاک از میزان معین تجاوز نکند.انتقال فشارهای زیاد از حد باعث نشست زیاد پی فرو رفتن ناگهانی پی در اثر ایجاد سطوح لغزش وو جابجا شدن خاکهای زیر پی می گردد.

اگر فرض کنیم که بار منفرد Qتوسط یک پی با سطح مقطع Aبه زمین انتقال یابد و منحنی تغییر نشت پی را بر حسب مقدار q/aرسم نماییم منحنی شکل (۴) بدست می اید که بستگی به نوع خاک دانه بندی ان وو هم چنین شکل و اندازه سطح Aو چندین عامل دیگر از قبیل عمق پی و ومیزان رطوبت و غیره .دارد



شکل (۴)

مقدار Q/Aرا زمانیکه خاک شروع به حرکت می نماید مقاومت نهایی خاک نامیده و ان را با q_u نمایش میدهند.



شکل (۵)

محاسبات بر این اصل بنا شده اند که سطوح لغزشی به اشکال مختلف مانند دایره در نظر گرفته مقدار بار Qرا برای حرکت توده های خاک محاسبه می کنند و حداقل مقدار Qمقدار مقاوت مجاز زمین را تعیین می نمایند.

۳- مبانی طراحی

همانطور که در بخش قبل نیز گفته شد اصل مهم در طراحی یک پی تعیین مقاومت باربری زمین است زیرا ابعاد پی تحت بارگذاری ثابت بر حسب مقاومتهای متفاوت زمین تغییر خواهد کرد بنابراین در یک طرح مناسب باید مراتب زیر مد نظر باشند .

شکل و محل پی به نحوی انتخاب شود که ایمنی اطراف ان در رابطه با تحولات قابل پیش بینی تامین باشد.

پی تنشهایی بر زمین زیرین اعمال نماید که با مقاومت گسیختگی ان هماهنگی داشته باشد یعنی در اثر انتقال سربار به زمین گسیختگی در ان پدید نیاید (این مسئله در رابطه با ظرفیت باربری زمین در نظر گرفته شده است)

پی طرح شده از لحاظ اقتصادی دارای بهترین ابعاد باشد یعنی در شرایط یکسان از لحاظ بارگذاری و باربری خاک ابعاد پی طوری اختیار شوند که در نهایت کمترین هزینه را ایجاد کنند.

۳-۱- تعیین ابعاد پی :

برای تعیین ابعاد پی با در نظر گرفتن مقاومت زمین و نیروهای فشاری و کششی و افقی بترتیب زیرعمل شود

۱_ تعیین عق پی

۲_ تعیین بعد پی

۳_ تعیین ضخامت پی

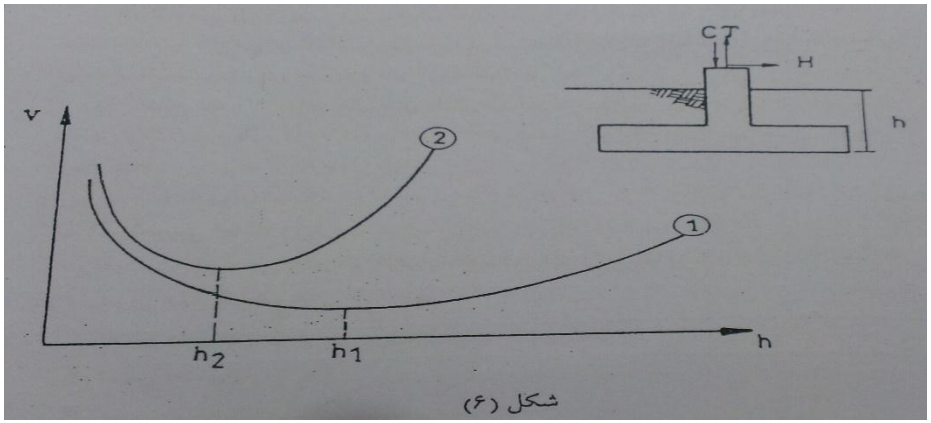
۳-۱-۱ تعیین عمق پی

یکی از مسائل مهم در طراحی پی برجهای خطوط انتقال نیرو دانستن عمق اپتیمم پی می باشد. عمق اپتیمم عمقی است که در ان پی حجم کمتری پیدا خواهد کرد. در واقع عمق اپتیمم تابع نیروی فشاری و نیروی کششی وارده بر پی و تاب فشاری بتن و زاویه مخروطی خاک و وزن واحد حجم خاک و اصطکاک جانبی خاک و بتن و .... میباشد.

دیاگرام شکل (۶) که بصورت تجربی برای یک نوع پی منفرد بر حسب عمق و حجم بتن مصرفی رسم شده نشان دهنده این عمق اپتیمم برای دو نوع خاک ریز میباشد.

۱)خاک با مقاومت بالا و خشک

۲)خاک با مقامت کم و غرقاب



شکل (۶)

منحنی ۱: برای خاک خوب با مقاومت بالا

منحنی۲: برای خاک بد با مقاومت کم وغرقاب

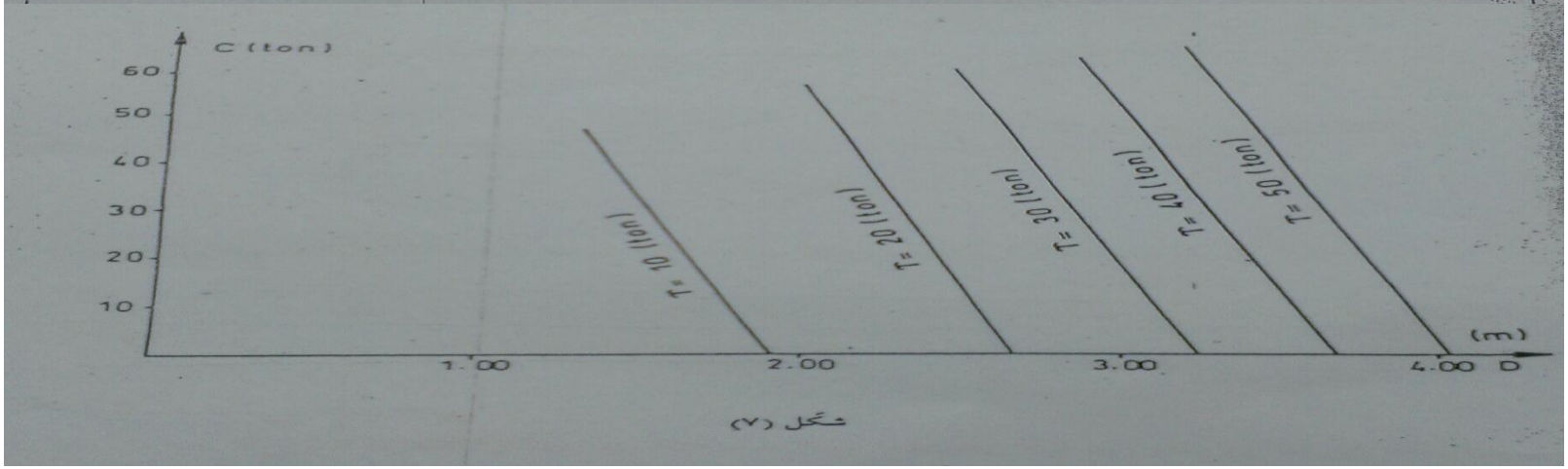
عمق اپتیمم برای خاک خوب با مقاومت بالا h1:

عمق اپتیمم برای خاک با مقاومت کم h2:

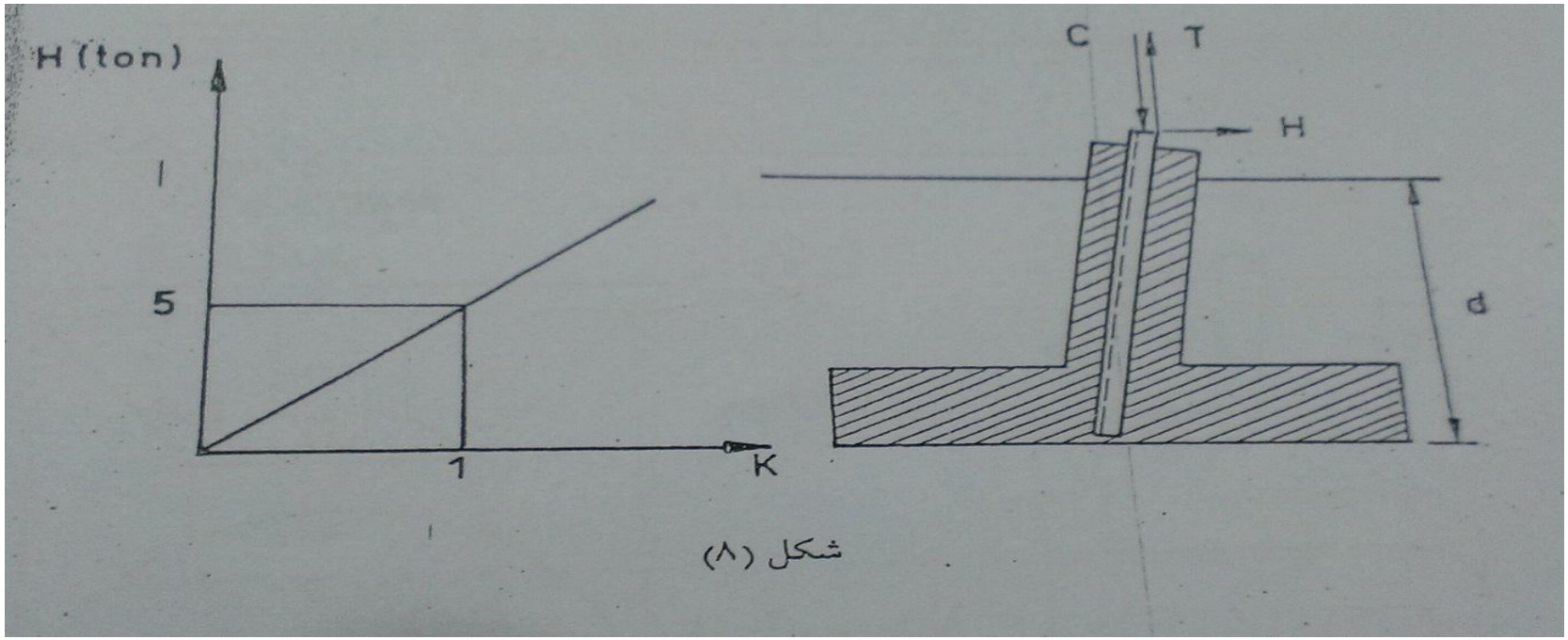
با توجه به این مسعله منحنی هایی مطابق شکل (۷) برای مشخصات مختلف خاک (جدول شماره ۶) قابل تهیه میباشد که با استفاده از ان میتوان به ازای بارهای مختلف روی پی عمق اپتیمم را حساب کرد.

No	Type of Soil	Ultimate bearing Capacity (Kg/Cm^2)	Cone angle (degree)
1	Good Soil dry	4	30
2	Good Soil sub	1	15
3	Poor Soil dry	2	15
4	Poor Soil sub	0.75	7.5

جدول شماره (۶)



شکل (۷)



شکل (۸)

D:عمق اپتیمم تصیح نشده

d: عمق اپتیمم تصیح شده

K: ضریب تصحیح

۳-۱-۲- تعین بعد پی

بعد از مشخص کردن عمق اپتیمم ابعاد پی را طوری در نظر میگیریم که جوابگوی نیروی کششی و فشاری موجود روی پی باشد

۳-۱-۲-۱- نیروی کششی

پی باید تحت عامل کشش در جای خود ثابت بماند. عوامل مقاوم در برابر نیروی کششی که در طراحی پی باید کنترل شوند عبارتند از:

الف) وزن پی

ب) وزن خاک روی پی

ج) نیروی اصطکاک بین خاک (سنگ) و سطح تماس جانبی بتن

د) نیروی لازم برای بریدن خاک (سنگ) تحت زاویه برش

الف) وزن پی

وزن پی از محاسبه حجم پی و ضرب ان در وزن واحد حجم بتن مصرفی محاسبه میگردد البته اگر پی غرفات باشد

به اندازه وزن اب جابجا شده از وزن ان کاسته می شود

$W_c=v_c.d_c$ برای پی در محیط خشک

$W_c=v_c(d_c-1)$برای پی در محیط غرقاب

که در ان :

w_c: وزن پی

V_c: حجم بتن پی

d_c: ون واحدحجم بتن میباشد

ب) وزن خاک روی پی :

وزن خاک روی پی هنگامی که به طرف بالا کشیده می شود برحسب زاویه مخروطی خاک محاسبه میگردد

$W_s=v_s.d_s$ برای خاک خشک

$W_s=v_s(d_s-1)$برای خاک مستغرق

که در ان:

وزن خاک تحت زاویه مخروطی :ws

وزن خاک تحت زاویه مخروطی:vc

وزن خاک تحت زاویه مخروطی:vc

وزن واحد حجم خاک خشک می باشد:Ds

دراین حالت حجم خاک موثر روی پی را محاسبه کرد وباتوجه به کمترینوذن مخصوص خاک وزن موثر روی پی را حساب می کنیم .

البته باید توجه داشت که حجم.خاک بالای پی را معمولاته۳۰سانتیمتر سطح زمین در نظر می گیرد چراکه امکان دارد خاک سطح زمین تحت عواملی شسته یا جابجا شود

ته۳۰سانتیمتر سطح زمین در نظر می گیرد چراکه امکان دارد خاک سطح زمین تحت عواملی شسته یا جابجا شو د

ج)نیروی اصتحکاک بین خاک(سنگ)وسطح تماس جانبی بتن:

برای محاسبه این نیرو سطح با خاک (سنگ) ضرب می کنیم .(این ضرب در حالت غرقاب صفر است)

$$Ff=sc.fc$$

نیروی مقاوم اطحکاکFf
سطح جانبی بتن درتماس با خاک (سنگ):sc
تنش اصطحکاک بین بتن و خاک(سنگ)می باشد:Fc

د)نیروی لازم برای بریدن خاک (سنگ)تحت زاویه برش:

سطح خاک (سنگ)را تحت زایه برش ان محاسبه کردهودر تنش برشی مجاز ان ضرب می کنیم البته باید در نظر داشت که خود پی نباید تحت مقاومت سنگ یا خاک در مقطع موثر بریده شود

$$F_{ts}=S_s.t_s$$

$$F_{tc}=S_c.t_c$$

$$F_{tc}<f_{tc}$$

f_{ts}: نیروی مقاوم برش خاک (سنگ)

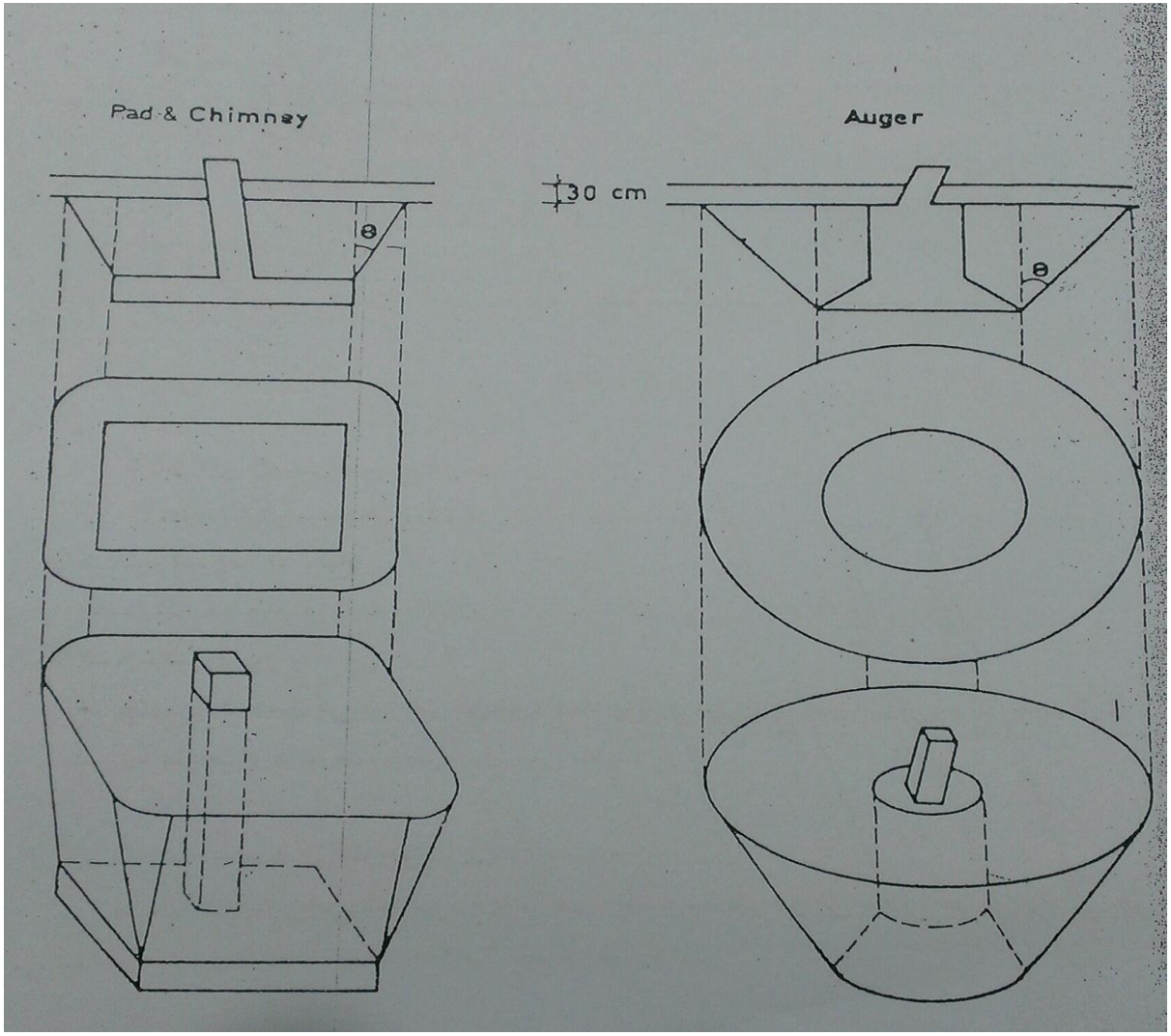
f_{tc}: نیروی مقاوم برش بتن

S_s: سطح برش خاک (سنگ)

S_c: سطح برش بتن

t_s: تنش برش خاک (سنگ)

t_c: تنش برش بتن



شکل(۹)

برای کنترل پی در حالتی که نیروی کششی بر ان وارد میشود کافی است یکی از روابط زیر برقرار باشد:

$$W_c+w_s/t>1 \quad (1$$

$$W_c+f_t/t>1 \quad (2$$

$$W_c+f_{ts}/t>1 \quad (3$$

۳-۱-۲-۲- نیروی فشار

گرفته شود که تنشهای حاصله از نیروههای فشاری لنگرهای خمشی باعث گسیختگی و لهیدگی زمین زیر پی نشود.

از انجا که مقاومت لهیدگی زمین بستگی به نیروی وارده بر ان دارد لذا ابعاد پی را تحت عوامل زیر کنترل میکنیم تا

تنشهای ایجاد شده از مقدار مجاز ان بیشتر نشود.

الف) نیروی حاصله از باربری زمین زیر پی

ب) وزن پی

ج) وزن خاک روی پی

د) لنگر حاصل از نیروی افقی

الف) نیروی حاصله از باربری زمین زیر پی

این نیرو از حاصل ضرب سطح زیر پی در مقاومت باربری خاک زیر پی بدست می اید

$$Q=qu.A$$

که در ان :

نیروی حاصل از باربری زمین زیر پی:Q
سطح مقطح پی:A
مقاومت باربری:qu

ب) وزن پی

وزن پی از محاسبه حجم پی و ضرب ان در وزن واحد حجم پی محاسبه می گردد. باید توجه داشت اگرپی غرقاب باشد باز هم وزن خشک ان در نظر گرفته میشود چرا که امکان دارد روزی سطح اب پایین رفته و پی در محیط خشک قرار میگیرد.

ج)وزن خاک روی پی

وزن خاک با محاسبه حجم خاک روی پی و ضرب ان در وزن حجم واحد خاک محاسبه میگردد باید توجه داشت اگر خاک مستغرق باشد وزن مخصوص خاک در حالت خشک در نظر گرفته میشود

$$W_{sc}=v_{sc}.d_s$$

وزن خاک روی پی:wsc

حجم خاک روی پی: vsc

وزن واحد حجم خاک خشک:ds

د) لنگر حاصل از نیروی افقی

نیروی افقی حاصل از بارگذاری برج بر سطح پی لنگری ایجاد میکند که موجب تولید تششهایی بر سطح زمین زیر

پی میشود از حاصلضرب این تنش در سطح مقطع پی نیروی موثر از این لنگر بدست میاید

$$H=q.A$$

که در ان:

نیروی موثر از لنگر:H

تنش حاصله از لنگر:q

لنگر حاصل از نیروی افقی در سطح تماس پی و زمین زیرین:M

سطح تماس پی و زمین زیرین:A

مدول مقطع پی میباشد:W

۳-۱-۳- تعیین ضخامت پی

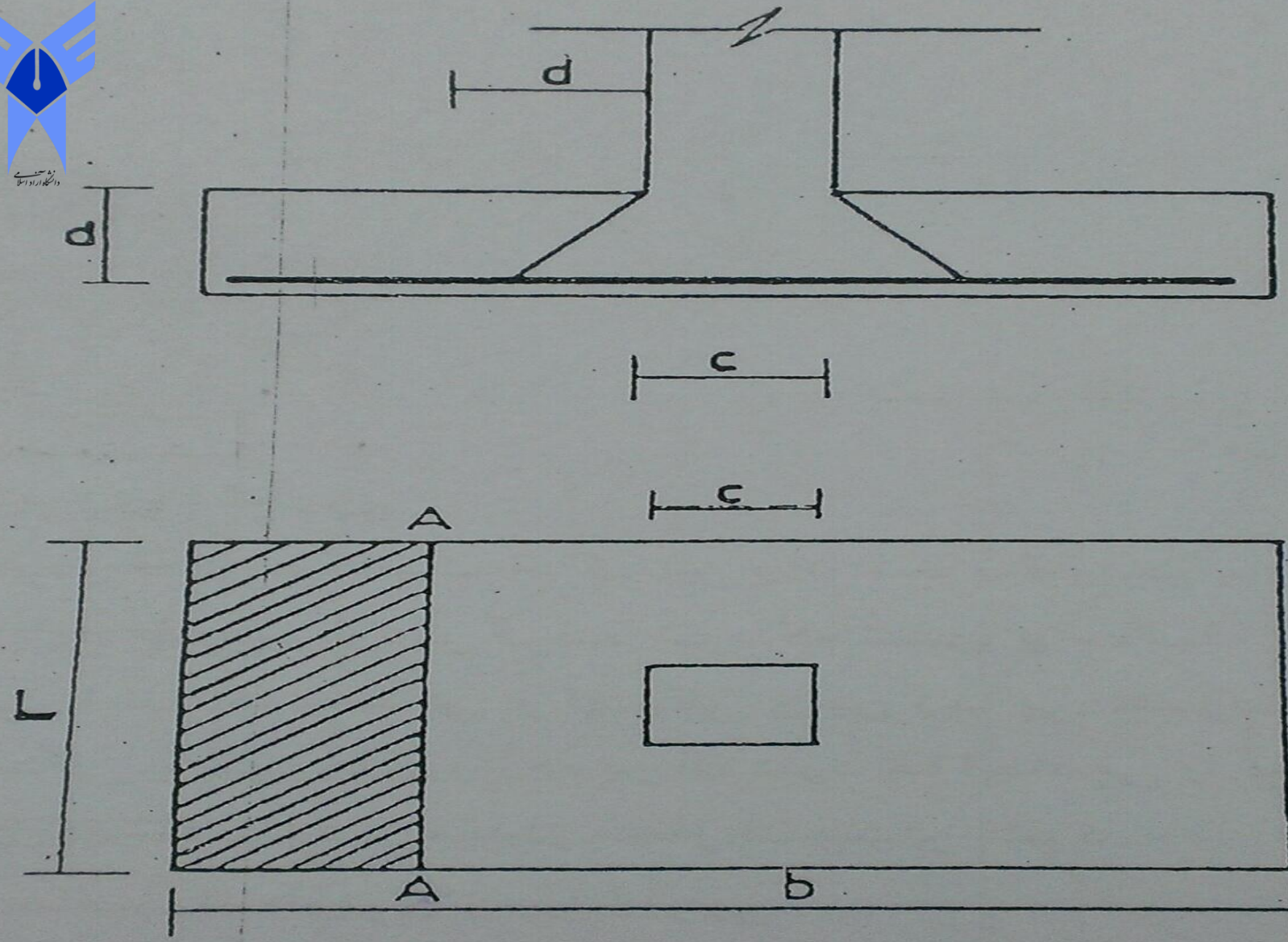
معمولا پی را طوری طراحی میکنند که ضخامت ان بتواند به تنهایی تلاشی برشی ایجاد شده در مقطع خطرناک را بدون کمک فولاد تحمل نماید. ایین نامه امریکا حداقل ضخامت پی را۱۵ سانتی متر و حداقل پوشش اهن را۷,۵ سانتیمتر تعیین کرده است.

در پی های مجزا که به صورت (چیمنی) اجرا میشوند ضخامت پی بیشتر مطرح میشود و برای کنترل ان دو روش زیر پیشنهاد میگردد

۳-۱-۳-۱- روش تیر عرضی

دراین روش فرض میشود پی تحت فشار وارده بر سطح مطابق شکل (۱۰) بریده شود

AC=1.d
Vc=qu.1.(b-c/2-d)
Tb=qu.1(b/2-c/2-d)/1.d
Tb=qu(b/2-c/2-1)
سطح برش:Ac
نیروی برشی:vc
فشار خاک زیر پی:qu
تنش برشی در تیر عریض میباشد:Tb



شکل (۱۰)

نباید از مقدار مجاز ان در رابطه زیر بیش تر باشدTb

Tb=0.53.fc

تنش نهایی برش بتن برای حالت تیر عریض:Tb

مقاومت فشاری بتن۲۸ روزه میباشد:fc

۳-۱-۳-۲-روش برش سوراخ کننده

در این روش فرض میشود پی تحت نیروی فشار وارده از ستون پی و عکس العمل زمین زیرین مطابق شکل(۱۱) در سطح هاشور خورده پانچ شود بنابراین سطح برش و نیروی برشی را بترتیب زیر حسای میکنیم

از انجا که برش سوراخ کننده پی های مربع شکل تعیین کننده ضخامت خواهد بود یک پی با مقطع مربع مطابق شکل (۱۱) در نظر گرفته و روابط مربوط به ترتیب زیر نوشته میشود

AC=4.(C+d).d

Vc=p_qu(c+d)

TP=P_qu(c+d)/4d(D+d)

سطح برش:AC

نیروی برشی:VC

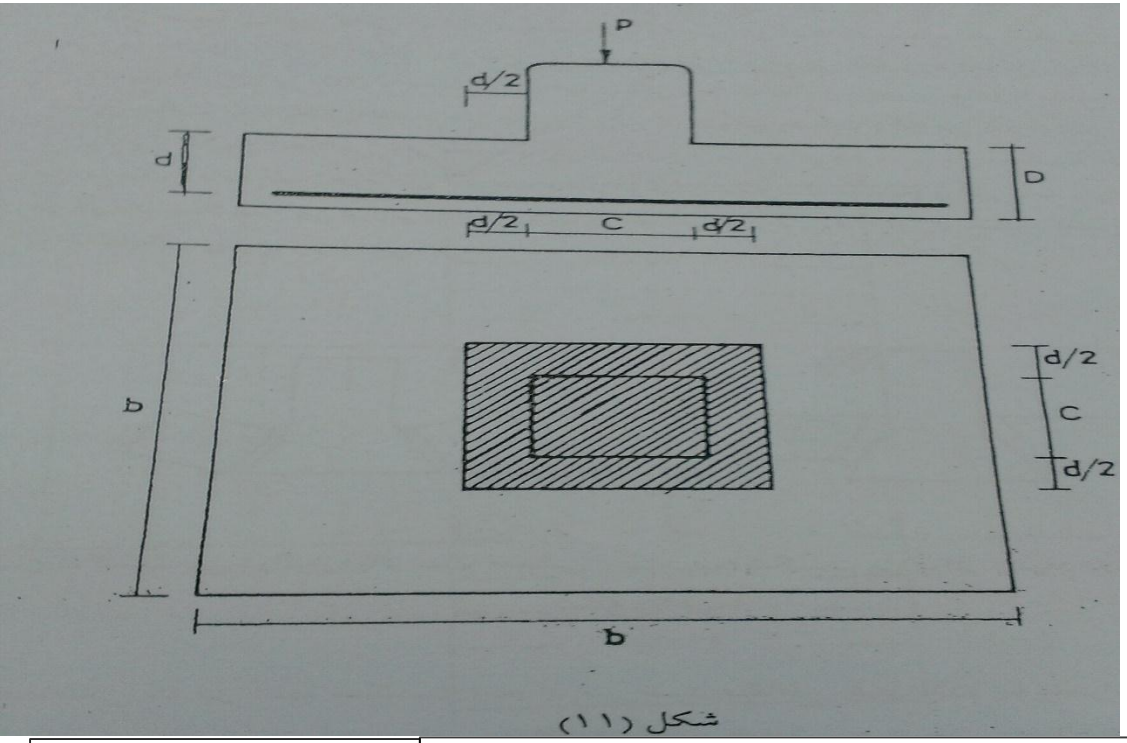
:فشار خاک زیرینqu

تنش برشی در حالت برش سوراخ کننده:TP

نیروی فشاری وارده بر ستون پی :P

نباید از مقدار مجاز ان در رابطه زیر بیشتر باشد:TP

TP=1.06FC

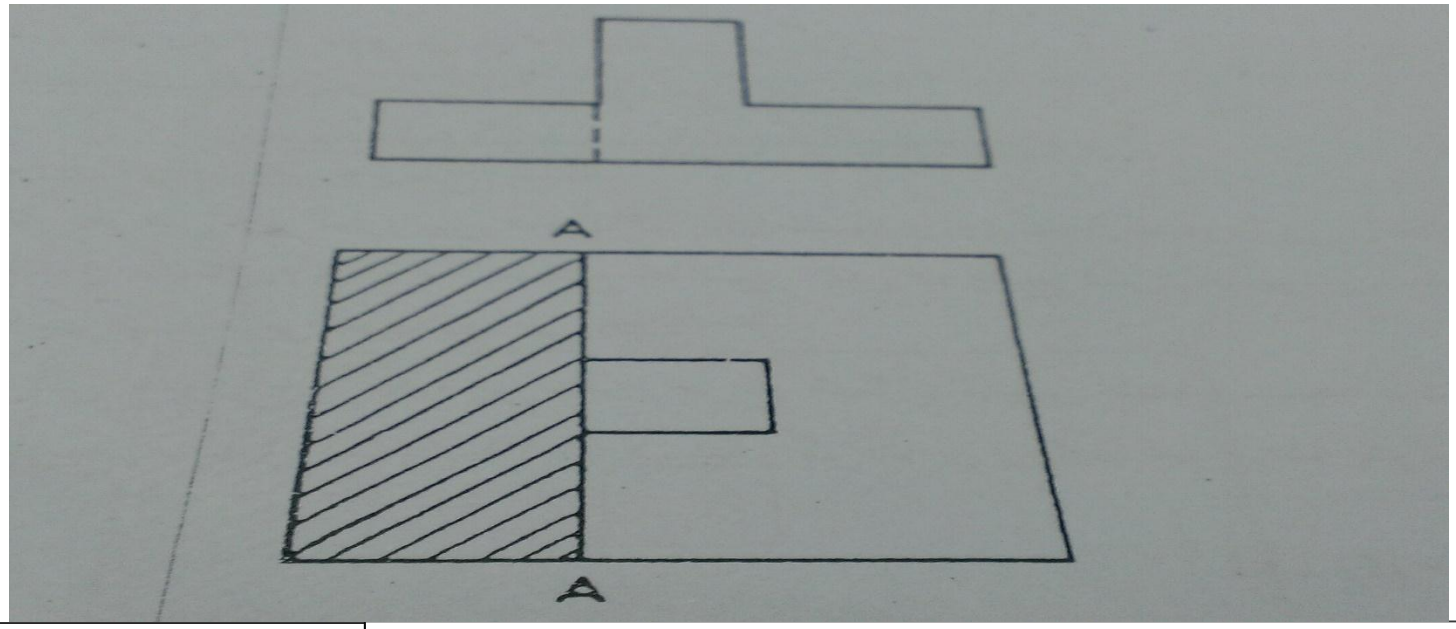


شکل (۱۱)

اگر ضخامت پی کافی نباشد امکان دارد که پی در امتداد سطح شکست خورده(شکل ۱۰) یا اینکه ستون پی را سوراخ کرده و در پی فرو رود (شکل ۱۱) . معمولا برای پی هایی با مقطع مستطیل شکل حالت اول و برای پی هایی با مقطع مربع شکل حالت دوم تعیین کننده است ولی هر دو مورد باید برای پی کنترل شود .

پس از تعیین ابعاد پی با توجه به باربری زمین و نیروهای وارده بر پی محاسبه ان عینا مانند یک قطعه بتن فولادی با توجه به فرمول های مقاومت مصالح و ایین نامه بتن اجرا میگردد

مقاطعی که در انها شکست ایجاد میشود مقاطع خطرناک یا بحرانی نامیده میشود. واضح است که دراین مقاطع بایستی صورت گیرد . طبق این نامه بتن امریکا در صورتیکه بار توسط ستون بتنی به پی منتقل شود مقطع خطرناک درست در سطح جانبی ستون انتخاتب می گردد وممان خمشی در این مقطع عبارت است از ممان نیروهایی که در سطح هاشور خورده بر پی وارد می اید



۴- محاسبه نیرو های وارد بر فونداسیون

بایستی به صورت زیر عمل نمود

۴-۱-انتقال نیروی وارد بر برج به پایه های ان

برای محاسبه بارگذاری فونداسیون خطوط انتقال نیرو می باید بار روی برج را به روی پی منتقل می کنیم

برای این کار کافی است همه نیرهای وارده بر برج مرکز سطح مقطع برج در ارتفاع سر استاب انتقال داده

سپس از انجا به سراستاب منتقل می کنیم (شکل ۱۴)بنابراین نیرو های را در سه امتداد ایکس. وای .زد در محور های سه بعدی اوایکس وای زد در نظرمیگیریم و رابطه لنگر و نیرو را نسبت به نقطه ۰ مینویسیم.

$$P_x=0 \qquad M_x=0 \qquad p_y=0$$

$$P_z=0 \qquad M_y=0 \qquad M_z=0$$

از روابط فوق میتوانیم مقادیر لنگرگاه و نیروها را در نقطه ۰ بدست اوریم.

حال این نیروها و لنگرها را بترتیب زیر مطابق شکل (۱۵) به سر استاب منتقل میکنیم.برای مثال یک برج با مقطع

مستطیل شکل ادر نظر میگیریم نیروهای قائم حاصل از لنگر های از روابط زیر بدست می اید.

$$S_X = M_X / 2(a_2e)$$

$$S_Y = M_Y / 2(b_2e)$$

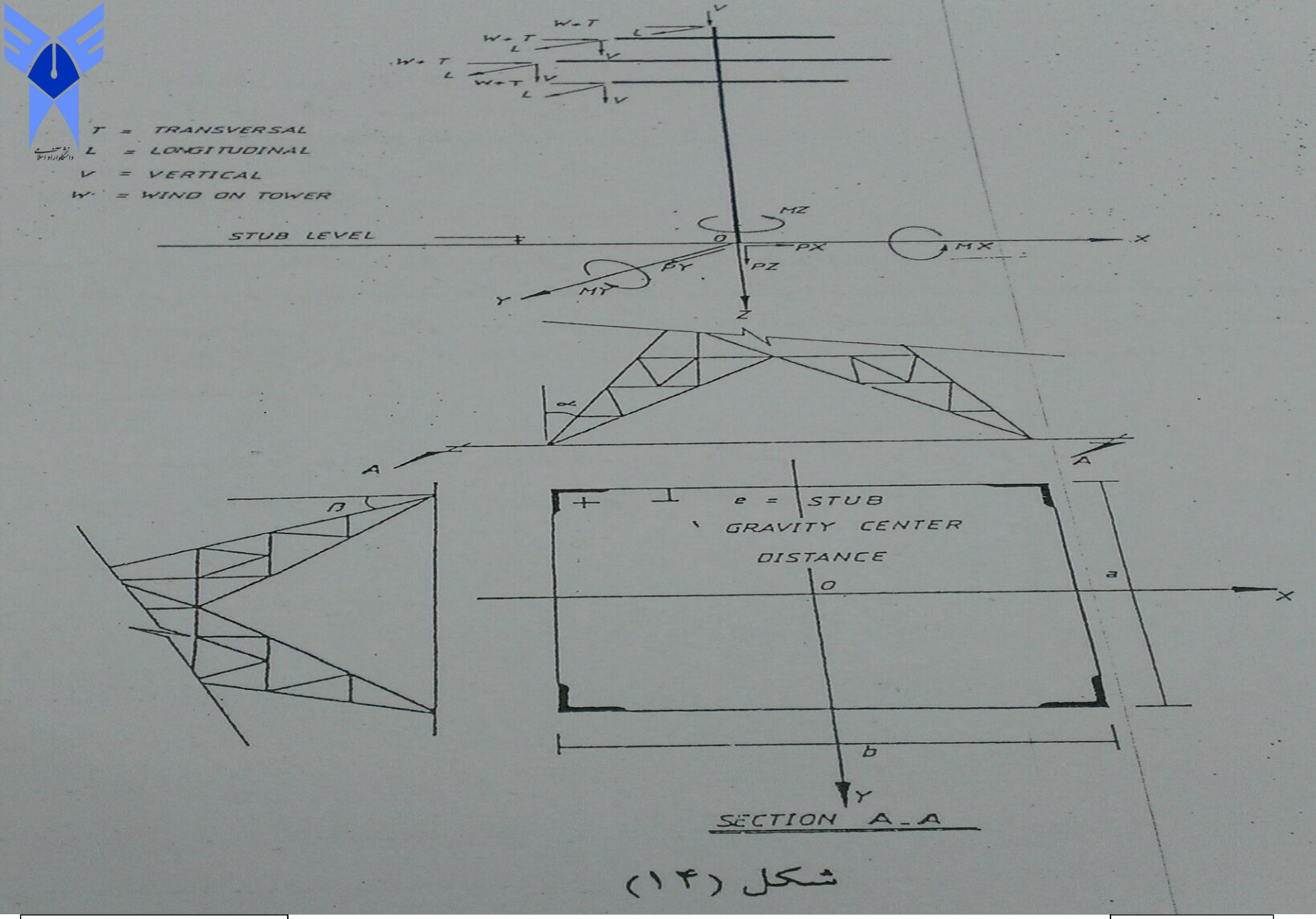
فاصله مرکز ثقل استاب از بال ان می باشد(شکل ۱۴):e

مطابق شکل(۱۵) پایه شماره ۲ تحت فشار ماکزیموم و پایه شماره ۴ تحت کشش ماکزیمم قرار دارد پس خواهیم داشت

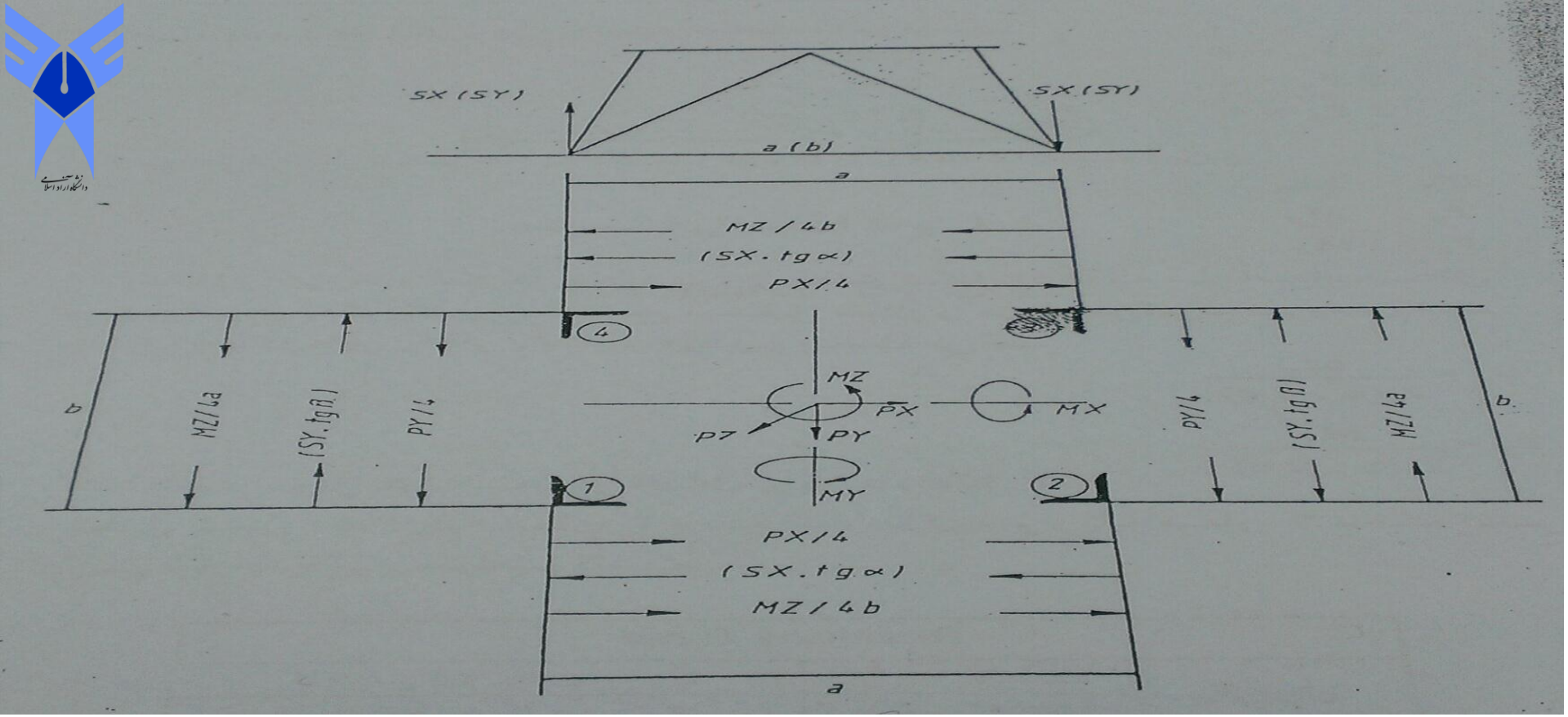
Resulting force	
Uplift Force	$HTX = P_x / 4 - S_x \cdot tg\alpha _ M_z / 4b$
	$HTY = P_y / 4 - S_y \cdot tg\beta + M_z / 4a$
	$T = S_x + S_y + P_z (f_u - 1) / 4 _ W / 4$
Compres Force	$HCX = P_x / 4 - S_x \cdot tg\alpha + M_z / 4b$
	$HCY = P_y / 4 - S_y \cdot tg\beta _ M_z / 4a$
	$C = S_x + S_y + P_z / 4 + W / 4$

* f_u = Uplift factor

جدول شماره (۷)


T = TRANSVERSAL
L = LONGITUDINAL
V = VERTICAL
W = WIND ON TOWER
W+T
L
V
STUB LEVEL
MZ
MX
MY
PX
PY
PZ
O
X
Y
Z
α
A
B
e = STUB GRAVITY CENTER DISTANCE
a
b
SECTION A-A

شکل (۱۴)



تبصره ۱) ضریب بالا بر بستگی به مسیر خط داشته و مقدار ان از صفر تا ۱,۵ در نظر گرفته میشود برای

مسیرهایی که به صورت یک نواخت و دشت هستند این ضریب صفر و برای مسیرهایی که در کوه اجرا میشوند

(از انجا که امکان دارد برج تحت کشش دو برج طرفین قرار گیرد) بیشتر از ۰,۵ در نظر گرفته میشود ولی عموما

مقدار ۰,۴ برای این ضریب پیشینهاد میشود

تبصره ۲) معمولا بارهای فشاری و کششی و افقی که به این ترتیب به دست می اید را ده درصد افزایش داده و به

عنوان بار روی پی در نظر میگیرند