# مهندسی پی

# (چاپ سوم)

**تألیف:**

**دکتر سید امیرالدین صدرنژاد**

**استاد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی**

**ویرایش دوم**

| | | |
|---|---|---|
| **سر شناسنامه** | : | **صدرنژاد، امیرالدین، ۱۳۳۳-** |
| **عنوان و نام پدید آور** | : | **مهندسی پی/ تألیف امیرالدین صدرنژاد.** |
| **مشخصات نشر** | : | **تهران؛ دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۸۴.** |
| **مشخصات ظاهری** | : | **۴۸۶ ص.: مصور، جدول، نمودار.** |
| **شابک** | : | **978-964-95589-5-0** |
| **وضعیت فهرست نویسی** | : | **فیپا.** |
| **یادداشت** | : | **کتابنامه؛ ص، ۴۷۵-۴۸۰.** |
| **موضوع** | : | **نمایه.** |
| **موضوع** | : | **۱. پی سازی. ۲. خاک – مکانیک.** |
| **شناسه افزوده** | : | **دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی.** |
| **رده بندی کنگره** | : | **۹م۴ص/ TA ۷۷۵** |
| **رده بندی دیویی** | : | **۶۲۴/۱۵** |
| **شماره کتابشناسی ملی** | : | **۸۴-۲۱۳۹۲م** |

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

| | | |
|---|---|---|
| عنوان | : | مهندسی پی |
| گردآوری و تألیف | : | دکتر امیرالدین صدرنژاد، استاد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی |
| نوبت چاپ | : | سوم، بهار ۱۳۹۳ |
| انتشارات | : | دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی |
| لیتوگرافی | : | فرانقش |
| چاپ | : | فردوس |
| ناظر چاپ | : | محمد معتمدی نژاد |
| شمارگان | : | ۵۰۰ جلد |
| قیمت | : | ۱۵/۰۰۰ تومان |
| شابک | : | ۹۷۸-۹۶۴-۹۵۵۸۹-۵-۰ ISBN: 978-964-95589-5-0 |

کلیهٔ حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان – کد پستی ۱۶۷۸۸-۱۵۸۱۱ – صندوق پستی ۱۶۳ – ۱۶۷۸۵ – تلفن: (۲۶۳۲) ۹ – ۲۲۹۷۰۰۶۰، ۲۲۹۷۰۰۷۰، نمابر: ۲۲۹۷۰۰۰۳، پست الکترونیکی: Publish@srttu.edu، وب سایت: http://Publish.srttu.edu

## پیشگفتار

بنای سازه‌های مختلف درموقعیتهای گوناگون ژئوتکنیکی انجام می شـود. گاهـاً شـرایط خاص طبیعی محیط اجرا از لحاظ ژئوتکنیکی ،آب وهوایی ،لرزه خیزی و... مارا ملـزم بـه کسب اطلاعات وبررسی گسترده جهت پیش بینی رفتار سازه وخاک بـه هنگـام سـاخت وپس از آن می کند.

یکی از این موارد، ساخت سازه برروی زمینهای تخت و باعوارض گوناگون می باشد .پایـه های پل بر روی شیب ،عبور بزرگراهها وراه آهن ازروی بستر واقع برشیب ،پی‌های واقـع بر مسیل مثل پی دکلهای برق و پی جرثقیل یادسـتگاههای حفـاری در شـیب معـادن، نمونه های عملی این موضوع می باشند .همچنین درسـاخت وسـازهای شـهری، برخـی شهرها اصولاًدر مناطق کوهستانی وشیب دار قرار گرفته اند ودر برخـی دیگـر (مثـل ابـر شهرها ) به علت توسعه روز افزون، ساخت وسـازها بـه منـاطق شـیب دار اطـراف شـهر گسترش یافته است. ابر شهر تهران نیز چنین وضعیتی دارد .شیبهای تهران اکثراً آبرفتی است که با خاکهای نیمه چسبنده برروی بستر سنگی شیب داری قرار گرفته است. ایـن شیبها که درمناطق شمال و غرب تهران در نقاطی مثل شهرک قدس و سعادت آباد واقع شده اند، به خصوص درچند سال اخیـر محلـی مناسـب بـرای سـاخت و سـاز برجهـای مسکونی و اداری شده ومسائل خاصی رابه دنبال خواهند داشت.

در این مجموعه نظریات و تحقیقات انجام گرفته در مورد رفتار خاک زیر پی سازه واقع برسطح زمین با شیب و بدون شیب مورد اشاره قرار گرفته، سپس نتایج حاصل از آنها شامل تخمین ظرفیت باربری پی بر روی شیب، توصیه‌ها و پیش بینی محاسباتی متعارف و روشهای مناسب جهت پیش‌گیری از لغزش منطقه شیب‌دار مورد نظر جهت بنای سازه، قبل از آغاز، به هنگام اجرا و پس از پایان ساخت، بیان می‌گردد.

دراین مجموعه تلاش شده تاروشهای محاسباتی دستی که قاعدتاً دارای تقریب بوده وتنها درمورد سازه های کوچک وکم اهمیت قابل مصرف می باشند گردآوری و جهت مهندسین ارائه گردد. امید است درجهت رسیدن به اهداف ذکرشده این تلاش مقبول گردد.

سید امیرالدین صدرنژاد

**فهرست** **صفحه**

**پیشگفتار**

***فصل اول:***
**آشنایی با پی سازی و انواع پی ها و مسائل مربوط به آنها**

مقدمه ۱
پی دیواره‌های مقاوم (حایل) و دیواره‌های کناری پل ۹
سپرها ۱۰
نکات مورد توجه عمومی در طرح و بررسی پی ۱۱

***فصل دوم:***
**تنش و نشست پی**

مقدمه ۱۵
توزیع تنش در خاک (نسبت به تغییر عمق) ۱۸
توزیع تنش قائم در زیر پی مربع مستطیل ۲۸
توزیع تنش زیر یک پی نواری ۳۱
تنشهای اصلی ۳۴
توزیع تنش زیر یک بار مثلثی ۳۵
توزیع تنش زیر مرکز پی دایره شکل ۳۷
توزیع تنش در زیر پی به روش نیومارک ۴۰
روش وسترگارد در تعیین گسترش تنش در خاک زیر پی ۴۴
نشست پی ۵۶
محاسبه نشست الاستیک خاک ۵۷
نشست الاستیک خاکهای غیر چسبنده ۶۱
چرخش پی ۶۴

تأثیرات اندازه پی بر روی نشست ۶۷
نشست در اثر تحکیم ۶۹
روش دیگر جهت بدست آوردن نشست در اثر تحکیم اولیه ۷۴
محاسبه نشست در حالتی که پی بر سطح زمین قرار داده نشده باشد ۷۶
نشست ثانویه یا زمانی ۷۷
مقادیر نشست مجاز پی انواع ساختمانها طبق آئین نامه $U.S.S.R$ ۸۸
در مورد چرخش ۸۹
نشستهای مجاز ۹۰
مثالهای حل شده ۹۵

***فصل سوم:***

**ظرفیت باربری پی های سطحی**

مقدمه ۱۲۱
ظرفیت باربری از دیدگاه هندسی ۱۲۸
اثر فراسنج های مقاوم خاک $(\phi\ ,\ c)$ در پی ۱۳۲
معادلات ظرفیت باربری ۱۳۵
محاسبه ظرفیت نهایی باربری خاک زیر پی‌های مختلف ۱۳۵
ظرفیت باربری مایروف *(Meyerhof)* ۱۴۱
ظرفیت باربری به روش هنسن *(Hansen)* ۱۴۱
ضرائب مورد نیاز جهت رابطه هنسن برای ظرفیت باربری ۱۴۴
محدودیتهای رابطه هنسن ۱۴۶
ظرفیت باربری به روش وسیک *(Vesic)* ۱۴۶
ارزیابی روشهای مختلف برای انتخاب ۱۴۸
ملاحظات اضافی در زمان استفاده از ظرفیت باربری ۱۴۸
شالوده‌های با بارگذاری برون محور ۱۴۹
شالوده‌هایی با بار برون محور ۱۵۰
ظرفیت باربری پی بر روی سطح شیبدار به روش ساده ۱۵۲

محاسبه ظرفیت نهایی باربری پی تحت بار مایل ۱۵۴
ظرفیت باربری نهایی پی مایل ۱۵۵
تأثیر سطح ایستابی بر روی ظرفیت باربری ۱۵۷
ظرفیت باربری شالوده‌های مستقر بر خاکهای لایه‌ای ۱۵۸
ظرفیت باربری خاکهای چند لایه به روش ساده ۱۶۳
ظرفیت باربری شالوده‌های مستقر بر خاکهای ناهمسان ۱۶۴
ظرفیت باربری شالوده‌های مستقر بر شیب ۱۶۵
تعیین ظرفیت باربری با استفاده از آزمایش نفوذ استاندارد *(SPT)* ۱۷۱
تعیین ظرفیت باربری با استفاده از آزمایش نفوذ مخروط *(CPT)* ۱۷۴
تعیین ظرفیت باربری از روی آزمایشهای بارگذاری صحرایی ۱۷۴
روش هوسل *(Housel)* ۱۷۵
ظرفیت باربری پی ها تحت تأثیر نیروهای کشش ۱۷۵
ظرفیت باربری سنگ ۱۷۷
مثال ظرفیت باربری ۱۷۸
مثال پی روی سطح شیبدار ۱۸۱
مثال ظرفیت باربری شالوده‌های مستقر بر خاکهای لایه‌ای ۱۸۷
مثال ظرفیت باربری شالوده‌های مستقر بر شیب ۱۸۹
مثال ظرفیت باربری پی‌ها تحت تأثیر نیروهای کشش ۱۹۱
مثال ظرفیت باربری سنگ ۱۹۲

***فصل چهارم:***

**اندرکنش بین پی و زمین**

تعیین چگونگی توزیع فشار در زیر پی سخت و ضخیم (صلب) ۲۰۱
حل عمومی تیر متکی بر بستر ارتجاعی ۲۱۰
حل تیر بر بستر ارتجاعی به روش اجزاء محدود *(FEM)* ۲۱۴
تشکیل ماتریس $A$ اجزاء ۲۱۷
تشکیل ماتریس $S$ ۲۱۹
تشکیل ماتریسهای $ESA^T$ , $EASA^T$ در اجزاء ۲۲۰

تشکیل ماتریس $P$ ۲۲۲
پی حلقه‌ای ۲۲۲
تعیین عکس العمل خاک در زیر پی به روش تیر یا دال
متکی بر محیط تغییرشکل پذیر از یک طرف محدود ۲۲۶
تعیین توزیع عکس العمل در زیر پی گسترده صفحه‌ای ۲۳۰
ضریب واکنش بستر ۲۳۲
روش تجربی جهت تعیین ضریب $k$ ۲۳۵
روش‌های دیگر جهت تعیین مقدار ضریب عکس‌العمل زمین ۲۳۶
شالوده‌های سطحی ۲۳۹
شالوده‌های مرکب مستطیل شکل ۲۴۰
شالوده‌های ذوزنقه‌ای شکل ۲۴۰
شالوده‌های کلافدار (طره ای) ۲۴۱
شالوده تجهیزات صنعتی ۲۴۳
عکس العمل خاک در زیر پی انعطاف پذیر
روش سیم ولیدی ۲۴۴
اثر بار متمرکز ۲۵۸
اثر گشتاور خمشی به پی ۲۷۳

***فصـــل پنجم:***
**طرح و محاسبه پی‌های سطحی**

پی‌های منفرد ۲۹۱
ضوابط آئین نامه *(ACI)* برای طرح پی‌های سطحی ۲۹۵
طرح پی‌های منفرد بتن آرمه ۳۰۷
پا ستون *(Pedestals)* ۳۲۵
پی‌های مرکب ۳۲۷
مراحل حل طرح پی‌های مرکب ۳۳۱
اثر بار خارج از مرکز بر روی پی ۳۴۷

پی گسترده صفحه‌ای ۳۵۳
انواع متداول پی گسترده صفحه‌ای ۳۵۷
پایداری و نشست پی‌های گسترده صفحه‌ای ۳۵۸
روش‌های طرح ۳۶۱
روش صلب ۳۶۲
روش صفحه الاستیک ۳۶۵
روش اختلاف محدود *(Finite Difference)* ۳۶۷
روش اجزای محدود *(Finite Element)* ۳۷۰
الف- سازه صفحه‌ای ۳۷۱
ب- خاک زیر پی ۳۷۱
ج- اجزاء بدنه پی ۳۷۲
د- تعادل کلی سازه ۳۷۲
هـ- توزیع فشار در سطح تماس ۳۷۲
پی‌های گسترده صفحه‌ای جهت سازه‌های مدور ۳۷۳
مسائل قابل توجه عمومی در طرح پی‌های گسترده صفحه‌ای ۳۷۴
روش‌های اجرای پی‌های گسترده صفحه‌ای ۳۷۷
مثال اجرایی- طراحی یک شالوده صنعتی ۳۸۳
مثال ضریب واکنش بستر ۳۸۴

***فصل ششم:***

**فشار جانبی خاک و دیوارهای حائل**

مقدمه ۳۹۷
فشار جانبی خاک بر روی دیوارهای حائل و سازه‌های مشابه ۳۹۹
روش رانکین جهت تعیین فشار جانبی خاک ۴۰۰
پایداری دیوارهای حائل ۴۰۶
الف- پایداری افقی ۴۰۶
ب- پایداری نسبت به واژگونی ۴۰۸

دیوارهای وزنی ۴۰۹
دیوارهای حائل کنسولی ۴۱۰
دیوارهای حائل تیغه‌دار (تیغه در جلو) ۴۱۱
خصوصیات خاک پشت دیوار ۴۱۶

***فصـــل هفتم:***

**پی های شمعی**

مقدمه ۴۳۵
روش اجرای شمع ۴۳۹
ظرفیت باربری شمع منفرد ۴۵۱
مقاومت جداره شمع در خاک غیر چسبنده ۴۵۲
ظرفیت باربری شمع در خاک چسبنده ۴۵۶
روش $\lambda$ جهت محاسبه مقاومت جداره شمع ۴۵۸
ظرفیت مجاز باربری شمع ۴۵۹
ظرفیت نهایی باربری شمع در خاکهای مخلوط چسبنده و غیر چسبنده ۴۶۱
اصطکاک منفی ۴۶۱
قابلیت باربری شمع تحت نیروی افقی ۴۶۳
اثر گروهی شمع بر روی ظرفیت باربری شمع‌ها ۴۷۵
محاسبه نیروی وارد بر هر شمع در گروه شمع ۴۷۸
الف- تمامی شمع‌های گروه قائم هستند ۴۷۸
ب- گروه شمع مجموعه‌ای از شمع‌های مایل و قائم می‌باشد ۴۸۰
روابط بین تغییر مکان سر شمع و مقدار نیروی محور شمع ۴۸۲
الف- تغییر مکان قائم $\lambda$ ۴۸۲
ب- تغییر مکان افقی $\lambda_1$ ۴۸۳
ج- چرخش $\omega$ ۴۸۳
نشست شمع منفرد ۴۸۷

*فصـــل هشتم:*

**اثرات حفرات زیرزمینی برمقاومت پی**


| | |
|---|---|
| مقدمه | ۴۹۵ |
| تاریخچه مطالعات | ۴۹۶ |
| مطالعات ٌ وانگ ٌ و ٌ بدیعی ٌ (۱۹۸۴) | ۴۹۷ |
| روش آزمایشگاهی | ۵۰۰ |
| مشخصات خاک و شالوده | ۵۰۱ |
| مطالعات ٌ وانگ ٌ و ٌ ژائو ٌ (۱۹۹۸) | ۵۰۳ |
| مشخصات هندسی پی | ۵۰۴ |
| رابطه بین نشست پی و فشار زیر پی | ۵۰۴ |
| عمق بحرانی | ۵۰۶ |
| معادلات محاسبه ظرفیت باربری کاهش یافته پی تحت تاثیر وجود حفره | ۵۰۸ |
| خلاصه | ۵۱۰ |
| الگوسازی پی برای تعیین ظرفیت باربری | ۵۱۰ |
| روش عددی مورد استفاده | ۵۱۱ |
| انتخاب الگوی رفتاری مناسب | ۵۱۲ |
| فراسنجی الگوی رفتاری | ۵۱۴ |
| معرفی مدل و مشخصات مصالح | ۵۱۶ |
| مقایسه نتایج | ۵۱۷ |
| مطالعات ٌ رود ریگوئز – روآ ٌ | ۵۱۸ |
| مقایسه نتایج مطالعات حاضر و مطالعات ٌ رود ریگوئز – روآ | ۵۲۰ |
| معرفی مدل و مشخصات مصالح | ۵۲۰ |
| اثر حفرات زیرزمینی دوگانه بر ظرفیت باربری | ۵۲۲ |
| مشخصات هندسی مدل | ۵۲۳ |

شرایط مرزی و نحوه بارگذاری ۵۲۴
مشخصات شالوده در مطالعات پارامتریک ۵۲۵
مشخصات مصالح خاکی ۵۲۶
مطالعات فراسنجی ۵۲۹
بررسی مفهوم ظرفیت باربری در حالت وجود تونل ۵۳۰
مطالعات فراسنجی در محیط خاکی شماره ۱ ۵۳۱
اثر عرض شالوده *(B)* ۵۳۱
اثر عمق استقرار تاج تونل‌ها از کف شالوده ۵۳۳
اثر قطر تونل‌ها ۵۳۴
اثر خروج از مرکزیت تونل‌ها ۵۳۷
اثر فاصله بر داخلی تونل‌ها ۵۳۸
فاصله بحرانی بین دو تونل ۵۴۰
پیشنهاد یک رابطه ریاضی برای محاسبه $L_{cr}$ در محیط خاکی شماره ۱ ۵۴۱
مطالعات فراسنجی در محیط خاکی شماره ۲ ۵۴۲
اثر عرض شالوده ۵۴۳
اثر عمق استقرار تاج تونل از کف شالوده *(z)* ۵۴۴
اثر قطر تونل ها *(D)* ۵۴۵
اثر خروج از مرکزیت تونل *(X)* ۵۴۶
اثر فاصله بر داخلی تونل‌ها *(L)* ۵۴۷
فاصله بحرانی بین تونل‌ها *($L_{cr}$)* ۵۴۸
ارائه رابطه ریاضی برای محاسبه $L_{cr}$ در محیط خاکی شماره ۲ ۵۴۸
بحث در نتایج ۵۵۰
نتیجه‌گیری ۵۶۷

**مراجع** ۵۷۱
**نمایه** ۵۷۹

# فصل اول

## آشنایی با پی‌سازی و انواع پی‌ها و مسائل مربوط به آنها

**مقدمه**

معمولاً سازه‌های مورد نیاز بشر لزوماً بارهای وارده بر پیکرهٔ خود را بر پوسته جامد زمین اعمال می‌نمایند. این سازه‌ها با در برداشتن وزن (بارهای مرده) و یا دریافت بارهایی از قبیل باد، زلزله و غیره (بارهای زنده) تکیه‌گاه خود (زمین) را مکلف به ارائه عکس‌العملی متناسب با سازه جهت حفظ ایستایی خویش می‌نمایند و در صورتیکه این مسأله، مورد قبول زمین واقع نگردد طرح ناقص بوده و پیش‌بینی‌های لازم به اندازه کافی صورت نگرفته و سازه صدمه خواهد دید.

علم چگونگی ارتباط سازه با تکیه‌گاه خویش ( زمین ) با تمام جزئیات مربوطه به مهندسی پی موسوم است و کلاً مهندسی پی همانند اغلب شاخه‌های دیگر مهندسی عمران از دو قسمت هنر انتخاب سیستم و بررسی میزانها و معیارها تشکیل گردیده است.

اکثراً به خاطر عظمت جثه سازه‌های موردنیاز و بالا بودن نیروهای وارده به آن، این نیروها در شدتی زیادتر از تاب تحمل زمین ظهور نموده و بخاطر ضعف طبیعی زمین از نظر مقاومت با مقایسه نسبت به مصالح مورد مصرف در ساخت سازه‌ها مانند فولاد و بتن و مصالح بنایی و غیره لازم است جهت جلوگیری از تغییر شکلهای نامطلوب ( نشست‌ها، حرکتهای جانبی، تورمها و غیره) که در نهایت باعث خرابی سازه خواهند گردید، پیش‌بینی‌های لازم را نموده و با بررسی دقیق شرائط مسأله پس از ساخت سازه از خرابی احتمالی آن پیشگیری نمود.

جهت حل مسأله فوق‌الذکر، جزئی از سازه‌ها که بنام پی یاشالوده موسوم است و کارایی آن گرفتن نیروها در شدت بیش از حد مقاومت زمین و اعمال آن با شدت مناسب به زمین می‌باشد را باید معرفی نمود. بخاطر تنوع سازه‌ها از نظر شکل و اندازه و تنوع خصوصیات خاک، پی ها به اشکال و سیستمهای مختلف طراحی می‌شوند.

از نظر کلی اقسام زیر را می‌توان برای پی مد نظر گرفت:

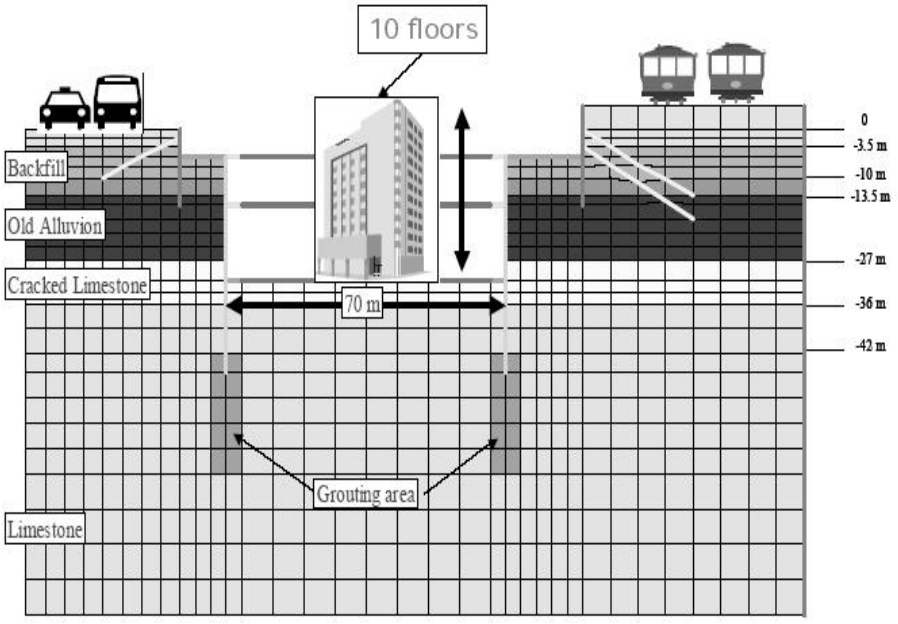
۱- پی های ساختمانی

۲- پی سازه‌هایی مانند دودکشها، دکلهای رادیو و تلویزیون و پایه پلها

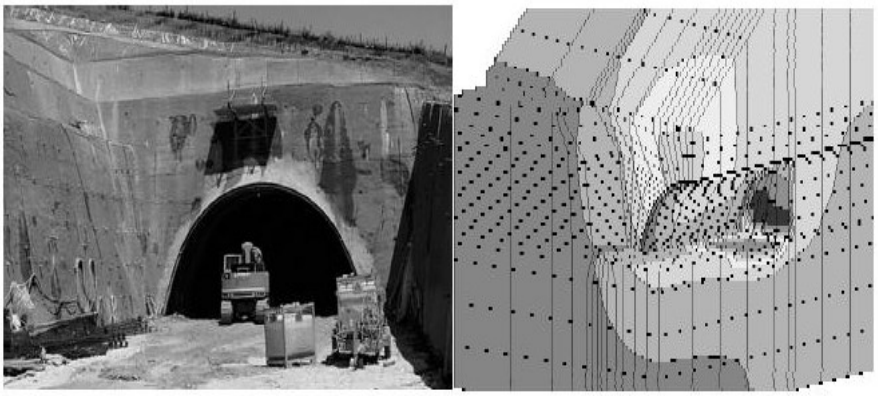
۳- پی های سازه‌های دریایی مانند تأسیسات بندری موج‌شکن‌ها و غیره

۴- پی ماشین‌آلات مانند ژنراتورها، توربینها و ...

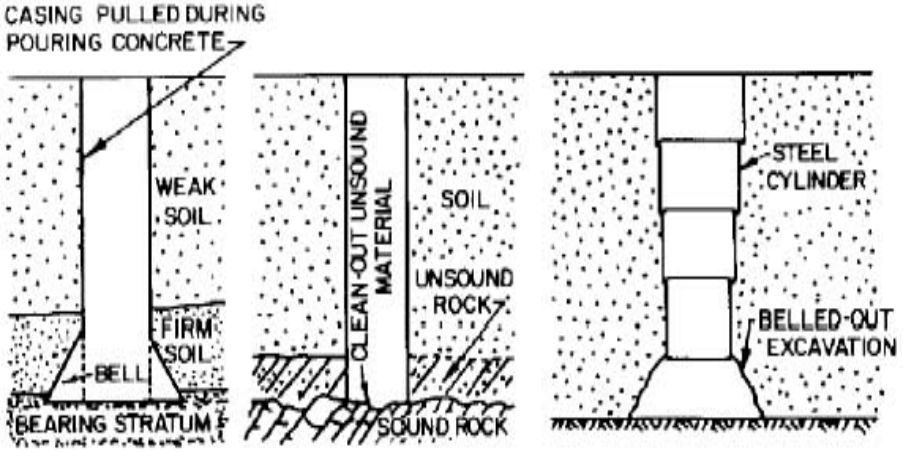
۵- پی های مخصوص که موارد استفاده بخصوصی را دارا می‌باشند.



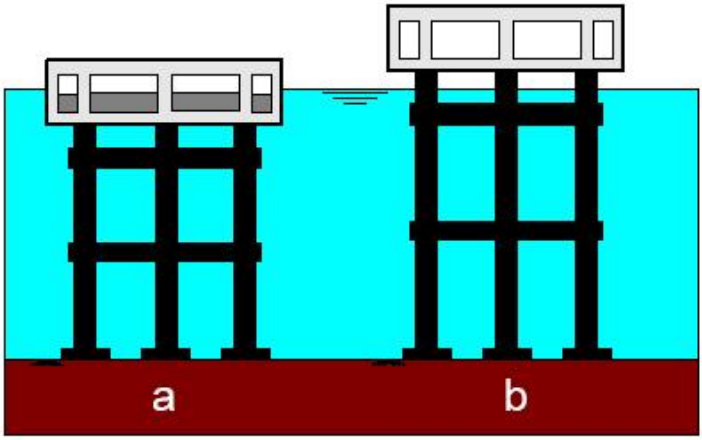

شکل ۱-۱ بسترپی برای سازه های شهری



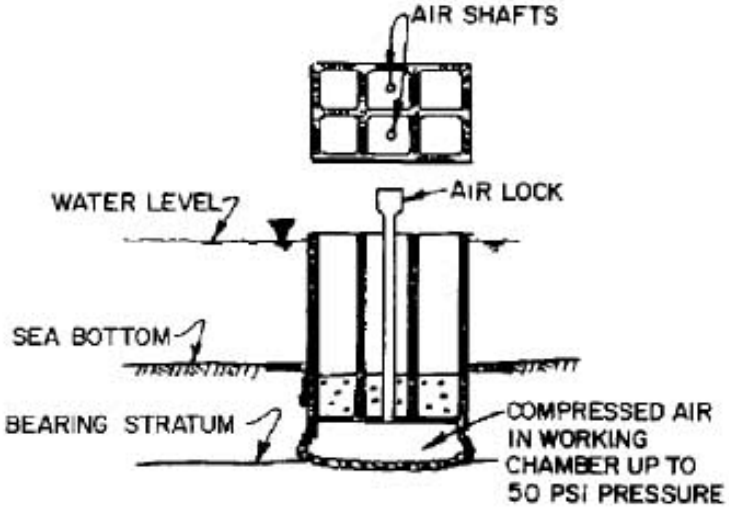
شکل ۱-۲ بستر پی برای تونل وشبکه محاسبات عددی



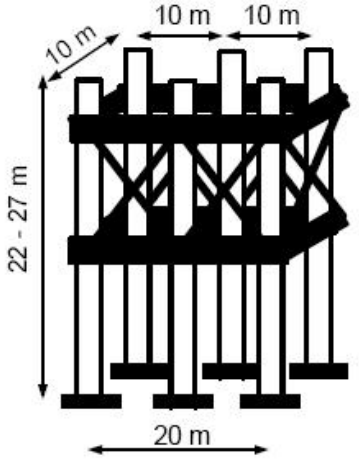

شکل ۱-۳ بستر پی عمیق



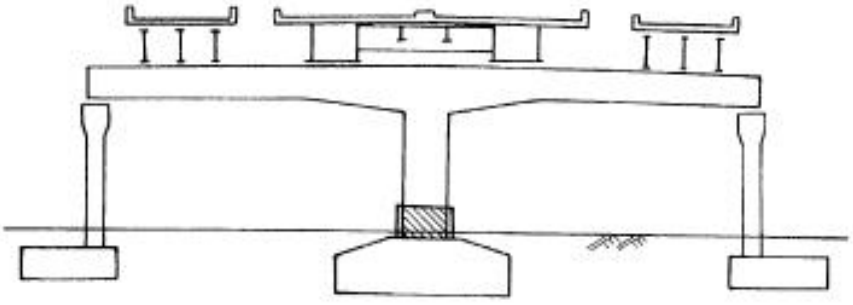

شکل ۱-۴ شالوده عمیق یک سازه دریایی




شکل ۱-۵ بستر پی کیسون برای یک سازه دریایی




شکل ۱-۶ یک پایه سازه دریایی



شکل ۱-۷ پایه و پی پل

معمولاً بیشترین نوع مورد مصرف پی ها، شالوده های ساختمانی است، لذا عمده صحبت در این کتاب مربوط به این قسمت خواهد شد. از نظر عمق سطح زیر پی می‌توان انواع زیر را در نظر گرفت: *پی‌های سطحی و نیمه سطحی و پی‌های عمیق* معمولاً در صورتیکه عمق کف پی کمتر از چهار برابر کوچکترین بعد پی باشد آن را پی سطحی یا نیمه سطحی می‌گویند. از دید شکل ظاهری پی دارای انواع زیر می‌باشد: پی‌های

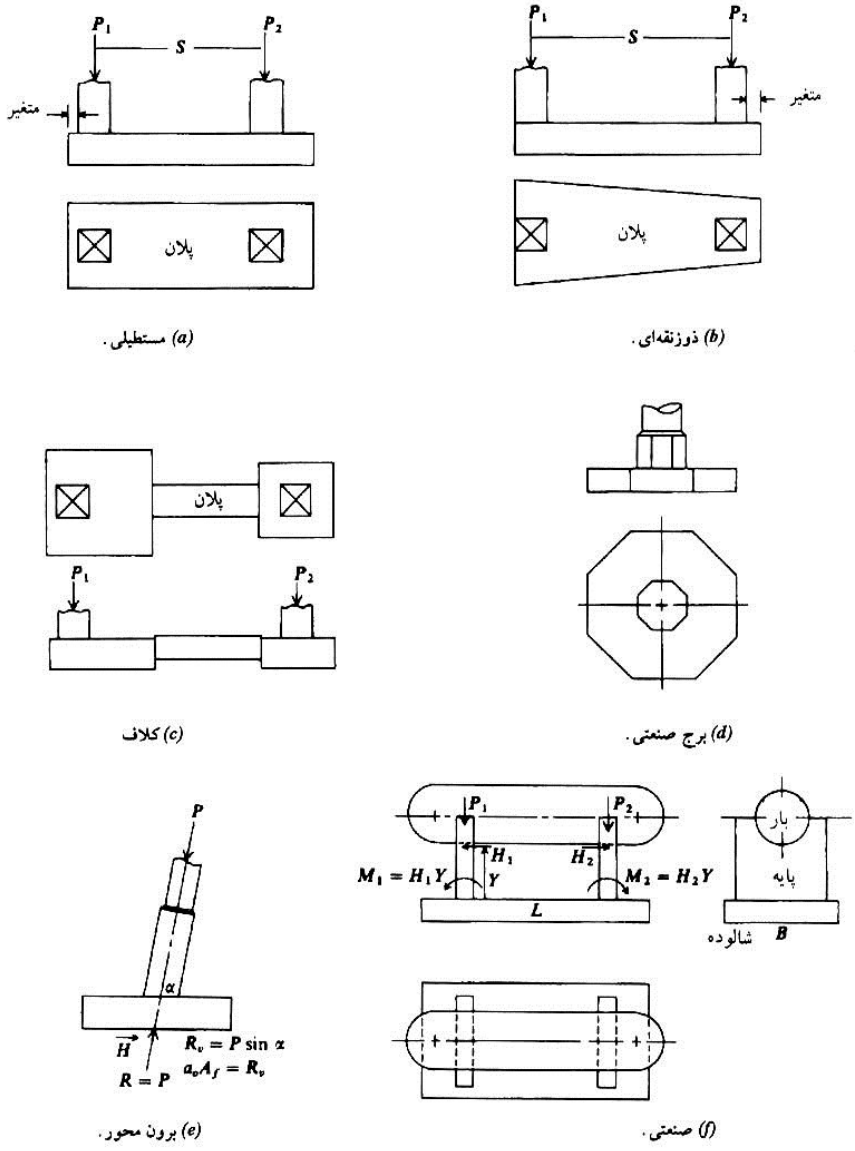
منفرد، پی‌های نواری(طویل)، پی‌های کلاف‌دار، پی‌های گسترده (صفحه‌ای)، پی‌های شمعی.

پی‌های نواری و منفرد جهت ستونهای تک و دیوارها و پایه پلها بکار می‌روند و مورد استفاده آنها زمانی است که زمین از مقاومت نسبتاً کافی برخوردار باشد. در این نوع پی‌ها نشست نسبی مسأله مهمی بوده و در صورت تجاوز از حد مناسب خویش باعث شکست قسمتهای دیگر سازه شده و باید کنترل گردد. پی‌های کلافدار زمانی بکار گرفته می‌شوند که زمین از مقاومت نسبتاً کافی برخودار بوده و در مورد بارهای وارد بر پی، گشتاور قابل ملاحظه‌ای روی پی اعمال می‌گردد. در چنین صورتی برای تحمل این گشتاورها، پی‌ها را بوسیله کلاف ( Tie beam) به یکدیگر متصل می‌نمایند.

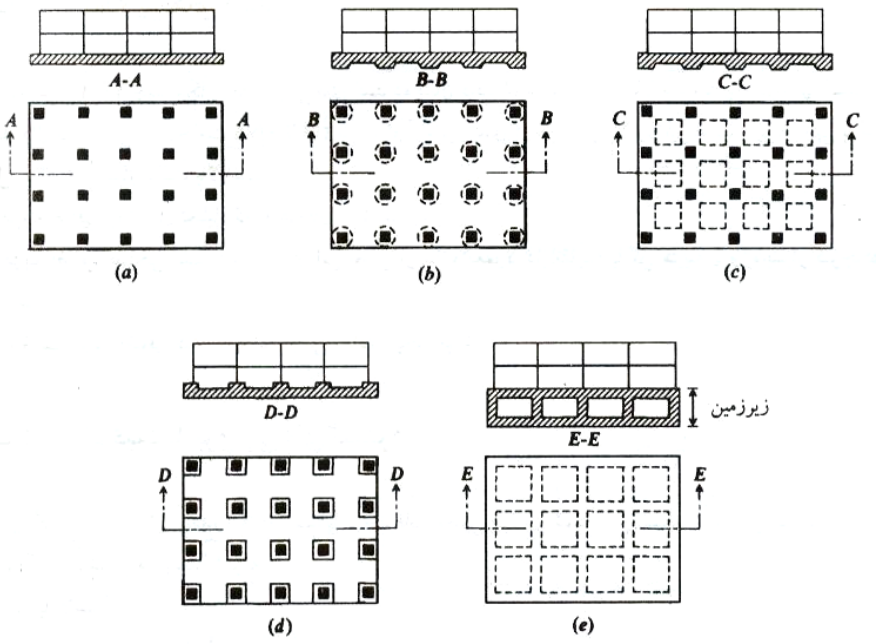
پی‌های گسترده صفحه‌ای معمولاً جهت یک گروه دیوار و ستون منفرد بکار رفته و در چنین حالتی نشست موضعی دیگر محسوس نخواهد بود. این نوع فنداسیون زمانی بکار می‌رود که مقاومت زمین برای پی های منفرد کافی نباشد.

پی‌های شمعی حداقل از دو شمع و یک صفحه متصل‌کننده تشکیل می‌گردد و این سیستم از پی ها قادر است ستونها و دیوارهای با بار زیاد را تحمل نماید. کاربرد این سیستم زمانی است که لایه سطحی زمین دارای مقاومت کم بوده و لایه مقاوم در عمق زمین ۲۰ تا ۵۰ متر قرار گرفته باشد. در این حالت نیروهای وارده بر صفحه پی بوسیله مقاومت جانبی و انتهایی شمعها گرفته شده و به زمین انتقال پیدا می‌کند.

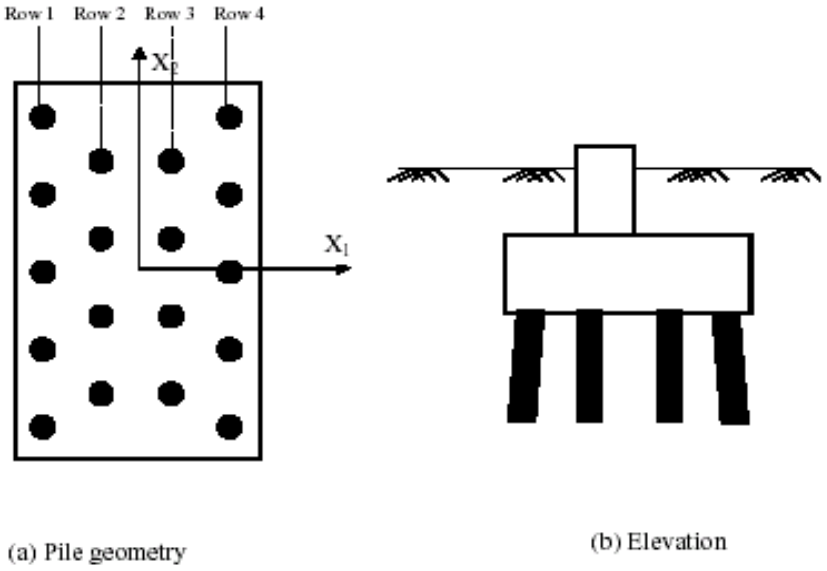
پی کیسون خود به شکلهای مختلف ساخته می‌شود و در صورت زیاد بودن بار ستونها و دیوارها از آن استفاده می‌گردد و زمانی از این نوع پی استفاده می‌شود که لایه سطحی خاک سست بوده و لایه مقاوم در عمق ۸ تا ۵۰ متری قرار داشته باشد.




شکل ۱-۸ انواع پی‌ها




شکل ۱-۹ پی گسترده صفحه‌ای

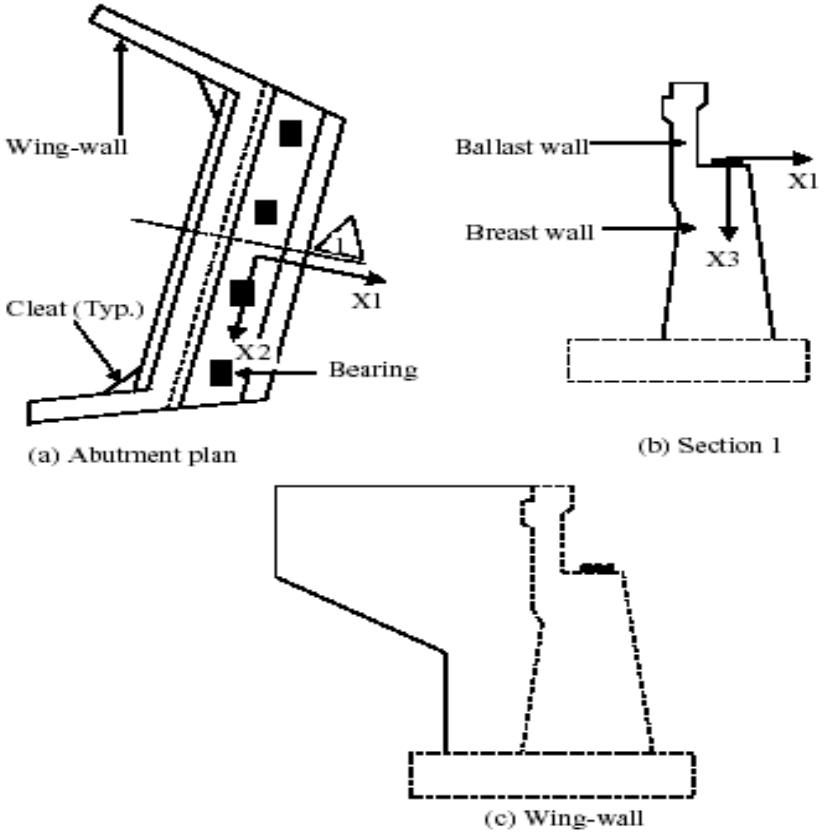



شکل ۱-۱۰ پی شمعی

## پی  دیوارهای مقاوم ( حایل ) و دیوارهای کناری پل

در این نوع پی ها علاوه بر تاب تحمل نیروهای قائم، نیروهای افقی هم حائز

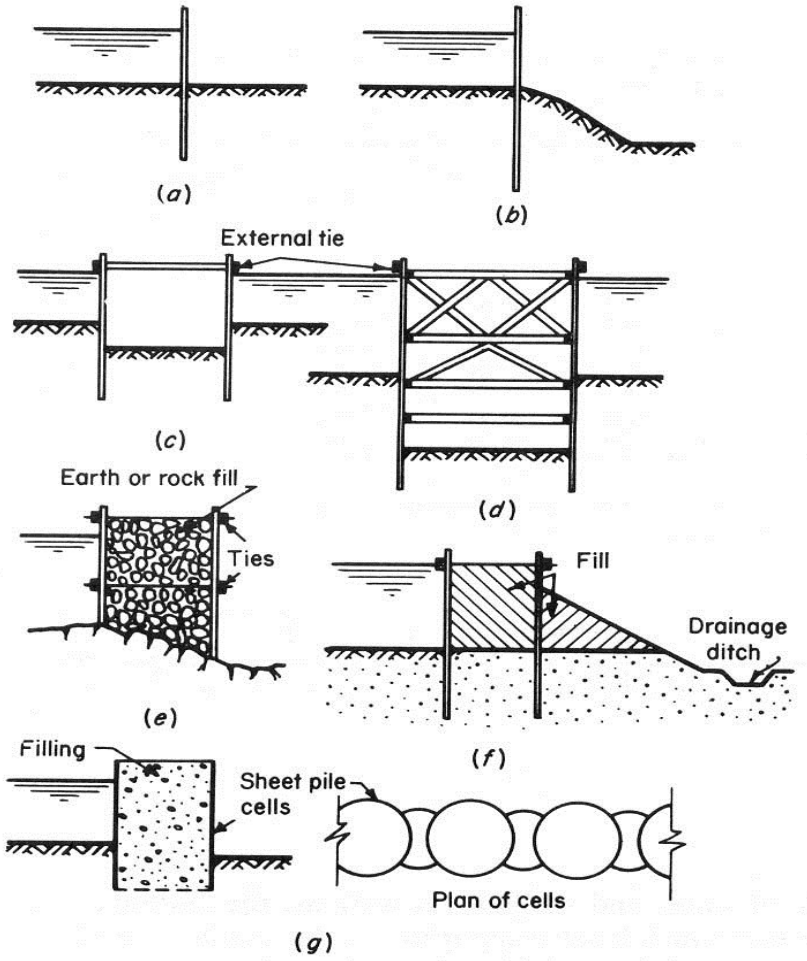
اهمیت می‌باشند، در حالات مختلف زمین این نوع پی در شکلهای گوناگون قابل طـرح و اجراء خواهد بود.




شکل ۱-۱۱ پایه پل

## سپرها

سازه‌هایی هستند که بصورت پروفیل‌های مخصوص از فولاد بوده بطوریکه در دو طرف سطح مقطع خود دارای کشوهای مخصوص جهت اتصال به یکدیگر می‌باشند و این سپرها با کوبیده شدن در زمین حفاظی در مقابل دیواره کناری گود ایجاد نموده و از ریزش آن جلوگیری می‌نمایند. این سپرها گاهی جهت جلوگیری از نشست آب به داخل گود هم می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.




شکل ۱-۱۲