https://telegram.me/Civil_Science_Technology_Park

# پارک علم و فناوری عمران

به عنوان اولین و بزرگترین مجموعه در ارائه محتوای تخصصی عمران و معماری در فضای مجازی، پیشرو در برگزاری کلاس ها، ارائه ورکشاپ ها و جلسات مباحثه توسط اساتید مجرب ترین دانشگاه های داخل و خارج از کشور، به صورت آنلاین و کاملا رایگان پذیرای حضور گرم اساتید، دانشجویان و مهندسان عزیز می باشد.

Civil.forum
09399007262

# فوندانسیون های ویژه


**استاد راهنما: جناب آقای دکتر قضاوی**

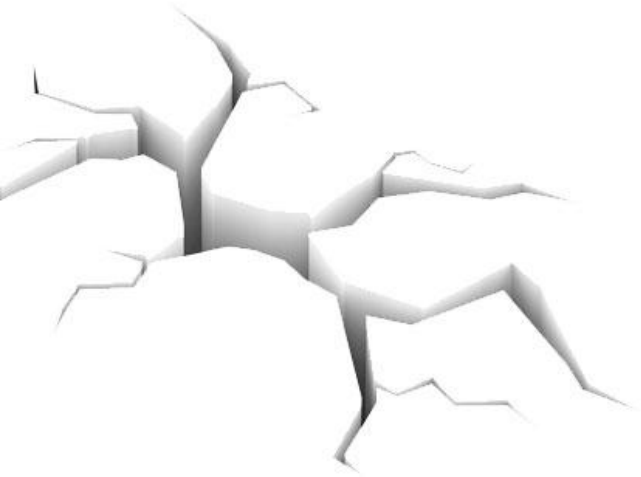
**گرد آوری: ساسان امیری افشار-امیر مسعود تقوی**



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

# فهرست مطالب

- ✓ پی های شناور
- ✓ پی های پوسته ای
- ✓ پی های جعبه ای
- ✓ پی های فولادی
- ✓ پی های منفرد چسبان
- ✓ تلفیق پی گسترده و عمیق
- ✓ فوندانسیون برج میلاد

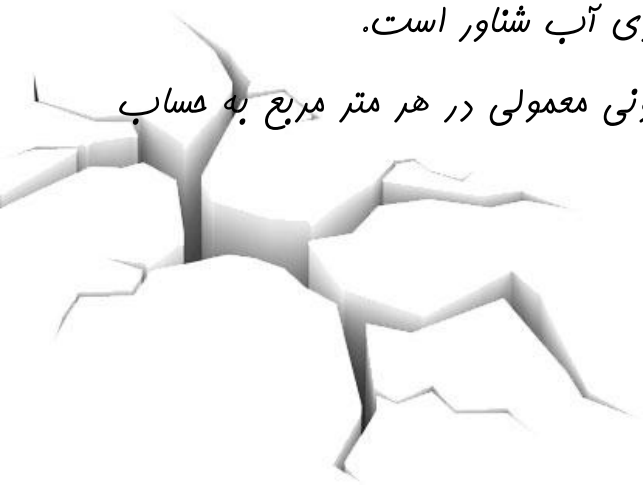


# پی های شناور

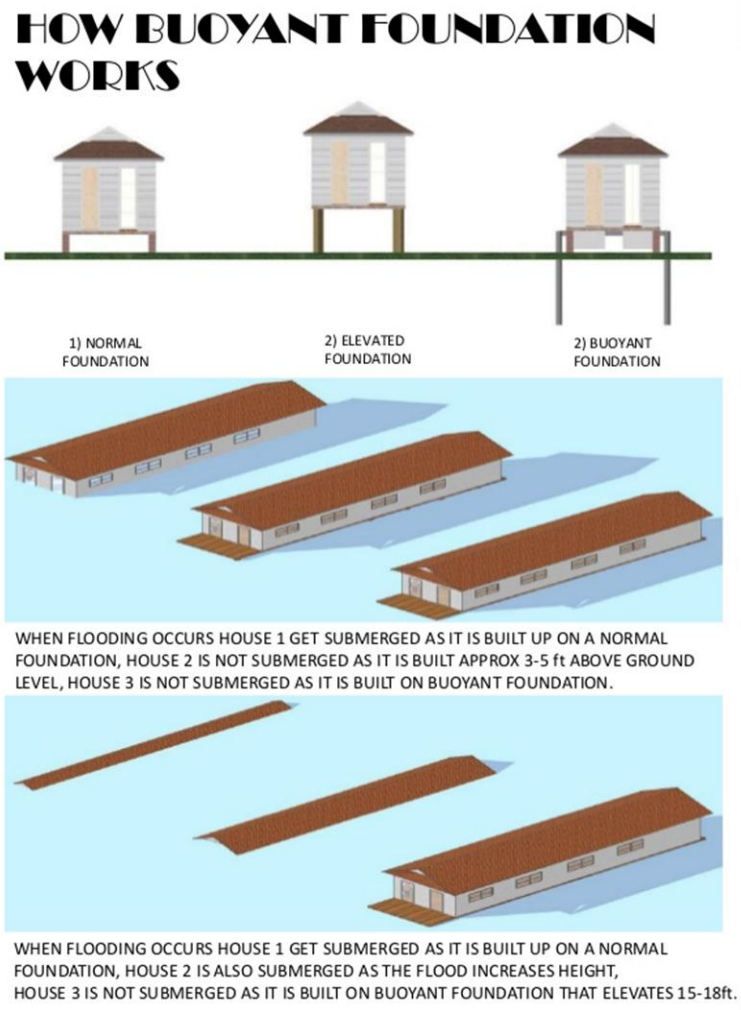
پی های شناور در مواردی کاربرد دارند که با وجود لایه های نشست پذیر و یا ضعیف تا عمق قابل توجهی وجود داشته و استفاده از شمع هم امکان پذیر نباشد. در آن صورت می توان پی گسترده سازه را در عمق پایین تر مستقر و با برداشت خاک حاصل از گودبرداری با بار ثقلی حاصله از روسازه مقابله و یا حتی فشار روسازه با میزان خاک حاصل از حفاری معادل نمود.

در این حالت آنقدر خاک برداری می شود که وزن خاک برداشته شده و نیرو ی هیدروستاتیک برکننده با وزن ناخالص سازه برابر شود. به عبارت دیگر فشار در کف گودبرداری تغییر نخواهد کرد. یعنی فشار ایجاد شده برابر فشار خاک جابه جا شده خواهد بود و به لحاظ نظری نشستی ایجاد نمی شود و نشست حاصله عمدتاً در اثر برگشت تورم حاصل از خاکبرداری پس از احداث بنا می باشد. در این حالت به نظر می رسد که سازه روی آب همانند کشتی روی آب شناور است.

معمولاً یک متر مکعب خاک را می توان به لحاظ وزنی معادل دو طبقه ساختمان مسکونی معمولی در هر متر مربع به حساب آورد.



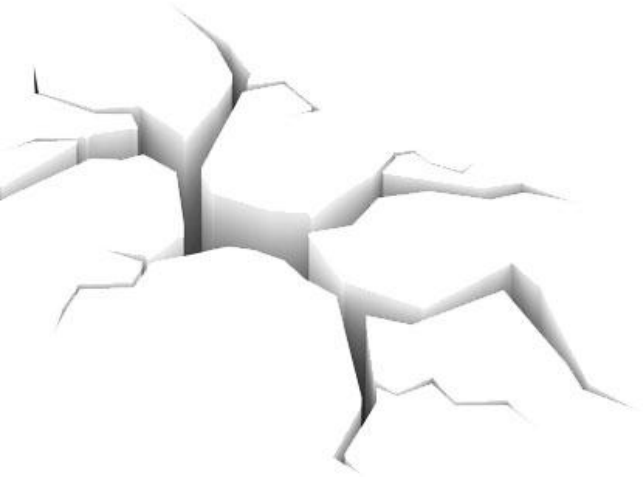
# پی های شناور

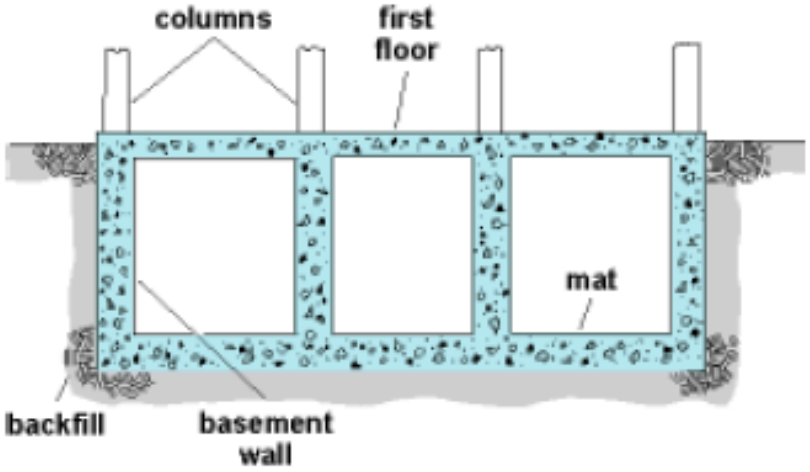



عملکرد پی شناور بدین صورت است که با عمل گودبرداری و جایگزین کردن وزن سربار با بخشی از وزن ساختمان، میزان بار خالص وارد بر بسترخاک و بدنبال آن نشست کاهش می یابد. بار یک ساختمان توسط پی های منفرد، نواری، رادیه، شمع ها و .....تحمل می شود. اگر خاک بستر ضعیف باشد، تحت بار ساختمان، خطر گسیختگی برشی در زیر پی وجود دارد. بنابراین بارها بایستی در سطح بزرگتری گسترده شوند، یا مقدار بار وارده بایستی کاهش یابد ویا بایستی از خاک ضعیف توسط شمع ها یا سایر تجهیزات به مصالح مستحکم در اعماق پایین منتقل شوند. این سه راه حل می توانند به طور جداگانه یاتوأماً مورد استفاده قرار بگیرند. یک راه برای کاهش مقدار بار وارده، کاربرد پی شناور یا پی نسبتاً شناور می باشد.

# پی های شناور

برای ساختمان های بلند  استفاده از ایده شناوری نیازمند ایجاد چندین طبقه زیرزمین خواهد بود که با مشکلات اجرایی بسیاری همراه است. همچنین از آنجا که فوندانسیون های گسترده شناور در عمق خاک اجرا می شوند مسئله تراز آب زیر زمینی باید در نظر گرفته شود. مخصوصا در فصول بارانی. در این حالت نیاز به فوندانسیون های جعبه مانند شناور خواهد بود و در طراحی چنین فوندانسیون هایی اثر غوطه وری و فشار های جانبی لحاظ شود.



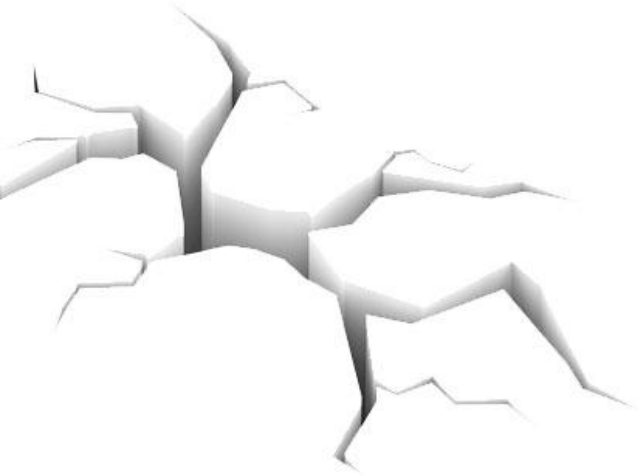


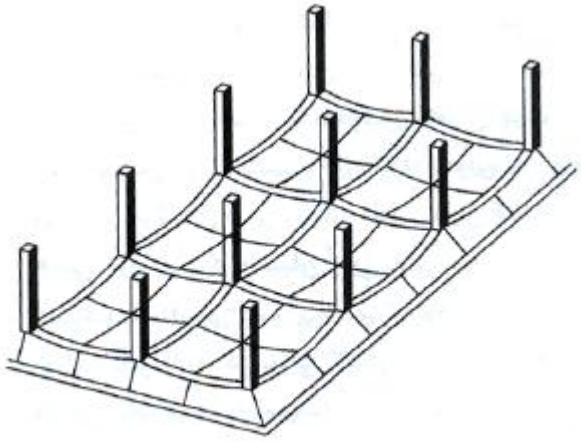

فونداسیون شناور

# پی سلولی و پوسته ای

بر اساس استفاده از عملکرد شکل پی در ساختار پی های شناور و یا تقلیل وزن مرده بتن در پی های حجیم مدفون ، و نیز تامین سختی کافی در طبقات مختلف زیرزمین بوده و از صفحات متناوب و متقاطع جهت تامین مقاومت کافی در مقابل نیروهای برشی و لنگرهای خمشی و نیز صرفه جویی در مصالح مصرفی اعم از بتن و میلگرد مصرفی به کار گرفته می شوند . ویژگیهای فرمی روسازه عاملی تعیین کننده در انتخاب شکل این پی ها می باشد.

این نوع پی ها بار رابه واسطه شکل خود به زمین منتقل می کنندو حجم آنها تاثیری در انتقال بار ندارد.این نوع پی ها به عنوان پی برج های خیلی بلند نظیر برج های رادیو تلویزیون یا برج های خنک کننده به کار می روند.

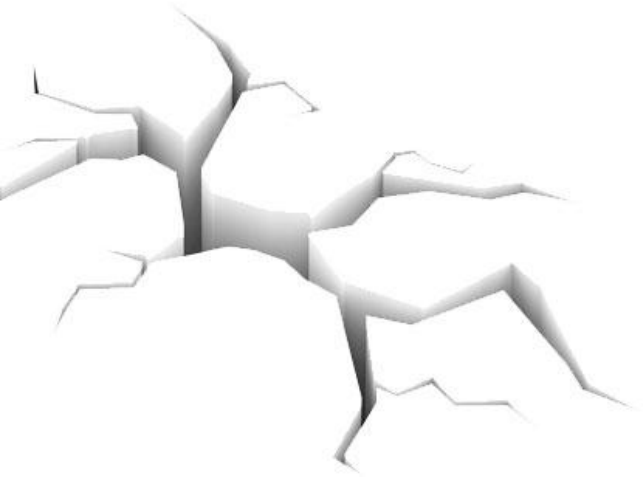




فونداسیون پوسته ای

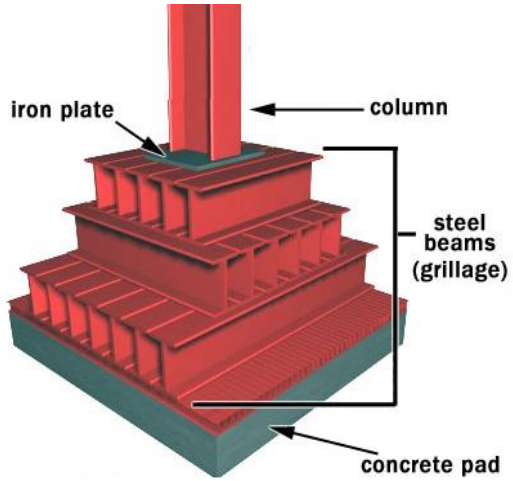
# پی باکسی یا جعبه ای

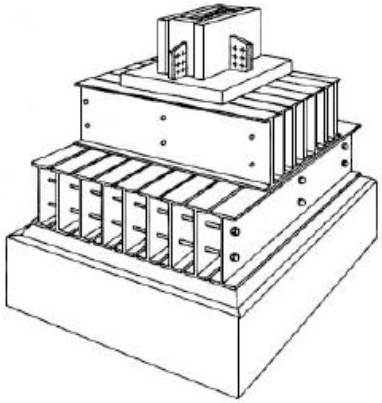
در مواردی که سازه ها خیلی سنگین هستند و از اهمیت ویژه ای برخودار می باشند، سیستم فوندانسیون آن ها باید از صلبیت خمشی ویژه ای برخوردار باشد که بدین ترتیب تلفیق دال های کف و سقف و نیز دیوار های اطراف و میانی زیر زمین، ملاحظات خاص تحلیل و طراحی سازه ای و اجرایی پی های شناور را مطرح می سازد.



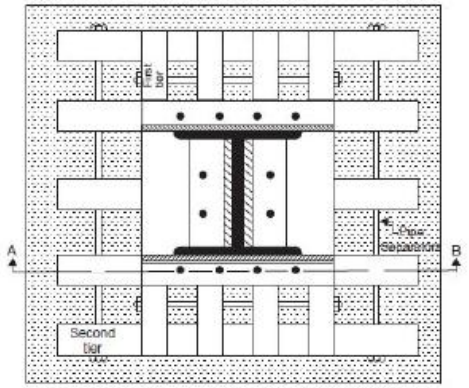
# پی های فولادی یا پروفیله

استفاده از این پی در زمانی است که بار های حاصل از روسازه سنگین و زمین بستر سفت و یا سنگی باشد و راه حل های استفاده از بتن مسلح پاسخ گوی وضعیت سیستم های معمولی معمول پی سازی نبوده که در این حالت از پروفیل های فولادی بال پهن در دو لایه عمود و بر روی یکدیگر با قالب بتنی درجا در اطراف به کار گرفته می شود. در موارد بار های کمتر و در دسترس نبودن پروفیل های فولادی بال پهن و یا پی سازی موقت در بستر های سست، می توان از دو ردیف الوار های چوبی متعامد روی هم محصور در بتن استفاده کرد.



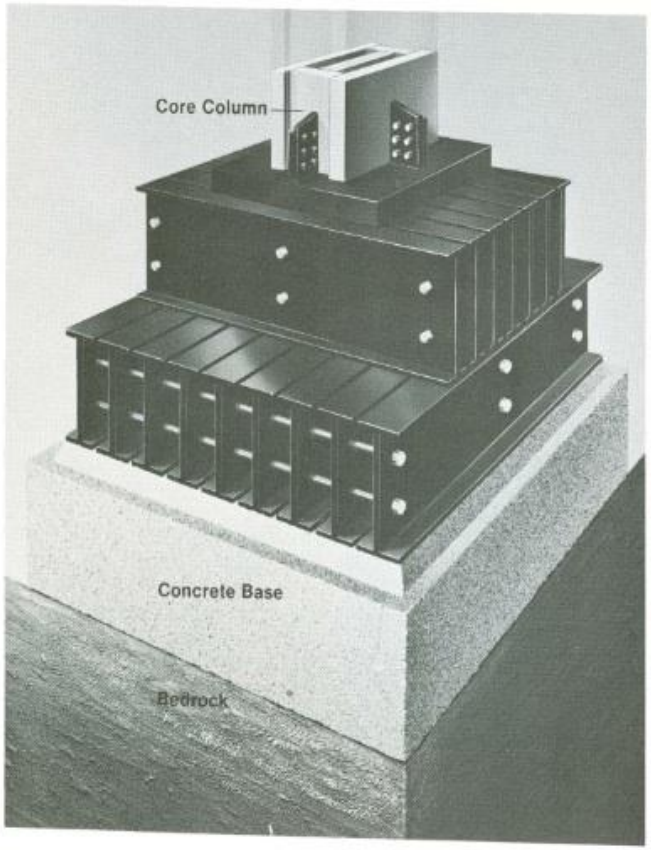



شالوده فولادی یا پروفیله
نمای سه بعدی




شالوده فولادی یا پروفیله
نمای فوقانی

# پی های فولادی یا پروفیله




**Grillage**

Down at the foundation, each core column rises from a grillage, a massive framework of steel beams resting on a concrete base. A typical grillage unit, such as the one shown here is about 80 square feet and about 5 feet high.

# پی های فولادی یا پروفیله

# پی های منفرد چسبان

این نوع از پی ها به عنوان جایگزینی برای پی های گسترده استفاده می شود. پی های گسترده معضلاتی در تحلیل، طراحی و اجرا در بر دارند. در صورتی که پی های منفرد با فرض صلبیت آن ها دارای روش های تحلیل و طراحی، ساده و معمول می باشند.

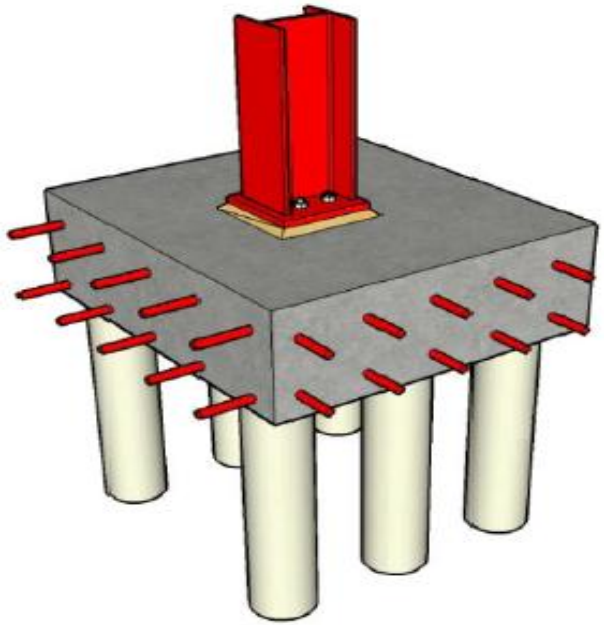
در اجرا وجود شبکه آرماتور فوقانی مشکلاتی برای بتن ریزی ایجاد می کند و با توجه به ابعاد گسترده آن به دست آوردن یک بتن یک پارچه نیز مشکل می باشد.

لذا به جای استفاده از پی گسترده می توان یک ردیف پی منفرد مجاور را جایگزین کرد که به صورت منقطع در قسمت بالا و متصل در قسمت پایین هستند. به دلیل این که در قسمت بالا عدم پیوستگی وجود دارد، لنگری رد و بدل نشده و مانند پی های منفرد تنها به سفره آرماتور پایینی نیاز داریم. این سفره آرماتور می تواند برای پی های مجاور مشترک باشد. بدین ترتیب که یک سفره آرماتور حداقل در پایین پی ها قرار دهیم و در هر کدام از پی ها که لازم باشد از آرماتور اضافی منظور کنیم.

اگرچه این سیستم یک پارچه شده ولی در تحلیل آن می توانیم از مدل پی منفرد استفاده کنیم.

# تلفیق پی گسترده و عمیق

اگرچه پی گسترده در میان پی های سطحی راه حل نسبتا مناسبی به شمار می رود ولی انتخاب آن همان طور که گفتیم با مشکلات اجرایی همراه است. ایراد هایی از قبیل معضلات اجرایی و بتن ریزی یکپارچه، غیر اقتصادی بودن و وقوع نشست های زیاد. به طور کلی وقوع نشست در خاک را می توان تابعی از شدت بارگذاری و عرض پی دانست. در این صورت با توجه به عرض نسبتا زیاد پی های گسترده در مقایسه با پی های نواری و منفرد و منطقه تاثیر تنش نسبتا زیاد در زیر پی ، نشست ها ممکن برای سازه های با اهمیت بالا و سنگین در صورت استفاده از پی گسترده، از محدوده مجاز تجاوز کند.

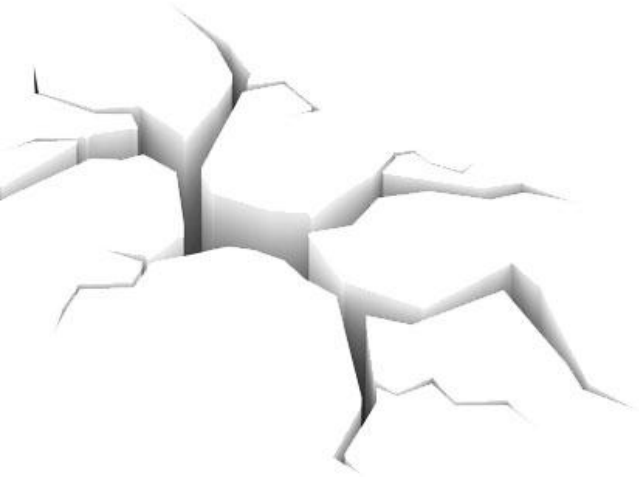


در این موارد می توان با تلفیق پی گسترده و پی های عمیق و مشارکت باربری یکی از کامل ترین انواع فوندانسیون ها را اجرا نمود.

در ادامه بحث یک نمونه از پی های غیر متعارف اجرا شده در کشورمان ارائه می شود.

# سیستم فوندانسیون

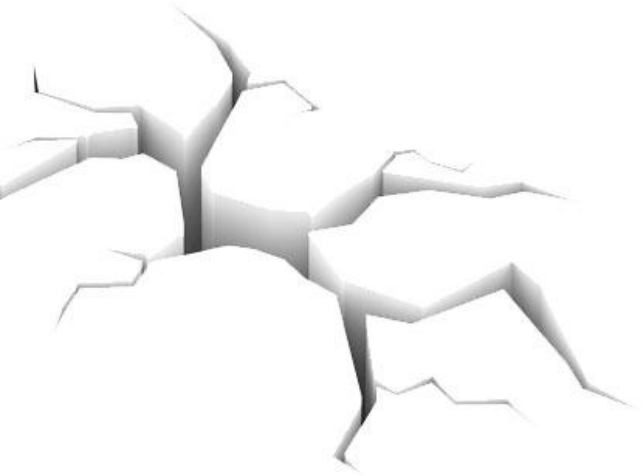
# برج میلاد



# فوندانسیون برج میلاد

- **مقدمه**

برج میلاد ۴۳۵متری بلندترین آسمان خراش ایران و چهارمین برج مخابراتی بلند در جهان است.در سال ۱۳۷۲ مطالعات اولیه برج میلاد که مطالعات شناخت نام گرفت با مشارکت چهار شرکت آغاز شد. در این مطالعات ۱۷ نقطه تهران برای احداث برج مورد مطالعه قرار گرفت که سرانجام تصمیم بر آن شدکه سرانجام تصمیم بر آن شدکه این برج مخابراتی و چند منظوره، در مجموعه ی مرکز ارتباطات بین المللی، در شمال غربی شهر تهران، میان تپه ای با مساحت تقریبی ۱۴ هکتار، واقع در جنوب شهرک قدس و شمال کوی نصر و در منطقه ۲ شهرداری تهران احداث شود.



# فوندانسیون برج میلاد

مزیت سایت های انتخابی نسبت به هم در جدول رو به رو ارائه شده است.

| نام محل | مخابرات | تلویزیون | سیویل | شهرسازی |
|---|---|---|---|---|
| ازگل | ۶ | ۶ | ۶ | ۵ |
| مراد آباد | ۶ | ۶ | ۷ | ۵ |
| پارک ملت | ۶ | ۶ | ۲ | ۳ |
| لویزان | ۶ | ۶ | ۳ | ۳ |
| عباس آباد | ۳ | ۳ | ۱ | ۱ |
| یوسف آباد | ۱ | ۲ | ۱ | ۴ |
| تپه های کوی نصر | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ |
| غرب شیخ فضل الله | ۳ | ۳ | ۱ | ۲ |
| سرخه حصار | ۵ | ۵ | ۹ | ۵ |
| پادگان حر | ۴ | ۴ | ۹ | ۴ |
| قلعه مرغی | ۶ | ۶ | ۸ | ۵ |
| بی بی شهربانو | ۷ | ۷ | ۵ | ۵ |
| پارک کاج | ۴ | ۵ | ۸ | ۶ |
| کن | ۴ | ۵ | ۸ | ۵ |
| ایستگاه راه آهن | ۶ | ۶ | ۹ | ۴ |
| صنایع مهمات سازی | ۶ | ۶ | ۴ | ۴ |
| فرودگاه دوشان تپه | ۴ | ۵ | ۹ | ۴ |

# فوندانسیون برج میلاد

- **مطالعات شناخت**

شامل زمین ریخت شناسی، موقعیت فیزیو گرافی کوهپایه تهران، بررسی گسل های موجود در منطقه و همچنین مطالعات ژئوتکنیکی شامل عملیات حفاری و نمونه گیری، آزمایش های درجا و آزمایش های آزمایشگاهی.

مهم ترین نتایج به دست آمده از آزمایش ها عبارتند از؛

۱.خاک خاستگاه از مجموعه متنوعی تشکیل شده که مهم ترین آنها عبارتند از **GC-SC ، CL ، SC-GC**

۲.سطح آب زیر زمینی بسیار پایین و بافت تشکیل دهنده خاک به گونه ای است که احتمال روان گرایی وجود ندارد. یادآور می شود که خواستگاه برج حدود ۱۰۰ متر بالاتر از بزرگ های اطراف آن است.

۳. بر اساس آیین نامه های موجود نشست مطلق مجاز برابر ۱۰ سانتی متر و نشست نسبی مجاز برابر ۵ سانتی متر است.

بر خلاف تصور عمومی از نیاز به شمع، کلیه تلاش های ناشی از بارهای قائم و جانبی توسط یک پی گسترده دایره ای به زمین انتقال می یابد و پایداری شالوده برابر نیرو های برکنش (uplift) ، نیز با استفاده از وزن شالوده و به ویژه سازه انتقالی آن تامیین می شود.( در بخش های بعدی با سازه انتقالی آشنا می شویم.

# فوندانسیون برج میلاد

- **معماری برج**

در معماری ایرانی و اسلامی به خصوص در مساجد ایرانی برای تبدیل پلان گنبد و قرار دادن آن روی یک پلان مربع که پلان صحن مسجد است از روشهایی استفاده می شود. طبیعتا برای تبدیل یک پلان دایره ای شکل ابتدا آن را به یک چند ضلعی تبدیل کرده سپس به عنوان مثال به یک ۱۶ ضلعی یا یک ۸ ضلعی و این ۸ ضلعی است که بر فراز صحن اصلی مسجد که عموما یک پلان مربع شکل است، هندسه غالب را شکل می دهد.بدنه بتنی ( شفت مرکزی )برج میلاد یک پلان ۸ ضلعی دارد که این طرح در ترازهای بالایی به ساختمان راس می رسد و به یک پلان دایره ای منتهی می شود. همچنین در تراز ۴/۲۵۴ تا ۸/۲۸۰ اجزای سازه راس یک سبد فضایی را به وجود می آورند که اعضای آن مثلث ها و لوزی هایی را تشکیل می دهند. استفاده از این هندسه در واقع زمینه ساز یک تداعی ذهنی نسبت به هندسه رایج ایرانی و به ویژه در دوران اسلامی است.

# فوندانسیون برج میلاد

- **مشخصات کلی پی برج میلاد**
- **پی و سازه انتقالی**

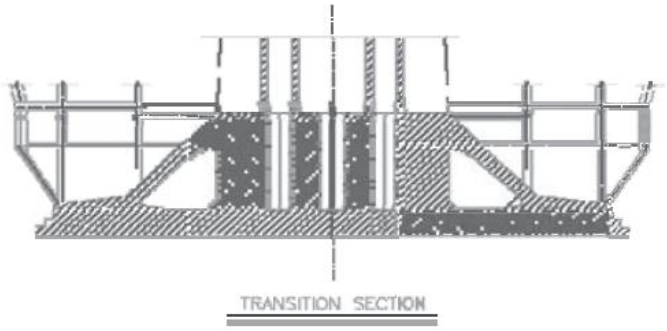
پس از ۱۳۰هزار متر خاکبرداری، عملیات اجرایی بتن و فوندانسیون آغاز شد. وزن خاک برداشته شده تقریبا معادل وزن کل برج است. سازه فوندانسیون برج میلاد از دو بخش تشکیل شده است.

## ۱-پی گسترده

این پی ۶۶ متر قطر و بین ۳ تا ۵/۴ متر ضخامت دارد که از تراز( ۱۴- ) تا (۱۱-) و (۹.۵-) میشود. به منظور غلبه بر نیروهای افقی، کمربند انتهایی فونداسیون به صورت محیطی توسط ۴۲ غلا

## ۲-سازه انتقالی

این سازه باعث انتقال یکنواخت نیروی بدنه به پی شده که به شکل هرم ناقص بوده و از تراز (۱۱-) و (۹.۵-) تا تراز صفر ادامه می یابد و شامل یک هسته مرکزی توپر و ۸ دیوار مایل پشت بند دار است.




مقطع قائم پی و سازه انتقالی

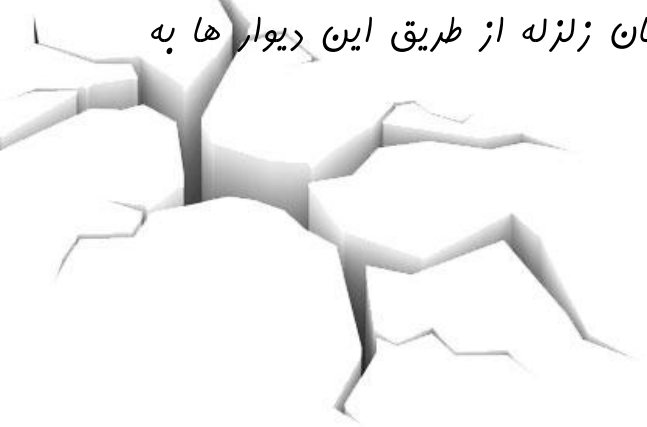
# فوندانسیون برج میلاد

بر اساس مطالعات ژئوتکنیکی به دست آمده از خاک محل احداث پروژه و استخراج پارامتر های دخیل در طراحی پی مانند مقاومت برشی و کنترل نشست و واژگونی برج و ... ، پی برج در تماس کامل با خاک و به شکل دایره به قطر ۶۶ متر و ضخامت ۳ تا ۴.۵ متر طراحی گردید.

شالوده برج میلاد در عمق ۱۴- از سطح زمین می باشد که مشخصات دقیق خاک بستر در زیر ارائه میشود.

بدنه اصلی برج یک شفت به ابعاد ۲۸ متر(در تراز صفر) می باشد و با توجه به این که به مراتب کوچک تر از ابعاد شالوده بود، استفاده از یک سازه انتقالی ضروری به نظر می رسید. استفاده از این سازه انتقالی موجب کاهش ضخامت پی، توزیع یکنواخت تر نیرو ها و صلبیت و پایداری سیستم شد.

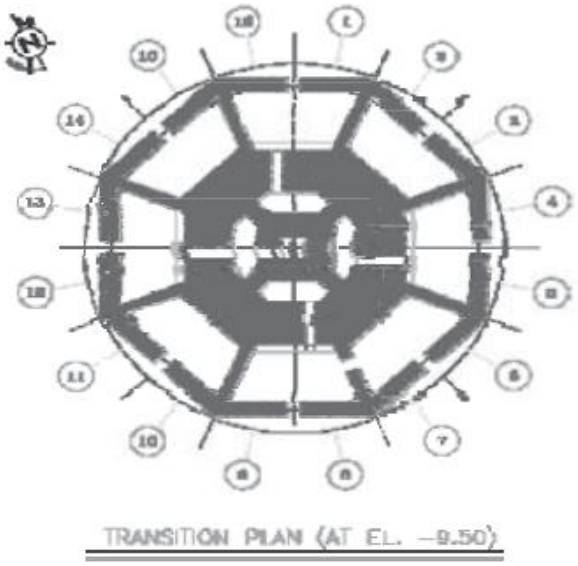
سازه انتقالی از ۸ دیوار بتنی مورب با زاویه ۴۵ درجه به ضخامت متغیر ۱.۴۰ متر در پایین تا ۱.۷۰ در بالا ترین تراز خود و همچنین هسته مرکزی تو پر تشکیل شده است. قسمت اعظم بار شافت ناشی از ممان زلزله از طریق این دیوار ها به MAT منتقل می شود لذا طراحی سازه ای این دیوار ها بسیار حائز اهمیت می باشد.



# فوندانسیون برج میلاد

۸ عدد دیوار لچکی مثلثی شکل به صورت شعاعی به ضخامت ۱.۵ متر گوشه های دیوار شیب دار را به قسمت مرکزی سازه انتقالی اتصال می دهند. در واقع سازه انتقالی به صورت یک هرم ناقص ۸ وجهی با سخت کننده هایی که بال های هرم را به هسته مرکزی متصل می کند، بار های وارده را به سازه مرکزی انتقال می دهند که صلبیت مناسبی برای پی فراهم می کند.

با توجه به نحوه انتقال بار به پی MAT در دو محل ضخامت پی بیشتر از ۳متر می باشد. یکی در محل اتصال دیوار های شیب داربه پی MAT که ضخامت حدودا ۴.۵ متر می باشد و دیگری در محل اتصال دیوار های شیب دار به ستون های خارجی سازه لابی ضخامت پی ۳.۵ متر می باشد.




مقطع افقی سازه انتقالی

# فوندانسیون برج میلاد

به عبارت بهتر، چنانچه مقطع پی از مرکز به بیرون بررسی شود. ضخامت MAT در رینگ مرکزی به قطر ۲۸ متر (دقیقا زیر شفت اصلی) برابر با ۳ متر بوده و سپس شعاع حدود ۱۸ متر به صورت خطی ضخامت آن به ۴.۵ متر در زیر دیوار های شیبدار سازه انتقالی(در قطر ۴۵) افزایش می یابد و مجددا به صورت خطی به مقدار ۳.۵ متر در قطر ۶۱ متر( یعنی محل تلاقی دیوار حائل شیب دار پیرامونی لابی با پی) کاهش می یابد و سر انجام به صورت پلکانی ضخامت پی در سه مرحله به مقدار ۱ متر در لبه آن می رسد.

به منظور دسترسی به فضا های ما بین دیوار های سازه انتقالی و هسته مرکزی زیر شفت، بازشو های مورد نیاز در نظر گرتفته شده است.

همچنین چاهک آسانسور سرویس دهنده زیرزمین ها در داخل پی MAT تعبیه گردیده است.

از جمله نکات قابل ذکر دیگر در پی، استفاده از سیستم ابزار دقیق از جمله سلول های سنجش فشار و نیز کرنش سنج ( Pressure cell and Strain gage) در پی و سازه انتقالی می باشد.

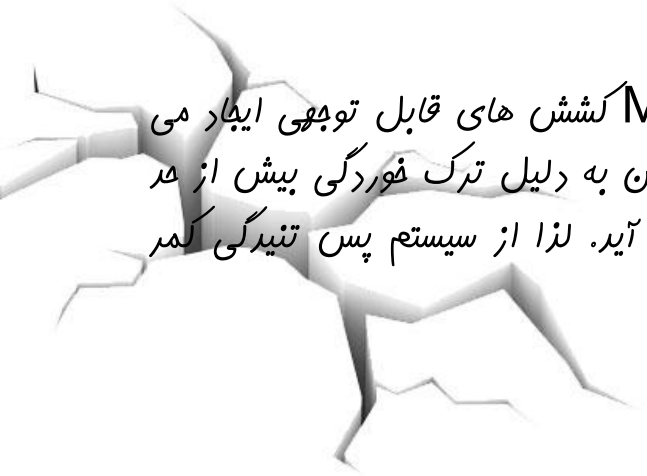
# فوندانسیون برج میلاد

- **خرابی کلی در پی یا سازه انتقالی**

در این مورد دو حالت مختلف قابل تصور می باشد. حالت اول، خرابی از نوع فشاری در دیوار های شیب دار سازه انتقالی، به دلیل نوع عملکرد حساس این دیوار ه ها، خرابی این بخش می تواند منجر به خرابی کل سازه در هنگام زلزله می شود لذا طراحی این دیوار ها به صورت فشاری و با خاموت های عرضی مناسب می باشد تا از این نوع خرابی جلو گیری شود و نوع دوم، خرابی از نوع برشی در سازه انتقالی می باشد. بروز گسیختگی برشی در قسمت مرکزی سازه انتقالی، باعث ناپایداری کلی سازه می گردد. که جهت جلو گیری از این گونه خرابی بیشتر قسمت های مرکزی سازه انتقالی با بتن پر شده و عملا هسته توپر قوی و صلبی را نتیجه می دهد.

- **توجیه پس تنیدگی در پی**

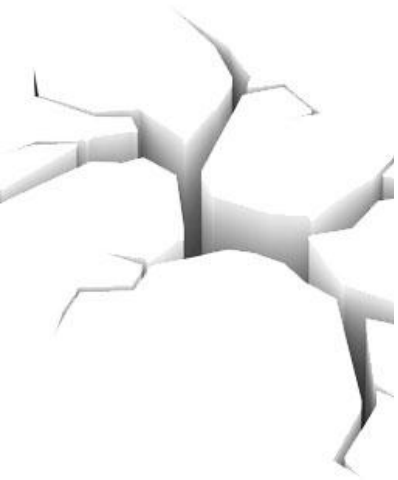
به دلیل نحوه انتقال بار از دیوار های شیبدار سازه انتقالی، در قسمت هایی از MAT کشش های قابل توجهی ایجاد می گردد که جذب همه این نیرو ها توسط میل گردهای پی امکان پذیر نبوده و همچنین به دلیل ترک خوردگی بیش از حد امکان ترک خوردگی بیش از حد میل گرد ها و مشکلات دیگر در پی به وجود می آید. لذا از سیستم پس تنیدگی کمر بندی در قسمت پیرامونی استفاده شده است.

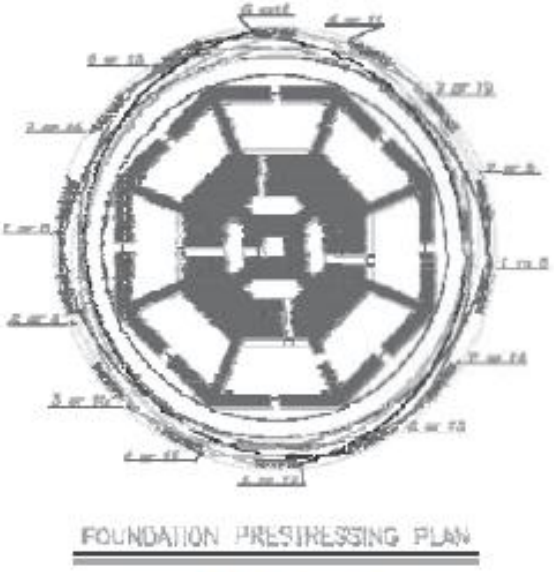


# فوندانسیون برج میلاد

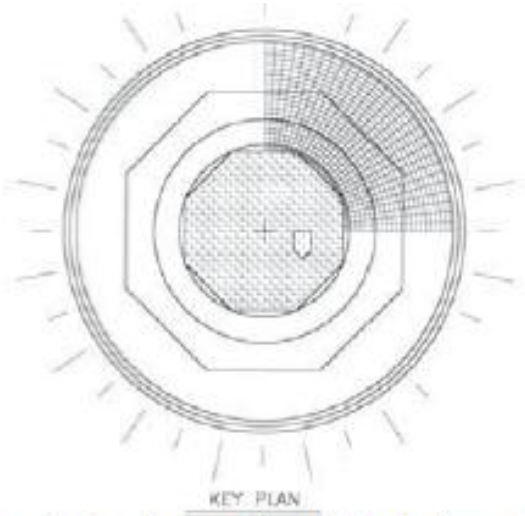
در واقع پس تنیدگی یاد شده از نوع Partial بوده و تحمل کشش ناشی از ممان و حتی قسمتی از کشش های محوری در پی بر عهده میل گرد های اصلی پی گذاشته شده است.

علاوه بر مزایای یاد شده، پس تنیدگی علاوه بر مزایای یاد شده، به دلیل تحت فشار قرار دادن بتن پی، امکان در نظر گرفتن مقاومت برشی بیشتری برای بتن را فراهم می نماید.






پلان پس تنیدگی پی




نحوه آرماتورگذاری قسمت‌های مختلف پی

# فوندانسیون برج میلاد

- تصاویر

# فوندانسیون برج میلاد

# سپاس

# از حسن توجه شما