**باسمه تعالی**

**دانشگاه شهید چمران اهواز**

دانشکده مهندسی

**(نتیجه ارزشیابی کارشناسی ارشد )**

**پایان نامه خانم: لاریسا نوری  دانشجوی رشته: مهندسی عمران  گرایش: خاک وپی**

**دانشکده: مهندسی  به شماره دانشجویی: ۸۹۴۰۵۰۴**

## با عنوان :

**بهینه سازی الگوی زهکش های قائم در روش پیش بارگذاری**

**جهت اخذ مدرک : کارشناسی ارشد در تاریخ : ۹۲/۷/۲۷ توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه خیلی خوب تصویب گردید.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| ۱. | **اعضا ی هیأت داوران :** | **رتبه علمی** | **امضاء** |
| | **استاد راهنما:** دکتر مسعود اولی پور | **استادیار** | ..... |
| | **استاد مشاور :** مهندس سید عبدا... حسینی دهدشتی | **مربی** | ..... |
| | **استاد داور :** دکتر حسنی پور | **استادیار** | ..... |
| | **استاد داور :** دکتر احدیان | **استادیار** | ..... |
| | **نماینده تحصیلات تکمیلی :** دکتر کریم انصاری اصل | **استادیار** | ..... |
| ۲. | **مدیرگروه :** مهندس سید عبدا... حسینی دهدشتی | **مربی** | ..... |
| ۳. | **معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده :** علی حقیقی | **استادیار** | ..... |
| ۴. | **مدیرتحصیلات تکمیلی دانشگاه :** دکتر مسعود قربان پور نجف آبادی | **استاد** | ..... |

تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته

جناب آقای دکتر اولی پور

و

استاد مشاور

جناب آقای مهندس حسینی

که با نکته‌های دلاویز و گفته های بلند ، صحیفه های سخن را علم پرور نمودند و

همواره راهنما و راه گشای نگارنده در اتمام واکمال پایان نامه بوده اند.

*تقدیم به :*

*مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم که زندگیم را مدیون مهر*

*و عطوفت او می دانم*

*پدرم که از نگاهش صلابت، از رفتارش محبت و از صبرش ایستادگی را آموختم*

*همسرم اسطوره زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم*

*برادرم همراه همیشگی و پشتوانه‌ی زندگیم*

## فهرست مطالب

فرم ارزشیابی .....الف
قدردانی.....پ
اهدا نامه.....ت
فهرست مطالب.....ث
فهرست شکل‌ها.....د
فهرست جدول‌ها .....ر
فهرست نمودارها .....ز
چکیده پایان‌نامه به زبان فارسی.....ش

۱-۱-کلیات : ..... ۱
۱-۱-۱-انواع روش‌های بهسازی..... ۱
۱-۱-۲-روش پیش بارگذاری در مقابل روش های دیگر ..... ٦
۱-۲- بیان مسئله:..... ۹
۱-۳- اهداف پژوهش:..... ۹
۱-٤- روش و محدوده تحقیق : ..... ۱۰
۱-۵- فصل بندی پایان نامه..... ۱۰
۲-۱-تحکیم بستر به روش پیش بارگذاری ..... ۱۲
۲ -۱-۱- مفهوم پیش بارگذاری ..... ۱۲
۲-۱-۲-انواع روش‌های پیش بارگذاری ..... ۱۵
۲-۱-۲-۱- پیش بارگذاری بدون زهکش قائم..... ۱۵
۲-۱-۲-۲- پیش بار گذاری همراه با زهکش‌های قائم..... ۱٦
۲-۱-۲-۳- پیش بارگذاری همراه با زهکش‌های قائم با اعمال مکش ..... ۱۷
۲-۱-۳- زهکش‌های قائم..... ۱۷

۲-۱-۳-۱- زهکش ماسه‌ای ..... ۱۸
۲-۱-۳-۲- زهکش ماسه‌ای با غلاف سینتتیکی ..... ۱۹
۲-۱-۳-۳- زهکش نواری ..... ۲۰
۲-۱-٤- مشخصات زهکش‌ها ..... ۲۵
۲-۱-٤-۱-قطر معادل برای زهکش نواری ..... ۲۵
۲-۱-٤-۲- اندازه‌ی ظاهری حفرات ..... ۲٦
۲-۱-٤-۳- ظرفیت دبی خروجی ..... ۲۷
۲-۱-٤-٤- منطقه تاثیر زهکش ..... ۲۹
۲-۱-٤-۵- بهم خوردگی خاک در اثر اجرای زهکش ..... ۳۰
۲-۱-٤-٦- اعوجاج زهکش ها در زمان تحکیم ..... ۳۳
۲-۱-۵- مروری بر پایش در پروژه‌های پیش بارگذاری ..... ۳٤
۲-۲-پیشینه پیش بارگذاری: ..... ۳۵
۲-۲-۱-موارد نشان دهنده تاثیر مفید زهکش ها ..... ۳۵
۲-۲-۲-مواردیکه زهکش ها نقش قابل ملاحظه ای نداشته اند ..... ۳٦
۲-۲-۳-مقایسه زهکش ها و روش های نصب متفاوت ..... ۳۸
۲-۳- خلاصه ..... ٤۰
۳-۱ دلایل نشست ..... ٤۱
۳-۱-۱-محاسبه نشست آنی شالوده روی رس اشباع(براجا.ام. داس، ۱۹۹۱) ..... ٤۵
۳-۱-۲ محاسبه ی نشست تحکیمی(براجا.ام. داس، ۱۹۹۱) ..... ٤٦
۳- ۲- تئوری تحکیم قائم ..... ٤۹
۳-۲-۱- تئوری تحکیم تک بعدی ترزاقی ..... ٤۹

۳ –۲–۲–تئوری تحکیم بایوت ..... ۵۱
۳ –۳– تئوری تحکیم شعاعی ..... ۵۶
۳ –۳–۱– تئوری تحکیم شعاعی با فرض کرنش برابر ..... ۵۶
۳–۳–۲– تئوری تحکیم شعاعی با استفاده از روش $\lambda$ (هانسبو، ۱۹۷۹، ۱۹۹۷، ۲۰۰۱ ) ..... ۵۹
۳–۳–۳– تعیین پارامتر ضریب تحکیم شعاعی ..... ۶۱
۳-٤-تلفیق تحکیم قائم و شعاعی ..... ۶۵
۳-۵-پارامترهای موثر بر زمان تحکیم شعاعی ..... ۶۷
۳-٦- پیش بار گذاری ..... ۶۹
۳-٦-۱-کلیات ..... ۶۹
۳-٦-۲-حصول رابطه ای برای تعیین $\Delta Pf$ و $t2$ ..... ۷۱
۳-٦-۳-روشی برای تعیین پارامترهای پیش بارگذاری ..... ۷٤
۳-۷- نگاهی به نرم افزار Settle ۳D ..... ۷۵
۳-۸- تحقیقات انجام شده در زمینه مدل‌سازی عددی تحکیم با زهکش های قائم ..... ۸۱
۳– ۹ – خلاصه و جمع‌بندی ..... ۸٦
٤-۱-معرفی و کلیات پروژه ..... ۸۷
٤-۱-۱- مشخصات عمومی پروژه ..... ۸۷
٤-۱-۲- وضعیت لایه های تحت الارضی ..... ۹۰
٤-۱-۳- پارامترهای ژئوتکنیکی خاک ..... ۹۱
٤-۱-۳-۱- خصوصیت نفوذپذیری ..... ۱۰۰
٤-۱-۳-۲- خصوصیات تورم پذیری ..... ۱۰۰
٤-۱-۳-۳- سطح آب زیر زمینی ..... ۱۰۰

٤-١-٤- روش اجرای پیش بارگذاری ..... ١٠٠
٤-١-٥- مصالح، ارتفاع و محدوده اجرا خاکریز..... ١٠١
٤-٢-١- نشست آنی پی روی خاک رس اشباع..... ١٠٣
٤-٢-٢- نشست تحکیمی پی های سطحی ..... ١٠٤
٤-٢-٣- محاسبه زمان نشست تحکیمی ..... ١٠٤
٤-٢-٣-١- تحکیم یک بعدی..... ١٠٥
٤-٢-٤- تعیین پارامترهای پیش بارگذاری..... ١٠٧
٤-٢-٤-١-شرایط ویژه بندر امام و بررسی ضرورت استفاده از زهکش های قائم ..... ١١٠
٤-٣-مدل سازی در نرم افزار..... ١١١
٤-٣-١- نتایج حاصل از مدلسازی در نرم افزار ..... ١١٦
٤-٣-٢-بررسی پارامترهای موثر بر طراحی..... ١٢٤
٤-٤-نتیجه گیری ..... ١٣٣
٤-٤-١- تابع هدف..... ١٣٥
٤-٤-٢- تحلیل خاک دوم ..... ١٤٢
٤-٥- خلاصه..... ١٤٧
٥-١ خلاصه ..... ١٤٨
٥-٢- نتیجه گیری ..... ١٤٩
٥-٣- ارائه پیشنهاد..... ١٥٠
منابع و مآخذ:..... ١٥١

## فهرست شکل‌ها

### فصل اول:

شکل ۱- ۱- برآورد هزینه – زمان بین روش های مختلف در پروژه ETP II..... ۸

### فصل دوم:

شکل ۲- ۱-عملیات پیش بارگذاری به صورت شماتیک.....۱۳
شکل ۲- ۲-انواع نشست‌های خاک.....۱٤
شکل ۲- ۳-مقطع خاکریز واقع بر روی رس نرم بعد از شکم دادن.....۱٦
شکل ۲- ٤-پیش بارگذاری همراه با زهکش‌های قائم با اعمال مکش.....۱۸
شکل ۲- ٥-زهکش نواری.....۲۰
شکل ۲- ٦-نمونه هایی از زهکش‌های نواری و مقطع آنها.....۲۳
شکل ۲- ۷-نمونه ای از جزئیات هسته‌ی پلاستیکی زهکش های قائم پیش ساخته.....۲٤
شکل ۲- ۸-تبدیل هندسی زهکش نواری به معادل دایره‌ای آن.....۲٦
شکل ۲- ۹-مقدار ظرفیت دبی خروجی انواع مختلف PVD نسبت به فشار محدود کننده.....۲۸
شکل ۲- ۱۰-آرایش مختلف زهکش‌ها و منطقه‌ی تاثیر آن.....۳۰
شکل ۲- ۱۱-جابجایی خاک در طول اجرا و پس از اجرای زهکش ماسه‌ای به روش جابجایی در رس نرم بانکوک.....۳۱
شکل ۲- ۱۲- تخمینی از منطقه دست خورده در اطراف لوله حفاری.....۳۲
شکل ۲- ۱۳- اثر بهم خوردگی بر روی نرخ تحکیم.....۳۳

### فصل سوم:

شکل ۳- ۱-مقادیر A۱ و A۲ برای محاسبات نشست آنی طبق رابطه ۳-۱.....٤٥
شکل ۳- ۲-محاسبه ی نشست یک بعدی.....٤۸
شکل ۳- ۳-منحنی‌های تحکیم برای تحکیم قائم در شرایط زهکشی مختلف.....٥۱
شکل ۳- ٤-استوانه‌ی خاک به همراه زهکش قائم در وسط آن.....٥۸

شکل ۳- ۵-منحنی‌های تحکیم شعاعی در حالت ایده‌آل(بدون در نظر گرفتن منطقه دست خورده و مقاومت چاه ) ..... ۵۹
شکل ۳- ٦-فرض جریان غیر دارسی برگرفته از نتایج آزمایش نفوذپذیری ..... ٦۰
شکل ۳- ۷-محاسبه‌ی ضریب تحکیم افقی خاک از روش آبوشی و ماندن..... ٦۳
شکل ۳- ۸-محاسبه‌ی ضریب تحکیم افقی و نشست نهایی خاک از روش آسااوکا..... ٦٤
شکل ۳- ۹-تحکیم به علت زهکشی قائم و شعاعی..... ٦۸
شکل ۳- ۱۰-اثر پارامترهای مختلف بر روی زمان تحکیم شعاعی ..... ٦۹
شکل ۳- ۱۱-اصول پیش بارگذاری ..... ۷۱
شکل ۳- ۱۲-نمودار $\Delta Pf/\Delta Pp$ در مقابل **U** برای مقادیر مختلف $\Delta Pp/P0$..... ۷۳
شکل ۳- ۱۳-نمودار تغییرات درجه تحکیم صفحه میانی در مقابل زمان ..... ۷۵
شکل ۳- ۱٤-تبدیل سلول واحد از تقارن محوری به کرنش مسطح ..... ۸۳

## فصل چهارم:

شکل ٤ - ۱ - نمایی از محل جغرافیایی پروژه پیش بارگذاری..... ۸۸
شکل ٤ - ۲-نمایی از محل مخازن پروژه پیش بارگذاری ماهشهر ..... ۸۹
شکل ٤ - ۳ - نمودار تغییرات اعداد نفوذ استاندارد (SPT) نسبت به عمق در گمانه های حفر شده در محل مخزن ٤..... ۹۳
شکل ٤ - ٤ - لوگ یکی از گمانه های منطقه از سطح زمین تا عمق ۱۰ متر ..... ۹٤
شکل ٤ - ۵ - لوگ یکی از گمانه های منطقه از عمق ۱۰ متر تا عمق ۲۰ متر ..... ۹۵
شکل ٤ - ٦- لوگ یکی از گمانه های منطقه از عمق ۲۰ متر تا عمق ۳۰ متر ..... ۹٦
شکل ٤ - ۷-نتایج آزمایش تحکیم در عمق ۸/۵ تا ۹ متر ..... ۹۹
شکل ٤ - ۸- نمودار $\Delta Pf/\Delta Pp$ در مقابل **U** برای مقادیر مختلف $\Delta Pp/P0$..... ۱۰۸
شکل ٤ - ۹- نمودار تغییرات درجه تحکیم صفحه میانی در مقابل زمان ..... ۱۰۹
شکل ٤ - ۱۰-نمایی از خاکریز مدل شده در نرم افزار ..... ۱۱۵
شکل ٤ - ۱۱-نمایی از چیدمان مثلثی زهکش های قائم در کنار شیب خاک ریز ..... ۱۱۵
شکل ٤ - ۱۲-مشخصات ژئوتکنیکی خاک دوم..... ۱٤۲

**فهرست جدول‌ها**

**فصل سوم:**

**جدول ۳- ۱- محدوده مقادیر $kh/kv$ ممکن در محل برای رس نرم ..... ٦٢**

**فصل چهارم:**

**جدول ٤ - ١- پارامترهای فیزیکی – مکانیکی لایه های مختلف خاک محل ..... ٩٧**

**جدول ٤ - ٢- ابعاد خاکریز ..... ١٠٢**

**جدول ٤ - ٣- مشخصات فنی زهکش نواری بکار رفته در پروژه پیش بارگذاری ماهشهر ..... ١٠٣**

**جدول ٤ - ٤- نشست آنی سازه ..... ١٠٣**

**جدول ٤ - ٥- محاسبات نشست تحکیمی ..... ١٠٤**

**جدول ٤ - ٦-اطلاعات ورودی به نرم افزار ..... ١١٢**

**جدول ٤ - ٧- اطلاعات مربوط به جنس و عمق خاک ..... ١١٣**

**جدول ٤ - ٨- اطلاعات ورودی مربوط به خاکریز ..... ١١٤**

**جدول ٤ - ٩-نشست در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ١ متری ..... ١١٧**

**جدول ٤ - ١٠-نشست در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ١/٢٥ متری ..... ١١٧**

**جدول ٤ - ١١-نشست در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ١/٥ متری ..... ١١٨**

**جدول ٤ - ١٢-نشست در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ١/٧٥ متری ..... ١١٨**

**جدول ٤ - ١٣-نشست در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ٢ متری ..... ١١٩**

**جدول ٤ - ١٤-نشست در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ٢/٢٥ متری ..... ١١٩**

**جدول ٤ - ١٥-نشست در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ٢/٥ متری ..... ١٢٠**

**جدول ٤ - ١٦-درجه تحکیم در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ١ متری ..... ١٢٠**

**جدول ٤ - ١٧-درجه تحکیم در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ١/٢٥ متری ..... ١٢١**

**جدول ٤ - ١٨-درجه تحکیم در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ١/٥ متری ..... ١٢١**

**جدول ٤ - ١٩-درجه تحکیم در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ١/٧٥ متری ..... ١٢٢**

جدول ٤ – ٢٠–درجه تحکیم در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ۲ متری ..... ۱۲۲
جدول ٤ – ٢١–درجه تحکیم در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ۲/۲۵ متری..... ۱۲۳
جدول ٤ – ٢٢–درجه تحکیم در دو حالت مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ۲/۵ متری ..... ۱۲۳
جدول ٤ – ٢٣–مدت زمان (روز) تحکیم یافتن خاک در هر کدام از حالت ها ..... ۱۳٤
جدول ٤ – ٢٤– تعداد و طول زهکش های به کار رفته در هر دو چیدمان ..... ۱۳۵
جدول ٤ – ٢٥– جدول نتایج حاصل از ضریب زمان برابر ۱ و ضریب اهمیت طول برابر ۱/۲۵ برای چیدمان مربعی ..... ۱۳٦
جدول ٤ – ٢٦– جدول نتایج حاصل از ضریب زمان برابر ۱ و ضریب اهمیت طول برابر ۱/۲۵ برای چیدمان مثلثی ..... ۱۳۹
جدول ٤ – ٢٧–جدول نتایج حاصل از ضریب زمان برابر ۱/۲۵ و ضریب اهمیت طول برابر ۱ برای چیدمان مربعی ..... ۱٤۰
جدول ٤ – ٢٨–جدول نتایج حاصل از ضریب زمان برابر ۱/۲۵ و ضریب اهمیت طول برابر ۱ برای چیدمان مثلثی ..... ۱٤۱
جدول ٤ – ٢٩–جدول نتایج حاصل از ضریب زمان برابر ۱ و ضریب اهمیت طول برابر ۱/۲۵ برای چیدمان مربعی ..... ۱٤٤
جدول ٤ – ۳۰–جدول نتایج حاصل از ضریب زمان برابر ۱ و ضریب اهمیت طول برابر ۱/۲۵ برای چیدمان مثلثی ..... ۱٤۵
جدول ٤ – ۳۱–جدول نتایج حاصل از ضریب زمان برابر ۱/۲۵ و ضریب اهمیت طول برابر ۱ برای چیدمان مربعی ..... ۱٤٦

**فهرست نمودارها**

**فصل چهارم:**

نمودار ٤ – ۱–درجه تحکیم – زمان در حالت مثلثی با فاصله زهکش ۱/۵ متر ..... ۱۲٦
نمودار ٤ – ۲–درجه تحکیم – زمان در حالت مثلثی با فاصله زهکش ۱/۷۵ متر..... ۱۲٦

نمودار ٤ – ٣-درجه تحکیم – زمان در دو حالت چیدمان مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ١/٥ متر ..... ١٢٧
نمودار ٤ – ٤-میزان نشست – زمان در دو حالت چیدمان مربعی و مثلثی با فاصله زهکش ١/٥ متر ..... ١٢٧
نمودار ٤ – ٥- میزان نشست-عمق زهکش بعد از ٣ ماه برای زهکش با فاصله ١ متر ..... ١٢٨
نمودار ٤ – ٦- میزان نشست-عمق زهکش بعد از ٦ ماه برای زهکش با فاصله ١ متر ..... ١٢٨
نمودار ٤ – ٧- میزان نشست-عمق زهکش بعد از ٩ ماه برای زهکش با فاصله ١ متر ..... ١٢٩
نمودار ٤ – ٨- میزان نشست-عمق زهکش بعد از ١/٥ سال برای زهکش با فاصله ١ متر ..... ١٢٩
نمودار ٤ – ٩- میزان نشست-مدت زمان برای زهکش های با فاصله ١/٢٥ متر ..... ١٣٠
نمودار ٤ – ١٠ – نمودار نشست در ١٨٠ روز بر اساس فصله زهکش برای هر دو چیدمان مربعی و مثلثی .. ١٣٠
نمودار ٤ – ١١- نمودار عمق – درجه تحکیم ..... ١٣١
نمودار ٤ – ١٢ – نمودار نشست – عمق ..... ١٣٢

# چکیده


| نام خانوادگی : نوری | نام: لاریسا | شماره دانشجویی : ۸۹٤۰۵۰٤ |
|---|---|---|


**عنوان پایان نامه : بهینه سازی الگوی زهکش‌های قائم در روش پیش بارگذاری**


**استاد راهنما: دکتر مسعود اولی پور**

**استاد مشاور: مهندس سید عبدالله حسینی دهدشتی**

| درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد | رشته: مهندسی عمران | گرایش: مکانیک خاک و پی |
|---|---|---|
| دانشگاه : شهید چمران اهواز | دانشکده: مهندسی | گروه : عمران |



**تاریخ فارغ التحصیلی : ۹۲/۷/۲۷** **تعداد صفحه: ۱۵٦**

**کلید واژه ها : پیش بارگذاری، خاک رس نرم، بهینه سازی، چیدمان زهکش های قائم، تحکیم قائم، تحکیم شعاعی، نشست، درجه تحکیم**



چکیده:

برای حل مشکل نشست تحکیمی زیاد خاک رس نرم از روش پیش بار گذاری می توان استفاده نمود. با ایجاد یک سربار اضافی بیشتر از بار طرح می شود سرعت نشست را افزایش داد. استفاده از سیستم زهکشی قائم به همراه پیش بار، سبب همزمانی تحکیم قائم و تحکیم شعاعی می شود. استفاده از زهکش های قائم، نفوذ پذیری افقی را به کار می گیرد و طول مسیر زهکشی قائم را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش می دهد.

نحوه طراحی و الگوی اعمال زهکش های قائم با توجه به جنس خاک و نوع پروژه متغیر بوده و تاثیر به سزایی در نحوه عملکرد و سرعت اجرای طرح دارد. در ابتدا زمین شناسی منطقه و لایه بندی خاک آن بررسی شد. سپس بر اساس اطلاعات موجود و با استفاده از نرم افزار مدل هندسی ایجاد شد. سپس الگوهای مختلف برای زهکش های قائم، عمق نفوذ آن ها در خاک و نحوه چیدمان آنها مدل شد و تاثیرات اعمال آنها بر روی سرعت تحکیم، زمان اجرای پروژه و میزان نشست بررسی شد.

در ماه های اول نشست در چیدمان مثلثی بیشتر از چیدمان مربعی بود. نتایج بر اساس درجه تحکیم معادل گزینش شدند. در حالتی که عمق لایه ی تحکیم شونده زیاد است، مقدار عمق نفوذ زهکش قائم PVD تغییر زیادی بر روی مدت زمان پروسه تحکیم دارد. با تحلیل های انجام گرفته این نتیجه به دست آمد که چنانچه مقدار عمق نفوذ PVD به اندازه ی ۸۰٪ ضخامت لایه ی تراکم پذیر باشد، در زمان تحکیم نسبت به حالتی که PVD تا انتهای لایه ی تراکم پذیر فرو برود تفاوت وجود دارد. اگر از این طول کم تر شود، پروسه ی تحکیم خاک به شدت به تأخیر می‌افتد.

# فصل اول

# مقدمه

**۱-۱-کلیات :**

امروزه به دلیل مشکلات کمبود زمین در حومه مناطق شهری و صنعتی مجبور به استفاده از زمین هایی با خاک های پست مانند لایه های رس نرم مطرح می باشد .

به کمک انواع روش‌های بهبود خاک می توان ظرفیت باربری خاک را بالا برد . خاک رس نرم بر اثر اعمال بار سازه، نشست قابل توجهی پیدا می کند و اگر از این نشست قبل از ساخت سازه پیشگیری نشود باعث بروز مشکلاتی در سازه خواهد شد.

با توجه به معیارهای طراحی، استفاده از روشهای مختلف بهسازی و یا اجرای پی های عمیق گزینه‌هایی هستند که می توانند در جهت رفع مشکلات موجود کمک کنند. با بهسازی زمین ظرفیت باربری خاک افزایش یافته و می توان در ادامه از پی های سطحی استفاده نمود.

قبل از احداث سازه باید نشست پذیری و مقاومت برشی خاک مورد ارزیابی قرار گیرد و بر اساس آن و با توجه به بارهای وارده و نوع خاک، روش بهسازی مناسب انتخاب شود .

**۱-۱-۱-انواع روش‌های بهسازی**

روش های بهسازی خاک را می توان به شش گروه تقسیم کرد :

۱. روش های تراکمی (تراکم دینامیکی، پیش‌بارگذاری، زهکش های مصنوعی، ایجاد ستون سنگی )

۲. روش های ایجاد چسبندگی (تزریق های دوغابی، انجماد)

۳. روش های مسلح سازی (مهار خاک و سنگ، ریزشمع ها، میخ کوبی)

٤. روش های حفاری ـ جایگزینی (ایجاد دیوار های دوغابی و تزریق با فشار بالا)

۵. روش های تغییرات فیزیکی و شیمیایی (الکترو اسمز، ستون های آهکی )

٦. روش های تبدیل بیولوژیکی (تزریق های محرکی، پوشش گیاهی و کاهش آنزیمی)

توضیحاتی به اختصار در مورد برخی از مهمترین روش های ذکر شده در ذیل آورده شده است .

روش تراکم دینامیکی :

با سقوط وزنه سنگینی از ارتفاع برای متراکم کردن خاک در اعماق استفاده می‌شود. معمولا برای اصلاح خاک های درشت دانه، ماسه های اشباع و ماسه های لای دار و ماسه های نیمه اشباع مناسب می باشد و عمق موثر اصلاحی این روش بین ۱۰ تا ۱۲متر می باشد، از مزایا آن قیمت پایین و سادگی اجرا و از معایب آن عمق تاثیر محدود، آلودگی صوتی و ارتعاشی و تاثیر مخرب برسازه های اطراف نام برد .

کاربرد تراکم دینامیکی برای کاهش نشست پی، کاهش نشست های ناشی از زلزله، امکان ساخت و ساز بر خاکهای دستی، متراکم نمودن محل دفع زباله ها برای ساخت و ساز، اصلاح محل های دپوی مازاد معادن و اصلاح نشست خاکهای رمبنده می باشد .

تراکم ارتعاشی (لرزه ای):

در این روش با استفاده از ویبراتورهای عمقی، خاک در محل متراکم یا مسلح می گردد، ارتعاش کاوشگر همراه با استفاده از آب، نیروهای بین دانه ای خاک را کاهش داده باعث متراکم تر شدن ذرات خاک می گردد. در این روش تراکم نسبی خاک بین ۷۰ الی ۸۵ درصد بدست می آید. معمولا برای اصلاح خاک های ماسه ای، ماسه های لای دار و شن دار(درصد ریز دانه کمتر از ۲۰ درصد) مناسب می باشد و عمق موثر اصلاحی این روش ۲۵ تا ٤۰ متر است، از مزایا آن یکنواختی با عمق در اجرا و از معایب آن نیاز به ابزار های ویژه و نامناسب بودن آن برای خاک های قلوه سنگی نام برد .

ستون های سنگی :

در این روش با استفاده از ویبراتورهای عمقی ذکر شده در تراکم لرزه ای امکان استفاده از این روش را در خاک های چسبنده ممکن می سازد به این صورت که با ایجاد ستون های شنی و یا سنگی که جایگزین خاک منطقه شده خاک را اصلاح می کنند که به دو روش صورت می گیرد:

۱. روش خیس با تغذیه از بالا : در این روش آب با فشار برای حفاری و پایدار سازی دیوار گمانه استفاده شده و اجازه می دهد که سنگ شکسته به نوک ویبراتور برسد. این روش رایج ترین و ارزان ترین روش ارتعاشی عمیق است.
۲. روش خشک با تغذیه از پایین : در این روش از کاوشگری مشابه با روش جایگزینی استفاده می شود. با اضافه نمودن یک قیف در بالا و یک لوله هادی مصالح سنگی مستقیماً به نوک کاوشگر منتقل می شود. نحوه تغذی تحتانی خشک و بدون آب است.

معمولا برای اصلاح خاک های نرم، ماسه های رسی یا لای دار، لای ها و لای رس دار مناسب می باشد و عمق موثر اصلاحی این روش ۲۰ تا ۲۵ متر است، از مزایا آن زهکشی خاک و یکنواختی با عمق در اجرا و از معایب آن نیازمند بودن به ابزار ویژه، مشکل نشست بین ستون های سنگی و خاک اطراف نام برد .

تزریق با فشار بالا :

تزریق روشی است که در آن مایعی با فشار داخل منافذ و ترک ها شده (تزریق دوغابی، نفوذی، شیمیایی، شکافتنی و تراکمی ) و یا با متلاشی کردن بافت خاک و سنگ های ضعیف توسط دوغاب (تزریق با فشار بالا) با آن ها مخلوط شده، باعث تغییر مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک و سنگ می شود. دامنه کاربرد روش های متفاوت تزریق بر حسب اندازه دانه های خاک تعیین می شود. این روش در تمامی خاک ها (در خاک های رسی با پلاستیسیته بالا مشکل است) قابل اجرا می باشد. عمق موثر آن نامحدود است. از مزایای آن اصلاح تحت کنترل و قابلیت اجرا در مناطق شهری نام برد و عیب آن هزینه بالای آن است.

ریز شمع :

ریز شمع ها، شمع های با قطر کوچک بین ۵ تا ۲۵ سانتی متر بوده که قابلیت باربری زیاد تا ۳۰۰ تن بار مجاز را دارند. ریز شمع ها تقریباً برای تمامی خاک ها برای انتقال بار به لایه های مقاوم زیرین اجرا می شوند. از مزایای عمده آن قابلیت اجرا در مناطقی است که دسترسی به آنها دشوار و یا بعلت

ارتفاع کم اجرای شمع های متعارف غیر ممکن است و عیب آن گرانی و پتانسیل نشست در اطراف سازه است.

انواع دیوارهای زیر زمینی :

به دو روش دیوار آب بند و دیافراگمی اجرا می‌گردد. کاربرد دیوار آب بند برای کنترل آب در گودبرداری های عمیق و کنترل آب های زیرزمینی آلوده و ایجاد مانع در محل دفع فضولات است. دیوارهای دیافراگمی به عنوان دیوارهای نگهبان و برای ساخت زیرزمین های عمیق با اجرای از بالا به پایین این دیوارها کاربرد دارند.

میخ کوبی :

میخ کوبی روشی صحرایی برای تقویت، پایدارسازی و نگهداری گودهای عمیق است. پروفیل یا میلگرد های فولادی نسبتاً کوچکی در فواصل نزدیک به هم در خاک فرو برده می شوند. سطح بیرونی گود توسط بتن پاشی و یا دیوارهای سبک بصورت موضعی تثبیت می شود و مجموعه خاک مسلح شده بصورت یک پارچه عمل می نماید.

پیش بارگذاری :

در این روش با اعمال بار موقت توسط خاکریز به میزان حداقل بار سازه، خاک نشست پیدا کرده و مقاومت آن افزایش پیدا می کند. یک روش ساده و موثر و نسبتاً کم هزینه برای بهبود خاک های رسی، پیش بارگذاری است .(لیتکوهی، ۱۳۸۹)

پیش بارگذاری را می توان با خاک، ماسه یا شن و در مورد مخازن آب یا نفت با پرسازی تدریجی مخزن انجام داد . گاهی پیش بارگذاری را با پایین بردن آب زیر زمینی انجام می شود .

معمولاً برای اعمال تنش بر روی خاک از خاکریز استفاده می شود، ابعاد خاکریز با توجه به ابعاد پی سازه‌ی مورد نظر مشخص میگردد و ارتفاع خاکریز بر اساس وزن سازه‌ی اصلی و گاهاً بیشتر از آن تعیین می شود و برای تسریع عمل تحکیم و کاهش زمان از زهکش های قائم استفاده می شود .

زهکش های قائم باعث ایجاد مسیر های زهکشی افقی شده و زمان تحکیم را کاهش داده و بلطبع زمان احداث سازه را کمتر می کند .

**۱-۱-۲-روش پیش بارگذاری در مقابل روش های دیگر**

انتخاب روش اصلاح خاک باید با آگاهی کامل از شرایط زیر سطحی انجام شود، اما نوع سازه مورد نظر و میزان تحمل آن در مقابل نشست، برنامه زمانی و اینکه طرح جدید بوده و یا اینکه توسعه طرح موجود باشد، وجود تجهیزات و مصالح، دسترسی، مقدار و زمان نشست های پیش بینی شده، واکنش قابل انتظار در مقابل زلزله یا انفجار ، دقت پیش بینی ها و بالاخره هزینه نیز باید در نظر گرفته شوند. تصمیم استفاده از پیش بارگذاری زمانی باید گرفته شود که:

۱- در هنگام اجرا و وجود پیش بار یا هنگام بهره برداری از سازه نهایی گسیختگی قاعده ای رخ ندهد.

۲- زمان اجرای پیش بار در چارچوب برنامه زمانی در نظر گرفته شده برای اجرای کل پروژه باشد و یا طولانی تر از روش های دیگر نباشد.

۳- هیچ گونه خسارتی به ساختمان های مجاور وارد نشود.

٤- هیچ گونه تاثیر نامطلوبی از نظر گرد و غبار ، سر و صدا و غیره بر محل های اطراف نداشته و یا مزاحمت های آن بیش از روش های دیگر نباشد.

۵- نشست های بعد از ساخت در محدوده قابل قبول باشند.

٦- هزینه ها مطابق برآورد بوده و یا بیش از هزینه سایر روش ها نباشد.(استاماتوپولوس، کوتزیاس[۱]، ۱۹۸۳)

در مطالعات پروژه ( Effluent Treatment Plant, ETP II ) پتروشیمی فجر در بندر امام خمینی در سال ۲۰۰۳، برآورد ریالی-زمانی بین روش های مختلف توسط دانشگاه امیرکبیر انجام شده است که نمونه ای از نتایج آن در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.(گزارش مرحله اول پروژه پیش بارگذاری مخازن و واحد های زلال ساز سربندر)

استفاده از پیش بارگذاری در خاک های چسبنده رسی نشست و کاهش حجم زیادی را در بر خواهد داشت که باعث می شود تنش موثر و مقاومت برشی در لایه های سست و تراکم پذیر زیر سطحی افزایش و نشست پذیری آن کاهش یابد .

با توجه به اینکه اکثر مناطق ساحلی جنوب کشور از چنین خاک هایی تشکیل شده بنابراین بررسی چنین روشی حائز اهمیت است . پارامتر های مختلفی بر روی عملکرد روش پیش بارگذاری همراه با زهکش های قائم اثر دارند که مهمترین آنها ابعاد و اندازه های زهکش، فواصل زهکش ها، آرایش

[۱] Stamatopoulos and Kotzias