

---

# تحلیل عددی ظرفیت باربری و نشست ستون سنگی منفرد در مقایسه با گروه ستون سنگی با استفاده از نرم افزار

---

مهندس ارمان صلاحی

نام کتاب : تحلیل عددی ظرفیت باربری و نشست ستون سنگی منفرد در مقایسه با گروه ستون سنگی با استفاده از نرم افزار /

نویسندگان: مهندس ارسلان صلاحی

تیراژ: ۱۰۰۰ : نسخه

ناشر: انتشارات آثار برتر

چاپ اول: ۱۳۹۷

قیمت: ۲۵۰۰۰ تومان

✓ انتشارات آثار برتر: کرج میدان هفتم تیرا ابتدای بلوار بلال ساختمان آناهیتای ۲ واحد ۵  
✓ تان: ۰۹۲۱۱۲۷۲۲ Bartarasar@gmail.com ۰۲۶۳۲۲۸۵۰۷۸

- سرشناسه: صلاحی، ارسلان، ۱۳۶۸-
- عنوان و نام پدیدآور: تحلیل عددی ظرفیت باربری و نشست ستون سنگی منفرد در مقایسه با گروه ستون سنگی با استفاده از نرم افزار / ارسلان صلاحی
- مشخصات نشر: کرج: آثار برتر، ۱۳۹۷
- مشخصات ظاهری: ۱۲۳ ص.، زبر (رزگی): ۵/۱۴ × ۵/۲۱ س.م.
- شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۹۴۵-۹۰-۳
- وضعیت فهرست نویسی: فیا
- یادداشت: کتابنامه: ص. ۱۱۷ - ۱۲۰
- یادداشت: کتاب حاضر در اصل پایان نامه مولف در مقطع کارشناسی ارشد از دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی سال ۱۳۹۴ است.
- موضوع: ستون های سنگی
- موضوع: \* Stone columns
- موضوع: آباکوس
- موضوع: Abaqus (Electronic resource)
- موضوع: ضریب بار و مقاومت — الگوهای ریاضی
- موضوع: Load factor design — Mathematical models
- موضوع: تحلیل سازه — نرم افزار
- موضوع: Structural analysis (Engineering) — Software
- موضوع: نشست سازه ها
- موضوع: Settlement of structures
- رده بندی کنگره: ۱۳۹۷ ت ۳ ص ۸۷۸/ TD۸۷۸
- رده بندی دیویی: ۵/۶۲۸
- شماره کتابشناسی ملی: ۵۳۵۵۸۶۰

## فهرست عناوین

### فصل اول : کلیات طرح

|       |                                        |    |
|-------|----------------------------------------|----|
| ۱-۱-۱ | مقدمه                                  | ۱  |
| ۲-۱   | روش های بهبود ویژگی های مهندسی خاک ها  | ۲  |
| ۱-۲-۱ | جایگزین کردن خاک نامناسب               | ۳  |
| ۲-۲-۱ | تثبیت خاک                              | ۳  |
| ۳-۲-۱ | تراکم ارتعاشی                          | ۴  |
| ۴-۲-۱ | پیش بارگذاری و استفاده از سربار گسترده | ۵  |
| ۵-۲-۱ | جاه های زهکش ماسه ای                   | ۵  |
| ۶-۲-۱ | تراکم سطح                              | ۵  |
| ۷-۲-۱ | تراکم دمیکی                            | ۶  |
| ۳-۱   | ضرورت انجام پژوهش                      | ۷  |
| ۴-۱   | شرح مسئله و هدف نهایی پژوهش            | ۸  |
| ۵-۱   | روش تحقیق                              | ۹  |
| ۶-۱   | ساختار کتاب و شرح محتوای فصول آن       | ۱۰ |

### فصل دوم : کلیات ستون سنگی

|         |                                     |    |
|---------|-------------------------------------|----|
| ۱-۲     | مقدمه                               | ۱۱ |
| ۲-۲     | ستون های سنگی                       | ۱۲ |
| ۳-۲     | روش های ساخت و اجرای ستون سنگی      | ۱۷ |
| ۱-۳-۲   | مفاهیم اولیه تکنیک های ارتعاشی      | ۱۷ |
| ۲-۳-۲   | سیستم های ارتعاشی و روان گرایی      | ۱۷ |
| ۱-۲-۳-۲ | سیستم ارتعاشی - تراکم               | ۱۸ |
| ۲-۲-۳-۲ | سیستم جایگزینی - تراکم              | ۱۹ |
| ۴-۲     | آرایش ستون های سنگی در گروه         | ۲۱ |
| ۵-۲     | مفهوم سلول واحد                     | ۲۱ |
| ۶-۲     | سلول واحد تعمیم یافته               | ۲۲ |
| ۷-۲     | درصد بهسازی (درصد جایگزینی)         | ۲۲ |
| ۸-۲     | تمرکز تنش                           | ۲۳ |
| ۹-۲     | مکانیزم های گسیختگی ستون سنگی       | ۲۵ |
| ۱-۹-۲   | مکانیزم گسیختگی ستون سنگی منفرد     | ۲۵ |
| ۲-۹-۲   | مکانیزم گسیختگی گروه ستون سنگی      | ۲۶ |
| ۱۰-۲    | روش های بررسی و تحلیل ستون های سنگی | ۲۸ |
| ۱۱-۲    | ظرفیت باربری                        | ۲۹ |
| ۱-۱۱-۲  | ظرفیت باربری ستون سنگی منفرد        | ۲۹ |

|    |                                                                    |
|----|--------------------------------------------------------------------|
| ۳۰ | ۱-۱-۱۱-۲- تئوری انبساط جانبی در ستون های سنگی (تئوری انبساط حفره)  |
| ۳۱ | ۲-۱-۱۱-۲- تئوری انبساط جانبی و سیک (تئوری انبساط حفره و سیک) ..... |
| ۳۲ | ۳-۱-۱۱-۲- تئوری ستون سنگی کوتاه .....                              |
| ۳۵ | ۲-۱۱-۲- ظرفیت باربری گروه ستون های سنگی .....                      |
| ۳۶ | ۱۲-۲- نشست ستون های سنگی .....                                     |
| ۳۷ | ۱-۱۲-۲- روش تعادل .....                                            |
| ۳۸ | ۲-۱۲-۲- روش برآیند .....                                           |
| ۳۹ | ۳-۱۲-۲- روش پیشرو .....                                            |
| ۴۰ | ۴-۱۲-۲- روش گیرین وود .....                                        |
| ۴۰ | ۵-۱۲-۲- محاسبه ی نشست با استفاده از روش اجزای محدود .....          |
| ۴۳ | ۱۳-۲- سوابق تحقیقاتی گذشته .....                                   |

## فصل سوم: اعتبار سنجی نرم افزار

|    |                                                                       |
|----|-----------------------------------------------------------------------|
| ۴۵ | ۱-۳- مقدمه .....                                                      |
| ۴۶ | ۲-۳- نرم افزار آباکوس .....                                           |
| ۴۶ | ۱-۲-۳- آشنایی با نرم افزار .....                                      |
| ۴۷ | ۲-۲-۳- بخش های مختلف نرم افزار آباکوس .....                           |
| ۴۷ | ۳-۲-۳- مبانی نرم افزار آباکوس .....                                   |
| ۴۸ | ۳-۳- جزئیات آزمایش .....                                              |
| ۴۸ | ۴-۳- شرح هندسه و پژوهش آزمایشگاهی و مدل د مقاله ی مورد بررسی .....    |
| ۵۰ | ۵-۳- مشخصات مصالح ستون سنگی و خاک رس .....                            |
| ۵۱ | ۶-۳- مشخصات پلاستیک در مدل سازی .....                                 |
| ۵۱ | ۷-۳- مشخصات هندسه و ابعاد های به کار رفته در مدل های مورد بررسی ..... |
| ۵۳ | ۸-۳- بررسی نتایج مدل های عددی و آزمایشگاهی .....                      |

## فصل چهارم: مدل سازی

|    |                                                        |
|----|--------------------------------------------------------|
| ۵۴ | ۱-۴- مقدمه .....                                       |
| ۵۶ | ۲-۴- آنالیز ابعادی و آنالیز مش بندی .....              |
| ۵۶ | ۳-۴- پارامترهای متغیر و ثابت در مدل سازی .....         |
| ۵۶ | ۱-۳-۴- پارامترهای ثابت در مدل سازی .....               |
| ۵۶ | ۲-۳-۴- پارامتر متغیر قطر .....                         |
| ۵۶ | ۳-۳-۴- پارامتر متغیر طول .....                         |
| ۵۶ | ۴-۳-۴- پارامتر متغیر فاصله در گروه .....               |
| ۵۷ | ۴-۴- هندسه ی فونداسیون .....                           |
| ۵۸ | محاسبه طول فونداسیون تک با قطر ستون سنگی ۱ متر .....   |
| ۵۸ | محاسبه طول فونداسیون تک با قطر ستون سنگی ۰/۸ متر ..... |
| ۵۸ | محاسبه طول فونداسیون تک با قطر ستون سنگی ۰/۶ متر ..... |

|     |                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------|
| ۵۹  | ۵-۴ بارگذاری                                        |
| ۶۱  | ۶-۴ مدلسازی درحالت ستون سنگی تک                     |
| ۶۳  | ۷-۴ مدلسازی درحالت گروه ستون سنگی (قطر = ۱ متر)     |
| ۶۳  | ۸-۴ مدلسازی درحالت گروه ستون سنگی (قطر = ۰/۸ متر)   |
| ۶۴  | ۹-۴ مدلسازی درحالت گروه ستون سنگی (قطر = ۰/۶ متر)   |
| ۹۲  | ۱۰-۴ مقایسه رفتار گروه ستون سنگی و ستون سنگی منفرد: |
| ۹۳  | ۱-۱۰-۴ ستون سنگی با قطر ۱ متر و طول ۳ متر           |
| ۹۳  | ۲-۱۰-۴ ستون سنگی با قطر ۱ متر و طول ۴ متر           |
| ۹۴  | ۳-۱۰-۴ ستون سنگی با قطر ۱ متر و طول ۴ متر           |
| ۹۵  | ۴-۱۰-۴ ستون سنگی با قطر ۰/۸ متر و طول ۳ متر         |
| ۹۶  | ۵-۱۰-۴ ستون سنگی با قطر ۰/۸ متر و طول ۴ متر         |
| ۹۷  | ۶-۱۰-۴ ستون سنگی با قطر ۰/۸ متر و طول ۵ متر         |
| ۹۸  | ۷-۱۰-۴ ستون سنگی با قطر ۰/۶ متر و طول ۳ متر         |
| ۹۹  | ۸-۱۰-۴ ستون سنگی با قطر ۰/۶ متر و طول ۴ متر         |
| ۱۰۰ | ۹-۱۰-۴ ستون سنگی با قطر ۰/۶ متر و طول ۵ متر         |

#### فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

|     |               |
|-----|---------------|
| ۱۰۲ | ۱-۵ مقدمه     |
| ۱۰۳ | ۲-۵ نتایج     |
| ۱۰۵ | ۳-۵ پیشنهادات |
| ۱۰۶ | مراجع         |

## • پیشگفتار

پیشگفتار

با افزایش روزافزون جمعیت و توسعه صنایع و مشکل کمبود زمین مناسب جهت احداث سازه های مورد نیاز، موجب شده است تا مهندسان به استفاده از زمین های با کیفیت مهندسی پایین تری روی آورند. اما برای احداث یک سازه مناسب باید به نوعی کیفیت خاک نامناسب از لحاظ پارامترهای مهندسی ارتقاء داده شود تا در اثر نیروهای وارده عملکرد مناسبی داشته باشند. زمانی یک ساختمان خاکی را از لحاظ مهندسی می توان به عنوان یک محل ایده آل و مناسب تلقی کرد که :

- خاک مقاومت برشی و ظرفیت باربری خوبی داشته باشد.

- خاک در مقابل بارهای وارده نشست های آبی و تحکیمی کمی داشته باشد.

- دامنه تغییرات حجمی از سطوحی و انقباضی خاک در حد معقولی باشد که کاربری سازه را مختل ننماید

(تغییرات حجمی انقباضی خاک مانند تورم در اثر باربرداری و یا افزایش رطوبت و تغییرات حجمی انقباضی خاک مانند کاهش رطوبت)

- ساختمان مورد نظر از لحاظ اجرایی مشکلات خاصی نداشته باشد (مانند بالا بودن سطح آب زیرزمینی

که مشکلات تاثیر منفی آب و زهکشی را به همراه دارد).

پیشتر هنگام مواجه با مشکلات ژئوتکنیکی در لایه های سطحی خاک مانند عدم ظرفیت باربری یا نشست پذیری زیاد خاک سطحی، در اکثر موارد یکی از گزینه های اصلی حل مشکل، استفاده از شمع های بتنی بوده است. با پیشرفت های علم مهندسی ژئوتکنیک شاخه ای با نام اصلاح خاک شکل گرفته است که در اکثر مواقع در صورت شناخت و استفاده صحیح از روش اصلاح خاک مورد نظر، تقریباً مشکل مدنظر رفع می گردد و امروزه مهندسان در صورت جوابگو نبودن شالوده های سطحی برای سازه پروژه، قبل از تصمیم گیری در مورد استفاده از شالوده های عمیق، می بایست روش های مناسب برای بهسازی خاک نشست را بررسی کنند تا مزایا و معایب هر یک از نظر کارایی، مشکلات اجرایی و هزینه با شالوده های عمیق مقایسه شده و در نهایت نسبت به انتخاب گزینه برتر اقدام نمایند. در چند دهه ی اخیر ستون های سنگی به طور چشمگیری به عنوان روشی ساده و مقرون به صرفه برای اصلاح خاک های ضعیف مانند رس ها، سیلت ها و ماسه های سیلانی مورد استفاده قرار گرفته اند. ستون های سنگی علاوه بر رفع نمودن مشکلات معمول

مانند عدم ظرفیت باربری یا نشست پذیری زیاد خاک، خواص سودمند دیگری مانند کاهش پتانسیل روانگرایی، بالا بردن ظرفیت زهکشی (به علت کوتاه تر کردن مسیر زهکشی عبوری در خاک) و کاهش زمان تحکیم و اثرات سودمند دیگری نیز را دارا می باشند. در روش ستون سنگی قسمتی از خاک ضعیف در ابعادی مانند یک چاه حفر می شود و در آن مصالح خاکی مناسب گوبیده و پر می شود. ستون های سنگی یک روش تثبیت خاک، جهت افزایش ظرفیت باربری و تقلیل نشست خاک زیر پی سازه ها می باشند. با توجه به شرایط و روش اجرا، ستون های سنگی بیشتر به عنوان یک روش تجربی شناخته شده اند و نیاز به تحقیقات گسترده تر جهت پیش بینی مقاومت نهایی خاک تقویت شده با این روش، ضروری به نظر می رسد. برای یافتن ظرفیت باربری و نشست زمین تقویت شده با ستون سنگی به دلیل تفاوت پارامترهای خاک و ستون سنگی، نیاز به شناخت بهتر رفتار ستون سنگی می باشد. یکی از تفاوت های مهم در بحث ستون های سنگی عملکرد آن به صورت تک و به صورت گروه می باشد؛ لذا در این پژوهش سعی شده است با استفاده از مدل سازی های مناسب، عددی به شناخت رفتار دقیق تر ستون سنگی به صورت منفرد و به صورت گروه پرداخته شود. در واقع هدف نهایی این پژوهش آن است که چه زمان می توان نتایج حاصل از تحلیل و بررسی یک ستون سنگی منفرد را برای بررسی آن تعمیم داد و به سراغ مدل سازی های پیچیده به صورت گروهی رفت. نرم افزار مورد استفاده در این پژوهش نرم افزار آباکوس می باشد که یک نرم افزار عددی بر پایه ی روش اجزای محدود می باشد. لازم به ذکر است نرم افزار آباکوس قابلیت مدل سازی ۳ بعدی، ۲ بعدی و تقارن محور را داراست که به دلیل شبیه سازی ستون سنگی با رفتار نامعین، آن در عمل و رخ دادن کمترین خطا از مدل های ۳ بعدی استفاده شده است.

در این پژوهش سعی می شود دو موضوع نشست و ظرفیت باربری ستون های سنگی مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد.