

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# کتاب جامع پایدارسازی دیواره گودها به روش خرپا و مهار متقابل

مؤلفین:

دکتر بهروز باباخانی

دکتر سهراب سپهر نیا

مهندس حسین صفار یوسفی فرد





پردیس علم

## کتاب جامع پایدارسازی دیواره گودها به روش خرپا و مهار متقابل

مؤلفین: بهروز باباخانی

سهراب سپهر نیا

حسین صفار یوسفی فرد

صفحه آرا: ملیحه کربلایی

نوبت چاپ: اول ۱۴۰۱

تیراژ: ۱۰۰۰

قیمت: ۲۸۸۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۳۶۶-۸۰-۵

خرید اینترنتی آسان و با تخفیف از:

[www.pardis-elm.ir](http://www.pardis-elm.ir)

دفتر و نشر و نمایشگاه دائمی: تهران - میدان

رسالت - خیابان هنگام پلاک ۱۴۰

تلفن: ۰۲۱-۷۷۲۴۲۱۶۳

حقوق چاپ و نشر دائم این اثر محفوظ و مخصوص

انتشارات «پردیس علم» می باشد.

سرشناسه: باباخانی، بهروز، ۱۳۶۷

عنوان و نام پدیدآور:

مشخصات نشر: پردیس علم، ۱۴۰۱

مشخصات ظاهری: ۶۹۴ص

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۳۶۶-۸۰-۵

وضعیت فهرست نویسی:

عنوان دیگر: گودبرداری

موضوع: گودبرداری

موضوع: روش های گودبرداری

موضوع: ساختمان

موضوع: اجرای ساختمان

شناسه افزوده: سپهرنیا، سهراب ۱۳۶۷

شناسه افزوده: صفار یوسفی فرد، حسین، ۱۳۷۴

## مقدمه مؤلف

خداوند مهرگستر را سپاس گزاریم که این توفیق را به ما عنایت نمود تا با تألیف کتاب حاضر، گامی هر چند خُرد، در مسیر دستیابی به گودبرداری ایمن برداریم.

گودبرداری از مباحث حائز اهمیت و پر مخاطره در مهندسی عمران به شمار می‌رود و در صورتیکه به نحوی غیر اصولی بدان اقدام شود، می‌تواند عواقب جبران‌ناپذیری را به همراه داشته باشد. امروزه با توجه به گسترش ساخت‌وسازهای مناطق شهری و لزوم احداث ساختمان‌های بلند مرتبه با طبقات تحت‌الارضی، اهمیت گودبرداری ایمن دو چندان شده‌است. در این بین انتخاب سیستم پایدارسازی مناسب نیز مقوله‌ای است که باید با عنایت به شرایط ساختگاه و پروژه صورت پذیرد. تاکنون سیستم‌های سازه‌نگهبان متعددی جهت این امر به کار گرفته شده‌است و شاید بتوان گفت سیستم سازه‌نگهبان خرپایی در وهله اول و سیستم مهار متقابل در وهله دوم، از جمله سیستم‌هایی هستند که در کشور ما رواج قابل توجهی داشته‌اند. ضمن اطلاع مؤلفین از وجود چندین کتاب ارزشمند در این حوزه و قدردانی از زحمات نویسندگان این آثار، کتب موجود غالباً به کلیات، مبانی اولیه و فرآیند اجرایی سیستم‌های خرپایی و مهار متقابل پرداخته‌اند و در زمینه طرح سیستم سازه‌نگهبان خرپایی متکی بر روش‌های سنتی و نمودارهای از پیش تعیین شده می‌باشند. بدین ترتیب نیاز به مرجعی که به نحوی نرم‌افزاری، به تشریح مسائل مرتبط با مدلسازی سیستم‌های خرپایی و مهار متقابل بپردازد، احساس می‌شود. لذا بر آن شدیم تا در حد بضاعت، مجموعه‌ای در این خصوص تدوین نماییم تا به شکلی کاربردی و خودآموز با تمرکز بر مسائل مدلسازی نرم‌افزاری، در اختیار جامعه مهندسی قرار گیرد تا بتوانند نسبت به طرح اصولی سیستم‌های مزبور اقدام نمایند.

در این کتاب سعی شده است؛ ضمن تبیین مبانی پایه و مفاهیم اولیه در گودبرداری و معرفی اجمالی روش‌های گودبرداری و سیستم‌های پایدارسازی مربوطه، با تمرکز بر مسائل کاربردی و اجرایی از یک‌سو و تکیه بر قابلیت‌های نرم‌افزاری از سوی دیگر، مطالب نظری و اجرایی مربوط به سیستم سازه‌نگهبان خرابایی و مهار متقابل تحت پوشش واقع شود.

کتاب حاضر در قالب پنج فصل به رشته تحریر در آمده است، که به شرح زیر سامان‌دهی شده‌اند:  
**فصل اول** کتاب تحت عنوان کلیات، به بیان اجمالی مطالب مرتبط با مفاهیم بنیادی گودبرداری و سیستم‌های پایدارسازی می‌پردازد. در این فصل تلاش شده است تا با ارائه‌ی طبقه‌بندی‌های مختلف روش‌های گودبرداری و سیستم‌های حفاظتی دیواره‌ی گود، منطبق با مراجع و آیین‌نامه‌های به‌روز بین‌المللی و داخلی، نظمی ساختاری در ذهن خوانندگان ایجاد شود تا انتخاب روش متناسب برای هر پروژه، برای آنها تسهیل گردد و بستر مورد نیاز جهت مطالعه‌ی سایر فصول کتاب نیز مهیا گردد. بدیهی است با توجه به گستردگی روش‌های موجود، تبیین تفصیلی مطالب مربوطه در قالب یک فصل نمی‌گنجد، لکن مطالعه‌ی این فصل، یک آشنایی اجمالی و منظم با ادبیاتی نوین برای خوانندگان به ارمان خواهد آورد که از اهداف نگارش این فصل به‌شمار می‌رود.

**فصل دوم** کتاب تحت عنوان نحوه‌ی اجرای سازه‌نگهبان خرابایی و مهار متقابل، ضمن معرفی اجزای تشکیل‌دهنده و حالات مختلف این سیستم، به فرآیند اجرایی مرتبط با آنها می‌پردازد. در این فصل پیش‌زمینه‌های لازم جهت ورود به فصول آتی کتاب نیز فراهم شده است.

در واقع مؤلفین کتاب حاضر معتقد هستند که؛ در مهندسی عمران قبل از ورود به مقوله‌ی طراحی نیاز است نگرشی جامع نسبت به فرآیند اجرایی در ذهن مهندس شکل بگیرد تا منجر به طرحی اصولی و قابل اجرا گردد به همین جهت در این کتاب نسبت به تدوین چنین فصلی اقدام شده است تا ملزومات درک فصولی آتی فراهم گردد.

**فصل سوم** کتاب تحت عنوان شناخت و تفسیر گزارش مکانیک خاک یک پروژه، مشتمل بر مطالب کاملاً کاربردی در خصوص تفسیر گزارش مکانیک خاک می‌باشد که با بیان روش‌های آزمون صحرایی و آزمایشگاهی و تفسیر پارامترهای مستخرج از این آزمون‌ها، توانایی و تسلط لازم را در خوانندگان بوجود می‌آورد تا بتوانند با درکی جامع از گزارش مکانیک خاک، نسبت به شرایط خاک ساختگاه شناخت لازمه را کسب نموده و از آن در مقوله‌ی گودبرداری و سیستم پایدارسازی استفاده نمایند.

از آنجایی که بعضاً برای مهندسین مبتدی، نحوه اجرای آزمون‌ها و استحصال پارامترهای مربوطه، مورد سؤال است، نویسندگان نسبت به تحریر این فصل اقدام نموده‌اند تا حتی‌المقدور ابهامات خوانندگان پس از مطالعه این فصل، مرتفع گردد.

**فصل چهارم** کتاب تحت عنوان تحلیل و طراحی سازه نگهدارنده خرابایی، فصلی است جامع که در آن فرآیند تحلیل و طراحی سازه نگهدارنده خرابایی بصورت مدون تشریح گردیده است. در این فصل، ابتدا نحوه تعیین هندسه و چیدمان اعضا سازه نگهدارنده خرابایی با توجه به عوامل تأثیرگذار، عنوان می‌گردد و پس از تعیین شیب پایدار گودبرداری با استفاده از ماژول slope/w از برنامه‌ی GeoStudio و محاسبه بارهای وارده به سازه نگهدارنده خرابایی، مدلسازی نرم افزاری خرابا آغاز می‌شود. در این بین، فرآیند تحلیل و طراحی سازه نگهدارنده خرابایی در برنامه‌های PLAXIS-2D و SAP2000 به نحوی خودآموز و تفصیلی در قالب مثالی عددی، مطرح گردیده است. در خلال این فرآیند، از برنامه‌های کاربردی ALLPILE و LPILE جهت دستیابی به مشخصات فنرهای معادل خاک (P-y, Q-z, T-z) پیرامون شمع نیز استفاده شده است. سپس در این فصل به تبیین جزئیات تحلیلی و اهمیت کنترل‌های سازه‌ای و ژئوتکنیکی پرداخته می‌شود. شایان ذکر است در حین استفاده از هر برنامه نرم‌افزاری، سعی شده است، ضمن تشریح منوهای مربوط به مدلسازی، فلسفه استفاده و تفسیر نتایج نیز توأمان صورت پذیرد تا نگرشی بسیط در خواننده القا شود.

با توجه به نبود مرجعی آموزشی مبتنی بر قابلیت‌های مدلسازی با نرم‌افزارهای موجود که منجر به طرحی اقتصادی و ایمن گردد، مؤلفین بر آن شدند، تا به تحریر چنین فصلی که از اهداف اصلی این کتاب به‌شمار می‌رود، اقدام ورزند.

**فصل پنجم** کتاب تحت عنوان تحلیل و طراحی سیستم مهار متقابل، با فرآیندی مشابه فصل چهارم، به تحلیل و طراحی سیستم سازه نگهدارنده مهار متقابل می‌پردازد. در ابتدا نکات مهم و تکنیک‌های مختلف چیدمان اعضای سیستم مهار متقابل بیان گردیده است و سپس فرآیند تحلیل و طراحی مرتبط با مدلسازی نرم افزاری سیستم مهار متقابل به تفصیل، تشریح گردیده است. در این بین در مثال عددی آموزشی سیستم مهاربندی گود، از برنامه‌های PLAXIS-3D و SAP2000 استفاده شده است، در واقع بر خلاف مدلسازی سیستم خرابایی مطروحه در فصل چهارم، در این فصل به جهت امکان عدم برقراری فرضیات کرنش صفحه‌ای، نسخه‌ی سه‌بعدی برنامه PLAXIS اتخاذ شده است. برنامه‌های کاربردی ALLPILE و LPILE در این فصل نیز بکار رفته‌اند و در انتها به جزئیات تحلیلی و کنترل‌های مورد نیاز پرداخته شده است.

در نگارش فصول کتاب حاضر، سعی شده است با بکارگیری تصاویر واقعی مرتبط با مطالب مطروحه در فصل اول و نیز تصاویر تألیفی سه‌بعدی در فصول آتی، شرایط فراگیری برای خوانندگان محترم تسهیل گردد.

در خاتمه ذکر این نکته ضروری است که؛ بی‌شک، ساماندهی و تبیین مطالب فنی در خصوص گودبرداری و مدلسازی سیستم‌های سازه نگهبان، با توجه به گستردگی مطالب، امری بدون نقص نخواهد بود لذا از خوانندگان گرامی و مهندسین صاحب‌نظر در این زمینه، تقاضا می‌شود، با ارائه پیشنهادات و نظرات ارزشمند خود ما را در جهت بهبود و ارتقاء ویراست‌های آتی یاری فرمایند.

«اللَّهُمَّ عَامِلِنَا بِفَضْلِكَ وَ لَا تُعَامِلِنَا بِعَدْلِكَ»

سهراب سپهرنیا

بهروز باباخانی

حسین صفاریوسفی فرد

تابستان ۱۴۰۰

## فهرست مطالب

### فصل ۱: کلیات..... ۱۱

۱-۱- مقدمه..... ۱۲

۲-۱- مفاهیم و مبانی پایه..... ۱۲

۳-۱- انواع گود..... ۱۶

۴-۱- معرفی اجزای سیستم سازه نگهبان..... ۲۰

۵-۱- رفتار و مکانیزم انتقال بار در سازه‌های نگهبان..... ۸۷

۶-۱- طبقه‌بندی سازه‌های نگهبان..... ۸۸

۷-۱- روشهای مختلف گودبرداری و پایدارسازی دیواره‌های گود..... ۹۰

۸-۱- گودبرداری حفاظت شده..... ۱۰۰

۹-۱- حفاظت از ابنیه‌های همجوار گود..... ۱۱۴

### فصل ۲: نحوه‌ی اجرای سازه نگهبان خریایی و مهار متقابل..... ۱۱۹

۱-۲- هدف گذاری فصل..... ۱۲۰

۲-۲- مقدمه..... ۱۲۰

۳-۲- نحوه اجرای سازه نگهبان به روش خریایی..... ۱۲۰

۴-۲- نحوه اجرای سازه نگهبان به روش مهار متقابل..... ۱۵۶

۵-۲- جمع آوری سازه نگهبان خریایی و مهار متقابل..... ۱۸۴

فصل ۳: شناخت و تفسیر گزارش مکانیک خاک یک پروژه..... ۱۸۷

۳-۱- هدف گذاری فصل..... ۱۸۸

۳-۲- مقدمه..... ۱۸۸

۳-۳- برنامه ریزی و زمان بندی انجام مطالعات خاک و ارائه گزارش مکانیک خاک..... ۱۸۸

فصل ۴: تحلیل و طراحی سازه نگهبان خرابایی..... ۲۵۷

۴-۱- مقدمه..... ۲۵۸

۴-۲- اهداف فصل..... ۲۵۸

۴-۳- نقشه راه فصل، تحلیل و طراحی سازه نگهبان خرابایی..... ۲۵۹

۴-۴- تعریف مسئله..... ۲۵۹

۴-۵- مصالح مصرفی..... ۲۶۰

۴-۶- مشخصات خاک منطقه..... ۲۶۲

۴-۷- هندسه و جانمایی سازه نگهبان خرابایی..... ۲۶۶

۴-۸- جانمایی سازه نگهبان خرابایی..... ۲۶۸

۴-۹- تعیین هندسه سازه نگهبان خرابایی مثال فصل..... ۲۷۶

۴-۱۰- چهارچوب نرم افزاری فصل..... ۲۷۷

۴-۱۱- بارهای وارد بر سازه نگهبان خرابایی..... ۲۷۸

۴-۱۲- تخمین های اولیه مقاطع، برای شروع مدل سازی..... ۲۸۲

۴-۱۳- محاسبه شیب پایدار در اجرای سازه نگهبان خرابایی توسط نرم افزار

SLOPE/W..... ۲۸۴

۴-۱۴- تحلیل سازه نگهبان خرابایی در برنامه PLAXIS-2D..... ۳۱۶

۴-۱۵- تحلیل و طراحی ژئوتکنیکی شمع به روش دستی..... ۳۷۱

۴-۱۶- مدل سازی سازه نگهبان خرابایی در برنامه SAP2000..... ۴۰۲

۴-۱۷- پیوست..... ۵۰۰

فصل ۵: تحلیل و طراحی سیستم مهار متقابل..... ۵۳۵

۵-۱- مقدمه..... ۵۳۶

۵-۲- اهداف فصل..... ۵۳۶



۵-۳- نقشه راه.....	۵۳۷
۵-۴- اجزای سیستم مهار متقابل.....	۵۳۷
۵-۵- نکاتی در ارتباط با چیدمان اعضای سیستم مهار متقابل از منظر نکات مشترک طراحی و اجرا.....	۵۳۹
۵-۶- نکاتی در مورد چیدمان اعضا از منظر اصول طراحی.....	۵۴۲
۵-۷- توصیف مدل.....	۵۴۴
۵-۸- تعیین ظرفیت ژئوتکنیکی شمع‌های المان‌های Soldier Pile.....	۵۵۰
۵-۹- فلسفه‌ی مدل‌سازی ژئوتکنیکی سیستم مهار متقابل مثال فصل با نرم‌افزار PLAXIS 3D.....	۵۵۳
۵-۱۰- آشنایی عمومی با بخش‌های برنامه PLAXIS 3D.....	۵۵۳
۵-۱۱- تکنیک‌های عمومی برای مدل‌سازی بهتر در برنامه PLAXIS 3D.....	۵۵۴
۵-۱۲- هندسه‌ی مدل فصل پیش روی در PLAXIS 3D.....	۵۵۷
۵-۱۳- شناخت المان‌های اجزا محدود مهم در برنامه‌ی PLAXIS 3D.....	۵۶۰
۵-۱۴- المان‌های استفاده شده در مدل‌سازی مثال فصل (مهار متقابل) در PLAXIS 3D.....	۵۶۴
۵-۱۵- گام‌های مدل‌سازی سیستم مهار متقابل در برنامه‌ی PLAXIS 3D.....	۵۶۵
۵-۱۶- نکاتی پیرامون ترسیم اعضا، سطوح و حجم‌ها در برنامه‌ی PLAXIS 3D.....	۵۶۶
۵-۱۷- جزئیات مدل‌سازی مثال فصل (سیستم مهار متقابل با استفاده از Soldier Pile و رویه‌ی شاتکریتی) در PLAXIS 3D.....	۵۶۷
۵-۱۸- تعیین مشخصات رفتاری فنرهای Q-Z/ T-Z /P-Y در مثال فصل.....	۶۴۰
۵-۱۹- مدل‌سازی سیستم پایدارسازی به روش مهار متقابل در برنامه SAP2000.....	۶۴۴
منابع.....	۶۸۹

