







مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



جمهوری اسلامی ایران

وزارت راه و شهرسازی

# راهنمای طراحی و ساخت ساختمان به روش بالا-پایین

مؤلفین:

مهدی رجحانی - عطا آقائی آرائی

حامد بایسته

مازیار پاسدارپور

احسان دهقانی

شیرزاد عبدی

مهتاب علی طالش

سعید فرزانه

شماره نشر: ک- ۱۰۵۶

چاپ اول: شهریور ۱۴۰۲

عنوان و نام پدیدآور	: راهنمای طراحی و ساخت ساختمان به روش بالا - پایین / مولفین مهدی رجحانی... [و دیگران]; مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
مشخصات نشر	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری	: ت، [۲۳۹] ص: مصور، جدول.
فروست	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر: ک-۱۰۵۶
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۴۶۸-۵
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: مولفین مهدی رجحانی، عطا آقائی آرائی، حامد بایسته، مازیار پاسدارپور، احسان دهقانی، شیرزاد عبدی، مهتاب علی طالش، سعید فرزانه.
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۲۰۱ - ۲۰۵.
موضوع	: ساختمان‌سازی -- ایران
موضوع	: Building -- Iran
موضوع	: گودبرداری -- ایران
موضوع	: Excavation -- Iran
موضوع	: ساختمان‌سازی -- نوآوری -- ایران
موضوع	: Building -- Technological innovations -- Iran
موضوع	: ساختمان‌های پایدار -- ایران -- طراحی و ساخت
موضوع	: Sustainable buildings -- Design and construction -- Iran
شناسه افزوده	: رجحانی، مهدی، ۱۳۶۰-
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
شناسه افزوده	: Road, Housing and Urban Development Research Center
رده بندی کنگره	: TH۱۴۵
رده بندی دیویی	: ۶۹۰/۰۲۹۵۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۳۰۰۸۸
وضعیت رکورد	: فیبا



نام کتاب: راهنمای طراحی و ساخت ساختمان به روش بالا پایین  
مولفان: مهدی رجحانی، عطا آقائی آرائی، حامد بایسته، مازیار پاسدارپور، احسان دهقانی، شیرزاد عبدی، مهتاب علی طالش، سعید فرزانه  
شماره نشر: ک-۱۰۵۶  
ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی  
نوبت چاپ: اول  
تیراژ: ۲۰۰ جلد  
قطع: رحلی  
لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره انتشارات و چاپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی  
قیمت: ۴/۰۰۰/۰۰۰ ریال  
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۴۶۸-۵  
ISBN: 978-600-113-468-5

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.  
کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر برای مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محفوظ است.

نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شیخ فضل ا... نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵ تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۳۸۴۱۳۲  
پست الکترونیکی: pub@bhrc.ac.ir فروش الکترونیکی: http://pub.bhrc.ac.ir





## سخن مرکز

استفاده از فضاهای زیرزمینی با کاربری‌های مختلف همواره در جهان به دلایل محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی متعدد در حال گسترش است و کم‌کم آسمان خراش‌ها، جای خود را به زمین خراش‌ها یا همان مجتمع‌های زیرزمینی بزرگ می‌دهند. در ایران نیز، رشد جمعیت و توسعه شهرها، مطرح شدن معضلاتی همچون تامین پارکینگ، ارزش بالای زمین و محدودیت‌های بلندمرتبه سازی، استفاده از ظرفیت‌های زیرسطحی را تنها راه‌حل قرار داده است. از این رو طی حدود دو دهه گذشته همواره شاهد عمیق‌تر شدن گودهای شهری، تعدد گودهای بزرگ در مناطق شهری و گاهی اتفاقات ناگوار ناشی از گودبرداری غیر اصولی بوده‌ایم. در این راستا دستورالعمل‌هایی برای ساماندهی ضوابط فنی گودبرداری‌های شهری ارایه شده و روش‌های جدید گودبرداری از قبیل میخکوبی و مهاربندی، در ایران رواج پیدا کرد. به جز ایمنی و قابلیت اعتماد، مشکلات جدی حقوقی تجاوز به حدود ملک‌های مجاور، منجر به محدود شدن کارایی این روش‌ها پس از یک دهه حضور وافر در صنعت ساختمان شد. در تلاش برای یافتن روش جایگزین، روشهایی همچون روش ساخت بالا-پایین (Down-Top)، مهار متقابل، جدار برلینی و نظایر آن بیش از گذشته مطرح شدند. روش ساخت بالا-پایین به عنوان یک روش نگهداری دیواره‌های خاکی در ساخت ایستگاه‌های مترو، سازه‌های زیرزمینی و گودبرداری ساختمان‌ها در کشورهای توسعه یافته شناخته شده و پرکاربرد می‌باشد. این روش دارای مزیت ایمنی، هزینه و زمان شناخته می‌شود. اما به کارگیری روش ساخت بالا-پایین در ایران با تغییرات همراه شد. در دنیا اجرا به روش ساخت بالا-پایین همواره با دیوار جداکننده یا دیافراگمی همراه است. اما در ایران به دلایل مختلف از جمله خاک نسبتاً متراکم و سیمانته، اغلب دیوار جداکننده وجود ندارد. به همین ترتیب تغییراتی در راستای مناسب سازی روش با اقتضائات بومی شکل گرفت. لیکن ماهیت سهل ممتنع این روش، منجر به شکل‌گیری روش‌های اجرایی پر مخاطره شده است.

از این رو در پاسخ به این نیاز مبرم و واقعی موجود، تدوین راهنمای طراحی مدل بومی سازی شده و روش اجرای بالا-پایین، متناسب با اقتضائات بومی و مطابق با اصول فنی در دستور کار مرکز قرار گرفت تا نتایج آن به عنوان یک الگوی صحیح فنی در اختیار مجریان و مهندسان قرار گیرد. ایده اولیه تهیه این راهنما در تابستان سال ۱۳۹۶ در بخش ژئوتکنیک و زیرساخت مرکز مطرح و طبق صورتجلسه نهم تیرماه سال ۱۳۹۷، کمیته تخصصی بخش ژئوتکنیک و زیرساخت برای اجرا مورد تایید قرار گرفت. اما به دلایل مشکلات تامین مالی ابلاغ آن به سال ۱۳۹۹ مکول شد. شایان ذکر است این راهنما نمونه مشابهی در دنیا نداشته و از این جنبه از نمونه‌های نادری است که تماماً مبتنی بر دانش، تجربه و نیازهای بومی تألیف گردیده است. امید است استفاده از راهنما سبب وحدت رویه، انتقال دانش بومی، کاهش مخاطرات روشهای اجرایی موجود، کاهش مسائل حقوقی مرتبط در گودبرداری‌ها گردد تا در گام بعدی، زمینه تهیه استاندارد و آیین نامه ملی طراحی و ساخت به روش بالا-پایین به صورت نشریات لازم الاجرای کشور فراهم شود.

محمد مهدی حیدری

سرپرست مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مجریان				
نام	نام خانوادگی	محل اشتغال	مدرک تحصیلی	مسئولیت
مهدی	رجحانی	دانشگاه شاهد	دکتری مهندسی عمران-خاک و پی	مجری اول
عطا	آقای آرابی	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	دکتری مهندسی عمران-خاک و پی	مجری دوم

**اعضا گروه تهیه کننده (به ترتیب حروف الفبا)**

نام	نام خانوادگی	محل اشتغال	مدرک تحصیلی	مسئول تهیه	همکاری در تهیه
عطا	آقای آرابی	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	دکتری مهندسی عمران-خاک و پی	پیوست ۱	-
حامد	بایسته	دانشگاه قم	دکتری مهندسی عمران-خاک و پی	بخش های ۳-۳، ۴-۳، ۱-۴، ۲-۴، ۱۰-۱، ۵-۱۱	بخش ۳-۴
مازیار	پاسدارپور	مهندسین مشاور D2 اتریش	ارشد مهندسی عمران-خاک و پی	بخش های ۱-۵، ۲-۵، ۳-۵، ۴-۵	-
جهانگیری		دانشگاه اصفهان	دکتری مهندسی عمران-سازه		بخش ۲-۳ ۱-۲-۲-۲-۲
احسان	دهقانی	دانشگاه قم	دکتری مهندسی عمران-سازه	بخش ۳-۴	
مهدی	رجحانی	دانشگاه شاهد	دکتری مهندسی عمران-خاک و پی	فصول ۱ و ۲ / بخش های ۳-۳، ۴-۳، ۵-۳، ۶-۳، ۷-۳	بخش های ۵-۱، ۲-۵، ۳-۳، ۴-۵، ۵-۵، پیوست ۱
شیرزاد	عبدی	مهندسین مشاور ایمن سازان تدبیر پارس	ارشد مهندسی برق-قدرت	بخش ۳-۴	
مهتاب	علی طالش	مهندسین مشاور ژرفا سازه نسیم شمال	دکتری مهندسی عمران-خاک و پی	بخش های ۱-۳، ۲-۳، ۳-۴، ۴-۳	بخش ۵-۶
سعید	فرزانه	دانشگاه تهران	دکتری مهندسی عمران نقشه برداری-ژئودزی	بخش ۵-۵	-

**اعضا گروه بازخوانی، تلفیق و ویراستاری (به ترتیب حروف الفبا)**

نام	نام خانوادگی	محل اشتغال	مدرک تحصیلی
عطا	آقای آرابی	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	دکتری مهندسی عمران-خاک و پی
حامد	بایسته	دانشگاه قم	دکتری مهندسی عمران-خاک و پی
مهدی	رجحانی	دانشگاه شاهد	دکتری مهندسی عمران-خاک و پی
مهدی	شهیدی خواه	دانشگاه تهران	دانشجوی دکتری مهندسی عمران-خاک و پی
مهتاب	علی طالش	مهندسین مشاور ژرفا سازه نسیم شمال	دکتری مهندسی عمران-خاک و پی

**اعضا داوری**

نام	نام خانوادگی	محل اشتغال	مدرک تحصیلی
علی	فاخر	دانشگاه تهران	استاد، دکتری مهندسی عمران-خاک و پی
فرزین	کلانتری	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	استادیار، دکتری مهندسی عمران-خاک و پی
عباس	قلندرزاده	دانشگاه تهران	استاد، دکتری مهندسی عمران-خاک و پی
سید رسول	میرقادری	دانشگاه تهران	دانشیار، دکتری مهندسی عمران-سازه



## فهرست مطالب

.....	سخن مرکز:	.....	أ
.....	فهرست مطالب	.....	ج
.....	فهرست اشکال	.....	ک
.....	فهرست جداول	.....	ص
.....	پیشگفتار مجریان	.....	ق
.....	چکیده:	.....	ت
.....	فصل اول: کلیات	.....	۱
.....	۱-۱- مقدمه	.....	۱
.....	۲-۱- هدف	.....	۱
.....	۳-۱- دامنه کاربرد	.....	۱
.....	۴-۱- معرفی روش اجرای بالا-پایین	.....	۲
.....	۵-۱- پیشینه روش اجرای بالا-پایین	.....	۸
.....	۱-۵-۱- پیشینه روش بالا-پایین در جهان	.....	۸
.....	۲-۵-۱- به کارگیری و توسعه روش بالا-پایین در ایران	.....	۹
.....	۶-۱- معرفی پروژه هایی در ایران	.....	۱۱
.....	۷-۱- مفاهیم اساسی روش و فلسفه ایجاد آن	.....	۱۵
.....	۸-۱- جایگاه خلاقیت و ابداعات در روش اجرای بالا-پایین	.....	۱۵
.....	۹-۱- روش بالا-پایین در استانداردها	.....	۱۶
.....	فصل دوم: ویژگی های روش بالا-پایین و امکان سنجی	.....	۱۷
.....	۱-۲- مقدمه	.....	۱۷
.....	۲-۲- موضوعات اصلی در روش اجرای بالا-پایین	.....	۱۷
.....	۱-۲-۲- سازه اصلی در نقش سازه نگهبان	.....	۱۷
.....	۲-۲-۲- اجرای مرحله ای سازه در بالا-پایین	.....	۱۷
.....	۳-۲-۲- پایداری و کنترل تغییر شکل های سازه موقت	.....	۱۸
.....	۴-۲-۲- کار در زیرزمین و اجرای زیرزمینی	.....	۱۸
.....	۵-۲-۲- فناوری ها و تجهیزات کار زیرزمینی	.....	۱۸
.....	۶-۲-۲- اهمیت مدیریت حرفه ای پروژه	.....	۱۹
.....	۳-۲-۲- مزیت های روش اجرای بالا-پایین	.....	۱۹
.....	۱-۳-۲- عملکرد ساختمانی	.....	۱۹
.....	۲-۳-۲- ایمنی	.....	۱۹
.....	۳-۳-۲- کاهش هزینه	.....	۱۹
.....	۴-۳-۲- کاهش زمان ساخت	.....	۲۰
.....	۵-۳-۲- کاهش مشکلات حقوقی	.....	۲۰

۲۰	..... سایر مزایا.....	۲-۳-۶
۲۱	..... محدودیت‌های روش اجرای بالا-پایین.....	۲-۳-۴
۲۲	..... معیارهای بررسی امکان‌پذیری اجرای بالا-پایین.....	۲-۳-۵
۲۲	..... ملاحظات معماری.....	۲-۳-۵-۱
۲۲	..... ملاحظات سازه‌ای.....	۲-۳-۵-۲
۲۳	..... ملاحظات ژئوتکنیکی.....	۲-۳-۵-۳
۲۳	..... سایر ملاحظات اجرایی.....	۲-۳-۵-۴
۲۳	..... شاخص هزینه و توجیه اقتصادی.....	۲-۳-۵-۵
۲۳	..... طبقه‌بندی سازه‌ها از منظر سهولت اجرا با روش بالا-پایین.....	۲-۳-۶
۲۴	..... کاربرد روش اجرای بالا-پایین.....	۲-۳-۷
۲۵	..... فصل سوم: اصول اجرای روش ساخت بالا-پایین.....	۲-۳-۲۵
۲۵	..... مقدمه.....	۳-۱-۱
۲۵	..... مراحل روش ساخت بالا-پایین.....	۳-۲-۲
۲۵	..... حفاری محل نصب اجزاء قائم باربر.....	۳-۲-۱-۱
۲۵	..... حفاری دستی.....	۳-۲-۱-۱-۱
۲۶	..... انواع حفاری دستی.....	۳-۲-۱-۱-۱-۱
۲۶	..... حفاری چاه.....	۳-۲-۱-۱-۱-۲
۲۷	..... حفاری گالری.....	۳-۲-۱-۱-۱-۳
۲۸	..... حفاری ماشینی.....	۳-۲-۱-۲
۲۸	..... تجهیزات حفاری ماشینی.....	۳-۲-۱-۲-۱
۲۸	..... ماشین‌های حفار شمع.....	۳-۲-۱-۲-۱-۱
۲۹	..... چنگک‌های مکانیکی یا هیدرولیکی.....	۳-۲-۱-۲-۱-۲
۳۰	..... هیدرومیل یا هیدروفریز.....	۳-۲-۱-۲-۱-۳
۳۱	..... اجرای اجزاء قائم باربر.....	۳-۲-۲
۳۱	..... اجرای پی اولیه.....	۳-۲-۲-۱
۳۱	..... بافت و نصب سبد میلگرد شمع‌ها.....	۳-۲-۲-۱-۱
۳۶	..... بتن‌ریزی شمع.....	۳-۲-۲-۲
۳۹	..... آماده‌سازی شرایط جهت نصب اجزای قائم باربر.....	۳-۲-۳
۴۰	..... اجرای ستونها.....	۳-۲-۲-۲
۴۰	..... آماده‌سازی سر چاه در نصب معلق ستونها.....	۳-۲-۲-۲-۱
۴۷	..... ساخت و نصب ستونها.....	۳-۲-۲-۲-۲
۴۸	..... ساخت و نصب اجزا قائم باربر فولادی.....	۳-۲-۲-۲-۲-۱
۵۱	..... ساخت و نصب اجزا قائم باربر بتنی.....	۳-۲-۲-۲-۲-۲
۵۲	..... ستون‌های پیش‌ساخته بتنی.....	۳-۲-۲-۲-۲-۲-۱
۵۵	..... ساخت و نصب اجزای قائم مختلط.....	۳-۲-۲-۲-۲-۲-۲
۵۷	..... ستون‌های درجاریز بتنی.....	۳-۲-۲-۲-۲-۲-۳



- ۶۰ ..... ۳-۲-۲-۲-۳- کنترل‌های لازم در مرحله نصب اجزای قائم باربر.
- ۶۰ ..... ۳-۲-۲-۳- پر کردن فضای خالی مابین چاه و اجزای قائم باربر.
- ۶۱ ..... ۳-۲-۲-۴- دیوارهای حائل مدفون.
- ۶۱ ..... ۳-۲-۲-۴-۱- آماده‌سازی سر چاه در اجرای دیوار.
- ۶۱ ..... ۳-۲-۲-۴-۱- دیوار دیافراگمی.
- ۶۳ ..... ۳-۲-۲-۴-۲- دیوارهای شمعی.
- ۶۴ ..... ۳-۲-۲-۴-۲- دیوارهای سپری.
- ۶۵ ..... ۳-۲-۲-۴-۳- دیوارهای متشکل از شمع‌ها.
- ۶۹ ..... ۳-۲-۲-۴-۴- دیوار جداکننده یا دیافراگمی.
- ۷۴ ..... ۳-۲-۲-۴-۵- دیوار خاک سیمانی.
- ۷۶ ..... ۳-۲-۳- عملیات خاکی در زیرزمین.
- ۷۷ ..... ۳-۲-۳-۱- کندن خاک.
- ۷۷ ..... ۳-۲-۳-۱- مینی بیل.
- ۷۹ ..... ۳-۲-۳-۲- بیل مکانیکی متوسط.
- ۷۹ ..... ۳-۲-۳-۳- بیل‌های متعارف.
- ۸۰ ..... ۳-۲-۳-۲- جابجایی و حمل خاک در زیر سقف طبقات زیرزمین.
- ۸۰ ..... ۳-۲-۳-۱- لودر و مینی‌لودر.
- ۸۱ ..... ۳-۲-۳-۲- بیل‌های دارای بازوی تلسکوپی افقی.
- ۸۲ ..... ۳-۲-۳-۳- انتقال به بیرون و بارگیری خاک.
- ۸۲ ..... ۳-۲-۳-۱- بیل مکانیکی متعارف.
- ۸۳ ..... ۳-۲-۳-۲- بیل مکانیکی بازو بلند.
- ۸۴ ..... ۳-۲-۳-۳- بیل مکانیکی دکل تلسکوپی دارای جام بازشو (کلمشیل).
- ۸۴ ..... ۳-۲-۳-۴- جرثقیل برجی.
- ۸۶ ..... ۳-۲-۳-۵- جرثقیل بوم خشک.
- ۸۸ ..... ۳-۲-۳-۶- جرثقیل هیدرولیک تلسکوپی.
- ۸۸ ..... ۳-۲-۳-۷- جرثقیل دروازه‌ای.
- ۸۹ ..... ۳-۲-۳-۸- نوار نقاله و بالابر.
- ۹۰ ..... ۳-۲-۳-۹- استفاده از روش‌های نوین.
- ۹۱ ..... ۳-۲-۳-۴- اهمیت طرح‌ریزی بهینه عملیات خاکی زیرزمینی.
- ۹۱ ..... ۳-۲-۳-۱- موقعیت و ابعاد بهینه بازشوها.
- ۹۱ ..... ۳-۲-۳-۲- خاکبرداری دیواره یا قطعه (پنل) برداری.
- ۹۲ ..... ۳-۲-۳-۴- الگوی بهینه طرح‌ریزی عملیات خاکی.
- ۹۳ ..... ۳-۲-۳-۴-۱- خاکبرداری بخشی با خروجی‌های فوقانی.
- ۹۳ ..... ۳-۲-۳-۴-۲- خاکبرداری سراسری و ساخت.
- ۹۳ ..... ۳-۲-۳-۴-۳- خاکبرداری قطعه‌بندی شده.

- ۹۵ ..... ۳-۲-۳-۴-۳-۳-۴- طرح خاکبرداری کانالی
- ۹۵ ..... ۳-۲-۴-۳-۴- ساخت و اجرای سایر اجزاء سازه
- ۹۵ ..... ۳-۲-۴-۱-۴-۱- تسطیح و آماده‌سازی سایت جهت اجرای سازه پس از نصب اجزای قائم باربر
- ۹۷ ..... ۳-۲-۴-۲-۴- اجرای دیوار حائل و دیوار برشی
- ۱۰۵ ..... ۳-۲-۴-۳-۴- اجرای سقف
- ۱۰۷ ..... ۳-۲-۴-۴-۴- اجرای شالوده گسترده یا نواری
- ۱۰۹ ..... ۳-۲-۴-۵-۴-۵- بستن بازشوهای موقت و تکمیل سازه زیرزمین
- ۱۰۹ ..... ۳-۳-۳-۳-۴- موارد خاص در اجرای روش بالا-پایین
- ۱۰۹ ..... ۳-۳-۱-۳-۳-۴- ملاحظات اجرای روسازه در روش اجرای بالا-پایین
- ۱۱۰ ..... ۳-۳-۲-۳-۳-۴- رواداری‌های مجاز در اجرای سازه
- ۱۱۰ ..... ۳-۳-۳-۳-۳- برخورد با آب زیرزمینی
- ۱۱۱ ..... ۳-۳-۱-۳-۳-۳- منشا آب
- ۱۱۲ ..... ۳-۳-۲-۳-۳-۳- خشک اندازی یا آبکشی
- ۱۱۳ ..... ۳-۳-۳-۳-۳- زهکشی
- ۱۲۰ ..... ۳-۳-۴-۴-۳-۳- آب‌بندی و عایق‌کاری
- ۱۲۱ ..... ۳-۳-۱-۴-۴-۳-۳- انواع آب‌بندی از نظر موقعیت آبنند
- ۱۲۱ ..... ۳-۳-۱-۱-۴-۴-۳-۳- آب‌بندی طرف مثبت
- ۱۲۲ ..... ۳-۳-۲-۴-۴-۳-۳- انواع آب‌بندی از نظر نوع و مصالح آبنند
- ۱۲۲ ..... ۳-۳-۱-۲-۴-۴-۳-۳- آبنندی با پوششهای عایق
- ۱۲۳ ..... ۳-۳-۱-۱-۲-۴-۴-۳-۳- پوششهای ورقهای
- ۱۲۶ ..... ۳-۳-۲-۱-۲-۴-۴-۳-۳- پوششهای رسی
- ۱۲۶ ..... ۳-۳-۳-۱-۲-۴-۴-۳-۳- پوششهای مایع
- ۱۲۶ ..... ۳-۳-۲-۲-۴-۴-۳-۳- آبنندی توسط یکپارچه سازی اجزای سازه‌های
- ۱۲۸ ..... ۳-۳-۴-۴-۳-۳- برخورد به عوامل پیش‌بینی نشده
- ۱۲۸ ..... ۳-۳-۱-۴-۴-۳-۳- قنات‌ها
- ۱۲۹ ..... ۳-۳-۲-۴-۴-۳-۳- انباره فاضلاب
- ۱۲۹ ..... ۳-۳-۳-۴-۴-۳-۳- وجود سنگ‌های بزرگ
- ۱۳۰ ..... ۳-۳-۴-۴-۴-۳-۳- وجود تاسیسات زیرسطحی
- ۱۳۰ ..... ۳-۳-۴-۴-۴-۳-۳- الزامات تأسیساتی کار در طبقات زیرزمین
- ۱۳۰ ..... ۳-۳-۱-۴-۴-۳-۳- تامین روشنایی
- ۱۳۱ ..... ۳-۳-۱-۱-۴-۴-۳- معیارها و استانداردهای طراحی روشنایی
- ۱۳۱ ..... ۳-۳-۲-۱-۴-۴-۳- ضوابط کلی در مورد روشنایی فضاهای زیرزمینی
- ۱۳۱ ..... ۳-۳-۱-۴-۴-۳- محاسبات روشنایی
- ۱۳۴ ..... ۳-۳-۱-۴-۴-۳- مشخصات فنی تجهیزات لازم برای تامین روشنایی
- ۱۳۴ ..... ۳-۳-۱-۵-۴-۴- نکات عمومی قابل توجه در طراحی سیستم روشنایی
- ۱۳۴ ..... ۳-۳-۲-۴-۴-۳- تهویه و تامین هوای تازه



- ۱۳۵..... ۳-۲-۱- معیارها و استانداردهای طراحی تهویه و تامین هوای تازه.
- ۱۳۵..... ۳-۲-۲- روش های تهویه.....
- ۱۳۶..... ۳-۲-۳- روش تهویه مطلوب در روش اجرای بالا-پایین.....
- ۱۳۷..... ۳-۲-۴- تعیین حجم هوای مورد نیاز.....
- ۱۳۹..... فصل چهارم: مبانی و اصول تحلیل، طراحی و کنترل در روش ساخت بالا-پایین.....
- ۱۳۹..... ۴-۱- مقدمه.....
- ۱۳۹..... ۴-۲- اطلاعات مورد نیاز برای طراحی.....
- ۱۳۹..... ۴-۲-۱- نیازمندی ها و اطلاعات اولیه.....
- ۱۴۱..... ۴-۲-۲- مطالعات اکتشافی و ژئوتکنیک زیرسطحی.....
- ۱۴۱..... ۴-۲-۲-۱- تعداد و موقعیت گمانه ها.....
- ۱۴۱..... ۴-۲-۲-۲- آزمون های برجا.....
- ۱۴۲..... ۴-۲-۲-۱- آزمون های بر جای قابل انجام در گمانه ماشینی.....
- ۱۴۲..... ۴-۲-۲-۲- آزمون های قابل انجام در چاه های شناسایی دستی.....
- ۱۴۴..... ۴-۲-۲-۳- آزمون های ژئوفیزیک.....
- ۱۴۴..... ۴-۲-۲-۴- توصیه ها در انتخاب آزمون های برجا.....
- ۱۴۴..... ۴-۲-۲-۳- آزمون های آزمایشگاهی.....
- ۱۴۵..... ۴-۲-۲-۴- آب زیرزمینی.....
- ۱۴۶..... ۴-۲-۳- انتخاب متغیرهای طراحی.....
- ۱۴۶..... ۴-۲-۳-۱- متغیرهای مقاومت برشی.....
- ۱۴۶..... ۴-۲-۳-۲- متغیرهای تغییر شکل پذیری.....
- ۱۴۷..... ۴-۲-۳-۳- سختی فنرهای معادل خاک.....
- ۱۴۷..... ۴-۳- چهارچوب طراحی.....
- ۱۴۹..... ۴-۳-۱- مبانی طراحی.....
- ۱۵۰..... ۴-۳-۲- طراحی روش اجرا.....
- ۱۵۱..... ۴-۳-۳- تحلیل، طراحی و کنترل سازه ای.....
- ۱۵۱..... ۴-۳-۳-۱- حالات حدی سازه ای.....
- ۱۵۱..... ۴-۳-۳-۲- مبانی مدل سازی، تحلیل و طراحی سازه در روش بالا-پایین.....
- ۱۵۱..... ۴-۳-۳-۳- تحلیل دستی سازه.....
- ۱۵۲..... ۴-۳-۳-۲- مدل سازی دوبعدی سازه.....
- ۱۵۲..... ۴-۳-۳-۳- مدل سازی سه بعدی سازه.....
- ۱۵۳..... ۴-۳-۳-۴- مدل سازی اندرکنش سازه و خاک.....
- ۱۵۴..... ۴-۳-۴- کنترل کمانش ستون ها در طول مراحل ساخت.....
- ۱۵۴..... ۴-۳-۵- کنترل سازه ای سقف.....
- ۱۵۵..... ۴-۳-۴- تحلیل، طراحی و کنترل ژئوتکنیکی.....
- ۱۵۵..... ۴-۳-۱- خاک مطلوب و نامطلوب برای اجرا با روش بالا-پایین.....

- ۱۵۶ ..... ۲-۴-۳-۴- حالات حدی ژئوتکنیکی.
- ۱۵۶ ..... ۳-۴-۳-۴- فشار جانبی خاک.
- ۱۵۷ ..... ۱-۳-۴-۳-۴- فشار جانبی خاک کلاسیک.
- ۱۵۷ ..... ۲-۳-۴-۳-۴- الگوی فشار جانبی خاک در حالت اجرای سازه به روش بالا-پایین.
- ۱۵۸ ..... ۴-۴-۳-۴- شرایط خاص در فشار خاک.
- ۱۵۸ ..... ۱-۴-۴-۳-۴- آثار هندسه و کنج.
- ۱۵۹ ..... ۲-۴-۴-۳-۴- پدیده قوس زدگی.
- ۱۵۹ ..... ۵-۴-۳-۴- تحلیل تنش و تغییر شکل؛ روش های عددی.
- ۱۶۲ ..... ۶-۴-۳-۴- تحلیل پایداری.
- ۱۶۲ ..... ۷-۴-۳-۴- طراحی مشاهده ای و لزوم ارزیابی حین اجرا.
- ۱۶۲ ..... ۸-۴-۳-۴- معرفی نرم افزارهای کاربردی.
- ۱۶۳ ..... فصل پنجم: ملاحظات تکمیلی.
- ۱۶۳ ..... ۱-۵- مقدمه.
- ۱۶۳ ..... ۲-۵- تاثیر تغییر شکل ناشی از ساخت به روش بالا-پایین بر ساختمان های همسایه.
- ۱۶۳ ..... ۱-۲-۵- متغیرهای کلیدی در ارزیابی تاثیر تغییر شکل زمین بر ساختمان های همجوار گود.
- ۱۶۴ ..... ۲-۲-۵- پیش بینی میزان نشست در همجواری های گود.
- ۱۶۵ ..... ۳-۲-۵- تعیین شاخص آسیب پذیری ساختمان.
- ۱۶۹ ..... ۴-۲-۵- برآورد ریسک ساختمان ها.
- ۱۷۴ ..... ۵-۲-۵- طرح پیشنهادی خط مشی حفاظت از ساختمان ها.
- ۱۷۵ ..... ۳-۵- تاثیر تغییر شکل ناشی از گودبرداری به روش بالا-پایین بر تاسیسات شهری.
- ۱۷۶ ..... ۱-۳-۵- مقایسه شیب ایجاد شده ناشی از احداث سازه به روش بالا-پایین در محل تاسیسات شهری با شیب مجاز تجربی.
- ۱۷۶ ..... ۲-۳-۵- مقایسه احتمال چرخش اتصالات و بیرون کشیدگی آنها با مقادیر مجاز.
- ۱۷۶ ..... ۳-۳-۵- مقایسه تنش ایجاد شده در تاسیسات شهری با مقادیر مجاز.
- ۱۷۹ ..... ۴-۵- ابزار دقیق و رفتارنگاری.
- ۱۷۹ ..... ۱-۴-۵- اهداف رفتارنگاری پروژه.
- ۱۷۹ ..... ۲-۴-۵- مسئولیت رفتارنگاری ژئودتیکی - ژئوتکنیکی.
- ۱۷۹ ..... ۳-۴-۵- موقعیت و معیارهای مهم برای رفتارنگاری.
- ۱۸۰ ..... ۴-۴-۵- روش های رفتارنگاری.
- ۱۸۰ ..... ۵-۴-۵- انواع ابزارهای رفتارنگاری.
- ۱۸۱ ..... ۱-۵-۴-۵- رفتارسنجی سطحی.
- ۱۸۱ ..... ۱-۱-۵-۴-۵- پایش تغییر شکل های سطح زمین (نشست سنجی).
- ۱۸۲ ..... ۲-۱-۵-۴-۵- پایش سازه.
- ۱۸۳ ..... ۳-۱-۵-۴-۵- شیب سنج.
- ۱۸۳ ..... ۴-۱-۵-۴-۵- ترک سنج.
- ۱۸۴ ..... ۲-۵-۴-۵- رفتارسنجی تغییر شکل های محیط در برگیرنده پروژه.
- ۱۸۴ ..... ۱-۲-۵-۴-۵- انحراف سنج گمانه ای.





- پ ۱-۳-۱- مراحل اجرا در روش خرپایی..... ۲۱۱
- پ ۱-۴-۱- روش پایدارسازی با سازه نگهبان مهار متقابل (عناصر فشاری)..... ۲۱۲
- پ ۱-۵-۱- روش پایدارسازی با استفاده از سیستم مهاری سپرکویی..... ۲۱۴
- پ ۱-۶-۱- روش پایدارسازی با استفاده از دیوارهای نگهدارنده بتنی..... ۲۱۵
- پ ۱-۶-۱- دیوار جداکننده..... ۲۱۶
- پ ۱-۶-۲- دیوار متشکل از شمع..... ۲۱۷
- پ ۱-۶-۳- دیوار متشکل از شمعهای خاک سیمانی..... ۲۱۹
- پ ۱-۷-۱- روش پایدارسازی با میخ کویی دیواره..... ۲۲۰
- پ ۱-۸-۱- روش پایدارسازی با مهاربندی دیواره..... ۲۲۲
- پ ۱-۹-۱- روش گودبرداری جزیره‌ای..... ۲۲۴
- پیوست دوم: مثال طراحی سازه..... ۲۲۷
- پ ۱-۲-۱- مقدمه..... ۲۲۷
- پ ۲-۲-۱- تحلیل‌های ژئوتکنیکی..... ۲۲۹
- پ ۲-۲-۱- تعیین ظرفیت باربری و فنر قائم معادل شمع منفرد با استفاده از روش عددی و به کمک **PLAXIS**..... ۲۲۹
- پ ۲-۲-۲- استخراج داده‌های فشار خاک جهت تحلیل سازه..... ۲۳۰
- پ ۲-۲-۳- تعیین ضریب فنر افقی معادل خاک برای شمع منفرد تحت بار جانبی با استفاده از **PLAXIS2D**..... ۲۳۱
- پ ۲-۲-۴- تحلیل استاتیکی ژئوتکنیکی یک نمونه از قاب شرقی - غربی، محور ۵ پلان ستون‌گذاری سازه برای ساخت مرحله‌ای بالا-پایین..... ۲۳۲
- پ ۲-۳- مدلسازی و کنترل سازه‌ای برای گامهای ساخت به روش بالا به پایین..... ۲۳۶

## فهرست اشکال

### صفحه

شکل ۱-۱	مراحل مختلف اجرا در روش بالا-پایین	۳
شکل ۲-۱	اندرکنش اصطکاکی وارد به بلوک زیرسازه	۴
شکل ۳-۱	(الف) نمایش گرافیکی مرکز تجارت بین‌المللی و طرح توسعه کامل آن، (ب) نمای محیطی طرح توسعه ساختمان IFC در هنگ کنگ	۵
شکل ۴-۱	انجام حفاری طبقه زیرزمین. خاک در زیر تراز دال طبقه همکف حفاری می‌شود. کامیون‌ها برای حمل خاک در بالا و تراز زمین کنار بالابر خاک قرار می‌گیرند.	۵
شکل ۵-۱	(الف) انتقال خاک برداشته شده از داخل بازشدگی توسط جرثقیل، (ب) دال سقف سه طبقه زیرزمین، خاک زیر پایین‌ترین دال در حال حفاری است و در مرکز جمع‌آوری می‌شود تا توسط بالابر به سطح منتقل گردد.	۶
شکل ۶-۱	انجام خاکبرداری زیر دال اجرا شده در حالیکه ستون‌ها و سقف طبقات فوقانی اجرا شده است.	۶
شکل ۷-۱	(الف) اجرای فرآیند بالا-پایین در طبقات زیرزمین. شمع‌های فولادی که پیش از اجرای خاکبرداری نصب شده‌اند در این تصویر دیده می‌شوند که دال سقف‌ها را نگاه می‌دارند. (ب) شمع فولادی که توسط بتن مسلح در برگرفته می‌شود و به‌عنوان ستون دائم طبقه زیرزمین کامل می‌گردد.	۶
شکل ۸-۱	مرکز آلفا-آریت روسیه، مسکو، ۵ طبقه زیرزمین. فرایندها و مراحل مختلف اجرایی در طبقات مختلف بطور همزمان	۷
شکل ۹-۱	طرح توسعه هتل کلاریچ لندن. احداث ۵ طبقه زیرزمین با عمق گودبرداری حدود ۲۲ متر در زیر بنای تاریخی موجود و با حفظ آن	۸
شکل ۱۰-۱	مقایسه الگوی معمول و بومی (ایرانی) روش ساخت بالا-پایین	۱۰
شکل ۱۱-۱	مقایسه مراحل مختلف اجرا در الگوی معمول و بومی (ایرانی) بالا-پایین	۱۱
شکل ۱۳-۱	پروژه پارکینگ طبقاتی نیایش - الگوی بومی - اسکلت بتنی با ستون‌های پیش‌ساخته - عمق گودبرداری ۳۵ متر	۱۲
شکل ۱۴-۱	پروژه شریعتی، فلسفی - الگوی بومی - اسکلت مختلط بتنی - فولادی (SRC) - عمق گودبرداری ۳۴ متر	۱۲
شکل ۱۵-۱	پروژه اندرزگو - الگوی بومی - اسکلت مختلط بتنی فولادی (SRC) - عمق گودبرداری ۱۸ متر	۱۳
شکل ۱۶-۱	پروژه پاسداران - الگوی بومی - اسکلت فلزی - سقف عرشه فولادی - عمق گودبرداری ۱۸ متر	۱۳
شکل ۱۷-۱	پروژه دیباجی جنوبی - الگوی بومی - اسکلت بتنی با ستون‌های درجاریز - عمق گودبرداری ۱۴ متر	۱۳
شکل ۱۸-۱	پروژه شهید کلاهدوز - الگوی بومی - اسکلت فلزی - سقف طبقات زیرزمین دال وافل، عمق گودبرداری ۲۲ متر	۱۴
شکل ۱۹-۱	پروژه الهیه - الگوی بومی - اسکلت فلزی - سقف عرشه فولادی، عمق گودبرداری ۷ متر (مساحت زمین ۱۰۰ متر مربع)	۱۴
شکل ۲۰-۱	پروژه صادقیه - الگوی بومی - اسکلت فلزی - سقف عرشه فولادی - عمق گودبرداری ۷ متر - استفاده از پیل‌های نیمه‌پیش‌ساخته بتنی با عرض ۱ متر به‌صورت مدفون و به‌عنوان بخشی از دیوار حائل سازه (مساحت زمین ۸۰ متر مربع)	۱۵
شکل ۱-۳	موقعیت چاه و ستون	۲۷
شکل ۲-۳	یک نمونه دستگاه حفار روتاری (دورانی) شمع	۲۹
شکل ۳-۳	اجزاء حفاری چنگک که از یک دستگاه جرثقیل معلق است	۳۰
شکل ۴-۳	اجزاء حفاری هیدرومیل که از یک دستگاه جرثقیل معلق است	۳۰
شکل ۵-۳	جزئیات اتصال ستون فولادی یا مغزه فولادی ستون مختلط به شمع (اتصال به صورت مدفون)	۳۳
شکل ۶-۳	جزئیات اتصال ستون فولادی یا مغزه فولادی ستون مختلط بتنی به شمع (اتصال به وسیله صفحه‌ستون به سر شمع)	۳۳
شکل ۷-۳	سبد میلگرد بافته شده به شکل دایره برای نصب ستون‌ها به‌روش معلق و مهار شده در بخش فوقانی شمع، میلگردهای عرضی شامل خاموت‌های دورپیچ دایره‌ای و همچنین خاموت بسته لوزی میباشد. (جزئیات ارائه شده در شکل ۳-۵)	۳۴
شکل ۸-۳	سبد میلگرد بافته شده به شکل مربع و استفاده از شابلون فولادی جهت ایجاد صلبیت و یکپارچگی سبد و همچنین اتصال میل‌مه‌ارهای صفحه‌ستون به سبد میلگرد شمع	۳۴
شکل ۹-۳	سبد میلگرد بافته شده به شکل دایره برای نصب ستون‌ها به‌روش معلق و مهار شده در بخش فوقانی شمع، میلگردهای عرضی به صورت دورپیچ میباشد (جزئیات ارائه شده در شکل ۳-۵)	۳۵
شکل ۱۰-۳	صفحه شابلون میل‌مه‌ارهای صفحه‌ستون که به سبد میلگرد شمع متصل شده است	۳۵

- شکل ۳-۱۱ مقطع عرضی شمع و نحوه چیدمان میلگردهای عرضی نسبت به شمع و ستون مدفون در شمع که امکان عبور لوله جهت بتن ریزی را به راحتی فراهم نماید..... ۳۶
- شکل ۳-۱۲ استفاده از فاصله گذار مخصوص سبد شمع به منظور تامین پوشش بتنی در جدار شمع..... ۳۶
- شکل ۳-۱۳ جزئیات تشکیل دهنده لوله ترمی..... ۳۸
- شکل ۳-۱۴ تصویر شماتیک از بتن ریزی به روش ترمی در زیر آب و جزئیات به کار رفته..... ۳۹
- شکل ۳-۱۵ تصویری از یک نوع لوله خرطومی مخصوص بتن ریزی به قطر ۵ اینچ که تا انتهای چاه جهت بتن ریزی شمع فرو رفته است..... ۳۹
- شکل ۳-۱۶ یک نمونه از اجزای نصب ستون به صورت معلق در سرچاه در روش بالا-پایین..... ۴۱
- شکل ۳-۱۷ یک نمونه سکوی سرچاهی استفاده شده در ایران برای نصب ستون‌های پیش ساخته بتنی و ستون‌های فولادی به صورت معلق..... ۴۱
- شکل ۳-۱۸ نمونه ای از سکوی سرچاهی جهت نصب ستونهای معلق در روش ساخت بالا-پایین در خارج از کشور..... ۴۲
- شکل ۳-۱۹ نمونه‌ای از سکوی سرچاهی جهت نصب ستون‌های معلق در روش ساخت بالا-پایین در خارج از کشور که دارای جک‌های هیدرولیکی و سیستم پایش و تراز دقیق و دیجیتال می باشد..... ۴۲
- شکل ۳-۲۰ استفاده از دو پروفیل قوطی به صورت متعامد در بر ستون و جوش دادن آنها به ستون و مهار کردن قوطی به دیواره چاه به منظور ثابت کردن بخش تحتانی ستون فولادی در روش نصب معلق..... ۴۳
- شکل ۳-۲۱ نمونه ای از انجام وصله جوشی ستون فولادی در سر چاه..... ۴۵
- شکل ۳-۲۲ نمونه ای از انجام وصله پیچی ستون فولادی به صورت معلق در سر چاه..... ۴۶
- شکل ۳-۲۳ انجام وصله ستون پیش ساخته بتنی به کمک فلنج فولادی و پیچ..... ۴۶
- شکل ۳-۲۴ انجام وصله ستون پیش ساخته بتنی به کمک وصله مکانیکی و استفاده از گروت ریزی..... ۴۷
- شکل ۳-۲۵ مهارهای اجرا شده در شمع پس از بتن ریزی شمع و خارج کردن شابلون صفحه ستون..... ۴۷
- شکل ۳-۲۶ انتقال نقاط محور ستون پیاده شده در سر چاه به پایین چاه و سر شمع جهت نصب و شاقولی ستون مستقر بر صفحه ستون..... ۴۹
- شکل ۳-۲۷ نصب و ملاتریزی ستون دارای کف ستون بر روی بولت‌های مهار شده در شمع..... ۴۹
- شکل ۳-۲۸ نصب ستون فلزی در سازه فلزی به روش بالا-پایین بر روی پیچ (بولت) های کف ستون و روی شمع در چاه..... ۵۰
- شکل ۳-۲۹ اتصال نبشی نشیمن در تراز ارتفاعی مورد نظر نصب معلق در هنگام ساخت ستون در کارخانه ساخت اسکلت..... ۵۰
- شکل ۳-۳۰ اتصال از قطعات الحاقی به ستون فولادی در کارخانه ساخت جهت تسهیل در عملیات وصله ستون‌ها در سایت..... ۵۱
- شکل ۳-۳۱ آسیب دیدن گل میخ‌های نصب شده روی ستون پس از عملیات خاک - سیمان چاه و همچنین خاکبرداری..... ۵۱
- شکل ۳-۳۲ نمونه‌ای از آرماتوربندی ستون پیش ساخته بتنی..... ۵۴
- شکل ۳-۳۳ ستون‌های پیش ساخته بتنی آماده شده در کارخانه برای حمل به محل پروژه..... ۵۵
- شکل ۳-۳۴ آرماتوربندی اطراف مغزه فولادی برای اجرای ستون مختلط بتنی..... ۵۶
- شکل ۳-۳۵ قالب بندی چوبی و فلزی ستون مختلط بتنی..... ۵۷
- شکل ۳-۳۶ مقطع نهایی اجرا شده ستون مختلط بتنی..... ۵۷
- شکل ۳-۳۷ استفاده از ستون‌های درجاریز بتنی و با بتن ریزی داخل چاه در روش بالا-پایین در پروژه‌ای در امریکا..... ۵۸
- شکل ۳-۳۸ آرماتوربندی و قالب بندی ستون بتنی در یک چاه پایدار شده با غلاف فولادی، راه دسترسی ایمن، تهویه و روشنایی برای نیروهای کار تامین شده است..... ۵۹
- شکل ۳-۳۹ نمونه‌ای از اجرای ستون بتنی داخل چاه و از پایین به بالا؛ (الف) بتن ریزی مرحله به مرحله ستون از پایین به سمت بالا و مهار ستون ریخته شده به دیواره چاه - (ب) قرار دادن میلگردهای انتظار با اتصال مکانیکی (کوپلر) جهت اتصال ستون به تیر..... ۵۹
- شکل ۳-۴۰ پر کردن چاه با ترکیب سیمان، آب و خاک سرنند شده محل به وسیله مینی لودر..... ۶۱
- شکل ۳-۴۱ خرد کردن ستون سیمانی پرکننده اطراف ستون اصلی سازه به وسیله پیکور..... ۶۱
- شکل ۳-۴۲ جزئیات دیواره هادی دیوار دیافراگمی در خاک های چسبیده و دانه ای..... ۶۲
- شکل ۳-۴۳ فاصله گذار بتنی در احداث دیوار بتنی..... ۶۲
- شکل ۳-۴۴ نصب شبکه میلگرد دیوار دیافراگمی به کمک دیواره هادی و معلق نگه داشتن قطعه تحتانی در سر ترانشه جهت وصله به قطعه فوقانی..... ۶۳
- شکل ۳-۴۵ استفاده از غلاف فولادی در سر چاه جهت نصب و وصله شبکه میلگرد شمع..... ۶۴
- شکل ۳-۴۶ اجرای دیواره هادی بتنی در سرچاه به کمک قالب پلی استایرن در اجرای دیوار شمع مماسی..... ۶۴



- شکل ۳-۴۷ رانش مقطع سپری در خاک به کمک چکش سپرکوب: (الف) اتصال چکش به بیل مکانیکی، (ب) اتصال چکش به جرثقیل ..... ۶۵
- شکل ۳-۴۸ استفاده از مقاطع سپری به عنوان دیوار حائل دائمی زیرزمین در یک پارکینگ طبقاتی که به روش ساخت بالا-پایین اجرا شده است ..... ۶۵
- شکل ۳-۴۹ انواع مقاطع دیوارهای تشکیل شده از شمع‌ها ..... ۶۶
- شکل ۳-۵۰ مراحل اجرای شمع در جرایز بتنی؛ (۱) حفاری، (۲) پایدار کردن دیواره چاه با گل حفاری در صورت نیاز، (۳) جایگذاری شبکه میلگرد (یا مقطع فولادی)، (۴) انتقال لوله ترمی به داخل چاه، (۵) بتن‌ریزی شمع از انتهای چاه به سمت بالا به کمک لوله ترمی، (۶) شمع در جرایز بتنی ..... ۶۷
- شکل ۳-۵۱ نما و مقطع دیوار شمع‌های منفصل ..... ۶۷
- شکل ۳-۵۲ استفاده از دیوار شمع‌های منفصل به عنوان دیوار حائل مدفون در اجرای سازه زیرزمینی به روش بالا-پایین ..... ۶۷
- شکل ۳-۵۳ حالت‌های مختلف اجرای شمع‌های مماسی، شمع‌های نرم - سخت و سخت - همچنین استفاده از پروفیل‌ها و شبکه میلگرد به شکل‌های مختلف ..... ۶۸
- شکل ۳-۵۴ اجرای دیوار شمع‌های مماسی به صورت مدفون برای ساخت سازه به روش بالا-پایین (دیوار حائل دائمی سازه پس از انجام خاکبرداری و هنگام تکمیل سازه هر زیرزمین بر روی دیوار شمعی و به صورت مرحله‌ای از بالا-پایین اجرا می‌شود) ..... ۶۹
- شکل ۳-۵۵ مراحل اجرای دیوار دیافراگمی: (۱) حفاری ترانشه همراه با چرخش گل حفاری، (۲) نصب شبکه میلگرد دیوار داخل ترانشه، (۳) بتن‌ریزی محل بخشهای حفاری شده و خروج گل حفاری از ترانشه ..... ۷۰
- شکل ۳-۵۶ آماده‌سازی دیواره هادی در سر ترانشه پیش از آغاز حفاری ..... ۷۱
- شکل ۳-۵۷ حفاری ترانشه دیوار دیافراگمی، به وسیله چنگک از طریق دیواره هادی سر ترانشه و همزمان با چرخش گل حفاری ..... ۷۲
- شکل ۳-۵۸ (الف) نصب صفحات انتهایی در ترانشه، (ب) نصب نوار آب‌بند داخل شیار صفحات انتهایی، (ج) قرار گرفتن نوار آب‌بند داخل قطعهای از دیوار که بتن‌ریزی شده است و با بتن‌ریزی قطعه مجاور نوار آب‌بند درز بین دو قطعه را پر خواهد کرد ..... ۷۲
- شکل ۳-۵۹ نصب شبکه میلگرد دیوار بتنی؛ (الف) قرار دادن شبکه میلگرد به کمک جرثقیل داخل ترانشه حفر شده، (ب) صفحات انتهایی که در دو سمت ترانشه قرار داده شده است در تصویر مشخص است که شبکه میلگرد دیوار مابین آنها قرار گرفته است، و (ج) معلق ماندن شبکه دیوار در سر ترانشه به کمک دیواره‌های هادی جهت وصله ..... ۷۲
- شکل ۳-۶۰ بتن‌ریزی قطعات دیوار بتنی به وسیله لوله‌های ترمی ..... ۷۳
- شکل ۳-۶۱ حفر ترانشه‌های T و صلیبی شکل به کمک ماشین‌های حفار هیدرومیل و چنگک ..... ۷۳
- شکل ۳-۶۲ اجرای دیوار دیافراگمی به شکل T، (الف) جایگذاری شبکه میلگرد T شکل، (ب) مقطع بتنی نهایی دیوار به شکل T ..... ۷۳
- شکل ۳-۶۳ نمونه‌هایی از مسائلی که پس از نمایان شدن دیوار پدیدار می‌شوند ..... ۷۴
- شکل ۳-۶۴ تصویر شماتیک از اختلاط عمیق خاک ..... ۷۵
- شکل ۳-۶۵ افزایش ظرفیت خمشی ستون‌های خاک - سیمانی با فرو راندن مقاطع فولادی I شکل و همچنین شبکه میلگرد داخل مخلوط خاک - سیمان پیش از گیرش سیمان ..... ۷۵
- شکل ۳-۶۶ ماشین اختلاط عمیق خاک، که دارای سه مته جهت ترکیب خاک و دوغاب سیمان است و ستون‌های خاک سیمانی به شکل سه دایره دارای همپوشانی تشکیل می‌دهد ..... ۷۶
- شکل ۳-۶۷ ماشین اختلاط عمیق خاک برنده که سبب ترکیب خاک و سیمان در راستای قائم می‌شود و ستون خاک - سیمانی نهایی به شکل مستطیل خواهد بود ..... ۷۶
- شکل ۳-۶۸ ابعاد بیل‌های مکانیکی که توسط شرکت سازنده هر ماشین مشخص می‌گردد و باید هنگام انتخاب ماشین برای کار در فضای زیرزمین به آن دقت شود ..... ۷۸
- شکل ۳-۶۹ کار کردن یک دستگاه مینی‌بیل در فضای زیرزمین در اجرای سازه به روش بالا-پایین ..... ۷۸
- شکل ۳-۷۰ کندن خاک در زیر سقف طبقات زیرزمین و مابین ستون‌های سازه به وسیله بیل مکانیکی با اندازه متوسط در اجرای سازه به روش بالا-پایین ..... ۷۹
- شکل ۳-۷۱ انجام عملیات خاکبرداری به اندازه ارتفاع دو طبقه زیرزمین جهت تسریع در سرعت عملیات خاکبرداری و ایجاد فضای کاری بیشتر برای استقرار ماشین‌آلات بزرگتر ..... ۸۰

- شکل ۳-۷۲ الف) مینی‌لودر در فضای کاری تنگ زیر سقف در روش بالا-پایین و ب) لودر جهت جابجایی خاک در روش بالا-پایین زیر تراز سقف و انتقال خاک به محل بازشو خروج خاک. .... ۸۱
- شکل ۳-۷۳ جابجایی خاک در راستای افقی و زیر تراز سقف زیرزمین در روش ساخت بالا-پایین به کمک بیل‌های مکانیکی دارای بازو تلسکوپیی افقی. .... ۸۱
- شکل ۳-۷۴ خروج خاک از طریق بازشوی ایجاد شده در سقف به وسیله بیل مکانیکی استاندارد. .... ۸۲
- شکل ۳-۷۵ بیل مکانیکی با فرم خاص برای کار در شرایط محدودتر. .... ۸۳
- شکل ۳-۷۶ برداشتن خاک از داخل گود به وسیله بیل مکانیکی بازو بلند. .... ۸۴
- شکل ۳-۷۷ بیل مکانیکی بازو تلسکوپیی دارای جام بازشو یا کلمشل که بازوی آن در راستای قائم به صورت تلسکوپیی باز و بسته می‌شود. .... ۸۵
- شکل ۳-۷۸ تصاویری از تخلیه خاک به وسیله بیل مکانیکی بازو تلسکوپیی از یک پروژه در حال اجرا به روش بالا-پایین. ابعاد کوچک بازشوی ایجاد شده در دیافراگم سقف در تصویر سمت راست مشخص است. .... ۸۵
- شکل ۳-۷۹ تصاویری از تخلیه خاک به وسیله، الف) چنگک و ب) مخزن خود بازشو که از جرثقیل آویزان و جهت انتقال خاک به بیرون از پروژه استفاده می‌شود. .... ۸۶
- شکل ۳-۸۰ تصویر شماتیک از جرثقیل بوم خشک که می‌توان یک چنگک را جهت تخلیه خاک به آن آویزان نمود. .... ۸۷
- شکل ۳-۸۱ انتقال خاک از داخل گود به بیرون به وسیله جرثقیل بوم خشک که یک مخزن تخلیه خاک از آن معلق است. .... ۸۷
- شکل ۳-۸۲ جرثقیل بوم خشک در حال بیرون کشیدن خاک. .... ۸۷
- شکل ۳-۸۳ استفاده از جرثقیل دروازه‌ای جهت بیرون کشیدن خاک در یک پروژه ساخت به روش بالا-پایین. .... ۸۸
- شکل ۳-۸۴ استفاده از جرثقیل دروازه‌ای برای بلند کردن و بیرون کشیدن کانتینر حامل خاک آلوده به مواد نفتی در یک پروژه ساخت به روش بالا-پایین. .... ۸۹
- شکل ۳-۸۵ تخلیه خاک‌های کنده شده به بیرون از سایت از طریق بازشوهای خروجی سقف به وسیله نوارهای نقاله در اجرای سازه به روش بالا-پایین. .... ۸۹
- شکل ۳-۸۶ انتقال خاک به وسیله بالابر در اجرای سازه باروش بالا-پایین. .... ۹۰
- شکل ۳-۸۷ تصویر شماتیک از اجزا و ساز و کار ماشین حفار مکشی. .... ۹۰
- شکل ۳-۸۸ ماشین حفار مکشی. .... ۹۱
- شکل ۳-۸۹ پلان سایت خطوط ریلی و ایستگاه‌های مترو. .... ۹۲
- شکل ۳-۹۰ الگوهای خاکبرداری مرسوم بالا-پایین؛ الف) خاکبرداری بخشی با خروجی‌های فوقانی، ب) خاکبرداری سراسری و ساخت، ج) خاکبرداری قطعه‌ای. .... ۹۴
- شکل ۳-۹۱ نصب ستون‌های فولادی، پر کردن چاه و سپس تسطیح کف گود به منظور ادامه عملیات اجرایی ساخت به روش بالا-پایین. .... ۹۶
- شکل ۳-۹۲ نصب ستون‌های پیش‌ساخته بتنی در سایت پس از پر کردن چاه و آماده‌سازی سایت جهت اجرای سقف و دیوار حائل اولین زیرزمین. .... ۹۶
- شکل ۳-۹۳ آماده‌سازی جهت اجرای بخش‌های مختلف عملیات ساخت و تعریف جبهه‌های کاری مختلف در پروژه (اسکلت بتنی و ستون‌های با مغزه فولادی در طبقات زیرزمین). .... ۹۶
- شکل ۳-۹۴ الف) قطعه‌برداری از دیواره خاکی گود و تسطیح و آماده‌سازی دیواره گود پیش از اجرای دیوار حائل، ب) اجرای عایق در روی دیواره گود پیش از اجرای دیوار حائل. .... ۹۷
- شکل ۳-۹۵ اجرای یک دیوار حائل بر روی دیوار حائل مدفون شمعی به صورت مرحله‌ای و از بالا-پایین. .... ۹۷
- شکل ۳-۹۶ اتصال دیوار حائل از نوع دیوار دیافراگمی به سقف و پی به کمک کاشت میلگرد. .... ۹۷
- شکل ۳-۹۷ محافظت از طول مورد نیاز انتظار در پایین دیوار حائل برای وصله میلگردهای طولی به میلگردهای طولی دیوار طبقه پایین، الف) حفر کانال پای دیوار و جایگذاری میلگردهای اصلی و پر کردن کانال با خاک و استفاده از پوشش ماسه و سپس یک لایه نازک دوغاب سیمان، ب) محافظت از طول میلگرد پایین‌تر از تراز پایین دیوار حائل به وسیله رابیتس و پر کردن طول وصله با خاک، یک لایه ماسه و دوغاب نازک سیمان. .... ۱۰۰
- شکل ۳-۹۸ محافظت از وصله مکانیکی (کوپلر) با پوشش پلاستیکی جهت جلوگیری از گرفتگی وصله و خراب شدن رزوه. .... ۱۰۰
- شکل ۳-۹۹ اتصال میلگردهای عرضی دیوار حائل به ستون پیش‌ساخته بتنی به وسیله وصله‌های مکانیکی که به صورت انتظار هنگام ساخت ستون داخل ستون تعبیه شده است. .... ۱۰۱

- شکل ۳-۱۰۰ شبکه میلگرد دیوار حائل و آماده‌سازی برای قالب‌بندی و بتن‌ریزی. ....
- شکل ۳-۱۰۱ نمونه‌ای از نحوه مهار قالب یکطرفه به وسیله جک به تکیه‌گاه‌هایی که در زمین کف گود ایجاد شده است. ....
- شکل ۳-۱۰۲ نمونه‌ای از نصب پشت‌بند و مهار قالب یکطرفه دیوار حائل به کمک ستون‌های سازه. ....
- شکل ۳-۱۰۳ مهار قالب یکطرفه دیوار حائل به ستون‌های میانی سازه با شاسی‌کشی فولادی. ....
- شکل ۳-۱۰۴ مهار دیوار حائل به کمک پشت بندهای خرنمایی. ....
- شکل ۳-۱۰۵ ایجاد دریچه در بالای دیوار برای ریختن بتن و ماهیچه بتنی ایجاد شده که باید زدوده شود. ....
- شکل ۳-۱۰۶ قالب‌بندی دو طرفه و اجرای از بالا-پایین دیوار برشی. ....
- شکل ۳-۱۰۷ اجرای از بالا-پایین دیوار برشی و استفاده از یک عضو باربر قائم در دیوار به منظور انتقال نیروها به شمع. ....
- شکل ۳-۱۰۸ استفاده از سقف عرشه فولادی در ساخت به‌روش بالا-پایین. ....
- شکل ۳-۱۰۹ قالب‌بندی و اجرای سقف از نوع دال مجوف (وافل) روی جک‌های مستقر شده بر روی سطح خاک. ....
- شکل ۳-۱۱۰ استفاده از الوارهای چوبی در زیر جک‌های سقف به منظور توزیع مناسب بار سقف تازه ریخته شده و مابقی ملحقات قالب‌بندی به سطح زمین و جلوگیری از فرورفتن جک‌ها در خاک و نشست آنها هنگام اجرای سقف. ....
- شکل ۳-۱۱۱ اجرای تیر -دال سازه در روش بالا-پایین، (الف) استفاده از تخته چندلایه (پلائی‌وود) روی سطح زمین برای قالب‌بندی سقف تیر-دال در روش ساخت از بالا-پایین، (ب) سقف بر روی ورق‌های لاستیکی ریخته شده است. ....
- شکل ۳-۱۱۲ اجرای سقف تیر-دال در ساخت به‌روش بالا-پایین و اتصال تیرها به ستون پیش‌ساخته بتنی. ....
- شکل ۳-۱۱۳ آرماتوربندی و بتن‌ریزی پی در ساخت به‌روش بالا-پایین با ستون‌های فولادی. ....
- شکل ۳-۱۱۴ اجرای پی در ستون‌های پیش‌ساخته بتنی و اتصال میلگردهای پی به وصله‌های انتظار از پیش‌موجود در ستون‌ها. ....
- شکل ۳-۱۱۵ استفاده از یک صفحه ستون دو تکه بر روی تراز پی در ستون فولادی. ....
- شکل ۳-۱۱۶ خشک‌اندازی اطراف گودبرداری. ....
- شکل ۳-۱۱۷ زهکشی از داخل گود. ....
- شکل ۳-۱۱۸ جزئیات زهکشی از داخل گود. ....
- شکل ۳-۱۱۹ جزئیات حوضچه پمپاژ. ....
- شکل ۳-۱۲۰ جزئیات حوضچه پمپاژ. ....
- شکل ۳-۱۲۱ آب‌بندی طرف مثبت برای دال کف و دیوار زیرزمین. ....
- شکل ۳-۱۲۲ آب‌بندی منفی دیوار زیرزمین. ....
- شکل ۳-۱۲۳ آب‌بندی مخفی منبع. ....
- شکل ۳-۱۲۴ نمونه اجرای ژئوممبرین در مجاورت شمعها و قبل از اجرای پی. ....
- شکل ۳-۱۲۵ نمونه‌ای از پوششهای رسی. ....
- شکل ۳-۱۲۶ نمونه اجرای بتن آسپند بر روی فونداسیون. ....
- شکل ۳-۱۲۷ آسپند (واتراستاپ) بتنونی. ....
- شکل ۳-۱۲۸ گوه دست سنگ. ....
- شکل ۳-۱۲۹ خارج ساختن سنگ از عمق ۲۵ متری در پروژه ساخت به‌روش بالا-پایین. ....
- شکل ۳-۱۳۰ نمونه فن استفاده شده برای دهش هوای تازه و کانال به کارگیری شده. ....
- شکل ۴-۱ الگوی فشار جانبی خاک در دیوارهای مهارشده و برای خاک‌های مختلف. ....
- شکل ۴-۲ اثرات هندسه سه‌بعدی گود بر میزان فشار خاک. ....
- شکل ۴-۳ پدیده‌ی قوس‌زدگی افقی و قائم در روش اجرای بالا-پایین. ....
- شکل ۴-۴ هندسه مناسب برای حذف تأثیر شرایط مرزی در تحلیل عددی گودبرداری. ....
- شکل ۵-۱ متغیرهای مرتبط با تغییر شکل ساختمان در اثر نشست. ....
- شکل ۵-۲ روند انجام عملیات بررسی و ثبت شرایط ساختمان‌ها. ....
- شکل ۵-۳ روند انجام عملیات بررسی و ثبت شرایط ساختمان‌ها و مطالعه برآورد ریسک آنها. ....

- شکل ۴-۵ نمایش متغیرهای کنترلی در ارزیابی ساختمان به‌روش برلند. .... ۱۷۱
- شکل ۵-۵ رده‌بندی آسیب‌ها با توجه به نسبت انحراف و کرنش کششی (برلند، ۱۹۹۷). .... ۱۷۲
- شکل ۶-۵ ضریب کاهش برای لوله با امتداد عمود بر پروژه (عرضی). .... ۱۷۷
- شکل ۷-۵ ضریب کاهش برای لوله‌های موازی پروژه. .... ۱۷۸
- شکل ۸-۵ تصویر شماتیکی از ابزاربندی و رفتارسنجی گودهای عمیق شهری و ساختمان‌های مجاور. .... ۱۸۱
- شکل ۹-۵ تصویری از شیب سنج. .... ۱۸۳
- شکل ۱۰-۵ ترک‌سنج دو بعدی با گیج قرائت عقربه‌ای. .... ۱۸۴
- شکل ۱۱-۵ اجزای کشیدگی سنج؛ الف)، نمونه‌ای از کلاهک کشیدگی سنج، ب)، نمونه‌ای از میل مهار انتهایی و میله کشیدگی سنج و ج)، کلاهک کشیدگی سنج با مبدل. .... ۱۸۵
- شکل ۱۲-۵ نمونه‌ای از کرنش‌سنج‌های مدفون در بتن مورد استفاده در پایش‌های ژئوتکنیکی. .... ۱۸۶
- شکل ۱۳-۵ تلفیق روش میخکوبی با روش بالا-پایین (نمونه شماره ۱). .... ۱۹۶
- شکل ۱۴-۵ تلفیق روش میخکوبی با روش بالا-پایین (نمونه شماره ۲). .... ۱۹۷
- شکل ۱۵-۵ تلفیق روش مهاربندی با روش بالا و پایین - تهران، نیاوران. .... ۱۹۸
- شکل ۱۶-۵ تلفیق روش ساخت بالا-پایین با روش جزیره‌ای. .... ۱۹۹
- شکل پ ۱-۱ روشهای مختلف گودبرداری و پایدارسازی دیواره گود. .... ۲۱۰
- شکل پ ۲-۱ روش پایدارسازی با شیب پایدار یا پلکانی. .... ۲۱۰
- شکل پ ۳-۱ خلاصه مراحل اجرای سازه نگهدارنده خرابایی. .... ۲۱۱
- شکل پ ۴-۱ روش سازه نگهدارنده خرابایی. .... ۲۱۲
- شکل پ ۵-۱ اتصال مهارافقی و تیر سرتاسری به سرشمع. .... ۲۱۴
- شکل پ ۶-۱ پایدارسازی گود با روش مهارمتقابل. .... ۲۱۴
- شکل پ ۷-۱ پایدارسازی گود با روش سپرکوبی. .... ۲۱۵
- شکل پ ۸-۱ انواع مختلف دیوارهای نگه‌دارنده از جنس بتن مسلح یا مصالح بنایی. .... ۲۱۶
- شکل پ ۹-۱ پایدارسازی گود با روش دیوار جداکننده. .... ۲۱۷
- شکل پ ۱۰-۱ پایدارسازی گود با دیواره متشکل از شمع با چیدمان مختلف. .... ۲۱۸
- شکل پ ۱۱-۱ پایدارسازی گود با روش شمع مماسی. .... ۲۱۸
- شکل پ ۱۲-۱ پایدارسازی گود با روش شمع سرباز با فاصله و پرکننده بین شمعها. .... ۲۱۸
- شکل پ ۱۳-۱ پایدارسازی گود با روش شمع سرباز با فاصله. .... ۲۱۹
- شکل پ ۱۴-۱ پایدارسازی گود با ستونهای خاک سیمانی. .... ۲۱۹
- شکل پ ۱۵-۱ پایدارسازی گود با ستونهای خاک سیمانی مهارشده. .... ۲۲۰
- شکل پ ۱۶-۱ پایدارسازی گود با میخکوبی دیواره. .... ۲۲۲
- شکل پ ۱۷-۱ پایدارسازی گود با مهاربندی دیواره. .... ۲۲۳
- شکل پ ۱-۲ پلان جانمایی و همجواری‌های پروژه ساختمان مسکونی. .... ۲۲۸
- شکل پ ۲-۲ نمودار بار - تغییرشکل برای تک شمع با قطر ۱۲۰ سانتی‌متر و طول‌های ۵/۱۴ و ۶/۸۴ متر با پافیلی به قطر ۱۶۰ سانتی‌متر. .... ۲۳۰
- شکل پ ۳-۲ توزیع فشار خاک در دیواره‌های مهار شده، خاک ماسه‌ای، چبوتاریوف، ۱۹۵۱. .... ۲۳۱
- شکل پ ۴-۲ توزیع فشار خاک در دیوار غربی با سربار ساختمان ۸ طبقه مجاور. .... ۲۳۱
- شکل پ ۵-۲ نمودارهای نیرو - تغییرشکل افقی معادل خاک (Y-P) حاصل مدلسازی عددی برای ستون مستقر بر شمع. شمع زیر ستون در گام‌های مختلف ساخت به روش بالا-پایین برای اعماق مختلف به فواصل هر یک متر در طول ستون و شمع. .... ۲۳۲
- شکل پ ۶-۲ پلان ستون‌گذاری سازه بتنی - طبقات زیرزمین ستون‌های بتنی با مغزه CFT. .... ۲۳۳
- شکل پ ۷-۲ مدل هندسی یک قاب در امتداد شرقی - غربی. .... ۲۳۳
- شکل پ ۸-۲ کانتور تغییرشکل کل ناشی از عملیات خاکبرداری پس از اتمام گودبرداری و اجرای سازه به‌روش بالا-پایین، قاب امتداد شرقی - غربی، محور ششم ۶. .... ۲۳۴





- شکل پ ۲-۹ کانتور تغییر شکل افقی ناشی از عملیات خاکبرداری پس از اتمام گودبرداری و اجرای سازه به روش بالا-پایین، قاب امتداد شرقی - غربی، محور ۵. .... ۲۳۴
- شکل پ ۲-۱۰ کانتور تغییر شکل قائم ناشی از عملیات خاکبرداری پس از اتمام گودبرداری و اجرای سازه به روش بالا-پایین، قاب امتداد شرقی - غربی، محور ۵. .... ۲۳۵
- شکل پ ۲-۱۱ ضریب اطمینان پایداری کلی پس از اتمام گودبرداری و اجرای سازه به روش بالا-پایین، قاب امتداد شرقی - غربی، محور ۵. .... FS=۷/۹ ۲۳۵
- شکل پ ۲-۱۲ نمودارهای پوش نیروی‌های محوری، برشی و لنگر خمشی در طول شمع، قاب امتداد شرقی-غربی محور ۵. .... ۲۳۶
- شکل پ ۲-۱۳ تصویری از هندسه ایجاد شده از سازه مستقر بر شمع و شرایط مرزی مناسب در اطراف ستون‌های سازه در برنامه ETABS ۲۳۷
- شکل پ ۲-۱۴ گام‌های ایجاد شده از سازه و شرایط مرزی مناسب در اطراف ستون‌های سازه در برنامه ETABS، گام اول مدفون شدن ستون‌های مستقر بر شمع سازه و گام آخر احداث پی، تکمیل طبقات زیرزمین و ۳ طبقه روسازه می‌باشد. .... ۲۳۸
- شکل پ ۲-۱۵ نیروهای نهایی محوری ایجاد شده در شمع‌های زیر ستون‌ها در آخرین گام از تحلیل سازه برای ساخت به روش بالا-پایین، تحت بارهای بدون ضریب در برنامه ETABS. .... ۲۳۸
- شکل پ ۲-۱۶ حداکثر نشست قابل پیش‌بینی با ساخت همزمان سه طبقه روسازه و تمام زیرسازه تحت نیروهای محوری ایجاد شده در شمع‌های زیر ستون‌ها در آخرین گام از تحلیل سازه برای ساخت به روش بالا-پایین، تحت بارهای بدون ضریب در برنامه ETABS. .... ۲۳۹

## فهرست جداول

### صفحه

جدول ۱-۳	برخی نکات اجرایی قابل توجه برای کار در مجاورت آب	۱۱۰
جدول ۲-۳	مشخصات انواع ژئوممبرین ها	۱۲۳
جدول ۳-۴	مقادیر حداقل روشنایی برای فضاهای مختلف کاری	۱۳۲
جدول ۳-۵	ضریب بهره‌دهی چراغ‌ها نسبت به شاخص فضا در شرایط مختلف	۱۳۳
جدول ۳-۶	ضریب نگهداری چراغ‌ها در حالت‌های مختلف	۱۳۳
جدول ۴-۱	روش‌های آزمون برجای خاک بر اساس استانداردهای ASTM و ASSHTO	۱۴۳
جدول ۵-۱	متغیرهای مورد بررسی برای تعیین شاخص آسیب	۱۶۶
جدول ۵-۲	محاسبه شاخص آسیب‌پذیری ساختمان-شاخص رفتار سازه‌ای ساختمان	۱۶۷
جدول ۵-۳	محاسبه شاخص آسیب‌پذیری ساختمان-شاخص جهت‌گیری ساختمان	۱۶۷
جدول ۵-۴	محاسبه شاخص آسیب‌پذیری ساختمان-شاخص کاربری ساختمان	۱۶۸
جدول ۵-۵	محاسبه شاخص آسیب‌پذیری ساختمان-شاخص معماری ساختمان	۱۶۸
جدول ۵-۶	محاسبه شاخص آسیب‌پذیری ساختمان-شاخص شرایط فعلی ساختمان	۱۶۹
جدول ۵-۷	جمع معیارهای شاخص آسیب‌پذیری ساختمان	۱۶۹
جدول ۵-۸	رده‌بندی توصیفی ساختمان براساس شاخص آسیب‌پذیری (تعیین کلاس ساختمان)	۱۶۹
جدول ۵-۹	طبقه‌بندی آسیب‌ها برلند و همکاران (۱۹۷۷)	۱۷۲
جدول ۵-۱۰	طبقه‌بندی ارزیابی خسارت وارد بر ساختمان قابی با پی منفرد، (رانکین، ۱۹۸۸)	۱۷۳
جدول ۵-۱۱	ارتباط بین شاخص آسیب‌پذیری و رده خرابی	۱۷۳
جدول ۵-۱۲	ماتریس تعیین دسته‌بندی ریسک ساختمان با توجه به کلاس ساختمان و رده آسیب محتمل	۱۷۴
جدول ۵-۱۳	توصیف رده‌های مختلف ریسک	۱۷۴
جدول ۵-۱۴	تشریح عملیات حفاظتی برای هریک از کلاس‌های مختلف حفاظت از ساختمان	۱۷۴
جدول ۵-۱۵	خط‌مشی حفاظت ساختمان‌ها	۱۷۵
جدول ۵-۱۶	مقادیر مجاز شیب در تاسیسات شهری	۱۷۶
جدول ۵-۱۷	مقادیر مجاز چرخش در اتصالات تاسیسات شهری	۱۷۶
جدول ۵-۱۸	مقادیر مجاز کرنش	۱۷۸
جدول ۵-۱۹	فهرست مخاطرات محتمل و حایز توجه ویژه در روش اجرای بالا-پایین	۱۹۰
جدول پ ۱-۱	مشخصات روش پایدارسازی با شیب پایدار یا پلکانی	۲۱۰
جدول پ ۱-۲	مشخصات روش پایدارسازی با سازه نگهبان خریابی	۲۱۲
جدول پ ۱-۳	مشخصات روش پایدارسازی با مهارمقابل	۲۱۴
جدول پ ۱-۴	مشخصات روش پایدارسازی با سپرکوبی	۲۱۵
جدول پ ۱-۵	مشخصات روش دیوار جداکننده	۲۱۷
جدول پ ۱-۶	مشخصات روش پایدارسازی با شمع	۲۱۹
جدول پ ۱-۷	مشخصات روشهای استفاده از ستون خاک سیمانی	۲۲۰
جدول پ ۱-۸	مشخصات روش میخکوبی دیواره	۲۲۲
جدول پ ۱-۹	ارزیابی و مقایسه کلی روشهای میخکوبی، بلوک-مهاری و شمع-مهاری برای گودهای عمیق	۲۲۴
جدول پ ۱-۱۰	مشخصات روش مهاربندی دیواره	۲۲۴
جدول پ ۱-۱۱	مشخصات روش پایدارسازی جزیره‌ای	۲۲۵
جدول پ ۱-۱۲	ویژگی‌های ژئوتکنیکی لایه‌های خاک ساختگاه پروژه	۲۳۰

## پیشگفتار مجریان

در پی رشد جمعیت، توسعه شهرها و افزایش نیاز به فضاهای اسکان بیشتر، انسان همواره برای خارج کردن دنیای خود از محدودیت و گسترش آن، تلاش کرده است. از این رو همواره ساختمان‌ها در حال بلندتر شدن و افزایش تعدد طبقات هستند. از آنجا که افزایش طبقات در ترازهای بالای سطح زمین، از نظر ضوابط و قوانین شهرسازی و با هدف رعایت منظر شهری، دارای محدودیت‌ها و ملاحظاتی است؛ در بسیاری موارد افزایش طبقات ساختمانها در ترازهای زیرزمین انجام می‌شود. این اقدام در خصوص کاربری‌هایی از قبیل پارکینگ خودروها که کمتر نیازمند نور خورشید، هوای تازه و چشم انداز مناسب می‌باشند، بسیار رایج است. اما در سال‌های اخیر، تأمین کاربری‌های دیگر در فضاهای زیرزمینی و ترازهای منفی ساختمان‌ها نیز با افزایش اقبال عمومی مواجه است و توجیه چندگانه اقتصادی، فنی و محیط زیستی برای این مقصود ارائه شده است. تا آنجا که کم‌کم آسمان‌خراشها، جای خود را به مجتمع‌های زیرزمینی بزرگ داده و در ایران نیز این رویه در حال گسترش است. به‌ویژه در شهرهای بزرگ ایران طی چند دهه گذشته، الزامات قانونی تأمین پارکینگ‌های متعدد در بناها در کنار ارزش بالای زمین، منجر به تعریف پروژه‌هایی با تعداد طبقات منفی زیاد و در نتیجه گودهای عمیق حتی تا حدود هفتاد متر شده است.

در پی این رویداد، صنعت ساختمان کشور می‌بایست در بخش فن‌آوریهای اجرا و پایدارسازی گودهای عمیق مجهز و توانمند گردد. ولی همچون بسیاری موارد مشابه، نیاز در این موضوع پیشی گرفت و قبل از ایجاد آمادگی در صنعت ساختمان کشور با فن‌آوریهای مرتبط، پروژه‌هایی تعریف و آغاز شدند. همزمان با این اتفاق و وقوع رویدادهای متعدد ناگوار و نگران کننده ناشی از گودبرداری‌های نایمن، جامعه فنی کشور اقداماتی را برای به سامان در آوردن این بخش آغاز کرد. در دهه ۷۰ اولین دستورالعمل و راهنمای مربوط به گودبرداری توسط شهرداری تهران ارائه شد. در نیمه دوم دهه ۸۰ مبتنی بر نیاز رو به توسعه سازندگان، روش‌های گودبرداری میخ‌کوبی (نیلینگ) و مهاربندی (انکراژ) رواج پیدا کرد. روش‌هایی که اگرچه تحولی در اجرای مهندسی گودهای عمیق شهری محسوب می‌شد، لیکن از نظر سطح ایمنی و قابلیت اعتماد و مناسب بودن برای مناطق شهری از اتفاق نظر در بین صاحب نظران برخوردار نبود. اما مشکل جدی‌تر این روشها، مسائل حقوقی تجاوز به محدوده ملکهای مجاور بود که پس از یک دهه حضور وافر در صنعت ساختمان، در نیمه نخست دهه ۹۰ کارآیی آنها را محدود نمود. چرا که در بسیاری موارد، یا مالکان املاک مجاور از ارائه مجوزهای لازم به عوامل پروژه خودداری می‌کردند و یا اینکه برای این مجوزها مطالبه مالی کلانی درخواست می‌نمودند که عملاً روش گودبرداری را بسیار گران و فاقد توجیه اقتصادی می‌کرد. بدین ترتیب و از آن زمان، روشهای دیگری برای پایدارسازی گود به‌عنوان جایگزین روشهای قبلی در حال ترویج هستند. یکی از این روشها، روش ساخت بالا-پایین یا تاپ-داون<sup>۱</sup> می‌باشد. روش ساخت بالا-پایین، در واقع یک الگوی معکوس اجرای سازه و یک روش اجرا است. یعنی بر خلاف روش متداول اجرای ساختمان از پایین به بالا<sup>۲</sup>، در این روش در ساختمان‌هایی که دارای طبقات

<sup>۱</sup> Top-Down

<sup>۲</sup> Bottom-Up

زیرزمین هستند، اجرای ساختمان از تراز سطح زمین و از سقف تراز همکف شروع می‌شود و به سمت پایین یعنی پی سازه و گاهی همزمان به سمت طبقات بالا ادامه می‌یابد. لیکن با توجه به آنکه قبل از خاکبرداری، عملاً بخشهای اصلی سازه اجرا می‌گردد، وظیفه محافظت از دیوارهای گود به عهده سازه اصلی است. به عبارت دیگر سازه نگهبان موقت محافظ دیواره گود حذف و همانند دوره بهره‌برداری، سازه اصلی وظیفه محافظت از خاک را به عهده می‌گیرد. از آنجایی که احداث سازه همزمان با انجام عملیات خاکبرداری در محل پروژه انجام می‌شود، مراحل اجرای پروژه پیچیده‌تر می‌شود و به‌صورت تدریجی و گام به گام پیش خواهد رفت. این مراحل نیازمند دقت بسیار و به کارگیری رویکردی کاملاً مهندسی و مبتنی بر اصول فنی است.

روش ساخت بالا-پایین در کشورهای توسعه یافته به عنوان یک روش اجرای سازه‌های زیرزمینی، در ساخت ایستگاههای مترو، ساختمانهای نیازمند گودبرداری و غیره شناخته شده است و پرکاربرد می‌باشد. این روش در ادبیات فنی به عنوان روشی که دارای مزیت ایمنی، هزینه و زمان می‌باشد، شناخته می‌شود. اما توسعه روش ساخت بالا-پایین در ایران با تغییراتی همراه شده است. در دنیا، اجرای پروژه با روش ساخت بالا-پایین اغلب با دیوار جداکننده پیرامونی همراه می‌باشد. اما در ایران به دلایل مختلف از جمله خاک نسبتاً متراکم و سیمانی (سمتته) شهر تهران که تعداد زیادی از پروژه‌های شاخص را در خود جای داده است، هزینه اجرای بالا، ارزش بالای زمین، محدودیت‌های شهری و محدودیت ابعاد زمین پروژه‌ها و عدم تناسب آن با ماشین‌آلات حفاری مربوطه، اغلب دیوار جداکننده یکپارچه وجود ندارد. به همین دلیل بنا بر اقتضائات بومی تغییراتی در راستای مناسب‌سازی روش به‌وجود آمد و با توجه به تنوع زیاد پروژه‌ها، الگوهای بومی متعددی بدین منظور شکل گرفته است. الگوهایی که بعضاً بسیار خلاقانه و بدیع هستند و در عین حال در مواردی همه جوانب فنی را منظور نکرده‌اند. ماهیت سهل‌ممتنع این روش، منجر به شکل‌گیری روش‌های اجرایی پرخطر شد و حوادثی را نیز منجر گردید. در عین حال تجارب متعدد پروژه‌های اجرا شده، ذخیره دانش ضمنی ارزشمندی را نیز در این حوزه در کشور ایجاد نمود، که البته عموماً منتشر نشده است و در اختیار عموم مهندسان و صاحب‌نظران فنی نمی‌باشد. در شرایط کنونی، شناخت دقیقی از دانشهای صریح مرتبط با این روش در بین اغلب مجریان، ناظران و سایر ذینفعان حقیقی و حقوقی ساختمان وجود ندارد. دانش‌های ضمنی بومی این روش در مواردی از چهارچوب علمی دقیقی بهره نمی‌برد. اجراهایی از این روش در برخی موارد به صورت کاملاً پرخطر انجام می‌گیرد. بنا بر ضرورت‌های فنی، مالی و به‌ویژه حقوقی، اقبال به استفاده از این روش همراه با کم‌توجهی به اصول، جزئیات اساسی و مهم آن، ظرفیتهای و محدودیتهای آن در ابعاد مختلف، در حال گسترش است.

از این رو ضروری بود در پاسخ به نیاز مبرم و واقعی موجود در صنعت ساختمان کشور، مجموعه‌ای فراهم گردد تا ضمن جمع‌آوری و تدوین دانشهای صریح و اختصاصی موجود در این موضوع، دانشهای ضمنی تولید شده را نیز تا حد امکان و با همکاری صاحبان آنها جمع‌آوری، مدون و مبتنی بر اصول فنی بررسی و بدین ترتیب الگویی مبتنی بر رویه‌های شناخته شده در جهان و نیز مناسب‌سازی شده با نیاز صنعت ساختمان کشور را جهت طراحی و اجرا با این روش ارائه نماید.

راهنمای پیش‌رو حاصل تلاش جمعی از متخصصین و فعالان مجرب صنعت ساختمان در زمینه روش اجرای بالا-پایین است که برای اولین بار تألیف، تدوین و ارائه گردیده است. شایان ذکر است این راهنما نمونه مشابهی



در دنیا نداشته و از این جنبه از نمونه‌های نادری است که تماماً مبتنی بر دانش، تجربه و نیازهای بومی تألیف گردیده است. جمع مؤلفین این امید را دارند که تلاش صورت گرفته در ارتقای دانش مهندسان در این حوزه مفید واقع شود و قدمی کوچک در ارتقای دانش فنی کشور عزیزمان باشد.

مجربان پروژه بر خود لازم می‌دانند از همه عزیزان و بزرگوارانی که برای انجام شدن این مهم، همراهی نمودند و تلاش کردند، قدردانی نمایند. نخست از همکاران محترم مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، به ویژه آقای دکتر حیدری رئیس محترم مرکز، آقای دکتر بختیاری معاون محترم تحقیقات و فناوری مرکز و آقای دکتر طاهای طباطبایی عقدا رییس محترم بخش ژئوتکنیک و زیرساخت که انجام این پروژه را ممکن ساختند. همچنین از عزیزان آقای دکتر شکرچی زاده رئیس محترم سابق مرکز، خانم دکتر ناهید عطارچیان رئیس محترم سابق بخش ژئوتکنیک و زیرساخت مرکز، آقای مهندس ابوالقاسم معزی و آقای دکتر ذکریا واعظی که در حصول نتیجه و شکل گیری این راهنما یاری کردند، تقدیر و تشکر می‌گردد.

سپس از هیات محترم داوری آقایان دکتر فاخر، دکتر قلندرزاده، دکتر کلاتری و دکتر ه زحمت مرور متن و ارائه پیشنهاد اصلاحی و تکمیلی را داشتند و موجبات اثربخشی و مفید بودن این رامیرقادی کهنما را فراهم نمودند، قدردانی می‌گردد.

در نهایت از اعضاء محترم کارگروه تألیف که در شکل یک کار گروهی، عهده‌دار زحمت جمع‌آوری مطالب و تهیه متن بوده‌اند، قدردانی ویژه می‌گردد. اعضاء محترم کارگروه به ترتیب حروف الفبا آقای دکتر بایسته، آقای مهندس پاسدارپور، آقای دکتر دهقانی، آقای مهندس عبدی، سرکار خانم دکتر علی‌طالش، آقای دکتر فرزانه می‌باشند. همچنین از کمک در ویراستاری آقای مهندس شهیدی‌خواه و از اعضای پرتلاش دبیرخانه آقایان مهندسین رحیمی و صفری نسب قدردانی می‌گردد.

مهدی رجحانی - عطاء آقائی آرائی

بهار ۱۴۰۲

## چکیده:

استفاده از فضاهای زیرزمینی با کاربری‌های مختلف همواره در جهان به دلایل محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی متعدد در حال گسترش است و کم‌کم آسمان خراش‌ها، جای خود را به زمین‌خراش‌ها یا همان مجتمع‌های زیرزمینی بزرگ می‌دهند. در ایران نیز، رشد جمعیت و توسعه شهرها، مطرح شدن معضلاتی همچون تامین پارکینگ، ارزش بالای زمین، محدودیت‌های بلندمرتبه سازی، استفاده از ظرفیت‌های زیرسطحی را تنها راه حل قرار داده است. از این رو طی حدود دو دهه گذشته همواره شاهد عمیق‌تر شدن گودهای شهری و تعدد گودهای بزرگ در مناطق شهری بوده‌ایم. در پی تعدد و تنوع اتفاقات ناگوار ناشی از گودبرداری در دهه ۷۰، دستورالعمل-هایی برای ساماندهی ضوابط فنی گودبرداری‌های شهری ترویج گردید. در نیمه دوم دهه ۸۰ با توجه به نیاز سازندگان، روشهای گودبرداری میخکوبی و مهاربندی، در ایران رواج پیدا کرد. به جز ایمنی و قابلیت اعتماد، مشکلات جدی حقوقی تجاوز به حدود ملک‌های مجاور، منجر به محدود شدن کارایی این روش‌ها پس از یک دهه حضور وافر در صنعت ساختمان شده است.

در تلاش برای یافتن روش جایگزین، روشهایی همچون روش ساخت بالا-پایین بیش از گذشته مطرح شدند. اما به کارگیری روش ساخت بالا-پایین در ایران با تغییرات همراه شد. در دنیا اجرا به روش ساخت بالا-پایین همواره با دیوار جداکننده یا دیافراگمی همراه است. اما در ایران به دلایل مختلف از جمله خاک نسبتاً متراکم و سیمانته تهران، اغلب دیوار جدا کننده وجود ندارد. به همین ترتیب تغییراتی در راستای مناسب سازی روش با اقتضائات بومی شکل گرفت. لیکن ماهیت سهل ممتنع این روش، منجر به شکل‌گیری روش‌های اجرایی پر مخاطره شده است.

از این رو در پاسخ به نیاز مبرم و واقعی موجود، تدوین راهنمای پیش رو برای طراحی و اجرای روش اجرای بالا-پایین به ویژه با مدل بومی سازی شده در ایران مورد توجه قرار گرفت.

در این راهنما ضمن تعریف دقیق این روش اجرا، اقتضائات و مشخصات آن تبیین شده است. تفاوت الگوی ایرانی با الگوی متعارف جهانی تعریف شده و نیز مزایا و معایب استفاده از آن و نحوه بررسی امکان‌پذیری اجرای آن بیان شده است. همچنین ماشین‌آلات، تجهیزات و ابزارهای مورد کاربرد در این روش، به تفصیل معرفی و جزئیات لازم اجرایی تشریح شده است. شرح دقیق اصول طراحی سازه و گود برای این روش اجرا نیز از دیگر فصول این راهنماست. در این راهنما همچنین، ملاحظات تکمیلی مورد استفاده در این روش اجرا اعم از ملاحظات مدیریتی، کنترل ریسک و پایش رفتار، نقشه برداری، تاسیساتی و ... تبیین شده است. هدف از تدوین این راهنما، گردآوری هر آن چیزی است که مهندسان طراح، مجری و ناظر برای ساخت به روش بالا-پایین به آن نیاز خواهند داشت.

### کلمات کلیدی:

گودبرداری، روش بالا-پایین، تاپ داون، روش اجرا ساختمان، سازه زیرزمینی، راهنما طراحی و ساخت

# فصل اول

## کلیات

### ۱-۱- مقدمه

راهنمای طراحی و اجرای پروژه‌ها با روش ساخت بالا-پایین، در بردارنده مجموعه اصول و فنون طراحی و اجرایی این روش است. با توجه به گسترش کاربرد این فناوری در پایدارسازی گودهای شهری در ایران و نیز تفاوت قابل توجه الگوی رایج ایرانی و بومی اجرای بالا-پایین با الگوی متعارف جهانی، لازم است مبانی این روش با رویکرد علمی و مبتنی بر اصول فنی تدوین شده و در اختیار فعالان صنعت ساخت قرار گیرد. در فصل پیش‌رو ضمن تعریف اهداف و دامنه کاربرد این راهنما، کلیاتی از روش اجرای بالا-پایین ارائه می‌گردد. این کلیات شامل معرفی روش اجرای بالا-پایین، تبیین پیشینه این روش، معرفی پروژه‌هایی در ایران، فلسفه ایجاد روش بالا-پایین، جایگاه خلاقیت و ابداعات در این روش و معرفی استانداردهای مرتبط با آن است.

روش اجرای بالا-پایین، یک روش با جزئیات فراوان اجرایی و محاسباتی است. این روش متغیرهای زیادی دارد که کاملاً وابسته به مشخصات هر پروژه است. اجرای سازه به روش بالا-پایین بسیار شبیه به اجرای سازه‌های زیرزمینی و تونلی می‌باشد و دارای ملاحظات متعدد فنی، اجرایی و تجهیزاتی عمیقاً به هم وابسته و پیچیده است. از این‌رو به نظر می‌رسد راهنمای پیش‌رو کمک مؤثری برای کاربران این روش در صنعت ساختمان باشد.

### ۱-۲- هدف

گردآوری و تدوین مجموعه پیش‌رو، با هدف ارائه راهنمای طراحی و اجرای ساختمان‌ها با روش ساخت بالا-پایین انجام شده است. البته اهداف کلانی چون جمع‌آوری و ارائه دانش فنی مستند شده جهانی در این موضوع، ثبت دانش‌های ضمنی تولید شده در کشور و نظم و انسجام بخشی به آنها در قالب یک مجموعه واحد و در نهایت ارائه الگوهای قابل قبول فنی برای استفاده مهندسان طراح، مجری و ناظر در سطح کشور نیز دنبال می‌شود. علاوه بر این موارد، بررسی و مقایسه روش‌های اجرای بالا-پایین رایج در ایران با روش‌های اصولی تعریف شده در این فناوری ارائه می‌گردد. همچنین مزایا و معایب هر یک از روش‌ها و الگوهای مختلف اجرای بالا-پایین بررسی شده و تشریح می‌گردد.

### ۱-۳- دامنه کاربرد

راهنمای پیش‌رو با رویکردی کاربردی و برای استفاده و بهره‌برداری مهندسان طراح، مجری و ناظر تدوین شده است. تلاش شده تا کلیه موارد فنی و جزئیات لازم، برای اجرای ایمن و با کیفیت پروژه‌ها به روش بالا-پایین مورد توجه باشد و الگویی نسبتاً کامل برای مراجعه مجریان و ناظران ارائه شود.

این راهنما برای مهندسان طراح و برای محاسبه و کنترل طرح سازه‌هایی که به روش بالا-پایین اجرا خواهند شد، قابل کاربرد است. همانطور که ذکر شد، روش بالا-پایین یک روش اجرای مرحله‌ای سازه است. از این‌رو می‌بایست طراحی سازه‌هایی که به این روش اجرا می‌شود، علاوه بر روش متعارف، با معیارهای بیشتر تحلیل،

طراحی و کنترل گردد.

علاوه بر این به نظر می‌رسد راهنمای حاضر برای سازمان‌ها و متولیان امور ساختمانی از قبیل شهرداری‌ها و سازمان‌های نظام مهندسی ساختمان که وظیفه ممیزی و صدور مجوزهای مربوطه را به عهده دارند، مفید باشد. در سال‌های اخیر به دلایل متعدد، پروژه‌های مختلفی برای اجرا به این روش برنامه‌ریزی شده و به این سازمان‌ها ارجاع داده شده‌اند، در حالیکه الگوی کاملی برای بررسی و اعمال ممیزی وجود نداشته است. در این راهنما معیارهای بررسی امکان‌پذیری اجرای پروژه به روش بالا-پایین، انتخاب روش مطلوب مبتنی بر شرایط پروژه، تأثیرات روش‌های مختلف اجرای بالا-پایین بر معماری و پایداری سازه، تشریح شرایط بارگذاری و فشار جانبی خاک در طول فرایند اجرای زیرزمینی و نحوه تغییرات آن، ضوابط طراحی سازه و کنترل آن در روش اجرای بالا-پایین، جزئیات اجرایی، ملاحظات ایمنی، ملاحظات حقوقی، زیست‌محیطی و مدیریتی، نیازمندی‌ها و اقتضات تجهیزاتی در روش اجرای بالا-پایین و نیز ملاحظات تأسیساتی لازم در این روش ارائه شده است.

#### ۱-۴- معرفی روش اجرای بالا-پایین

روش‌های مختلفی برای پایدارسازی گودهای عمیق از قبیل روش‌های میخکوبی، مهاربندی، سازه نگهبان خرپا و مهارمقابل و نیز روش‌های اجرای بالا-پایین وجود دارند که هر یک دارای نقاط قوت و ضعف هستند. با توجه به اینکه گودبرداری‌های عمیق سبب ایجاد تغییرات زیاد در میدان تنش و تغییرشکل‌های قابل توجه در همجواری‌های خود می‌شوند، انتخاب نوع روش پایدارسازی گود و کنترل تغییرشکل‌ها (خصوصاً در مجاورت با ابنیه) از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. شایان ذکر است معمولاً دو متغیر نشست تاج گود و تغییرشکل دیواره آن به عنوان معیار اساسی تأثیر گودبرداری بر همجواری‌ها تعریف می‌شوند. به همین دلیل معمولاً این دو متغیر در هنگام گودبرداری پایش می‌شوند. روش‌های مختلف بررسی شده پایدارسازی گود نشان می‌دهد که در اغلب موارد روش اجرای بالا-پایین عملکرد بهتری را نشان داده است<sup>۱</sup>. این روش اجرا برای کنترل تغییرشکل گودهای عمیق بسیار مؤثر است و از این رو برای محیط‌های شهری توصیه می‌گردد.

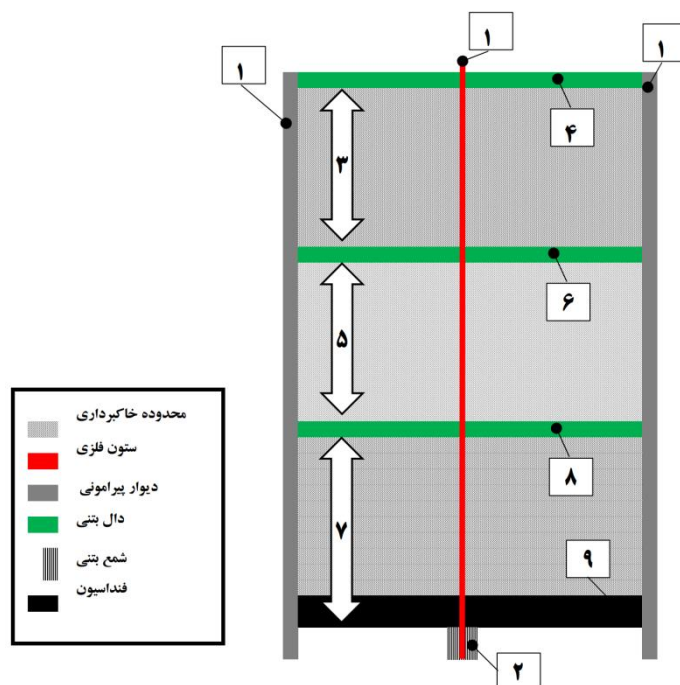
در روش اجرای بالا-پایین، سازه اصلی در نقش مهار مقابل و کنترل کننده تغییرشکل‌های دیواره گود عمل می‌کند و معمولاً اجزاء سازه‌ای مجزایی به عنوان سازه نگهبان موقت وجود ندارد یا محدود است. از این رو این روش در برخی منابع با عنوان "سازه در نقش مهار مقابل دائمی" <sup>۲</sup> SPS نیز معرفی شده است. در این روش اعمال فشار محرک یا سکون خاک از یک سو به سازه، منجر به بسیج شدن فشار مقاوم خاک در سوی دیگر سازه یا همزمانی فشار محرک بر سازه در طرفین می‌شود و بدین ترتیب پایداری کلی سازه تأمین می‌گردد.

مراحل اجرای سازه زیرزمین در روش بالا-پایین، شامل اجرای ستون‌ها، خاکبرداری یک طبقه از زیرزمین، اجرای دیوار پیرامونی و اجرای سقف زیرزمین اول و سپس انجام فرایند تکراری خاکبرداری و اجرای دیوار پیرامونی و سقف طبقات زیرین بعدی تا رسیدن به تراز پی و اجرای پی اصلی سازه است. در شکل (۱-۱) به صورت شماتیک فرایند ساخت از بالا-پایین متعارف در جهان برای یک ساختمان با سه طبقه زیرزمین نشان

<sup>۱</sup> Long, 2001

<sup>۲</sup> Structure as permanent Strut





شکل ۱-۱ مراحل مختلف اجرا در روش بالا-پایین

در این روش در صورت اجرای دیوار یکپارچه پیرامونی به صورت دیوار جداکننده<sup>۱</sup> قبل از هرگونه عملیات خاکی، عملاً ناپایداری موضعی خاک وجود ندارد. به کمک سختی سقف‌های سازه اصلی، تغییرشکل‌های دیواره خاکی پیرامونی کنترل می‌شود. همچنین از دیوار حائل پیرامونی در نقش اجزاء باربر ثقلی سازه اصلی نیز استفاده می‌شود. در ادامه برخی از ویژگی‌های روش بالا-پایین تشریح شده است.

- در روش بالا-پایین با حذف کامل سازه نگهدار موقت و بهره‌برداری از سازه اصلی برای پایدارسازی گود در مراحل ساخت و فراهم کردن امکان ساخت همزمان روسازه با زیرسازه و بهره‌برداری مرحله‌ای، در هزینه ساخت صرفه‌جویی می‌شود که اقدام مهمی در مدیریت هزینه محسوب می‌گردد.
- روش بالا-پایین در شرایطی که محدودیت‌های حقوقی و حفاظتی برای همجواری‌های گود وجود دارد، یا فضای کاری یا زمان اجرای پروژه محدود است، کاربرد زیادی دارد.
- با حذف سازه نگهدار موقت، روش بالا-پایین منجر به کاهش مصرف مصالح مورد استفاده در پایدارسازی گود خصوصاً فولاد و سیمان شده و در مقیاس کلان، منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و تولید کمتر گازهای گلخانه‌ای و دی اکسید کربن می‌گردد و از این رو روشی سبز و در راستای توسعه پایدار محسوب می‌شود.

علاوه بر ماهیت ایمن روش بالا-پایین، وجود اندرکنش‌ها و نیروی عظیم اصطکاکی دیوار پیرامونی طبقات زیرزمین با خاک اطراف در جهت افقی و قائم، در جهت ایمنی بیشتر سازه تحت بارهای ثقلی و جانبی است. البته این نیروها همواره وجود دارد. اما در روش بالا-پایین، این نیروها نقش موثرتری در پایداری کلی سازه و

<sup>1</sup> Diaphragm wall

افزایش ایمنی آن در طول دوره ساخت دارد و منجر به پایداری بیشتر سازه تحت بار جانبی ناشی از فشار خاک می‌گردد (شکل ۱-۲).

در روش بالا-پایین احداث سازه هم زمان با عملیات خاکی انجام می‌شود. بنابراین کارایی در این روش به شدت تابع کارایی عملیات خاکی و عملیات اجرای سازه است. همواره در روش بالا-پایین، انتخاب دسترسی‌های مناسب به فضاهای زیرزمینی، روش و تجهیزات مناسب خاکبرداری و تخلیه خاک، نقش مهمی در موفقیت پروژه و به خصوص مدیریت زمان و هزینه دارد.

از منظر مدیریت ساخت و مسایل کنترل پروژه، گودبرداری در این روش از مسیر بحرانی پروژه خارج می‌شود و امکان مناسبی برای مدیریت بهتر زمان پروژه و تسریع عملیات ساخت است.

روش بالا-پایین یک روش اجرا بسیار پویا و نوآورانه است و همواره نوآوری‌های متعددی درباره آن با هدف بهینه‌سازی و ارتقای روش در حال انجام است.



اندرکنش خاک-سازه در سافت بالا به پایین  
نیروی عظیم اصطکاکی افقی بر روی زیرسازه



اندرکنش خاک-سازه در سافت بالا به پایین  
نیروی عظیم اصطکاکی (رو به بالا) بر روی زیرسازه

شکل ۱-۲ اندرکنش اصطکاکی وارد به بلوک زیرسازه

از روش اجرای بالا-پایین با عناوین مختلفی از قبیل بالا به پایین<sup>۱</sup>، بالا-پایین<sup>۲</sup>، ساخت معکوس (رو به پایین)<sup>۳</sup>، روش روسازه-زیرسازه، در ادبیات فنی نامبرده شده است.

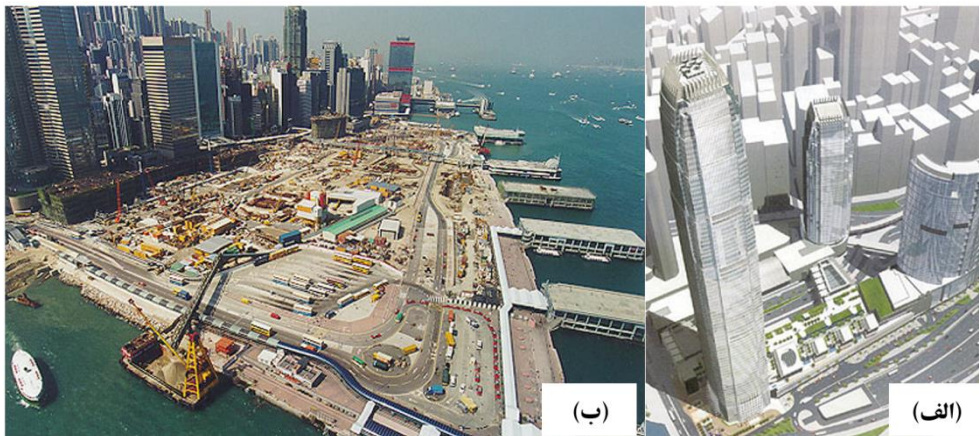
از جمله پروژه‌های اجرا شده با روش بالا-پایین در سراسر دنیا می‌توان به ساختمان دفتر مرکزی شرکت بانکداری (هنگ کنگ - شانگهای) در هنگ کنگ، ساختمان زینگیه بانک شانگهای<sup>۴</sup>، مرکز خرید گالریز<sup>۵</sup> لندن، بلوک اداری خیابان ویکتوریا لندن، مرکز کنفرانس کوئین الیزابت در ویست مینستر لندن، مرکز آلفا-آربت<sup>۶</sup> روسیه، فستیوال واک<sup>۷</sup> هنگ کنگ، آی اف سی (مرکز تجارت بین‌المللی)<sup>۸</sup> هنگ کنگ، برج بایتکسکو<sup>۹</sup> در

- 1 Top (Up) to Down (Bottom) Construction
- 2 Top (Up) - Down (Bottom) Construction
- 3 Reverse (Downward) Construction
- 4 Shanghai Xingye Bank
- 5 Galleries shopping center
- 6 Alfa-Arbat-Center
- 7 Festival Walk
- 8 International Finance Center
- 9 Bitexco



اسکای سیتی<sup>۱</sup> ویتنام، رویال سیتی<sup>۲</sup> ویتنام، ایستگاه ام آر تی ویستا بونا<sup>۳</sup> در سنگاپور، مرکز آئودی<sup>۴</sup> در جنوب فنلاند، هالیوود پلازا<sup>۵</sup> در آمریکا و پروژه‌های بسیار زیاد دیگری در نقاط مختلف دنیا از این روش استفاده کرده‌اند.

به‌عنوان یک مثال از روش ساخت بالا-پایین تصاویری از مرکز تجاری آی اف سی (ساختمان مرکز تجارت بین‌المللی) هنگ کنگ که یک مجموعه هتل و ساختمان تجاری است و در مجاورت بندرگاهی در هنگ کنگ قرار گرفته است در شکل‌های (۳-۱) تا (۷-۱) نشان داده شده است. ساخت این برج که سومین برج بلند دنیاست سال ۱۹۹۷ آغاز شد و در سال ۲۰۰۳ پایان گرفت.



شکل ۳-۱ الف) نمایش گرافیکی مرکز تجارت بین‌المللی و طرح توسعه کامل آن، ب) نمای محیطی طرح توسعه ساختمان IFC در هنگ کنگ.



شکل ۴-۱ انجام حفاری طبقه زیرزمین. خاک در زیر تراز دال طبقه همکف حفاری می‌شود. کامیون‌ها برای حمل خاک در بالا و تراز زمین کنار بالابر خاک قرار می‌گیرند.

- 1 Sky City
- 2 Royal Cit
- 3 MRT Buona Vista
- 4 Audi Center
- 5 Hollywood Piazza

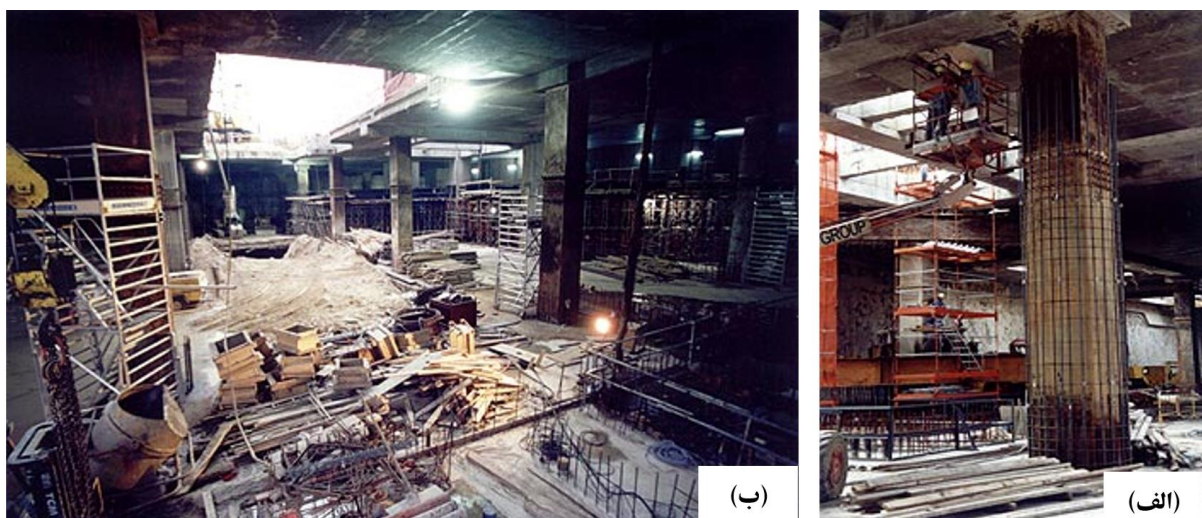




شکل ۵-۱ (الف) انتقال خاک برداشته شده از داخل بازشدگی توسط جرثقیل، (ب) دال سقف سه طبقه زیرزمین، خاک زیر پایین ترین دال در حال حفاری است و در مرکز جمع‌آوری می‌شود تا توسط بالابر به سطح منتقل گردد.



شکل ۶-۱ انجام خاکبرداری زیر دال اجرا شده در حالیکه ستون‌ها و سقف طبقات فوقانی اجرا شده است.



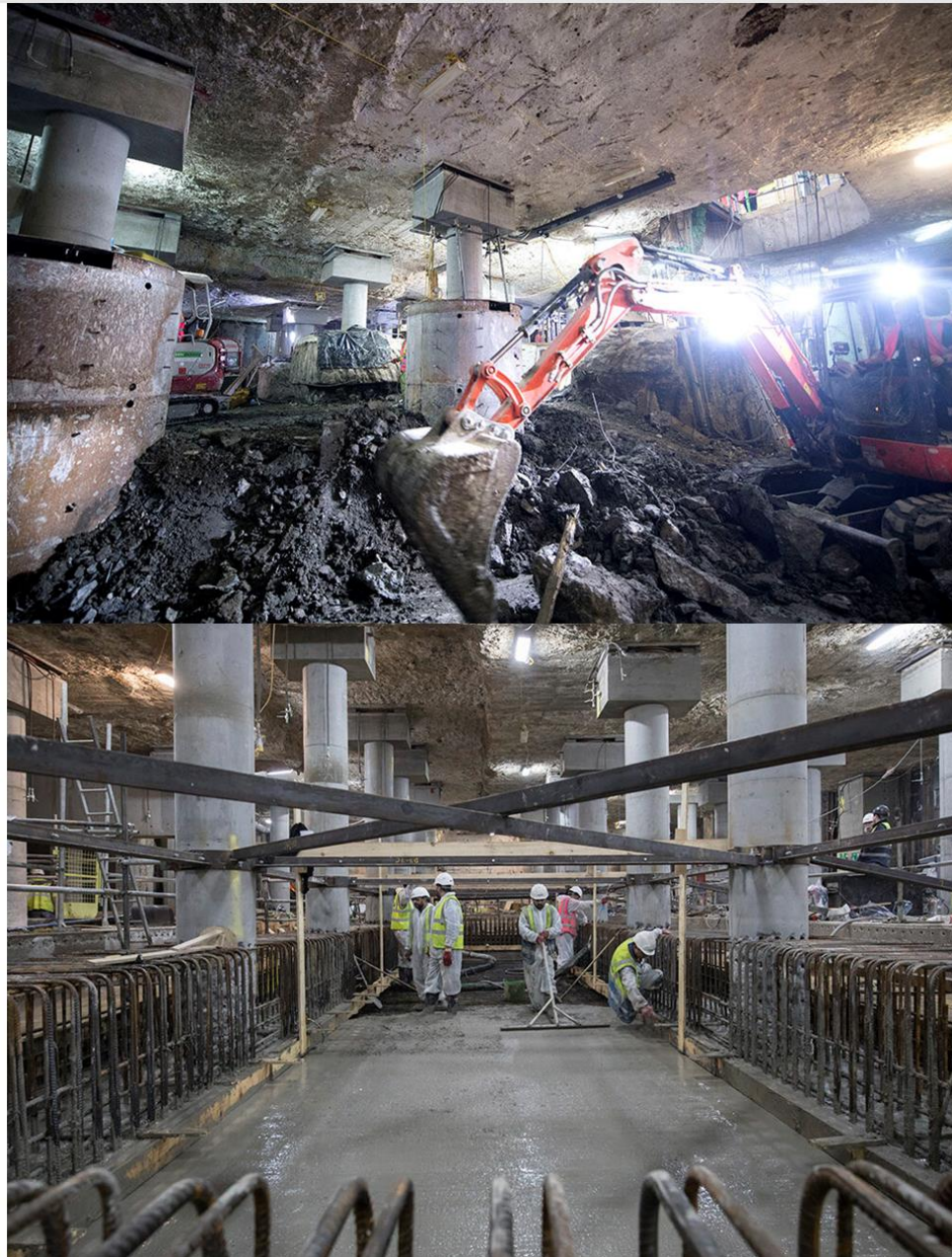
شکل ۷-۱ (الف) اجرای فرآیند بالا-پایین در طبقات زیرزمین. شمع‌های فولادی که پیش از اجرای خاکبرداری نصب شده‌اند در این تصویر دیده می‌شوند که دال سقف‌ها را نگاه می‌دارند. (ب) شمع فولادی که توسط بتن مسلح در بر گرفته می‌شود و به‌عنوان ستون دائم طبقه زیرزمین کامل می‌گردد.





شکل ۸-۱ مرکز آلفا-آربت<sup>۱</sup> روسیه، مسکو، ۵ طبقه زیرزمین. فرایندها و مراحل مختلف اجرایی در طبقات مختلف بطور همزمان

<sup>۱</sup> Alfa-Arbat-Center



شکل ۹-۱ طرح توسعه هتل کلاریج لندن. احداث ۵ طبقه زیرزمین با عمق گودبرداری حدود ۲۲ متر در زیر بنای تاریخی موجود و با حفظ آن

### ۵-۱- پیشینه روش اجرای بالا-پایین

#### ۱-۵-۱- پیشینه روش بالا-پایین در جهان

الگوی معمول<sup>۱</sup> روش بالا-پایین در جهان مطابق رویه شرح داده شده در شکل (۱-۱) است. مبتنی بر بررسی پروژه‌های مختلف و مقالات متعدد، در الگوی متعارف، اجرا همواره با ساخت دیوار پیرامونی یکپارچه، به یکی از روش‌های دیوار جداکننده<sup>۲</sup>، دیوار متشکل از شمع‌های مجاورتی<sup>۳</sup> و یا سپرهای فولادی شروع می‌شود.

<sup>۱</sup> Conventional practice

<sup>۲</sup> Diaphragm wall

<sup>۳</sup> Secant Pile





بر اساس مستندات موجود، مفهوم روش ساخت بالا-پایین اولین بار در کشور ژاپن در سال ۱۹۳۵ و با هدف کوتاه کردن دوره ساخت و فشرده‌سازی زمان‌بندی مطرح و به‌کار گرفته شده است. ۱۵ سال بعد در سال ۱۹۵۰، یک شرکت ایتالیایی برای گودبرداری در شهر میلان در زیر تراز آب زیرزمینی، ایده روش بالا-پایین را با دیوار جداکننده تلفیق و استفاده نمود. از آن به بعد، روش بالا-پایین در ساخت ایستگاه‌های مترو در شهرهای پاریس و میلان، به‌منظور کاهش زمان و هزینه‌های اجرایی و کاهش اختلال در ترافیک شهری و زندگی مردم به کار گرفته شد؛ و به‌دلیل مزایای آن در پروژه‌های بزرگ، عملاً جایگزین روش ساخت سنتی در کشورهای صنعتی گردید. این روش در دنیا برای ساخت سازه‌های زیرزمینی و برج‌های بلند با زیرزمین‌های عمیق، متداول است و عمده‌تاً در زمین‌های سست که نیاز به اجرای سازه محافظ گود جهت جلوگیری از ریزش دیوارهای خاکی وجود دارد، از اقبال فوق‌العاده‌ای برخوردار است.

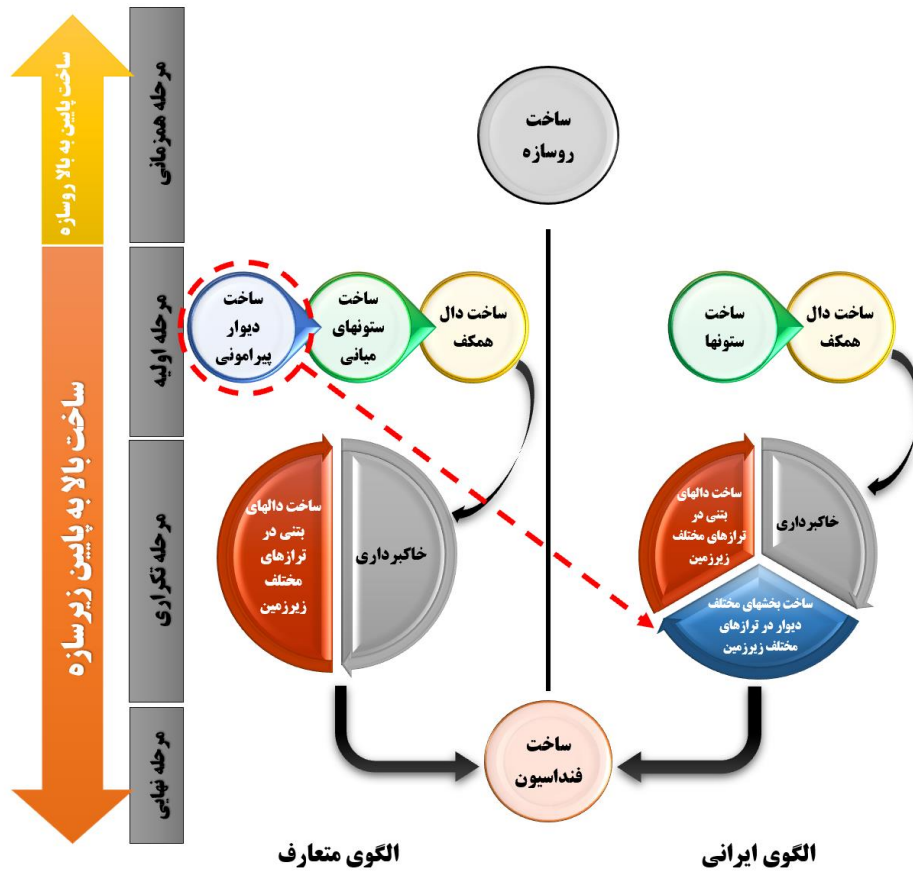
همچنین این روش صرفاً به‌عنوان یک فناوری برای احداث پروژه‌های جدید نیست؛ بلکه می‌توان از آن به‌عنوان یک روش کارآمد در توسعه بناهای قدیمی نیز استفاده نمود. بدین ترتیب که با حفظ بنای موجود، اقدام به احداث طبقات زیرزمین و توسعه بنا در زیر سازه موجود نمود. در کشور انگلستان بناهای تاریخی بسیاری به این شیوه در طبقات زیرزمین توسعه یافته‌اند.

#### ۱-۵-۲- به‌کارگیری و توسعه روش بالا-پایین در ایران

اجرای بالا-پایین بر اساس الگوی متعارف جهانی در ایران با پروژه‌های زیرساختی از قبیل پل‌ها و تونل‌ها آغاز شد. با توسعه قطار شهری و ساخت ایستگاه‌ها و خطوط آن از دهه هفتاد شمسی، کاربرد این روش برای ساخت بناهای زیرزمینی چند طبقه نیز توسعه بیشتری پیدا کرد. در تمام این موارد، الگوی اجرا بر اساس رویه متعارف بود. از اواسط دهه هشتاد که روش‌های پایدارسازی گودهای عمیق معمول در کشور، همچون میخ‌کوبی و مهاربندی، با مشکلات حقوقی روبرو شد، کاربرد روش اجرای بالا-پایین در ساخت ساختمان‌ها و به‌منظور پایدارسازی گودها رواج یافت و از آن زمان کاربرد این روش همچنان در حال توسعه بوده است. البته به‌کارگیری روش اجرای بالا-پایین در صنعت ساختمان ایران، تماماً منطبق بر الگوی جهانی صورت نگرفت. بلکه بر اساس نیازمندی‌های بومی و تعدد پروژه‌های متوسط شهری، با خلاقیت مهندسان ایرانی دستخوش تغییراتی شد و الگوی متفاوتی از اجرای بالا-پایین به‌کار گرفته شد.

الگوی بومی یا ایرانی اجرای بالا-پایین تفاوت عمده و مهمی با الگوی معمول دارد. همانطور که در شکل (۱-۱۰) نشان داده شده است، در الگوی ایرانی، اولین مرحله اجرای بالا-پایین در روش متعارف یعنی اجرای دیوار پیرامونی یکپارچه، با اجرای متوالی و مرحله به مرحله دیوار جایگزین شده است. چنانچه در شکل (۱-۱۰) مشاهده می‌گردد، هر پروژه بالا-پایین شامل دو بخش کلی است. بخش اجرای بالا-پایین که به بخش زیرسازه اختصاص دارد و بخش اجرای پایین به بالا که به بخش روسازه مربوط می‌شود. روسازه ممکن است بنا بر نظر مدیران پروژه همزمان با اجرای زیرسازه اجرا شود و یا نشود. اما در بخش اجرای بالا-پایین زیرسازه، سه مرحله وجود دارد؛ مرحله اولیه، مرحله تکراری و مرحله نهایی (شکل ۱-۱۰). در الگوی معمول، مرحله اولیه شامل اجرای دیوار پیرامونی یکپارچه، اجرای ستون‌های میانی و اجرای دال کف طبقه همکف است. در مرحله

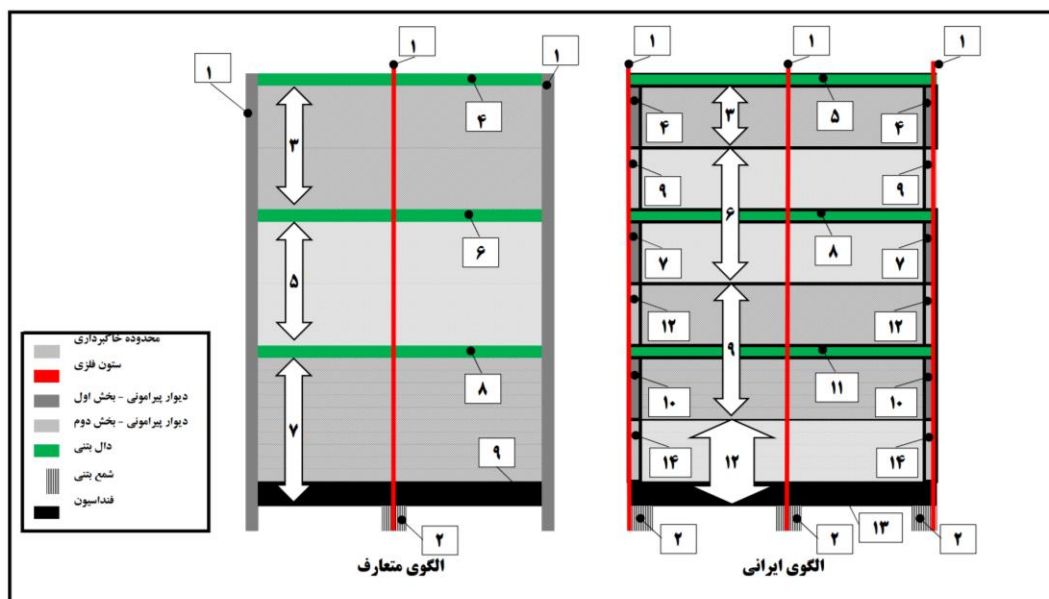
تکراری خاکبرداری و اجرای دال طبقات زیرسازه به تکرار انجام می‌شود. در مرحله نهایی نیز پی اصلی سازه احداث می‌گردد. اما همانطور که در شکل (۱-۱۰) ملاحظه می‌گردد، در الگوی بومی اجرای دیوار پیرامونی یکپارچه از مرحله اولیه حذف و با اجرای تدریجی دیوار پیرامونی در مرحله تکراری جایگزین می‌شود. در واقع در الگوی ایرانی مرحله اولیه شامل حفاری چاه و اجرای ستون‌های پیرامونی و میانی با شالوده عمیق زیر آنها و نیز اجرای سقف اولین زیرزمین است. در مرحله تکراری خاکبرداری و اجرای متوالی دیوار و سقف زیرسازه انجام می‌شود. در مرحله نهایی نیز پی اصلی سازه اجرا خواهد شد.



شکل ۱-۱۰ مقایسه الگوی معمول و بومی (ایرانی) روش ساخت بالا-پایین

بر اساس این تغییر در الگوی ایرانی، علاوه بر تغییرات فرایند اجرا، تغییراتی در رفتار سازه و خاک ایجاد می‌شود. بنابراین ملاحظات و نکاتی در طراحی نسبت به حالت معمول اضافه می‌گردد. به عبارت دیگر در الگوی بومی، در مرحله خاکبرداری، هیچ سازه و پوشش محافظی مقابل خاک وجود ندارد. بنابراین خاک هر بخش حفاری شده در مدت زمانی در طول فرایند اجرا، نمایان شده و در فاصله بین ستون‌ها در معرض قرار می‌گیرد. بدین ترتیب عملکردی از خاک شکل می‌گیرد که در روش متعارف بالا-پایین وجود ندارد و از ظرفیت خودپایداری خاک و زمان خود ایستایی آن بهره‌برداری می‌شود. در ادامه الگوی بومی بالا-پایین با روش متعارف در قالب یک سازه با سه طبقه منفی مطابق شکل (۱-۱۱) مقایسه شده است.





شکل ۱-۱۱ مقایسه مراحل مختلف اجرا در الگوی معمول و بومی (ایرانی) بالا-پایین

با توجه به اینکه در این روش، خاکبرداری در زمانی انجام می‌شود که دیوار پیرامونی وجود ندارد، اهمیت نگرش مشاهده‌ای<sup>۱</sup> و کنترل‌پایداری موضعی دیوارها، در طراحی و اجرا بیش از الگوهای دیگر است. به عبارت دیگر لازم است پاسخ‌های مدل‌سازی‌های انجام شده با پاسخ‌های واقعی مشاهده شده مستمراً کنترل شود و مبتنی بر مشاهدات، در صورت نیاز مراحل خاکبرداری و عملیات اجرایی اصلاح گردد.

شایان ذکر است اگرچه اغلب پروژه‌های بالا-پایین اجرا شده با الگوی بومی مبتنی بر وضعیت ژئوتکنیکی خوب محدوده شهری تهران، انجام شده است، لکن کاربرد الگوی معمول و متعارف جهانی نیز همچنان جایگاه خود را دارد. به عبارت دیگر کاربرد این روش در شرایط ژئوتکنیکی نسبتاً ضعیف یا نواحی با سطح آب زیرزمینی بالا، از قبیل مناطق شمالی و جنوبی ایران، الزاماً با الگوی متعارف امکان‌پذیر است و وجود دیوار جداکننده ضروری است. البته این دیوار می‌تواند با فناوری پنل‌های بتنی درجا یا شمع‌های مجاورتی نیز اجرا شود.

### ۱-۶- معرفی پروژه‌هایی در ایران

طی سال‌های اخیر پروژه‌های ساختمانی متعددی با سیستم‌های مختلف سازه‌ای به روش بالا-پایین در ایران اجرا شده‌اند. در این بخش نمونه‌هایی از پروژه‌های انجام شده با روش‌های مختلف معرفی شده است. اغلب پروژه‌های انجام شده در ایران عمدتاً بر اساس الگوی بومی و ایرانی ساخته شده است، لیکن نمونه‌هایی از اجرا بر مبنای الگوی جهانی نیز وجود دارد. از جمله نمونه‌های اجرا شده با الگوی بومی، سازه اسکلت فولادی با سقف وافل یا تیر و دال، اسکلت بتنی با ستون‌های بتنی پیش‌ساخته یا نیمه‌پیش‌ساخته، اسکلت بتنی با اجرای درجا و یا اجرای اسکلت با مقطع مختلط بتنی - فولادی یا ستون‌های بتنی با هسته فولادی (SRC<sup>۲</sup>) می‌باشد. در ادامه تصاویری از این پروژه‌ها ارائه شده است.

<sup>۱</sup> Observational

<sup>۲</sup> Steel Reinforced Concrete



شکل ۱-۱۲ پروژه یوسف آباد - الگوی بومی - اسکلت مختلط فولادی-بتنی (CFT)، سقف وافل و استفاده از پنل‌های نیمه‌پیش‌ساخته دیوار حائل به عنوان اجزای کمکی مابین ستون‌های اصلی - عمق گودبرداری ۱۷ متر



شکل ۱-۱۳ پروژه پارکینگ طبقاتی نیایش - الگوی بومی - اسکلت بتنی با ستون‌های پیش‌ساخته - عمق گودبرداری ۳۵ متر



شکل ۱-۱۴ پروژه شریعتی، فلسفی- الگوی بومی - اسکلت مختلط بتنی - فولادی (SRC) - عمق گودبرداری ۳۴ متر





شکل ۱-۱۵ پروژه اندرزگو- الگوی بومی - اسکلت مختلط بتنی فولادی (SRC) - عمق گودبرداری ۱۸ متر.



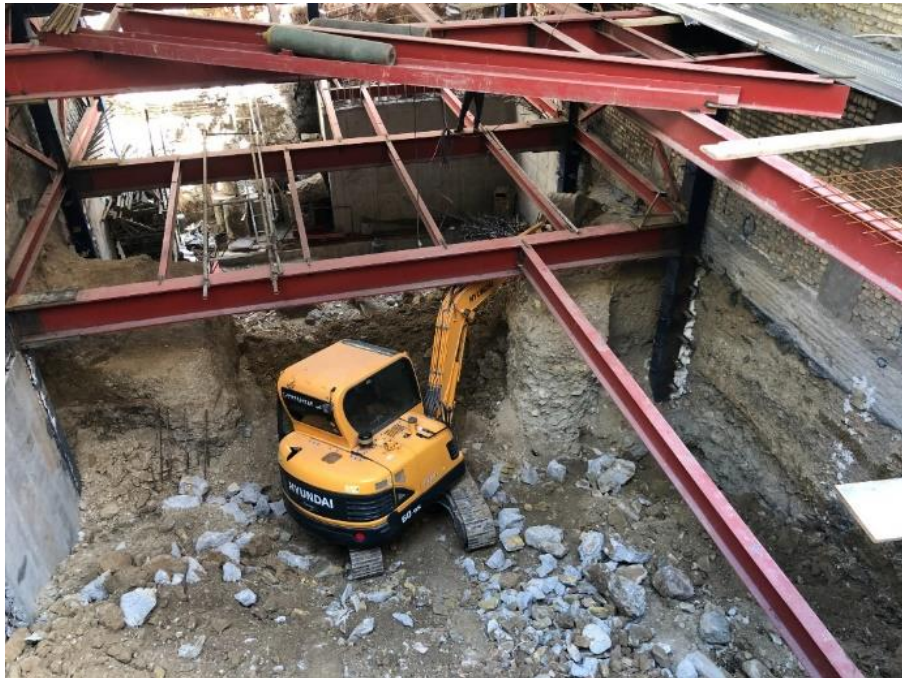
شکل ۱-۱۶ پروژه پاسداران - الگوی بومی - اسکلت فلزی- سقف عرشه فولادی- عمق گودبرداری ۱۸ متر.



شکل ۱-۱۷ پروژه دیباجی جنوبی - الگوی بومی- اسکلت بتنی با ستونهای درجاریز- عمق گودبرداری ۱۴ متر



شکل ۱۸-۱ پروژه شهید کلاهدوز - الگوی بومی - اسکلت فلزی - سقف طبقات زیرزمین دال وافل، عمق گودبرداری ۲۲ متر



شکل ۱۹-۱ پروژه الهیه- الگوی بومی - اسکلت فلزی - سقف عرشه فولادی، عمق گودبرداری ۷ متر (مساحت زمین ۱۰۰ متر مربع).





شکل ۱-۲۰ پروژه صادقیه- الگوی بومی - اسکلت فلزی- سقف عرشه فولادی- عمق گودبرداری ۷ متر- استفاده از پتل های نیمه پیش ساخته بتنی با عرض ۱ متر به صورت مدفون و به عنوان بخشی از دیوار حائل سازه (مساحت زمین ۸۰ متر مربع).

## ۱-۷- مفاهیم اساسی روش و فلسفه ایجاد آن

فلسفه به کارگیری روش بالا-پایین در ساخت ساختمان‌ها و پایدارسازی گودهای ساختمانی، استفاده از سازه اصلی برای پایدارسازی دیواره گود است. به عبارت دیگر در این روش، در دوره ساخت نیز مشابه زمان بهره‌برداری، خاک به سازه اصلی تکیه می‌کند و از ظرفیت سازه اصلی برای پایداری دیواره خاکی بهره‌برداری می‌شود. بدین ترتیب اجزای سازه‌ای اختصاصی برای محافظت موقت از خاک وجود ندارد. به علت سختی بالای سازه، در روش بالا-پایین تغییرشکل‌های ایجاد شده در اطراف گود کاهش می‌یابد. اندازه‌گیری‌های گسترده میدانی و تحلیل‌های عددی مختلف نشان می‌دهد، با توجه به سختی بسیار زیاد سقف‌ها، روش بالا-پایین در کنترل تغییرشکل‌های دیواره گود و نیز نشست زمین اطراف مؤثر است و کمترین مقدار تغییرشکل را منجر می‌شود. از این رو روش اجرای بالا-پایین یکی از ایمن‌ترین روش‌های گودبرداری و ساخت سازه برای محیط‌های متراکم و حساس شهری محسوب می‌گردد.

## ۱-۸- جایگاه خلاقیت و ابداعات در روش اجرای بالا-پایین

اجرا با روش بالا-پایین، به علت اندرکنش زیاد عملیات خاکی و اجرای سازه و نیز صعوبت‌های عملیات زیرزمینی از پیچیدگی و تنوع زیادی برخوردار است و نوآوری در انجام بهینه آن، به طور پیوسته مورد توجه است. محققان و مهندسان بسیاری با رویکرد خلاقانه در پی اصلاح و ارتقای کارایی این روش هستند. برخی از پژوهشگران از قبیل لی و همکاران در ۱۹۹۹ و هونگ و همکاران در ۲۰۱۰ با نوآوری در روش‌های ساخت سازه، برای ارتقای کارایی روش تلاش کرده‌اند. محققان دیگری مثل ونگ و همکاران در ۲۰۰۶ به ارتقا کارایی

عملیات خاکی پرداخته‌اند. همچنین ژو در ۲۰۱۰ با تغییری اساسی‌تر، روش ترکیب بالا-پایین و پایین به بالا را در قالب روش ساخت جزیره‌ای مطرح می‌کند. پژوهشگران بسیاری نیز با مطالعه عددی سه‌بعدی به مقایسه روش بالا-پایین با روش پایین به بالا از دیدگاه‌های مختلف پرداخته‌اند.

هدف همه این تحقیقات، شناخت بهتر رفتار، اصلاح، بهبود و ارتقای کارایی روش اجرای بالا-پایین می‌باشد. همان‌گونه که پیش‌تر مطرح شد ماهیت روش بالا-پایین، خلاقانه و همراه با نوآوری‌های مستمر برای کارایی بیشتر است. با توجه به هزینه قابل توجه اجرای دیوار جداکننده به صورت یکپارچه، الگوی ایرانی روش بالا-پایین نیز محصول خلاقیت مهندسان برای کاهش این هزینه در خاک‌های نسبتاً متراکم و سیمانی و استفاده از ظرفیت مقاومتی خاک است. روش اجرای بالا-پایین همچنان با نوآوری در حال تکامل است.

در این راهنما تلاش شده است ضمن تبیین اصول و قواعد ضروری این روش اجرا، از ایجاد مانع برای نوآوری بیشتر در این روش اجتناب گردد. از جمله مصادیق نوآوری در این روش، می‌توان به استفاده از تراز کننده‌های سرچاهی به‌منظور نصب معلق ستون‌ها در سر چاه، ابداع اتصالات سازگار با نصب مدفون ستون‌های فولادی داخل چاه، قالب‌های معلق برای بتن ریزی دال سقف به منظور امکان همزمانی عملیات خاکبرداری با عملیات بتن‌ریزی و عمل‌آوری در سقف‌های بتنی، مقاطع نیمه‌پیش‌ساخته بتنی به منظور کاهش وزن و سهولت نصب نسبت به مقاطع کاملاً پیش‌ساخته بتنی اشاره کرد.

### ۹-۱- روش بالا-پایین در استانداردها

این روش در استاندارد کشور انگلستان، (BS:8002 2015) به‌عنوان یک روش محافظت از دیواره‌های خاکی معرفی شده است. در استانداردها، آیین‌نامه‌ها و سایر ضوابط فنی در جهان، در این خصوص مطالبی مشاهده نشده است.

## فصل دوم

### ویژگی‌های روش بالا-پایین و امکان‌سنجی

#### ۲-۱-۱- مقدمه

در فصل قبل، کلیات روش اجرای بالا-پایین معرفی شد. به پیشینه و روند شکل‌گیری آن اشاره و تفاوت‌های الگوی رایج در ایران با الگوی متعارف جهانی تبیین و برخی از پروژه‌های اجرای بالا-پایین معرفی گردید. همچنین، با مرور برخی ویژگیها و مفاهیم اصلی این روش، اهمیت نوآوری در این روش اشاره شد. در ادامه معرفی این روش و ایجاد آمادگی بیشتر برای ورود به جزئیات درباره روش بالا-پایین، در این فصل ابعاد مهم و موضوعات اصلی مطرح در روش بالا-پایین تشریح خواهد شد؛ مزیتها و محدودیتهای روش بررسی می‌شود و نهایتاً مبتنی بر موارد اشاره شده، معیارهای بررسی امکان‌پذیری به کارگیری روش اجرای بالا-پایین در پروژه‌ها تبیین می‌شود. همچنین تأثیر نوع سازه و انواع مختلف اجرای سازه‌ها در این روش اجرا مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. با مرور این فصل، تصویر کلی این روش اجرا، تقریباً کامل شده است و در فصول آتی به جزئیات بیشتر این روش پرداخته خواهد شد.

#### ۲-۲- موضوعات اصلی در روش اجرای بالا-پایین

چنانچه پیش از این ذکر شد، روش بالا-پایین، یک روش اجرا؛ متشکل از یک سلسله فرایندها است و اقتضائاتی را در پی دارد. بر این اساس در این بخش، ویژگی‌های مهم این روش اجرا معرفی می‌گردد. آشنایی با این ویژگی‌ها، برای شناخت مسائل و موضوعات فنی و حساسیت‌های مرتبط با آن مهم است.

#### ۲-۲-۱- سازه اصلی در نقش سازه نگهدارنده

مهم‌ترین ویژگی روش اجرای بالا-پایین، بهره‌برداری از سازه اصلی در نقش سازه نگهدارنده و نگه‌دارنده دیواره خاکی است. البته در اغلب پروژه‌های ساختمانی در دوره بهره‌برداری همین‌گونه است و سازه اصلی بارهای دیواره خاکی را تحمل می‌کند. لیکن تفاوت در دوران ساخت پروژه است. وقتی روش اجرای سازه بالا-پایین نیست و اجرای سازه متعارف است، یک سازه نگهدارنده موقت وجود دارد که بارهای دیواره خاکی را تا زمان ساخت سازه اصلی تحمل می‌کند. سازه نگهدارنده موقت می‌تواند خرپا، مهار متقابل، دیواره میخ‌کوبی شده یا مهار بندی شده باشد.

#### ۲-۲-۲- اجرای مرحله‌ای سازه در بالا-پایین

در روش اجرای بالا-پایین، چنانکه از نامگذاری آن هم مشخص است، هم سازه در بخش زیرزمین بر خلاف رویه معمول از بالا به سمت پایین و به تدریج همزمان با عملیات خاکبرداری اجرا می‌گردد و هم همزمان از تراز همکف به سمت بالا و پایین اجرا می‌شود. مبتنی بر این تغییر در روش اجرا، تفاوت‌هایی در تقدم و تأخر فرایندها و فنون اجرایی رخ می‌دهد. همچنین سازه اصلی در طول فرایند ساخت در حالات و شرایط متعدد و

متفاوتی قرار می‌گیرد، که لازم است در هر حالت، توانایی تحمل بارهای اعمال شده در هر مرحله را داشته باشد. به عبارت دیگر بار ناشی از خاک و نیز بارهای مرده و زنده سازه، در دوران ساخت بایستی توسط یک سازه تکمیل نشده تحمل شود. از این رو لازم است سازه برای این شرایط کنترل و ملاحظات لازم در تحلیل و طراحی اندیشیده شود.

### ۲-۲-۳- پایداری و کنترل تغییر شکل های سازه موقت

ظرفیت باربری و سختی سازه در دوره ساخت معمولاً کمتر از ظرفیت و سختی نهایی آن است. از این رو پاسخ سازه تحت بارهای موقتی دوران ساخت، نامشخص است. ممکن است سازه‌ی در حال ساخت، ناشی از بارگذاری بسیار کمتر از بارگذاری نهایی، تحت تنش‌ها و تغییر شکل‌های غیر مجاز قرار گیرد. و یا حتی امکان دارد در بعضی شرایط، سازه ناپایدار گردد. از این رو لازم است سازه برای مراحل مختلف اجرا کنترل گردد. بنابراین، انتخاب شرایط بحرانی و کنترل آنها از پیچیدگی‌های تحلیل و طراحی این روش اجرا محسوب می‌شود و طراح باید مهارت و تسلط زیادی در زمینه طراحی و نیز ملاحظات و گام‌های اجرایی این روش داشته باشد. شایان ذکر است فرآیندهای مربوطه نیازمند دقت زیادی هستند.

### ۲-۲-۴- کار در زیرزمین و اجرای زیرزمینی

در شرایطی که سازه بالا-پایین اجرا می‌گردد، بخش بزرگی از فرآیند ساخت، در زیر زمین انجام می‌شود و در واقع یک پروژه زیرزمینی در حال انجام است. بدین ترتیب الزامات و شرایط ساخت و ساز زیرزمینی و پروژه‌های زیرسطحی، در این روش اجرا نیز وجود دارد. یکی از محدودیت‌های کار زیرزمینی، فضای کاری محدود است. در کارهای زیرزمینی محدوده عملیات از جهات مختلف ابعادی و ارتفاعی دارای محدودیت است. از این رو لازم است چرخه فعالیت‌ها و گردش عملیات با دقت زیاد انجام شود تا تداخل‌ها به حداقل برسد و عملکرد بهینه گردد. در فضای زیرزمینی، نور طبیعی و هوای کافی وجود ندارد و با بیشتر شدن عمق، این مسائل شدیدتر می‌گردد. کار در زیرزمین، فعالیت‌ها و اقداماتی را اضافه می‌کند یا تغییر می‌دهد. به عنوان مثال، وقتی عملیات خاکبرداری زیرزمینی انجام می‌شود، انتقال حجم زیاد خاک به تراز صفر و بیرون از زیرزمین‌ها، فعالیت مهم و خاصی می‌باشد و عدم انجام صحیح آن می‌تواند عامل شکست یک پروژه تلقی گردد. از ویژگی‌های دیگر فعالیت زیرزمینی، انجام نقشه‌برداری با شرایط خاص و شیوه‌های متفاوت می‌باشد. یکی از محدودیت‌های بزرگ کار زیرزمینی، وجود برخی موقعیت‌های دشوار کاری است که امکان حضور مهندسین و کارشناسان خبره در آنها نیست. به بیان دیگر کار توسط عوامل کارگری و بدون نظارت مستقیم مهندسین صورت می‌گیرد. بنابراین بسیار مهم است تعریف فرآیندهای اجرایی به نحوی بسیار ساده صورت گیرد که ضرورت کنترل و نظارت بالادستی مستقیم در آنها به کمترین مقدار برسد و تا حد ممکن از روش‌های نظارتی و کنترلی خلاقانه و مبتنی بر فناوری استفاده شود. در اجرای زیرزمینی سازه، به علت دشواری عملیات و وجود محدودیت‌های زیاد، معمولاً رواداریهای اجرایی بیش از شرایط عادی در نظر گرفته می‌شود.

### ۲-۲-۵- فناوری‌ها و تجهیزات کار زیرزمینی

به سبب دشواری کار زیرزمینی، تلاش‌های زیادی برای ساخت ابزارها و تجهیزات خاص برای انجام فعالیت زیرزمینی صورت گرفته است. از این رو در روش اجرای بالا-پایین، شناخت تجهیزات عملیات زیرزمینی و





بهره‌برداری مناسب از آنها، از جمله مناسب‌ترین اقدامات برای بهینه‌سازی عملیات اجرایی است. تجهیزات حفاری مکانیزه چاه‌ها، خاکبرداری و خصوصاً انتقال خاک از مصادیق این اقدامات می‌باشد.

### ۲-۲-۶- اهمیت مدیریت حرفه‌ای پروژه

در اجرا به روش بالا-پایین مسائل مختلفی مطرح است و سطح پیچیدگی پروژه بالاتر از سایر پروژه‌ها است. بنابراین مدیریت دقیق پروژه اهمیت دوچندان می‌یابد. محدودیت‌های زیاد، تداخلات متعدد، زمان‌بندی فشرده، وجود فصل مشترک‌های متعدد بین کارها و عوامل، ریسک‌های بیشتر کار زیرزمینی، صعوبت اجرایی بیشتر و نظایر آن از جمله ویژگی‌های خاصی است که اهمیت مدیریت دقیق پروژه را روشن می‌نماید. مدیریت دقیق پروژه به معنای فراهم کردن رویکرد سیستمی و جامع برای برقراری هماهنگی کامل بین تمام اجزا و عوامل پروژه است.

### ۲-۳- مزیت‌های روش اجرای بالا-پایین

#### ۲-۳-۱- عملکرد ساختمانی

روش اجرای بالا-پایین از مزیت مهمی در عملکرد ساختمانی پروژه و کاربری آن برخوردار است. با توجه به امکان احداث زود هنگام طبقات همکف و بالاتر از همکف، امکان بهره‌برداری مرحله‌ای و زود هنگام از این طبقات وجود خواهد داشت. این امکان می‌تواند مزایای قابل توجه اقتصادی و اجتماعی در پی داشته باشد. به عبارت دیگر، با شکل‌گیری زود هنگام نمایان‌ترین بخش یک ساختمان، امکان بازاریابی و فروش پروژه وجود دارد و تاثیر قابل توجهی در اقتصاد پروژه خصوصاً در پروژه‌های تجاری و اداری خواهد داشت. در صورت وسیع بودن پروژه، امکان بهره‌برداری مرحله‌ای نیز فراهم خواهد بود. همچنین امکان بهره‌برداری ترافیکی یا بازگشایی معابر اطراف، پارک خودرو، دپو مصالح و نظایر آن می‌تواند آثار اجتماعی بسیار سودمندی ایجاد نماید. عموماً در پروژه‌های با طبقات زیاد مثبت و منفی و یا کاربری تجاری، این مزیت روش اجرای بالا-پایین بسیار چشمگیر می‌باشد.

#### ۲-۳-۲- ایمنی

روش اجرای بالا-پایین به عنوان یک روش جایگزین گودبرداری، ذاتاً از عملکرد بسیار ایمنی برخوردار است، به طوری که در گروه ایمن‌ترین روش‌های گودبرداری جای می‌گیرد. به زبان ساده در این روش قبل از عملیات خاکبرداری، احداث سازه نگهدارنده خاک آغاز شده و در اغلب موارد احداث سازه مقدم بر خاکبرداری در هر مرحله است. البته سازه اجرا شده در طول عملیات خاکبرداری، سازه نهایی نیست و به تدریج سازه نهایی شکل می‌گیرد. بررسی نتایج پایش پروژه‌های اجرا شده با روش بالا-پایین نشان می‌دهد تغییرشکل‌های ناشی از گودبرداری در مقایسه با سایر روش‌های گودبرداری کوچکتر است. البته شایان توجه است که ماهیت ایمن روش اجرای بالا-پایین، منتج از طراحی، اجرا و نظارت صحیح است و ایمن بودن روش نباید منجر به سهل‌انگاری در رعایت اصول اساسی به‌کارگیری این روش شود.

#### ۲-۳-۳- کاهش هزینه

مهمترین مزیت روش اجرای بالا-پایین از نظر هزینه، حذف هزینه‌های پایدارسازی موقت گود است. البته هزینه‌های ناشی از الگوی اجرای معکوس، به هزینه‌های احداث سازه متداول اضافه می‌گردد. غالباً استفاده از روش اجرای بالا-پایین، در مجموع هزینه‌های پایدارسازی گود و احداث سازه، منجر به کاهش هزینه می‌گردد.

البته این کاهش هزینه الزاماً در تمام پروژه‌ها وجود ندارد و میزان اختلاف هزینه متناسب با شرایط مختلف تغییر می‌کند. اما در یک اظهار نظر کلی در اغلب موارد می‌توان انتظار این کاهش سرجمع را داشت.

### ۲-۳-۴- کاهش زمان ساخت

درباره مزیت‌های زمانی روش اجرای بالا-پایین، اظهار نظر کلی چندان ممکن نیست. به عبارت دیگر، اینکه روش اجرای بالا-پایین منجر به کاهش زمان اجرای پروژه می‌گردد یا نه، به عواملی همچون تجهیزات به کار گرفته شده، فرآیند طراحی شده برای اجرا، به ویژه در بخش عملیات خاکی، اجرای روش بالا-پایین به صورت کامل (دو سویه به بالا و پایین)، اعمال مدیریت دقیق کارگاهی به ویژه در فصل مشترک‌های اجرایی، تعداد طبقات مثبت و منفی، شرایط ژئوتکنیکی و زیرسطحی پروژه وابسته است. از بین این عوامل، اجرای بالا-پایین کامل و دو سویه در طبقات مثبت و منفی به طور همزمان و نیز برنامه‌ریزی انجام عملیات خاکی به شکل مناسب، نقش بسیار تاثیرگذاری در بهینه کردن زمان پروژه دارند. به بیان دیگر اگر این دو عامل رعایت گردد، در اغلب موارد روش بالا-پایین منجر به کاهش زمان اجرا خواهد شد.

### ۲-۳-۵- کاهش مشکلات حقوقی

روش‌هایی که بتوان با آنها گودهای عمیق را پایدارسازی نمود، محدود هستند. در برخی روش‌های متداول مانند میخ‌کوبی و مهاربندی، بخشی از اجزای سازه نگهبان وارد زمین‌های اطراف پروژه می‌شود. براساس قانون مدنی کشور، مالکیت زمین مستلزم مالکیت فضای بالا و پایین آن زمین می‌باشد. بنابراین ورود اجزای پایدارسازی گود به محدوده زمین‌های هم‌جوار، نیازمند کسب رضایت همسایه‌ها است. در سال‌های اخیر ورود به حریم هم‌جواری‌ها باعث ایجاد مشکلات حقوقی برای پروژه‌ها شده و گاهی کسب رضایت از همسایگان، زمان‌بندی پروژه را تغییر داده و هزینه‌های اضافی به کارفرما تحمیل کرده است. در روش بالا-پایین، هیچ یک از اجزاء پایدارسازی، خارج از محدوده زمین پروژه نیست و از این رو استفاده از این روش در چنین پروژه‌هایی به عنوان راهکاری مناسب و کم‌هزینه برای اجرا به شمار می‌رود.

### ۲-۳-۶- سایر مزایا

روش اجرای بالا-پایین از منظر اقتصاد ملی، مسایل سلامت، ایمنی و محیط زیست (سلام)<sup>۱</sup> و نیز تسهیل مدیریت کارگاه دارای مزیت‌های چشمگیر است. از منظر اقتصاد ملی، در این روش سازه موقت برای پایدارسازی گود حذف می‌گردد و سازه اصلی، مشابه شرایط بهره‌برداری، پایداری خاک را تأمین می‌کند. بر این اساس، در مقیاس کلان کاهش قابل توجه مصرف مصالح ساختمانی از قبیل فولاد و سیمان را در پی دارد که اثر مثبتی بر اقتصاد ملی دارد.

همین صرفه‌جویی، سبب ایجاد مزیت بالایی از منظر زیست‌محیطی برای روش بالا-پایین می‌شود. با توجه به اینکه تولید فولاد و سیمان همراه با تولید گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌گی زیست‌محیطی است، هر روشی که منجر به کاهش مصرف آنها گردد، در واقع روشی سبز محسوب می‌گردد. علاوه بر این، روش اجرای بالا-پایین آلاینده‌گی محیطی بسیار کمتری در محدوده کارگاه ساختمانی ایجاد می‌نماید. با توجه به احداث سریع سقف اولین زیرزمین در این نوع پروژه‌ها، غالباً دپوی مصالح داخل کارگاه انجام می‌شود؛ ایجاد مزاحمت‌های ترافیکی

<sup>۱</sup> HSE



پروژه به حداقل کاهش می‌یابد؛ با کار زیرزمینی آلودگی صوتی در محدوده کارگاه کاهش می‌یابد؛ فضای برای اسکان کارگری و قرار دادن تجهیزات فراهم می‌گردد و نهایتاً محیط اطراف به سامان‌تر خواهد بود. از این روش بالا-پایین نسبت به سایر روش‌های پایدارسازی، روشی سبز و نزدیک‌تر به الزامات توسعه پایدار محسوب می‌گردد.

## ۲-۴- محدودیت‌های روش اجرای بالا-پایین

در کنار مزایای اشاره شده، روش اجرای بالا-پایین محدودیت‌هایی نیز دارد. یکی از محدودیت‌های اصلی روش اجرای بالا-پایین، ناشی از فضای محدود کار زیرزمینی است که بسیاری از رویه‌های اجرایی می‌بایست متناسب‌سازی و تغییر داده شود. در کار زیرزمینی دقت در عملیات کاهش می‌یابد و حفظ دقت مستلزم استفاده از تجهیزات خاص‌تری می‌باشد که لزوماً به‌سادگی در دسترس نیست. بنابراین اجرا و ساخت سازه با رعایت رواداری‌های مجاز در روش متعارف ساخت، در بخش زیرسازه به راحتی امکان‌پذیر نیست و این روش اجرا مستلزم رواداری‌های مجاز بزرگتری می‌باشد. اگرچه در خصوص میزان رواداری‌های اجرایی در روش بالا-پایین هیچ مستند و منبع علمی شناسایی نشده است، لیکن طراحان و مجریان این روش، باید با آگاهی از این ویژگی ذاتی دست به انتخاب روش بزنند.

متأثر از رواداری‌های اجرایی بزرگتر روش بالا-پایین، رعایت فصل مشترک‌های پروژه اهمیت دوچندانی می‌یابد. به‌طور مثال فصل مشترک‌های بین سازه و معماری به علت احتمال نیاز به برخی تغییرات اجتناب‌ناپذیر در سازه، می‌بایست به‌طور دقیق‌تری بررسی شود. برای نمونه چنانچه فاصله بین ستون‌ها، برای تأمین پارکینگ یا عرض رمپ، بسیار محدود باشد، احتمال دارد با اندک تغییراتی در اجرا، پروژه با مشکل عدم رعایت ضوابط دچار گردد.

محدودیت دیگر روش اجرای بالا-پایین در اجرای ساختمان در مناطق شهری است. کار در عمق زمین و در مساحت محدود، صعوبت اجرایی بیشتری دارد و برای زمین‌های خیلی کوچک و خیلی عمیق، این روش قابلیت کمتری خواهد داشت. در فضای محدود، راندمان تجهیزات و ماشین‌آلات کاهش می‌یابد و عملیات اجرایی کند شده و گاهی این محدودیت منجر به کاهش کیفیت می‌گردد.

آب زیرزمینی همواره باعث صعوبت عملیات اجرایی در زیر سطح زمین است. لیکن در اجرای بالا-پایین، به علت ماهیت پیچیده‌تر آن، وجود آب زیرزمینی دشواری مضاعف را در پی دارد. گِل شدن خاک، کاهش راندمان ماشین‌آلات در زیر سقف طبقات، تخلیه سخت‌تر خاک و چسبیدن آن به مخزن خاک، لزوم مهار آب و تخلیه آن و نیز اضافه شدن فرآیند آب‌بندی و زهکشی در شرایط محدود کاری زیرزمین، از سختی‌های عملیات اجرایی این روش در حضور آب زیرزمینی است.

روش بالا-پایین نیازمند یک بازشو با ابعاد مناسب برای تخلیه خاک و ارسال ماشین‌آلات است. بنابراین باید امکان تأمین این بازشو در پروژه وجود داشته باشد. موقعیت بازشو و مشخصات آن کاملاً وابسته به روش و تجهیزات مورد استفاده برای تخلیه خاک است.

در روش اجرای بالا-پایین سازه به‌صورت تدریجی ساخته می‌شود. بنابراین درزهای اجرایی متعددی وجود خواهد داشت. اگرچه رعایت اصول فنی اجرای درز سرد ضروری است، لیکن با این وجود، تعدد درزهای

اجرائی خصوصاً در شرایط حضور آب، ریسک نفوذ آب را بالا می‌برد. در صورت وجود تیر فولادی در سازه زیرزمین، انتقال و جابجایی تیر یا هر نوع اجزاء سنگین سازه‌ای دیگر، به علت محدودیت کار جرثقیل در زیر سقف، در طبقات منفی، با دشواری زیادی همراه خواهد بود. بر اساس محدودیت‌های اشاره شده، لازم است امکان‌پذیری اجرای بالا-پایین قبل از انتخاب این روش اجرا، برای هر سازه به طور مستقل صورت گیرد.

## ۲-۵-۲- معیارهای بررسی امکان‌پذیری اجرای بالا-پایین

### ۲-۵-۲-۱- ملاحظات معماری

از جمله محدودیت‌های این روش، رواداری‌های بیشتر اجرائی است. بدین معنا که احتمال اجرا نشدن اجزاء، دقیقاً در محل در نظر گرفته شده و جابجا شدن چون ساخت نسبت به نقشه طراحی بیشتر است. اگرچه اندکی تغییرات اجتناب‌ناپذیر است و همواره وجود دارد؛ اما ماهیت اجرای این روش، هم مقدار جابجایی و هم احتمال بروز آن را بیشتر می‌نماید. از این رو ضرورت دارد آثار این جابجایی‌های احتمالی بر روی کاربری و کیفیت سازه و ساختمان، قبل از اقدام به اجرا کنترل گردد. از منظر کارکرد معماری فضاها و خصوصاً رعایت ضوابط و مقررات شهرسازی، بررسی فاصله آزاد بین ستونها برای تامین پارکینگ، عرض لازم معبر زیرزمینها در بین ستونها، حداقل عرض لازم رمپ‌ها و سایر ابعاد و اندازه‌های بحرانی از مصادیق کنترل‌ها و ارزیابی‌های لازم است و بایستی ریسک تغییرات و آثار آن مورد ارزیابی قرار گیرد.

### ۲-۵-۲-۲- ملاحظات سازه‌ای

از جمله نکات مهم سازه‌ای در اجرای روش بالا-پایین، تامین سختی جانبی کافی توسط دیافراگم کف طبقات زیرزمین است. با توجه به اینکه در روش بالا-پایین دیافراگم کف، همانند مهار متقابل (استرات) نقش ایفا می‌کند، تامین سختی لازم برای کنترل تغییرشکل‌ها به وسیله آن از اهمیت بالایی برخوردار است. اگرچه سختی درون صفحه‌ای کف‌ها با تغییر نوع سقف، تغییر می‌کند و در کف‌های دال بتنی از قبیل دال تخت و دال مجوف بیشتر و در کف‌هایی از قبیل تیرچه یونولیت کمتر است، اما غالباً سختی درون صفحه مقدار بالایی است. لیکن در محل بازشوها این سختی وجود ندارد و باید موقعیت و بزرگی بازشو کنترل گردد. بازشوهای دیافراگم علاوه بر محل نورگیرها، دستگاه پله و بازشوهای آسانسور و تاسیسات، شامل نواحی کاهش سختی یا خارج شدن عضو سازه‌ای از صفحه دال، همچون رمپ‌ها نیز می‌گردد و لازم است اثرات تغییر سختی در این موارد بررسی گردد. علاوه بر این موارد، در روش بالا-پایین بازشوهایی برای تخلیه خاک و ورود و خروج ماشین‌آلات در سقف‌ها در نظر گرفته می‌شود که مشمول کنترل کاهش سختی هستند. برای نمونه در پروژه‌های کوچک که مساحت هر طبقه یا به عبارتی سطح دیافراگم خیلی کم است، وجود بازشوهای مختلف می‌تواند سبب شود عملاً بخش کوچکی از دال باقی بماند و سختی به شدت کاهش یابد. شایان ذکر است نوع و موقعیت بازشوها در این کنترل دارای اهمیت است. بازشوهای وسط پلان، به ویژه به صورت نواری، اثر بیشتری روی کاهش سختی دیافراگم دارد. بازشوهای کناری اثر کمتری بر سختی کل دیافراگم دارد، لیکن بازشوی کناری کنترل فشار خاک در مجاورت خود را دشوارتر می‌نماید. شایان ذکر است حتی بازشوهای تاسیساتی، با وجود کوچکی سطح، اگر بصورت نواری باشند، می‌تواند تاثیرات قابل توجهی داشته باشد که مستلزم بررسی است.



### ۲-۵-۳- ملاحظات ژئوتکنیکی

همان طور که گفته شد، روش بالا-پایین در ایران متفاوت با الگوی جهانی آن اجرا می‌گردد و دیوار جدا کننده یا دیافراگمی پیوسته در الگوی ایرانی وجود ندارد. از این رو در روش بومی (ایرانی) از ظرفیت خود پایداری خاک در حین مراحل اجرا در فاصله بین ستون‌های پیرامونی و نیز در هر مرحله خاکبرداری تا زمان اجرای دیوار حائل سازه استفاده می‌شود. بنابراین روش بالا-پایین بومی در خاک خیلی سست، امکان پذیر نمی‌باشد. به عبارت دیگر، برای خاک‌های سست، چاره‌ای جز اجرای دیوار دیافراگمی و یا روش‌های دیگر اجرای دیوار حائل مدفون پیوسته بر اساس الگوی متعارف نیست. تشخیص حد مناسب مشخصات خاک برای استفاده از الگوی رایج در ایران، بر عهده کارشناس خبره ژئوتکنیک و براساس ظرفیت خودایستایی خاک است.

### ۲-۵-۴- سایر ملاحظات اجرایی

مهم‌ترین نکات در امکان‌پذیری اجرا به روش بالا-پایین از منظر اجرایی، امکان تامین بازشوی لازم متناسب با روش بیرون کشیدن و تخلیه خاک است. از این منظر، لازم است سایر مستحذات، ابنیه و معابر پیرامون پروژه نیز مدنظر قرار گرفته و امکان تخلیه خاک از محل بازشوی تخلیه و نیز با تجهیزات انتخاب شده بررسی گردد. برای نمونه اگر بازشوی تخلیه خاک در کنار زمین و روش خروج خاک، استفاده از جرثقیل بوم خشک است، باید امکان استقرار این ماشین وجود داشته باشد.

### ۲-۵-۵- شاخص هزینه و توجیه اقتصادی

شاخص هزینه، معیار امکان‌پذیری محسوب نمی‌گردد؛ لیکن از معیارهای مهم انتخاب روش است. در این خصوص هیچ‌گونه گزاره کلی قابل ارائه نیست و توجیه‌پذیری اقتصادی روش بالا-پایین نسبت به سایر روش‌های پایدارسازی و گودبرداری مستلزم ارزیابی هر مورد پروژه به صورت مستقل و پس از طراحی و مقایسه است.

### ۲-۶- طبقه‌بندی سازه‌ها از منظر سهولت اجرا با روش بالا-پایین

سازه‌های فلزی، بتنی و مرکب قابل اجرا با روش بالا-پایین می‌باشند. اما هر یک از انواع سازه، ویژگی‌های خاصی دارد و همراه با محدودیت‌هایی است. بر این اساس موضوع سهولت اجرا بر اساس هر یک از اجزاء سازه‌ای تشریح می‌شود.

اجرای ستون‌های فلزی در روش بالا-پایین و به صورت مدفون در داخل چاه، از سهولت بیشتری برخوردار است. از این رو حتی اگر سازه بتنی باشد، در موارد زیادی ستونها، به صورت بتنی با هسته فولادی (SRC)<sup>۱</sup> طراحی و اجرا می‌شوند. به نحوی که در اجرای بالا-پایین، هسته فولادی به صورت مدفون در داخل چاه اجرا می‌گردد و غلاف بتن مسلح آن به صورت تدریجی ساخته می‌شود. ستون‌های بتنی به صورت پیش ساخته نیز به روش بالا-پایین اجرا می‌شوند. محدودیت اجرا ستون‌های بتنی پیش ساخته، وزن بسیار زیاد آنها در انتقال و نصب است. در گودهای عمیق و با ستون‌های بلند، ستون‌های سازه باید بخش‌بخش ساخته و در سرچاه سرهم و وصله شوند. انجام وصله ستون‌های بتنی پیش ساخته در سر چاه به دلیل وزن بالای آنها نسبت به ستون‌های فولادی سخت‌تر است. اجرای ستون‌های بتنی به صورت درجاریز داخل چاه و یا به صورت قالب‌بندی و

<sup>۱</sup> Steel Reinforced Concrete

بتن‌ریزی داخل چاه در روش بالا-پایین، با تمهیدات ویژه در طراحی و اجرا و صرفاً در اعماق بسیار کم می‌تواند انجام شود.

استفاده از تیرهای فولادی در روش بالا-پایین، به علت محدودیت استفاده از جرثقیل در طبقات منفی و زیر سقف، با صعوبت زیادی همراه است. از این رو در سازه‌های فولادی نیز، سیستم‌های دال و ستون ترجیح دارند. در بین انواع سیستم‌های سقف در سازه فولادی یا بتنی، سیستم‌های سقف فاقد زیرسازی از قبیل جک و اسکافولد، سرعت اجرای بالاتری را حاصل می‌کنند. اگرچه در انتخاب نوع سقف، تامین سختی کافی سقف نیز از اهمیت بالا برخوردار است.

## ۲-۷- کاربرد روش اجرای بالا-پایین

همانطور که اشاره شد، روش اجرای بالا-پایین یک روش اجرا است و برای اجرای سازه‌های مختلفی قابل کاربرد است. کاربرد مشهور روش اجرای بالا-پایین در ساختمان‌سازی است. به ویژه در جهان روشی برای ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه با طبقات منفی متعدد شناخته می‌شود. لیکن در سازه‌های دیگری نیز کاربرد دارد و حتی بخشی از توسعه این روش در بخش‌های غیر ساختمانی بوده است. ایستگاه‌های قطار شهری و مترو، یکی از این نوع سازه‌ها می‌باشند که به دلایل مختلف مثل محدودیت فضا، تداخلات ترافیکی زیاد و ضرورت مدیریت ترافیک در دوره ساخت، بزرگی ابعاد سازه و اهمیت کنترل تغییرشکل‌ها در سطح وسیع و نظایر آن، در موارد متعدد با روش بالا-پایین اجرا می‌شوند. همچنین در اجرای تونل‌ها و تقاطع‌های غیر هم‌سطح به دلیل قابلیت بالای روش بالا-پایین برای مدیریت ترافیک و حداقل تداخلات، روش بالا-پایین از مزیت قابل توجهی برخوردار است.

## فصل سوم

# اصول اجرای روش ساخت بالا-پایین

### ۳-۱- مقدمه

چنانکه در بخش‌های قبل تشریح شد، روش ساخت بالا-پایین یک روش اجراست و شامل گام‌های اجرایی مختلفی است که متناسب با شرایط مختلف پروژه از جمله عوامل اقتصادی پروژه، ماشین‌آلات در دسترس، شرایط ژئوتکنیکی و طرح سازه و معماری متفاوت خواهد بود. اصل اولیه در روش ساخت بالا-پایین، اجرای اجزای قائم باربر به صورت مدفون داخل خاک است که پس از آن با اجرای سقف به عنوان مهار جانبی برای فشار خاک، اقدام به خاکبرداری و ساخت طبقات زیرزمین می‌شود. در این فصل مراحل اجرای روش بالا-پایین و نکات خاص اجرایی این روش تشریح خواهد شد.

### ۳-۲- مراحل روش ساخت بالا-پایین

به‌طور کلی اجرای سازه به‌روش بالا-پایین شامل بخش‌های مختلفی به شرح ذیل است:

حفاری محل نصب اجزای قائم باربر (چاه یا ترانشه‌کنی)

اجرای اجزاء قائم باربر (ستون‌های سازه، دیوار حائل مدفون)

عملیات خاکی زیرزمینی

اجرای سازه در زیرزمین

اجرای سازه در طبقات روی زمین

ساخت زیرزمینی و از بالا-پایین اجزای مختلف سازه

در ادامه بخش‌های مختلف روش تشریح خواهد شد و پیرامون هر یک از موارد با اهمیت بحث خواهد گردید.

### ۳-۲-۱- حفاری محل نصب اجزاء قائم باربر

اولین گام از اجرای سازه به روش بالا-پایین، حفاری محل اجزای باربر قائم، شامل ستون‌ها و دیوار حائل مدفون در صورت نیاز می‌باشد. بسته به نوع اجزای سازه‌ای، روش‌های مختلفی برای حفاری وجود دارد. حفاری را می‌توان به‌صورت دستی و با نیروی کار انسانی یا به کمک ماشین‌آلات به شکل چاه یا ترانشه انجام داد. انتخاب ماشین‌آلات بستگی به نوع و شکل اجزای باربر قائم، شرایط ژئوتکنیکی، ابعاد پروژه، ماشین‌آلات در دسترس و شرایط اقتصادی پروژه دارد. در ادامه حفاری دستی و ماشینی تشریح می‌گردند.

### ۳-۲-۱-۱- حفاری دستی

منظور از حفاری دستی، استفاده از نیروی انسانی و ادوات ابتدایی همچون کلنگ، کوبه، چکش حفاری برقی یا بادی و چرخ چاه دستی یا برقی برای حفر چاه، گالری یا ترانشه می‌باشد. این روش یکی از ابتدایی‌ترین و ساده‌ترین روش‌ها برای حفاری می‌باشد که در کشور ما به دلیل نیروی انسانی ارزان، مورد اقبال بیشتری نسبت

به روش های ماشینی قرار گرفته است. با توجه به اینکه در این روش، تجهیزات چندانی وجود ندارد، انواع این حفاری و اقتضائات آن تشریح می گردد.

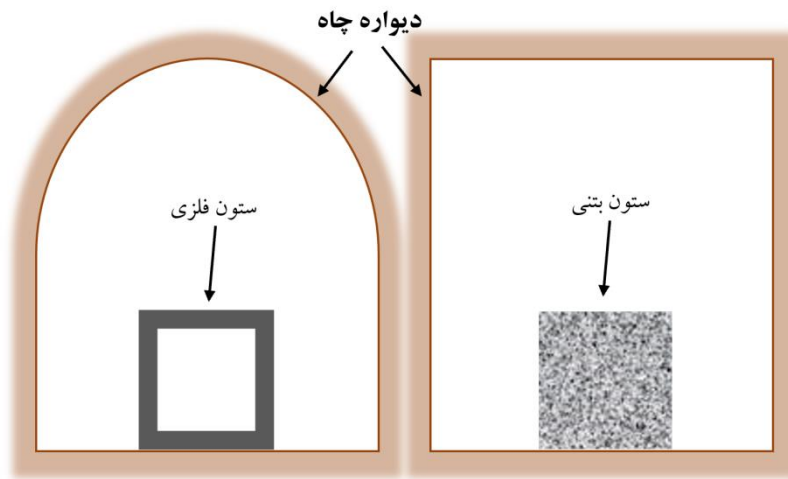
### ۳-۲-۱-۱-۱-۱-۱ انواع حفاری دستی

#### ۳-۲-۱-۱-۱-۱-۱ حفاری چاه

حفاری چاه در محل اجرای ستون ها و دیوارهای حائل سازه می تواند به صورت دستی انجام شود. در روش دستی امکان حفر چاه با شکل های دلخواه و کول گذاری همزمان با انجام عملیات حفاری، وجود دارد. کول، قطعه پیش ساخته بتن مسلح است که به شکل های بیضوی، دایره ای، تخم مرغی و یا حتی مستطیلی ساخته می شود. جایگزین کول گذاری، می توان به صورت درجا با نصب شبکه میلگرد و بتن پاشی در محل نیز دیواره را محافظت کرد. برای جلوگیری از ریزش های احتمالی دیواره چاه و حفاظت از جان نیروی انسانی داخل چاه، در شرایط ژئوتکنیکی نامناسب توصیه می شود که همزمان با حفاری چاه، به تدریج کول گذاری و پایدارسازی دیواره چاه نیز انجام پذیرد. سرعت حفاری دستی کند است و با توجه به کار کردن افراد داخل چاه و احتمال ریزش دیواره، این روش همراه با مخاطرات جانی می باشد.

در حفاری چاه نکته حائز اهمیت، مقطع و موقعیت چاه نسبت به موقعیت ستون در پلان سازه است. مقطع چاه می تواند مربعی، دایروی و یا به شکل دیگری باشد. نوع مقطع چاه برای ستون های میانی و ستون های کناری اهمیت متفاوتی دارد. در ستون های میانی پلان، چاه می تواند به صورت هم محور با ستون حفاری و ستون در مرکز چاه و شمع نصب شود؛ که در این حالت ستون با دیواره چاه در تماس نخواهد بود. بنابراین شکل مقطع چاه اهمیتی در روند اجرایی ندارد و تنها لازم است ابعاد چاه با هر مقطعی به اندازه کافی بزرگ باشد تا نصب ستون با در نظر گرفتن ابعاد ستون و قطعات متصل به آن و نیز رواداری های لازم برای مانور نصاب (در صورت نصب به روش ایرانی و با نیروی کار داخل چاه)، ممکن باشد. در چاه های پیرامونی شرایط متفاوت است. ستون در چاه های کناری باید در تماس با دیواره چاه نصب شود. چراکه ستون، نقش پایدارکننده دیواره خاکی در هنگام خاکبرداری را دارد. بنابراین در این شرایط باید اندرکنش بین خاک و ستون تشکیل شود و برای این مقصود باید تماس بین ستون و دیواره چاه کامل باشد. بدین ترتیب چاه های کناری هم محور با ستون ها حفاری نمی شود و در راستای بیرونی ترین بخش سطح اشغال سازه، بعد ستون به محاذات و در تماس دیواره چاه قرار خواهد گرفت (شکل ۳-۱). بنابراین در این راستا، دیواره چاه باید الزاماً صاف باشد. یعنی مقطع دایروی به مقطع نعل اسبی تبدیل می شود. مقطع دیگری که میتوان برای حفاری چاه استفاده کرد، مقطع مربعی است که برای عملیات نصب ستون نیز، شرایط خوبی را ایجاد می کند. هر چند مقطع مربعی برای چاه متعارف نیست و معمولاً کول پیش ساخته برای آن وجود ندارد. در هر حال، شکل و ابعاد مقطع چاه ها و جانمایی آنها نسبت به ستون های سازه در پلان، موضوعی اجرایی است و با در نظر گرفتن تمامی جوانب اجرایی از جمله جانمایی ستون سازه در پلان، فاصله ستون از دیواره گود، جانمایی ستون نسبت به شمع، رواداری عبور سبد شمع، امکان عبور لوله بتن در بتن ریزی شمع، امکان ورود نیروی انسانی در صورت نیاز و بسته به روش نصب در چاه بایستی انجام شود. لیکن در ستون های کناری، تماس مکانیکی ستون و دیواره خاکی، شرطی بسیار مهم و کلیدی در عملکرد روش بالا-پایین است.





شکل ۱-۳ موقعیت چاه و ستون

هنگام حفاری دستی چاه باید به نکات ایمنی مربوط به آن توجه ویژه داشت. احتمال برخورد با چاه‌های آب، قنات‌ها و چاه‌های فاضلاب دایر یا متروک و همچنین حفرات زیرزمینی در این روش، ممکن است سبب ریزش دیوار چاه و به خطر افتادن جان نیروی کارگری درون چاه گردد. موارد ایمنی مرتبط با این مرحله در بخش ۵-۶ همین راهنما مورد توجه قرار گرفته است. شایان ذکر است پوشاندن سر چاه‌ها بطور ایمن و مطمئن در روش بالا-پایین، به جهت تعدد چاه‌ها در محدوده پروژه از اهمیت بالایی برخوردار است.

حفاری دستی چاه در خاک‌هایی امکان‌پذیر است که دیواره خاکی چاه تا حدی پایداری ذاتی داشته باشد و تراز آب زیرزمینی بالا نباشد و یا جریان آب وجود نداشته باشد. بنابراین حفر چاه به صورت دستی در خاک‌هایی که سست و ریزشی هستند و هیچ‌گونه پایداری ذاتی در دیواره خاکی با ابعاد مورد نیاز ندارند، معمولاً امکان‌پذیر نیست. همچنین حفاری دستی زیر تراز آب زیرزمینی و در شرایط تراوش آب، کاری بسیار دشوار است و توصیه نمی‌شود.

در مورد حفاری بخش‌های (پنل) اجرای دیوار جداکننده در الگوی متعارف بالا-پایین نیز که مستطیلی شکل هستند و ابعاد قابل توجهی دارند، توصیه می‌شود به روش مرسوم ماشینی و همراه با سیال پایدارکننده باشد و در صورت انجام حفاری به صورت دستی و توسط مقنی، اکیداً توصیه می‌شود که با نظارت و دستور کار مهندس ژئوتکنیک با تجربه اقدام شود. به طور کلی حفاری ترانشه‌های بزرگ به روش دستی از مخاطرات جدی برخوردار است و به هیچ عنوان توصیه نمی‌گردد.

### ۳-۲-۱-۱-۱-۲- حفاری گالری

گالری‌ها، حفرات و مسیرهای افقی هستند که به دلایل متفاوتی در خاک حفاری می‌شوند. حفر گالری‌های افقی به روش دستی نیز با مخاطراتی همراه است و توصیه می‌شود این کار تحت هدایت افراد خبره و مجرب انجام شود. حفر گالری در خاک‌های ریزشی به هیچ وجه توصیه نمی‌شود. تمامی ملاحظات ایمنی اشاره شده برای حفر چاه، برای حفر گالری نیز توصیه می‌شود. همچنین به منظور ایمنی بیشتر و پایداری گالری، توصیه اکید می‌شود که همزمان با انجام حفاری، کول‌های تخم مرغی یا بیضوی به تدریج جایگزین شوند و تمام طول گالری کول‌گذاری گردد. بهتر است فضای پشت گالری (بین گالری و خاک) با تزریق دوغاب پر شود. سقف

گالری‌ها باید به صورت قوسی حفاری و ارتفاع و عرض آن به ترتیب از ۱/۵۰ متر و عرض ۱/۲۰ متر بیشتر نشود. در روش بالا-پایین ایرانی شده، گالری اغلب به مقاصد اجرایی جهت حفظ ایمنی عوامل اجرایی و دسترسی احتمالی مورد نیاز بین چاه‌ها اجرا می‌شود. چنانچه نیاز به استفاده از گالری‌هایی به منظور جان‌پناه برای محافظت عوامل کار در هنگام نصب ستون‌ها و در تراز پی باشد، توصیه می‌شود گالری‌ها با حداقل ابعاد جهت تردد افراد حفر و با کول‌گذاری به طریق مناسبی پایدار شوند.

### ۳-۲-۱-۲- حفاری ماشینی

روش‌های حفاری ماشینی بسته به الگوی اجرای بالا-پایین و نوع اجزای سازه‌ای، متفاوت است. به طور مثال در الگوی متعارف، حفاری ترانشه برای اجرای دیوار جداکننده انجام می‌شود، در حالیکه در الگوی بومی، حفاری ترانشه کمتر مطرح است. با توجه به اینکه ماشین‌آلات حفاری اغلب ماشین‌هایی با ابعاد بزرگ می‌باشند، استفاده از این نوع ابزار برای حفاری وابسته به ابعاد سایت پروژه خواهد بود. بنابراین لازم است هنگام تصمیم‌گیری در مورد انتخاب نوع ماشین، نسبت به امکان انتقال، نصب و کار کردن ماشین‌آلات در سایت پروژه بررسی‌ها و تدابیر مناسب انجام پذیرد. ممکن است، در پروژه‌های با فضای کاری محدود و کوچک، امکان استقرار دستگاه‌های حفاری بزرگ وجود نداشته باشد. در ادامه برخی ماشین‌آلات و تجهیزات حفاری معرفی شده‌اند.

### ۳-۲-۱-۲-۱- تجهیزات حفاری ماشینی

#### ۳-۲-۱-۲-۱-۱- ماشین‌های حفار شمع<sup>۱</sup>

این ماشین‌ها به وسیله چرخش یک مته حفاری قادر به حفر یک چاه به شکل دایره می‌باشند (شکل ۳-۲). ماشین‌های حفاری دورانی (روتاری) با چرخش مته به داخل خاک، حفاری را انجام می‌دهند و با بیرون کشیدن بازشو عمودی دستگاه به سمت بالا و خارج از محل حفاری و تغییر جهت چرخش مته، خاک‌های کنده شده را تخلیه می‌کنند. قطر مته‌های حفاری تعیین‌کننده ابعاد چاه حفر شده است و بسته به توان و نوع ماشین، دستگاه‌های حفار شمع قادرند تا قطر ۴ متر و عمق ۱۲۰ متر را حفاری کنند.

چنانچه با خاک‌های سست و ریزشی و یا سطح آب زیرزمینی بالا و همچنین شرایط ژئوتکنیکی پیچیده و سخت مواجه باشیم، این امکان وجود دارد که با استفاده از فرو راندن غلاف‌های فولادی<sup>۲</sup> داخل زمین، عملیات حفاری ماشین از میان غلاف فولادی انجام پذیرد و به این طریق از ریزش دیواره چاه حفر شده، جلوگیری به عمل آید.

یکی از تفاوت‌های چاه دایره‌ای حفر شده به وسیله ماشین حفار شمع، نسبت به چاه‌کنی دستی در این است که دیواره خاکی چاه در روش ماشینی، به شدت دست‌خورده و ریزشی خواهد بود. بر خلاف چاه‌کنی دستی که می‌توان دیواره چاه را رگلاژ نمود، در این روش ممکن است در دیواره چاه فرورفتگی‌ها یا بیرون‌آمدگی‌هایی از خاک یا سنگ ایجاد گردد و دیواره چاه نیز ریزش‌های موضعی داشته باشد. با توجه به دست‌خوردگی دیواره چاه و احتمال سقوط خاک و سنگ به داخل چاه، باید از ورود نیروی انسانی به داخل چاه حفر شده به وسیله ماشین، به دلیل مخاطرات احتمالی جلوگیری به عمل آید، مگر آنکه دیواره چاه پس از عملیات حفاری به طریق مناسبی از جمله غلاف‌گذاری و یا روش‌های مشابه دیگر تثبیت و پایدار گردد و ملاحظات ایمنی ذکر شده در

<sup>1</sup> Pile Boring Machine

<sup>2</sup> Steel Casing



بخش چاه‌کنی دستی برای ورود اشخاص به داخل چاه لحاظ شود.



شکل ۳-۲ یک نمونه دستگاه حفار روتاری (دورانی) شمع.

### ۳-۲-۱-۲-۱-۲-۳- چنگک‌های مکانیکی یا هیدرولیکی<sup>۱</sup>

چنانچه هدف حفر یک ترانشه به شکل مستطیل (یک پنل از دیوار) برای اجرای دیوار جداکننده باشد، باید از دستگاه‌های مناسب آن استفاده گردد. یکی از ماشین‌هایی که برای حفاری ترانشه‌های مستطیل شکل به کار می‌رود، چنگک هیدرولیکی یا مکانیکی می‌باشد. چنگک‌های هیدرولیک و یا مکانیک، اغلب در حفر ترانشه پنل‌های دیوار جداکننده کاربرد دارند. چنگک در واقع یک قطعه واحد (ماژول) است (شکل ۳-۳) که می‌تواند از یک جرثقیل یا هر ماشین هیدرولیک دیگر معلق گردد. چنگک‌ها اغلب دو فک تاشو دارند که با باز و بسته شدن در راستای افقی همانند یک چنگک، می‌توانند خاک را کنده و حمل نماید. حداکثر عمق حفاری چنگک‌ها بستگی به ظرفیت جرثقیل دارد اما عمق‌های حفاری متداول تا ۷۰ متر است. بسته به ابعاد ماژول چنگک، ضخامت پنل حفاری از ۶۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر و طول آن از ۲۴۰ تا ۴۲۰ سانتی‌متر می‌تواند متغیر باشد.

با توجه به ابعاد ترانشه حفر شده، حفاری به وسیله این ماشین‌آلات با یک سیال پایدارکننده همانند دوغاب بنتونیت همراه خواهد بود. در واقع با شروع عملیات حفاری، چرخش دوغاب بنتونیت نیز آغاز می‌گردد و ضمن انجام عملیات حفاری و تخلیه خاک از ترانشه، داخل ترانشه با دوغاب پر می‌شود و به این طریق از ریزش دیواره ترانشه جلوگیری به عمل می‌آید. در شرایط وجود لایه‌های سخت، با نظر مشاور خبره می‌توان از اجرای دوغاب بنتونیت متناسب با طرح و سرعت اجرا صرف‌نظر نمود.

<sup>۱</sup> Hydraulic or Mechanical Grabs





### ۳-۲-۲- اجرای اجزاء قائم باربر

در روش اجرای بالا-پایین، تمام اجزای قائم باربر که شامل ستون‌ها و تمام یا بخشی از دیوار حائل سازه می‌باشد، بر پی اولیه‌ای استقرار می‌یابد. پی اولیه سازه بالا-پایین، اغلب شمع‌های بتنی منفرد می‌باشد و تمامی بارهای مرده، بارهای ناشی از فشار خاک و بارهای زنده، حین اجرای سازه به وسیله این شمع‌ها به زمین منتقل می‌گردد. بنابراین ظرفیت باربری و نشست آنها باید در حد مجاز آیین‌نامه‌ای باشد. بنابراین پس از حفاری چاه‌ها، مرحله بعدی اجرا در روش ساخت بالا-پایین، اجرای پی اولیه می‌باشد. پی اولیه اگرچه ممکن است لزوماً شمع نباشد و می‌تواند بصورت پی منفرد اجرا شود، لیکن به علت حساسیت کنترل نشست‌ها، عملکرد منفرد آنها و دشواری کنترل کیفیت در چاه، ترجیح به استفاده از شمع است. اهمیت طراحی و عملکرد پی اولیه بیشتر از پی نهایی است، چراکه سازه در دوره ساخت به نشست حساس‌تر است.

### ۳-۲-۲-۱- اجرای پی اولیه

همانطور که اشاره شد، در روش بالا-پایین، یک پی اولیه وظیفه انتقال بارها به زمین در دوره ساختمان و تا قبل از تکمیل خاکبرداری و فراهم شدن امکان اجرای پی اصلی سازه را بر عهده دارد. در این بخش مراحل اجرای پی اولیه سازه تشریح می‌گردد. بدیهی است اتصال سازه به پی اصلی و دائمی سازه و انتقال بارها به آن مستلزم رعایت نکاتی طی فرایند اجرای پی می‌باشد. با عنایت به اینکه پی اولیه اغلب و ترجیحاً از نوع شمع می‌باشد، در این بخش اجرای شمع در روش بالا-پایین تشریح شده است.

### ۳-۲-۲-۱- بافت و نصب سبد میلگرد شمع‌ها

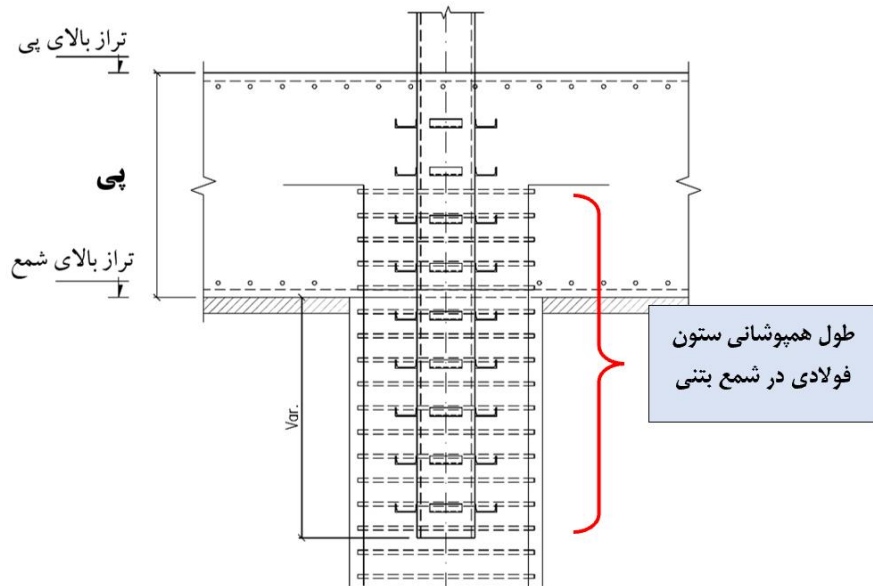
بر اساس نقشه‌های ساخت به روش بالا-پایین، سبد میلگرد شمع‌ها به شکل مربع، مستطیل و یا دایره بافته می‌شوند. با توجه به اینکه هنگام جابجایی و نصب سبدها داخل چاه، امکان اعوجاج سبد وجود دارد، لازم است که به کمک اجزایی همچون خرک و یا شابلون‌های فلزی و یا هر روش مناسب دیگر، صلبیت سبد افزایش داده شود.

در اجرای سازه به روش بالا-پایین، اتصال ستون به پی اولیه، به چند روش ممکن است. در اغلب موارد و در الگوی توصیه شده و مرجع، ستون‌های سازه در بخشی از طول فوقانی شمع فرو می‌روند و مهار می‌شوند (شکل ۳-۵). برای نصب ستون‌های فولادی، ستون‌های پیش‌ساخته بتنی و نیز مغزه‌های فولادی ستون‌های مختلط بتنی از این روش استفاده می‌شود. همچنین گاهی در سر شمع میله‌مهارهای صفحه‌ستون قرار داده می‌شود و ستون به کمک صفحه‌ستون و میله‌مهارها بر روی شمع نصب می‌گردد (شکل ۳-۶). شایان ذکر است از منظر ایمنی، عدم امکان کنترل کیفی لازم به علت خطرناک بودن استقرار نیروی انسانی در داخل چاه هنگام معلق بودن ستون از جرثقیل، این روش نصب توصیه نمی‌شود.

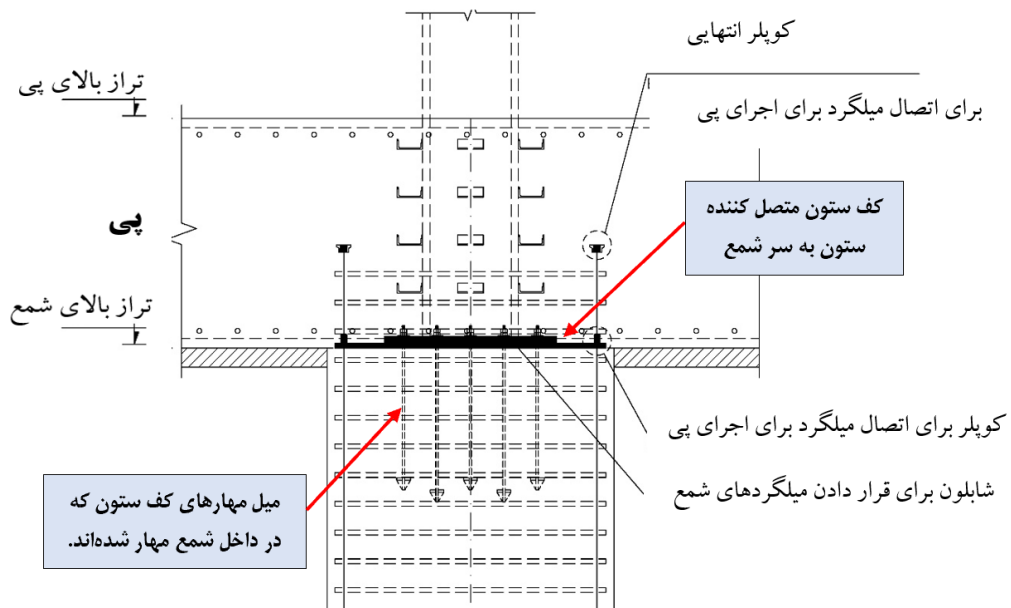
آرایش شبکه میلگرد شمع‌ها با توجه به نحوه اتصال ستون به آن می‌تواند متفاوت باشد. در حالتی که ستون بر روی سر شمع و میله‌مهارهای مدفون در شمع مهار شود، میل‌مهارهای صفحه‌ستون همراه با سبد میلگرد شمع باید داخل چاه قرار داده شوند و سپس بتن‌ریزی شمع انجام شود.

در شکل (۳-۷) تصویری از سبد بافته شده میلگرد به شکل دایره مشاهده می‌شود که برای حالتی مشابه جزئیات ارائه شده در شکل (۳-۵)، آماده شده است. در این حالت ابتدا سبد میلگرد به داخل چاه انتقال داده می‌شود و سپس ستون در داخل چاه به صورت معلق از سر چاه نصب می‌شود و طول مهارهای ستون داخل شمع پس از

بتن‌ریزی شمع، یکپارچه با شمع عمل می‌کند. در شکل (۳-۸) تصویری از یک نمونه دیگر از سبد شمع مشاهده می‌شود که سبد به شکل مربع بافته شده است و با استفاده از دو شابلون فلزی در ابتدا و انتهای سبد، میلگردهای سبد یکپارچه شده‌اند تا احتمال جابجایی آنها کاهش یابد. از طرفی به منظور یکپارچگی میله‌مهارهای صفحه‌ستون، از یک شابلون دیگر استفاده شده است که شابلون به طریق مناسبی به سبد میلگرد شمع متصل است. پس از بتن‌ریزی شمع، شابلون از میل‌مهارها جدا می‌شود و برای ساخت صفحه‌ستون به کارخانه ساخت ارسال می‌گردد. به این طریق تلاش می‌شود جابجایی‌های میل‌مهارهای صفحه‌ستون به حداقل رسانده و محل سوراخ‌کاری صفحه‌ستون تا حد امکان متناسب با محل قرارگیری میل‌مهارهای داخل شمع برای اتصال ستون به شمع ساخته شود. نکته دیگر در خصوص سبد میلگرد شمع، توجه به فرضیات طراحی است که در نحوه اتصال و مهار شمع در پی اثرگذار است. اگر طراح فرض کرده باشد که اتصال شمع به پی گیردار است، لازم است تا میلگردهای شمع در پی مهار گردند. بنابراین ضرورت دارد تا این موضوع به روش درستی در اجرا عملیاتی شود. معمولاً سبد میلگرد بافته شده، به شکل دایره بوده و برای نصب ستون‌ها به روش معلق و مهار شده در بخش فوقانی شمع، با میلگردهای عرضی به صورت اغلب دورپیچ و با جزئیاتی مشابه موارد ارائه شده در شکل (۳-۵) تا شکل (۳-۹) اجرا می‌شود. در جزئیات ارائه شده در شکل (۳-۱۰)، میلگردهای شمع در نیمی از ضخامت پی مهار می‌شوند که این موضوع و طول آن در سبدهایی نیز لحاظ شده است. به منظور حفظ ایمنی نیروهای کار در هنگام نصب سبد و ستون، می‌توان در سر میلگردهای شمع از کلاهک‌های قارچی پلاستیکی میلگرد استفاده کرد. در شکل (۳-۱۰) نحوه اتصال صفحه شابلون صفحه ستون به سبد میلگرد شمع نشان داده شده است. برای امتداد و اتصال میلگردهای شمع، از وصله مکانیکی استفاده می‌شود که پس از خاکبرداری و رسیدن به تراز پی، میلگرد بخش مهار شمع به پی با وصله مکانیکی متصل و شمع در پی مهار می‌شود. البته ممکن است طراح از اتصال گیردار شمع و مهار آن به پی صرف‌نظر کرده باشد و نیازی به امتداد دادن میلگردهای شمع داخل پی نباشد، اما قطعاً این موضوع باید در مدلسازی، تحلیل و طراحی پی و شمع لحاظ گردد و نحوه اتصال شمع به پی دقیقاً مطابق با فرضیات طراحی باشد. در غیر این صورت تغییر جزئیات اتصال شمع به پی بدون هماهنگی با مشاور و طراح ساخت به روش بالا-پایین توصیه نمی‌شود. میلگردهای عرضی شمع‌های دایره‌ای می‌تواند بر اساس نظر طراح، شامل خاموت بسته و سنجاقی و یا دورپیچ باشد. در مورد اجرای دورپیچ، فاصله گام‌های آن باید مطابق با نکات آیین‌نامه‌ای و نقشه‌های اجرایی طراح باشد و امکان عبور بتن نیز از فضای مابین میلگردها به راحتی فراهم باشد. در حین اجرا بدون هماهنگی و کسب اجازه از طراح، اجازه تغییر میلگردهای عرضی به شکل خاموت بسته و تبدیل آن به دورپیچ نمی‌باشد.



شکل ۳-۵ جزئیات اتصال ستون فولادی یا مغزه فولادی ستون مختلط به شمع (اتصال به صورت مدفون)



شکل ۳-۶ جزئیات اتصال ستون فولادی یا مغزه فولادی ستون مختلط بتنی به شمع (اتصال به وسیله صفحه ستون به سر شمع)





شکل ۳-۷ سبد میلگرد بافته شده به شکل دایره برای نصب ستون‌ها به روش معلق و مهار شده در بخش فوقانی شمع، میلگردهای عرضی شامل خاموت‌های دورپیچ دایره‌ای و همچنین خاموت بسته لوزی می‌باشد. (جزئیات ارائه شده در شکل ۳-۵).



شکل ۳-۸ سبد میلگرد بافته شده به شکل مربع و استفاده از شابلون فولادی جهت ایجاد صلیبیت و یکپارچگی سبد و همچنین اتصال میله-مهارهای صفحه‌ستون به سبد میلگرد شمع





شکل ۳-۹ سبد میلگرد بافته شده به شکل دایره برای نصب ستون‌ها به روش معلق و مهار شده در بخش فوقانی شمع، میلگردهای عرضی به صورت دورپیچ می‌باشد (جزئیات ارائه شده در شکل ۳-۵)



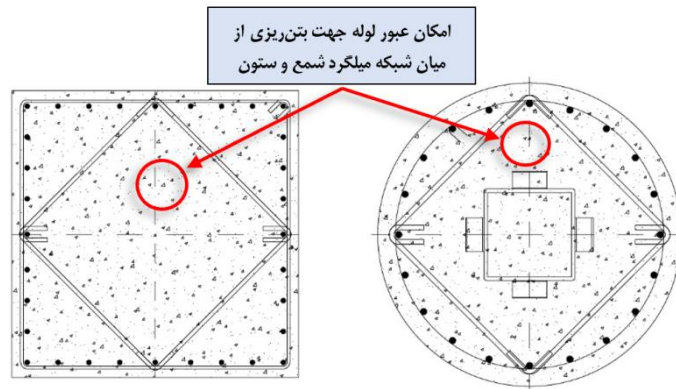
میل مهار کف ستون که به کمک شابلون به سبد میلگرد شمع متصل شده است.

استفاده از کوپلر جهت توسعه میلگرد سبد شمع و اتصال آن به پی

شکل ۳-۱۰ صفحه شابلون میل مهارهای صفحه ستون که به سبد میلگرد شمع متصل شده است.

نکته دیگری که لازم است در نقشه‌های مقطع شمع و جانمایی ستون مورد توجه قرار گیرد، موضوع بتن‌ریزی سبد شمع‌ها است. چه بتن‌ریزی شمع پس از نصب ستون به صورت معلق انجام شود و یا بتن‌ریزی قبل از نصب ستون باشد، باید به امکان عبور لوله‌ای حداقل به قطر ۵ اینچ از میان سبد میلگرد شمع، جهت بتن‌ریزی فکر کرد و طراحی و نحوه خاموت‌گذاری و سنجاقی‌های شمع را بر اساس ایجاد یک فضای مناسب جهت عبور لوله بتن ارائه نمود (شکل ۳-۱۱).

به منظور تامین پوشش کافی بتن در جدار و کف شمع، ضروری است از فاصله‌گذار<sup>۱</sup>های پلاستیکی یا بتنی مناسب استفاده شود. برای تامین پوشش بتنی در جدار و مجاورت دیواره چاه، توصیه می‌شود از فاصله‌گذارهای مخصوص سبد شمع که در بازار به نام کیج فیکس<sup>۲</sup> شناخته می‌شوند استفاده شود (شکل ۳-۱۲). این فاصله‌گذارها نسبت به فاصله‌گذارهای خورشیدی که برای دیگر مقاطع بتنی به جز شمع استفاده می‌شود، پهن‌تر و محکم‌تر هستند و سطح صافی دارند که سبب می‌شود هنگام عبور سبد شمع از داخل چاه، راحت‌تر حرکت کند.



شکل ۳-۱۱ مقطع عرضی شمع و نحوه چیدمان میلگردهای عرضی نسبت به شمع و ستون مدفون در شمع که امکان عبور لوله جهت بتن‌ریزی را به راحتی فراهم نماید.



شکل ۳-۱۲ استفاده از فاصله‌گذار مخصوص سبد شمع به منظور تامین پوشش بتنی در جدار شمع.

### ۳-۲-۲-۱-۲- بتن‌ریزی شمع

با توجه به اینکه بتن‌ریزی شمع‌ها از طریق چاه حفاری شده انجام می‌شود و محل ریختن بتن فاصله زیادی از لبه چاه دارد، لازم است تا بتن‌ریزی به کمک لوله و به روش ترمی<sup>۳</sup> انجام شود تا ارتفاع سقوط بتن به حداقل مقدار و متناسب با حدود آیین‌نامه‌ای برسد.

<sup>1</sup> Spacer

<sup>2</sup> Cage fix

<sup>3</sup> Tremie



بتن‌ریزی باید یکپارچه انجام شود و ایجاد درز سرد و بتن‌ریزی در چند مرحله در طول شمع مجاز نمی‌باشد. برای ریختن بتن به کمک لوله ترمی به عمق چاه، مشخصات لوله ترمی باید طبق آیین‌نامه‌های ملی و بین‌المللی باشد. نمونه تصاویر اجرا در شکل (۳-۱۳) و (۳-۱۴) نشان داده شده است.

در صورتیکه بتن‌ریزی شمع‌ها در شرایطی انجام شود که داخل چاه آب وجود داشته باشد، در ابتدا توصیه می‌شود با استفاده از پمپ‌های متناسب با دبی ورودی، آب داخل چاه پیش از بتن‌ریزی تخلیه گردد. در صورتیکه که امکان تخلیه آب داخل چاه فراهم نگردد می‌توان بتن‌ریزی را به روش ترمی بدون تخلیه آب انجام داد، در این صورت بتن‌ریزی اولیه با لوله، گام مهم و حیاتی در انجام بتن‌ریزی است، زیرا برای اولین بار است که بتن سبب پخش شدن سیال داخل چاه می‌شود. دو روش بتن‌ریزی خشک و تر به روش ترمی در استانداردهای مختلف وجود دارد که بتن‌ریزی به روش تر کاربردی و اجرایی‌تر است و توصیه می‌شود.

در بتن‌ریزی و ریختن اولیه خشک، یک صفحه فولادی که دارای حلقه آب‌بندی است، در انتهای لوله ترمی قرار داده می‌شود، طوری که هیچ آبی هنگام پایین فرستادن لوله ترمی به داخل لوله جریان پیدا نکند. در این حالت انتهای لوله ترمی بسته است و بتن وقتی با سیال داخل چاه تماس پیدا می‌کند که شروع بتن‌ریزی از داخل لوله اتفاق می‌افتد. بنابراین بتن در لوله‌ای که هیچ آبی به آن نفوذ نکرده است جریان می‌یابد. لوله از انتهای چاه ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر بالا کشیده می‌شود تا بتن از انتهای لوله جریان یابد و به کف چاه بریزد. در چاه‌هایی که عمق آب زیاد است امکان دارد که فشار آب سبب غوطه‌ور شدن لوله شود.

در بتن‌ریزی و ریختن اولیه تر، یک تویی یا جدا کننده باید از قبل داخل لوله تعبیه شود که از اختلاط آب و بتن جلوگیری به عمل آید. زیرا اختلاط بتن و آب در لوله سبب جدایش سنگدانه‌ها می‌شود. در شروع بتن‌ریزی لوله ترمی باید تا کف چاه پایین فرستاده و سپس کمی بالا کشیده شود تا فاصله‌ای بین انتهای لوله و کف چاه ایجاد گردد. این فاصله نباید از قطر لوله بزرگتر باشد. برای شروع جریان بتن از انتهای لوله باید تویی لوله از انتهای آن خارج شود.

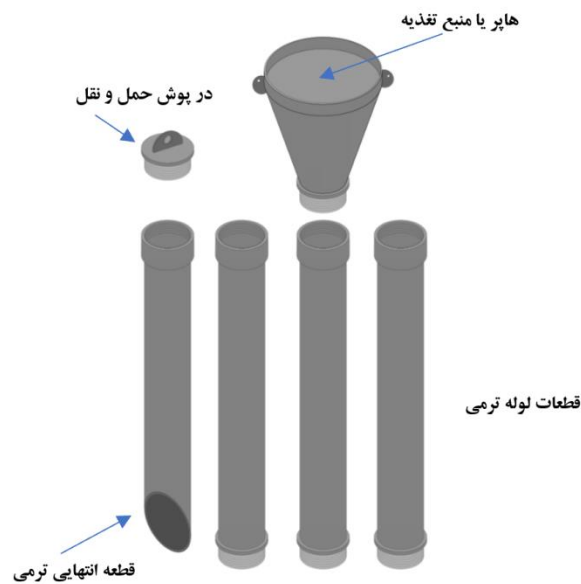
در هنگام بتن‌ریزی در زیر آب، لوله باید ۳ متر داخل بتن مدفون باشد. در صورتیکه لوله بیشتر از ۳ متر داخل بتن مدفون شود، بتن‌ریزی سخت‌تر می‌شود. بنابراین حداقل طول مدفون لوله داخل بتن به ۳/۰ متر و حداکثر آن به ۸/۰ متر باید محدود شود. توصیه می‌شود که پس از ۳ یا ۴ متر بتن‌ریزی، طول میله چاه شمع در زیر آب، لوله ۱/۰ متر بالا کشیده و بتن‌ریزی شمع کامل شود. بهتر است در انتهای بتن‌ریزی مقدار مدفون‌شدگی لوله داخل بتن به ۲/۰ متر کاهش داده شود.

به‌طور کلی در هنگام بتن‌ریزی شمع به وسیله لوله، بتن باید به آسانی و بدون هیچ مشکلی داخل لوله حرکت کند. نیاز به تکان دادن لوله و بالا و پایین کردن آن برای جریان یافتن بتن نشان از کمبود کارایی بتن است. تکان دادن و بالا و پایین کردن لوله (لوله فولادی) ریسک مخلوط شدن بتن تمیز و کثیف رادر بتن‌ریزی زیر آب، افزایش می‌دهد و باید از این کار اجتناب شود. برای اینکه بتن داخل لوله جریان یابد، باید فشار بتن بر نیروی اصطکاک داخل لوله، مقاومت ناشی از فشار هیدرو استاتیک آب و مقاومت ناشی از بتنی که پیش‌تر از داخل لوله به چاه ریخته شده است، غلبه کند.

با توجه به اینکه امکان استفاده از روش‌های مبتنی بر لرزاننده‌ها<sup>۱</sup> برای خروج هوای بتن در بتن‌ریزی شمع‌ها وجود ندارد، لازم است تا طرح مخلوط بتن شمع از نوع خودتراکم باشد. طرح مخلوط بتن برای به‌دست آوردن طرح مخلوط بتن پایدارتر، افزایش ویسکوزیته و تنش تسلیم مورد نظر باید طوری باشد تا تمایل بتن به جدایش سنگدانه‌ها و آب انداختن را کاهش داد. برای کاهش آب انداختن و جدایش سنگدانه‌ها موارد ذیل نیز توصیه می‌شود:

- جایگزینی بخشی از سیمان با افزودنی‌های بسیار ریزدانه (مشخصاً یک پرکننده ریزتر از ذرات سیمان)
- تنظیم توزیع اندازه سنگدانه‌ها (خوب‌دانه‌بندی شده)
- اضافه کردن افزودنی‌های کاهنده آب<sup>۲</sup>
- افزایش حجم آب یا خمیر

همچنین می‌توان از افزودنی‌های مناسب مطابق با اصول فناوری بتن و مندرجات در مقررات ملی ساختمان استفاده نمود.

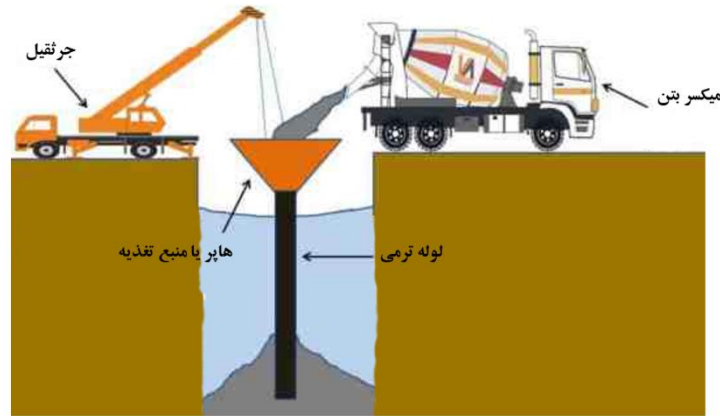


شکل ۳-۱۳ جزئیات تشکیل دهنده لوله ترمی

<sup>1</sup> Vibrators

<sup>2</sup> Plasticizers or Superplasticizers





شکل ۳-۱۴ تصویر شماتیک از بتن‌ریزی به روش ترمی در زیر آب و جزئیات به کار رفته.

در شکل (۳-۱۵) نمونه‌ای از بتن‌ریزی شمع‌ها در روشی که ستون سازه به صورت معلق در سر چاه نصب شده است مشاهده می‌شود. لوله خرطومی که قطر ۵ اینچ دارد را می‌توان به وسیله اتصالات مناسبی به لوله‌های فولادی پمپ‌های زمینی و هوایی بتن متصل کرد و از فضای خالی مابین ستون و دیواره چاه و شبکه میلگرد شمع، به انتهای چاه فرستاد و بتن‌ریزی را انجام داد. امکان بیرون کشیدن تدریجی لوله خرطومی به کمک جرتقیل نیز وجود دارد.



شکل ۳-۱۵ تصویری از یک نوع لوله خرطومی مخصوص بتن‌ریزی به قطر ۵ اینچ که تا انتهای چاه جهت بتن‌ریزی شمع فرو رفته است.

### ۳-۲-۲-۱-۳- آماده سازی شرایط جهت نصب اجزای قائم باربر

پیش از نصب اجزای قائم باربر در روش بالا-پایین، ضرورت دارد تا آماده‌سازی‌های لازم جهت نصب فراهم گردد. این آماده‌سازی‌ها می‌تواند مربوط به سر چاه، درون چاه و یا سر شمع باشد. بسته به نحوه نصب اجزای قائم پیش‌نیازهای مختلفی جهت نصب وجود دارد. در ادامه نحوه آماده‌سازی با توجه به نوع اجزای قائم باربر تشریح می‌گردد.

### ۳-۲-۲-۲-۱- اجرای ستون‌ها

#### ۳-۲-۲-۲-۱- آماده‌سازی سر چاه در نصب معلق ستون‌ها

نصب و شاقولی ستون‌ها در روش بالا-پایین و با دقت قابل قبول آئین‌نامه، عملیاتی پرچالش و حساس می‌باشد. لذا توصیه می‌گردد به منظور کاهش خطاهای احتمالی و افزایش ایمنی اجرا، از المان‌های سرچاهی مناسبی استفاده گردد. بنا به روش اجرا، وزن و شکل ستون، المان‌های سرچاهی با ابعاد و ظرفیت‌های مختلفی می‌تواند ساخته شود.

چنانچه نحوه اتصال ستون‌های سازه به شمع به صورت مدفون در شمع باشد و روش نصب به صورت معلق از سر چاه باشد، باید در سر چاه از اجزایی استفاده شود که بتوان به کمک آن، ستون را به صورت معلق نگاه داشت و شاقول کرد. بنابراین این المان سرچاهی یا تنظیم‌کننده ستون باید قادر باشد وزن ستون معلق در سر چاه را تحمل و به درستی به خاک زیر خود در سر چاه منتقل نماید و پی‌های این المان باید قادر باشند در حین نصب ستون، پایدار باقی بمانند. این المان سرچاهی یا تنظیم‌کننده ستون بر حسب ملاحظات اجرایی و طراحی، می‌تواند بسیار ساده و یا با فناوری بسیاری بالایی ساخته شود و مورد استفاده قرار گیرد.

به‌طور کلی آماده‌سازی سر چاه جهت نصب معلق ستون‌ها شامل، (۱) برداشت خاک دستی، تسطیح و آماده‌سازی خاک در سر چاه، (۲) اجرا یا نصب پی با ظرفیت باربری و نشست مجاز مناسب در سر چاه، (۳) نصب المان سرچاهی بر روی پی، (۴) اتصال ستون معلق به سرچاهی با اتصالات مناسب می‌باشد.

شایان ذکر است، ضروری است پایداری دیواره چاه و سرچاه و همچنین تک‌تک اجزاء و اتصالات سرچاهی نصب، تحت بار ناشی از وزن ستون معلق، تحلیل و طراحی شود و از پایداری آن اطمینان حاصل شود.

در شکل (۳-۱۶)، تصویری از یک نمونه ساده المان نصب سرچاهی ستون به صورت معلق مشاهده می‌گردد. در این حالت بالشتک‌های بتنی در دو طرف چاه به صورت دقیق و تراز در تراز نصب مورد نظر، ساخته می‌شوند و نبشی نشیمن متصل شده به ستون بر روی تیرهای فولادی قرار گرفته و به کمک جوش متصل می‌گردد. با توجه به اینکه در این حالت، بالای ستون در یک نقطه به یک تکیه‌گاه ثابت متصل و شاقول شده است، ضرورت دارد برای کنترل شاقولی و شاقول باقی ماندن ستون حین بتن‌ریزی شمع، در نقطه‌ای بالاتر از سر شمع نیز، ستون به کمک اجزای مناسبی که مطابق با شرایط اجرایی و توصیه‌های مشاور ساخت به روش بالا-پایین مشخص می‌گردد، در داخل چاه مهار شود.

در شکل (۳-۱۷)، نمونه‌ای از سکوی تراز‌کننده سرچاهی برای نصب ستون‌های پیش‌ساخته بتنی به صورت معلق مشاهده می‌شود. ستون‌های پیش‌ساخته بتنی وزن قابل توجهی دارند که باید در سر چاه بتوان آنها را پایدار و معلق نگاه داشت. المان سرچاهی شکل (۳-۱۷) دارای چهارچوب فولادی مستحکمی به منظور جلوگیری از ایجاد تغییرشکل‌های داخلی، تحت بارهای سنگین وارده از ستون پیش‌ساخته بتنی می‌باشد. اتصالات و تجهیزات تعبیه شده روی این سکوی سرچاهی، کمک می‌کند تا عملیات گیرش ستون، تثبیت قطعات مختلف نصب و نهایتاً تحمل وزن و حفظ راستای ستون آویزان امکان‌پذیر گردد. در فرایند نصب، چهارچوب فولادی سکوی سرچاهی در موقعیت دقیق خود در دهانه چاه قرار می‌گیرد و ستون از طریق کابل‌های فولادی با ظرفیت بالا به آن متصل می‌گردد. نشیمن ستون بر روی سکو از طریق ترمزهایی می‌باشد که بر روی پیچ‌های تنظیم قرار



می‌گیرند. بنابراین می‌توان با تغییر ارتفاع پیچ‌های تنظیم علاوه بر تنظیم ارتفاعی ستون، شاقولی و راستای ستون را نیز تنظیم نمود. از این سکوی سرچاهی می‌توان برای نصب ستون‌های فولادی به صورت معلق نیز بهره برد.



شکل ۱۶-۳ یک نمونه از اجزای نصب ستون به صورت معلق در سرچاه در روش بالا-پایین



شکل ۱۷-۳ یک نمونه سکوی سرچاهی استفاده شده در ایران برای نصب ستون‌های پیش‌ساخته بتنی و ستون‌های فولادی به صورت معلق. در شکل (۱۸-۳)، نمونه‌ای از سکوی سرچاهی مورد استفاده در سایر کشورها نشان داده شده است. این سکو، طول قابل توجهی از ستون در بالا و داخل چاه را در بر می‌گیرد و زمانیکه ستون به داخل چاه فرو می‌رود، چهارچوب متصل به سر آن در دهانه چاه قرار می‌گیرد و امکان تراز نمودن کل این چهارچوب و به واسطه آن ستون معلق، به وسیله قطعه فوقانی وجود خواهد داشت. نمونه پیشرفته‌تری از این نوع تراز کننده‌های سرچاهی



در شکل (۳-۱۹) نشان داده شده است که دارای ترازهای دقیق و جک‌های هیدرولیکی در عمق‌های مختلف جهت نصب دقیق ستون به روش معلق می‌باشد.

شایان توجه است که در هنگام استفاده از سکوی‌های سرچاهی، باید به این نکته دقت داشت که پس از نصب سکو و سپس معلق نگاه داشتن ستون، بایستی امکان عبور لوله ترمی از میان اجزای نصب و ستون معلق برای بتن‌ریزی شمع وجود داشته باشد. امکان جابجایی سکوی سرچاهی پس از بتن‌ریزی و گیرش بتن شمع زیر ستون، با ثابت نگاه داشتن سر ستون در بالای چاه وجود دارد.



شکل ۳-۱۸ نمونه‌ای از سکوی سرچاهی جهت نصب ستون‌های معلق در روش ساخت بالا-پایین در خارج از کشور.



شکل ۳-۱۹ نمونه‌ای از سکوی سرچاهی جهت نصب ستون‌های معلق در روش ساخت بالا-پایین در خارج از کشور که دارای جک‌های هیدرولیکی و سیستم پایش و تراز دقیق و دیجیتالی می‌باشد.





در زمان نگارش این متن، تجهیزات نصب مانند آنچه در شکل‌های (۳-۱۷) و (۳-۱۹) نشان داده شد، برای نصب معلق ستون‌ها در ایران وجود ندارد. با توجه به اینکه ستون‌ها اغلب طول قابل توجهی دارند و با یک نقطه اتصال در سر چاه نمی‌توان از شاقولی ستون‌ها اطمینان حاصل کرد و همچنین در هنگام بتن‌ریزی شمع زیر ستون، جابجایی بخش تحتانی ستون واقع در چاه ناشی از ضربات پمپاژ بتن محتمل است، ضرورت دارد در داخل چاه و نزدیک به سر شمع، ستون مهار گردد. به خصوص ستون‌های فولادی به دلیل وزن کمتر نسبت به ستون‌های پیش‌ساخته بتنی در معرض جابجایی هستند و بایستی به دیواره چاه مهار گردد تا از جابجایی ستون و ناشاقولی آن جلوگیری شود.

در شکل (۳-۲۰)، ستون معلق داخل چاه نشان داده شده است که علاوه بر اتصال ستون در سر چاه به سکوی سرچاهی، جهت شاقولی و ثابت ماندن ستون داخل چاه، ۳ متر بالاتر از سر شمع، ستون به وسیله قوطی و ورق‌های فولادی به دیوار چاه مهار شده است.

آماده‌سازی سر چاه در روش نصب ستون‌ها بر روی صفحه ستون ساده‌تر است. در مورد نصب ستون‌ها بر روی میل مهارهای صفحه ستون، نیاز به آماده‌سازی خاصی در سر چاه نیست. مگر اینکه بنا به ضرورت، نیاز به وصله دو قطعه از ستون در اعماق بالای گودبرداری باشد. در این صورت وصله دو قطعه ستون به کمک سکوهای سرچاهی نصب معلق، همانند آنچه در بخش قبل توضیح داده شد، خواهد بود. انجام وصله در روش نصب معلق ستون‌ها نیز همانند آنچه در بخش‌های قبل توضیح داده شد، می‌باشد.



اتصال پروفیل قوطی که با ورق‌های فولادی و میلگرد به دیواره چاه و به ستون مهار شده است

شکل ۳-۲۰ استفاده از دو پروفیل قوطی به صورت متعامد در بر ستون و جوش دادن آنها به ستون و مهار کردن قوطی به دیواره چاه به منظور ثابت کردن بخش تحتانی ستون فولادی در روش نصب معلق.

در شکل (۳-۲۱) نمونه‌ای از انجام وصله جوشی ستون در روش بالا-پایین مشاهده می‌شود. در این حالت، قطعه زیرین ستون بر روی سکوی نصب، معلق و ثابت نگاه داشته می‌شود و سپس قطعه فوقانی که به وسیله جرثقیل

آویزان است، به قطعه تحتانی جوش داده می‌شود. در شکل (۳-۲۲)، وصله ستون فولادی به روش پیچی مشاهده می‌شود. انجام وصله پیچی در سر چاه نسبت به وصله جوشی سرعت بیشتری دارد. در شکل (۳-۲۳) نمونه‌ای دیگر از انجام وصله، برای ستون‌های پیش‌ساخته بتنی در سر چاه مشاهده می‌شود که قطعه زیرین به کمک سکوی نصب ستون، معلق نگاه داشته شده و قطعه فوقانی از قلاب جرثقیل آویزان است و وصله پیچی به کمک فلنج‌های تعبیه شده در دو قطعه ستون در حال انجام است. در شکل (۳-۲۴)، نحوه دیگری از وصله ستون‌های پیش‌ساخته بتنی مشاهده می‌گردد که در آن به جای استفاده از فلنج و پیچ، از وصله مکانیکی (کوپلر) و ملات (گروت) استفاده می‌شود. در این روش میلگردهای اصلی دو قطعه ستون به وسیله وصله مکانیکی وصله می‌شوند، سپس با قالب‌بندی دور ستون، ملات (گروت) ریزی انجام و مقطع بتنی در محل وصله کامل می‌شود. مانند دیگر مسائل اجرایی در روش ساخت بالا-پایین، لازم است در خصوص نوع وصله نیز طراحی بر اساس ملاحظات اجرایی انجام شود. اکیداً توصیه می‌گردد که انجام وصله ستون در سر چاه و با تیم اجرایی مسلط بر کار انجام شود. به خصوص در مورد وصله‌های جوشی که نیاز به عملیات جوشکاری جدی و طولانی مدت دارد، انجام وصله جوشی در داخل چاه بسیار مخاطره‌آمیز خواهد بود و همچنین به دلیل محدودیت و دشواری فضای کاری بسته داخل چاه، جوشکاری وصله در چاه معمولاً دقت و کیفیت لازم را نخواهد داشت.

ذکر این نکته ضرورت دارد که امکان حمل ستون‌های با طول بیشتر از ۱۲ متر به کمک کشنده‌های مخصوص وجود دارد و می‌توان ستون‌های با طول تا ۲۴ متر را نیز با تمهیدات ویژه ترافیکی و ایمنی به محل پروژه حمل و بدون انجام عملیات وصله در سر چاه و یا کاهش تعداد وصله‌های سرچاهی، نصب نمود. انجام وصله در محل کارخانه کیفیت اجرای بهتری نسبت به وصله در سر چاه خواهد داشت و به این روش نصب ستون‌ها چه در روش معلق و چه در روش نصب بر روی کف ستون، تسریع می‌گردد. در این شرایط هزینه حمل افزایش می‌یابد و باید مقایسه فنی و اقتصادی برای این حالت که سرعت نصب افزایش یافته است و زمان انجام وصله در سرچاه کوتاه شده است انجام شود. از طرفی شرایط پروژه از جمله عرض معبر و ابعاد زمین پروژه، امکان حمل، جابجایی، دپو و نصب ستون‌های طویل را دیکته خواهد نمود و در برخی شرایط امکان نصب ستون‌های یک تکه با طول بلند داخل چاه وجود نخواهد داشت.

در هر حال برای نصب ستون‌ها، امکان وصله در کارخانه و سپس حمل، وصله در کارگاه و روی زمین و بعد قرار دادن داخل چاه و یا قراردادن داخل چاه و سپس وصله داخل یا سرچاه وجود دارد. از منظر کیفیت، وصله در کارخانه با کیفیت‌ترین، و وصله بیرون چاه به مراتب با کیفیت‌تر از وصله داخل چاه است. قراردادن ستون وصله شده داخل چاه مستلزم جرثقیل بزرگتر و بلندتری است. حمل ستون وصله شده نیز مستلزم وسیله حمل مناسب و خاص و البته فراهم بودن شرایط ترافیکی و طول و عرض مناسب معابر است.



شکل ۳-۲۱ نمونه ای از انجام وصله جوشی ستون فولادی در سر چاه

در برخی موارد که کف ستون با ستون همزمان تعبیه شده‌اند، لازم است میله‌مهارهای صفحه‌ستون به طور مناسبی در سر شمع و تراز زیر پی مهار گردند. بنابراین چنانچه نیاز به وصله قطعات ستون نباشد، در این روش تمرکز آماده‌سازی به جای سر چاه به سر شمع منتقل می‌گردد. یعنی می‌توان همانند آنچه در شکل (۳-۲۵) نشان داده شد، به کمک شابلون‌هایی میله‌مهارها را به سبد شمع متصل کرد و پس از بتن‌ریزی شمع، شابلون مربوطه را برای ساخت صفحه‌ستون به کارخانه ساخت ارسال کرد. در این حالت تنها ضرورت دارد که سر ستون در بالای چاه ثابت گردد تا هنگام عملیات اجرایی ستون از حالت شاقولی خارج نگردد. با توجه به اینکه در این حالت وزن ستون از ابتدای نصب بر روی شمع منتقل شده است، می‌توان از اجزای سبک و ساده‌ای همچون دو مقطع قوطی و یک ملات‌کشی ساده به‌عنوان عضو سرچاهی استفاده کرد تا ستون جابجا و ناشاقول نگردد. مشروط بر اینکه نیازی به وصله قطعات ستون نباشد. در شکل (۳-۲۵)، مهارهای اجرا شده به صورت یک نمونه اجرا شده در پروژه‌ها ارائه شده است. البته این رویکرد ممکن است در دیگر طرح‌ها و حسب نظر طراح تغییراتی داشته باشد.



شکل ۲۲-۳ نمونه ای از انجام وصله پیچی ستون فولادی به صورت معلق در سر چاه



شکل ۲۳-۳ انجام وصله ستون پیش ساخته بتنی به کمک فلنج فولادی و پیچ





شکل ۳-۲۴ انجام وصله ستون پیش ساخته بتنی به کمک وصله مکانیکی و استفاده از گروت ریزی



شکل ۳-۲۵ مهارهای اجرا شده در شمع پس از بتن ریزی شمع و خارج کردن شابلون صفحه ستون

### ۳-۲-۲-۲-۳- ساخت و نصب ستون‌ها

ستون‌های سازه برای ساخت و نصب به روش بالا-پایین، محدودیتی از نظر مصالح مصرفی ندارند و می‌توان ستون‌های فولادی با مقاطع باکس، لوله، H و صلیبی، ستون‌های بتنی به روش پیش ساخته، درجاریز و نظایر آن را

در این روش به کار برد. استفاده از ستون‌های با مقطع مختلط از جمله ستون‌های فولادی پر شده با بتن (CFT<sup>۱</sup>) و ستون‌های بتنی دارای مغزه فولادی (SRC<sup>۲</sup>) نیز در این روش کاربرد می‌باشد.

### ۳-۲-۲-۱- ساخت و نصب اجزا قائم باربر فولادی

بر اساس مسائل اقتصادی، سیستم سازه در طراحی و ملاحظات اجرایی، می‌توان از ستون‌های فولادی که ستون‌های طراحی شده برای بارهای بهره‌برداری سازه است و برای مراحل ساخت از بالا-پایین نیز طراحی و کنترل شده است، استفاده کرد. بنابراین پس از آماده‌سازی سر چاه و نصب سبد شمع داخل چاه، ستون فولادی باید نصب گردد که این ستون فولادی می‌تواند در بخشی از طول شمع مهار گردد. همچنین می‌توان از اجزای فولادی به عنوان یک هسته مرکزی برای یک ستون مختلط بتنی استفاده کرد که مراحل ساخت و نصب آن مشابه با ساخت یک ستون فولادی است. مغزه فولادی ستون‌های مختلط بتنی تنها وظیفه انتقال بارهای ناشی از ساخت به روش بالا-پایین به زمین را به عهده دارند و برای گام‌های اجرایی ساخت به روش بالا-پایین تحلیل و طراحی می‌شوند و ستون مختلط بتنی دارای هسته فولادی (مقطع مختلط نهایی) برای بارهای بهره‌برداری تحلیل و طراحی خواهد شد.

در هر حال اولین مرحله پس از طراحی سازه، تهیه نقشه‌های کارگاهی<sup>۳</sup> می‌باشد. ضروری است تا هنگام ساخت ستون، هر آنچه برای نصب نیاز است در نقشه‌های کارگاهی اضافه و در کارخانه ملاحظات ساخت آن در نظر گرفته شود. چنانچه ضرورت دارد قطعات جهت سهولت نصب، در کارخانه ساخته شود و یا برعکس قطعات به دلایل اجرایی، پای کار نصب گردند، همگی موارد باید هنگام طراحی و تهیه نقشه‌های سازه و نقشه‌های کارگاهی مورد توجه قرار گیرد.

روش مدفون کردن ستون در شمع بتنی و اتصال و انتقال تدریجی نیرو از ستون فلزی به شمع بتنی، در اجرای سازه به روش بالا-پایین، روش توصیه شده و الگوی متعارف جهانی است (شکل ۳-۵). بدین ترتیب که ستون درون چاه معلق شده و سپس بتن ریزی شمع انجام می‌شود. در این روش توسط برشگیرهای روی وجوه ستون، اتصال ستون فلزی و شمع انجام می‌شود. این روش اجراء، ریسک کمتری داشته، مطمئن‌تر است و در اجرا با سادگی بیشتری همراه است. لیکن لازم است طراحی انتقال بار بر اساس ضوابط مربوطه انجام شود. شایان ذکر است در اتصالات مدفون ستون داخل بتن، استفاده از گل میخ به علت جهات مختلف تنش وارده مورد توصیه است. البته استفاده از ناودانی به عنوان برشگیر نیز با منظور کردن جهت درست نصب بر اساس جهت جریان برش موجود نیز قابل استفاده است.

در ستون فولادی که با کف ستون نصب می‌شود، آکس ستون در سر چاه پیاده و سپس به کمک شاقول و روش‌های دستی نقاط از سر چاه به داخل چاه و سر شمع منتقل و محور ستون در سر شمع پیاده می‌شود. پس از آن صفحه ستون بر روی پیچ(بولت)ها قرار گرفته و عملیات شاقولی ستون و بستن مهره‌ها و همچنین ثابت و شاقولی شدن ستون در سر چاه با المان‌های سبک، انجام می‌شود. این فرآیند را می‌توان در شکل‌های (۳-۲۶) و (۳-۲۷)

<sup>۱</sup> Concrete Filled Tube

<sup>۲</sup> Steel Reinforced Concrete

<sup>۳</sup> Shop drawing



مشاهده کرد. توصیه می‌شود در این حالت، ستون متصل شده به صفحه‌ستون به داخل چاه فرستاده شود و از جوشکاری ورق‌های کنج (لچکی‌ها) و کف‌ستون در داخل چاه به دلیل مخاطرات ناشی از گاز گرفتگی جوشکاری و همچنین تاثیرات منفی کار در فضای بسته چاه بر روی کیفیت اجرا، خودداری شود. در شکل (۳-۲۸) تصویری از ستون نصب شده به همین روش با دید از بالای چاه مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۲۶ انتقال نقاط محور ستون پیاده شده در سر چاه به پایین چاه و سر شمع جهت نصب و شاقولی ستون مستقر بر صفحه‌ستون



شکل ۳-۲۷ نصب و ملات‌ریزی ستون دارای کف‌ستون بر روی بولت‌های مهار شده در شمع

چنانچه ضرورت داشته باشد که برای اتصال ستون، قطعه‌ای به آن در هنگام ساخت در کارخانه اضافه شود، این موضوع هنگام تهیه نقشه‌های اجرایی و کارگاهی در ساخت به روش بالا-پایین باید لحاظ گردد. به‌عنوان مثال در شکل (۳-۲۹)، نبشی نشیمن جهت نصب معلق ستون‌ها در نقشه‌های اجرایی و همچنین کارگاهی کارخانه ساخت دیده شده است و نبشی نشیمن در کارخانه ساخت اسکلت در تراز ارتفاعی نصب، که از پیش در اجرا برنامه‌ریزی شده بود، بر روی ستون جوش داده شده است. شایان ذکر است که نبشی نشیمن نیز باید برای بارهای وارد بر آن در هنگام نصب معلق ستون تحلیل و طراحی شود تا در هنگام نصب مشکلی ایجاد نگردد. در شکل (۳-۳۰) مثال دیگری مشاهده می‌شود که در کارخانه ساخت اسکلت، در چهار گوشه یک ستون فولادی چهار گوشواره



و داخل ستون یک هادی کشویی فلزی جهت سهولت در نصب اولیه دو قطعه ستون در محل وصله پیش از عملیات جوشکاری وصله‌ها نصب شده است تا دو قطعه به راحتی روی هم قرار گیرند و عملیات وصله دو قطعه تسهیل گردد.



شکل ۳-۲۸ نصب ستون فلزی در سازه فلزی به روش بالا-پایین بر روی پیچ (بولت) های کف ستون و روی شمع در چاه.



اتصال نبشی نشیمن جهت نصب معلق  
که در کارخانه ساخت اسکلت ستون  
به ستون متصل شده است.

شکل ۳-۲۹ اتصال نبشی نشیمن در تراز ارتفاعی مورد نظر نصب معلق در هنگام ساخت ستون در کارخانه ساخت اسکلت.



شکل ۳-۳۰ اتصال از قطعات الحاقی به ستون فولادی در کارخانه ساخت جهت تسهیل در عملیات وصله ستون‌ها در سایت. در مورد مغزه‌های فولادی ستون‌های بتنی مختلط و همچنین مقطع فولادی ستون‌های پر شده با بتن، نحوه ساخت، اتصال و نصب اجزای فولادی همانند ستون‌های فولادی فوق‌الذکر است. در روی ستون‌های فولادی برشگیرهایی برای اتصال دیوار حائل یا برشی و موارد مشابه در نظر گرفته می‌شود. باید به این نکته توجه ویژه داشت که در هنگام نصب ستون به روش مدفون و داخل چاه این اتصالات سازگاری مناسبی با روش اجرا داشته باشند. در شکل (۳-۳۱) بر روی ستون گل میخ<sup>۱</sup> جوش داده شده و ستون همراه با گل میخ داخل چاه نصب شده است که پس از اجرای خاک و سیمان و همچنین عملیات خاکبرداری در طبقات زیرزمین این گل میخ‌ها آسیب دیده و ظرفیت خود را از دست داده‌اند. بنابراین جزییات طراحی و همچنین نکات اجرایی باید به گونه‌ای دنبال شوند که کیفیت ساخت به حداکثر مقدار خود مطابق با شرایط اجرایی ساخت از بالا-پایین برسد.



شکل ۳-۳۱ آسیب دیدن گل میخ‌های نصب شده روی ستون پس از عملیات خاک - سیمان چاه و همچنین خاکبرداری.

### ۳-۲-۲-۲-۲-۲-۳ ساخت و نصب اجزا قائم باربر بتنی

در مورد اجرای سازه‌های بتنی به روش بالا-پایین رویکردهای مختلفی وجود دارد. امکان اجرای یک سازه بتنی به روش استفاده از ستون‌های پیش‌ساخته بتنی، استفاده از اجرای ستون‌های بتنی به صورت مختلط یعنی بتنی با

<sup>۱</sup> Head Stud

هسته فولادی و نیز به صورت درجاریز و داخل چاه نیز وجود دارد. در ادامه به شرح هر یک از این روش‌ها پرداخته خواهد شد.

### ۳-۲-۲-۲-۱- ستون‌های پیش‌ساخته بتنی

یکی از راهکارهای اجرای ستون‌های بتنی در روش ساخت بالا-پایین، استفاده از ستون‌های پیش‌ساخته بتنی و نصب آنها داخل چاه است. ساخت ستون‌های پیش‌ساخته در محل پروژه یا کارخانه ممکن است. البته توصیه می‌شود ستون‌های پیش‌ساخته در کارخانه مناسب این کار تولید و سپس به محل کارگاه پروژه حمل گردد. چراکه تجهیزات ساخت، عمل‌آوری و جابجایی ستون‌های پیش‌ساخته را نمی‌توان به‌طور کامل در محیط کارگاه پروژه فراهم آورد و حذف هرکدام از موارد، منجر به بالا رفتن احتمال خرابی و حادثه در محیط کارگاه خواهد شد. اولین مرحله در تولید ستون‌های پیش‌ساخته، تهیه فهرست کامل برش و رزوه میلگردها بر اساس نقشه‌های کارگاهی تایید شده می‌باشد. در مرحله تهیه نقشه‌های کارگاهی ستون‌ها، موارد ذیل باید به دقت مدنظر قرار داده شوند:

- مقاطع ستون در طول طبقات منفی در نقشه به‌طور واضح مشخص باشد. توصیه می‌شود مقطع ستون از نظر ابعاد در تمامی طبقات زیرزمین یکسان باشد.
  - آرماتورگذاری طولی ستون در طول طبقات زیرزمین در ترازهای مختلف مشخص گردد. آرایش و چینش آرماتورهای طولی ستون باید به نحوی در نظر گرفته شود که بتوان آرماتورهای انتظار اتصال<sup>۱</sup> تیرها و دیوارها را به بهترین شکل جاگذاری نمود.
  - تعیین دقیق ابعاد و زاویه برخورد تیرها با ستون که باید به‌وضوح در نقشه‌های کارگاهی منعکس گردد.
  - تعیین آرایش آرماتورگذاری تیرها در مقطع ستون و جانمایی دقیق در نقشه‌های کارگاهی باید انجام شود. در این مرحله ممکن است آرماتورهای طولی تیرها در نقشه‌های اولیه دستخوش تغییر و با آرماتورهای با نمره بالاتر معادل شوند.
  - آرایش آرماتورگذاری دیوارهای برشی و یا حائل در ستون‌ها باید تعیین شود. لازم است ابعاد نهایی دیوار به درستی در ستون‌ها پیش‌بینی و آرماتورهای افقی دیوار در محل مناسب در ستون تعبیه گردد.
  - چنانچه در طراحی اتصال ستون به شمع، اتصال گیردار در نظر گرفته شده باشد، ضرورت دارد که میلگردهای انتظار برای مهار ستون در شمع در انتهای ستون تعبیه گردد.
  - بر حسب روش نصب ستون‌ها، اگر از شابلون سر استفاده می‌گردد، لازم است آرماتورهای طولی از قسمت فوقانی ستون حداقل ۱۵ سانتی‌متر بیرون‌زدگی داشته باشند.
- سپس در مرحله بعدی و هنگام ساخت، شابلون‌هایی برای نگهداری آرماتورهای طولی و بر اساس آرایش و چینش آنها تهیه شده و در ابتدا و انتهای هر قطعه قرار داده می‌شود. آرماتورهای طولی در سوراخ‌های تعبیه شده در شابلون قرار گرفته و عملیات تا تکمیل چینش آرماتورهای طولی ادامه داده می‌شود. در این مرحله باید دقت

<sup>۱</sup> Insert



نمود، قبل از عبور آرماتورهای طولی از هر دو شابلون، خاموت‌ها با تعداد کافی در بین دو شابلون قرارگیرند و آرماتورهای طولی از درون آنها عبور داده شوند. بعد از تکمیل جانمایی آرماتورهای طولی، خاموت‌ها بر اساس نقشه‌های کارگاهی در محل خود قرار گرفته و به آرماتورهای طولی بسته می‌شوند. پس از آن می‌توان آرماتورهای سنجاقی را بر اساس نقشه‌های کارگاهی در محل خود نصب کرد. بعد از تکمیل آرماتورگذاری طولی و خاموت‌ها، نوبت به جانمایی آرماتورهای انتظار اتصال تیرها، دیوارها و پی می‌رسد. با توجه به لزوم نصب این اجزاء با دقت بسیار بالا، شابلون‌های جداگانه‌ای از جنس فوم سرد برای این منظور تهیه و در محل‌های دقیق سوراخ‌کاری می‌شود. ابتدا شابلون‌ها بر اساس تراز طبقات نصب گردیده و سپس آرماتورهای الحاقی (اینسرت) در محل شابلون‌ها قرار داده می‌شوند.

بعد از تکمیل عملیات آرماتوربندی و شابلون‌گذاری ستون‌ها، قالب‌های کناری ستون در محل خود قرار داده می‌شوند. بهتر است قالب‌ها از نوع یک تکه (پنلی) باشند تا ستون در طول خود و حین بتن‌ریزی دچار اعوجاج نگردد. در مرحله بعد و بعد از تکمیل قالب‌بندی، ستون‌ها بتن‌ریزی و عملیات نگهداری آغاز می‌شود. طرح اختلاط بتن مورد استفاده بر اساس مشخصات ارائه شده در نقشه‌ها محاسبه می‌گردد، اما باید توجه نمود بتن مورد استفاده در ستون‌های پیش‌ساخته از رده مقاومتی C30 کمتر نباشد. همچنین طرح اختلاط و نگهداری بعد از بتن‌ریزی باید به نحوی باشد که بتن در زمان کوتاهی به مقاومت اولیه برای جابجایی قطعات برسد. به این منظور موارد ذیل توصیه می‌گردد:

- دانه‌بندی شن و ماسه دارای پیوستگی باشد و برای روانی بهتر بتن، از مصالح پرکننده مانند پودر سنگ در بتن استفاده گردد.
- افزودنی‌هایی مانند میکروسیلیس (به صورت دوغاب، ژل و نظایر آن) و روان‌کننده‌ها کمک قابل توجهی به ارتقا کیفیت بتن خواهند کرد.
- بتن با حداقل درصد آب مخلوط ممکن، تهیه و روانی بتن با استفاده از روان‌کننده‌ها تأمین گردد.

در شکل‌های (۳-۳۲) و (۳-۳۳) به ترتیب تصاویری از آرماتوربندی ستون پیش‌ساخته و همچنین ستون‌های آماده شده در محل کارخانه برای حمل به محل پروژه نشان داده شده است.

در مورد نصب ستون‌های پیش‌ساخته بتنی تفاوت خاصی با ستون‌های فولادی وجود ندارد. همانند آنچه در مورد سکوه‌های نصب سرچاهی ستون‌ها و در توضیحات شکل‌های (۳-۱۷)، (۳-۲۳) و (۳-۲۴) گفته شد، مانند ستون‌های فولادی، محور ستون بر روی زمین و سرچاه و هنگام آماده سازی سکوه‌های سرچاهی نصب، پیاده می‌شود و سپس ستون پیش‌ساخته بتنی به صورت معلق و از طریق سکوی سرچاهی شاقول می‌شود. اتصال ستون پیش‌ساخته به شمع زیر آن از طریق مهار میلگردهای ستون به شمع است که در بخش قبل به آن اشاره شد. پس از شاقولی و ثابت شدن ستون در محور مورد نظر، عملیات بتن‌ریزی ریشه شمع همانند آنچه در بخش‌های قبلی به آن اشاره شد، انجام می‌شود و پس از گیرش بتن شمع، سکوی سرچاهی آزاد می‌گردد. با توجه به اینکه انتظار اتصالات سازه به ستون در داخل ستون از پیش نصب شده است، دقت عملیات نصب ستون به صورت معلق و مدفون در چاه در این حالت از اهمیت بالایی برخوردار است.

شایان ذکر است بحث اتصالات اعضای پیش ساخته یکی از مهمترین مسائل در طراحی اجزای پیش ساخته می باشد. بطور کلی اتصالات درجا از کیفیت و سادگی بیشتری نسبت به اتصالات پیش ساخته برخوردار است و به همین دلیل در سازه هایی که از قطعات پیش ساخته در آنها استفاده می شود، سعی می شود اتصالات اعضای پیش ساخته در نقاط با نیروهای داخلی کمتر انجام شود. بخصوص در مواردی که سازه ها در مناطق زلزله خیز طراحی شده و در نقاطی از سازه انتظار شکل پذیری بالا وجود دارد، توجه به این نکات از اهمیت بیشتری برخوردار است. اتصال قطعات پیش ساخته با روشهای مختلفی از قبیل با بتن درجا، با کابل پس تنیدگی و با میله های مقاومت بالا ممکن است.

همانطور که ذکر شد، در نوع اتصال با بتن درجا در قطعات پیش ساخته، آرماتورهای انتظار از قطعات پیش ساخته بیرون گذاشته می شوند و محل اتصال با بتن ریزی درجا تکمیل می گردد. از مزایای این نوع اتصال، می توان به سادگی رفتار آنها و امکان ایجاد رفتار شکل پذیر در آنها اشاره نمود. از معایب اتصال درجا می توان به تداخل عملیات بتن ریزی درجا با عملیات نصب قطعات پیش ساخته، ایجاد تأخیر در عملیات نصب تا ایجاد گیرش در بتن، تفاوت رنگ بتن درجا و پیش ساخته و مشکلات تداخل آرماتورهای قطعات پیش ساخته با یکدیگر اشاره نمود.

در این نوع اتصال، انتقال برش توسط برش اصطکاکی بتن با بتن که با عبور آرماتورهای عمود بر سطح اتصال تقویت می شود، و انتقال خمش توسط فشار در بتن و کشش در آرماتورهای عمود بر سطح انجام می شود. شایان ذکر است که در اجرای بخش های بتنی چه ساخت ستون پیش ساخته و چه توسعه اعضای بتنی در هر یک از روش های اجرایی، چنانچه از وصله مکانیکی برای اتصال میلگرد استفاده شود، ضرورت دارد که انجام رزوه میلگرد به روش رولینگ باشد و حتما برش میلگرد باید با تجهیزات برش مانند اره نواری، اره دیسکی و یا اره صابونی انجام شود و برش میلگرد با قیچی های فشاری به هیچ عنوان پذیرفته نمی باشد. استفاده از روش براده برداری در رزوه میلگرد به دلیل کاهش سطح مقطع میلگرد نیز مجاز نمی باشد.



شکل ۳-۳۲ نمونه ای از آرماتوربندی ستون پیش ساخته بتنی





ساخت و نصب بخش‌های فولادی این ستون‌های مختلط کاملاً مشابه با ساخت و نصب ستون‌های فولادی است که در بخش ساخت و نصب اجزای قائم باربر فولادی به تفصیل شرح داده شد و از ذکر مجدد آن خودداری می‌شود. در اینجا تنها به ذکر این نکته در مورد اجرای مغزه یا ستون اصلی به صورت CFT بسنده می‌شود که پس از نصب مقطع فولادی ستون و پر کردن چاه با مصالح مناسب که در بخش دیگری شرح داده خواهد شد، مقطع فولادی با بتن پر می‌شود. با توجه به شرایط بتن‌ریزی این مقاطع فولادی، استفاده از بتن خودتراکم با طرح مخلوط و روانی مناسب ضرورت پیدا می‌کند.

لیکن پیرامون ساخت بخش بتنی ستون‌های مختلط می‌بایست نکات متعددی به شرح ذیل مورد توجه قرار گیرد. در مورد ستون‌های مختلط بتنی که مغزه فولادی در ابتدا به عنوان جزء باربر قائم به صورت مدفون داخل چاه اجرا می‌شود، پس از خاکبرداری، مقطع ستون کامل و یک پوشش بتنی در اطراف مغزه اجرا و تبدیل به ستون مختلط بتنی در آن طبقه می‌شود. بنابراین پس از خاکبرداری ضرورت دارد تا مغزه فولادی از خاک و آلودگی که در اطراف آن وجود دارد پاکسازی شود. می‌توان از فشار باد یا آب و یا برس‌های سیمی و هر ابزار مناسب دیگری برای زدودن آلودگی‌های روی مغزه استفاده کرد. سپس شبکه میلگرد ستون مختلط بر روی مغزه بسته می‌شود. در خصوص انتظار و اتصال میلگردهای ستون و اجرای از بالا-پایین و نحوه محافظت از طول وصله (همپوشانی یا مکانیکی)، تمامی مراحل همانند دیوار حائل می‌باشد. در شکل (۳-۳۴) و شکل (۳-۳۵)، به ترتیب آرماتوربندی بر روی مغزه فولادی و قالب‌بندی ستون مختلط بتنی مشاهده می‌شود. در شکل (۳-۳۶) مشاهده می‌گردد، در مقطع نهایی ستون بتنی مختلط ریخته شده، وصله به حالت انتظار برای اجرای ستون طبقه زیرین تعبیه شده است. روش اجزاء قائم مختلط از جمله مناسب‌ترین روشهای اجرای سازه‌های بتنی با الگوی بالا-پایین است.



شکل ۳-۳۴ آرماتوربندی اطراف مغزه فولادی برای اجرای ستون مختلط بتنی.





شکل ۳-۳۵ قالب بندی چوبی و فلزی ستون مختلط بتنی.



وصله مکانیکی که به صورت  
انتظار در میلگردهای ستون  
تعبیه شده است

شکل ۳-۳۶ مقطع نهایی اجرا شده ستون مختلط بتنی

### ۳-۲-۲-۲-۲-۲-۳ ستون‌های درجاریز بتنی

اجرای ستون‌های درجاریز بتنی در ساخت به روش بالا-پایین را می‌توان به دو روش انجام داد. یکی از این روش‌ها استفاده از روشی مشابه ریختن شمع‌های بتنی است. پس از عملیات چاه‌کشی، که هندسه چاه طبق هندسه ستون حفاری و سبد میلگرد ستون داخل چاه قرار داده می‌شود، بتن‌ریزی مانند شمع‌های درجاریز بتنی انجام می‌شود. در این حالت شمع زیر ستون و ستون به صورت یکپارچه اجرا می‌گردد. نکته‌ای که در خصوص این روش وجود دارد این است که میلگردهای انتظار مربوط به توسعه اعضاء و اتصال ستون به دیوار حائل یا تیر و سقف سازه، باید از پیش در شبکه میلگرد دیده شود. همانند آنچه در خصوص ستون‌های پیش‌ساخته بتنی شرح داده شد، وصله‌ها می‌تواند به صورت اتصال مکانیکی (کوپلر) لحاظ گردد. در این حالت نصب شبکه میلگرد ستون داخل چاه نیاز به دقت بالایی دارد و نظر به بتن‌ریزی داخل چاه، امکان جابجایی شبکه میلگرد نیز وجود دارد. اغلب در این حالت از روش کاشت میلگرد استفاده می‌شود و پس از خاکبرداری میلگردهای اتصال سقف، تیر و یا دیوار به روش کاشت در ستون بتنی ریخته شده، نصب و توسعه اعضا به این طریق انجام می‌شود. با توجه به اینکه بتن‌ریزی داخل چاه انجام می‌شود، عمل‌آوری بتن در مجاورت خاک و همراه با از دست دادن آب خواهد

بود. نکته دیگری که در این نوع اجرا وجود دارد، سطح ناهموار بتن ریخته شده ستون پس از خاکبرداری است که به وضوح در شکل (۳-۳۷) مشخص است. به دلیل سطح ناهموار چاه که دارای فرورفتگی و برآمدگی‌هایی است، پس از خاکبرداری و پدیدار شدن وجه بیرونی ستون، بتن ستون دارای فرورفتگی یا برآمدگی است و سطح هموار و مناسبی ندارد. در نتیجه پس از خاکبرداری ضرورت دارد که سطح ستون پرداخت و ترمیم شود که زمان و هزینه‌های مربوط به خود را در پی خواهد داشت. استفاده از این روش با محدودیت‌هایی همراه است و مستلزم رعایت جزئیات فنی مهمی است و جز در موارد خاص توصیه نمی‌شود.



شکل ۳-۳۷ استفاده از ستون‌های درجاریز بتنی و با بتن‌ریزی داخل چاه در ساخت به روش بالا-پایین در پروژه‌ای در امریکا

روش دیگر اجرای درجاریز ستون‌های بتنی، انجام عملیات آرماتوربندی، قالب‌بندی و بتن‌ریزی به صورت مرحله‌ای و از پایین و سر شمع به سمت بالا می‌باشد. در این حالت مانند ستون‌های پیش‌ساخته بتنی می‌توان میلگرد انتظار اتصال عناصر سازه‌ای به ستون را به صورت مدفون در ستون با اتصال مکانیکی در نظر گرفت. در این شرایط موضوع جانمایی آن، دقت بالایی در تهیه نقشه‌های کارگاهی و عملیات اجرایی نیاز دارد. در شکل (۳-۳۸) نمونه‌ای از این روش اجرایی مشاهده می‌شود که چاه حفاری شده به کمک غلاف فولادی پایدار شده و عملیات آرماتوربندی و قالب‌بندی ستون داخل چاه در حال انجام است. نکته قابل در این روش، توجه به ایجاد فضای کاری امن و مناسب برای نیروی کار داخل چاه است که در تصویر شکل (۳-۳۸)، راه دسترسی، تهویه و روشنایی و همچنین فضایی کاری مناسب از نظر ابعادی برای نیروی کار مشاهده می‌شود. تامین پایداری دیواره چاه نیز در این روش از اهمیت بالایی برخوردار است. در این روش نحوه جایگذاری میلگردهای انتظار جهت اتصال دیوار، تیر یا سقف به ستون می‌تواند به روش اتصال مکانیکی (کوپلر) و یا روش کاشت میلگرد باشد. در مورد نحوه و همچنین نوع اتصال و نحوه اجرا، حتما باید پیش از عملیات اجرایی از مشاور ساخت از بالا-پایین کسب تکلیف نمود و تاییدات لازم را اخذ کرد. به عنوان مثال در اجرای مرسوم این نوع ستون‌ها، نحوه اتصال تیر، سقف یا دیوار به ستون با توجه به توالی اجرا و نحوه بتن‌ریزی متفاوت است. در حالیکه در روش انتظار وصله مکانیکی یا کاشت میلگرد، عملکرد اتصال متفاوت خواهد بود که تاثیر این موارد در طرح باید به تایید مشاور رسانده شود. در شکل (۳-۳۹) نمونه دیگری از این روش اجرایی مشاهده می‌شود که میلگردهای انتظار



اتصال تیر به ستون به صورت انتظار دارای وصله مکانیکی (کوپلر) در نظر گرفته و سپس بتن‌ریزی ستون انجام شده است. در این روش مانند روش مرسوم از پایین به بالای اجرای ستون‌های بتنی، بتن‌ریزی در گام‌های اجرایی کوتاه‌تر و مرحله‌ای از پایین به بالا انجام می‌شود و پس از بتن‌ریزی قالب و پس از باز کردن قالب، ستون بتنی به دیواره چاه مهار می‌شود تا شاقولی ستون کنترل گردد.

ضرورت دارد تا بتن مصرفی این نوع ستون‌ها از نوع خودتراکم باشد و بتن‌ریزی به وسیله لوله و از پایین‌ترین بخش ریخته و ارتفاع سقوط آزاد بتن به حداقل مقدار ممکن رسانده شود.

استفاده از این روش نیز به علت نیاز به حفاری با قطر بالا و دشواری عملیات ساخت و مهمتر از همه دشواری تامین کیفیت جز در موارد خاص توصیه نمی‌شود.



شکل ۳-۳۸ آرماتوربندی و قالب‌بندی ستون بتنی در یک چاه پایدار شده با غلاف فولادی، راه دسترسی ایمن، تهویه و روشنایی برای نیروهای کار تامین شده است



شکل ۳-۳۹ نمونه‌ای از اجرای ستون بتنی داخل چاه و از پایین به بالا؛ (الف) بتن‌ریزی مرحله به مرحله ستون از پایین به سمت بالا و مهار ستون ریخته شده به دیواره چاه - (ب) قرار دادن میلگردهای انتظار با اتصال مکانیکی (کوپلر) جهت اتصال ستون به تیر





### ۳-۲-۲-۲-۳- کنترل‌های لازم در مرحله نصب اجزای قائم باربر

هنگام نصب ستون‌های سازه در روش بالا-پایین، ضرورت دارد تا محور ستون به درستی در سر چاه پیاده‌سازی شود و این محور به درستی به پایین و داخل چاه منتقل گردد. بنابراین هنگام عملیات چاه‌کشی، پس از تسطیح و تنظیم (رگلاژ) و آماده‌سازی سر چاه و نیز در هنگام نصب ستون‌ها، استقرار تیم نقشه‌برداری در محل پروژه ضرورت پیدا می‌کند. در فصل پنجم این راهنما درباره جزئیات روش پیاده‌سازی بطور مفصل صحبت شده است. لیکن در مراحل نصب ستون‌ها، محور پیاده شده ستون را می‌توان به کمک شابلون‌های مناسبی در سر چاه از قبیل بالشتکهای بتنی و تیرها یا مقاطع فولادی و با استفاده از تراز لیزری و شاقول دستی به پایین چاه منتقل کرد. پس از نصب ستون و هنگام شاقول کردن آن، لازم است نقشه‌بردار با قرائت چند نقطه در ارتفاع ستون که از بیرون چاه قابل قرائت است، شاقولی ستون را کنترل کند. در کنار قرائت نقشه‌بردار، شاقولی ستون در داخل چاه نیز با شاقول دستی یا لیزری کنترل خواهد شد و پس از اطمینان از شاقولی ستون در حد رواداری‌های مجاز، اقدام به تثبیت ستون می‌شود.

### ۳-۲-۲-۳- پر کردن فضای خالی مابین چاه و اجزای قائم باربر

پس از نصب تمامی اجزای قائم باربر داخل چاه به روش‌های مذکور، باید فضای خالی مابین چاه و اجزای قائم باربر به روش و با مصالح مناسبی پر شود. با توجه به اینکه پس از نصب ستون تا مرحله اجرای سقف یا تیرهای هر طبقه زیرزمین، طول مهار نشده یک ستون مقدار قابل توجهی دارد، پر کردن چاه برای جلوگیری از کمانش ستون ضرورت دارد. پر کردن چاه باید با مصالح و با تراکم مناسب انجام شود تا محصورشدگی لازم برای ستون را تامین کند.

مصالحی که برای پر کردن چاه به کار می‌رود بسته به ملاحظات اقتصادی، مصالح در دسترس، محصورشدگی و تراکم مورد نظر مشاور ساخت به روش بالا-پایین و مسائل اجرایی می‌تواند متفاوت باشد. برای این منظور استفاده از شن شکسته یا ترکیب مناسبی از خاک سرند شده محل، مخلوط خاک محل با سیمان یا بتن با عیار پایین طبق دستورالعمل مشاور ساخت از بالا-پایین می‌تواند مناسب باشد. با توجه به اینکه مصالحی که برای پر کردن چاه به کار می‌رود از بالای چاه به داخل آن ریخته و به نوعی پرتاب می‌شوند، توصیه می‌شود مصالحی که برای اینکار به کار می‌رود دارای قطعات درشت و بزرگ مانند قلوه سنگ نباشد تا ضربات ناشی از پرتاب این قطعات سبب آسیب به ستون و اتصالات موجود روی آن نگردد.

در شکل (۳-۴۰) نمونه‌ای از پر کردن چاه نشان داده شده است. در تصویر، خاک محل پروژه که سرند و قلوه سنگ‌های آن جدا شده است با سیمان به میزان حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هر مترمکعب و مقدار مناسبی آب جهت مرطوب شدن ترکیب شده است. یک دستگاه مینی لودر، خاک، سیمان و آب را در بالای دهانه چاه ترکیب می‌کند و خاک مخلوط شده را به داخل چاه می‌ریزد. می‌توان از نیروی انسانی و بیل دستی نیز برای پر کردن چاه استفاده کرد که زمان‌بر خواهد بود.

در شکل (۳-۴۱) نمونه دیگری ارائه شده است که چاه با بتن کم عیار پر شده است و پس از خاکبرداری اطراف هر ستون، ستون بتنی اطراف آن به وسیله پیکور مینی بیل خرد می‌شود. این نحوه پرکردن از نظر محصورشدگی ستون ایده‌آل است، اما خرد کردن بتن گیرش یافته، پرهزینه و زمان‌بر است. نحوه پرکردن چاه باید طبق دستورالعمل مشاور ساخت از بالا-پایین که در نقشه‌های اجرایی منعکس شده است انجام شود.



شکل ۳-۴۰ پر کردن چاه با ترکیب سیمان، آب و خاک سرنند شده محل به وسیله مینی لودر.



شکل ۳-۴۱ خرد کردن ستون سیمانی پرکننده اطراف ستون اصلی سازه به وسیله پیکور

### ۳-۲-۲-۴- دیوارهای حائل مدفون

دیوارهای حائل مدفون، دیوارهایی عمیق و مدفون در خاک هستند که به روش‌های مختلفی پیش از انجام هرگونه عملیات خاکی و داخل محیط خاکی اجرا می‌شوند. این دیوارها می‌توانند با فناوری‌های مختلفی همچون سپرهای فولادی<sup>۱</sup>، دیوارهای متشکل از شمع‌های منفصل، مماسی<sup>۲</sup> و یا متقاطع<sup>۳</sup>، دیوار جداکننده<sup>۴</sup> و دیوارهای خاک سیمانی<sup>۵</sup> اجرا گردد که در ادامه شرح داده شده‌اند.

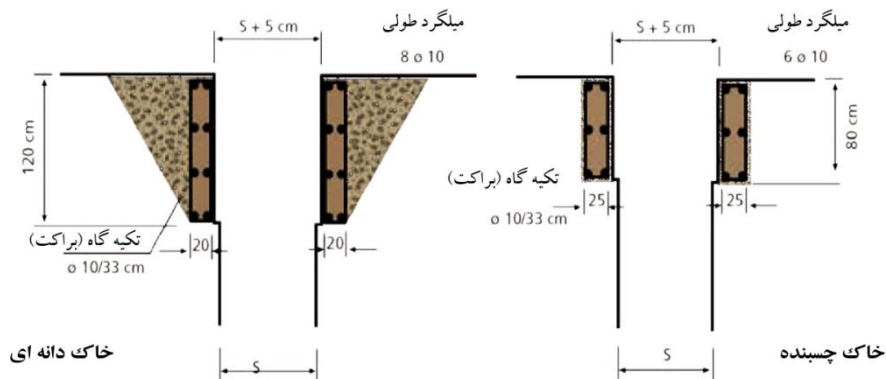
### ۳-۲-۲-۴-۱- آماده‌سازی سر چاه در اجرای دیوار

### ۳-۲-۲-۴-۱-۱- دیوار دیافراگمی

به‌منظور هدایت دستگاه‌های حفاری جهت انجام قائم حفاری و همچنین نصب قائم شبکه میلگرد دیوارها، در سر ترانشه هر بخش از دیوار، یک دیوار هادی<sup>۶</sup> اجرا می‌شود. که در شکل (۳-۴۲) یک طرح شماتیک از دیواره هادی

1 Sheet Piles  
2 Tangent piles  
3 Secant Piles  
4 Diaphragm Walls  
5 Soilcement  
6 Guide wall

نشان داده شده است. بسته به نوع خاک (چسبنده یا دانه‌ای بودن) عمق دیواره هادی از ۸۰ سانتی‌متر تا ۱۲۰ سانتی‌متر می‌تواند متغیر باشد. این دیواره هادی، یک دیوار بتن مسلح به ضخامت ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر است که به صورت درجا ریخته می‌شود و سپس حفاری ماشین‌های حفار از میان آن انجام و به کمک آن شبکه میلگرد دیوار دیافراگمی داخل ترانشه هدایت می‌شود. در واقع وظیفه دیواره هادی حفر قائم ترانشه و نصب قائم شبکه میلگرد دیوار است. در شکل (۳-۴۳) و (۳-۴۴) تصویری از دیواره هادی یک بخش از دیوار دیافراگمی و فاصله‌گذار بتنی آن نشان داده شده است که از این دیواره جهت هدایت شبکه میلگرد و همچنین معلق باقی نگه داشتن آن جهت وصله قطعه بعدی استفاده شده است. فاصله نگهدارهای بتنی که در تصویر مشاهده می‌شود به تامین پوشش کافی بتن و همچنین هدایت صحیح شبکه میلگرد به داخل ترانشه کمک می‌کند.



شکل ۳-۴۲ جزئیات دیواره هادی دیوار دیافراگمی در خاک های چسبنده و دانه‌ای.



شکل ۳-۴۳ فاصله‌گذار بتنی در احداث دیوار بتنی



شکل ۳-۴ نصب شبکه میلگرد دیوار دیافراگمی به کمک دیواره هادی و معلق نگه داشتن قطعه تحتانی در سر ترانشه جهت وصله به قطعه فوقانی

### ۳-۲-۲-۴-۱-۲- دیوارهای شمعی

در اجرای دیوارهای متشکل از شمع‌های درجاریز بتنی، بسته به شرایط ژئوتکنیکی می‌توان از غلاف‌های فولادی در چند متر ابتدایی یا تمام ارتفاع چاه حفاری شده، استفاده نمود. در شکل (۳-۴۵)، تصویری از نصب سبد میلگرد شمع به کمک یک غلاف فولادی نشان داده شده است. غلاف فولادی در این حالت دو نقش دارد، اول اینکه چند متر ابتدایی دیواره چاه را در مقابل ریزش پایدار می‌کند و اگر کل چاه ریزشی باشد نیز می‌تواند در طول کل چاه امتداد یابد. دوم، اینکه چنانچه نیاز به هدایت قائم سبد میلگرد شمع باشد و یا نیاز به انجام وصله سبد در سر چاه باشد، به کمک این غلاف فولادی این کار امکان‌پذیر می‌گردد. در مورد دیوارهای شمع مماسی، اغلب یک دیواره هادی بتن درجا به شکل شمع‌های مماسی در سطح زمین به کمک قالب‌هایی از جنس پلی‌استایرن و به صورت درجا ریخته می‌شود که کاملاً از نظر شکل و اندازه مطابق با دیوار مورد نظر است. پس از ریختن این دیواره هادی، حفاری و نصب سبد میلگرد شمع از طریق این دیواره انجام می‌شود. این دیواره کمک می‌کند تا خط پروژه در مسیر درست خود اجرا و هدایت ماشین حفاری و سبد میلگرد شمع در ابتدای کار به صورت قائم انجام شود. در شکل (۳-۴۶) تصویری از قالب‌بندی دیواره هادی و دیواره درجا ریخته شده برای اجرای دیوار شمع مماسی مشاهده می‌شود.





شکل ۳-۴۵ استفاده از غلاف فولادی در سر چاه جهت نصب و وصله شبکه میلگرد شمع.



شکل ۳-۴۶ اجرای دیواره هادی بتنی در سر چاه به کمک قالب پلی استایرن در اجرای دیوار شمع مماسی.

### ۳-۲-۲-۴-۲ دیوارهای سپری

سپری‌های فولادی به‌عنوان روش شناخته شده‌ای برای اجرای دیوارهای حائل به‌کار می‌روند. سپری‌های فولادی مقاطعی به شکل‌های مختلف است که در کارخانه نورد شده‌اند و در پروژه به‌صورت کوبشی و یا با استفاده از لرزش چکش‌های مخصوص سپرکوب، تا عمق مورد نظر در داخل خاک رانده می‌شوند. به این ترتیب و با توجه به اتصال کام و زبانه مقاطع، دیوار پیوسته‌ای تشکیل می‌شود. چکش‌های سپرکوب که عملکرد کوبشی و یا لرزشی دارند، می‌توانند به جرثقیل و یا بیل مکانیکی متصل شوند. بنابراین برای اجرای دیوار به این روش نیازی به حفاری، تخلیه و یا جابجایی خاک نمی‌باشد.

با استفاده از روش‌های مختلف می‌توان اقدام به آب‌بندی موقتی یا دائمی اتصال بین مقاطع فولادی سپری نمود تا از عبور آب از میان اتصالات جلوگیری شود. سپرها در اغلب خاک‌ها قابل اجراست، اما در مورد خاک‌های سخت به مقطعی با سطح مقطع بزرگتر به منظور امکان اعمال نیروی بیشتری برای رانش نیاز است که البته آنرا



غیر اقتصادی می‌نماید. به‌طور کلی استفاده از سپرها در خاک‌های سست مناسب‌تر است. چکش‌هایی که به‌منظور رانش این نوع سپرها استفاده می‌شود، می‌تواند منجر به ایجاد صدا یا ارتعاش گردد که در محیط‌های شهری با محدودیت همراه است.

سپرها اغلب به‌عنوان سیستم‌های حائل موقت استفاده می‌شوند و پس از تکمیل دیوار حائل دائمی زیرزمین سازه، از زمین خارج می‌گردند. در روش ساخت بالا-پایین می‌توان پیش از هرگونه انجام خاکبرداری اقدام به فروراندن مقاطع سپر داخل خاک نمود و از آن به عنوان دیوار حائل دائمی یا موقت و نیز حتی انتقال بار ثقلی استفاده کرد.

در شکل (۳-۴۷) رانش پروفیل‌های فولادی سپر به وسیله چکش‌های لرزاننده نشان داده شده است که می‌توان این چکش‌ها را به کمک بیل مکانیکی و یا جرثقیل به کار برد. همچنین در شکل (۳-۴۸) تصویری از دیوار سپری که به عنوان دیوار حائل دائمی یک سازه در روش ساخت بالا-پایین به کار رفته است مشاهده می‌گردد.



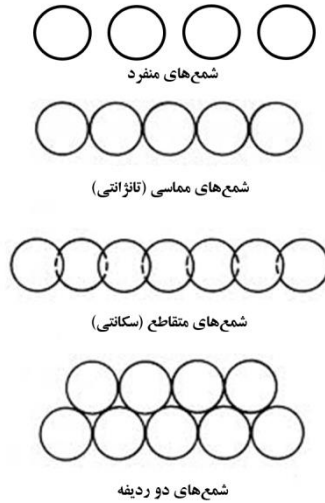
شکل ۳-۴۷ رانش مقطع سپری در خاک به کمک چکش سپرکوب: (الف) اتصال چکش به بیل مکانیکی، (ب) اتصال چکش به جرثقیل



شکل ۳-۴۸ استفاده از مقاطع سپری به عنوان دیوار حائل دائمی زیرزمین در یک پارکینگ طبقاتی که به روش ساخت بالا-پایین اجرا شده است

### ۳-۲-۲-۳-۴-دیوارهای متشکل از شمع‌ها

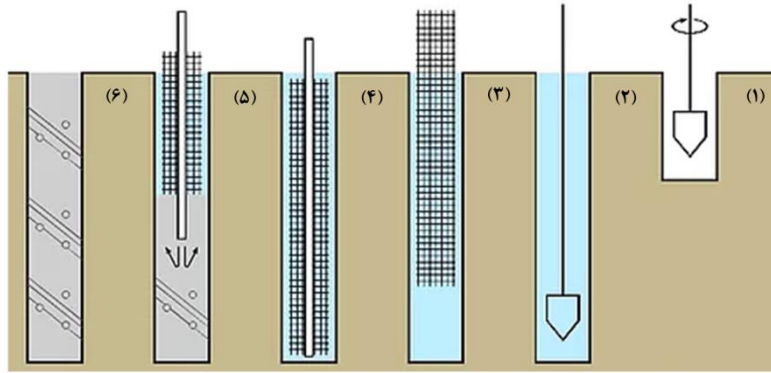
دیوارهای تشکیل شده از شمع‌ها انواع مختلفی دارند. گاهی این شمع‌ها با فاصله از هم هستند؛ گاهی شمع‌ها تماس بر هم و گاهی نیز متقاطع هستند. در مواردی نیز ممکن است چندین لایه شمع در کنار هم اجرا شود. در شکل (۳-۴۹) مقطع انواع این دیوارهای شمعی نشان داده شده است.



شکل ۳-۴۹ انواع مقاطع دیوارهای تشکیل شده از شمع‌ها

اجرای دیوار با شمع‌های منفصل به روش‌های مختلفی از جمله حفاری دستی و اجرای شمع بتنی درجا تا حفاری مکانیزه و اجرای شمع‌ها انجام می‌شود. یکی از فنون اجرای شمع بتنی درجا، روش مته مارپیچ پیوسته یا اوگر پروازی پیوسته (CFA<sup>1</sup>) است. در این روش توسط مته‌های (اوگرهای) ممتد، حفاری در فواصل مرکز به مرکز ۱/۵ تا ۳/۰ برابر قطر انجام و شمع اجرا می‌شود. در ابتدا حفاری محل اجرای شمع انجام و سپس شبکه میلگرد یا مقاطع فولادی در محل جای‌گذاری و بتن‌ریزی انجام می‌شود (شکل ۳-۵۰). این نوع از سیستم‌های نگهدارنده تنها در برخی از انواع خاک به کار می‌رود تا بتوان پراکندگی خاک و خروج آب زیرزمینی را کنترل و یا از آن جلوگیری نمود. برای مثال چنین روشی می‌تواند برای ساختگاه متشکل از خاک رس مناسب باشد. اما در جاییکه شن آبدار وجود دارد، استفاده از آن مناسب نیست. در شکل (۳-۵۱) تصویری از مقطع و نمای این نوع دیوار که از اجرای شمع‌های بتنی درجاریز در کنار هم ایجاد شده است، نشان داده شده است. برای اجرای دیوارها با شمع‌های منفصل، شرایطی مناسب است که دیواره خاکی بین دو شمع پایدار بوده و ریزش نداشته باشد. در حالیکه دیوار با شمع‌های مماسی و متقاطع را می‌توان در اغلب خاک‌ها، مشروط به استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات مناسب، اجرا کرد. استفاده از دیوار با شمع‌های منفصل در ساخت به روش بالا-پایین در شکل (۳-۵۲) نشان داده شده است. این دیوارها به صورت مدفون و پیش از انجام خاکبرداری، اجرا شده و پس از خاکبرداری همانند آنچه در شکل نشان داده شده است، می‌تواند به صورت مرحله‌ای و از بالا-پایین با یک دیوار حائل بتنی سازه‌ای بر روی آن و همزمان با تکمیل سازه زیرزمینی پوشانده شود.

<sup>1</sup> Continuous Flight Auger (CFA)



شکل ۳-۵۰ مراحل اجرای شمع درجاریز بتنی: (۱) حفاری، (۲) پایدار کردن دیواره چاه با گل حفاری در صورت نیاز، (۳) جای گذاری شبکه میلگرد (یا مقطع فولادی)، (۴) انتقال لوله ترمی به داخل چاه، (۵) بتن ریزی شمع از انتهای چاه به سمت بالا به کمک لوله ترمی، (۶) شمع درجاریز بتنی.



شکل ۳-۵۱ نما و مقطع دیوار شمع‌های متصل که بین هر دو شمع فاصله‌ای وجود دارد و جبهه خاک بین دو شمع باید بتواند پایدار باقی بماند



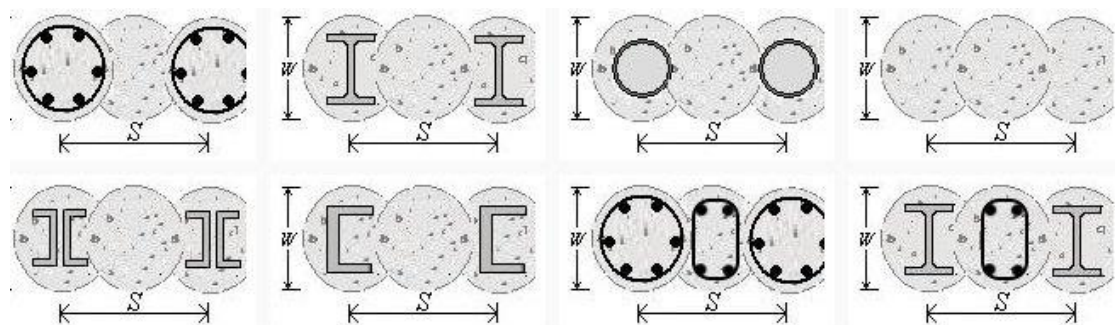
شکل ۳-۵۲ استفاده از دیوار شمع‌های متصل به عنوان دیوار حائل مدفون در اجرای سازه زیرزمینی به روش بالا-پایین (پس از خاکبرداری و هنگام تکمیل سازه زیرزمینی در هر طبقه، دیوار حائل بتنی دائمی سازه بر روی دیوار شمعی به صورت از بالا-پایین اجرا شده است).



نوع دیگر دیوارهای متشکل از شمع‌ها، دیوار با شمع‌های مماسی (تانژانتی) یا متقاطع (سکانتی) است. در این روش نیز معمولاً حفاری محل شمع‌ها به وسیله ماشین‌های حفار شمع انجام می‌شود و پس از حفاری، شبکه میلگرد یا مقاطع فولادی مسلح‌کننده شمع در محل حفاری قرار داده می‌شوند و سپس بتن‌ریزی به کمک لوله‌های ترمی انجام می‌شود (شکل ۳-۵۰). مسلح کردن شمع‌ها می‌تواند به وسیله مقاطع و یا میلگردهای فولادی انجام شود. شمع‌های بتنی اجرا شده به این طریق، در یکدیگر قفل و بست می‌شوند و بنابراین یک دیوار بتنی پیوسته را تشکیل می‌دهند. در دیوار شمع‌های مماسی، شمع‌ها معمولاً به صورت سخت - نرم<sup>۱</sup> (در اغلب موارد) یا به صورت سخت - سخت<sup>۲</sup> یک در میان کنار یکدیگر اجرا می‌شوند. حالت‌های مختلفی از اجرای شمع‌ها در دیوار شمع‌های مماسی در شکل (۳-۵۳) ارائه شده است. شمع‌های نرم در ابتدا با استفاده از یک ترکیب بتنی نرم ریخته می‌شوند که این شمع‌ها غیر مسلح هستند. پس از آن شمع‌های سخت با استفاده از بتن سازه‌ای مابین شمع‌های نرم و به صورت مماسی اجرا می‌شوند. در حالت سخت - سخت، شمع‌هایی که در ابتدا ریخته می‌شوند به گونه‌ای مسلح می‌شوند که شبکه میلگرد یا مقطع فولادی خارج از محدوده مماسی دو شمع قرار گیرد. شمع‌های سخت تمام مقاومت و سختی سازه‌ای را تأمین می‌نمایند و مسلح هستند. بخشی از شمع‌های اولیه در حین حفاری محل شمع‌های ثانویه توسط دستگاه حفار خراشیده می‌شود تا همپوشانی مابین دو شمع فراهم گردد. مشروط به فراهم نمودن رواداری‌های لازم کیفیت و لایه‌بندی، دیوار شمع‌های مماسی می‌تواند تقریباً شرایط یک پرده آب‌بند را در حالت کوتاه مدت و موقتی فراهم نماید. در شرایط دائمی باید ملاحظات مربوط به آب‌بند کردن دیوار مطابق با آیین‌نامه‌های موجود در نظر گرفته شود.

این نوع دیوارها به عنوان سازه نگهدارنده در گودبرداری‌ها مورد استفاده است. همچنین در ساخت سازه‌ها به روش بالا-پایین نیز کاربرد دارد (شکل ۳-۵۳).

در شکل (۳-۵۴) اجرای دیوار شمع‌های مماسی به صورت مدفون برای ساخت سازه به روش بالا-پایین (دیوار حائل دائمی سازه پس از انجام خاکبرداری و هنگام تکمیل سازه هر زیرزمین بر روی دیوار شمعی و به صورت مرحله‌ای از بالا-پایین اجرا می‌شود) نشان داده شده است.



شکل ۳-۵۳ حالت‌های مختلف اجرای شمع‌های مماسی، شمع‌های نرم - سخت و سخت - سخت و همچنین استفاده از پروفیل‌ها و شبکه میلگرد به شکل‌های مختلف.

<sup>۱</sup> Hard-Soft

<sup>۲</sup> Hard-Hard



از مزایای انواع دیوارهای اجرا شده با شمع‌ها، افزایش سختی دیوار در مقایسه با روش سپرکوبی، سر و صدای کمتر حین ساخت، اجرای سریع و آسان، صرفه اقتصادی و سرعت اجرای بیشتر نسبت به برخی روش‌های دیگر و آب‌بند بودن نسبی در نوع متقاطع است. از محدودیت‌های این روش نیز دشواری تامین رواداری‌های مربوط به شاقول بودن شمع‌ها به‌خصوص برای عمق‌های زیاد و آب‌بند نبودن و امکان نشت آب از فاصله بین شمع‌ها به داخل پروژه در صورت وجود آب در انواع غیر متقاطع و کاربرد نداشتن نوع منفصل در خاک‌های خیلی سست و ریزشی است.



شکل ۳-۵۴ اجرای دیوار شمع‌های مماسی به‌صورت مدفون برای ساخت سازه به‌روش بالا-پایین (دیوار حائل دائمی سازه پس از انجام خاکبرداری و هنگام تکمیل سازه هر زیرزمین بر روی دیوار شمع‌ی و به‌صورت مرحله‌ای از بالا-پایین اجرا می‌شود)

### ۳-۲-۴-۴-دیوار جداکننده یا دیافراگمی

در ادبیات فنی منظور از دیوار جداکننده، بیشتر نوع دیوارهای مدفون بتنی درجا است. این دیوارهای مدفون و معمولاً عمیق، با ایجاد ترانشه‌ای که با گل حفاری (بتونیت یا گل پلیمری<sup>۱</sup>) پایدار و به‌وسیله چنگک معلق از جرثقیل<sup>۲</sup> یا برش‌دهنده فرز<sup>۳</sup> (چنگک یا هیدرومیل) حفر می‌گردد، ساخته می‌شوند. معمولاً این دیوارها با بتن مسلح ساخته می‌شوند. البته ساخت با بتن غیرمسلح نیز در رفتارهای غیر خمشی همچون پرده آب‌بند سدها امکانپذیر است. در این دیوارها پس از حفر ترانشه، شبکه فولاد داخل ترانشه نصب و سپس با بتن‌ریزی، بتن جایگزین گل پایدارکننده می‌شود. اجرای دیوار معمولاً به‌صورت بخش‌های دهانه به دهانه است و در نهایت یک دیواره یکپارچه و پیوسته ایجاد خواهد شد (شکل ۳-۵۵).

ضخامت این دیوارها معمولاً از ۴۰ سانتی‌متر تا ۱۵۰ سانتی‌متر و طول آنها از ۲۵۰ سانتی‌متر تا ۷۰۰ سانتی‌متر متغیر است و تا عمق ۱۰۰ متر یا بیشتر نیز می‌توان با استفاده از این روش حفاری نمود. این نوع دیوارها برای زیرزمین‌های عمیق، ایستگاه‌های راه‌آهن زیرزمینی، کاربری‌های تونل، ایستگاه‌های پمپاژ و نظایر آن مناسب هستند. با این فناوری امکان ساخت دیوار در نزدیکی سازه‌های موجود نیز وجود دارد. از این نوع دیوارها می‌توان به‌عنوان سازه نگهبان گودبرداری در ترکیب با روش‌های مختلف پایدارسازی از جمله، انکراژ، مهار متقابل و همچنین اجرای بالا-پایین سازه‌ها استفاده کرد. دیوارهای بتنی به‌عنوان دیوارهایی بسیار سخت، به

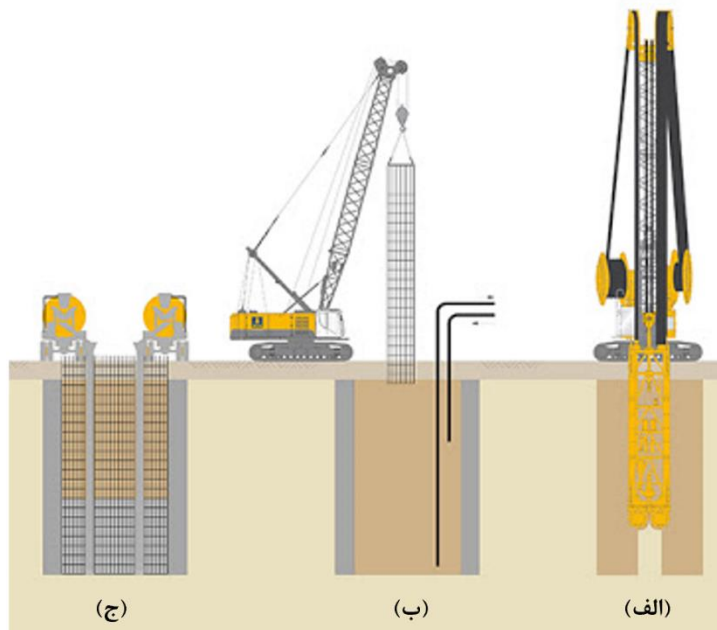
<sup>1</sup> Polymer Mud

<sup>2</sup> Crane suspended grab

<sup>3</sup> Milling cutter



منظور کنترل جابجایی زمین در نظر گرفته می‌شود و همچنین می‌تواند نقش پرده آب‌بند را در شرایط وجود سطح آب زیرزمینی داشته باشد. در برخی مواقع از این دیوارها به عنوان اجزای باربر ثقلی به لایه‌های عمقی خاک نیز استفاده می‌شود که در این نقش با نام بارت<sup>۱</sup> شناخته می‌شود. اجرای نامناسب این نوع دیوارها می‌تواند بر عملکرد و صرفه اقتصادی پروژه اثر معکوس بگذارد. طراحی و اجرای این دیوارها نیاز به بررسی‌های دقیق سازه‌ای و ژئوتکنیکی دارد.



شکل ۳-۵۵ مراحل اجرای دیوار دیافراگمی: (۱) حفاری ترانشه همراه با چرخش گل حفاری، (۲) نصب شبکه میلگرد دیوار داخل ترانشه، (۳) بتن‌ریزی محل بخش‌های حفاری شده و خروج گل حفاری از ترانشه

مراحل اجرای این دیوارهای بتنی بدین ترتیب است:

- پیش از آغاز حفاری دیوار، دیواره‌های هادی از نوع بتنی پیش‌ساخته و یا بتن درجاریز نصب می‌گردند (شکل ۳-۵۶). برای اجرای این دیواره‌های هادی، حفاری اولیه به عمق ۱/۰ تا ۱/۵ متر زیر تراز سطح زمین انجام می‌شود. این دیواره‌های هادی، خاک را در سطح فوقانی حفاری ترانشه، پایدار و یک مسیر هدایتی پایدار برای هدایت چنگک و یا هیدرومیل ایجاد می‌کنند. به‌علاوه به کمک این دیواره‌های هادی می‌توان شبکه میلگرد دیوار دیافراگمی را در سر ترانشه معلق نگاه داشت و در صورت نیاز به انجام وصله، این کار را در سر ترانشه انجام داد. همچنین به کمک این دیواره‌های هادی می‌توان صفحات انتهایی<sup>۲</sup> دیوار را به کمک جک‌های هیدرولیکی بیرون کشید. فاصله مابین دو دیواره هادی در دو سمت ترانشه، فضایی برای گل حفاری یا سیال پایدار کننده ترانشه ایجاد می‌کند.
- سپس، حفاری پنل‌ها به صورت مجزا به وسیله چنگک یا هیدرومیل تا اعماق بیشتر انجام می‌شود (شکل ۳-۵۷). انتخاب نوع ماشین حفاری بستگی به سختی خاک محل دارد. در هنگام حفاری ترانشه، پایداری دیواره خاکی ترانشه معمولاً با گل بتونیت تامین می‌گردد. حفاری ترانشه تا حد امکان باید

<sup>۱</sup> Barrette

<sup>۲</sup> End Stop Plates



- به صورت قائم انجام شود و میزان مجاز انحراف از قائم ۱٪ می باشد.
- پس از انجام حفاری یک بخش از دیوار، صفحات انتهایی نصب می گردند. این صفحات در هر دو سمت قطعه دیوار و برای مجزا کردن مراحل بتن ریزی قطعات دیوار استفاده می شوند. این صفحات، عرضی برابر با عرض هر قطعه دیوار دارند و پس از گیرش بتن دیوار و حفاری قطعه مجاور آن، بیرون کشیده می شوند. به کمک این صفحات یک درز دوزنقه ای یا نیم دایره ایجاد می گردد که قفل و بست خوبی بین قطعات مجزای دیوار فراهم می نماید. معمولاً در این صفحات فولادی انتهایی، یک، دو یا سه درز تعبیه می شود تا امکان قرار دادن نوارهای آب بند داخل آن فراهم گردد. پس از بتن ریزی قطعه دیوار، نیمی از نوار آب بند داخل بتن درگیر شده و در بتن ریزی قطعه مجاور، نیم دیگر آن دفن و به این طریق درز آب بند می گردد. در فرایند ساخت این دیوارها به خصوص برای تامین آب بندی، مهم ترین عامل استفاده صحیح از صفحات انتهایی است. تصاویری از نصب صفحات انتهایی و نوارهای آب بند در شکل (۳-۵۸) نشان داده شده است.
  - پس از حفاری ترانشه، گل حفاری چندین بار بازیافت و تازه سازی<sup>۱</sup> می شود تا بتونیت به کیفیت مورد نظر برسد. سپس شبکه میلگرد دیوار، داخل ترانشه جایگذاری می شود (شکل ۳-۵۹) و در نهایت بتن ریزی قطعه دیوار به کمک لوله ترمی انجام می پذیرد (شکل ۳-۶۰). همزمان با بتن ریزی، گل حفاری نیز از داخل قطعه حفاری شده پمپ، تازه سازی و مجدداً استفاده می شود.



شکل ۳-۵۶ آماده سازی دیواره هادی در سر ترانشه پیش از آغاز حفاری

در صورت نیاز به ظرفیت خمشی بیشتر برای مقطع دیوار، امکان اجرای دیوار به صورت مقاطع T یا صلیبی شکل وجود دارد. برای اجرای این نوع مقاطع، ترانشه به شکل های مربوطه حفر و شبکه میلگرد متناسب با شکل ترانشه داخل آن نصب و دیوار بتن ریزی می گردد. در شکل (۳-۶۱) حفاری ترانشه دیوار به شکل های T و صلیب نشان داده شده است. همچنین در شکل (۳-۶۲) جایگذاری شبکه میلگرد و مقطع نهایی بتنی دیوار به شکل T مشاهده می شود.

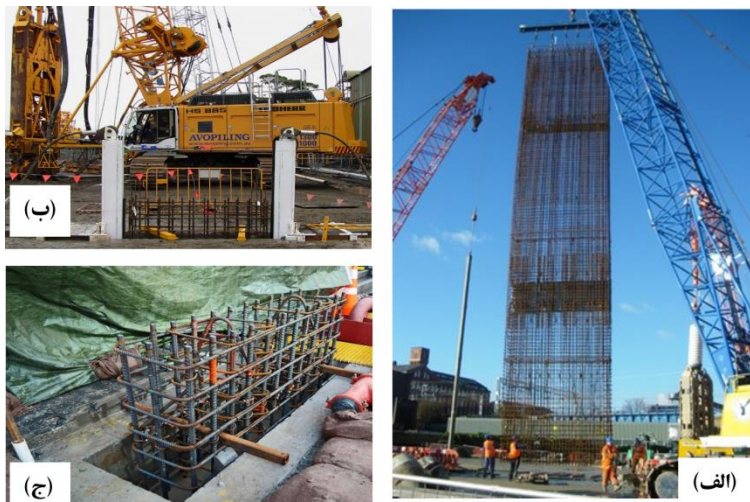
<sup>۱</sup> Refreshing



شکل ۳-۵۷ حفاری ترانشه دیوار دیافراگمی، به وسیله چنگک از طریق دیواره‌های سر ترانشه و همزمان با چرخش گل حفاری.



شکل ۳-۵۸ (الف) نصب صفحات انتهایی در ترانشه، (ب) نصب نوار آب‌بند داخل شیار صفحات انتهایی، (ج) قرار گرفتن نوار آب‌بند داخل قطعه‌ای از دیوار که بتن‌ریزی شده است و با بتن‌ریزی قطعه مجاور نوار آب‌بند درز بین دو قطعه را پر خواهد کرد



شکل ۳-۵۹ نصب شبکه میلگرد دیوار بتنی؛ (الف) قرار دادن شبکه میلگرد به کمک جرثقیل داخل ترانشه حفر شده، (ب) صفحات انتهایی که در دو سمت ترانشه قرار داده شده است در تصویر مشخص است که شبکه میلگرد دیوار مابین آنها قرار گرفته است، و (ج) معلق ماندن شبکه دیوار در سر ترانشه به کمک دیواره‌های هادی جهت وصله.





شکل ۳-۶۰ بتن ریزی قطعات دیوار بتنی به وسیله لوله های ترمی.



شکل ۳-۶۱ حفر ترانشه های T و صلیبی شکل به کمک ماشین های حفار هیدرومیل و چنگک



(ب)



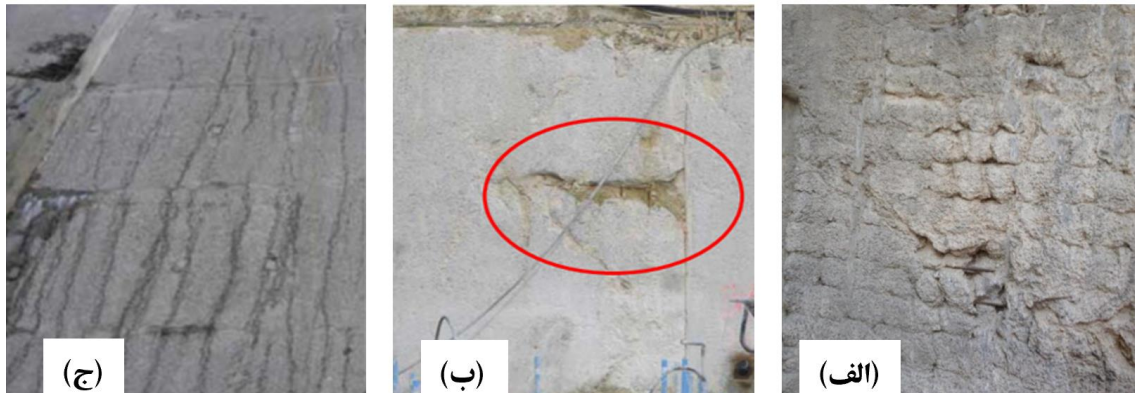
(الف)

شکل ۳-۶۲ اجرای دیوار دیافراگمی به شکل T، (الف) جایگذاری شبکه میلگرد T شکل، (ب) مقطع بتنی نهایی دیوار به شکل T

از مزایای این دیوارهای بتنی که در روش اجرای بالا-پایین متعارف در جهان بسیار پرکاربرد است، عبارت از اجرای مکانیزه، مناسب برای ساخت و سازهای شهری با تراکم ساختمانی بالا، کم بودن ارتعاشات ماشین آلات و عدم مزاحمت زیاد برای مجاورین، مناسب برای اجرا در شرایط ژئوتکنیکی مختلف، استفاده به عنوان دیوار سازه ای دائمی، آب بند بودن، قابلیت اجرا در عمق های زیاد، استفاده به عنوان اجزای باربر، عمل کردن به عنوان یک سازه صلب و کاهش تغییر شکل ناشی از گودبرداری است.

از محدودیت های این روش نیز عدم قطعیت های مربوط به طراحی، عدم قطعیت های مربوط به اجرا، امکان

ریزش خاک در دیواره ترانشه هنگام بتن‌ریزی، مسائل مربوط به آب‌بندی درز بین قطعات، هزینه اجرایی بالا و نیاز به فضای کاری بزرگ جهت استقرار ماشین‌آلات مربوطه می‌باشد. همچنین در این روش اجرا در هنگام حفاری یا بتن‌ریزی قطعات دیوار، امکان ریزش ترانشه‌های خاکی و ایجاد فرورفتگی‌ها و برآمدگی‌هایی در دیوار بتنی وجود دارد. در این موارد بایستی بخش‌های دارای نقص دیوار ترمیم گردند. همچنین به دلیل عمل‌آوری بتن در مجاورت خاک، ممکن است لایه رویه بتن دیوار با مشکلاتی همراه باشد. در شکل (۳-۶۳) تصاویری از مشکلات اجرایی دیوار که پس از انجام عملیات خاکبرداری و پدیدار شدن دیوار نمایان می‌گردد، نشان داده شده است.



شکل ۳-۶۳ نمونه‌هایی از مسائلی که پس از نمایان شدن دیوار پدیدار می‌شوند؛ (الف) بیرون‌زدگی میلگردهای شبکه دیوار که نشان می‌دهد جریان افقی بتن در فضای خالی مابین میلگردها و خاک اطراف قابل توجه نبوده است، (ب) ایجاد حفره در دیوار به دلیل بیرون‌زدگی خاک یا سنگ به داخل ترانشه و تداخل با بتن‌ریزی دیوار، (ج) آب انداختن بتن دیوار و ایجاد رگه‌های قائم از آب انداختن

### ۳-۲-۲-۴-۵- دیوار خاک سیمانی<sup>۱</sup>

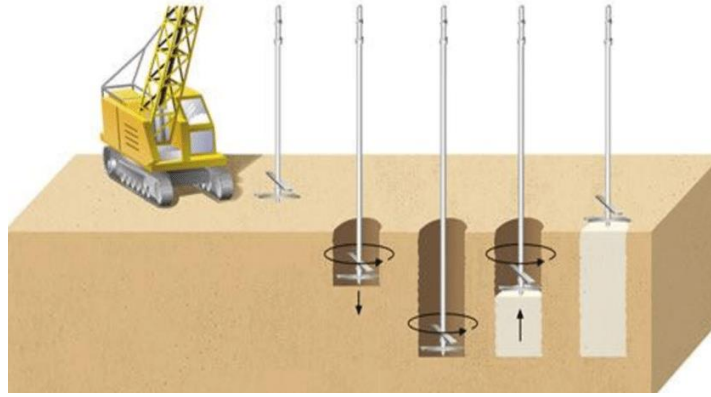
یکی دیگر از انواع دیوارهای جداکننده، دیوارهای خاک سیمانی است. تفاوت و ویژگی عمده دیوارهای خاک سیمانی، عدم نیاز به حفاری و اجرا آنها در محل و در ترکیب با خاک درجا است. دیوارهای خاک سیمانی با دو فناوری اختلاط عمیق<sup>۲</sup> و تزریق پرفشار<sup>۳</sup> قابل اجراست. در این روش، زمین به صورت برجا به کمک ماشین‌های مخلوط‌کننده اوگر یا برنده و یا جت پرفشار دوغاب، با دوغاب سیمان مخلوط و به این طریق یک ستون خاک و سیمانی از خاک بهسازی شده ایجاد می‌گردد (شکل ۳-۶۴). روش‌های مختلفی برای مخلوط کردن خاک از جمله، روش مکانیکی، روش هیدرولیکی با و بدون هوا و ترکیب هر دو نوع وجود دارد. به جز تفاوت در نوع مصالح و روش اجرا که به جای بتن، خاک سیمان و به صورت اجرا در محل است، عملکرد این ستونها مشابه انواع دیوارهای تشکیل شده از شمع بصورت منفصل، مماسی یا متقاطع است و دقیقاً مانند آنها البته با سطح پایین‌تری از مقاومت قابل استفاده است.

<sup>۱</sup> Soilcrete

<sup>۲</sup> Deep soil mixing

<sup>۳</sup> Jet-grouting





شکل ۳-۶۴ تصویر شماتیک از اختلاط عمیق خاک.

ساخت ستون‌های خاک سیمانی، همراه با تخلیه و جابجایی خاک نیست و بدون حفاری انجام می‌شود. در صورت نیاز به سختی و ظرفیت خمشی این ستونها قابل تسلیح با مقاطع فولادی یا شبکه میلگرد هستند (شکل ۳-۶۵).



شکل ۳-۶۵ افزایش ظرفیت خمشی ستون‌های خاک - سیمانی با فرو راندن مقاطع فولادی I شکل و همچنین شبکه میلگرد داخل مخلوط خاک - سیمان پیش از گیرش سیمان

با فنون اجرای ستون‌های خاک سیمانی، امکان اجرای قطعات غیر استوانه‌ای نیز وجود دارد. شکل‌های (۳-۶۶) و (۳-۶۷) نمونه‌هایی از این موارد را نشان می‌دهد.

از جمله مزایای دیوارهای خاک سیمانی بهسازی برجای خاک و عدم نیاز به خروج خاک (عدم نیاز به حفاری‌های معمول)، کم بودن سر و صدا، قابلیت اجرا در مکان‌های با سطح آب زیرزمینی بالا، نسبتاً آب‌بند بودن و تقریباً نفوذناپذیر در مقابل تراوش آب می‌باشد.

استفاده از ستون‌ها یا قطعات خاک سیمانی به علت مقاومت پایین مصالح خاک سیمان، در روش اجرای بالا-پایین تاکنون چندان مورد توجه نبوده است. البته از این نوع دیوارهای خاک سیمانی برای پایدارسازی گودهای کم عمق در خاک‌های سست، در ترکیب با روش‌های دیگری همچون مهاربندی فراوان استفاده می‌شود. لیکن در اجرای بالا-پایین که دیواره پیرامونی نقش باربری ثقلی را نیز عهده‌دار می‌شود، استفاده از این سازه تاکنون



مشاهده نشده است. البته مصالح خاک سیمان یکی از مصالح جدید و مورد پژوهش بسیار می‌باشد و پیش‌بینی محققان آن است که در آینده ارتقای بسیار زیاد و کاربردهای فراوانی برای آن ممکن خواهد بود.



شکل ۳-۶۶ ماشین اختلاط عمیق خاک، که دارای سه مته جهت ترکیب خاک و دوغاب سیمان است و ستون‌های خاک سیمانی به شکل سه دایره دارای همپوشانی تشکیل می‌دهد.



شکل ۳-۶۷ ماشین اختلاط عمیق خاک برنده که سبب ترکیب خاک و سیمان در راستای قائم می‌شود و ستون خاک - سیمانی نهایی به شکل مستطیل خواهد بود.

### ۳-۲-۳- عملیات خاکی در زیرزمین

در اجرای سازه به روش بالا-پایین، سرعت عملیات تحت تاثیر بسیار زیاد میزان بهره‌وری در عملیات خاکی و ساخت طبقات زیرزمین است. عملیات خاکبرداری در این روش در زیر سقف طبقات زیرزمین انجام می‌شود. خاک‌های کنده شده باید به سمت خروجی یا خروجی‌های تعبیه شده در سقف حمل گردد. تداخل جبهه‌های کاری بین تکمیل اجزای سازه‌ای در طبقات زیرزمین و انجام خاکبرداری سبب می‌شود عملیات خاکبرداری در اجرا به روش بالا-پایین پیوسته نباشد. بنابراین تلاش برای بهینه‌سازی انجام عملیات خاکبرداری از موضوعات مهم و مورد توجه پژوهشگران در این حوزه است.

به‌طور کلی در روش ساخت بالا-پایین انجام عملیات خاکی دارای سه مرحله است که هر یک با ماشین‌آلات



مناسب و الگوی خاص خود انجام می‌شود. مرحله اول، کندن خاک در زیر سقف اجرا شده زیرزمین‌ها و در فضای کاری محدود مابین اجزای سازه‌ای است. مرحله دوم، حمل خاک به محل‌های تعبیه شده برای خروج یا بازشوهای سقف است. سومین مرحله نیز بالا کشیدن و انتقال خاک دپو شده به تراز سطح زمین (صفر) و در نهایت بارگیری و حمل است.

### ۳-۲-۳-۱- کندن خاک

کندن خاک در زیر سقف‌های زیرزمین، می‌تواند به وسیله بیل‌های مکانیکی کوچک<sup>۱</sup>، متوسط<sup>۲</sup> و استاندارد<sup>۳</sup> انجام شوند. انتخاب نوع بیل مکانیکی جهت کندن خاک به عوامل مختلفی از جمله سختی خاک، ابعاد زمین و فضای کاری در دسترس شامل ارتفاع آزاد زیر سقف و فاصله بین ستون‌ها و همچنین توان بیل مکانیکی برای کندن خاک بستگی دارد.

چنانچه خاک بسیار سخت باشد، ممکن است بیل‌های مکانیکی بسیار کوچک توانایی کندن خاک را نداشته باشند یا نیاز به استفاده از چکش حفاری (پیکور) باشد که عملیات کندن را با کندی و دشواری مواجه می‌کند. بیل‌های مکانیکی با ابعاد متوسط و بیل‌های استاندارد نیز در کندن خاک در زیر سقف زیرزمین‌ها قابل استفاده‌اند. ابعاد مورد نیاز جهت کار ماشین در فضای زیرزمینی از عوامل بسیار مهم در انتخاب آن است. این ابعاد متأثر از ابعاد ماشین شامل ارتفاع دکل بیل، طول و عرض، شعاع چرخش و عمق خاکبرداری است. از سوی دیگر لازم است این ابعاد با ابعاد زمین پروژه، فاصله مابین ستون‌ها و ارتفاع آزاد زیر هر سقف که در فرایند طراحی مشخص شده است، متناسب باشد و انتخاب دستگاه بر این مبنا انجام شود. اگر ارتفاع آزاد زیر سقف‌های زیرزمین در مراحل اجرا زیاد باشد و فضای کاری بزرگی در دسترس باشد، معمولاً امکان کار کردن بیل‌های مکانیکی استاندارد در زیر سقف فراهم خواهد شد. هر مقدار استفاده از ماشین با توان بالاتر ممکن باشد، سرعت عملیات خاکبرداری افزایش می‌یابد. در شکل (۳-۶۸) یک نمونه از ابعاد بیل مکانیکی که توسط شرکت سازنده برای هر مدل بیل مکانیکی ارائه می‌شود، نشان داده شده است. لازم است به کمک این ابعاد، فضای کاری در دسترس برای بیل مکانیکی مورد بررسی قرار داده و ماشین مناسب انتخاب شود. در ادامه معرفی مختصری از انواع بیل مکانیکی که مناسب‌ترین ماشین برای کندن خاک است، ارائه شده است.

### ۳-۲-۳-۱- مینی بیل<sup>۴</sup>

مینی بیل‌ها کوچک‌ترین کلاس بیل‌های مکانیکی هستند که برای کار کردن در فضاهای کاری بسته و محدود بسیار مناسب هستند. به دلیل وزن و ابعاد کم، امکان جابجایی، انتقال و حرکت این نوع بیل‌های مکانیکی در فضای زیرزمین در روش بالا-پایین راحت‌تر است. بسیاری از شرکت‌های سازنده، مینی بیل‌ها را از نوع ساده تا نوع پیشرفته با تجهیزات جانبی مختلف تولید می‌کنند. وزن در حال کار یک مینی بیل از حدود ۱ تن تا ۱۰ تن متغیر است. عمق خاکبرداری مینی بیل‌ها، می‌تواند از حدود ۱/۷ متر تا ۵/۲ متر متغیر باشد. ظرفیت جام (باکت) مینی بیل‌ها از ۰/۱۴ متر مکعب تا ۰/۲۸ متر مکعب متغیر است. انتخاب نوع ماشین باید با توجه به ابعاد آن

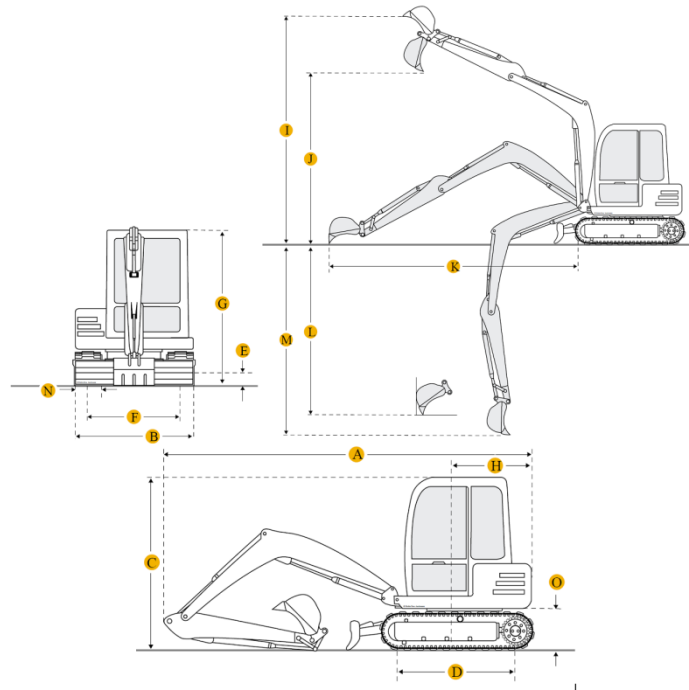
<sup>1</sup> Mini or compacted excavator

<sup>2</sup> Midi excavator

<sup>3</sup> Standard excavator

<sup>4</sup> Mini or Compact Excavator

طبق راهنمای سازنده و محدودیت‌های ابعادی پروژه و فضای کاری در دسترس انجام شود. به‌عنوان مثال در شکل (۳-۶۹) مشاهده می‌گردد که فضای کاری لازم برای مینی‌بیل با فضای موجود بین ستون‌های سازه و ارتفاع آزاد زیرسقف مطابقت دارد.



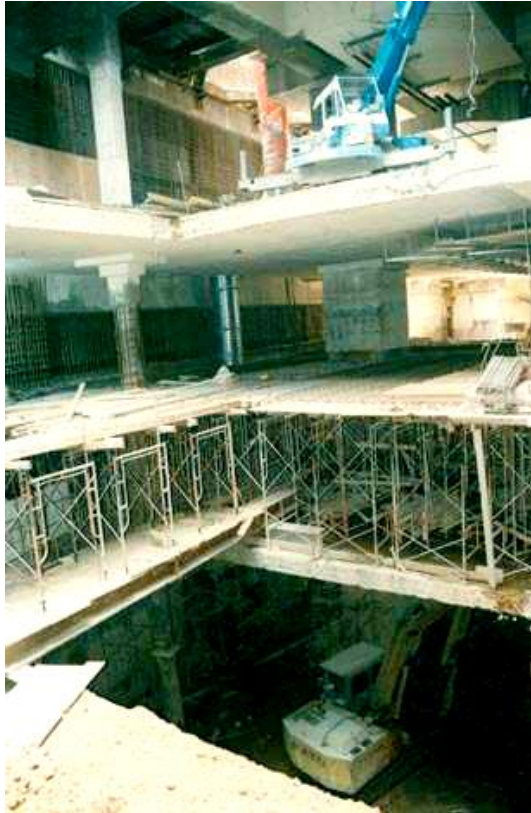
شکل ۳-۶۹ ابعاد بیل‌های مکانیکی که توسط شرکت سازنده هر ماشین مشخص می‌گردد و باید هنگام انتخاب ماشین برای کار در فضای زیرزمین به آن دقت شود.



شکل ۳-۶۹ کار کردن یک دستگاه مینی‌بیل در فضای زیرزمین در اجرای سازه به روش بالا-پایین.







شکل ۳-۷۱ انجام عملیات خاکبرداری به اندازه ارتفاع دو طبقه زیرزمین جهت تسریع در سرعت عملیات خاکبرداری و ایجاد فضای کاری بیشتر برای استقرار ماشین‌آلات بزرگتر

### ۳-۲-۲-۳- جابجایی و حمل خاک در زیر سقف طبقات زیرزمین

پس از انجام عملیات مربوط به کندن خاک در زیر زمین، لازم است تا خاک‌های کنده شده به محل بازشوهای خروجی که از پیش در سقف تعبیه شده است، حمل گردد. انجام این کار با ماشین‌های مختلفی از جمله لودر و مینی‌لودر، بیل‌های مکانیکی دکل تلسکوپی (انواعی که تلسکوپ به صورت افقی باز و بسته می‌شود) و تسمه نقاله امکانپذیر است. در انتخاب نوع ماشین جهت حمل و جابجایی خاک در زیرزمین نیز، توجه به محدودیت‌های ابعادی، ظرفیت و بازدهی ماشین‌آلات اهمیت دارد.

### ۳-۲-۳-۱- لودر و مینی‌لودر

لودر و مینی‌لودر از متداول‌ترین ماشین‌آلات جهت جابجایی خاک‌های کنده شده و همچنین جابجایی مصالح در زیر تراز سقف زیرزمین‌ها در روش ساخت بالا-پایین است. همانند دیگر ماشین‌ها، در انتخاب این ماشین نیز باید به فضای کاری مورد نیاز و ظرفیت آن دقت داشت. استفاده از لودرها به دلیل ظرفیت بالاتری که دارند در جابجایی خاک در زیر سقف مناسب‌تر است. اما به دلیل ابعاد ماشین، بازشو و فضای بزرگتری برای انتقال ماشین و کار کردن آن در زیر زمین مورد نیاز است. در مقابل آن مینی‌لودرها، به دلیل جمع و جور بودن و مناسب بودن برای کار در فضاهای کاری کوچک و بسته، در روش بالا-پایین کاربرد بیشتری دارند. حجم جام مینی‌لودرها حدوداً از  $\frac{0}{3}$  متر مکعب تا  $\frac{1}{6}$  متر مکعب و وزن حین کار آنها بین  $\frac{1}{5}$  تا ۶ تن متغیر است. لودرها با ظرفیت جام و وزن حین کار بزرگتر و متغیر از حدود به ترتیب  $\frac{0}{8}$  متر مکعب تا ۳۲ متر مکعب و ۳ تن تا ۶۵ تن در دسترس هستند. در شکل (۳-۷۲) کار کردن مینی‌لودر و لودر در زیر سقف و فضای کاری محدود در روش ساخت بالا-پایین نشان داده شده است.





### ۳-۲-۳-۳- انتقال به بیرون و بارگیری خاک

پس از حمل و دپوی خاک در محل بازشوهای خروج خاک یا بازشو تخلیه خاک، باید نسبت به انتقال خاک به بیرون و بارگیری آن اقدام شود. روش‌ها و ابزارهای مختلفی برای این منظور در دسترس هستند. استفاده از بیل مکانیکی معمولی تا بیل‌های مکانیکی دکل بلند، بیل‌های مکانیکی دکل تلسکوپیی، جرثقیل برجی، جرثقیل بوم خشک، جرثقیل متحرک هیدرولیک تلسکوپیی، جرثقیل دروازه‌ای، نوارهای نقاله، بالابرها و نظایر آن امکانپذیر است، که هرکدام از آنها ویژگی‌های خود را دارند. در انتخاب هر یک از تجهیزات مذکور، توجه به عواملی همچون سرعت بیرون کشیدن و تخلیه خاک که مستقیماً در بهره‌وری عملیات خاکی موثر است و نیز ابعاد بازشوی مورد نیاز در سقف، ضروری است. به عنوان مثال یک بیل دکل بلند فضای چرخش و کاری بسیار بزرگتر و در نتیجه بازشوی بزرگتری نسبت به بیل دکل تلسکوپیی نیاز دارد. این موضوع در هنگام تحلیل و طراحی سازه و بررسی تاثیر وجود بازشوهای سقف نیز باید لحاظ گردد و ابعاد بازشو سازگار با ابعاد تجهیزات و ماشین انتخاب شده جهت تخلیه خاک باشد.

### ۳-۲-۳-۱- بیل مکانیکی متعارف

بیل‌های مکانیکی متعارف همان طور که می‌توانند در کندن خاک در تراز زیر سقف مورد استفاده قرار گیرند، در صورتیکه عمق خاکبرداری تا حدود ۸ متر و قابل دسترسی برای بازوی بیل باشد، می‌توانند در تخلیه خاک به بیرون از سایت نیز به کار روند. در شکل (۳-۷۴) تصویری از تخلیه خاک به کمک بیل مکانیکی متعارف از طریق بازشوی ایجاد شده در سقف در روش بالا-پایین نشان داده شده است. استفاده از بیل متعارف برای خروج خاک از عمق‌های کم کاربردی است. شایان ذکر است برخی از انواع بیل‌های معمولی مشابه شکل (۳-۷۵) وجود دارند که اتاقک آنها دارای فرم خاص کوتاه و گرد بوده و شعاع چرخش محدودتری نیاز دارند. این بیل‌ها برای کار در موقعیت‌های محدود مناسب‌تر هستند. در هر حال برای تخلیه خاک با بیل مکانیکی، لازم است ابعاد بازشو متناسب با میدان عملیات بازوی بیل طراحی شود.



شکل ۳-۷۴ خروج خاک از طریق بازشوی ایجاد شده در سقف به وسیله بیل مکانیکی استاندارد.



شکل ۳-۷۵ بیل مکانیکی با فرم خاص برای کار در شرایط محدودتر

### ۳-۲-۳-۲-۳- بیل مکانیکی بازو بلند

بیل‌های مکانیکی بازو یا دکل بلند، نسبت به بیل‌های مکانیکی متعارف، بازوی بلندتری دارند که سبب می‌شود امکان دسترسی به عمق‌های بیشتر خاکبرداری در گودبرداری‌ها برای آنها فراهم شود. عمق خاکبرداری قابل دسترس در برخی از انواع این بیل‌ها تا ۲۱ متر نیز می‌رسد. اغلب بیل‌های مکانیکی بازو بلند در ایران تا عمق ۱۵ متری قابلیت حفاری و دسترسی دارند. ظرفیت جام بیل‌های بازو بلند نیز متفاوت و از ۰/۵ تا ۱/۵ متر مکعب متغیر است. به دلیل بازوی بسیار بلند این بیل‌ها، ظرفیت جام آنها کمتر از بیل‌های متعارف است. در استفاده از این نوع بیل‌ها در روش ساخت بالا-پایین، همانند دیگر ماشین‌ها باید به فضای کاری لازم برای چرخش و باز و بسته شدن بازوی بیل هنگام عملیات خاکی توجه داشت؛ از این رو معمولاً برای کار این نوع ماشین‌ها، باید بازشوهای بزرگتری در سقف تعبیه گردد. برای بیل‌های بازو بلند تا عمق دسترسی حدود ۱۵ متر، بازشویی به طول حدود ۸ متر در راستای بازوی بیل (طول ماشین) و عرض ۳ متر در راستای عرضی ماشین (عمود به بازو)، می‌تواند مناسب باشد. تصویری از تخلیه خاک به وسیله بیل مکانیکی بازو بلند در یک پروژه گودبرداری به روش بالا-پایین در شکل (۳-۷۶) نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Long reach excavator





شکل ۳-۷۶ برداشتن خاک از داخل گود به وسیله بیل مکانیکی بازو بلند.

### ۳-۳-۳-۲-۳- بیل مکانیکی دکل تلسکوپی دارای جام بازشو (کَلْمَشِل<sup>۱</sup>)

این نوع بیل‌های مکانیکی دارای یک بازوی تلسکوپی هستند که در راستای قائم به طول قابل توجهی باز و بسته می‌شود. این بازو در انتها دارای یک بازشوی بازشو یا کَلْمَشِل<sup>۲</sup> است که می‌تواند خاک را جمع کرده و جابجا نماید. این نوع بیل‌های مکانیکی در تخلیه خاک از داخل گودهای عمیق و از یک فضای محدود به بیرون، از جمله زیرزمین‌های احداث شده به روش بالا-پایین کارایی بالایی دارند. طول بازوی تلسکوپی برخی از این نوع بیل‌ها می‌تواند تا ۴۰ متر نیز برسد. حجم جام آنها تا ۱/۵ مترمکعب می‌تواند ظرفیت داشته باشد. یکی از امتیازات استفاده از بیل‌های مکانیکی دکل تلسکوپی نسبت به بیل‌های بازو بلند، فضای کاری و چرخش کوچک‌تر بازوی بیل است که در روش ساخت بالا-پایین امتیاز مثبتی محسوب می‌شود. بازوی این نوع بیل‌ها در راستای قائم و در یک مسیر محدود مشخص، باز و بسته می‌شود و فضای زیادی برای مانور نیاز ندارند. بنابراین در روش ساخت بالا-پایین می‌توان بازشوه‌های کوچک‌تری در سقف تعبیه نمود که از نظر طراحی سازه‌ای و نیز ایمنی به دلیل کاهش کمتر سختی دیافراگم سقف، یک مزیت است. در شکل (۳-۷۷) تصویری از بیل مکانیکی بازو تلسکوپی و همچنین در شکل (۳-۷۸) تصاویری از تخلیه خاک به وسیله این نوع بیل مکانیکی مشاهده می‌شود.

### ۳-۳-۳-۲-۳- جرثقیل برجی<sup>۳</sup>

استفاده از جرثقیل برجی به منظور انتقال خاک از داخل گود، یکی دیگر از روش‌های بیرون کشیدن خاک در اجرای بالا-پایین است. در استفاده از جرثقیل برجی، انتخاب محل استقرار جرثقیل برجی در کنار تصمیم‌گیری برای محل بازشوی سقف برای تخلیه خاک، دو عامل بسیار مهم در سرعت و بهره‌وری عملیات خاکی است. با توجه به توان محدود جرثقیل‌های برجی و همچنین سرعت پایین حرکت در راستای افقی و قائم، معمولاً تخلیه خاک از داخل گود به بیرون با این روش کند و راندمان کم است. همچنین با توجه به اینکه ظرفیت جرثقیل وابسته به فاصله از محور آن است، محل استقرار جرثقیل از بازشو تخلیه خاک و نیز محل دپو یا بارگیری در

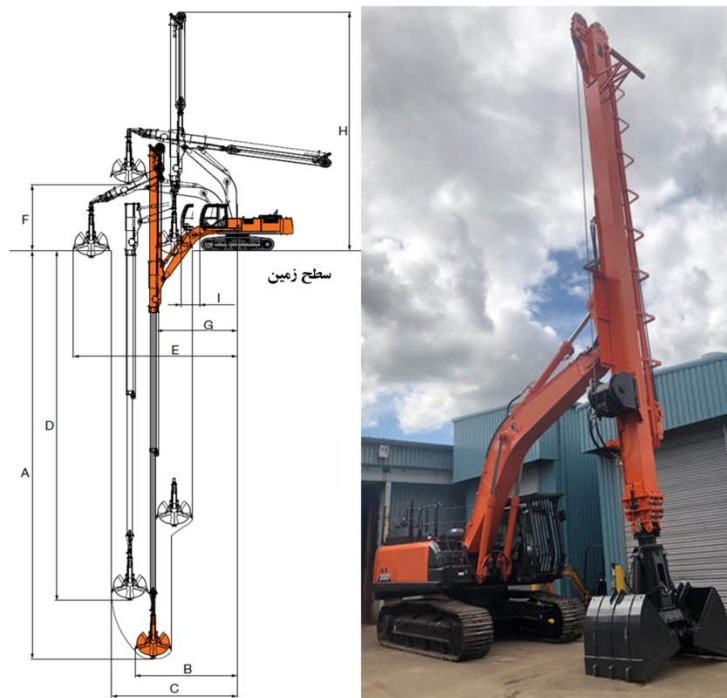
<sup>۱</sup> Clamshell telescopic arm excavator

<sup>۲</sup> Clamshell

<sup>۳</sup> Tower crane



روی زمین، عامل مهم تاثیرگذاری بر عملکرد و بهره‌وری عملیات خاکی است. در شکل (۳-۷۹) تصاویری از انتقال خاک در پروژه‌های ساخت به روش بالا-پایین نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، خاک‌های دیپو شده در خروجی‌ها به کمک چنگک مکانیکی و یا مخزن خود بازشو که از جرثقیل آویزان است، بیرون کشیده می‌شود. در این حالت، ضرورت دارد ابعاد بازشوی‌های ایجاد شده در سقف متناسب با ابعاد مخزن و یا چنگک و فضای لازم برای عبور آنها باشد.



شکل ۳-۷۷ بیل مکانیکی بازو تلسکوپی دارای جام بازشو یا کلمشل که بازوی آن در راستای قائم به صورت تلسکوپی باز و بسته می‌شود



شکل ۳-۷۸ تصاویری از تخلیه خاک به وسیله بیل مکانیکی بازو تلسکوپی از یک پروژه در حال اجرا به روش بالا-پایین. ابعاد کوچک بازشوی ایجاد شده در دیافراگم سقف در تصویر سمت راست مشخص است.

یکی از نکات مهم در استفاده از جرثقیل برجی در پروژه‌های ساخت به روش بالا-پایین، جانمایی محل نصب



جرثقیل و اجرای پی آن در سایت پروژه است. سه گزینه برای نصب جرثقیل برجی در این نوع پروژه‌ها وجود خواهد داشت، اول، استقرار جرثقیل در فضای پشت دیواره گود مانند حیاط یا زمین اطراف پروژه، که در این حالت نیاز است در تحلیل و طراحی پایداری دیواره گود، اثرات مربوط به سربار جرثقیل لحاظ و تمهیدات مورد نیاز اندیشیده شود. دوم، استقرار پی جرثقیل در میان پلان و در تراز یا زیر تراز پی سازه، که ضرورت دارد با حفاری، اجرا و پایدارسازی یک بازشو قائم متناسب با ابعاد جرثقیل و پی مورد نیاز، امکان نصب در تراز مربوطه فراهم گردد. سوم، نصب جرثقیل برجی بر روی سقف سازه، که مستلزم اعمال بارهای وارده از جرثقیل به سازه در فرآیند تحلیل و طراحی سازه است. در روش سوم، امکان نصب ستون‌ها در چاه به کمک جرثقیل برجی فراهم نخواهد بود؛ مگر اینکه جرثقیل برجی یک مرحله برای نصب ستون‌ها بر روی تراز طبیعی زمین برپا شود و برچیده و پس از اجرای اولین سقف، بر روی سقف مجدداً برپا شود که اقتصادی نخواهد بود و در چنین شرایطی اغلب در مرحله اول و برای نصب مدفون ستون‌ها از جرثقیل متحرک استفاده خواهد شد.



شکل ۳-۷۹ تصاویری از تخلیه خاک به وسیله، الف) چنگک و ب) مخزن خود بازشو که از جرثقیل آویزان و جهت انتقال خاک به بیرون از پروژه استفاده می‌شود

### ۳-۲-۳-۵- جرثقیل بوم خشک

جرثقیل‌های بوم خشک یکی از انواع جرثقیل‌ها با طول بوم یا دکل ثابت هستند که در نقطه مقابل بوم تلسکوپیی هیدرولیک، بوم خشک نام گرفته‌اند. این نوع جرثقیل نیز در تخلیه و بیرون کشیدن خاک در پروژه‌های بالا-پایین دارای کاربرد است. در این روش نیز یک چنگک یا مخزن خود بازشو به وسیله جرثقیل حمل می‌شود که وظیفه انتقال خاک را دارد. جرثقیل‌های بوم خشک با ابعاد و ظرفیت‌های گسترده‌ای تولید می‌شوند که برخی از انواع مدل‌های آن می‌تواند تا چند هزار تن ظرفیت جابجایی بار در ارتفاعی تا حدود ۱۴۰ متر داشته باشند. جرثقیل‌های بوم خشک متعارف در ایران برای تخلیه خاک از داخل گود، ظرفیت اسمی حدود ۳۰ تن دارند. استفاده از این ماشین برای بیرون کشیدن خاک از عمق‌های زیاد و بیشتر از ۱۳ متر که ماشین‌آلات دیگر دسترسی ندارند، از معمول‌ترین روش‌ها و با سرعت نسبتاً مناسب است. در شکل (۳-۸۰) تصاویری شماتیک از جرثقیل بوم خشک و نمایش امکان معلق کردن چنگک یا مخزن خود بازشو برای جابجایی خاک به وسیله



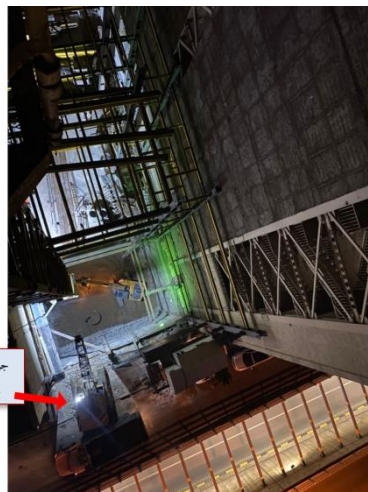
این ماشین نشان داده شده است. در شکل (۳-۸۱) نیز تصویری از تخلیه خاک به وسیله جرثقیل بوم خشک از داخل گود مشاهده می‌گردد. شکل (۳-۸۲) جرثقیل بوم خشک در حال بیرون کشیدن خاک در یک پروژه واقعی را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸۰ تصویر شماتیک از جرثقیل بوم خشک که می‌توان یک چنگک را جهت تخلیه خاک به آن آویزان نمود



شکل ۳-۸۱ انتقال خاک از داخل گود به بیرون به وسیله جرثقیل بوم خشک که یک مخزن تخلیه خاک از آن معلق است



جرثقیل بوم خشک در حال بیرون کشیدن

شکل ۳-۸۲ جرثقیل بوم خشک در حال بیرون کشیدن خاک

### ۳-۲-۳-۳-۶- جرثقیل هیدرولیک تلسکوپی<sup>۱</sup>

جرثقیل‌های هیدرولیک تلسکوپی متحرک، معمول‌ترین نوع جرثقیل است که با ظرفیت‌های مختلف در دسترس می‌باشند. کارکرد آنها در بیرون کشیدن خاک از گود، مشابه جرثقیل بوم خشک است، با این مزیت که به علت تلسکوپی بودن بوم، قدرت مانور بیشتری دارند. استفاده از این نوع جرثقیل‌ها در بیرون کشیدن خاک، به دلیل غیر اقتصادی شدن عملیات خاکی، معمول نیست، اما از نظر اجرایی و فنی امکان‌پذیر است.

### ۳-۲-۳-۳-۷- جرثقیل دروازه‌ای<sup>۲</sup>

جرثقیل دروازه‌ای نوع دیگری از جرثقیل‌ها با قابلیت‌های خاص است. این جرثقیل‌ها دارای دو نوع ریلی و چرخ لاستیکی است و به سبب طراحی خاص، می‌تواند قابلیت بالایی در عملیات خاکی داشته باشد. برای استفاده از این نوع جرثقیل بایستی جانمایی بازشو تخلیه خاک در مجاورت دیواره گود به نحوی باشد که کامیون حمل خاک بتواند در زیر جرثقیل برای بارگیری قرار گیرد. این نوع جرثقیل می‌تواند ظرفیت‌های وزنی بالایی داشته باشد و از سرعت نسبتاً مطلوبی برخوردار است. در استفاده از این نوع جرثقیل، نظر به جانمایی بازشوی تخلیه خاک و همچنین طراحی سازه قاب دروازه جرثقیل، امکان قرارگرفتن ریل یا چرخ جرثقیل بر روی سازه وجود خواهد داشت و لازم است تا اثرات آن در طراحی سازه اصلی لحاظ گردد. تصویری از یک جرثقیل دروازه‌ای دارای چنگک با ظرفیت بالا با امکان قرارگیری کامیون در زیر آن در شکل (۳-۸۳) نشان داده شده است. در شکل (۳-۸۴) نیز تصویری از حمل کانتینر حامل خاک‌های آلوده به مواد نفتی به وسیله این نوع جرثقیل نشان داده شده است. استفاده از این نوع جرثقیل برای تخلیه خاک در ساخت ایستگاه‌های مترو در ایران دارای سابقه طولانی است.



شکل ۳-۸۳ استفاده از جرثقیل دروازه‌ای جهت بیرون کشیدن خاک در یک پروژه ساخت به روش بالا-پایین.

<sup>1</sup> Telescopic hydraulic crane

<sup>2</sup> Gantry crane





شکل ۳-۸۴ استفاده از جرثقیل دروازه‌ای برای بلند کردن و بیرون کشیدن کانتینر حامل خاک آلوده به مواد نفتی در یک پروژه ساخت به روش بالا-پایین.

### ۳-۲-۳-۸- نوار نقاله و بالابر

نوار نقاله‌ها علاوه بر جابجایی خاک در راستای افقی و در زیر تراز سقف، می‌تواند جهت انتقال خاک به بیرون از سایت از طریق بازشوهای سقف نیز به کار رود. امتیاز استفاده از این وسیله در تخلیه خاک، سرعت بالای انتقال و ظرفیت تخلیه بالا و همچنین نیاز به بازشوهای تخلیه خاک با ابعاد کوچک‌تر است. محدودیت شیب در ظرفیت انتقال نقاله و لزوم استفاده از نوارهای متوالی متقاطع مطابق شکل (۳-۸۵) و تامین فضای لازم برای نصب آن از محدودیت‌های استفاده از این روش است. طراحی نوار نقاله و نصب آن یک کار تخصصی است.



شکل ۳-۸۵ تخلیه خاک‌های کنده شده به بیرون از سایت از طریق بازشوهای خروجی سقف به وسیله نوارهای نقاله در اجرای سازه به روش بالا-پایین

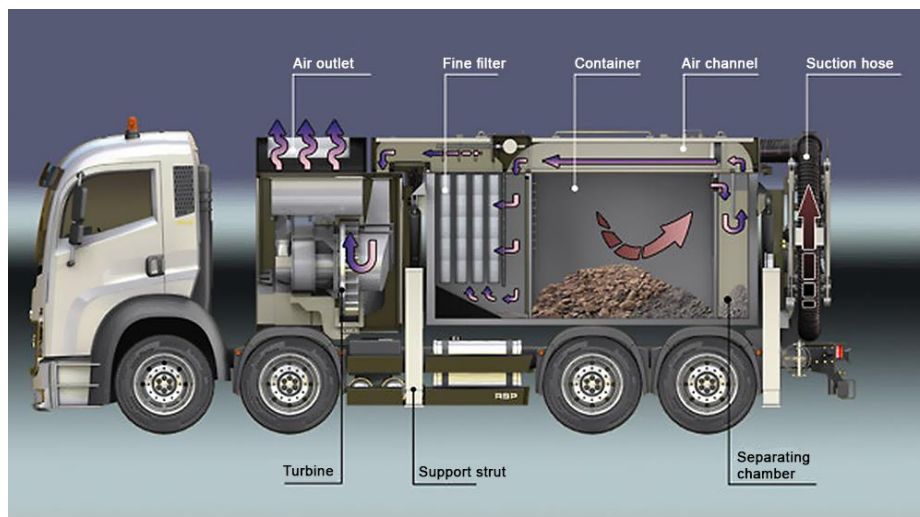
استفاده از بالابرها نیز برای انتقال خاک در راستای قائم گزینه دیگری است. مزیت مهم این وسیله، ابعاد بازشو محدود برای استفاده از آن است. ظرفیت بالابرها بستگی به توان موتور و همچنین ابعاد مخزن آن دارد، اما به طور متداول در عملیات خاکی گودبرداری‌ها، مخازنی با حجم تا ۴ متر مکعب کاربردی است. در شکل (۳-۸۶)، انتقال خاک در یک پروژه بالا-پایین به وسیله بالابر نشان داده شده است.



شکل ۳-۸۶ انتقال خاک به وسیله بالابر در اجرای سازه باروش بالا-پایین.

### ۳-۲-۳-۳-۹- استفاده از روش‌های نوین

با پیشرفت روز افزون فناوری و ساخت تجهیزات جدید، برای انجام عملیات خاکی در ساخت به روش بالا-پایین نیز، امکانات بیشتری فراهم شده است. یکی از فن‌آوری‌های به‌روز در حفاری، استفاده از دستگاه‌های حفار مکشی<sup>۱</sup> است. این نوع ماشین‌های حفار، توانایی مکش و انتقال خاک تا عمق ۵۰ متر دارا هستند. در این ماشین‌ها خاک به وسیله یک ساز و کار مکشی و به‌کمک یک لوله با قطر ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر بسته به ظرفیت ماشین، به داخل یک مخزن هدایت می‌شود. حجم مخزن بسته به نوع و ظرفیت ماشین از ۱ تا ۱۰ متر مکعب متغیر است. استفاده از این ماشین سبب کاهش نیاز به استفاده از ماشین‌آلات متعدد و نیز کاهش نیروی انسانی مورد نیاز است. در شکل (۳-۸۷) و (۳-۸۸) به ترتیب تصاویر شماتیک اجزا ماشین حفار مکشی و یک نمونه از آن نشان داده شده است.



شکل ۳-۸۷ تصویر شماتیک از اجزا و ساز و کار ماشین حفار مکشی

<sup>۱</sup> Suction or Vacuum Excavator





شکل ۳-۸۸ ماشین حفار مکشی

### ۳-۲-۳-۴- اهمیت طرح‌ریزی بهینه عملیات خاکی زیرزمینی

همانگونه که ذکر شد، حفاری و خاکبرداری در اجرای سازه به روش بالا-پایین، بخشی مهم و در مسیر بحرانی پروژه است. ساز و کارهای مختلفی برای بهینه کردن عملیات خاکی توسط مهندسين دنبال می‌شود. استفاده از چندین بازشو و بازشوهای با موقعیت ایده‌آل و یا با ابعاد بزرگ، انجام حداکثری عملیات مختلف اجرایی به صورت همزمان و موازی و به حداقل رساندن توقف عملیات خاکبرداری به دلیل اجرای اجزای سازه و استفاده از الگوی بهینه انجام فرآیندهای خاکبرداری از این جمله می‌باشد.

### ۳-۲-۳-۴-۱- موقعیت و ابعاد بهینه بازشوها

موقعیت، ابعاد و تعداد بازشوهای تخلیه خاک به عوامل مختلفی وابسته است. موقعیت بازشو در پلان وابسته به هندسه، ابعاد زمین و دسترسی آن به معبر و از سوی دیگر متأثر از روش بیرون کشیدن خاک است. همانطور که ذکر شد، در برخی روش‌ها بازشو باید نزدیک به دیواره گود و مجاور معبر باشد. یا به عنوان مثال، در روش بهره‌مندی از جرثقیل برجی، فاصله بازشو از محور جرثقیل ظرفیت و حجم بیرون کشیدن خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد و هر چه به محور نزدیک‌تر باشد، حجم انتقال خاک افزایش می‌یابد. گاهی تامین همه این موارد همزمان با هم کار دشواری است؛ از این رو به ناچار از چند بازشو استفاده می‌شود. ضمن اینکه موقعیت و تعداد بازشو در هر حال بر سختی دیافراگم سقف و نیز اگر در کنار دیوار باشد بر سختی دیوار حائل پیرامونی اثرگذار و مستلزم بررسی‌های سازه‌ای است. ابعاد بازشوها نیز با توجه به روش بالا کشیدن خاک و تجهیزات مورد استفاده و نیز ابعاد ماشین‌های مورد استفاده در زیرزمین که باید از داخل بازشو انتقال یابند، تعیین می‌شود.

### ۳-۲-۳-۴-۲- خاکبرداری دیواره یا قطعه (پنل) برداری

از دیگر موضوعات دارای اهمیت در طرح‌ریزی بهینه عملیات خاکی، تعیین ابعاد نواحی و نحوه خاکبرداری دیواره خاکی یا اصطلاحاً قطعه یا پنل برداری از خاک است. از یک سو هر مقدار ابعاد قطعه و امکان برداشتن متوالی آنها فراهم باشد، خاکبرداری سریعتر است. از سوی دیگر، بزرگی ابعاد قطعه و برداشتن متوالی آنها ایمنی گود را کاهش می‌دهد. شرایط ژئوتکنیک ساختگاه تعیین کننده ابعاد و توالی خاکبرداری است. اگرچه سرعت عملیات خاکبرداری از اهمیت بالایی برخوردار است، لیکن ایمنی شرط اول یک پروژه گودبرداری اصولی

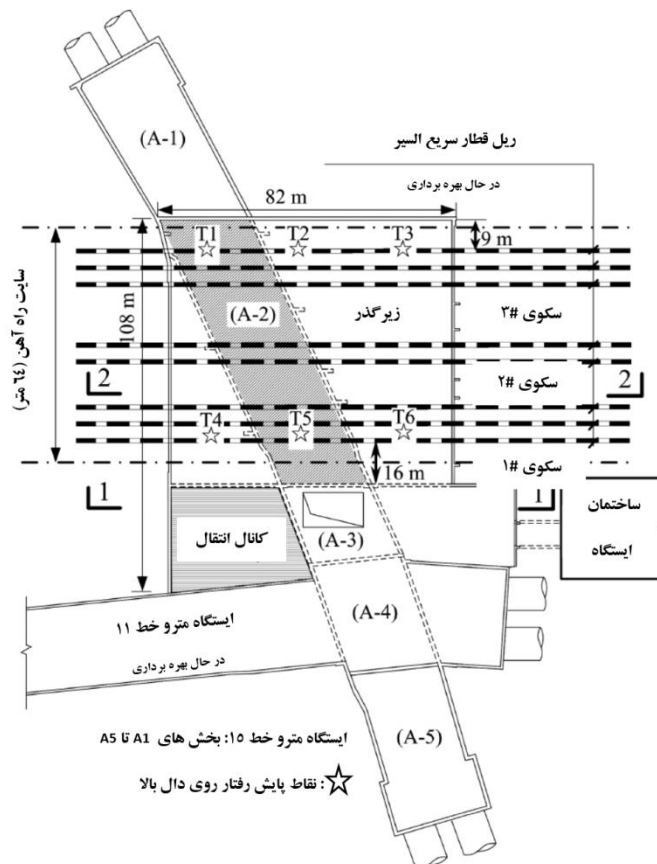
است. به منظور کنترل تغییرشکل‌های ناشی از گودبرداری، ممکن است لازم باشد، پاشنه‌های خاکی مقابل دیواره نگه داشته شود و یا قطعه‌ها به صورت یکی در میان خاکبرداری شود. انتخاب ابعاد و نوع توالی قطعه‌برداری توسط کارشناس خیره ژئوتکنیک و مبتنی بر زمان خوددایستایی خاک تعیین می‌شود و در طول پروژه نیز مبتنی بر مشاهده رخنمون خاک، مستمراً تدقیق می‌گردد.

برای دستیابی به یک طرح بهینه بین سرعت و ایمنی، ممکن است طراح پروژه برای پایدارسازی موقت قطعات، از رویه‌های حفاظتی موقت از قبیل شبکه فولادی و بتن پاششی (شاتکریت) استفاده نمایند.

### ۳-۲-۳-۴-۳- الگوی بهینه طرح‌ریزی عملیات خاکی

مقصود از طرح‌ریزی عملیات، ترتیب دادن فرایندهای اجرایی به ترتیبی است که تا حد ممکن، عملیات اجرایی مختلف به صورت همزمان و موازی با هم انجام شود، تداخل فعالیت‌ها حداقل گردد، پایداری و ایمنی گود بیشینه شود و تا حد ممکن سرعت عملیات ارتقا یابد.

یک نمونه از بهینه‌سازی انجام عملیات خاکبرداری، توسط لی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۴) برای طرح توسعه ایستگاه مترو در شهر شانگهای که به روش ساخت از بالا-پایین اجرا شد، در شکل (۳-۸۹) ارائه شده است.



شکل ۳-۸۹ پلان سایت خطوط ریلی و ایستگاه‌های مترو.

در این پروژه روش‌های مختلف خاکبرداری از جمله، بالا-پایین مرسوم<sup>۲</sup> شامل روش‌های بخشی<sup>۳</sup>، خاکبرداری

<sup>1</sup> Li et al. 2014

<sup>2</sup> Conventional Top-Down Excavation Methods

<sup>3</sup> Divided excavation



سراسری<sup>۱</sup>، خاکبرداری قطعه‌ای<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت روش خاکبرداری کانالی<sup>۳</sup> انتخاب و اجرا شد. در ادامه هر یک از این روش‌ها معرفی می‌گردد.

### ۳-۲-۳-۴-۱- خاکبرداری بخشی با خروجی‌های فوقانی

در این روش، همانطور که در شکل (۳-۹۰)-الف نشان داده شده است، دو یا سه خروجی در دال سقف فوقانی در بخش 2-A که در واقع به‌عنوان سقف زیرین زیرگذر است، قرار می‌گیرد. حفاری به‌طور همزمان از طریق هر سه خروجی آغاز و به بخش‌های متعدد کوچک تقسیم می‌شود که مستقل از هم هستند. خاک از طریق خروجی‌ها به صورت قائم به بالای سقف منتقل و سپس به صورت افقی بر روی سقف به سوی بازشوی خروجی اصلی حمل می‌شود. در این روش در جهت قائم، خاکبرداری بخش 2-A به چهار لایه بر اساس سقف‌ها و مهارها تقسیم می‌شود. حفره کوچکی در ضلع جنوبی سقف فوقانی زیرگذر در بخش 2-A، برای ورود مصالح در نظر گرفته شده است. در این روش، خاک حفاری شده و مصالح بر روی دال سقف فوقانی در بخش 2-A دپو و حمل می‌شود.

این روش در این پروژه مناسب نبود؛ زیرا ارتفاع خالص زیرگذر فقط ۴/۵ متر است و بیل مکانیکی دارای جام بازشو یا کلمشل نمی‌تواند برای انتقال قائم خاک‌های کنده شده به بیرون به کار رود. استفاده از بیل‌های مکانیکی کوچک بر روی سقف بخش 2-A نیز، از کارآیی لازم برخوردار نیست. تحت بهره‌برداری بودن خط ریلی نیز مانع ایجاد بازشوهای تخلیه بزرگ می‌شود. چرا که ظرفیت باربری کاهش و به تبع آن ریسک پروژه افزایش می‌یابد.

### ۳-۲-۳-۴-۲- خاکبرداری سراسری و ساخت

به دلیل اینکه امکان حمل خاک بر روی سقف 2-A وجود ندارد، روش خاکبرداری سراسری مطابق شکل (۳-۹۰)-ب مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش خاکبرداری بخش 2-A به چهار لایه قائم تقسیم می‌شود. اما خاک هر لایه به‌طور پیوسته از جناح جنوبی برداشته و بر روی سطح خاکبرداری شده به بازشوی خروجی منتقل می‌شود. این روش نیز به دلیل پتانسیل ایجاد تغییرشکل‌های بزرگ در دیوار دیافراگمی و خاکریزهای خط ریلی مناسب نیست. در این پروژه زمان حفاری برای هر لایه، بیش از ۱۲ روز طول می‌کشد و زمان ساخت و عمل‌آوری برای سقف‌ها و مهارها طولانی‌تر خواهد بود. طی زمان طولانی و بدون مهار بودن دیوارهای دیافراگمی، سبب ایجاد تغییرشکل‌های بزرگ در خاک نرم رسی شانگهای خواهد بود. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که تغییرشکل‌های ناشی از خاکبرداری سراسری در دیوارهای دیافراگمی نسبت به خاکبرداری بخشی بسیار بزرگتر است (ژو، ۲۰۰۷).

### ۳-۲-۳-۴-۳- خاکبرداری قطعه‌بندی شده

خاکبرداری قطعه‌بندی شده که در شکل (۳-۹۰)-ج نشان داده شده است، می‌تواند به‌منظور کنترل تغییرشکل دیوار دیافراگمی مفید باشد. در این روش، خاکبرداری برای هر لایه به چندین قطعه تقسیم می‌شود. در هر قطعه، خاک به سرعت برداشته می‌شود و بلافاصله پس از خاکبرداری، مهارها یا سقف اجرا می‌شود تا

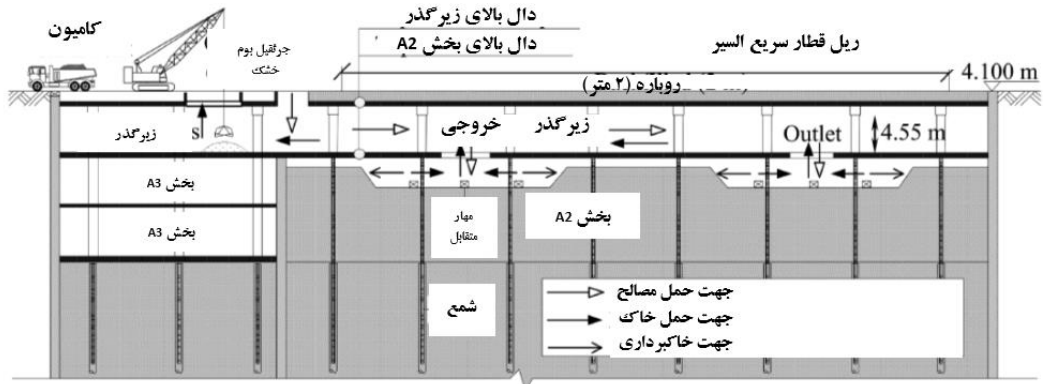
<sup>1</sup> Entire excavation

<sup>2</sup> Segment type

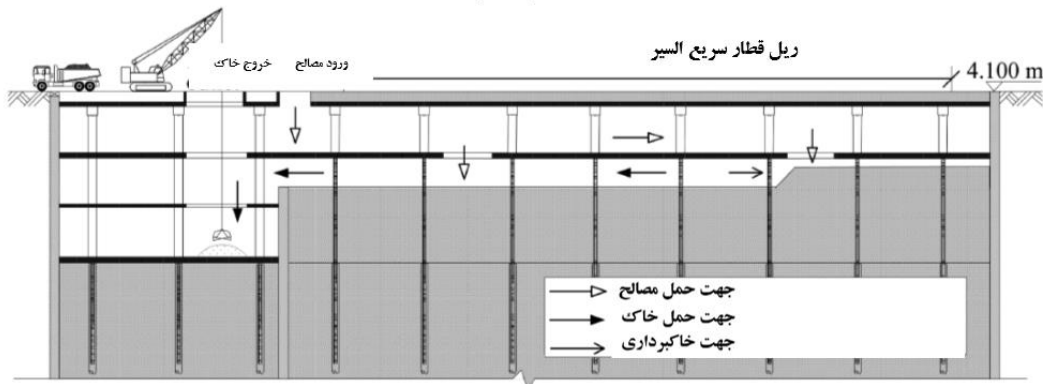
<sup>3</sup> Channel type

<sup>4</sup> Zu

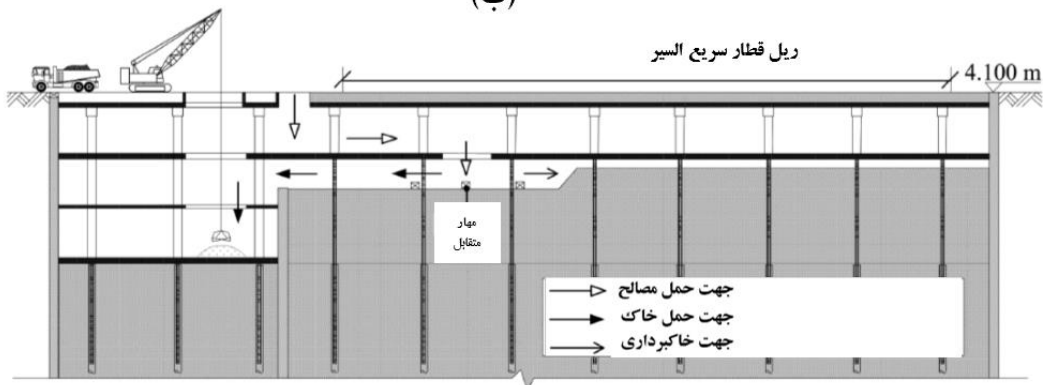
تغییر شکل دیوار دیافراگمی به حداقل برسد. پس از اینکه مقاومت بتن تقریباً به ۷۰ درصد مقاومت مشخصه خود رسید، که پس از حدود ۷ روز عمل آوری رخ می‌دهد، قطعه بعدی به همین ترتیب خاکبرداری و اجرا می‌شود. اگرچه تغییر شکل دیوارهای دیافراگمی به این روش کنترل می‌شود و مقادیر بسیار کوچک خواهد شد، اما کارایی روش به دلیل عملیات ساخت غیر ممتد، بسیار پایین است. در این روش عملیات خاکبرداری باید طی دوره بتن‌ریزی و عمل آوری آن، متوقف گردد. بنابراین هزینه‌ها و نیز ریسک‌های ساخت افزایش می‌یابد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۳-۹۰ الگوهای خاکبرداری مرسوم بالا-پایین؛ الف) خاکبرداری بخشی با خروجی‌های فوقانی، ب) خاکبرداری سراسری و ساخت، ج) خاکبرداری قطعه‌ای.



### ۳-۲-۳-۴-۳-۴- طرح خاکبرداری کانالی<sup>۱</sup>

در این روش در شروع عملیات ساخت، یک کانال عملیاتی برای انتقال خاک در وسط و سراسر محیط خاکبرداری ایجاد می‌شود و مابقی خاک در دو سمت کانال، به‌منظور ایجاد مقاومت در برابر تغییرشکل دیوار دیافراگمی باقی می‌ماند. با استفاده از این کانال، امکان شروع خاکبرداری از دورترین نقطه از بازشو تخلیه فراهم می‌شود. در نتیجه در زمان اجرای سازه و سقف، نیاز به توقف عملیات خاکبرداری نیست. پس از شکل‌گیری کانال، خاکبرداری بخش‌های باقی‌مانده در دو سمت کانال با استفاده از روش قطعه‌ای و همزمان با اجرای مهارها و سقف‌ها انجام می‌شود. همچنین امکان حمل خاک و نیز انتقال مصالح از طریق کانال ایجاد شده وجود دارد.

در این روش عرض کانال با استفاده از دو عامل تعیین می‌شود. کانال باید آنقدر عریض باشد که برای حرکت ماشین‌آلات و انتقال خاک مشکلی ایجاد نگردد. در هر حال عرض بزرگتر کانال مطلوب‌تر است. البته از سوی دیگر، عرض پاشنه‌خاکی باقی‌مانده در دو طرف نیز، باید به قدر کافی باشد تا مانع ایجاد تغییرشکل دیوار دیافراگمی شود. بنابراین منطقی‌ترین عرض برای کانال، حداقل عرض لازم برای تردد ماشین‌آلات خاکبرداری است.

در خاکبرداری کانالی به دلیل اینکه جهت ساخت و خاکبرداری برعکس هم هستند و با یکدیگر تداخل ندارند، عملیات خاکبرداری و ساخت پیوسته است و تغییرشکل دیوار دیافراگمی نیز کنترل شده است. خاکبرداری کانالی مشکل تداخل بین جبهه‌های کاری خاکبرداری و تکمیل سازه را تا حد زیادی کاهش داده است. همچنین نسبت به سایر روش‌های مرسوم خاکبرداری بالا-پایین، منجر به کاهش زمان و تغییرشکل‌های ناشی از گودبرداری شده است.

### ۳-۲-۴- ساخت و اجرای سایر اجزاء سازه

اجرای سازه به‌روش بالا-پایین شامل دو قسمت اساسی اجرای بخش زیرزمین و اجرای سازه روی زمین می‌باشد. مراحل اجرای بخش روی زمین مشابه پروژه‌های معمول است. بنابراین در این بخش مراحل اجرای دیوارهای سازه‌ای، سقف، شالوده گسترده یا نواری و تکمیل طبقات زیرزمین تشریح می‌شود.

### ۳-۲-۴-۱- تسطیح و آماده‌سازی سایت جهت اجرای سازه پس از نصب اجزای قائم باربر

پس از نصب تمامی اجزای قائم باربر، باید محل پروژه جهت ادامه عملیات ساختمانی آماده شود. این آماده‌سازی مربوط به اجرای عایق (در صورت نیاز) و اجرای دیوار حائل از بالا-پایین (در صورت انتخاب این روش برای اجرای دیوار) و همچنین تسطیح و آماده‌سازی زمین به‌منظور اجرای سقف می‌باشد. در شکل‌های (۳-۹۱) و (۳-۹۲) تصاویری از شرایط محل پروژه پس از نصب ستون‌ها مشاهده می‌شود.

<sup>۱</sup> Channel type excavation





شکل ۳-۹۱ نصب ستون‌های فولادی، پر کردن چاه و سپس تسطیح کف گود به منظور ادامه عملیات اجرایی ساخت به روش بالا-پایین.



شکل ۳-۹۲ نصب ستون‌های پیش‌ساخته بتنی در سایت پس از پر کردن چاه و آماده‌سازی سایت جهت اجرای سقف و دیوار حائل اولین زیرزمین.

با توجه به مدیریت اجرای پروژه و توالی گام‌های اجرایی، می‌توان برخی از فرآیندها را به‌طور موازی پیش برد. به عنوان مثال پس از نصب ستون‌های یک جبهه از پروژه و ایجاد فضای کاری، می‌توان در یک منطقه تعریف شده از مکان پروژه، اقدام به عملیات اجرایی در یک گام جلوتر و اجرای سقف و دیوار بتنی نمود (شکل ۳-۹۳). در شکل (۳-۹۴) آماده‌سازی‌های لازم به منظور اجرای دیوار حائل مشاهده می‌شود. در شکل (۳-۹۱) نیز تسطیح کف گود جهت اجرای سقف را می‌توان مشاهده نمود.



آماده‌سازی دیواره  
گود و اجرای  
عایق‌بندی

اجرای دیوار حائل بتنی پس  
از نصب مغزه ستون‌ها

شکل ۳-۹۳ آماده‌سازی جهت اجرای بخش‌های مختلف عملیات ساخت و تعریف جبهه‌های کاری مختلف در پروژه (اسکلت بتنی و ستون‌های با مغزه فولادی در طبقات زیرزمین).



(ب)



(الف)

شکل ۳-۹۴ الف) قطعه‌برداری از دیواره خاکی گود و تسطیح و آماده‌سازی دیواره گود پیش از اجرای دیوار حائل، ب) اجرای عایق در روی دیواره گود پیش از اجرای دیوار حائل.

### ۳-۲-۴-۲-۳- اجرای دیوار حائل و دیوار برشی

پس از پرکردن چاه با مخلوط مناسب و تسطیح زمین، نوبت به تکمیل سازه در اولین طبقه زیرزمین می‌رسد. در این مرحله اجرای دیوارهای پیرامونی (دیوار حائل) و اجرای دیوار برشی (در صورت وجود) اولویت دارد. در ساخت به روش بالا-پایین، حتی اگر از دیوار حائل پیوسته مدفون استفاده شود، در برخی مواقع یک دیوار بتنی سازه بر روی دیوارهای شمعی اجرا می‌شود (شکل ۳-۹۵). در مورد دیوارهای دیافراگمی با توجه به عملکرد سازه‌ای آنها، از آنها به عنوان دیوار حائل دائمی سازه استفاده می‌شود و به سقف سازه و پی به صورت مرحله‌ای پس از خاکبرداری متصل می‌گردد (شکل ۳-۹۶). بنابراین در مورد سیستم‌های دیوار که به صورت مدفون اجرا می‌شوند، تنها نکته اجرایی در هنگام تکمیل طبقات زیرزمین، رعایت ملاحظات درز اجرایی و اتصال دیوار به سقف و ستون‌ها است که از طریق تعبیه اتصالات مناسب یا کاشت میلگرد، طبق جزئیات اجرایی توصیه شده از جانب مشاور ساخت از بالا-پایین و آیین نامه‌های مربوطه، می‌توان این کار را انجام داد.



شکل ۳-۹۵ اجرای یک دیوار حائل بر روی دیوار حائل مدفون شمعی به صورت مرحله‌ای و از بالا-پایین



شکل ۳-۹۶ اتصال دیوار حائل از نوع دیوار دیافراگمی به سقف و پی به کمک کاشت میلگرد

بر اساس آیین نامه های معتبر، نکاتی پیرامون درز اجرایی مرور می گردد. درز اجرایی یا سرد هنگامی اتفاق می افتد که بتن ریزی در دو قسمت مجاور و چسبیده به هم، در دو زمان مختلف صورت گیرد. به سطح بتن خمیری جدید و بتن سفت قدیمی، سطح واریز یا درز اجرایی گفته می شود. در تعیین موقعیت درزهای اجرایی باید دقت کافی به عمل آید؛ لیکن در روش اجرای بالا-پایین متعدد و اجتناب ناپذیر است. نوع درزهای سرد و اجرایی و موقعیت آنها باید در نقشه ها منعکس شود. در هر حال تعیین موقعیت درزهای اجرایی نباید به محل یا زمانی دلخواه موکول کرد.

در درزهای اجرایی باید سطح بتن را تمیز کرد و دوغاب خشک شده را از روی آن تمیز کرد. درزهای اجرایی را حداکثر امکان باید در مقاطعی پیش بینی کرد که در آنها تلاشها و به ویژه نیروهای برشی، کمترین مقدار را دارند. در صورت لزوم برای انتقال نیروهای برشی و سایر تلاشها در محل درزهای اجرایی باید پیش بینی های لازم به عمل آید. دستیابی به پیوستگی کامل بین دو سطح بتنی در یک درز ساختمانی ضروری است. از این رو در درزهای ساختمانی معمولاً سعی می شود، در حالی که بتن ریخته شده یک طرف درز نارس است، یک لایه سطحی از آن برداشته شود، به صورتی که دانه ها نمایان شده و سطحی ناصاف و غیرمنظم حاصل گردد، این وضع را می توان با پاشیدن آب یا مخلوط آب و هوا، با فشار لازم و استفاده از برس سیمی ایجاد نمود. تا زمانی که قرار است بتن طرف دیگر درز اجرا شود، باید سطح بتن اولیه مرطوب نگه داشته شود؛ به جز سطح خود درز که باید چند ساعت قبل از عملیات مراقبت از آن قطع گردد، به صورتی که نوعی خشکی سطحی و کم عمق در سطح درز پدید آید.

درزهای اجرایی نباید بدون شکل باشد، بلکه باید امتدادی عمود بر امتداد تنشهای عمودی داشته باشد. از ایجاد درزهای بزرگ اجرایی باید خودداری کرد و درزهای لازم را به صورت پلکانی با سطوح شکسته در نظر گرفت. ایجاد سطوح واریز قائم، باید به وسیله قالب موقت صورت پذیرد. بدین منظور می توان از توری با چشمه ریز که به وسیله یک شبکه محکم نگهداری می شود یا رابیتس، استفاده نمود. توری در توده بتن باقی مانده و یا بموقع کنده می شود. به این ترتیب سطح خشنی به دست می آید. برای بتن ریزی وجه دوم درز باید سطح واریز کاملاً آماده شود. سطح واریز باید عاری از آلودگی، روغن، گریس، رنگ و نظایر آن باشد. تمیز کردن سطح بتن تا آنجا ضرورت دارد که دانه های ماسه مشخص گردد.

بهترین روش برای تمیز کردن سطح، ماسه پاشی مرطوب با استفاده از آبفشان است. البته روش های دیگری نظیر اسیدشویی، استفاده از آبفشان و یا استفاده از ابزار دستی، هر کدام بسته به موقعیت درز کاربرد دارند. برای تأمین پیوستگی بتن جدید و قدیم پس از زخمی کردن سطح واریز در فرایند اجرای مرحله ای سازه در بالا-پایین، باید آن را به مدت طولانی خیس نگاه داشته و قبل از شروع بتن ریزی مجدد به کمک هوای فشرده، آب سطحی را از روی بتن زدود. برای تأمین پیوستگی بیشتر می توان و بهتر است بر مقدار کارایی بتن افزود. این کار از طریق



افزایش اسلامپ، افزایش ماسه و یا کاهش مقداری از درشت دانه‌ها صورت می‌گیرد. برای حصول کامل پیوستگی بهتر است قسمت‌های اولیه بتن جدید به خوبی و با دقت کامل مرتعش گردد.

در مورد اجرای دیوار حائل به صورت مرحله‌ای و از بالا-پایین، که در ایران و شرایطی که خاک پایداری ذاتی در قطعات خاکی با ابعاد محدود دارد (مانند شرایط ژئوتکنیکی اغلب مناطق شهری مانند تهران) رایج‌تر است، نکات اجرایی دیگری علاوه بر ملاحظات درز سرد و اجرایی وجود دارد. پس از تسطیح و در صورت نیاز آب‌بندی دیواره خاکی گود، شبکه میلگرد دیوار حائل مابین دو ستون سازه بسته می‌شود. در مورد میلگردهای قائم دیوار با توجه به اینکه در مرحله بعد، دیوار زیرزمین بعدی از بخش فوقانی خود به بخش تحتانی زیرزمین بالا متصل می‌گردد، ضرورت دارد نحوه توسعه و اتصال این میلگردها از پیش در هنگام تهیه فهرست برش میلگرد و کارگاهی آن اندیشیده شود. می‌توان وصله میلگرد طبقه فوقانی به تحتانی را به صورت طول همپوشانی میلگرد و یا به صورت اتصال مکانیکی در نظر گرفت. در هر حال لازم است تا طول وصله میلگرد که پایین‌تر از تراز روی سقف زیرزمین قرار می‌گیرد، به طریق مناسبی محافظت گردد تا تراز اجرا شده پایین دیوار دقیقاً در محل درست خود اجرا شود و بتوان پس از آن در زیرزمین بعدی به راحتی عملیات وصله میلگردهای طولی دیوار را انجام داد. محل وصله مکانیکی طبق نظر مشاور ساخت به روش بالا-پایین مشخص می‌گردد.

با توجه به طرح اجرایی و میزان طول مورد نیاز برای محافظت از طول همپوشانی و یا محل وصله، می‌توان از روش‌های اجرایی مختلفی استفاده کرد. اگر نیاز باشد که طول محافظت از محل وصله زیاد باشد، ضرورت دارد که در پای دیوار حائل اقدام به حفر یک کانال به عمق طول همپوشانی یا طول محافظت از وصله نمود. این روش برای طول زیاد به صرفه نمی‌باشد و حفر کانال در پای دیوار به عمق بیشتر از ۷۰ سانتی‌متر زمانبر و پرهزینه خواهد بود. با توجه به محدودیت‌های اجرایی، حفر این کانال معمولاً به روش دستی انجام می‌شود. پس از حفر کانال، میلگردهای قائم دیوار اجرا می‌شوند و بخشی که باید حفاظت شود و پایین‌تر از تراز زیر دیوار طبقه است، داخل کانال قرار می‌گیرد و سپس کانال با خاک پر می‌شود. به منظور ایجاد یک درز سرد تمیز و مناسب در زیر دیوار، لازم است تا سطح زیر بتن دیوار و روی خاک به طریق مناسبی آماده شود. برای این منظور می‌توان از یک لایه ماسه استفاده کرد. اما سقوط بتن روی سطح ماسه ممکن است سبب ترکیب ماسه با بتن شود. بنابراین بهتر است که یک لایه دوغاب سیمان نازک بر روی ماسه ریخته شود. توصیه می‌شود که خاکی که داخل کانال پر می‌شود، کاملاً با آب مرطوب و متراکم شود تا میزان نشست و فشرده شدن این لایه خاک به حداقل مقدار برسد. وزن بتن تازه دیوار که به خاک زیرین آن وارد می‌شود، می‌تواند سبب نشست خاک شود؛ همچنین جمع‌شدگی بتن نیز مزید بر علت خواهد بود. بنابراین سطح بتن‌ریزی از بالای دیوار را باید اندکی بیشتر لحاظ کرد تا پس از بتن‌ریزی، تراز بتن نهایی مطابق با نقشه‌های اجرایی باشد. ممکن است طول وصله که زیر دیوار قرار می‌گیرد و باید حفاظت شود، کوتاه باشد؛ بنابراین می‌توان با بستن رایبتس یا مصالح مشابهی به شبکه میلگرد پایین دیوار، طول مورد نظر را حفاظت نمود و با استفاده از لایه ماسه و مشابه حالت قبل با یک لنز نازک دوغاب سیمان، تراز



پایین دیوار را پیاده‌سازی و آماده کرد. هر روشی که ملاحظات اجرایی درز اجرایی و سرد تمیز و مناسب را فراهم کند، که مفصل در بالا اشاره شد و نشست و افت کمتری برای بتن دیوار ایجاد نماید، می‌تواند کاربردی باشد. در شکل (۳-۹۷)، تصاویری از نحوه محافظت از طول وصله میلگردهای طولی در پایین دیوار حائل مشاهده می‌شود. در صورتیکه از وصله مکانیکی برای اتصال میلگرد شبکه فوقانی به شبکه تحتانی استفاده شود، لازم است تا به طریق مناسبی طول رزوه شده و یا در صورت بسته شدن وصله مکانیکی بر روی آن، وصله مکانیکی به‌طور مناسبی پوشانده شود تا در حین عملیات اجرایی مربوط به دیوار حائل، بتن و یا دیگر مواد سبب گرفتگی وصله مکانیکی و یا خراب شدن رزوه نگردد. در شکل (۳-۹۸) نمونه مشابهی ارائه شده است که کل وصله مکانیکی به وسیله پلاستیک پوشانده شده است و پس از ریختن بتن دیوار حائل، پلاستیک از وصله جدا و میلگرد دیوار طبقه زیرین به آن متصل می‌گردد.



شکل ۳-۹۷ محافظت از طول مورد نیاز انتظار در پایین دیوار حائل برای وصله میلگردهای طولی به میلگردهای طولی دیوار طبقه پایین، (الف) حفر کانال پای دیوار و جایگذاری میلگردهای اصلی و پر کردن کانال با خاک و استفاده از پوشش ماسه و سپس یک لایه نازک دوغاب سیمان، (ب) محافظت از طول میلگرد پایین‌تر از تراز پایین دیوار حائل به وسیله رابیتس و پر کردن طول وصله با خاک، یک لایه ماسه و دوغاب نازک سیمان



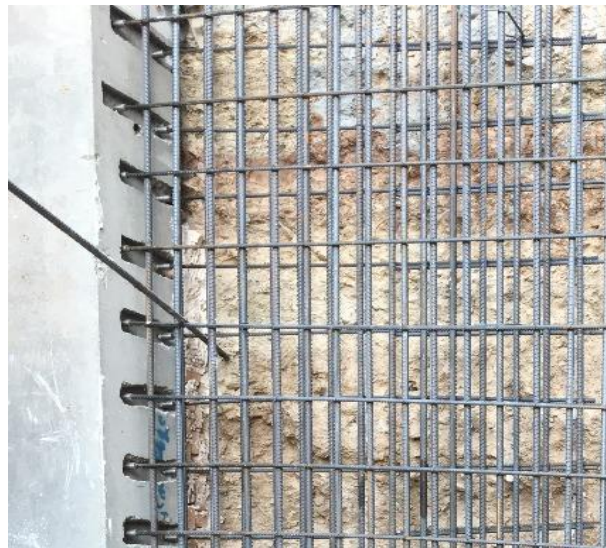
شکل ۳-۹۸ محافظت از وصله مکانیکی (کوپلر) با پوشش پلاستیکی جهت جلوگیری از گرفتگی وصله و خراب شدن رزوه

در مورد میلگردهای عرضی دیوار، روش کار مشابه اجرای سازه‌های مرسوم است. در مورد ستون‌های فولادی و مغزه فولادی ستون‌های مختلط بتنی، میلگرد اصلی طبق نقشه به ستون یا مغزه فولادی متصل می‌شود یا از کنار آن عبور می‌کند و می‌توان از طول همپوشانی یا وصله مکانیکی برای امتداد و اتصال آنها استفاده کرد. به دلیل اینکه میلگردهای عرضی اغلب قطر کمی دارند، استفاده از طول همپوشانی مناسب‌تر و مرسوم‌تر است. تنها ذکر یک





نکته در خصوص میلگردهای عرضی دیوار ضروری است و آن اینکه، در مورد ستون‌های پیش ساخته بتنی، اگر لازم باشد که میلگردهای عرضی به ستون متصل گردند و امکان عبور میلگردها از دو سمت ستون (مدفون شدن کل ستون پیش ساخته داخل دیوار حائل) نباشد، باید میلگرد عرضی در بر ستون به ستون مهار گردد. بنابراین چنانچه در مورد ستون‌های پیش ساخته بتنی و همچنین ستون‌های درجاریز بتنی در داخل چاه ذکر شد، طبق نقشه‌های کارگاهی، وصله مکانیکی به صورت انتظار از پیش موجود داخل ستون قرار داده می‌شود و پس از خاکبرداری، میلگردهای عرضی مابین دو ستون بسته می‌شود (شکل ۳-۹۹). در شکل (۳-۱۰۰)، تصویری از یک دیوار حائل که برای قالب بندی آماده شده است، مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۹۹ اتصال میلگردهای عرضی دیوار حائل به ستون پیش ساخته بتنی به وسیله وصله‌های مکانیکی که به صورت انتظار هنگام ساخت ستون داخل ستون تعبیه شده است.



شکل ۳-۱۰۰ شبکه میلگرد دیوار حائل و آماده سازی برای قالب بندی و بتن ریزی.

پس از آرماتوربندی دیوار و آماده سازی‌های مذکور، نوبت به قالب بندی دیوار حائل می‌رسد. با توجه به اینکه قالب بندی دیوار حائل در اغلب موارد باید به صورت یکطرفه انجام شود، مهار قالب در این شرایط مهم است. روش‌های اجرایی مختلفی برای قالب بندی دیوار حائل امکان پذیر است. ساده ترین و اولین راه حل استفاده از

سطح زمین به عنوان تکیه‌گاه برای جک‌های دیوار حائل می‌باشد (شکل ۳-۱۰۱). بنابراین ضرورت دارد تا تکیه‌گاه‌های مناسبی که گیرداری خوبی برای تحمل فشار قابل توجه ناشی از بتن را دارند در زمین ایجاد شود. این تکیه‌گاه می‌تواند با حفر کانال سطحی در زمین و ایجاد یک شناژ افقی مدفون و یا ایجاد پایه‌های بتنی یا فولادی به خوبی مهار شده در زمین، ایجاد شود. به‌طور کلی ایجاد تکیه‌گاه بر روی خاک کف گود صعوبت‌های اجرایی به همراه خواهد داشت. ضمن اینکه استفاده از جک‌ها در کنج‌های دیوار، سبب تداخل جک‌ها در هم می‌شود که کار را کمی پیچیده‌تر می‌کند.



شکل ۳-۱۰۱ نمونه‌ای از نحوه مهار قالب یکطرفه به وسیله جک به تکیه‌گاهی که در زمین کف گود ایجاد شده است.

راه‌حل دیگری که برای مهار قالب یکطرفه دیوار حائل وجود دارد، استفاده از ستون‌های نصب شده سازه به عنوان تکیه‌گاه برای قالب‌بندی است که این کار را می‌توان به‌صورت شکل (۳-۱۰۲) و یا با شاسی‌کشی و کمک گرفتن از ستون‌های میانی پلان و مطابق شکل (۳-۱۰۳) انجام داد. نکته مهم کنترل فشار قابل توجه بتن در اجرای دیوار حائل است و توصیه می‌شود که مقطع و روش مهار مناسب قالب با محاسبات درست ارزیابی و کنترل گردند. در شکل (۳-۱۰۴) نمونه دیگری از مهار قالب یکطرفه دیوار حائل با پشت‌بندهای خرپایی مشاهده می‌گردد.



شکل ۳-۱۰۲ نمونه‌ای از نصب پشت‌بند و مهار قالب یکطرفه دیوار حائل به کمک ستون‌های سازه



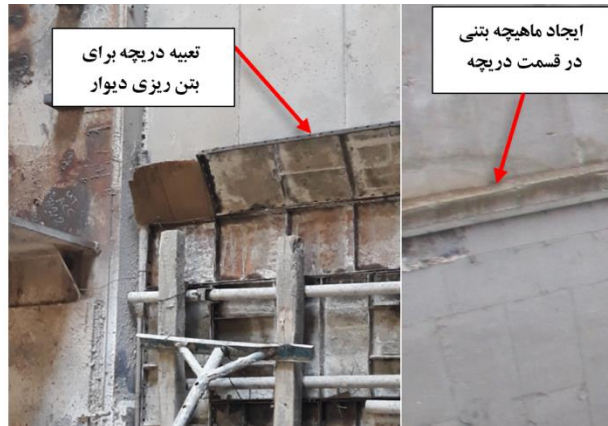


شکل ۳-۱۰۳ مهار قالب یکطرفه دیوار حائل به ستون‌های میانی سازه با شاسی‌کشی فولادی



شکل ۳-۱۰۴ مهار دیوار حائل به کمک پشت بندهای خرپایی

در خصوص بخش‌هایی از دیوار حائل که به سقف متصل نمی‌شود و به صورت یکسره تا پی ادامه می‌یابد، همانند دیوار چاله آسانسور و یا بازشوهای دیگر که دیوار بخش‌بخش از بالا-پایین اجرا می‌شود و یا برای ساخت نیمه پایین دیوار در یک طبقه که درز سرد با نیمه بالای دیوار وجود دارد، به منظور بتن‌ریزی دیوار، معمولاً در بخش فوقانی یک دریچه به صورت زاویه‌دار در قسمت فوقانی دیوار تعبیه می‌شود و بتن‌ریزی از طریق این دریچه انجام می‌شود. به دلیل جمع‌شدگی بتن و همچنین نشست احتمالی دیوار بر روی خاک زیرین، لازم است تا سطح بتن از تراز زیر دیوار طبقه فوقانی، اندکی بالاتر ریخته شود. پس از گیرش اولیه می‌توان بتن اضافه‌ای که به صورت زائده باقی‌مانده است را زدود (شکل ۳-۱۰۵). امکان استفاده از روش‌های ابتکاری دیگر برای این نوع دیوارها وجود دارد.



شکل ۳-۱۰۵ ایجاد دریچه در بالای دیوار برای ریختن بتن و ماهیچه بتنی ایجاد شده که باید زدوده شود

متناسب با ملاحظات طراحی که در مراحل ساخت به روش بالا-پایین در نظر گرفته شده است، می توان دیوار برشی را به صورت مرحله ای و مانند دیوار حائل از بالا-پایین اجرا نمود. نحوه قالب بندی دیوار برشی همانند اجرای از پایین به بالا می باشد و تمهیدات خاصی برای قالب بندی و اجرای از بالا-پایین (با توجه به قالب بندی دوطرفه) نیاز ندارد. در شکل (۳-۱۰۶)، نمونه ای از قالب بندی دو طرفه دیوار برشی از بالا-پایین مشاهده می شود. در شکل (۳-۱۰۷)، برای اجرای بالا-پایین دیوار از یک مغزه فولادی در دیوار برشی استفاده شده است که این مغزه در مدل سازی، تحلیل و طراحی ساخت به روش بالا-پایین لحاظ و در نقشه های اجرایی ارائه می شود. این عضو باربر مانند مغزه های فولادی ستون های مختلط بتنی وظیفه انتقال نیروها به شمع را در حین ساخت از بالا-پایین به عهده دارد.



شکل ۳-۱۰۶ قالب بندی دو طرفه و اجرای از بالا-پایین دیوار برشی



شکل ۳-۱۰۷ اجرای از بالا-پایین دیوار برشی و استفاده از یک عضو باربر قائم در دیوار به منظور انتقال نیروها به شمع

### ۳-۲-۴-۳- اجرای سقف

در اجرای سازه به روش بالا-پایین، استفاده از انواع مختلف سیستم‌های سقف امکان‌پذیر است. سقف‌های از نوع عرشه فولادی، کامپوزیت، دال‌های مجوف، تیرچه بلوک، و تیر و دال را می‌توان در این روش به کار برد. انتخاب سیستم سقف در طبقات زیرزمین تابع نظرات مشاور سازه در خصوص طراحی سیستم سازه‌ای برای بارهای بهره‌برداری و همچنین مشاور و مجری ساخت به روش بالا-پایین در خصوص ملاحظات اجرایی است. استفاده از سیستم‌های سقف از نوع دال‌های بتنی، به دلیل نیاز به سپری شدن زمان برای رسیدن مقاومت بتن به ۷۰٪ مقاومت مشخصه طرح و سپس رسیدن زمان باز کردن قالب، عملیات خاکبرداری در زیر تراز سقف را به تعویق می‌اندازد و عملاً تا زمان باز کردن قالب، نمی‌توان عملیات خاکبرداری زیر تراز سقف را ادامه داد.

در مورد سقف‌هایی که تیرهای فولادی دارند، در صورتیکه دال بتنی نیز اجرا شود، عملیات نصب و جابجایی تیرها در زیر تراز سقف ریخته شده، به دلیل عدم دسترسی مستقیم جرثقیل به زیر سقف‌ها، بسیار سخت خواهد بود. اما امکان ادامه خاکبرداری زیر تراز سقف‌های ریخته شده بلافاصله پس از ریختن بتن سقف وجود خواهد داشت. جابجایی و نصب تیرهای فولادی سقف در زیر سقف بتن‌ریزی شده به وسیله مینی‌لودر یا مینی‌بیل و دیگر ماشین‌آلات مشابه امکان‌پذیر خواهد بود. در برخی مواقع می‌توان در سقف‌هایی مانند عرشه فولادی که تیرهای فولادی در ابتدا اجرا می‌شود، با ملاحظات ساخت به روش بالا-پایین و به شرط تحلیل و طراحی برای این حالت، تنها تیرهای فولادی را اجرا نمود و پس از رسیدن به تراز کف گود و پایان خاکبرداری، اقدام به تکمیل سقف و بتن‌ریزی آن نمود. باید در نظر داشت که ابعاد تیرها در این حالت از تیرهایی که همزمان با دیافراگم سقف به عنوان مهار دیوار حائل و برای تحمل فشار خاک اجرا می‌شود، بزرگتر است و می‌تواند ملاحظات معماری و اقتصادی قابل توجهی در پی داشته باشد. در شکل (۳-۱۰۸)، تصویری از سقف اجرا شده از نوع عرشه فولادی در روش ساخت از بالا-پایین ارائه شده است.

در مورد سقف‌های دال بتنی، قالب‌بندی به روش‌های مختلفی قابل انجام است. می‌توان از قالب‌بندی بر روی جک یا داربست مخصوص (اسکافلد) استفاده کرد یا بدون استفاده از جک، سطح زمین را به عنوان قالب سقف به کار برد. در هر دو حالت ضروری است که سطح خاک تسطیح و در صورت نیاز متراکم گردد. در خصوص استفاده از جک برای قالب‌بندی زیر سقف باید در نظر داشت که نیاز به یک تکیه‌گاه مناسب بر روی سطح زمین و در زیر هر جک می‌باشد، که بتواند بارهای ناشی از وزن سقف ریخته شده و تجهیزات قالب‌بندی را بدون ایجاد



مشکل فرو رفتن و همچنین نشست، به زمین منتقل کند. نمونه‌ای از قالب‌بندی سقف از نوع دال مجوف و استفاده از جک بر روی سطح زمین در شکل (۳-۱۰۹) مشاهده می‌شود. همچنین در شکل (۳-۱۱۰) استفاده از الوارهای چوبی به منظور توزیع بار ناشی از سقف به سطح زمین ارائه شده است. در این شرایط پیش از قرار دادن الوارها بر روی زمین، لازم است تا زمین مسطح شود و در صورتیکه زمین دست‌خورده و نرم باشد لازم است خاک با ماشین‌آلات، تجهیزات و روش‌های مناسبی متراکم گردد.



شکل ۳-۱۰۸ استفاده از سقف عرشه فولادی در ساخت به روش بالا-پایین.

همچنین می‌توان با آماده‌سازی سطح زمین، بدون استفاده از جک، از زمین به عنوان قالب سقف استفاده کرد. می‌توان سطح زمین را تسطیح نمود و پس از آن با قرار دادن تخته چندلایه (پلائی‌وود) و یا اجرای یک لایه بتن نظافت و یک لایه پلاستیکی بر روی آن، بتن دال سقف را روی سطح زمین آماده شده ریخت (شکل ۳-۱۱۱). در مورد ستون‌های پیش‌ساخته و نیز درجاریز بتنی، باید اتصالات لازم از پیش در تراز سقف و در ستون تعبیه شده باشد. اجرای سقف و اتصال تیرها به ستون‌های پیش‌ساخته بتنی در شکل (۳-۱۱۲) مشاهده می‌شود. به منظور تسریع در قالب‌برداری و ادامه عملیات خاکبرداری در زیر تراز سقف، می‌توان طرح اختلاط بتن سقف را به گونه‌ای در نظر گرفت که در مدت زمان کوتاهی، مقاومت مشخصه به مقاومت مشخصه طرح برسد و بتوان در کوتاه‌ترین زمان ممکن قالب سقف و جک‌ها را باز کرد.



شکل ۳-۱۰۹ قالب‌بندی و اجرای سقف از نوع دال مجوف (وافل) روی جک‌های مستقر شده بر روی سطح خاک



شکل ۳-۱۱۰ استفاده از الوارهای چوبی در زیر جک های سقف به منظور توزیع مناسب بار سقف تازه ریخته شده و مابقی ملحقات قالب بندی به سطح زمین و جلوگیری از فرورفتن جک ها در خاک و نشست آنها هنگام اجرای سقف



شکل ۳-۱۱۱ اجرای تیر-دال سازه در روش بالا-پایین، (الف) استفاده از تخته چندلایه (پلای وود) روی سطح زمین برای قالب بندی سقف تیر-دال در روش ساخت از بالا-پایین، (ب) سقف بر روی ورق های لاستیکی ریخته شده است



شکل ۳-۱۱۲ اجرای سقف تیر-دال در ساخت به روش بالا-پایین و اتصال تیرها به ستون پیش ساخته بتنی

### ۳-۲-۴-۴- اجرای شالوده گسترده یا نواری

اجرای پی تقریباً آخرین مرحله از ساخت زیرزمین به روش بالا-پایین محسوب می شود. همانند اجرای از پایین به بالا پس از رسیدن به تراز زیر پی، خاک تسطیح و یک لایه بتن مگر ریخته می شود. سپس، عملیات آرماتوربندی



پی همانند ساخت از پایین به بالا انجام می‌شود. تنها نکته، مهار میلگردهای شمع داخل پی است که اگر در طراحی این موضوع لحاظ و در نقشه‌های اجرایی منعکس شده باشد، ضرورت دارد که مهار میلگردهای شمع داخل پی انجام شود (شکل ۳-۱۱۳).

در مورد ستون‌های پیش‌ساخته بتنی و ستون‌های درجاریز بتنی، در تراز پی میلگردهای انتظار اتصال ستون به پی به‌صورت از پیش موجود لحاظ شده است، بنابراین هنگام بستن شبکه میلگرد پی، اتصال بین ستون بتنی و پی از این طریق برقرار می‌شود (شکل ۳-۱۱۴).

از طرف دیگر در ستون‌های فولادی که به‌روش ایرانی نصب می‌گردند، بسته به نظر مشاور سازه و طراحی انجام شده، یک صفحه ستون بر روی پی پس از رسیدن به تراز مربوطه نصب می‌گردد و مهارهای روی صفحه ستون از طریق آن در پی قرار می‌گیرند و پس از آرماتوربندی پی، در نهایت بتن‌ریزی انجام می‌شود (شکل ۳-۱۱۵).



شکل ۳-۱۱۳ آرماتوربندی و بتن‌ریزی پی در ساخت به‌روش بالا-پایین با ستون‌های فولادی



شکل ۳-۱۱۴ اجرای پی در ستون‌های پیش‌ساخته بتنی و اتصال میلگردهای پی به وصله‌های انتظار از پیش موجود در ستون‌ها



شکل ۳-۱۱۵ استفاده از یک صفحه ستون دو تکه بر روی تراز پی در ستون فولادی

### ۳-۲-۴-۵- بستن بازشوهای موقت و تکمیل سازه زیرزمین

پس از بتن‌ریزی پی و تکمیل سازه در طبقات زیرزمین و همچنین خروج تمامی ماشین‌آلات ساختمانی از جمله ماشین‌آلات خاکبرداری، بازشوهای موقت همانند بازشوی تخلیه خاک و بازشوی ورود مصالح و نظایر آن که برای ساخت به روش بالا-پایین در سقف تعبیه شده بودند، به ترتیب از پایین به بالا بسته و سازه در طبقات زیرزمین کامل می‌شود. به این ترتیب عملیات ساختمانی در طبقات زیرزمین به پایان می‌رسد.

### ۳-۳- موارد خاص در اجرای روش بالا-پایین

اجرای روش بالا-پایین در واقع اجرای سازه همزمان با خاک‌برداری پروژه است. به همین دلیل در این روش اجرا مسائل خاص و با اهمیتی وجود دارد. در این بخش برخی از موارد با اهمیت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۳-۳-۱- ملاحظات اجرای روسازه در روش اجرای بالا-پایین

امکان اجرای همزمان سازه در بالا و پایین تراز همکف، وجه تسمیه عنوان این روش و یکی از مزیت‌های مهم روش بالا-پایین در مدیریت زمان و بهره‌برداری مقطعی روسازه است که در فصل دوم همین راهنما، به آن اشاره شد. برخی متخصصان تنها در این صورت، روش را اجرای بالا-پایین کامل<sup>۱</sup> می‌دانند و در صورت اجرا نشدن بخش روسازه، روش را شبه بالا-پایین<sup>۲</sup> می‌نامند. استفاده از این مزیت، مستلزم طراحی دقیق و کنترل سازه مبتنی بر این اقدام و بارگذاری ناشی از آن است. اجرای طبقات مثبت به‌طور همزمان و قبل از اجرای پی گسترده یا نواری سازه، بدین معنا است که زیرسازه و پی اولیه دوره ساخت، باید سربار ناشی از روسازه را نیز به‌طور ایمن تحمل نماید. به این منظور در مراحل کنترل طرح سازه و تحلیل و طراحی روش ساخت بالا-پایین، لازم است تا اثرات اجرای طبقات روی زمین در نظر گرفته شود. از این رو تعداد طبقات روسازه که همزمان با گودبرداری و احداث طبقات زیرزمین، ساخته خواهد شد و نیز برنامه بهره‌برداری احتمالی حین ساخت، از مفروضات طراحی ساخت به روش بالا-پایین محسوب می‌شود. بنابراین قبل از اقدام به تحلیل و طراحی سازه

<sup>۱</sup> Full Top-Down

<sup>۲</sup> Semi Top-Down



برای ساخت روش بالا-پایین، باید برنامه گام‌های اجرایی و سرعت ساخت سازه در طبقات روی زمین با تیم اجرا، مدیریت پروژه، کارفرمای پروژه و در صورت نیاز تیم‌های دست‌اندر کار دیگر، مطرح، مشخص و جمع‌بندی گردد.

### ۳-۳-۲- رواداری‌های مجاز در اجرای سازه

به‌طور مشخص برای روش اجرای بالا-پایین استاندارد در سطح جهانی و ملی وجود ندارد. بنابراین رواداری‌های مرتبط با این روش برای هر بخش از عملیات، اغلب به‌طور جداگانه در دسترس است و باید با مراجعه به استانداردها و دستورالعمل‌های بین‌المللی و ملی آن موضوع، استخراج گردد. برای نمونه، رواداری اجرای ستون‌ها شامل ناشاقولی و خروج از مرکزیت بر اساس ضوابط مبحث نهم، دهم و یازدهم مقررات ملی ساختمان ایران می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌توان به ویرایش جدید مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی (نشریه ۵۵) که به موضوع روش بالا-پایین نیز اشاره نموده است، مراجعه نمود. شایان ذکر است تأمین برخی رواداری‌های تعریف شده در ضوابط فوق، که اغلب برای اجرای متعارف پایین به بالای سازه تنظیم شده است، در روش بالا-پایین به سادگی میسر نیست و باید تدوین رواداری‌ها متناسب با این روش اجرا، مورد توجه قرار گیرد.

### ۳-۳-۳- برخورد با آب زیرزمینی

مواجهه با آب زیرزمینی به دو بخش کلی در زمان گودبرداری و در زمان بهره‌برداری تقسیم می‌شود. برای کار در مجاورت آب زیرزمینی، الزامات و ملاحظات مطرح است. جدول زیر برخی از این موارد را در دو حالت موقتی گودبرداری و دائمی بهره‌برداری ارائه نموده است.

جدول ۳-۱ برخی نکات اجرایی قابل توجه برای کار در مجاورت آب

پایین بردن سفره آب زیر زمینی (چاه و آبکشی)	-	در مرحله گودبرداری
تزیق احتمالی برای ناتراوا کردن کف	-	
بتن ریزی در مجاورت آب	-	
پایین نگه داشتن دائمی سفره آب زیرزمینی (زهکشی)	-	مرحله بهره برداری (تأمین ناتراوایی و مقابله با زیر فشار احتمالی)
کف‌سازی آب بندی شده و مهار بندی کف	-	
کف‌سازی ضخیم و آب بندی شده (وزنی ناتراوا)	-	

مدیریت مسئله آب در زمان بهره‌برداری ساختمان، در روش بالا-پایین بطور مفهومی تفاوتی با سایر روش‌های اجرا ندارد. لیکن آب‌بندی و زهکشی حتی برای دوره بهره‌برداری در روش اجرای بالا-پایین با الگوی ایرانی و بدون دیوار جداکننده، در جزئیات به علت کار زیرزمینی و محدودیت جبهه کاری و وجود درزهای اجرایی متعدد در بتن دیواره، با دشواری و ریسک بیشتری همراه است. مهمترین مسئله مستلزم توجه در روش بالا-پایین برای مسئله آب‌بندی دائمی، باز شدن جبهه کاری به تدریج و به مقدار محدود است که موجب می‌شود عایق کاری نیز در بخش‌های کوچک و متعدد صورت گرفته و عایق دارای درزهای زیادی باشد. همچنین دیوار بتنی نیز در بخش‌های مختلف بتن‌ریزی شده و دارای درزهای اجرایی متعدد است. رعایت ضوابط درزهای اجرایی بتن که در بخش اجرای دیوار بتنی همین فصل راهنما به آن اشاره شده است، برای کاهش ریسک این درزها مورد تأکید است. وجود درز متعدد برای عایق و بتن در هر حال مطلوب نیست و ریسک نشت را بیشتر





می‌کند. همچنین وجود درزهای خاص از قبیل محل اتصال بتن با ستون فلزی و امثال این که در روش بالا-پایین ممکن است پرتکرار باشد، از دیگر نکات حائز توجه است و باید با آب‌بند یا واتراستاپ‌های مناسب از قبیل آب‌بندهای آبدوست یا واتراستاپ هیدروفیلی و یا بنتونیتی کاملاً بسته شود. در ادامه این بخش، اقدامات برای رویارویی با آب در روش بالا-پایین، تشریح می‌گردد.

شایان ذکر است در الگوی متعارف اجرای بالا-پایین در جهان، که نخست دیوار جداکننده بتنی، محدوده پروژه را محصور می‌نماید، مواجهه با آب در همان ابتدا شروع می‌شود و به علت کنترل آب قبل از شروع خاکبرداری، روش بالا-پایین نسبت به سایر روش‌های گودبرداری مزیت بیشتری دارد. هرچند در این روش اجرا نیز آب‌بند کردن درزهای اجرایی بین بخش‌های مختلف دیوار بتنی پیرامونی، چالشی حایز اهمیت و مستلزم رعایت نکات فنی مربوطه است که پیشتر توضیح داده شد. لیکن در الگوی بومی روش اجرای بالا-پایین، که در آن دیوار پیرامونی به تدریج و طی مراحل تکراری به صورت از بالا به پایین اجرا می‌شود، عملاً تا قبل از مراحل گودبرداری هیچ‌گونه اقدام پیشگیرانه انجام نشده است و مواجهه با آب همزمان با اجرا صورت می‌گیرد و وجود آب زیرزمینی چالش بیشتری دارد.

در مواجهه با آب، سه راهبرد کلی مطرح می‌شود:

الف) خشک اندازی یا آبکشی<sup>۱</sup> یا دور کردن آب از محدوده پروژه

ب) زهکشی<sup>۲</sup> یا هدایت آب‌های رسیده به محدوده پروژه در مسیرهای مورد نظر و مدیریت آن

ج) آب‌بندی<sup>۳</sup> یا ممانعت از ورود آب به موقعیت مورد نظر در پروژه.

به‌طور کلی برای آب‌بندی و زهکشی بخش زیرزمینی سازه‌ها، رعایت مفاد نشریه ۵۵ و مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان ضروری است. همچنین استفاده از استانداردهای معتبری از قبیل BS 8102:2009(ICS 91.120.30 و DIN 18195 مورد توصیه است. بر اساس استاندارد انگلستان، مبتنی بر کاربری فضای زیرزمینی، سه نوع حفاظت A، B و C قابل انجام است. بر اساس نوع حفاظت انتخاب شده، ترکیبی از اقدامات زهکشی و دور کردن آب زیرزمینی و آب‌بند کردن سازه با نصب غشای ناتراوا و استفاده از بتن آب‌بند با جزئیات ذکر شده در استانداردهای مذکور به کار خواهد رفت.

### ۳-۳-۱- منشا آب

آب‌های مشاهده شده در گودبرداری‌ها و پروژه‌های ساخت به روش بالا-پایین، منشأهای متفاوتی دارند که شناخت آن، در انتخاب راهبرد مواجهه تاثیر قابل توجهی دارد. آب ممکن است ناشی از قرار گرفتن گود در زیر تراز سطح ایستابی، برخورد گود با یک منشا موضعی آب زیرسطحی، برخورد با یک مجرای آب زیرسطحی و یا حتی نشت آب‌های سطحی باشد.

قرار گرفتن در زیر تراز ایستابی، پایدارترین حالت وجود مشکل آب است و پروژه را از همه جهت در بر می‌گیرد. دبی ورودی آب تابع نفوذپذیری خاک است و در خاک‌های با نفوذپذیری بالا، مشکل بسیار جدی خواهد بود. مواجهه با این شرایط ترکیبی از اقدامات با راهبردهای مختلف از قبیل آب‌بندی و زهکشی را نیاز

<sup>1</sup> Dewatering

<sup>2</sup> Drainage

<sup>3</sup> Water Proofing

خواهد داشت. احداث دیوار آب‌بند پیرامونی، کاهش نفوذپذیری خاک با اقدامات همچون تزریق، پایین آوردن سطح ایستابی با پمپاژ، زهکشی آب از درون و بیرون گود، اقداماتی از این دست می‌باشد. آب‌های موضعی می‌تواند منشأهای مختلفی از قبیل برخورد با انباره فاضلاب، ترکیدگی لوله‌های آب و فاضلاب ناشی از تغییرشکل‌های گود و برخورد با توده‌های آب محصور داشته باشد. این موارد در بسیاری از پروژه‌ها وجود دارند و مواجهه با آنها چندان پیچیده نیست. نکته مهم درباره آنها، مدیریت صحیح آب در زمان مواجهه، برای اجتناب از ایجاد ناپایداری‌های ژئوتکنیکی موضعی و مسائل بهداشتی است. ایجاد کانال‌های زهکشی و جمع‌آوری آب کف گود، نصب نوارهای زهکش پشت دیوار و در صورت نیاز حفاری زهکش‌های افقی، راهکارهایی برای مواجهه با این موارد است.

اگر منشأ آب زیرسطحی، قنات‌ها باشد، معمولاً مشکل موضعی است. لیکن بسته به شدت جریان آب قنات، می‌تواند کل پروژه را تحت تاثیر قرار دهد و با چالش جدی مواجهه نماید. در مسئله قنات، مناسب‌ترین اقدام، هدایت آب قنات بدون ممانعت و انحراف آن بدون اجازه ورود به محدوده پروژه و با کمترین تداخل با امور پروژه است.

در مواردی که آب منشأ سطحی داشته و روان‌آب‌های روی زمین از طریق نشت در خاک یا مجاری وارد گود می‌شود، بهترین روش مواجهه، ممانعت از ورود آب و هدایت آب‌های سطحی به فاصله ایمن و دور از دیواره گود است.

### ۳-۳-۲- خشک اندازی یا آبکشی

مطمئن‌ترین اقدام در مواجهه با آب، دور کردن آب قبل از نزدیک شدن به پروژه است. در واقع در این اقدام، زهکشی از خارج گود انجام می‌شود و با پایین بردن آب حداقل تا تراز کف گود، ریسک ورود آب به گود را حذف می‌کنند. در روش ساخت بالا-پایین، که ماشین‌آلات خاکبرداری در زیرزمین فعال هستند، ورود آب به گود و گل شدن خاک، مشکلات فراوانی ایجاد می‌نماید. روش آبکشی و خشک اندازی بیشتر برای دوران ساخت مورد توجه است و در عملیات خاکبرداری در محیط‌های با تراوایی متوسط، روشی اقتصادی است. در حالیکه برای دوران بهره‌برداری بسیار پر هزینه و اغلب ناممکن است.

برای زهکشی از خارج گود، روش‌های گوناگونی از قبیل حفاری چاه‌های عمیق (۳-۱۱۶-الف)، چاه نقطه‌ای (۳-۱۱۶-ب و ج)، گالری زهکش افقی و ترکیب چاه و گالری زهکش وجود دارد که در ادامه برخی موارد بیشتر تشریح خواهد شد.

از مشخصات این روش برخورد، نشست محدوده وسیعی از زمین‌های اطراف پروژه در اثر پمپاژ آب است. البته نشست به طور طبیعی با زهکشی ناشی از گودبرداری رخ خواهد داد، لیکن در این روش محدوده تاثیر آن بزرگتر خواهد شد. لازم به تذکر است طراحی این سیستم توسط کارشناس مجرب ژئوتکنیک یا هیدروژئولوژیست انجام می‌شود.

مطابق اصول فنی برای آبکشی با هر روش و برای پایین بردن سطح آب زیرزمینی بایستی سه شرط مهم برقرار گردد. این شروط عبارتند از: ۱) دانه‌های ریز خاک به حرکت درنیایند، ۲) کف گود خشک بماند و ۳) کف و شیروانها پایدار بماند. برای نیل به این هدف در اطراف محل گودبرداری، چاه‌هایی مطابق شکل تعبیه می‌گردد و



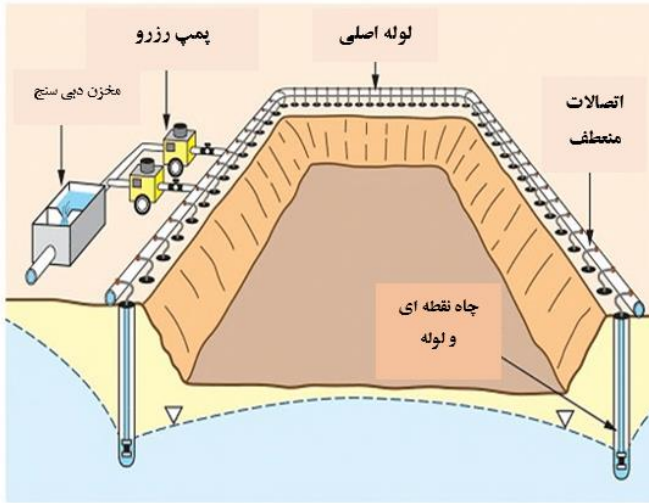
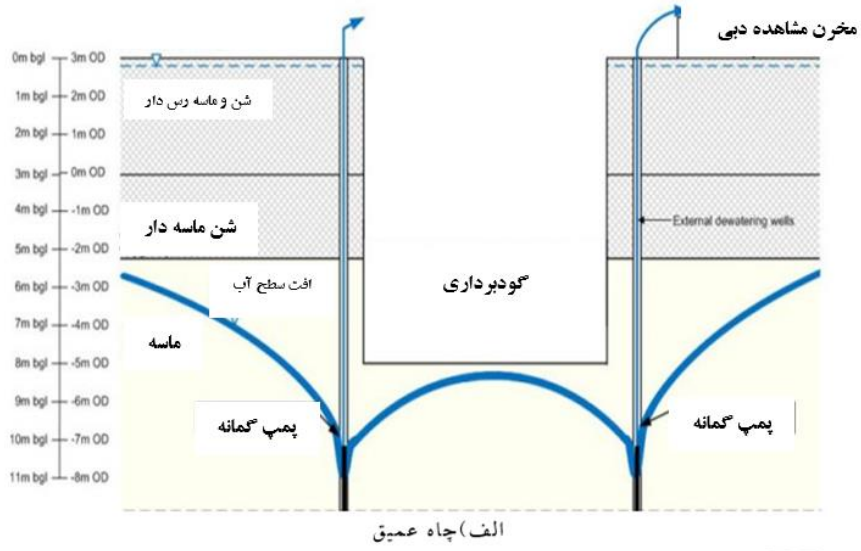
به تدریج با پایین رفتن سطح آب زیرزمینی عملیات خاکبرداری صورت می پذیرد. چاه‌های نقطه‌ای یا کوچک، لوله‌ای با قطر حدود ۵ سانتیمتر است که یک متر انتهایی آن دارای روزنه برای ورود آب به داخل آن توسط پمپ می‌باشد. هر پمپ می‌تواند حدود ۲۵ تا ۵۰ لوله را مطابق شکل پشتیبانی نماید. حفر چاه‌ها و لوله‌گذاری در این روش در زمینهای ماسه‌ای با آب تحت فشار انجام می‌شود. روش آبکشی با چاه‌های نقطه‌ای برای زمینهای با تراوایی متوسط تا کم (ماسه ریز و لای دار) یا تراوایی متوسط ۱۵-<sup>۴</sup> و ۱۵-<sup>۶</sup> متر در ثانیه قابل کاربرد است. راندمان چاه‌های آبکشی نقطه‌ای معمولاً حدود ۰/۵ مترمکعب در ساعت و حداکثر تا یک مترمکعب در ساعت می‌باشد.

چاه‌های بزرگ با روش حفاری احداث می‌شوند و در داخل آن از لوله‌هایی که در پایین آن روزنه‌هایی تعبیه شده است استفاده می‌گردد. البته بسته به شرایط خاک ممکن است از این لوله‌ها صرف‌نظر گردد. دور قسمت روزنه‌دار لوله با شن و ماسه دانه‌بندی شده و بعنوان صافی پر می‌شود تا دانه‌های خاک با مکش پمپ به داخل لوله کشیده نشوند. قطر این چاه‌ها از ۰/۲ متر تا چند متر می‌باشد. برای چاه‌های موقت، قطر در محدوده ۰/۳ تا ۰/۴ متر می‌باشد و برای چاه‌های دائمی در صورتیکه بحث خوردگی مطرح باشد، از لوله پلاستیکی استفاده می‌شود.

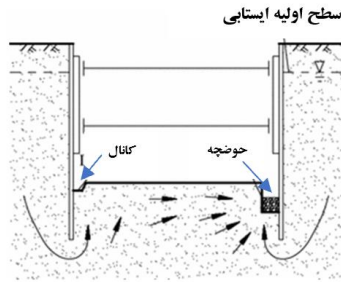
### ۳-۳-۳-۳- زهکشی

چنانچه خشک اندازی انجام نشود، آب به پشت دیواره گود رسیده و وارد گود خواهد شد. زه‌آب تراوش کرده به داخل گود یا حتی پشت دیواره گود، نمی‌تواند به حال خود رها شود. منشأ آب وارد شده به گود، آب زیرزمینی، موضعی یا حتی برخورد با قنات باشد، لازم است زهکشی آب انجام شود. بدین منظور در محدوده گود، کانال‌هایی شیب‌دار حفاری شده و آب تراوش کرده به داخل گود از طریق این کانال‌ها و به صورت ثقلی به داخل حوضچه پمپاژ<sup>۱</sup> هدایت می‌شود. از حوضچه پمپاژ، زه‌آب به بیرون گود تخلیه می‌گردد (شکل ۳-۱۱۷). محاسبه دبی تراوش و انتخاب پمپ مناسب در این روش، تابع متغیرهای مختلفی از قبیل نفوذپذیری خاک است و مستلزم انجام تحلیل‌های هیدروژئولوژیکی است. زهکشی و جمع‌آوری آب وارد شده به گود در مرحله ساخت و در مرحله بهره‌برداری با تفاوت‌هایی همراه است؛ لیکن مبانی مشترکی دارد. در هر دو مورد آب رسیده به دیواره گود، به مسیرهای مشخص از پیش تعبیه شده هدایت می‌شود تا از آنجا به خارج گود پمپ شود.

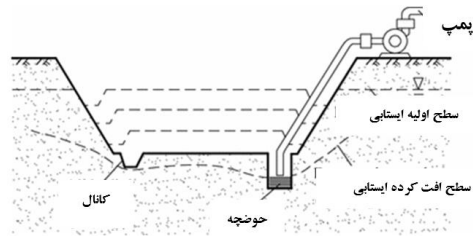
<sup>۱</sup> Sump



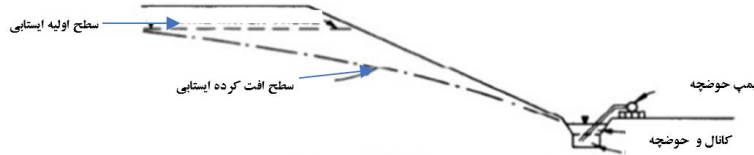
ج) نمونه اجرا شده چاه نقطه ای  
شکل ۳-۱۱۶ خشک اندازی اطراف گودبرداری.



ب - نمونه یک زهکشی و حوضچه پمپاژ کارگاهی در گود مهار متقابل



الف - نمونه یک زهکشی و حوضچه پمپاژ کارگاهی در گود شیب پایدار

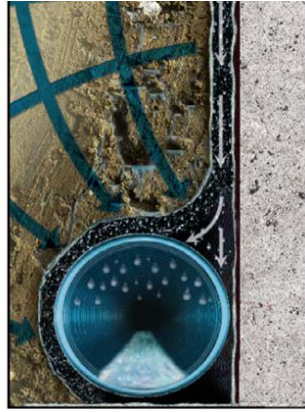
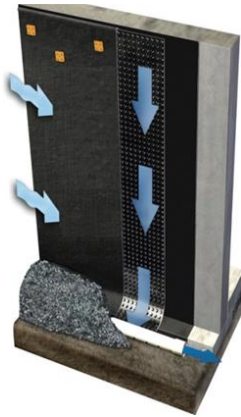


ج - نمونه یک حوضچه پمپاژ کارگاهی

شکل ۳-۱۱۷ زهکشی از داخل گود

زهکشی در مرحله ساخت، می‌تواند همراه با نصب زهکش‌های نواری یا عمقی لوله‌ای درون دیواره گود باشد تا آب رسیده به دیواره گود، وارد آنها شود. در هر حال زه آب جمع‌آوری شده از سطح دیواره خاکی، با کانال‌هایی تجمع می‌شود و با شیب‌بندی کانال نهایتاً به حوضچه هدایت می‌شود. در حوضچه نیز آب به بیرون گود پمپ می‌شود. بدین ترتیب آب وارد شده بر گود تحت کنترل مدیریت شده و به خارج هدایت می‌شود. اجزاء زهکشی در مرحله بهره‌برداری نیز همین گونه است. با نصب زهکش‌های نواری یا صفحه‌ای حفره‌دار، آب رسیده به دیواره، جمع‌آوری و به پایین‌ترین بخش سازه هدایت می‌شود (شکل ۳-۱۱۸ الف و ب). در پایین‌ترین بخش سازه، آب جمع‌آوری شده وارد لوله‌های سوراخ‌داری (شکل ۳-۱۱۸ ن) می‌شود که پس از پوشش فیلتر مناسب (شکل ۳-۱۱۸ د)، در محیط متخلخل شنی قرار گرفته است (شکل ۳-۱۱۸ الف). مسیر قرار گرفتن لوله‌های سوراخ‌دار در کف گود، می‌تواند الگوهای مختلفی از قبیل شکل ۳-۱۱۹ داشته باشد. جزئیات حوضچه پمپاژ نیز به صورت نمونه در شکل (۳-۱۲۰) نشان داده شده است. در زهکشی و تخلیه آب رسیده به گود جزئیات و نکات متعددی وجود دارد که ادامه پیرامون آن بحث می‌شود. به طور معمول، سیستم‌های زهکشی به دو دسته زهکش‌های سطحی (اغلب برای دوره ساخت) و زهکش‌های زیرسطحی (اغلب برای دوره بهره‌برداری) تقسیم می‌شود. سیستم‌های زهکش زیرسطحی نیز بر اساس استاندارد انگلستان به دو دسته زهکش‌های غشائی و زهکش‌های بدون غشاء تقسیم‌بندی می‌شود.





ب - لوله های پی وی سی زهکشی با ژئوتکستایل

الف - لوله های پی وی سی زهکشی



د - شکل شماتیک استفاده از زهکش های غشایی



ج - انسداد ناشی از عدم استفاده از فیلتر مناسب در اطراف لوله زهکش



و - الگوی استخوان ماهی در یک پروژه در تهران



ن - نمونه ای واقعی از ترکیب لوله های زهکش و فیلترهای دور آن با زهکشهای غشایی (ژئودرین)

شکل ۳-۱۱۸ جزئیات زهکشی از داخل گود

زهکش ها از لحاظ تنوع مصالح به دو دسته مصالح طبیعی و مصنوعی قابل تقسیم هستند. همچنین زهکش ها را می توان بر مبنای شکل و سطح مقطع شان به انواع ورقه ای، ترانشه ای، مثلثی، چند وجهی و دایره ای تقسیم کرد. زهکش های سطحی معمولاً به منظور هدایت آب های سطحی در دوره ساخت به کار می روند. برای حصول بیشترین بازدهی و سهولت اجرا، این زهکش ها را معمولاً به صورت کانال هایی با مقطع ذوزنقه ای اجرا می کنند و برای طراحی آنها از اصول هیدرولیک کانالهای باز استفاده می شود.



در دسته زهکشی‌های عمیق، زهکش‌ها به صورت عمیق اجرا شده و معمولاً دارای فصل مشترک با فشار هوا نمی‌باشند. این زهکش‌ها را به دو دسته زهکش‌های غشائی و بدون غشاء تقسیم‌بندی می‌کنند. اساس کار این زهکش‌ها بر پایه حرکت سیال درون خاک، از محیط پرفشار به سمت محیط کم‌فشار است. لذا برای سیستم‌های زهکش باید از مصالحی استفاده شود که بتوان به راحتی در آن اختلاف فشار ایجاد کرد. بنابراین مصالح مورد استفاده در این سیستم‌ها باید دارای تخلخل مناسبی باشند. همچنین در این سیستم‌ها می‌بایست تمهیداتی برای جلوگیری از بسته شدن منافذ بر اثر رسوب‌گذاری و همچنین امکان انجام عملیات تعمیر و نگهداری، پیش‌بینی شود که مصالح ژئوسنتتیک در این زمینه راهگشا است.

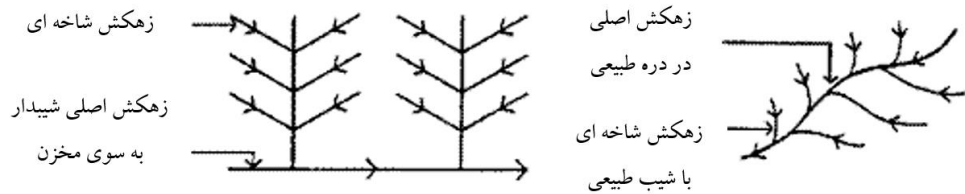
در طراحی زهکش‌ها باید دو مورد را در نظر داشت؛ اول اینکه این سیستم‌ها باید اجازه عبور آب را به خوبی بدهند و دوم اینکه از حرکت ذرات خاک به همراه آب جلوگیری کنند. به این منظور، اغلب باید زهکش‌ها به همراه فیلتر باشند تا از بسته شدن سوراخ‌های زهکش و مهاجرت ذرات ریز از خاک‌های مجاور به داخل زهکش جلوگیری شود. در شکل (۳-۱۱۸-ج) عدم استفاده از فیلتر مناسب در اطراف لوله زهکش و انسداد آن نشان داده شده است.

یکی از کاربردی‌ترین روش‌های زهکشی، استفاده از لوله‌های زهکشی که اشاره شد می‌باشد. در لوله‌های زهکشی آب، که معمولاً از جنس پی‌وی‌سی می‌باشد، آب از طریق سوراخ یا شکاف‌هایی که در جداره لوله تعبیه شده است یا از طریق شکاف بین دو لوله مجاور، به درون لوله هدایت می‌گردد. لوله‌های زهکشی زیرزمینی می‌توانند با شیب‌های متفاوتی کار گذاشته شوند. شیب کارگذاری لوله‌های زهکشی و در نتیجه سرعت تخلیه زه‌آب در این لوله‌ها، نقش مهم و حساسی را در افزایش یا کاهش عمر مفید شبکه زهکشی زیرزمینی ایفا می‌نماید. معمولاً لوله سوراخ‌دار در بستری از شن قرار می‌گیرد. بستر شنی که در اطراف لوله قرار می‌گیرد، وظیفه جمع‌آوری اولیه آب را دارد. به منظور جلوگیری از رسوب‌گذاری و بسته شدن لوله، در اطراف مصالح شنی، صفحات متخلخل دیگری (ژئوتکستایل) نصب می‌شود که در شکل (۳-۱۱۸-د) نمونه آن نشان داده شده است.

یک نوع دیگر از مصالح مورد استفاده به عنوان زهکش غشایی در دیواره‌ها، پوشش‌های متخلخل زهکش با عنوان ژئودرین می‌باشد. در مواقعی که تراوش آب از بدنه ترانشه‌ها و دیواره‌های گودبرداری شده وجود دارد، لازم است تا آب به نحوی از سطح دیواره‌های گود به کف گود هدایت گردد و به وسیله لوله‌های کارگذاشته شده در زیر پی زهکشی شود. یکی از کاربردی‌ترین مصالح موجود، پوشش‌های پلی‌اتیلنی زهکش یا ژئودرین‌ها می‌باشند که در شکل (۳-۱۱۸-ب) عملکرد آنها به صورت شماتیک نمایش داده شده است و نوع معروف آن، ورقه‌های پلی‌اتیلنی حفره‌دار یا شانه تخم‌مرغی (دیمپل شیت) نام دارد.

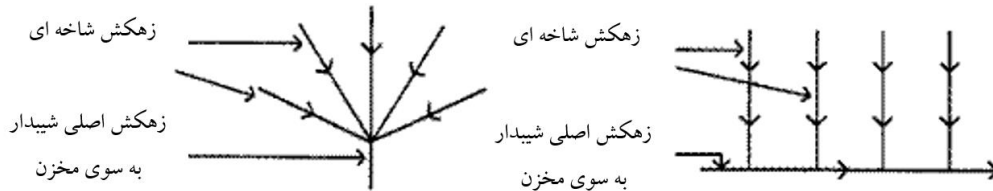
پوشش‌های زهکش (ژئودرین‌ها) یکی از مصالح مورد استفاده به عنوان زهکش غشایی می‌باشد که به سبب صرفه اقتصادی، کاهش احتمال گرفتگی سیستم در اثر رسوب‌گذاری، امکان استفاده از مصالح با مقاومت مکانیکی بالا به منظور محافظت از غشاهای آب‌بند، محافظت مناسب از سازه با توجه به ظرفیت بالای دبی، امکان استفاده از مصالح خاکریز برای پشت‌غشاء و سبکی و نصب آسان، بسیار مورد توجه و استفاده هستند. این سیستم‌ها به راحتی بر روی سطح آماده شده پس از حفاری قابل نصب می‌باشند و با توجه به جنس آنها که

پلی اتیلنی می باشد، دوام بسیار خوبی دارند.



ب: سیستم زهکشی استخوان ماهی

الف: سیستم زهکشی طبیعی



د: سیستم زهکشی بادزنی

ج: سیستم زهکشی شبکه

شکل ۳-۱۱۹ جزئیات حوضچه پمپاژ

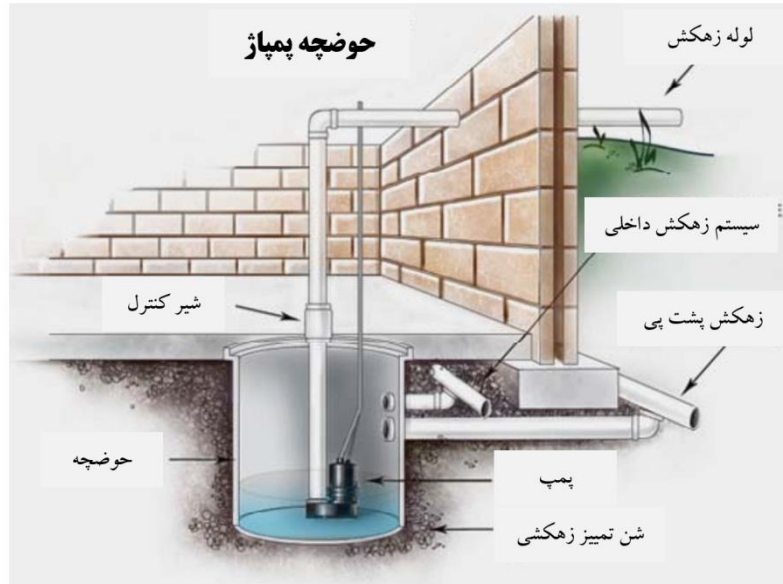
چیدمان زهکش ها می تواند بصورت موازی یا عمود بر جریان آب باشد که بر اساس توپوگرافی و ماهیت نحوه تخلیه آب های زیرسطحی و سطح منظور می گردد. در شکل (۳-۱۱۹) الگوهای زهکشی طبیعی و استخوان ماهی نشان داده شده است. الگوی طبیعی بر این اصل استوار است که آب در طی سالیان با توجه به توپوگرافی محدوده پروژه، مسیر طبیعی جهت خروج را پیدا می کند و تنها محل های که نیاز به زهکشی دارد، زهکشی می شود. در سیستم استخوان ماهی، مسیر زهکشی از مسیرهای فرعی که با یک زاویه مشخص و عموماً از هر دو جهت به مسیر اصلی متصل شده، تشکیل شده است. از این روش در زمین های شیب دار و در ترکیب با سیستم های دیگر، در زمین های بزرگ استفاده می گردد. در پروژه های بزرگ و نامنظم از این سیستم می توان استفاده نمود.

در شکل (۳-۱۱۹) نمونه هایی دیگر از الگوهای زهکشی به صورت موازی و یا متمرکز نیز نشان داده شده است. سیستم تخلیه موازی متشکل از مسیرهای فرعی که عمود بر تخلیه اصلی هستند، می باشد. از این سیستم اغلب در ترکیب با الگوهای دیگر استفاده می شود. سیستم موازی در بسیاری از موارد زهکشی فزاینده ای را در محل به وجود می آورد. از این روش می توان در مناطق گسترده یا کوچک، که قبل از اجرای سیستم تقسیم بندی شده است، استفاده نمود. از الگوهای شبکه ای نیز برای محل هایی که داری شکل هندسی منظم می باشند، استفاده می شود. مزیت این روش نقاط اتصال کمتر و راحتی نصب می باشد. از معایب این روش جمع شدن سیلت در اتصالات است. از این رو لازم است از اتصالات ۹۰ درجه اجتناب گردد. همچنین استفاده از طول های جانبی طولانی در صورت استفاده از زهکش های عمیق نیز ضروری می باشد.

شایان ذکر است گاهی اوقات الگوی زهکشی به صورت تصادفی می باشد. سیستم زهکشی تصادفی در مواقعی که توپوگرافی نامنظم است و مناطق خیس، بصورت جداگانه باقی می ماند، استفاده می شود. در این الگو نیز، مسیر اصلی در پایین ترین محل قرار می گیرد و سایر مسیرها به آن متصل می شود. طول مسیر، عمق و ظرفیت آن با دقت و بر اساس طرح زهکشی کل پروژه انتخاب می گردد. در این سیستم طول مسیر و تعداد اتصالات به



حداقل می‌رسد و از نظر اقتصادی مناسب‌تر است. گفتنی است در الگوهای زهکشی فاصله بین مسیرهای اولیه زهکشی بسیار مهم است.



شکل ۳-۱۲۰ جزئیات حوضچه پمپاژ

در ادامه به برخی از توصیه‌های نشریه ۵۵ برای سامانه‌های زهکشی نیز اشاره می‌شود. در این نشریه بیان شده است، در کانال‌هایی که برای زهکشی کنده می‌شود، عرض ترانشه بین ۳۵ تا ۴۵ سانتیمتر اختیار شود و اطراف لوله‌ها، با مصالح دارای خاصیت زهکشی (فیلتر) پر شده و حفاظت شود. همچنین برای مصالح فیلتر رعایت نکات زیر درباره دانه بندی اجباری است:

$$\frac{D_{15} \text{ فیلتر}}{D_{85} \text{ خاک ترانشه}} < 5 \quad (۱-۳)$$

$$12 < \frac{D_{15} \text{ فیلتر}}{D_{15} \text{ خاک ترانشه}} < 40 \quad (۲-۳)$$

$$12 < \frac{D_{50} \text{ فیلتر}}{D_{50} \text{ خاک ترانشه}} < 58 \quad (۳-۳)$$

در این روابط  $D$  نشان دهنده قطر ذراتی است که  $a$  درصد ذرات، ریزتر از آن باشد. همچنین علاوه بر شرایط فوق، شرایط زیر در مورد مصالح فیلتر می‌بایست مدنظر قرار گیرد. ۱۰٪ مصالح فیلتر باید از الک ۳۷/۵ میلیمتر بگذرد. ۹۰٪ مصالح فیلتر از الک ۱۹ میلیمتر بگذرد. حداکثر ۱۰٪ مصالح فیلتر از الک ۶۰ میلیمتر بگذرد. مصالح فیلتر باید کاملاً شسته بوده و فاقد مواد زیر الکی نمره ۲۰۰ باشد. در نقاطی که زهکش شیاردار به کار می‌رود، باید  $D_{85}$  مصالح فیلتر بزرگتر از نصف قطر روزنه باشد. چنانچه به جای فیلتر، از مصالح ژئوستتیک استفاده شود، پارچه‌گونه (ژئوتکستایل)‌های مورد استفاده به عنوان فیلتر باید در حین نصب سالم بماند و آب از آن عبور کند و ذرات خاک را نگه دارد. به بیان دیگر لازم است پارچه‌گونه بصورت هم‌زمان هم جریان آب را عبور دهد (نیاز به منافذ باز) و هم ذرات خاک را نگه دارد (نیاز به منافذ بسته). شایان ذکر است پارچه‌گونه (ژئوتکستایل)‌های نابافته به عنوان فیلتر در زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور کلی پارچه‌گونه نابافته مقدار بیشتری ریزدانه خاک را نگه می‌دارد. زیرا رفتار پارچه‌گونه نابافته در مقابل

پارگی بهتر از پارچه‌گونه بافته است و دلیل این امر درهم بودن الیاف در پارچه‌گونه‌های نابافته است که باعث انتقال نیرو به تعداد بیشتری الیاف می‌گردد. حداقل الزامات مورد نیاز برای پارچه‌گونه‌های نابافته به شرح زیر می‌باشد که به استانداردهای آن نیز اشاره شده است.

مقاومت کششی: ۹۰ پوند، ASTM D 4632

مقاومت ترکیدن: ۱۸۰ psi، ASTM D 3786

افزایش طول در پارگی: ۵۰٪، ASTM D 4833

سوراخ شدگی: ۴۰ پوند، ASTM D 4833

AOS: حداکثر الک #۴۰، ASTM D 4751

نفوذ پذیری: ۰,۷، ASTM D 4491

در خصوص ابعاد کانال‌های زهکش نیز توصیه‌هایی وجود دارد. به صورت تخمینی کانال‌های زهکش حداقل ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر بزرگتر از قطر لوله می‌باشد. همچنین شرایط کندن کانال زهکشی مهم است. آسیب رسیدن به دیواره‌های کانال زهکش در حین کندن می‌تواند مانع جریان آب شود و یا باعث ایجاد اغتشاش در آن گردد. همانطور که یک لایه مصالح زهکش بالای لوله ریخته شود؛ لازم است همین مصالح در کف کانال با ضخامت حداقل ۲۵ میلیمتر نیز ریخته شود و اجازه حرکت سریع آب از اطراف به درون لوله را فراهم کند. شایان توضیح است که به علت نیروی کششی آب، آب از منافذ کوچک بین دانه‌های خاک به درون سوراخ لوله حرکت نمی‌کند و نیاز به لایه شنی است. لیکن وقتی از مصالح شنی جهت زهکش در کانال استفاده می‌شود، یک لایه ماسه جهت جلوگیری از حرکت ذرات خاک به داخل مصالح زهکش لازم است.

لوله‌های زهکش نباید در شیب کمتر از ۰,۵٪ (۱:۲۰۰) قرار گیرند. قرار دادن لوله در شیب کمتر بسیار مشکل‌ساز است و شیب تندتر ترجیح دارد. همچنین لازم است شیب مسیرهای اصلی اندکی بیشتر از شیب مسیرهای اولیه باشد و نیز شیب مسیرها به طور یکنواخت حفظ گردد. کاهش در شیب باعث کاهش سرعت آب و جمع شدن رسوبات و مسدود شدن تدریجی مسیر می‌گردد. همچنین بایستی خم‌های با زاویه تند از بین برود، مگر آنکه یه محفظه بازرسی در محل تغییر مسیر قرارداد شده باشد. علاوه بر این لازم است تمامی سطح به سمت مسیر زهکشی شیب‌بندی گردد تا آب در سطح جمع نشده و باقی نماند.

بر اساس توصیه مراجع مربوطه، شیب کانال‌ها بایستی قابل اجرا بوده و هنگامی که نرخ جریان کمتر از یک لیتر بر ثانیه است، برای لوله با قطر ۱۰۰ میلیمتر نباید شیب کمتر از ۱:۴۰ باشد. همچنین هنگامی که سرعت حداکثر از یک لیتر بر ثانیه فراتر رود، توصیه می‌شود برای قطر لوله ۱۰۰ میلیمتر، شیب ۱:۸۰ و برای قطر لوله ۱۸۰ میلیمتر برابر ۱:۱۵۰ باشد.

### ۳-۳-۴- آب‌بندی و عایق‌کاری

آب‌بندی به معنای ممانعت از ورود آب به محدوده پروژه است. در دوران ساخت، این روش با دشواری‌هایی همراه و بسیار محدود است. کامل‌ترین روش آب‌بندی در دوران ساخت، احداث دیوار آب‌بند یکپارچه بتنی (دیوار جداکننده) یا فلزی (سپرکوبی) است که در الگوی متعارف جهانی رایج است. در الگوی بومی ساخت به روش بالا-پایین، دیوار بتنی پیرامونی به صورت مرحله‌ای و از بالا-پایین احداث می‌شود و این نقش را برعهده ندارد. در سایر روش‌های آب‌بندی در دوره ساخت، با انجام تزریق سیمانی یا شیمیایی، خلل و فرج خاک را پر





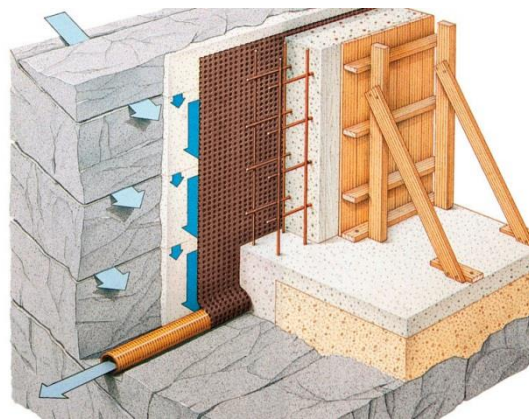
می‌کنند و تراوایی آن را کاهش می‌دهند. شایان ذکر است در دوران بهره‌برداری آب‌بندی با روش‌های مختلف دیگری انجام می‌شود. به عبارت دیگر استفاده از غشاء‌های ناتراوا از قبیل ورقه پلی‌اتیلنی صاف (ژئوممبرین) یا حفره‌دار (دیپل شیت) و نظایر آن برای عایق کردن دائمی گود مطرح است و در دوران ساخت چندان مورد توجه نیست. لیکن اگر برای دوران بهره‌برداری استفاده از آنها مورد توجه باشد، در روش اجرای بالا-پایین بومی به علت اجرای تدریجی، مستلزم اجرای بخش‌بخش و درزهای متعدد است که دقت نظر اجرایی بیشتری را نیاز دارد. در ادامه انواع روش‌های آب‌بندی جهت آشنایی به اختصار معرفی می‌شوند.

متناسب با آیین‌نامه‌های موجود خصوصاً استاندارد انگلستان، سیستم‌های آب‌بندی با توجه به موقعیت نصب آنها نسبت به سازه و منبع رطوبت یا آب در سه گروه به شرح ذیل تقسیم‌بندی می‌شوند.

### ۳-۳-۳-۱- انواع آب‌بندی از نظر موقعیت آب‌بند

#### ۳-۳-۳-۱-۱- آب‌بندی طرف مثبت<sup>۱</sup>

زمانی که سیستم آب‌بند در قسمت بیرونی (خیس) سازه نصب شود، آب‌بندی طرف مثبت گفته می‌شود. در این حالت هم فضای داخلی و هم اعضای سازه از نفوذ رطوبت و آب محافظت می‌شوند که البته نیازمند دسترسی مناسب به سمت مثبت سازه می‌باشد. نقص دیگر این شیوه عدم دسترسی آسان به منظور انجام عملیات ترمیم سیستم آب‌بند، در طول عمر سازه می‌باشد (شکل ۳-۱۲۱). اکثر محصولات موجود در بازار برای نصب به صورت مثبت عرضه می‌شوند. عملاً در اجرای بالا-پایین به علت فقدان دسترسی، امکان اجرای این روش وجود ندارد.



شکل ۳-۱۲۱ آب‌بندی طرف مثبت برای دال کف و دیوار زیرزمین

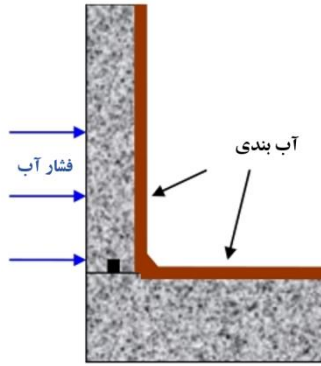
#### ۳-۳-۳-۲- آب‌بندی طرف منفی<sup>۲</sup>

زمانی که سیستم آب‌بند در قسمت داخلی (خشک) سازه نصب شود، آب‌بندی طرف منفی است. در پروژه‌های شهری که دسترسی به سمت مثبت (خیس) سازه چه به لحاظ اقتصادی چه به لحاظ اجرایی امکان‌پذیر نمی‌باشد، سیستم آب‌بند را در سمت منفی (خشک) سازه اجرا می‌کنند. در این حالت اعضای سازه در معرض اثرات نفوذ آب همانند خوردگی می‌باشند؛ اما از طرفی دسترسی آسان به منظور انجام عملیات ترمیم وجود خواهد داشت که در شکل (۳-۱۲۲) نمونه آن نشان داده شده است. محصولات سیمان پایه برای این نوع از نصب ارائه می‌شود. این روش برای اجرای بالا-پایین از سهولت بسیاری برخوردار است.

<sup>1</sup> Positive-Side

<sup>2</sup> Negative-Side

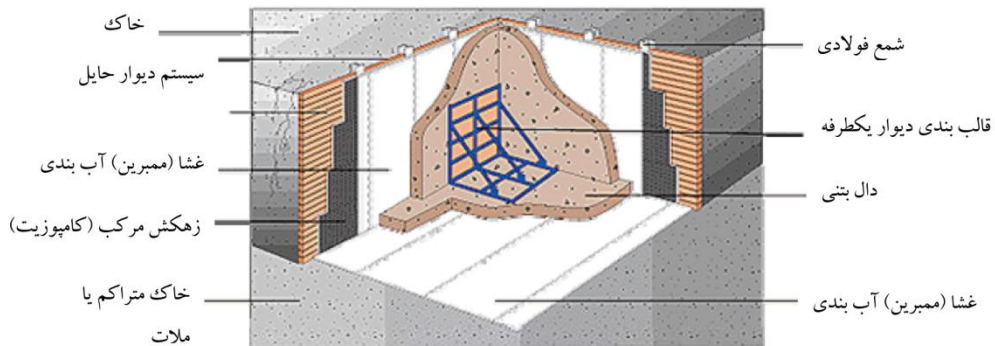
آب بندی سوی منفی (از داخل) سطح زیرزمین



شکل ۳-۱۲۲ آب بندی منفی دیوار زیرزمین

### ۳-۳-۳-۱-۴-۳- آب بندی طرف مخفی<sup>۱</sup>

چنانچه نیاز باشد سیستم آب بند در طرف مثبت اجرا شود، اما امکان اجرای آن پس از عملیات بتن ریزی دیوار یا پی وجود نداشته باشد، سیستم آب بند قبل از بتن ریزی اجرا می شود که نمونه آن در شکل (۳-۱۲۳) نشان داده شده است. در روش اجرای بالا-پایین بومی این روش مورد کاربرد است و قبل از ساخت مرحله به مرحله قطعات سازه می تواند استفاده شود. در این روش ابتدا آب بندی، سپس آرماتوربندی و بتن ریزی انجام می شود. وجود درزهای متعدد در لایه آب بند از مشخصات این روش اجرا و نقاط ضعف آن است.



شکل ۳-۱۲۳ آب بندی مخفی منبع

### ۳-۳-۳-۲-۴-۳- انواع آب بندی از نظر نوع و مصالح آب بند

#### ۳-۳-۳-۳-۱-۲-۴-۳- آب بندی با پوشش های عایق

در این روش در خود سازه تمهیداتی به منظور جلوگیری از نفوذ آب یا بخار در نظر گرفته نمی شود و سیستم آب بندی به طور مستقل و با استفاده از پوشش های ناتراوا در قسمت های داخلی، خارجی و یا حتی میانی سازه اجرا می شود. امروزه استفاده از پوشش های ناتراوا، با توجه به صرفه اقتصادی آنها، بسیار پرکاربرد بوده و چنانچه دسترسی مناسب به قسمت خارجی سازه وجود داشته باشد، بهترین گزینه برای آب بندی است. این پوشش ها ممکن است از محصولات ژئوستتیک همچون پوشش های ورقه ای متصل شونده<sup>۲</sup> (ژئوممبرین ها) و پوشش های

<sup>1</sup> Blind Side Waterproofing

<sup>2</sup> Bonded Sheet Membranes



رسی (GCL)<sup>۱</sup> تشکیل شده باشند و یا از دیگر مصالحی چون پوشش‌های مایع<sup>۲</sup>، آسفالت چسبی<sup>۳</sup>، پودر و دوغاب‌های سیمانی متبلور شونده<sup>۴</sup> یا پوشش‌های چند لایه سیمانی<sup>۵</sup> تشکیل شده باشند که در ادامه به بیان مهم‌ترین این مصالح پرداخته خواهد شد.

### ۳-۳-۳-۴-۱- پوشش‌های ورقه‌ای

یکی از روش‌های آب‌بندی سطوح به روش غشایی، استفاده از زیر شاخه‌های محصولات ژئوسنتتیک می باشد. استفاده از پوشش‌های ورقه‌ای در کشورهای مختلف دنیا بیانگر برتری این مواد از حیث صرفه‌جویی در هزینه و زمان نصب نسبت به سایر پوشش‌های مرسوم، از قبیل رس و بتن می‌باشد. به دلیل یکنواختی کیفیت و نفوذپذیری بسیار کم پوشش‌های ورقه‌ای نسبت به مصالح سنگی و خاکی، در سه دهه گذشته استقبال بسیار زیادی برای استفاده از آنها در پروژه‌های عمرانی شده است. پوشش‌های ورقه‌ای (ژئوممبرین‌ها) در مقابل سیالات غیرقابل نفوذ بوده و ۱۰۰ هزار بار نفوذناپذیرتر از رس و ۱۰ هزار بار نفوذناپذیرتر از بتن می‌باشند. ضمناً این مهم نیز قابل تأمل است که دوام پوشش‌های ورقه‌ای نسبت به دوام بتنی که در اثر واکنش قلیایی سنگدانه‌ها در تماس با آب دچار تجزیه و تخریب می‌گردد، بسیار بیشتر است. از نظر گستردگی انواع پوشش‌های ورقه‌ای موجود در بازار و همین‌طور کاربردهای گوناگونی که از آنها انتظار می‌رود، پوشش‌های ورقه‌ای بر انواع دیگر ژئوسنتتیک‌ها ترجیح دارند. پوشش‌های ورقه‌ای را می‌توان به طرق مختلف دسته‌بندی کرد؛ دو دسته پوشش ورقه‌ای پایه پلیمری و پایه قیری عموماً در فضای مهندسی وجود دارد که انواع پلیمری آنها در جدول (۲-۳) ارائه شده است. پوشش ورقه‌ای پایه قیری غالباً به صورت پیش‌ساخته<sup>۶</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماده ساختاری متشکل از الیاف مصنوعی یا آلی به صورت بافته یا نبافته و مقاوم به سوراخ‌شدگی دارد که با ترکیبات قیری اصلاح شده با مواد پلیمری آغشته گردیده است. پوشش ورقه‌ای قیری پیش‌ساخته دارای کاربردهای متنوعی در عایق‌بندی بام، راه، کانال، استخر و ... می‌باشند.

جدول ۲-۳- مشخصات انواع ژئوممبرین‌ها

نوع	نام عمومی	اختصار
پایه قیری	ژئوممبرین پیش‌ساخته قیری	PBGM
	پلی اتیلن تراکم بالا	HDPE
پایه پلیمری	پلی اتیلن تراکم پایین خطی	LLDPE
	پلی وینیل کلرید	PVC
	پلی پروپیلن منعطف	fPP
	اتیلن پلی پروپیلن دینه مونومر	EPDM
	کلروسولفونیتد پلی اتیلن	CSPE

<sup>1</sup> Geosynthetic Clay Liner

<sup>2</sup> Liquid Applied Membranes

<sup>3</sup> Mastic Asphalt

<sup>4</sup> Cementitious Crystallization Slurries And Powders

<sup>5</sup> Cementitious Multi-Coat Renders Toppings And Coatings

<sup>6</sup> Prefabricated Bituminous Geomembrane (PBGM)



موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ضوابطی را در خصوص "ویژگی‌های عایق رطوبتی پیش‌ساخته قیری" برای عایق پی تحت استاندارد شماره ۳۸۶۴، "ویژگی‌های عایق‌های رطوبتی پیش‌ساخته با قیر اصلاح شده توسط پلیمرها" برای عایق پی تحت استاندارد شماره ۳۸۸۴ و همچنین "عایق‌های رطوبتی قیری پیش‌ساخته بام پلیمری - ویژگی‌ها" تحت استاندارد شماره ۱-۳۸۸۵ ارائه نموده است. طراحی و کاربرد این محصول با استفاده از استانداردهای بین‌المللی (ASTM:D2643)-(08) نیز انجام می‌پذیرد. استفاده از این محصول در روش اجرای بالا-پایین مستلزم ایجاد لایه بتن پاششی (شاتکریت) یا ملات سیمانی صاف روی سطح خاک دیواره گود قبل از هر اقدامی است تا میزبان این لایه و محل اجرای آن باشد. البته ممکن است این لایه از نظر سازه‌ای ضرورت نداشته باشد و از این جهت هزینه‌ای تحمیل گردد. مهمترین مزایا و معایب استفاده از پوشش ورقه‌ای قیری پیش‌ساخته بطور عمومی و خصوصاً در روش اجرای بالا-پایین عبارتند از:

#### مزایا:

- سهولت درزبندی و اجرای درزهای متعدد
- سبک بودن به مقدار حدود ۴ کیلوگرم بر متر مربع و کارپذیری آسان‌تر در زیر زمین
- مقاومت در برابر پوسیدگی و شکنندگی
- انعطاف پذیری بالا
- مقاوم در مقابل فشارهای احتمالی از انبساط و انقباض ساختمان به علت دارا بودن لایه پلی‌استر
- دسترس بودن
- آب بندی کامل در صورت اجرای صحیح

#### معایب:

- ضرورت بسترسازی و اجرای لایه ملات سیمانی میزبان روی سطح خاکی دیواره گود. سطح زیرین باید صاف و بدون بیرون‌زدگی و عاری از گرد و خاک و رطوبت باشد.
  - امکان سوراخ شدن در حین اجرای پوشش بتنی
  - فقدان روشی برای کنترل کیفی نصب و آب‌بند بودن درزها و وابسته بودن به مهارت نصاب
- گونه دیگر پوشش ورقه‌ای، پوشش ورقه‌ای پایه پلیمری می‌باشد. پوشش ورقه‌ای پایه پلیمری ورقه‌های نازک با نفوذپذیری بسیار پائین و ترکیبی از پلیمرهای سنتتیک الاستومر یا پلاستومر است، که به صورت پخش در محل یا پیش‌ساخته به وسیله غلتک‌زنی، گرم کردن یا دیگر فرآیندها آماده شده و در محل نصب می‌گردد. این پوشش‌ها عمدتاً برای آسترکاری و پوشش تأسیسات ذخیره مایعات و گازها به کار می‌رود. بنابراین نقش اصلی آن‌ها به عنوان یک نفوذبند در برابر مایع یا گاز است. پوشش ورقه‌ای پلیمری نفوذناپذیر مطلق نیست، اما در مقایسه با پارچه‌گونه‌ها (ژئوتکستایل‌ها) یا خاک‌ها و حتی خاک‌های رسی، می‌توان آن‌ها را نفوذناپذیر دانست. در شکل (۳-۱۲۴) نمونه اجرای پوشش ورقه‌ای پلیمری برای آب‌بندی پی نشان داده شده است.



در حال حاضر استفاده از پوشش ورقه‌ای پلی اتیلن نسبت به سایر انواع آن، مرسوم‌تر می‌باشد. پوشش‌های غشایی پلی اتیلنی دارای مقاومت شیمیایی در برابر پساب‌های صنعتی نیز هستند. مواد شیمیایی افزوده شده به مواد اولیه سازنده این نوع پوشش ورقه‌ای در هنگام تولید، مقاومت شیمیایی کافی را در برابر انواع مواد خورنده فراهم آورده و از بروز آسیب در آن‌ها جلوگیری می‌کند. مقاومت شیمیایی و دوام بلند مدت این محصولات بر اساس ضوابط موسسه استاندارد امریکا (ASTM) مورد آزمایش قرار می‌گیرد و به لحاظ فیزیکی نیز دارای انعطاف پذیری مطلوب و مقاومت کششی بسیار عالی می‌باشند.



شکل ۳-۱۲۴ نمونه اجرای ژئوممبرین در مجاورت شمعها و قبل از اجرای پی

انواع پوشش‌های ورقه‌ای منعطف که دارای مشخصات مکانیکی و دوام مناسب باشند، می‌توانند به عنوان لایه اصلی آب‌بند کننده مورد استفاده قرار بگیرند. شایان ذکر است حد بهینه‌ای از انعطاف و دوام را می‌توان در پوشش‌های ورقه‌ای پلی اتیلنی کم چگالی که در دو دسته LLDPE و VLDPE تولید می‌شوند، انتظار داشت. در روش اجرای بالا-پایین، این لایه قبل از آرماتوربندی دیواره و روی دیواره خاکی گود پهن می‌شود. امتیازات و معایب عمده پوشش‌های ورقه‌ای پلیمری برای استفاده در روش بالا-پایین را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- انعطاف پذیری بسیار بالا برای پوشش زوایا، کنج‌ها، قوس‌ها و سطوح ناهموار در محل اجرا
- مقاومت زیاد در برابر پارگی، سوراخ‌شدگی و سایش
- تولید با ضخامت‌های مختلف بین ۷۵ صدم میلیمتر تا ۲ میلیمتر
- سبکی و در نتیجه حمل و نصب آسان و ارزان
- مقاومت در برابر عوامل محیطی، شیمیایی، بیولوژیکی و مکانیکی
- سهولت اتصال درزها
- قابلیت ترمیم پارگی احتمالی در محل و بدون نیاز به مهارت خاص
- ضرورت بسترسازی مناسب قبل از نصب ورقه‌ها
- ضرورت بکارگیری روش‌های اجرائی خاص به لحاظ حفاظت از ورقه‌ها در زمان اجرا







پایین متعدد وجود دارد، و محل ورودی تاسیسات می‌باشد. مواردی که برای دستیابی به بتن با نفوذپذیری کم باید مورد توجه قرار گیرد به شرح زیر است:

مصالح مورد استفاده در بتن (دانه‌بندی، مواد افزودنی، درصد آب به سیمان و...)، مهارت نیروی کار در عملیات بتن‌ریزی، عمل‌آوری بتن، سازماندهی کارگاه، شرایط محیطی در هنگام بتن‌ریزی، نحوه ذخیره‌سازی مصالح، توالی و سازگاری مناسب مراحل کار، آرماتوربندی و آماده‌سازی اتصالات و همچنین باید عرض ترک‌ها براساس آیین‌نامه‌های بتن موجود کنترل گردد.

بتن آب‌بند به‌طور معمول دارای فضاهای خالی کمتری نسبت به بتن‌های معمول است تا به‌گونه‌ای عمل کند که نفوذپذیری آن کاهش یابد. در استانداردهای مختلف معیارهای مختلفی برای تعیین بتن آب‌بند وجود دارد. البته در آیین‌نامه بتن ایران (آبا) در حال حاضر بخشی مرتبط با بتن آب‌بند وجود ندارد و بایستی به آیین‌نامه‌های دیگر مراجعه کرد. برای بتن آب‌بند علاوه بر موارد اشاره شده، می‌بایست ملاحظات زیر نیز به‌دقت رعایت شود:

- طراحی شامل محاسبات و تعیین جزئیات اجرایی با در نظر داشتن درجه آب‌بندی انجام شود. به‌ویژه توزیع مناسب آرماتور برای محدودسازی ابعاد ترک‌ها و نحوه کارگذاری آب‌بندها (واتراستاپ‌ها) و تقابل آن با روش اجرا مدنظر قرار گیرد.
- نحوه عمل‌آوری بتن به‌صورت مناسب با شرایط بتن آب‌بند انجام گیرد.
- شرایط اجرایی و کارگاهی کاملاً متناسب با دستورالعمل‌های از پیش تعیین‌شده کارخانه‌ای برای اطمینان از آب‌بندی بتن باشد.
- آماده‌سازی درزها، نحوه قالب‌بندی و چفت‌شدن قالب‌ها با یکدیگر و آرماتوربندی با توجه به مشخصات فنی تعیین‌شده انجام گیرد.
- ترک‌های ناشی از نشست در عمر سازه برای جلوگیری از تشکیل ترک‌های عریض، کنترل گردد.

در شکل (۳-۱۲۶) نمونه اجرای بتن آب‌بند پی نشان داده شده است.

شایان ذکر است از افزودنی‌های مختلفی همچون مواد شیمیایی آبگریز، ذرات بسیار ریز جامد و مواد کریستال شونده برای کاهش نفوذپذیری بتن استفاده می‌شود. همچنین لازم است در محل درزها از آب‌بند (واتراستاپ) مناسب نیز استفاده شود که نوع نوین و بسیار سهل آن در اجرا، واتراستاپ بتونیتی است که در شکل (۳-۱۲۷) نمونه شماتیک و واقعی آن نشان داده شده است. همانطور که به نظر می‌رسد، در شرایط اجرای بالا-پایین، تامین همه این موارد کار دشواری است و اجرای بتن آب‌بند کامل عملاً در روش بالا-پایین با دشواری زیادی همراه است



شکل ۳-۱۲۶ نمونه اجرای بتن آب‌بند بر روی فونداسیون

. به بیان دیگر اگرچه استفاده از بتن آب‌بند می‌تواند مورد توجه باشد و به کار می‌رود، لیکن با توجه به دشواری‌های اجرایی و عمل‌آوری بتن و درزهای متعدد، استفاده از روش بتن آب‌بند به عنوان تنها روش آب‌بندی به هیچ وجه پیشنهاد نمی‌گردد و اکیداً توصیه می‌شود این روش در تکمیل سایر روشهای آب‌بندی و به عنوان مکمل استفاده شود.



شکل ۳-۱۲۷ آب‌بند (واتراستاپ) بتونیتی

### ۳-۳-۴- بر خورد به عوامل پیش‌بینی نشده

با وجود کلیه اقدامات انجام شده برای شناخت کامل پروژه شامل شرایط ژئوتکنیکی و شرایط زیر سطحی آن، در پروژه‌های گودبرداری همواره موضوعات پیش‌بینی نشده‌ای وجود دارد که احتمال وقوع دارند و می‌بایست برای مواجه شدن با آنها آمادگی نسبی داشت. از جمله این موارد پیش‌بینی نشده، وجود قنات، انباره فاضلاب، قطعات سنگ بزرگ و یا تاسیسات زیرسطحی شهری است. در ادامه نکاتی پیرامون این موارد ذکر می‌گردد.

#### ۳-۳-۴-۱- قنات‌ها

در شهر تهران حدود ۵۰۰ رشته اصلی قنات وجود دارد که حدود ۱۵۰ رشته آن دایر می‌باشد. نقشه دقیقی از این قنات‌ها در دسترس نیست و هر رشته اصلی نیز دارای زیر رشته‌های فرعی متعددی است. از این رو وجود یا عدم وجود قنات در محدوده پروژه، در مناطق مستعد وجود قنات به‌طور قطعی قابل پیش‌بینی نیست. در روش اجرای بالا-پایین، مرحله حفاری چاه‌ها کمک بزرگی برای تشخیص وجود قنات است. وجود قنات، حفاری چاه‌ها با روش دستی را نیز پر مخاطره می‌نماید. در مناطق مستعد وجود قنات، لازم است حفاری چاه‌ها با رعایت کامل ملاحظات ایمنی پیرامون موضوع صورت گیرد. در صورت تشخیص قنات، مناسب‌ترین اقدام، حفاری قنات جایگزین و انحراف آب آن قبل از اقدام به گودبرداری و ساخت است. در صورت باز شدن قنات داخل گود،



موارد ذکر شده در بخش (۳-۳-۳) باید مورد توجه قرار گیرد.

### ۳-۳-۴-۲- انباره فاضلاب

وجود حفرات زیرزمینی در اجرای سازه به روش بالا-پایین، خصوصاً در مرحله حفاری چاه، پر مخاطره است. احتمال برخورد چاه به انباره فاضلاب و سقوط مقنی داخل آن، مخاطره‌ای جدی است. با توجه به احتمال بالای وجود انباره فاضلاب ساختمان قدیمی همان پروژه یا املاک مجاور و یا سایر حفرات زیرزمینی در مناطق شهری قدیمی، توصیه اکید، شناسایی موقعیت آنها بر اساس بررسی میدانی و محلی است. لیکن با این وجود، رعایت مسایل ایمنی خصوصاً در مرحله حفاری چاه‌ها ضروری است. در صورت مشاهده این موارد، تخلیه ایمن و بهداشتی و تحکیم زمین اطراف آن بر اساس مشاوره کارشناس ژئوتکنیک مجرب، ضرورت دارد.

### ۳-۳-۴-۳- وجود سنگ‌های بزرگ

وجود قطعات سنگی بزرگ و سنگین یا بولدرها، از دیگر ناشناخته‌های گودبرداری است. ممکن است وجود این قطعات در شناسایی‌های ژئوتکنیکی آشکار نشده باشد، لیکن در مرحله حفاری چاه‌ها یا گودبرداری با آنها برخورد شود. این قطعات بزرگ اغلب از مقاومت بالایی نیز برخوردار می‌باشند که طی عوامل فرسایشی دچار شکست نشده‌اند. از این رو مواجهه با آنها اغلب دشوار و زمان‌بر خواهد بود. این سنگ‌ها ممکن است از چند ده کیلو تا بیش از ۱۰ تن وزن داشته باشند و معمولاً در دره و حاشیه رودخانه‌های قدیمی پر شده با رسوبات، احتمال مواجهه شدن با آنها زیاد است.

در مرحله حفاری چاه‌ها، بسته به ابعاد، عمق و سختی سنگ، اقداماتی از قبیل خرد کردن سنگ با چکش (پیکور)، خرد کردن سنگ با گوه دست سنگ (شکل ۳-۱۲۸)، خرد کردن سنگ به وسیله مواد شیمیایی منبسط شونده غیر انفجاری همچون کتراک<sup>۲</sup> با رعایت اصول ایمنی مربوطه و یا حفظ سنگ بر اساس طراحی مجدد و کاهش عمق و یا جانمایی مجدد چاه، قابل انجام است. شایان ذکر است، استفاده از مواد انفجاری هرگز توصیه نمی‌شود.

در مرحله گودبرداری خرد کردن سنگ علاوه بر روش‌های فوق، با چکش (پیکور) بیل مکانیکی هم میسر است. همچنین خارج کردن توده سنگ بدون خردکردن نیز، می‌تواند گزینه سریع‌تری باشد (شکل ۳-۱۲۹).



شکل ۳-۱۲۸ گوه دست سنگ

<sup>1</sup> Plug and feather

<sup>2</sup> Katrock



شکل ۳-۱۲۹ خارج ساختن سنگ از عمق ۲۵ متری در پروژه ساخت به روش بالا-پایین

### ۳-۳-۴-۴- وجود تاسیسات زیرسطحی

از دیگر عوامل غیرمنتظره در پروژه گودبرداری، برخورد با تاسیسات زیر سطحی از قبیل لوله‌های گاز، آب و فاضلاب و یا خطوط انتقال برق و مخابرات است. معمولاً در پروژه‌های شهری نقشه دقیقی از این موارد در دسترس نیست؛ لیکن به منظور رعایت جنبه‌های حقوقی لازم است، استعلام موقعیت این موارد از سازمان‌های مربوطه اخذ شود تا در صورت بروز مشکل، مسئولیتی متوجه تیم پروژه نباشد. البته با توجه به اینکه روش اجرای بالا-پایین، کاملاً در داخل محدوده زمین قرار دارد و نیز تاسیسات زیرسطحی نیز، معمولاً در زیر معابر شهری است، بر خلاف روش‌هایی از قبیل مهاربندی و میخ‌کوبی، روش بالا-پایین، کمترین تداخل را با این موارد داشته و احتمال بروز این مشکل در پروژه‌های ساختمانی با این روش کم است.

### ۳-۴-۳- الزامات تاسیساتی کار در طبقات زیرزمین

#### ۳-۴-۳-۱- تامین روشنایی

هدف اصلی از تأمین روشنایی در زمان اجرا، ایجاد محیطی مناسب برای تردد وسایل نقلیه و اشخاص پیاده می‌باشد؛ به طوری که دید سریع، دقیق و راحت در زمان کار کردن امکان‌پذیر باشد. فقدان نور کافی و کاهش دید می‌تواند مشکلات متعدد ایمنی، فنی و آسایش نیروهای فنی در حین انجام کار و حفاری را ایجاد نماید. بنابراین وجود یک سیستم روشنایی مناسب و استاندارد برای تمامی جبهه‌های کاری و راه‌های دسترسی مورد نیاز است که در این بخش معیارهای فنی و ضوابط مربوط به آن ارائه شده است.

روش‌های نورپردازی از نظر ترتیب استقرار منابع نوری ممکن است به صورت نورپردازی عمومی یا نورپردازی موضعی باشد. به منظور تامین امکان رفت و آمد معمولی در داخل پروژه، انجام بازدیدهای عادی و دوره‌ای از پروژه، لوله‌ها و کابل‌ها و سایر تجهیزات و همچنین انجام تعمیرات و نگهداری، نیاز به اجرای سیستم روشنایی





عمومی است. علاوه بر این برای بازدیدهای دقیق و برخی محل‌های خاص نظیر محل حفاری، انجام عملیات ساختمانی و تهویه که به روشنایی بیشتری نیاز دارند، سیستم روشنایی موضعی طراحی خواهد شد.

### ۳-۱-۴-۱- معیارها و استانداردهای طراحی روشنایی

با توجه به شرایط ویژه پروژه‌های ساخت به روش بالا-پایین و فقدان منابع، دستورالعمل‌ها و ضوابط مرتبط با آن، هیچگونه دستورالعمل اختصاصی برای تامین روشنایی در روش اجرای بالا-پایین وجود ندارد. لیکن به علت شباهت بسیار زیاد این روش اجرا با شرایط و فضاهای کاری زیرزمینی، علاوه بر مبحث سیزدهم مقررات ملی ساختمان، دستورالعمل روشنایی در معادن (نشریه ۴۸۹)، استاندارد ملی ایران ۱-۵۹۲۰ و نشریه ۱-۱۱۰ جهت اجرای صحیح روشنایی مورد توجه قرار گرفته است. آنچه در این بخش ذکر می‌شود، به عنوان یک پیشنهاد و نه الزام و برگرفته از نزدیکترین منابع فنی موجود برای این روش و نه دقیقاً برای آن می‌باشد.

### ۳-۱-۴-۲- ضوابط کلی در مورد روشنایی فضاهای زیرزمینی

یکی از عوامل تاثیرگذار بر روشنایی، میزان درخشندگی مورد نیاز است. مطابق با نشریه ۴۸۹، برای این گونه پروژه‌ها می‌توان چهار رده درخشندگی در فضا و متناسب با کاربری به شرح جدول (۳-۳) تعریف کرد. در پروژه‌های ساخت به روش بالا-پایین عموماً ردیف ۱ جدول (۳-۴) ملاک عمل می‌باشد.

جدول ۳-۳ رده‌های درخشندگی برای شرایط کاری مختلف

ردیف	شرح	درخشندگی ( $cd/m^2$ )
۱	ترافیک سبک، درجه مکانیزه بودن کم، ولی روشنایی عمومی برای رعایت ایمنی ضروری است.	۰/۰۵
۲	وسایل مکانیزه در پروژه به کار گرفته می‌شود.	۰/۲
۳	فضاهای زیرزمینی که در آنجا کارهای کم دقت انجام می‌گیرد.	۱۰
۴	فضاهای زیرزمینی که در آنجا کارهای دقیق انجام می‌گیرد.	۲۰

عامل مهم دیگر، خیرگی ناشی از درخشندگی تجهیزات روشنایی است. درخشندگی وسایل شبکه روشنایی باید کمتر از ۳۰۰۰ کاندلا بر مترمربع باشد تا میزان خیرگی به حداقل برسد. همچنین با توجه به مقادیر حداقل روشنایی تعریف شده در نشریه ۴۸۹، می‌توان مقادیر ارایه شده در جدول (۳-۴) را برای فضاهای مختلف پروژه‌های با روش ساخت بالا-پایین در نظر گرفت.

### ۳-۱-۴-۳- محاسبات روشنایی

هدف از این بخش، راهنمایی برای تعیین روشنایی داخلی برای هر محل بر حسب لوکس (لومن بر مترمربع) است. شدت روشنایی با مقدار متوسط ( $E_{av}$ ) نشان داده می‌شود. در صورت استفاده از نرم‌افزارهای محاسبات و طراحی سیستم روشنایی، خروجی و نتیجه این محاسبات عمدتاً شامل شدت روشنایی متوسط ( $E_{av}$ )، شدت روشنایی حداقل و حداکثر ( $E_{min}$ ,  $E_{max}$ )، ضریب یکنواختی ( $E_{min}/E_{av}$ ) و غیره است که در طراحی سیستم روشنایی به کار گرفته می‌شود. برای محاسبات روشنایی می‌توان از روش لومن استفاده کرد. هدف تعیین تعداد و محل چراغ‌ها برای تامین یک شدت روشنایی متوسط معین است. در طراحی با روش لومن، روشنایی متوسط روی سطح کار مورد نظر است و تغییرات شدت روشنایی از نقطه‌ای به نقطه دیگر مورد توجه نیست. اگر تغییرات نقطه به نقطه شدت روشنایی مورد نیاز باشد، باید محاسبات را با روش نقطه به نقطه انجام داد.

جدول ۳-۴ مقادیر حداقل روشنایی برای فضاهای مختلف کاری

محل	حداقل روشنایی (لوکس)
محدوده کف چاه	۶۰
نقاط مهم اطراف چاه	۳۰
تعمیرگاه زیرزمینی	۵۰
راهروهای حمل و نقل	۱۰
کارگاه استخراج	۱۵
نقاط بارگیری	۲۰
محدوده ماشین‌آلات	۲۵
راهروی عبور افراد	۳۰
پیشروی‌ها	۲۰

میزان روشنایی رسیده به سطح کار از هر چراغ به منحنی توزیع نور چراغ، اندازه‌های اتاق و ضرایب انعکاس دیوارها و سقف بستگی دارد و مقدار متوسط آن از رابطه (۳-۴) محاسبه می‌شود. چراکه مقداری از نور چراغ به طور مستقیم به سطح کار می‌رسد و مقداری از آن پس از انعکاس از سقف، دیوارها و یا بعد از انعکاس متعدد به سطح می‌رسد.

$$E_{av} = \frac{\varphi C_1 C_2 C_3}{XB} \quad (۳-۴)$$

که در آن:

$\varphi$ : شار نوری هر چراغ بر حسب لومن

$E_{av}$ : روشنایی متوسط در سطح مورد نظر بر حسب لوکس

$C_1$ : ضریب بهره‌دهی

$C_2$ : ضریب نگهداری

$C_3$ : ضریب جذب

$X$ : فاصله چراغ‌ها بر حسب متر

$B$ : عرض سطح مورد نظر بر حسب متر

همچنین از نور تولیدی در لامپ، مقداری در حباب یا منعکس کننده جذب می‌شود و قسمتی خارج می‌شود. منحنی پخش نور خارج شده از چراغ در حالات مختلف متفاوت و شاخصی با اهمیت است؛ چون چراغی که بیشتر نور خود را به طرف پایین هدایت می‌کند، نسبت به چراغی که نور خود را به سقف و دیوارها می‌تاباند، ضریب بهره بالاتری دارد. شایان ذکر است شار نوری مفیدی که به سطح کار روشنایی می‌بخشد، نسبت به کل شار نوری تولید شده در لامپ، ضریب بهره نام دارد. ضریب بهره، به مقدار نور جذب شده در چراغ، منحنی پخش نور چراغ، ارتفاع نصب چراغ‌ها، طول و عرض و ارتفاع اتاق و ضرایب انعکاس سقف، دیوارها و کف بستگی دارد. اثرات طول و عرض و ارتفاع اتاق و ارتفاع نصب چراغ‌ها را می‌توان به صورت یک متغیر به نام شاخص فضا یا ضریب اتاق  $K_r$  به صورت زیر نیز تعریف کرد:



$$k_r = \frac{LW}{h(L+W)} \quad (5-3)$$

که  $L$ ، طول اتاق،  $W$ ، عرض اتاق و  $h$ ، ارتفاع نصب چراغ‌ها از سطح کار است. در نشریه ۴۸۹، ضریب بهره‌دهی چراغ‌های مختلف نسبت به شاخص فضا در حالت‌های متفاوت مطابق جدول (۵-۳) درج شده است.

جدول ۵-۳ ضریب بهره‌دهی چراغ‌ها نسبت به شاخص فضا در شرایط مختلف.

شاخص فضا	حباب با قدرت انعکاس بالا	حباب واگرا	لامپ فلورسنت
۰/۶	۰/۳۳	۰/۱۶	۰/۲۳
۰/۸	۰/۴	۰/۲۲	۰/۲۸
۱/۰	۰/۴۵	۰/۲۶	۰/۳۲
۱/۲۵	۰/۴۹	۰/۲۹	۰/۳۵
۱/۵	۰/۵۳	۰/۳۲	۰/۳۸
۲	۰/۵۷	۰/۳۶	۰/۴۱
۲/۵	۰/۶	۰/۴	۰/۴۳
۳	۰/۶۲	۰/۴۳	۰/۴۴
۴	۰/۶۴	۰/۴۶	۰/۴۶
۵	۰/۶۶	۰/۴۸	۰/۴۸

همچنین بسته به پاکیزگی محل نصب و نوع چراغ‌ها از نظر خاک‌گیری، سه نوع ضریب نگهداری خوب، متوسط و بد مطابق جدول (۶-۳) مشخص شده است. در کارهای صنعتی و تحت شرایط معمولی جوی، که حباب چراغ‌ها هر ۶ هفته یکبار به خوبی تمیز می‌شود، ضریب نگهداری ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود. شایان ذکر است بسته به فاصله چراغ تا سطح مورد روشنایی و میزان آلودگی‌های موجود در هوا در پروژه‌های بالا-پایین، بایستی ضریب تصحیحی در نظر گرفته شود. ضریب جذب برای شرایط برگرد و غبار پروژه‌های ساخت به روش بالا-پایین ۰/۵ توصیه می‌شود.

جدول ۶-۳ ضریب نگهداری چراغ‌ها در حالت‌های مختلف

شرایط محیط	زمان تناوب تمیزکردن چراغ	ضریب نگهداری
خیلی گرد و غبار	هر ماه	۰/۸
	شش ماه یکبار	۰/۶
	سالانه	۰/۴
	فقط هنگام تعویض لامپ	۰/۳
گرد و غبار معمولی	هر ماه	۰/۹
	شش ماه یکبار	۰/۸
	سالانه	۰/۷
	فقط هنگام تعویض لامپ	۰/۶

### ۳-۱-۴- مشخصات فنی تجهیزات لازم برای تامین روشنایی

چراغ‌هایی که برای روشنایی عمومی به کار می‌روند، لامپ‌های رشته‌ای، لامپ‌های تخلیه در گاز و لامپ‌های فلورسنت می‌باشند. برای محافظت در برابر ضربات مکانیکی، لامپ‌ها باید یک حباب شیشه‌ای ضخیم و یک پنجره محافظ فلزی داشته باشند. لامپ‌های فلورسنت مورد استفاده باید به نحوی ساخته شوند که در صورت بروز عیب، جریان برق در آنها قطع شود. برای حفاظت لامپ‌ها در برابر گرد و غبار و سایر عوامل محیطی بهتر است الزامات استاندارد ۵۹۲۰ توسط سازندگان رعایت شود.

برای تامین روشنایی عمومی در راهروهای کوتاه، به کارگیری چراغ‌های فلورسنت مناسب است. اگر ارتفاع نصب حداقل ۲/۵ متر باشد، می‌توان از چراغ‌های جیوه و سدیم با فشار بالا نیز استفاده کرد. از لامپ‌های رشته‌ای فقط هنگامی استفاده می‌شود که به دلایلی از قبیل کاربرد برای علائم نوری و روشنایی نقطه‌ای، امکان استفاده از لامپ‌های تخلیه الکتریکی نباشد. شایان ذکر است چراغ‌های انفرادی، باید برای حداقل ۱۰ ساعت کار توان لازم را داشته باشند و جریان نور آنها پس از ۸ ساعت کار حداقل ۲۰ لومن باشد.

برای هر محل باید چراغی متناسب با محیط انتخاب کرد. بنابراین با توجه به محل نصب وسایل الکتریکی و میزان گرد و غبار، رطوبت، ریزش آب، سرعت و جهت باد و نظایر آن باید چراغی را انتخاب کرد که دارای درجه حفاظت متناسب با محیط باشد. از آنجایی که محیط پروژه‌های ساخت به روش بالا-پایین حاوی مقدار زیادی گرد و غبار و آلودگی می‌باشد، نیاز به رقم اول IP حداقل ۵ است. همچنین با توجه به اینکه امکان ترشح و پاشش آب نیز زیاد نیست، نیاز به رقم دوم IP حداقل ۲ است. بنابراین مقدار درجه حفاظت چراغ حداقل بایستی ۵۲IP باشد.

### ۳-۱-۵- نکات عمومی قابل توجه در طراحی سیستم روشنایی

لازم است از لامپ‌های با راندمان بالا (لومن بر وات) که مناسب فضا و محل کار مربوطه باشد، استفاده شود. استفاده از لامپ‌های با طول عمر زیاد توصیه می‌شود. همچنین لازم است از لامپ‌های با رنگ نور و شاخص نور مناسب کاربری فضا و شرایطی که سیستم روشنایی برای آن طراحی می‌گردد، استفاده شود. برای تامین شدت روشنایی مورد نیاز، از چراغ‌های با ضریب بهره بالا و مناسب با شرایط و کاربری فضا استفاده شود.

در طراحی سیستم روشنایی فضاها، باید به موضوع خیرگی حاصل از سیستم روشنایی توجه شده و از چراغ‌های مناسب با هدف کاهش خیرگی استفاده گردد. همچنین بایستی در طراحی سیستم روشنایی، بیشتر به تامین شدت روشنایی مورد نیاز موضع کار یا سطح کار (محدوده کار و فعالیت) توجه شود و چنانچه شرایط کاربری فضا ایجاب نماید، از تامین شدت روشنایی عمومی مورد نیاز برای کل سطح و فضا، پرهیز گردد.

### ۳-۴-۲- تهویه و تامین هوای تازه

با توجه به پوشانده شدن سطح پروژه توسط سقف‌های متعدد و باز ماندن بخش محدودی در بازشوها و شفت تخلیه خاک، همزمان با فعالیت ماشین‌آلات در زیر سقف و وجود گازهای خروجی آنها و نیز حضور نیروی انسانی در جبهه کار، ایجاب می‌نماید تامین هوای تازه در زیر سقف‌ها انجام شود. بر اساس مبحث دوازدهم مقررات ملی، لازم است هوای مورد نیاز نیروی انسانی فعال و ماشین‌آلات در زیر سقف تامین شده و نیز تخلیه گازهای آلاینده از زیر سقف‌ها به دقت صورت گیرد. به بیان دیگر به منظور تخلیه دود ماشین‌آلات، ترقیق گرد و غبار، هوارسانی جهت تنفس افراد و ایجاد شرایط مناسب کاری بایستی هوای تازه در سینه کار تامین شود.



### ۳-۴-۱- معیارها و استانداردهای طراحی تهویه و تامین هوای تازه

مشابه توصیه‌های ارائه شده برای تامین روشنایی، پیرامون موضوعات تهویه و تامین هوای تازه نیز وضع مشابه است و با توجه به فقدان منابع، دستورالعمل‌ها و ضوابط مرتبط با روش بالا-پایین، هیچگونه دستورالعمل اختصاصی برای تهویه و تامین هوای تازه در روش اجرای بالا-پایین وجود ندارد. لیکن باز هم به علت شباهت بسیار زیاد این روش اجرا با شرایط و فضاهای کاری زیرزمینی، علاوه بر مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان، استاندارد هوارسانی در سازه‌های زیرزمینی کشور سوییس (SNV) نیز جهت بهره برداری در این روش اجرا مورد توجه قرار گرفته است. آنچه در این بخش ذکر می‌شود، به عنوان یک پیشنهاد و نه الزام و برگرفته از نزدیکترین منابع فنی موجود برای این روش و نه دقیقاً برای آن می‌باشد.

### ۳-۴-۲- روش‌های تهویه

تأمین هوای تازه در روش ساخت بالا-پایین به طرق مختلفی نظیر دهش هوای تازه و مکش آلاینده‌ها قابل انجام است. در سیستم تهویه دهشی هوای محیط باز بیرون، توسط فن مکیده شده و پس از افزایش فشار وارد کانال(داکت) تهویه می‌شود. فشار هوای ورودی به کانال در اثر اصطکاک جداره تقریباً مستهلک شده و مقداری از هوای دمیده شده در کانال نیز از طریق درزها و اتصالات آن به بیرون نشت می‌کند. نهایتاً هوای کم فشار باقیمانده از انتهای کانال خارج شده و به سمت سینه کار (که فاصله چندانی با خروجی کانال ندارد) حرکت می‌کند و پس از رقیق‌سازی آلاینده‌ها به سمت خروجی که نزدیک‌ترین بازشوی سقف می‌باشد، می‌رود. در سیستم تهویه مکشی، فن مستقر در نزدیکی منبع آلودگی (خروجی ماشین‌آلات) و یا متصل به کانال صلب نزدیک به منبع آلودگی، پس از مکیدن هوای اطراف، آن را از محیط خارج می‌کند. این روش به جهت ضرورت جابجایی فن با پیشروی حفاری صعوبت دارد. لیکن در اثر مکش فن، هوای تازه محیط از بازشوهای سقف به سمت سینه کار جریان می‌یابد.

با توجه به مکانیزم عملکرد دو روش، هرکدام مزایا و معایبی دارند که در ادامه تشریح می‌گردد.

### (الف) تهویه دهشی

مزایای روش تهویه دهشی عبارت است از:

- هوای سینه کار همیشه تمیز و سالم خواهد بود.
- می‌توان از کانال پارچه‌ای بدون حلقه نگهدارنده استفاده کرد که از مزایایی مانند نصب سریع و آسان و قیمت ارزان‌تر آن نسبت به کانال‌های صلب برخوردار است.
- همواره هوای تمیز و بدون رطوبت و گرد و خاک وارد فن و کانال‌ها شده و لذا دوام این تجهیزات بیشتر خواهد شد.
- فن در بیرون تونل در یک محل ثابت قرار گرفته و سرویس‌دهی آن ساده‌تر خواهد بود.
- در سیستم تهویه دهشی آلودگی صوتی ناشی از فن در سینه کار وجود نخواهد داشت.

همچنین معایب روش تهویه دهشی عبارت است از:

- با توجه به فرایند رقیق‌سازی آلاینده‌ها در روش دهشی، بایستی حجم قابل ملاحظه‌ای هوای تازه برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها استفاده کرد که منجر به افزایش هزینه‌های سیستم خواهد شد.





## (ب) تهویه مکشی

مزیت روش تهویه مکشی عبارت است از:

- در صورتیکه محل تولید آلودگی ثابت و محدود باشد، می‌توان آلاینده‌ها را قبل از انتشار در کل فضای و بدون احتیاج به رقیق کردن در حد استاندارد تخلیه نمود که در نتیجه میزان هوای مورد نیاز و هزینه سیستم تهویه کاهش خواهد یافت.
- همچنین معایب روش تهویه مکشی عبارت است از:
  - در تهویه مکشی بایستی از کانال‌های صلب استفاده کرد و یا فن را در سینه کاری قرار داد که صعوبت نصب کانال‌های صلب و یا جابجایی فن، متوجه طرح خواهد بود.
  - در سیستم تهویه دهشی آلودگی صوتی ناشی از فن در سینه کار وجود دارد.
  - افت فشار کانال‌های با حلقه فلزی، بیشتر از کانال‌های دیگر است که منجر به افزایش هزینه‌های طرح خواهد شد.
  - قیمت کانال‌های با حلقه نگهدارنده و یا کانال صلب نسبت به کانال‌های پارچه‌ای گران‌تر هستند.
  - ذرات معلق و رطوبت از داخل کانال و فن عبور خواهد کرد که باعث فرسودگی سریع‌تر این تجهیزات خواهد شد.
  - آلاینده‌های غیر متمرکز نظیر دود ماشین‌آلات در سینه کار تجمع خواهد یافت.

### ۳-۲-۲- روش تهویه مطلوب در روش اجراي بالا-پایین

آنچه معیار اصلی انتخاب سیستم تهویه می‌باشد، نوع آلاینده و نحوه پخش آن می‌باشد. چنانچه محل نفوذ آلاینده موضعی و محدود باشد، تهویه مکشی ارجحیت خواهد داشت. زیرا از پخش آلاینده جلوگیری خواهد کرد. در مقابل، زمانی که آلاینده در فضا منتشر شود و مقدار آن نیز در حد قابل کنترل باشد، بایستی از تهویه دهشی استفاده کرد. چراکه سرعت بالای جریان هوا سبب کاهش سریع غلظت موضعی آلاینده می‌شود و ضمن برطرف کردن مخاطرات ناشی از غلظت بالا، شرایط مناسبی را برای افراد در معرض آن فراهم می‌کند. در تونل‌سازی و برای تونل‌های کوتاه، روش تهویه دهشی معمولاً ساده‌تر و ارزان‌تر است. لیکن با توجه به الگوی عملیات در پروژه‌های ساخت به روش بالا-پایین که بر خلاف پروژه تونل‌سازی خطی نیست، ممکن است کارایی لازم را نداشته باشد. بر همین اساس سیستم ترکیبی دهشی و مکشی توأمان توصیه می‌گردد. با توجه به اینکه مرکز تولید آلودگی ماشین‌آلات هستند که متغیر و متحرک بوده و آلودگی را پخش می‌کنند، بایستی سیستم دهشی حتماً موجود باشد تا هوای تازه به جبهه کار برسد. از سوی دیگر به علت اینکه پیش‌روی حفاری به صورت عمودی است و آلاینده‌های خروجی ماشین‌آلات عموماً سنگین هستند، بایستی برای تخلیه آنها از سیستم مکشی نیز استفاده کرد. بر این اساس با توجه به پلان عملیاتی طراحی شده در روش اجرای هر پروژه، لازم است در نظر گرفته شود که دهش هوای تازه توسط یک کانال قائم مناسب در تراز عملیات انجام شود. همچنین بر اساس پلان عملیاتی در جبهه کاری در زمان‌های مختلف، توسط یک کانال افقی در تراز عملیاتی در موقعیت حضور کارگران توزیع گردد. همچنین همزمان تخلیه هوای آلوده توسط یک کانال مناسب



به نحوی انجام شود تا چرخش هوا ایجاد گردد. عموماً در محل بازشو تخلیه خاک در روش ساخت بالا-پایین، به علت حضور بیشتر ماشین‌آلات، غلظت آلاینده بیشتر می‌باشد و تخلیه از این محل مناسب‌تر است.

### ۳-۲-۴-۳- تعیین حجم هوای مورد نیاز

روابط تعیین‌کننده میزان هوای مورد نیاز در سینه کار به‌طور خلاصه به شرح ذیل می‌باشند:

هوای لازم برای تنفس افراد:

$$Q_{a,p} = 6 \times n \left( \frac{m^3}{min} \right) \quad (6-3)$$

هوای لازم برای ترقیق دود ماشین‌آلات:

$$Q_{a,dilute} = P(kw) \times [3.6 \dots 4.8] \left( \frac{m^3/min}{kw} \right) \quad (7-3)$$

هوای لازم برای ایجاد شرایط مناسب کاری:

$$Q_{a,min.v} = A_s \times 0.5 \left( \frac{m^3}{s} \right) \quad (8-3)$$

هوای لازم برای ترقیق گرد و غبار:

$$Q_{a,dust} = \frac{1800 \times (\text{حفاری تناژ})}{10 \times t} \quad (9-3)$$

در روابط فوق،  $n$  تعداد نفرات فعال در جبهه کار،  $P$  توان ماشین‌آلات فعال در زیر سقف و  $A_s$  سطح مقطع جبهه کار بر حسب مترمربع است.

مبتنی بر روابط بالا، مقادیر هوای مورد نیاز برای هر بخش جداگانه محاسبه می‌گردد. از آنجاکه میزان ترقیق هر آلاینده به نحوی محاسبه می‌شود که هوا قابلیت تنفس را داشته باشد، لذا بایستی بزرگترین مقدار، از بین مقادیر محاسبه شده مبنای طرح قرار گیرد. مبتنی بر این حجم، انتخاب فن و ابعاد کانال مناسب انجام شود.

شایان ذکر است فن‌های به‌کارگرفته شده در زمان اجرای بالا-پایین، می‌تواند صرفاً کارکرد موقت نداشته باشد و با مشورت مشاور تاسیساتی پروژه، انتخاب فن‌ها به نحوی انجام گیرد که برای دوره بهره‌برداری ساختمان نیز قابل استفاده باشد. همچنین متذکر می‌گردد رعایت ضوابط مطرح شده در مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان علاوه بر نکات گفته شده در این بخش، الزامی می‌باشد.



شکل ۳-۱۳۰ نمونه فن استفاده شده برای دهش هوای تازه و کانال به کارگیری شده



# فصل چهارم

## مبانی و اصول تحلیل، طراحی و کنترل در روش ساخت بالا-پایین

### ۴-۱- مقدمه

در این فصل، مبانی و اصول تحلیل و طراحی اجرای گودبرداری و ساخت سازه به روش بالا-پایین بیان خواهد شد. در روش ساخت بالا-پایین، الزامات خاصی برای بررسی‌های اجرایی، ژئوتکنیکی و سازه‌ای می‌بایست منظور گردد که برخی مختص این روش و برخی به صورت عام می‌باشند و در دیگر روش‌ها نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. در روش بالا-پایین به دلیل پیچیدگی‌های اجرا و اندرکنش خاک و سازه، از منظر طراحی نگرش‌های ویژه‌ای به فرآیندهای طراحی و انتخاب معیارهای ژئوتکنیکی وجود دارد. همچنین در یک طراحی دقیق روش ساخت بالا-پایین، بایستی فرآیندهایی که در اجرا پیاده‌سازی می‌شود، به نحو مطلوب در فرآیندهای طراحی منظور، مدلسازی، تحلیل و آثار آن بررسی شود.

در این راستا، در این فصل ضمن بیان مبانی و الگوی طراحی روش اجرای بالا-پایین، توضیحاتی در خصوص اطلاعات پایه برای طراحی پروژه به این روش ارائه می‌گردد. در این زمینه به صورت خاص به مطالعات ژئوتکنیک و آزمون‌های مورد نیاز آزمایشگاهی و برجای مورد نیاز، پرداخته خواهد شد و توصیه‌هایی در این زمینه ارائه می‌گردد. در ادامه نکات طراحی در سه بخش (الف) مراحل و روش اجرا، (ب) تحلیل و طراحی سازه‌ای و (ج) تحلیل و طراحی ژئوتکنیکی تبیین می‌گردد.

### ۴-۲- اطلاعات مورد نیاز برای طراحی

#### ۴-۲-۱- نیازمندی‌ها و اطلاعات اولیه

طراحی و اجرای موفقیت‌آمیز یک سازه با روش ساخت از بالا-پایین نیازمند طیف گسترده‌ای از اطلاعات و داده‌های پروژه از قبیل جزئیات اجرایی، زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی، زیرسطحی، هیدروژئولوژیکی و ساختاری است.

طراحی روش اجرای بالا-پایین مشتمل بر سه بخش اصلی؛ طراحی مراحل و روش اجرا، تحلیل و طراحی ژئوتکنیکی و تحلیل و طراحی سازه‌ای است. نخستین مرحله طراحی، طراحی مراحل و روش اجرا است. ابتدا باید طراحی مفهومی روش اجرا و تعیین مولفه‌های اصلی و مراحل آن انجام شود. سپس مدلسازی، تحلیل و طراحی ژئوتکنیکی و نهایتاً تحلیل و طراحی سازه‌ای صورت می‌گیرد. هرچند به صورت مستمر تعامل و رفت و

برگشت بین مراحل مختلف طراحی ضرورت دارد.

نیازمندی‌ها در طراحی مراحل و روش اجرا، شامل اطلاعات معماری پروژه، پلان موقعیت پروژه، بررسی محدودیت‌های پیرامونی، محدودیت‌های تجهیزاتی و ماشین‌آلاتی، قيود کارفرمایی از قبیل محدودیت یا الزام به اجرای طبقات مثبت و روی زمین سازه، وجود یا عدم آب زیرزمینی، وجود معارض عملیاتی و نظایر آن است. بخشی از این نیازمندی‌ها غالباً از یک پروژه به پروژه دیگر چندان تغییر نمی‌کند. اما بخشی دیگر کاملاً متغیر و وابسته به هر پروژه است و حتی از مراحل طراحی متأثر می‌شود.

نیازمندی‌های طراحی سازه شامل دو بخش است. بخشی نیازمندی‌های عمومی طراحی سازه است که مشخص است و موضوع این راهنما نمی‌باشد. لکن بخشی از نیازمندی‌های طراحی سازه، محصول طراحی روش اجرا از قبیل مراحل ساخت و حالات سازه در طی فرایند ساخت است. همچنین بخش مهمی از نیازمندی‌های طراحی سازه، محصول تحلیل و طراحی‌های ژئوتکنیکی از قبیل فشار خاک وارد بر سازه است.

تحلیل و طراحی ژئوتکنیکی به دلیل ماهیت پیچیده آن، نیازمند اطلاعات اولیه بیشتری است. در یک برنامه پی‌جویی ژئوتکنیکی برای پروژه‌ای با روش ساخت از بالا-پایین، باید از ابزارها و روش‌های مناسب برای به‌دست آوردن ویژگی‌ها و خصوصیات لازم، به‌عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت سازه با روش بالا-پایین، شناسایی خطرات احتمالی ساخت و ساز، و یک برآورد واقع‌بینانه از هزینه و زمان‌بندی استفاده شود. پی‌جویی ژئوتکنیکی دست کم باید جهت فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز برای ارزیابی پایداری چاه‌ها، جبهه‌های خاکبرداری، طراحی سازه با روش بالا-پایین، اثر حفاری و گودبرداری بر روی سازه‌ها و تأسیسات مجاور، شرایط آب زیرزمینی و اثر کوتاه مدت و بلند مدت احداث گود بر هر یک از این شرایط و شناسایی موانع احتمالی و مخاطرات اجرا به‌کار گرفته شود. دامنه مطالعات ژئوتکنیکی باید متناسب با مشخصات کلیدی پروژه شامل موقعیت و اهمیت، سطح خطر، طول عمر، ابعاد، بودجه، سطح مطالعات شامل امکان‌سنجی، مرحله اول و مرحله دوم و محدودیت‌های پروژه شامل قابلیت ساخت و تأثیرات شخص ثالث باشد.

به‌طورکلی، یک برنامه شناسایی برای یک پروژه گودبرداری با روش ساخت بالا-پایین می‌تواند شامل مؤلفه‌های زیر باشد:

- جمع‌آوری و مطالعه اطلاعات موجود
- شناسایی و آزمون‌های ژئوتکنیکی برجا و آزمایشگاهی
- آزمایش‌های ژئوفیزیکی
- مطالعات زیست‌محیطی
- ارزیابی آب‌های زیرزمینی

در برنامه مطالعات ژئوتکنیک، کسب اطلاعات مربوط به طراحی و ساخت سازه‌های مجاور حائز اهمیت است. همچنین ممکن است اطلاعات منتشر نشده‌ای از افراد با تجربه محلی از پروژه‌های قبلی در مجاورت پروژه مورد نظر در دسترس باشد. از جمله مؤلفه‌های اولیه فرایند مطالعات ژئوتکنیکی که باید پیش از انجام پی‌جویی‌های زیرسطحی و برنامه آزمون‌های برجا و آزمایشگاهی مورد توجه قرار گیرد، شامل بررسی اطلاعات





منتشر شده و منتشر نشده مربوط به محل پروژه و نزدیکی آن، بررسی تصاویر موجود و شناسایی دقیق موقعیت مورد نظر و مجاور آن است. برنامه مطالعات ژئوتکنیکی باید توسط یک مشاور ژئوتکنیک آگاه از طراحی و شرایط مورد نیاز ساخت سازه با روش بالا-پایین تدوین شود.

#### ۴-۲-۲- مطالعات اکتشافی و ژئوتکنیک زیرسطحی

مشابه پروژههای دیگر، مؤلفه‌های اکتشافات زیرسطحی یک برنامه مطالعات ژئوتکنیکی شامل حفاری گمانه، آزمون‌های برجا مانند نفوذ استاندارد، تهیه نمونه‌های دست خورده و دست نخورده و تعیین وضعیت آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

#### ۴-۲-۲-۱- تعداد و موقعیت گمانه‌ها

از حفاری گمانه برای شناسایی لایه‌های زیرسطحی و به‌دست آوردن نمونه‌های دست خورده یا دست نخورده جهت طبقه‌بندی چشمی و آزمون‌های آزمایشگاهی استفاده می‌شود. برای ایجاد یک مقطع عرضی زیرسطحی قابل اعتماد در موقعیت مورد نظر (به‌عنوان مثال، تغییرات عمقی و توالی رسوبات خاکی) و جهت بررسی هرگونه مخاطرات ژئوتکنیکی که می‌تواند بر طراحی، ساخت و عملکرد گودبرداری اثرگذار باشد، تعداد و عمق گمانه‌ها باید کافی باشد. در این راستا بایستی حداقل عمق و تعداد گمانه‌های مندرج در مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان در برنامه شناسایی ژئوتکنیکی رعایت شود.

از طرفی با عنایت به الزامات روش ساخت از بالا-پایین، یکی از مهم‌ترین اجزای آن، حفاری چاه و اجرای شمع است که عموماً به‌صورت دستی حفاری می‌شود. لذا برای آگاهی از شرایط اجرای چاه‌کشی دستی و نیز انجام آزمون‌های برجا در عمق، پیشنهاد می‌گردد حداقل ۳ چاه شناسایی دستی در موقعیت پروژه تا عمق پی حفاری گردد تا علاوه بر آگاهی از راندمان و نیز مسایل فنی چاه‌های دستی، بتوان در اعماق مدنظر طراح، آزمون‌های برجا را نیز انجام داد. در این‌گونه موارد، در صورت وجود آب زیرزمینی، تمهیدات لازم برای حفاری دستی و هدایت و زهکشی آب باید فراهم گردد که سازوکار آن در بخش ۵-۶ همین راهنما اشاره شده است.

تعداد نهایی گمانه‌ها بر اساس شرایط زیرسطحی پروژه و همچنین شرایطی که ممکن است هنگام اجرای گمانه با آن مواجه شد، تدقیق می‌شود. برای تعیین بهتر مخاطرات موضعی مانند قنات‌ها و کوره‌های آن یا لایه‌های خاک‌های ریزشی و عوامل ناپایداری خاک، و نیز ارزیابی اثرات احتمالی و اقدامات حفاظتی در سازه‌ها و تأسیسات موجود، باید گمانه‌های بیشتری حفاری شود. همچنین در محل مربوط به همجواری با سازه‌های حساس (آثار تاریخی، پل و...) می‌بایست گمانه قابل استناد با اطلاعات کافی وجود داشته باشد.

#### ۴-۲-۲-۲- آزمون‌های برجا

آزمون‌های برجا به‌منظور به‌دست آوردن متغیرهای مقاومتی و تغییرشکلی خاک برای اهداف طراحی و تحلیل انجام می‌شود. آزمون‌های برجا باید مطابق با استانداردهای مناسب ASTM یا AASHTO و در تطابق با مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان انجام شود. به‌هنگام انجام آزمایش‌های برجا، بهتر است موقعیت آزمون در مجاورت گمانه‌های ژئوتکنیکی در نظر گرفته شود تا در تفسیر رده‌بندی خاک در سایر موقعیت‌های آزمون برجا

و ایجاد یک همبستگی مابین داده‌های آزمون برجا و نتایج آزمون آزمایشگاهی بتواند مؤثر واقع شود. آزمون‌های برجا به سه صورت انجام در گمانه ماشینی (مکانیزه)، انجام در چاه‌ها و گالری‌های شناسایی حفر شده به روش دستی و یا مبتنی بر روش‌های ژئوفیزیک انجام می‌شود که در ادامه به تفکیک بیان خواهد شد.

#### ۴-۲-۲-۱- آزمون‌های برجای قابل انجام در گمانه ماشینی

یکی از متداول‌ترین آزمون‌های برجا، آزمون نفوذ استاندارد (SPT) است که در عرف کارهای عمومی ساختمان در ایران رواج دارد. این آزمایش به صورت پیش فرض برای شناسایی سختی لایه‌های زیرسطحی و در صورت نیاز نمونه‌برداری استفاده می‌شود. این آزمون در داخل گمانه ماشینی حفاری شده انجام می‌شود که جزئیات آن باید در تطابق با مبحث هفتم مقررات ملی ایران و نشریه شماره ۲۲۴ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور انجام شود. این آزمایش باید حداکثر در فواصل ۲ متری در تمامی گمانه‌ها و حین عملیات حفاری انجام شود. علاوه بر آزمون SPT، آزمون‌های دیگر نیز متناسب با نوع خاک و اهمیت سازه پیشنهاد می‌گردد که مکانیزه است و به صورت خود حفر (همچون نفوذ مخروط CPT) و همچنین اجرا در گمانه پیش حفاری شده (همچون پرسیومتری PMT) انجام می‌شوند. انواع این آزمون‌های برجا و مشخصات آن در جدول (۴-۱) ارائه شده است. انتخاب تعداد و نوع این آزمایش‌ها بر اساس نظر طراح و متناسب با نوع خاک بوده و توسط مشاور ژئوتکنیک الزام آن تعیین می‌گردد.

#### ۴-۲-۲-۲- آزمون‌های قابل انجام در چاه‌های شناسایی دستی

در پروژه‌های کوچک شهری که استفاده از آزمون‌های برجای ماشینی بعضاً توجیه اقتصادی ندارد، می‌توان از آزمون‌های برجای قابل انجام در چاه‌های دستی استفاده نمود. این رویکرد خصوصاً در مناطق شهری که سطح آب زیرزمینی پایین است، رواج دارد. مهم‌ترین این آزمون‌ها، آزمون بارگذاری صفحه و آزمون برش مستقیم برجا می‌باشد. این آزمون‌ها حسب نظر مشاور ژئوتکنیک و نیازهای طراحی، می‌تواند در اعماق مختلف انجام شود. آزمون بارگذاری صفحه و تفسیر آن بایستی بر اساس نشریه شماره ۷۳۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور انجام شود. این آزمون در گالری‌های افقی نیز قابل انجام می‌باشد و مطابق صلاحدید مشاور ژئوتکنیک جانمایی می‌گردد. آزمون برش مستقیم برجا نیز بر اساس استانداردهای موجود و در اعماق مختلف چاه دستی حسب نظر مشاور قابل انجام است.

توصیه می‌شود در صورت پایین بودن تراز آب زیرزمینی یا امکان‌پذیر بودن پایین انداختن تراز آب زیرزمینی، در راستای طراحی بهینه و اقتصادی هر پروژه ساخت از بالا-پایین، حداقل سه آزمون برش مستقیم برجا و سه آزمون بارگذاری صفحه در اعماق مختلف و متناسب با نظر مشاور ژئوتکنیک اجرا گردد تا شرایط واقعی از متغیرهای مکانیکی خاک حاصل گردد.



جدول ۴-۱ روش‌های آزمون برجای خاک بر اساس استانداردهای ASTM و ASSHTO

روش	روند کار	نوع خاک قابل اجرا	خصوصیات خاک	محدودیتها/ملاحظات
آزمایش نفوذ مخروط الکتریکی (CPT)	یک سوند استوانه ای که تحت فشار هیدرولیکی بطور قائم به درون خاک رانده شده و مقاومت نوک مخروط و بدنه فولادی سوند را اندازه گیری می کند. معمولاً فواصل اندازه گیری ۱ تا ۲ اینچ است.	لای، ماسه، رس، خاک گیاهی	تخمین نوع خاک و چینه شناسی دقیق ماسه: $D_r, \sigma'_{ho}, \phi'$ رس: $su, \sigma'_p$	ابزاری مناسب برای تهیه یک مقطع پیوسته از مشخصات خاک، که حتی امکان ثبت لایه های نازکی که توسط آزمایشهای مرسوم SPT قابل شناسایی نمی باشد، وجود دارد. در این آزمایش، هیچ نمونه برداری از خاک انجام نمی شود و در صورتیکه آزمایش در خاکهای شنی انجام گیرد ممکن است منجر به ایجاد آسیب در سوند شود.
آزمایش نفوذ مخروط پیرومتر (CPTu)	همانند CPT؛ بعلاوه اینکه، فشار آبی منفذی با استفاده از یک فشارسنج الکتریکی و فیلتر متخلخل اندازه گیری می شود.	لای، ماسه، رس، خاک گیاهی	مشابه آزمایش CPT. ب علاوه اینکه: ماسه $u_0$ تراز آب زیرزمینی، رس: $ch, OCR, \sigma'_p, kh$	اگر فیلتر و ورودی‌ها بطور کامل اشباع نشود، مقادیر فشار منفذی ممکن است گمراه کننده باشد. فشردگی و سایش سطح میانی (ul) ممکن است بر قرائنها اثر گذاشته ویژه اینکه نتایج آزمایش برای برآورد ویژگی های دگرشکلی خاک مناسب نخواهد بود.
CPTu لرزه ای یا SCPTu	مشابه CPTu؛ بعلاوه اینکه امواج برشی ایجاد شده در سطح توسط یک ژئوفون در فواصل ۳ فوت در طول پروبیل برای محاسبه سرعت موج برشی ثبت می شود.	لای، ماسه، رس، خاک گیاهی	مشابه CPTu. بعلاوه اینکه: $E_{max}, G_{max}, V_s, \epsilon_0, \phi_{tot}$	یک ابزار مناسب برای بدست آوردن سرعت موج برشی لایه های خاک که بیانگر حداکثر سختی خاک است و همچنین یک متغیر کلیدی برای برآورد ویژگی های دگرشکلی خاک در کرنشهای کوچک و ارزیابی رفتار لرزه ای خاک است. برای محاسبه سرعت موج برشی باید از زمانهای اولین رسیدن استفاده شود (اگر از زمان همگذری استفاده شود، خطا در محاسبه سرعت موج برشی با عمق افزایش می یابد).
دیلاتومتر صفحه ای مسطح (DMT)	یک صفحه مسطح که تحت فشار هیدرولیکی به عمق مورد نظر درون خاک رانده می شود. در فواصل تقریبی ۱۲ اینچ، فشار مورد نیاز برای انبساط غشای نازک آن ثبت می شود. دو تا سه اندازه گیری معمولاً در هر عمق ثبت می شود	لای، ماسه، رس، خاک گیاهی	تخمین نوع خاک و چینه شناسی وزن مخصوص کل ماسه: $\phi'$ $mv, D_r, E, \sigma'_p$ رس: $su, k_0, kh, ch, E$	اگر غشاهای بیش از حد متورم شود. ممکن است تغییر شکل پیدا کند. غشاهای تغییر یافته قرائت های دقیقی را ارائه نمی دهند. نشست در لوله گذاری با اتصالات منجر به قرائتهای بالا خواهد شد. آزمایش خوبی برای تخمین ویژگی های دگر شکلی خاک در کرنش های کوچک است.
آزمایش پرسیمیومتری (PMT)	یک گمانه حفر می شود و انتهای آن با دقت برای قرار دادن وسایل آماده می شود. فشار مورد برای انبساط یک غشای استوانه به حجم معین به کرنش شعاعی مشخص ثبت می شود	رس، لای، خاک گیاهی، پاسخ کم در برخی از شن و ماسه ها	$su, mv, G, E$	حفر گمانه ها مهمترین گام برای بدست آوردن نتایج خوب است؛ اطاعات مفیدی را برای محاسبه خصوصیات تغییرشکل جانبی فراهم می کند
آزمایش پرسیمیومتری جابجایی کامل (PMT)	سوند استوانه ای با یک فشار سنج متصل به پشت یک نوک مخروطی است که تحت فشار هیدرولیکی به درون خاک رانده شده و در فواصل مورد نظر برای آزمایش متوقف می شود. فشار مورد نظر برای انبساط غشای استوانه ای در یک حجم معین و با کرنش شعاعی مشخص ثبت می شود	رس، لای، خاک گیاهی	$su, mv, G, E$	دستخوردگی ایجاد شده در اثر نفوذ سوند منجر به سخت تر شدن مدول اولیه و فشار بالابر (po) خواهد شد. اطلاعات مفیدی را برای محاسبه خصوصیات تغییرشکل جانبی فراهم می کند.
آزمایش برش پره (VST)	یک پره چهار تیغه که تحت فشار هیدرولیکی به درون انتهای گمانه رانده می شود، سپس به آرامی چرخانده شده در حالی که گشتاور مورد نیاز برای چرخش این پره برای محاسبه حداکثر مقاومت برشی بدون زهکش ثبت می شود. این پره با سرعت ۱۰ دور بر دقیقه چرخانده می شود و گشتاور مورد نیاز برای گسیختگی خاک برای محاسبه مقاومت برشی زهکشی نشده باقیمانده ثبت می شود	خاک رس، برخی از لای ها و خاک گیاهی شریایط زهکشی نشده؛ نامناسب برای خاک دانه ای	$\sigma_p, su, \delta \epsilon$	عدم ایجاد دستخوردگی در رسهای حساس نرم منجر به کاهش میزان مقاومت برشی اندازه گیری شده خواهد شد. زهکشی جزئی ممکن است در لای ها و رسهای ترک دار منجر به ایجاد خطا در محاسبه مقاومت شود. در محاسبه مقاومت باید اصطکاک لوله حفاری در نظر گرفته شود. منظور انجام اندازه گیری های صحیح در نهشته های رسی مختلف، انتخاب مناسب قطر پره و ظرفیت گشتاور پیچشی ضروری است.





## خاک و آب حفره‌ای

در انتخاب و انجام آزمون‌های آزمایشگاهی، باید موارد ذیل نیز مورد نظر قرار گیرد:

- انتخاب نوع آزمون سه‌محوری بستگی به ماهیت خاک و نظر طراح دارد.
- در کلیه آزمون‌هایی که بر روی نمونه‌های بازسازی شده انجام می‌شوند، باید میزان تراکم نمونه‌ها، درصد رطوبت و سطح تنش اعمالی متناسب با شرایط واقعی و عمق نمونه منظور گردد.
- در انجام آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی و در مواقعی که لایه‌های خاک شامل ذرات شن هستند، از آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس (۳۰×۳۰) استفاده شود.
- آزمایش تحکیم (در صورت نیاز) الزاماً بر روی نمونه‌های دست نخورده انجام شود.
- در انتخاب متغیرهای مقاومت برشی و متناسب با سطح تغییرشکل‌های مورد انتظار، از متغیرهای مقاومت حداکثر یا پسماند بر اساس تشخیص طراح استفاده گردد.
- در انجام آزمایش‌ها تکرارپذیری حتماً باید مد نظر قرار گیرد.

## ۴-۲-۴- آب زیرزمینی

عمق آب‌های زیرزمینی باید در طول حفاری تمامی گمانه‌ها ثبت شود. سطح آب‌های زیرزمینی در محدوده گودبرداری باید به‌طور دوره‌ای از طریق چاه‌های مشاهده‌ای و یا پیژومترهای احتمالی منطقه مورد بررسی قرار گیرد تا اطلاعاتی در رابطه با تغییرات فصلی سطح آب‌های زیرزمینی حاصل شود. علاوه بر تراز آب‌های زیرزمینی، نفوذپذیری خاک‌ها نیز باید به‌وسیله انجام آزمون‌های آزمایشگاهی یا برجا مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین لازم است تا حد ممکن، آب‌های موضعی همچون قنات‌ها و نیز مسیرها یا چاه‌های فاضلاب شناسایی گردد. در این راستا می‌توان از نقشه‌های موجود قنات که در اختیار سازمان‌های مدیریت بحران، آب و فاضلاب و دیگر دستگاه‌های اجرایی قرار دارد، استفاده کرد. پی‌جویی از بومیان منطقه و نیز تجربه ساخت ساختمان‌های مجاور نیز مفید است. رویکرد دیگر، استفاده از آزمون‌های ژئوفیزیک برای یافتن موقعیت چاه‌ها و کوره قنات‌ها یا فاضلاب‌ها است که بر حسب وسعت و اهمیت پروژه می‌توان از آنها بهره گرفت. موقعیت سامانه دفع فاضلاب شهری نسبت به پروژه نیز از اهمیت بالایی برخوردار است.

در پروژه‌های ساخت از بالا-پایین، خواص شیمیایی آب‌های زیرزمینی نیز باید مورد ارزیابی قرار گیرد. چراکه آب‌های زیرزمینی با ترکیب شیمیایی مخرب ممکن است سبب کاهش دوام دیوارهای گود شود. مگر اینکه از ترکیب بتنی خاصی برای پوشش جهت مقاومت در برابر آب‌های زیرزمینی خورنده استفاده شود. از جمله عواملی که می‌تواند منجر به اثر مخرب ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی بر دوام بتن شود عبارتند از pH نامطلوب و میزان سولفات و کلراید بالا، که البته تنها به این عوامل محدود نیست. شایان ذکر است اگرچه ژئوسنتتیک‌های آب‌بندی گود، تماس دیوارهای بتنی با خاک را محدود می‌کند، اما باید اقدامات محافظتی برای اطمینان از دوام طولانی مدت تاسیسات در طول عمر طراحی شده پروژه در نظر گرفته شود.

ملاحظات مرتبط با آب‌های زیرزمینی عبارتند از تأثیر احتمالی پایین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی بر نشست سازه‌های مجاور گود، تأسیسات و سایر سازه‌ها، مهاجرت آلاینده‌های موجود در خاک و آب‌های زیرزمینی به‌دلیل آبکشی، تأثیر احتمالی بر سفره‌های آب زیرزمینی و نشست آب به داخل گود اجرا شده است.





#### ۴-۲-۳- انتخاب متغیرهای طراحی

انتخاب متغیرهای طراحی برای مصالح خاکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. متغیرهای طراحی برای خاک با استفاده از یک یا چند روش زیر تعیین می‌شود:

- مبتنی بر آزمون‌های برجا در طول پی جویی‌های زیرسطحی شامل آزمون‌های ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی
- آزمون‌های آزمایشگاهی
- آنالیز برگشتی متغیرهای طراحی براساس داده‌های به‌دست آمده از اجرا

انتخاب متغیرها علاوه بر نتایج حاصل از روش‌های بالا، مبتنی بر تجربیات گسترده‌تر و اطلاعات منتشر شده مرتبط، تجربیات محلی و نیز همبستگی‌های خاص بین تشکیلات زمین‌شناسی محل انجام می‌شود. در صورت به کارگیری همبستگی‌های منتشر شده همراه با یکی از روش‌های فوق، قابلیت کاربرد همبستگی با یک تشکیلات زمین‌شناسی خاص باید با استفاده از تجربیات محلی، نتایج آزمون‌های محلی و یا تجربیات بلندمدت در نظر گرفته شود. در ادامه سازوکار انتخاب متغیرهای مختلف طراحی ارائه خواهد شد.

#### ۴-۲-۳-۱- متغیرهای مقاومت برشی

برای انتخاب متغیرهای مقاومت برشی خاک برای طراحی باید موارد ذیل در نظر گرفته شود:

- نرخ بارگذاری ناشی از اجرا نسبت به قابلیت هدایت هیدرولیکی خاک (مقاومت زهکشی شده در مقابل زهکشی نشده)
- جهت بارگذاری
- سطح کرنش
- سطح تنش برجا در تحلیل آزمون‌های آزمایشگاهی
- اثر توالی اجرا

به‌طور کلی، برای تخمین مقاومت برشی زهکشی نشده ( $S_u$ )، از نتایج آزمایش‌های تحکیم‌یافته زهکشی نشده  $CU$  و آزمون تحکیم‌نیافته زهکشی نشده ( $UU$ ) و در صورت لزوم همراه با مقادیر به دست آمده از آزمایش‌های برجا استفاده می‌شود. برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی در خاک‌هایی که ممکن است مستعد دستخوردگی در هنگام نمونه‌برداری، حمل و نقل و آماده‌سازی آزمایشگاهی باشند، از روش‌های آزمایش برجا استفاده می‌شود. برای رسوبات نسبتاً ضخیم خاک چسبنده، باید پروفایل ( $S_u$ ) به صورت تابعی از عمق به دست آید؛ به‌گونه‌ای که بتوان سابقه تنش و خصوصیات آن را مشخص نمود. متغیرهای مقاومتی زهکشی شده،  $\phi'$  و  $c'$  خاک‌های چسبنده باید با استفاده از آزمون‌های جعبه برش مستقیم گند، آزمون‌های سه‌محوری  $CD$  یا آزمون‌های  $CU$  با اندازه‌گیری فشار منفذی ارزیابی و تعیین شوند. در آزمون‌های آزمایشگاهی، میزان بارگذاری باید به قدری آهسته باشد که از پراکندگی کامل فشار منفذی اضافی در آزمایش‌های زهکشی شده یا زهکشی نشده و یکنواخت شدن کامل فشار منفذی در کل نمونه اطمینان حاصل شود.

#### ۴-۲-۳-۲- متغیرهای تغییر شکل پذیری

متغیرهای تغییر شکل الاستیک زهکشی شده و زهکشی نشده همچون مدول یانگ و نسبت پواسون باید بر اساس نتایج حاصل از آزمون‌های برجا از قبیل بارگذاری صفحه یا پرسیمتری، یا آزمون‌های آزمایشگاهی



به‌طور مستقیم یا براساس ارتباط تجربی با اندازه‌گیری‌های برجها، به‌عنوان مثال آزمایش نفوذ استاندارد، تعیین شود. توصیه می‌شود مبنای انتخاب متغیرهای تغییرشکل پذیری، آزمون‌های برجها باشد.

#### ۴-۲-۳-۳- سختی فنرهای معادل خاک

از آنجا که در فرآیندهای طراحی سازه با روش ساخت از بالا-پایین، لازم است خاک به نحوی در مدل‌سازی‌های سازه وارد و اندرکنش خاک و سازه منظور گردد، یک راهکار متداول استفاده از فنرهای وینکلر به‌منظور شبیه‌سازی سختی خاک اطراف اجزای سازه‌ای می‌باشد. در این راستا مهم‌ترین گام، تعیین سختی فنرهای معادل خاک می‌باشد که در شرایط مختلف، می‌تواند به صورت جانبی یا قائم در مجاورت اجزای سازه‌ای منظور شود.

تعیین سختی فنر معادل خاک می‌تواند به روش‌های مختلفی انجام شود. این مقادیر سختی بر حسب شرایط خاک، نظر طراح و سطح کرنش موجود، به صورت سختی خطی یا به صورت منحنی غیر خطی سختی در نظر گرفته می‌شود.

- روش اول: استفاده از نتایج آزمایش پرسیمتر که در اعماق مختلف انجام می‌شود. این روش دقیق‌ترین راهکار تعیین سختی جانبی خاک برای اعمال در مدل‌های سازه‌ای در اطراف شمع‌ها می‌باشد.
- روش دوم: استفاده از روش‌های تحلیلی و روابط موجود برای تعیین منحنی‌های سختی جانبی و قائم فنر معادل خاک، موسوم به  $y-p$ ،  $z-q$  و  $z-t$  که به عنوان نمونه می‌توان به روش مندرج در آیین‌نامه API اشاره کرد.

- روش سوم: استخراج منحنی‌های  $y-p$ ،  $z-q$  و  $z-t$  با استفاده از مدل‌سازی‌های عددی ژئوتکنیکی است. در این رویکرد، با مدل‌سازی شمع در خاک و بارگذاری جانبی و قائم مرحله‌ای، منحنی‌های مذکور متناسب با نیرو و تغییر مکان رخ داده در اعماق مختلف و نقاط مورد نیاز استخراج می‌گردد. اصول صحیح مدل‌سازی عددی و تعریف صحیح اندرکنش و فصل مشترک‌ها<sup>۱</sup> در این روش باید مورد توجه طراح قرار گیرد.

#### ۴-۳- چهارچوب طراحی

به‌طور کلی طراحی برای ساخت به‌روش بالا-پایین، شامل سه بخش مجزا اما وابسته به یکدیگر و با لحاظ همزمان ملاحظات مابین آنها است. این سه بخش شامل موارد ذیل است:

- طراحی مراحل و روش اجرا
- تحلیل، طراحی و کنترل سازه‌ای
- تحلیل، طراحی و کنترل ژئوتکنیکی

در این بخش توضیحات کلی در خصوص فرآیند طراحی پروژه به روش بالا-پایین ارائه می‌گردد و پس از آن مبانی طراحی تبیین می‌شود. در ادامه فصل هر یک از موارد طراحی تشریح می‌گردد.

سازه‌ای که بناست به‌روش بالا-پایین اجرا شود، باید برای گام‌های ساخت، مدل‌سازی، تحلیل و طراحی شود. نخستین مرحله از فرآیند طراحی، تعیین روش اجرا است که شامل گام‌های اجرایی ساخت، ملاحظات و اقتضات آنها و نیز جزئیات و آثار آنها می‌شود. این گام‌ها باید در برگیرنده نحوه اجرای ستون‌های سازه،

<sup>۱</sup> Interfaces



گام‌های مربوط به اجرای سقف‌ها (به صورت پی در پی، یک در میان و ...)، گام‌های مربوط به نحوه اجرای دیوارهای حائل (و برشی در صورت وجود)، گام‌های تکمیل شدن مابقی اجزای سازه، نحوه قطعه‌برداری خاک در دیواره گود و تعیین مسیر خاکبرداری، نحوه و سرعت اجرای سازه در طبقات روی زمین، سرعت اجرای سازه در زیرزمین، سرعت انجام عملیات خاکبرداری و همچنین محل و ابعاد بازشوهای خروج خاک و ورود مصالح، نوع ماشین‌آلات و ابزارهای مورد استفاده است. در طراحی روش اجرا و مقدم بر انجام این مراحل، امکان‌سنجی اجرای پروژه به روش بالا-پایین نیز عملاً مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

سازه‌ای که به روش مرسوم و برای ترکیب بارهای نهایی حالت بهره‌برداری شامل تمامی ترکیب بارهای طراحی طبق آیین‌نامه طراحی شده است، پس از برآورد اولیه از مقاطع کلی سازه و انتخاب سیستم سازه‌ای و نیز پس از طی شدن مراحل طراحی روش اجرا، وارد مرحله مدل‌سازی، تحلیل و طراحی برای اجرای بالا-پایین می‌شود. این اقدام شامل دو مرحله است.

پس از برآورد اولیه از مقاطع سازه و انتخاب سیستم سازه‌ای، سازه باید در برنامه تحلیل و طراحی سازه‌ای برای گام‌های ساخت کنترل شود و کفایت اجزاء سازه‌ای در تمامی مراحل ساخت مورد بررسی قرار گیرد. این کار با مدل‌سازی گام‌های ساخت مرحله‌ای در برنامه تحلیل و طراحی سازه (به عنوان مثال ETABS یا SAP2000) با تعریف بار ساخت مرحله‌ای<sup>۱</sup> انجام می‌شود. گام‌های ساخت مرحله‌ای باید مطابق با آنچه در طراحی روش اجرا دیده شده است، باشد و چنانچه در مراحل ساخت، هر تغییری توسط عوامل اجرای سازه ایجاد شود، این تغییرات باید به اطلاع مشاورین سازه و ژئوتکنیک رسانده شود و تاثیر این تغییرات بر سازه و خاک مورد بررسی مجدد قرار گیرد.

مدل‌سازی و تحلیل ساخت مرحله‌ای در برنامه سازه‌ای، مستلزم تعریف شرایط مرزی مناسبی برای ستون‌های مدفون در خاک و دیوار حائل مدفون است. نظر به اینکه سازه در تمام مراحل ساخت تا رسیدن به تراز شالوده، شامل ستون‌ها یا دیوارهایی است که بر شمع‌های منفرد مستقرند و تمامی بارهای حین ساخت شامل بارهای مرده و بارهای زنده حین ساخت به وسیله این شمع‌ها به زمین منتقل می‌شود، لازم است تا در مدل‌سازی گام‌های ساخت مرحله‌ای، شمع‌های زیر ستون‌ها و دیوارهای حائل (در صورت اجرای دیوارها به روش مدفون) وارد شوند. بنابراین باید با استفاده از معادل سازی رفتار خاک با فنرهای خطی یا غیرخطی (بسته به قضاوت مهندسی طراح ژئوتکنیک و توجه به موقعیت فنر معادل خاک در عمق)، در برنامه سازه‌ای این شرایط مرزی به درستی تعریف گردد.

در هر گام اجرایی با توجه به کاهش طول مدفون ستون‌ها و دیوارهای حائل و تغییر شرایط، لازم است تا در هر مرحله این شرایط مرزی به‌طور مناسبی مورد بازنگری قرار گیرند و برای هر مرحله متناسب با شرایط جدید به‌روزرسانی شوند. به این طریق امکان تحلیل و طراحی شمع‌های سازه نیز تحت بارهای گام‌های ساخت مرحله‌ای، همراه با سازه وجود خواهد داشت. به این روش می‌توان پس از اضافه شدن شالوده سطحی و پایان یافتن عملیات خاکبرداری و گودبرداری، تحلیل و طراحی سازه‌ای که شالوده آن مستقر بر شمع است را به صورت یک مدل کامل انجام داد. در صورت وجود سطح مشترک بین دیوار حائل و خاک پشت آن و عدم

<sup>۱</sup> Staged Construction



اجرای عایق، می‌توان در تحلیل‌ها نیروهای نگهدارنده سازه ناشی از وجود اصطکاک دیوارهای بتنی با خاک را لحاظ نمود تا منجر به طراحی اقتصادی گردد.

در کنار تحلیل و طراحی سازه برای ساخت مرحله‌ای به کمک تعریف بار غیر خطی ساخت مرحله‌ای<sup>۱</sup>، مدل‌سازی و تحلیل ژئوتکنیکی ساخت مرحله‌ای به روش بالا-پایین نیز باید انجام شود. همچنین لازم است تا مهندس ژئوتکنیک، اطلاعات ژئوتکنیکی مورد نیاز طراح سازه که برای تحلیل و طراحی به آن نیاز است را در اختیار مهندس سازه قرار دهد. این داده‌ها، شامل فنرهای معادل خاک (خطی یا غیرخطی مستخرج از روش‌های تجربی یا عددی)، داده‌های مربوط به توزیع و مقادیر فشار خاک در همجواری‌های مختلف که از روش‌های تجربی یا عددی متناسب با نحوه اجرا حاصل شده است، می‌باشد.

از طرفی، مهندس ژئوتکنیک لازم است تا تاثیر انجام عملیات گودبرداری و اجرای سازه به روش بالا-پایین بر همجواری‌های موقعیت پروژه را مورد بررسی قرار دهد و تغییرشکل‌های ایجاد شده در خاک، ناشی از فرآیند ساخت را مورد ارزیابی قرار دهد. این تغییرشکل‌ها باید در محدوده ایمن و مجاز مستحذات همجواری‌ها چه روی زمین و چه در زیرزمین (ساختمان‌ها و تاسیسات زیربنایی) باشد.

بنابراین در فرآیند مدل‌سازی، تحلیل و طراحی، حضور تیم‌های مهندسی اجرا، ژئوتکنیک و سازه در کنار هم و در تعامل برای بررسی ساخت سازه از هر سه منظر اجرایی، سازه و ژئوتکنیک تا پایان عملیات گودبرداری و ساخت به روش بالا-پایین ضروری است.

#### ۴-۳-۱- مبانی طراحی

با توجه به اینکه سازه‌ای که برای ساخت به روش بالا-پایین تحلیل و طراحی می‌شود، می‌تواند از نوع فولادی، بتنی یا مقاطع مرکب باشد، لازم است با توجه به نوع سازه انتخابی و آیین‌نامه متناسب با آن، اقدام به انتخاب ضرایب بار و مقاومت نمود. ضروری است تا ضرایب بار و مقاومت مربوطه مطابق با مباحث ششم، نهم و دهم مقررات ملی ساختمان یا آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های فولادی AISC-360 و سازه‌های بتنی ACI-318 در تحلیل و طراحی سازه‌ها مدنظر قرار گیرد.

نظر به اینکه اغلب در روش بالا-پایین، دوره ساخت کوتاه مدت است (کمتر از دو سال)، تحلیل و طراحی سازه تحت بارهای مرده، زنده حین ساخت و بار خاک انجام می‌شود. بنابراین ضروری است، طراح سازه از میزان سربارهای احتمالی زنده بر روی سازه در دوره ساخت، که می‌تواند شامل وزن دپوی مصالح، تردد احتمالی ماشین‌آلات و مواردی از این دست باشد، اطلاع حاصل کرده و این میزان سربار زنده را در تحلیل و طراحی سازه لحاظ نماید. همچنین می‌توان ترکیب‌های بار حین ساخت را مطابق ASCE/SEI 37-14، با عنوان "طراحی بارهای حین ساخت سازه" مدنظر قرار داد. در صورتیکه دوره ساخت بیش از دو سال به طول انجامد، لازم است طبق ضوابط استاندارد ملی ۲۸۰۰، ملاحظات مربوط به تحلیل لرزه‌ای احتمالی مدنظر قرار گیرد.

در تحلیل و طراحی سازه شالوده‌های سطحی و عمیق (شمع‌ها) نیز می‌توان ضرایب کاهش مقاومت را مطابق با مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان در نظر گرفت و کل سیستم سازه و شالوده را با استفاده از روش LFRD

<sup>1</sup> Nonlinear Staged Construction

تحلیل و طراحی نمود.

در تحلیل‌های ژئوتکنیکی می‌توان از روش تنش مجاز با مقادیر ضرایب اطمینان ارائه شده در مبحث هفتم مقررات ملی ساختمانی برای پایداری گودبرداری‌ها، ظرفیت باربری شالوده‌های سطحی و عمیق استفاده کرد. همچنین با توجه به اینکه در تحلیل عددی، ضریب اطمینان حاصل از تحلیل ژئوتکنیکی حاصل شده کوچک‌ترین مقدار ضریب اطمینان کل مدل است، این ضریب باید از ضریب اطمینان مجاز بزرگتر باشد. ضریب اطمینان پایداری کلی، تورم کف، باربری شمع‌ها و شالوده و ... مطابق با مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان تعیین می‌شود.

لازم است طراح ژئوتکنیک، داده‌های فنر معادل خاک را در اختیار طراح سازه قرار دهد و این داده‌ها در برنامه تحلیل و طراحی سازه مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس در مورد ظرفیت باربری شمع و کنترل نشست شمع‌ها در برنامه سازه‌ای، می‌توان داده‌ها (نیرو- تغییرشکل و یا سختی فنر معادل) را بدون لحاظ هرگونه ضریب اطمینان در برنامه سازه وارد کرد و تحلیل مربوط به تغییرشکل را برای بارهای بدون ضریب مورد بررسی قرار داد. درباره ظرفیت باربری شمع‌ها (تحت بار کششی، فشاری و جانبی)، نهایتاً می‌توان مقدار نیروهای ایجاد شده در شمع را با مقادیر مجاز که ضرایب اطمینان مربوط به آنها اعمال شده است مقایسه نمود. یکی از چالش‌های فعلی موجود در بخش ژئوتکنیک، عدم وجود آیین‌نامه مدون و یکپارچه در طراحی به روش ضریب بار-مقاومت (LRFD) برای تمامی جنبه‌های مختلف مسائل ژئوتکنیکی است. اگرچه در دستورالعمل مشخصات طراحی پل آشتو<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) به طراحی ژئوتکنیکی با روش ضرایب بار و مقاومت پرداخته شده است، اما نمی‌توان از این روش‌ها در ترکیب با طراحی سازه منطبق با آیین‌نامه‌های سازه بهره برد. زیرا ضرایب بار و کاهش مقاومت این راهنما، با ضرایب بار و مقاومت توصیه شده در طراحی سازه‌های فولادی و بتنی در مباحث ششم، نهم و دهم مقررات ملی ساختمان متفاوت است. بنابراین توصیه می‌شود با توجه به اینکه معمولاً بخشی از کنترل‌های ژئوتکنیکی در برنامه‌های سازه‌ای انجام می‌شود، به منظور کنترل‌های ظرفیت باربری شالوده و نظایر آن از روش تنش مجاز استفاده شود.

#### ۴-۳-۲- طراحی روش اجرا

مسائل فنی اجرا به صورت مبسوط در فصل سوم راهنما شرح داده شده است. طراحی روش اجرا در واقع به کار بستن همه آن اصول برای تعریف و تبیین مواردی همچون موارد ذیل است.

پس از امکان‌سنجی و تایید امکان به کارگیری روش بالا-پایین برای پروژه، لازم است کلیه مراحل اجرایی و ترتیب و توالی آنها مشخص و طی نقشه‌های اجرایی مرحله‌ای ارائه شود. همچنین فنون اجرایی مورد استفاده انتخاب و معرفی گردد. ابعاد و مقاطع چاه و گالری، روش حفاری آن، روش ساخت ستون‌ها، روش انتقال، نصب و تثبیت ستون، روش بتن‌ریزی شمع‌ها، روش و تجهیزات خاکبرداری، روش بیرون کشیدن خاک و محل بازشوهای انتقال خاک و مصالح، روش اجرای دیوارها و سقف‌ها، لحاظ کردن ملاحظات اجرایی کارگاه و ناحیه‌بندی اجرایی و عملیاتی پروژه از جمله مواردی است که در طراحی مراحل و روش اجرا مشخص می‌شود. در واقع این موارد، ورودی تعریف گام‌های اجرایی در مدلسازی، تحلیل و طراحی است. کلیه این موارد باید به

<sup>1</sup> AASHTO





صورت نقشه و در برخی موارد به صورت نکات فنی در نقشه‌های اجرایی ساخت به روش بالا-پایین قید گردد.

#### ۴-۳-۳- تحلیل، طراحی و کنترل سازه‌ای

##### ۴-۳-۳-۱- حالات حدی سازه‌ای

با توجه به روش ساخت بالا-پایین، حالات حدی ذیل برای کنترل سازه محتمل است. بسته به روش اجرای انتخابی و هندسه سازه، ممکن است برخی یا کلیه این حالات در سازه محتمل باشد و نیاز به کنترل داشته باشد. به‌طور مثال حالات حدی مربوط به سقف، عموماً در مواردی که بازشوهای بزرگ در سقف وجود داشته باشد، نیاز به کنترل دارند.

- حالات حدی مربوط به ستون‌های میان دهانه کمکی

- کمناش ستون تحت اثر بار ثقلی

- شکست خمشی-محوری ستون تحت اثر بارهای فشار جانبی خاک

- شکست برشی در ستون تحت اثر بارهای متمرکز در محل تکیه‌گاه‌ها

- شکست خمشی ستون ناشی از تغییرشکل‌های جانبی و اثرات مرتبه دوم نیروی محوری

- حالات حدی مربوط به شمع‌ها

- نشست نامتجانس تکیه‌گاه‌ها

- فرو رفتن ستون داخل شمع

- شکست خمشی و برشی شمع

- حالات حدی مربوط به سقف‌ها یا تکیه‌گاه‌های جانبی ستون‌ها

- کمناش خارج از صفحه سقف

- شکست برشی داخل صفحه سقف در اطراف بازشوها

- شکست خمشی داخل صفحه سقف در اطراف بازشوها

شایان ذکر است علاوه بر حالات فوق، حالات حدی دیگری نیز برای سازه متصور می‌باشد که در طرح نهایی سازه در نظر گرفته می‌شود. موارد فوق تنها حالاتی را شامل می‌شود که به دلیل روش اجرای بالا-پایین، احتمال وقوع آنها ایجاد شده است. این موارد می‌تواند با رویکردهای تحلیلی و کنترل دستی مطابق آیین‌نامه‌ها و یا استفاده از نرم‌افزارهای مناسب انجام شود.

#### ۴-۳-۳-۲- مبانی مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سازه در روش بالا-پایین

به منظور تحلیل سازه و استخراج نیروهای داخلی اعضا می‌توان از روش‌های مختلف مدل‌سازی با سطوح دقت متفاوتی استفاده نمود.

##### ۴-۳-۳-۱- تحلیل دستی سازه

به عنوان یک روش ساده و سریع و همچنین به منظور کنترل نتایج تحلیل‌های رایانه‌ای، استفاده از یک روش تحلیل دستی سازه توصیه می‌شود. برای تحلیل دستی سازه در روش بالا-پایین می‌توان دو نوع ستون‌های کناری پلان (در مجاورت خاک) و ستون‌های میانی پلان را در نظر گرفت. برای تحلیل هر یک از این ستون‌ها، یک تیر سراسری با تعداد دهانه‌های مساوی با تعداد طبقات زیرزمین در روش بالا-پایین در نظر گرفته می‌شود. شرایط تکیه‌گاهی در محل سقف‌ها و شمع (شالوده عمیق) به صورت مفصلی فرض می‌گردد. روی این تیر سراسری

در محل هر یک از سقف‌ها یک نیروی محوری متناسب با چشمه بارگیر ستون اعمال می‌شود. همچنین در مورد ستون‌های کناری با توجه به فواصل ستون‌ها در پلان (سهم بارگیر آنها از فشار خاک) و توزیع فشار خاک وارد شده به سازه، بارگذاری عرضی تیر سراسری نیز انجام می‌گیرد. در تحلیل دستی و اولیه سازه می‌توان توزیع فشار خاک در ارتفاع هر طبقه را به صورت میانگین و یکنواخت در نظر گرفت. برای محاسبه مقدار لنگرهای خمشی نیز می‌توان از روابط تقریبی تیرهای سراسری تحت اثر بارهای گسترده و یکنواخت استفاده نمود.

تحلیل و طراحی تیر سراسری مورد نظر با توجه به مراحل اجرای سازه و گام‌های حفاری در حالات مختلفی صورت می‌گیرد. میزان حفاری خاک در هر مرحله و ارتفاعی از ستون که آزادانه بدون اجرای مهار، تحت بار جانبی خاک می‌باشد و در نتیجه نیروی خمش جانبی ستون‌های کناری و همچنین کنترل کمانش ستون‌های میانی به دلیل ایجاد نیروی محوری تحت بارهای ثقلی فوقانی در همان مرحله اجرا، می‌تواند یکی از بحرانی‌ترین حالت‌ها برای طرح ستون‌ها باشد. بنابراین کنترل کلیه اجزاء سازه در هر یک از مراحل اجرا الزامی است.

طراحی و کنترل باربری ستون‌ها با روش‌های معمول طراحی سازه و با استفاده از روابط معمول تحلیل و طراحی خطی سازه‌ها انجام می‌پذیرد. در کنترل باربری سازه‌ای، اثرات نیروی محوری، خمش و برش ستون‌ها مدنظر قرار می‌گیرد. همچنین اثرات مرتبه دوم نیروی محوری که موجب تشدید لنگرهای خمشی ناشی از بارهای جانبی می‌گردد نیز باید مورد توجه باشد. اندرکنش خمش و نیروی محوری نیز عامل تعیین‌کننده‌ای در طرح ستون‌های کناری خواهد بود.

#### ۴-۳-۲-۲-۳-۳-۴ مدل‌سازی دوبعدی سازه

در مدل‌سازی دوبعدی سازه، همان سازه تیر سراسری تحت اثر بارهای محوری و جانبی که در بند قبل توضیح داده شد، به صورت مدل رایانه‌ای تحلیل و طراحی می‌شود. در این حالت می‌توان توزیع فشار خاک را با دقت بیشتری نسبت به روش قبلی در نظر گرفت. همچنین در صورتی که یک مقطع عرضی کلی از سازه به همراه ستون‌های میانی و سقف سازه در نظر گرفته شود، امکان در نظر گرفتن سختی خمشی سقف در تحلیل سازه نیز وجود خواهد داشت.

با استفاده از امکانات نرم‌افزارهای رایانه‌ای می‌توان مراحل اجرای سازه را نیز در یک مدل سازه‌ای شبیه‌سازی نمود و با استفاده از تحلیل غیرخطی استاتیکی مراحل اجرا، در هر یک از مراحل اجرا، اعضای جدید و نیروهای جدید را به سازه اعمال نمود.

کنترل مقاومت و تغییرشکل‌های سازه در صورت استفاده از این روش با دقت بالاتری نسبت به تحلیل دستی قابل انجام خواهد بود. لکن در هر تحلیل رایانه‌ای، لازم است نتایج بدست آمده با استفاده از تحلیل‌های ساده‌تر صحت‌سنجی گردد.

#### ۴-۳-۳-۲-۲-۳-۳-۴ مدل‌سازی سه‌بعدی سازه

در موارد زیر ممکن است برای تحلیل سازه به مدل‌سازی سه‌بعدی سازه نیاز باشد:

- وجود پیچیدگی هندسی یا نامنظمی در پلان
- وجود بازشوهای بزرگ در سقف و نیاز به تحلیل نیروهای داخلی سقف



○ نامساوی بودن عمق گودبرداری در اضلاع مختلف پروژه و احتمال ایجاد فشار نامتقارن خاک و تغییرشکل جانبی در سازه.

در صورت استفاده از مدل‌سازی سه‌بعدی، توجه به سختی داخل و خارج صفحه سقف‌ها الزامی است. همچنین در نظر گرفتن فرض دیافراگم صلب که در مدل‌سازی معمول پروژه‌های ساختمانی انجام می‌شود، در این حالت مجاز نمی‌باشد.

برای بارگذاری فشار جانبی خاک می‌توان فشار خاک را به دیوارهای جانبی اعمال نمود یا با توجه به سهم باربر ستون‌ها، نیروی معادل را به ستون‌های کنار هر دهانه دیوار وارد کرد. در این صورت تحلیل و طراحی مجزای دیوار حائل در مدل دیگر و یا به صورت دستی ضرورت دارد.

در مواردی که با توجه به هندسه سازه، در پلان تعادل افقی نیروهای جانبی خاک برقرار نمی‌باشد، لازم است با تحلیل‌های دقیق‌تر، توزیع فشار محرک و مقاوم خاک را در اطراف سازه استخراج نمود و سپس در مدل سازه‌ای اعمال کرد. به عنوان روش جایگزین می‌توان از فنرهای معادل برای شبیه‌سازی فشار خاک مقاوم در جداره‌ای که سازه به سمت خاک حرکت می‌کند، استفاده نمود. در هر صورت مدل‌سازی دقیق سازه در این وضعیت‌ها و کنترل تغییرشکل جانبی سازه (که باید با وضعیت موجود خاک تطابق داشته باشد) الزامی است.

#### ۴-۳-۳-۳- مدل‌سازی اندرکنش سازه و خاک

برای مدل‌سازی اندرکنش خاک و سازه می‌توان از فرضیات زیر که به ترتیب، دقت آنها بالاتر می‌رود، استفاده نمود:

- مدل‌سازی نیرویی خاک با فشار جانبی و عدم در نظر گرفتن سختی خاک
- مدل‌سازی خاک با فنرهای معادل
- مدل‌سازی خاک به صورت محیط پیوسته

روش اول، همان روش معمول در محاسبات سازه می‌باشد که در واقع اندرکنش خاک و سازه در نظر گرفته نشده و تنها فشار جانبی خاک به سازه اعمال می‌شود. در این روش اثر سختی سازه و تغییرشکل‌های آن در تغییر توزیع فشار خاک دیده نمی‌شود و فشار خاک نیز بر اساس روابط تجربی موجود استخراج می‌گردد.

در برخی موارد تشخیص نوع فشار خاک وارده به سازه (محرک، سکون یا مقاوم) و توزیع آن در ارتفاع مشکل می‌شود. در این حالات روش دیگر، وارد نمودن سختی خاک در مدل‌سازی علاوه بر فشار جانبی خاک می‌باشد. در این روش فشار جانبی محرک یا سکون به سازه اعمال و همزمان فنرهای معادل سختی خاک نیز در اطراف سازه در مدل‌سازی وارد می‌شود. فنرها باید به گونه‌ای در نظر گرفته شوند که فقط در حالت فشاری عمل کنند (تحلیل غیرخطی سازه لازم است). در این حالت در صورتی که سازه به سمت یک جداره خاک حرکت کند، فنرهای جانبی فعال شده و مشابه این عمل می‌کند که فشار خاک به سمت فشار مقاوم پیش برود.

هر چند مدل‌سازی دقیق‌تر خاک به صورت محیط پیوسته، نتایج معتبرتری در خصوص نیروهای داخلی سازه ارائه می‌کند، لیکن به دلیل نیاز به تحلیل‌های غیرخطی، تاثیرگذاری زیاد مشخصات مکانیکی خاک در نتایج و نیاز به نرم‌افزارهای خاص، در همه موارد توصیه به انجام اینگونه مدل‌سازی‌ها نمی‌گردد. در مواردی که نیاز به استفاده از این روش‌ها باشد، توصیه می‌گردد همچنان از روش‌های ساده‌تر نیز برای کنترل نتایج تحلیل محیط



پیوسته استفاده نمود.

روش دیگری که استفاده از آن علاوه بر دقت بالاتر تعیین توزیع فشار خاک، مشکلات کمتری نسبت به روش فوق دارد، این است که توزیع فشار خاک بر اساس مدل‌سازی محیط پیوسته خاک و با لحاظ سختی الاستیک سازه استخراج و سپس در مدل‌سازی سازه‌ای، توزیع فشار به دست آمده اعمال می‌گردد. این روش علاوه بر دقت بالاتر در تعیین توزیع فشار خاک، امکان مدل‌سازی دقیق‌تر سازه در نرم‌افزارهای سازه‌ای را فراهم می‌نماید. در این شرایط نیز بایستی شرایط اصطکاک دیوارهای متعامد بر حرکت سازه، جهت جلوگیری از ایجاد لنگرهای زیاد در ستون‌ها موقت منظور گردد.

#### ۴-۳-۳-۴- کنترل کمانش ستون‌ها در طول مراحل ساخت

در روش اجرای بالا-پایین، ستون‌ها در ابتدا به طولی پیوسته معادل عمق گودبرداری در چاه و بر روی شمع نصب می‌گردند. با توجه به اینکه هنوز طبقات زیرین سازه احداث نشده‌اند، طول کمانش ستون داخل چاه، به اندازه عمق گودبرداری است و سبب می‌شود عملاً ظرفیت محوری ستون کاهش یابد. برای جلوگیری از افزایش بعد ستون‌ها و همچنین استفاده بهینه از ظرفیت ستون‌ها، طول کمانش ستون داخل چاه حین گام‌های اجرایی تا تکمیل سازه زیرزمین را باید کاهش داد. همانطور که در فصل سوم گفته شد، برای این منظور می‌توان از تکیه‌گاه‌های موقت داخل چاه و یا پر کردن موقت داخل چاه با مصالح درشت‌دانه یا خاک و سیمان استفاده نمود. در صورت استفاده از تکیه‌گاه‌های موقت این تکیه‌گاه‌ها باید بین بدنه چاه و ستون داخل چاه کاملاً محکم شوند تا حرکت جانبی ستون محدود شود. همچنین این تکیه‌گاه‌ها باید به گونه‌ای اجرا شوند که با ضربات احتمالی به ستون در حین اجرا از جای خود خارج نشوند. فواصل تکیه‌گاه‌های جانبی داخل چاه بر اساس محاسبات کمانش ستون‌ها تعیین می‌گردد. روش دیگر پر کردن مجدد داخل چاه بعد از نصب ستون‌ها می‌باشد. در این حالت داخل چاه با مصالح درشت‌دانه یا مخلوط خاک و سیمان یا بتن پلاستیک (که تخریب آن در مراحل بعدی حفاری امکان‌پذیر باشد) پر می‌شود. در این وضعیت کمانش ستون وابسته به سختی مصالحی است که چاه با آن پر شده است. برای تعیین بار بحرانی کمانش ستون در این حالت می‌توان از روابط موجود برای کمانش ستون با بستر الاستیک استفاده نمود. در این شرایط بر اساس میزان طول آزاد ستون متناسب با روش اجرا، میزان باربری آن با مقاومت مجاز آن مقایسه می‌شود. همچنین در صورت مدل‌سازی خاک در مدل سازه‌ای به صورت فنرهای معادل، با حذف فنرها حین خاکبرداری، نرم‌افزار طول آزاد ستون را جهت محاسبات کمانش تشخیص خواهد داد.

#### ۴-۳-۳-۵- کنترل سازه‌ای سقف

کنترل سازه‌ای سقف یا دال طبقات در روش اجرای بالا-پایین از دو جنبه حایز اهمیت است. یک جنبه کمانش خارج از صفحه دال تحت تاثیر فشار جانبی خاک است. جنبه دیگر اثرات خمش و برش داخل صفحه دال در اطراف بازشوها می‌باشد. هر دو این اثرات در طرح نهایی (تکمیل شده) سازه نیز اتفاق می‌افتد و لکن در روش اجرای بالا-پایین به دو دلیل ممکن است سقف سازه در حین اجرا وضعیت بحرانی‌تری را نسبت به سازه تکمیل شده تجربه نماید. اول اینکه در اجرای بالا-پایین در برخی حالات، گام حفاری بیش از ارتفاع طبقات بوده و بخشی از دیوارهای پیرامونی نیز اجرا نگردیده‌اند. در این وضعیت ممکن است نیروی فشاری داخل دال



(به‌عنوان تکیه‌گاه‌های جانبی و مهار برای ستون‌های کناری) بیش از مقداری باشد که در نهایت سازه تجربه خواهد کرد. همچنین توزیع فشار خاک در مراحل اجرای روش بالا-پایین با حالت نهایی (تکمیل سازه) متفاوت است. دلیل دوم این است که برای خارج نمودن خاک طبقات زیرین، در بعضی مواقع لازم است بازشوهای بیشتری نسبت به طرح نهایی در سازه ایجاد نمود. این بازشوها طبیعتاً موجب تضعیف سقف و احتمال بروز تغییرشکل‌های درون صفحه بیش از اندازه برای آن می‌گردند. بنابراین لازم است دال سازه‌ای در مراحل مختلف اجرای سازه به روش بالا-پایین کنترل گردد.

برای استخراج نیروهای درون صفحه دال باید از مدل‌سازی سه‌بعدی سازه استفاده نمود. در این حالت باید در نظر داشت که فرض دیافراگم صلب که در مدل‌سازی سازه‌های ساختمانی رایج است، استفاده نگردد. چرا که در این حالت هیچگونه نیروی داخل صفحه دال قابل استخراج نمی‌باشد. برای مدل‌سازی دال‌های یک‌طرفه دارای تیرچه می‌توان در جهت اطمینان فقط سختی درون صفحه دال روی تیرچه‌ها را در نظر گرفت. روش دقیق‌تر مدل‌سازی اینگونه دال‌ها، استفاده از اجزاء صفحه‌ای ناهمسانگرد<sup>۱</sup> می‌باشد که در برخی نرم‌افزارهای تحلیل سازه امکان استفاده از آنها وجود دارد. مدل‌سازی تیر و دال‌های دو طرفه (دال‌های مجوف) می‌تواند با اجزاء پوسته‌ای غشایی-خمشی و با در نظر گرفتن ضخامت معادل و یا تعریف دقیق مقطع در صورت توانمندی برنامه مورد استفاده، صورت پذیرد. اعمال ضرایب ترک‌خوردگی متناسب برای اجزای مختلف مدل سازه‌ای بر اساس توصیه‌های آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های بتنی می‌تواند دقت نتایج به‌دست آمده را بالا ببرد.

چنانچه تنش‌های محوری داخل صفحه دال کمتر از  $0.2f_c$  باشد، می‌توان از اثرات کم‌انرژی خارج از صفحه و همچنین اثرات مرتبه دوم نیروی محوری در تشدید لنگرهای خارج صفحه دال صرف‌نظر نمود. در غیر این‌صورت لازم است بار کم‌انرژی دال استخراج گردد. برای استخراج بار کم‌انرژی دال با توجه به پیچیدگی‌های شرایط تکیه‌گاه‌های کناری و میانی دال‌ها، استفاده از مدل‌سازی سه‌بعدی و تحلیل کم‌انرژی سازه الزامی است. ضریب بار کم‌انرژی خارج از صفحه دال در این حالت بایستی بیشتر از  $2/5$  باشد. به بیان دیگر نیروی محوری دال نبایستی بیشتر از  $0.4P_{cr}$  باشد. این شرط در بسیاری از حالات جوابگو می‌باشد؛ لکن کنترل این شرط کفایت نمی‌کند و بایستی اثرات مرتبه دوم نیروی محوری را نیز در نظر گرفت. اثرات مرتبه دوم نیروی محوری (در صورتیکه مقدار نیروی محوری دال زیاد باشد) موجب افزایش لنگرهای خارج از صفحه دال می‌گردند. در این حالت، با توجه به وضعیت سازه در حین اجرا و اینکه احتمالاً کلیه بارهای کف اعمال نشده‌اند، باید لنگرهای تشدید یافته کنترل گردند. برای تشدید لنگرهای خمشی دال می‌توان از ضریب تشدید لنگر  $\frac{1}{1-\frac{P}{P_{cr}}}$  استفاده نمود. در این رابطه  $P$  نیروی محوری (تنش محوری) دال به‌دست آمده از تحلیل اجزا محدود مدل سه‌بعدی سازه است و  $P_{cr}$  نیروی بحرانی (تنش بحرانی) کم‌انرژی دال به‌دست آمده از تحلیل کم‌انرژی مدل سه‌بعدی سازه می‌باشد که در مود شکل مورد نظر برای کم‌انرژی دال، استخراج شده است.

#### ۴-۳-۴- تحلیل، طراحی و کنترل ژئوتکنیکی

#### ۴-۳-۴-۱- خاک مطلوب و نامطلوب برای اجرا با روش بالا-پایین

بر اساس روش متعارف در ایران که ساخت به روش بالا-پایین اغلب مبتنی بر اجرای ستون‌های اصلی و گاه

<sup>۱</sup> Orthotrop



کمکی سازه در داخل چاه و سپس اجرای مرحله‌ای و از بالا-پایین دیوار حائل می‌باشد، میزان پایداری موضعی و ریزشی بودن خاک، تاثیر زیادی بر شرایط فنی و اقتصادی طرح دارد. در این حالت که پایداری چاه و پس از آن پایداری قطعات خاکی مابین ستون‌ها هنگام قطعه‌برداری و اجرای دیوار حائل اهمیت دارد، به‌طور طبیعی مناسب‌ترین خاک‌ها برای این نوع از روش ساخت بالا-پایین، خاک‌های درشت‌دانه دارای ریزدانه و چسبندگی می‌باشد. در این خاک‌ها می‌توان از مزایای قوس زدن<sup>۱</sup> تنش در حین حفاری‌ها در خاک‌های درشت‌دانه بهره‌بردار و نیز می‌توان به اتکای بخش ریزدانه و چسبندگی آن، حفاری و خاکبرداری پایداری را برای اجرای دیواره‌های گود و چاه‌ها انتظار داشت. به‌طور کلی، روش فوق‌الذکر در خاک‌هایی که حاوی ریزدانه چسبنده (رس) باشند، مناسب‌تر است و خاکبرداری دیوارها و نیز چاه‌ها عموماً می‌تواند بدون نیاز به پایداری‌سازی‌های موقت (پس از ارزیابی و تایید کارشناس مجرب ژئوتکنیک) اجرا گردد. چنانچه میزان ریزدانه چسبنده در خاک کم باشد و مقادیر زیادی ماسه تمیز یا سیلت وجود داشته باشد، امکان ریزشی بودن لایه‌ها حین حفاری چاه‌ها و یا خاکبرداری دیوارها وجود دارد. در چنین شرایطی باید از روش پایداری‌سازی موقت همچون کول‌گذاری در چاه یا اجرای رویه بتن‌پاششی (شاتکریتی) استفاده نمود. چنانچه سطح آب زیرزمینی بالا و خاک محیط تراکم کافی نداشته باشد، حفاری چاه‌ها باید به‌صورت ماشینی و با تعبیه غلاف فولادی<sup>۲</sup> انجام شود.

#### ۴-۳-۲- حالات حدی ژئوتکنیکی

روش‌های حدی در ژئوتکنیک، زیربنای بسیار از روابط موجود در محاسبات مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. نظریه‌های ظرفیت باربری خاک، ظرفیت باربری شمع‌ها، پایداری شیروانی‌های خاکی و فشار جانبی خاک، نمونه‌هایی از روابط توسعه یافته بر مبنای حالات حدی در ژئوتکنیک هستند. در روش اجرای بالا-پایین، فشار جانبی خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در طراحی اجزاء و پایداری طرح دارد. آنچه به‌طور متداول در خصوص فشار جانبی خاک‌ها در مراجع وجود دارد، نظریه رانکین و کولمب است که مبتنی بر نظریات حالات حدی می‌باشد. در این رویکرد، با فرض ساز و کار گسیختگی در پشت دیوارها و ایجاد باندهای برشی، تعادل نیروها و لنگرها ایجاد و نیروهای جانبی در لحظه قبل از گسیختگی استخراج می‌شود.

#### ۴-۳-۲- فشار جانبی خاک

به‌طور سنتی، میزان و توزیع فشار جانبی خاک از نظریه‌های رانکین یا کولمب تعیین می‌شود. توزیع فشار جانبی سنتی خاک که به‌صورت توزیع مثلثی منتج از تئوری‌های رانکین و کولمب می‌باشد، عموماً در مورد دیوارهای حائل مهار نشده توسعه یافته‌اند. در روش ساخت بالا-پایین، به‌سبب ماهیت روش اجرا و محدودیت‌های تغییرشکلی ایجاد شده برای دیوارها ناشی از اجرای سقف طبقات زیرزمین، میزان و الگوی فشار جانبی خاک متفاوت است. در شرایط اجرای گودبرداری به روش بالا-پایین، عموماً دیوارهای بتنی درجاریز، دیوارهای بتنی پیش‌ساخته یا ستون‌های کناری به‌وسیله دال سقف یا تیرک<sup>۳</sup> پایدار می‌شوند. در چنین شرایطی عموماً فشار خاک بین حالت سکون و حالت محرک قرار دارد. چنانچه المان‌های مهار متقابل (اعم از دال بتنی یا تیرهای فولادی و بتنی) سختی کافی نداشته باشند و دیوار بیش از حدود ۱٪ عمق گود تغییر مکان یابد، فشار خاک به

<sup>1</sup> Arching

<sup>2</sup> Casing

<sup>3</sup> Strut

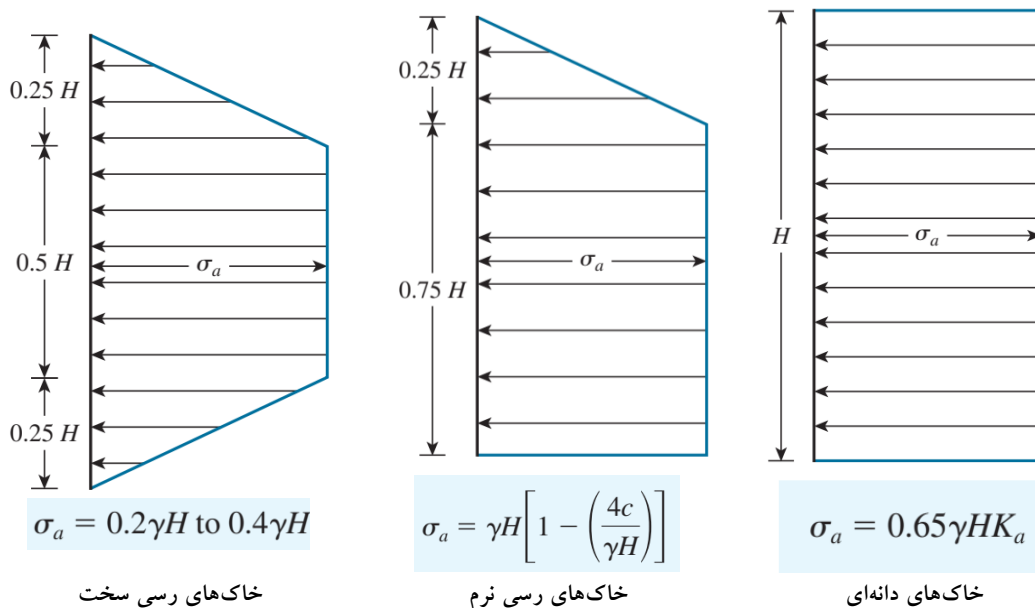


سمت حالت محرک نزدیک خواهد شد.

همچنین توزیع فشار خاک در این روش به صورت مثلثی نبوده و متناسب با نحوه اجرا و شرایط خاک، تفاوت‌هایی را با توزیع سنتی دارد. پیروی از الگوی مثلثی ممکن است منجر به در نظر گرفتن فشار خاک کمتر از واقعیت در طبقات فوقانی زیرزمین و فشار خاک بیش از واقعیت در طبقات زیرین گردد. بر این اساس بایستی برای فشار جانبی خاک از الگوی مناسب روش ساخت بالا-پایین بهره برد. برای این منظور می‌توان از روش‌های کلاسیک مربوط به دیوارهای مهار شده یا مدل‌سازی عددی استفاده کرد.

#### ۴-۳-۴-۱- فشار جانبی خاک کلاسیک

در شکل (۴-۱) نمونه فشار جانبی خاک بر مبنای روش‌های کلاسیک برای خاک‌های مختلف نشان داده شده است. این روابط زمانی صادق است که سطح زمین افقی، دیوار مهار شده، و خاک از سختی مناسب برخوردار باشد. همچنین عمق خاکبرداری بیش از یک سوم عمق نهایی خاکبرداری تا تراز سقف یا تیرک بیشتر نباشد. چنانچه آب زیرزمینی وجود داشته باشد، الگوی این فشارها متفاوت خواهد بود و باید با مدل‌سازی‌های عددی دقیق تعیین گردد. این روش‌ها برای گودهای با عمق بیش از ۶ متر قابل کاربرد هستند. در این شکل  $H$  برابر عمق گود،  $\gamma$  وزن مخصوص خاک،  $K_a$  فشار جانبی خاک در حالت محرک و  $c$  چسبندگی خاک می‌باشد. استفاده از این توزیع فشارها در صورت تحقق شرایط بیان شده، بلامانع است. لیکن به طور کلی توصیه می‌شود مدل‌سازی عددی انجام و نتیجه با توزیع کلاسیک مقایسه شود. این موضوع علاوه بر امکان کنترل صحت کلیات روش عددی استفاده شده، می‌تواند در ارزیابی طرح‌ها در فاز امکان‌سنجی و فاز یک مدنظر قرار گیرد.



شکل ۴-۱ الگوی فشار جانبی خاک در دیوارهای مهار شده و برای خاک‌های مختلف

#### ۴-۳-۴-۲- الگوی فشار جانبی خاک در حالت اجرای سازه به روش بالا-پایین

همان‌گونه که پیشتر عنوان شد در الگوهای متعارف طراحی سازه‌های دارای طبقات زیرزمین، توزیع فشار جانبی خاک بر دیوار حائل به صورت توزیع خطی با عمق نمی‌باشد. توزیع خطی فشار خاک برای حالتی که انتهای دیوارها آزاد باشد و امکان حرکت دیوار وجود داشته باشد، می‌تواند به کار رود. لیکن این موضوع در روش

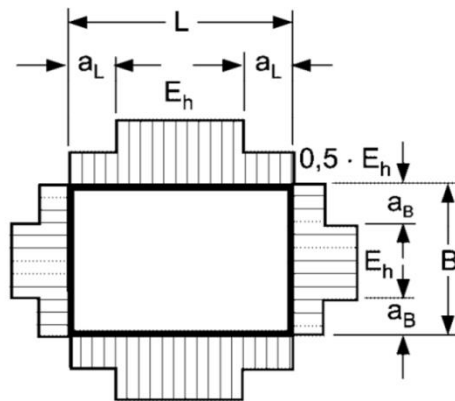




به حالت سه‌بعدی می‌شود که عموماً در راستای حفظ پایداری خواهد بود. بهره‌گیری از اثرات مثبت کنج‌های غیر بیرون زده، می‌تواند در اقتصاد طرح موثر باشد.

در خاک‌های دانه‌ای متراکم و یا خاک‌های رسی سخت، می‌توان از تاثیرات سه‌بعدی گودها بهره برد. تاثیرات سه‌بعدی ناشی از تاثیر شرایط مرزی دیوارهای عمود بر خاک در دو سوی گود می‌باشد. عموماً خاک‌های درشت دانه توان ایجاد قوس‌زدگی را در انتقال نیروهای خاک دارا هستند. شرط استفاده از این رویکرد، این است که خاک حداقل تغییر مکانی داشته باشد تا حالت محرک خاک بسیج گردد.

تاثیرات سه بعدی گود با استفاده از مدل‌سازی‌های عددی سه بعدی قابل استخراج است. همچنین می‌توان از روابط تحلیلی موجود نیز استفاده کرد که نمونه آن در شکل (۴-۲) نشان داده شده است. در این شکل،  $L$ ، طول گود،  $B$ ، عرض گود،  $E_h$ ، فشار جانبی محاسبه شده در وسط دهانه می‌باشد. در کنج‌ها و در فاصله  $(a_L)$  و  $(a_B)$  می‌توان فشار خاک را ۵۰٪ کاهش داد. مقادیر  $(a_L)$  و  $(a_B)$  از روابط زیر تعیین می‌شود که در آن،  $H$ ، عمق گود می‌باشد:



$$a_L = (0.35 - 0.06 \cdot H : L) \cdot H$$

$$a_B = (0.35 - 0.06 \cdot H : B) \cdot H$$

$L$ : در طرفین طول  
 $B$ : در طرفین عرض

شکل ۴-۲ اثرات هندسه سه‌بعدی گود بر میزان فشار خاک

#### ۴-۳-۴-۲- پدیده قوس‌زدگی

پدیده قوس‌زدگی تنش، عامل ایجاد پایداری موضعی گودها در حین مراحل خاکبرداری می‌باشد. استفاده از این ظرفیت در روش ساخت بالا-پایین، در اقتصاد طرح بسیار تاثیرگذار است. این موضوع در خاکبرداری‌های مرحله‌ای و اجرای دیوارهای پیرامونی موثر است. نمونه‌ای از این مفهوم در شکل (۴-۳) نشان داده شده است. بردارهای نشان داده شده با تاکید بر ضخامت آنها، جهت قوس‌زدگی تنش را بین اجرای سازه‌ای پیرامون نشان می‌دهد. این پدیده سبب پایداری ناحیه خاکبرداری شده خواهد شد و فرصت اجرای دیوار را در روش ساخت بالا-پایین ایجاد خواهد کرد. میزان قوس‌زدگی، به شرایط خاک و سختی اجزای سازه‌ای مجاور آن وابسته است. میزان منظور کردن پدیده قوس‌زدگی بر اساس قضاوت مهندسی و استناد به مدل‌سازی‌های دقیق می‌باشد. لیکن باید حداقل ۱۵٪ فشار خاک سینه دیوار را برای پایداری موقت منظور داشت.

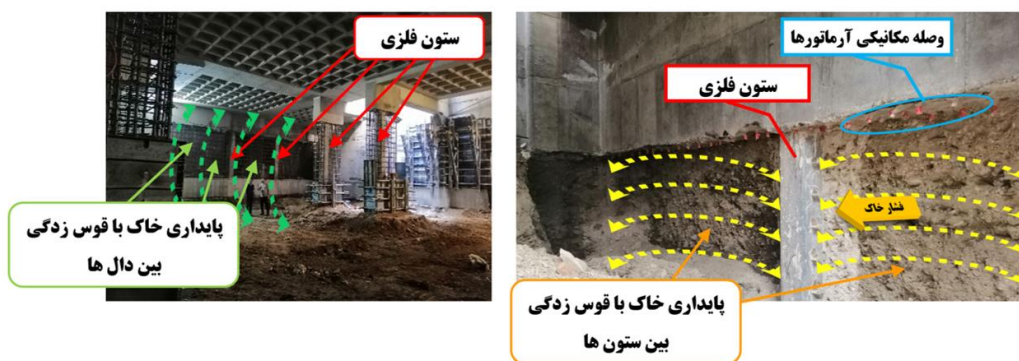
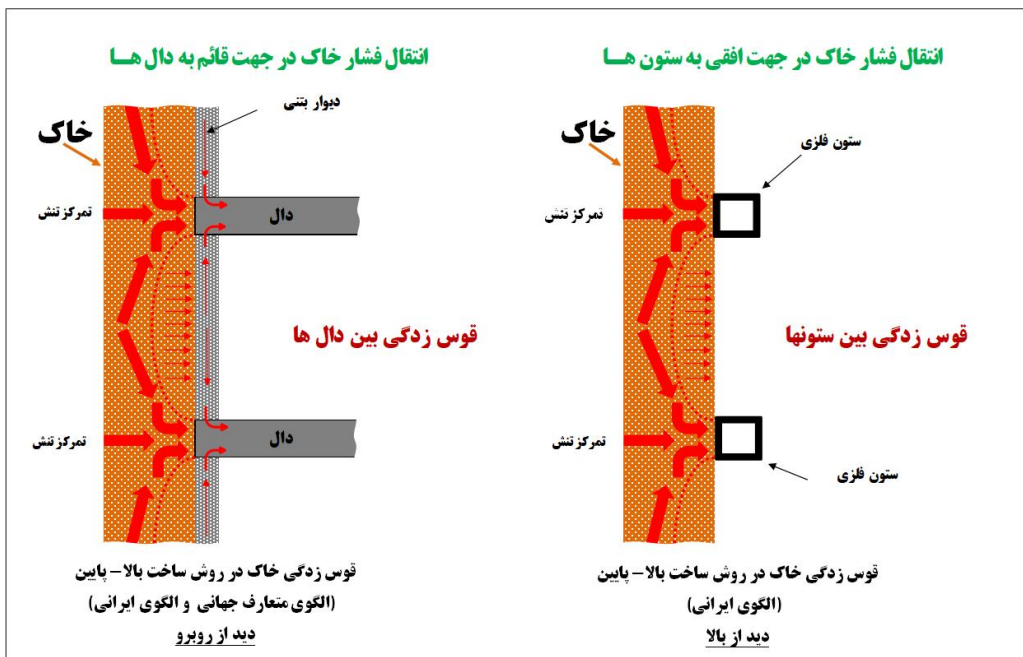
#### ۴-۳-۴-۵- تحلیل تنش و تغییر شکل؛ روش‌های عددی

یکی از مهم‌ترین مراحل طراحی گودبرداری به روش ساخت بالا-پایین، استخراج نیروهای وارد بر اجزای

سازه‌ای و همچنین میزان تغییرشکل‌های ناشی از گودبرداری می‌باشد. این مهم با استفاده روش عددی و استفاده از نرم‌افزار مناسب باید محقق شود. در مدل‌سازی عددی لازم است تا اصول کلی زیر رعایت گردد:

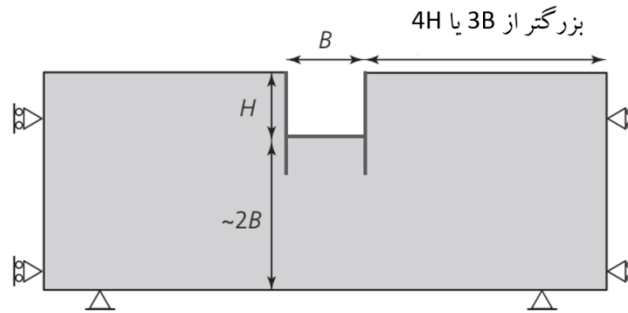
از مدل رفتاری مناسبی که قابلیت شبیه‌سازی رفتار خاک در مراحل بارگذاری و باربرداری (خاکبرداری) را داشته باشد، استفاده گردد. همچنین مدل رفتاری قابلیت لحاظ تغییرات مدول الاستیسیته خاک با عمق را دارا باشد. مدل‌های معروف به سخت‌شونده برای این حالت مناسب می‌باشند.

به‌منظور از بین بردن اثرات شرایط مرزی، مرزها از طرفین گود حداقل به میزان سه برابر بعد گود ادامه یابند. مرزهای تحتانی از کف گود حداقل به میزان دو برابر بلندترین بعد گود (در پلان) ادامه یابند. کلیات رعایت فاصله مرزها در مدل‌سازی گودبرداری در شکل (۴-۴) نشان داده شده است.



شکل ۴-۳ پدیده‌ی قوس‌زدگی افقی و قائم در روش اجرای بالا-پایین





شکل ۴-۴ هندسه مناسب برای حذف تأثیر شرایط مرزی در تحلیل عددی گودبرداری.

در مدل عددی، مش‌بندی با ابعاد مناسب باید انتخاب شود. با انجام تحلیل حساسیت باید مشخص شود که ابعاد مش به اندازه کافی کوچک و مناسب انتخاب شده است و مش‌بندی ریزتر، تأثیری در دقت نتایج ندارد. توصیه می‌شود که مش‌ها در مجاورت دیوار گود، شالوده ساختمان‌های مجاور و نقاطی که دقت بیشتری در تغییرشکل‌ها مورد نیاز است، با ابعاد ریزتر انتخاب شوند.

کلیه اجزای سازه‌ای همانند دیوارها، سقف‌ها، ستون‌ها و تیرها باید به شکل صحیح و با سختی مناسب مدل‌سازی شوند. پیشنهاد می‌گردد از خاصیت الاستوپلاستیک در تخصیص مشخصات اجزای سازه‌ای استفاده گردد. کلیه اجزای سازه‌ای باید از تعریف سطح مشترک<sup>۱</sup> مناسبی با خاک برخوردار باشند. در خصوص اجزایی که امکان کمانش برای آنها وجود دارد، قانون رفتاری صحیحی باید در نرم‌افزار انتخاب شود تا حد نهایی باربری این اجزاء، برابر بار قابل تحمل آنها در کمانش شده و پس از آن نیرویی تحمل نکنند.

مراحل ساخت شامل خاکبرداری و نصب اجزای سازه‌ای باید کاملاً مطابق با شرایط اجرا، مدل‌سازی شده و پایداری و تغییر شکل‌های ناشی از گودبرداری در هر مرحله کنترل شود.

استفاده از مدل‌سازی سه بعدی توصیه می‌شود، لیکن می‌توان با فرضیات مناسب، از مدل‌سازی دوبعدی مناسب در شرایط کرنش مسطح بهره‌مند شد. کنترل کمانش تیرها و ستون‌ها در مدل‌سازی‌های دوبعدی از اهمیت بالایی برخوردار است.

توصیه می‌شود پیش از مدل‌سازی عددی مدل اصلی و جهت صحت‌سنجی، آزمون‌های برجای احتمالی انجام شده مانند بارگذاری صفحه یا برش برجا به صورت عددی شبیه‌سازی شود و مدل بدین وسیله کالیبره گردد. مدل‌سازی شرایط آب زیرزمینی احتمالی و پایین انداختن سطح آب حین گودبرداری نیز از اهمیت بالایی برخوردار است.

در نهایت پس از انجام مدل‌سازی عددی و تحلیل آن، تغییرشکل‌های ایجاد شده در همجواری‌های گود باید استخراج و با مقادیر مجاز کنترل گردد. در صورت تجاوز تغییرشکل‌ها از حد مجاز، یا از اجزای سازه‌ای با سختی بیشتر استفاده شود یا مراحل اجرا به نحو دیگری تدبیر گردد تا کمینه تغییرشکل‌ها را به دنبال داشته باشد. در این راستا باید تعداد گام‌های خاکبرداری افزایش و افزون بر اجرای دندان‌های، ارتفاع خاکبرداری در هر مرحله نیز کاهش یابد تا همزمان با اجرای بیشتر اجزای سازه‌ای، کنترل تغییرشکل‌ها مناسب‌تر گردد.

<sup>۱</sup> Interface

### ۴-۳-۶- تحلیل پایداری

در هر مرحله از گوبرداری، تحلیل مناسب پایداری باید صورت گیرد. تحلیل پایداری اجزای سازه‌ای در بخش‌های قبلی بیان شد. در خصوص پایداری ژئوتکنیکی می‌توان از روش‌های تعادل حدی بهره برد و ضرایب اطمینان در مقابل گسیختگی را در هر مرحله از اجرا استخراج کرد. برای این منظور استفاده از نرم‌افزارهای تعادل حدی که عموماً در کنترل پایداری و تعیین ضریب اطمینان شیب‌ها و دیواره‌های خاکی مورد استفاده است، امکان‌پذیر می‌باشد. لیکن به سبب صعوبت مدل‌سازی اجزای سازه‌ای در نرم‌افزارهای مبتنی بر روش تعادل حدی، می‌توان از تحلیل‌های پایداری موسوم به کاهش متغیرهای مقاومت برشی ( $\phi$ -Reduction C) در روش اجزاء محدود نیز استفاده کرد. در این رویکرد اجزای سازه‌ای باید به‌صورت الاستوپلاستیک تعریف شده باشند. حداقل ضریب اطمینان پایداری دیواره خاکی در هر مرحله باید  $1/3$  منظور و پایداری کلی گود دست کم  $1/5$  منظور گردد.

### ۴-۳-۷- طراحی مشاهده‌ای و لزوم ارزیابی حین اجرا

با توجه به عدم قطعیت‌های متعدد در ژئوتکنیک، ضروری است در حین اجرا تغییرشکل‌های ایجاد شده در گود استخراج و با پیش‌بینی‌های مدل‌سازی مقایسه و کنترل گردد. بر اساس این مقایسه در صورت عدم تطابق، لازم است بازبینی طرح صورت گیرد. همچنین چنانچه شرایط خاک در حین گودبرداری مطابق با مطالعات پایه ژئوتکنیک نباشد، روش اجرا و طراحی بازنگری و پایداری اجزاء مبنی بر آن مورد بازبینی قرار می‌گیرد. مجموعه این اقدامات که تدقیق طراحی بر اساس مشاهدات می‌باشد، طراحی مشاهده‌ای گفته می‌شود که در مهندسی ژئوتکنیک بسیار پرکاربرد است.

### ۴-۳-۸- معرفی نرم‌افزارهای کاربردی

از کلیه نرم‌افزارهای عددی صحت‌سنجی شده می‌توان در آنالیز تنش-تغییر شکل خاک استفاده نمود. به‌دلیل برخی سهولت‌های کاربری، استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود PLAXIS، که به‌صورت دو و سه بعدی در دسترس است، توصیه می‌گردد. همچنین می‌توان از نرم‌افزار مبتنی بر روش تفاضل محدود، همچون FLAC نیز بهره برد. در راستای انجام تحلیل‌های پایداری مبتنی بر روش‌های تعادل حدی، استفاده از نرم‌افزار Geostudio توصیه می‌شود که البته می‌توان این مهم را با رویکرد مناسب با نرم‌افزارهای مبتنی بر روش اجزاء محدود نیز انجام داد.

با توجه به تنوع مراکز فروش این نرم‌افزارها و در راستای افزایش اعتماد پذیری به آنها، مهندس طراح پس از تهیه هر کدام از این نرم‌افزارها، باید مثال‌های ارائه شده همراه کتابخانه این نرم‌افزارها را مدل‌سازی و از تطابق خروجی‌های مدل‌سازی خود با خروجی‌های ارائه شده در راهنمای این نرم‌افزارها اطمینان حاصل نمایند و در صورت عدم تطابق نتایج، نسبت به اصلاح خطاهای انسانی و سیستماتیک موجود در مدل‌سازی اقدام نماید.

## فصل پنجم

### ملاحظات تکمیلی

#### ۵-۱- مقدمه

در فصول اول و دوم این راهنما، تعریف، مفهوم روش، اهمیت آن، مشخصات و ویژگی های فنی و چگونگی بررسی امکان پذیری آن ارائه شد. در فصل سوم، مسایل اجرایی و جزییات روش اجرا تشریح شد. در فصل چهارم نیز ملاحظات طراحی و نکات مرتبط با محاسبات ژئوتکنیکی و سازه ای این نوع پروژه بیان شد. در این فصل دیگر نکات و مسائل تکمیلی که حائز اهمیت و توجه در این روش اجرا می باشد، مورد بحث قرار گرفته است. بخشی از مطالب ارائه شده در این فصل، اختصاص به روش اجرای بالا-پایین ندارد و برای گودبرداری پروژه ها بطور عمومی نیز قابل استفاده خواهد بود.

#### ۵-۲- تاثیر تغییر شکل ناشی از ساخت به روش بالا-پایین بر ساختمان های همسایه

روش اجرای بالا-پایین، اگرچه ایمن است، در هر حال انجام عملیات گودبرداری سبب ایجاد تغییراتی در تنش و تغییر شکل همجواری های گود هر چند به مقدار کم می شود. از این رو بررسی نشست و تحلیل خطر سازه ها و تاسیسات شهری در محدوده تاثیر گودبرداری هر پروژه الزامی است.

طی فرایند طراحی روش بالا-پایین، لازم است پیش بینی از نشست اطراف پروژه ارائه گردد که این مهم از همان مدل سازی انجام شده در فرایند طراحی (فصل چهارم) بدست می آید. سپس بر اساس آستانه و مقدار مجاز تغییر شکل زمین، سازه ها و تاسیسات مجاور، ارزیابی ریسک آسیب پذیری آنها انجام گیرد. عوامل اجرایی پروژه ضمن رعایت دقیق روش اجرا، با پایش رفتار پروژه، تغییر شکل های حین اجرا را با روش های معرفی شده ثبت و با پیش بینی مشاور ژئوتکنیک طرح مستمراً مقایسه کنند. انحراف تغییر شکل ها از محدوده پیش بینی شده باید توسط کارشناس مجرب ژئوتکنیک مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار گیرد و در صورت نیاز، تدابیر لازم در هر مرحله اندیشیده شود.

شایان ذکر است، در صورت اجرای پروژه با روش بالا-پایین در مجاورت ساختمان حساس به نشست مانند بناهای تاریخی، پل و نظایر آن، باید نشست و رواداری های مجاز این ساختمان ها از سازمان های مربوطه (میراث فرهنگی، شهرداری و نظایر آن) استعلام گردد. در صورت استفاده از ضوابط این بخش و بیشتر بودن ریسک از حد متوسط، توصیه اکید بر بررسی ضوابط مقاومت (شکست پی) به خصوص در ساختمان های با پی عمیق با مدلسازی دقیق اجزاء این ساختمان ها است.

#### ۵-۲-۱- متغیرهای کلیدی در ارزیابی تاثیر تغییر شکل زمین بر ساختمان های همجوار گود

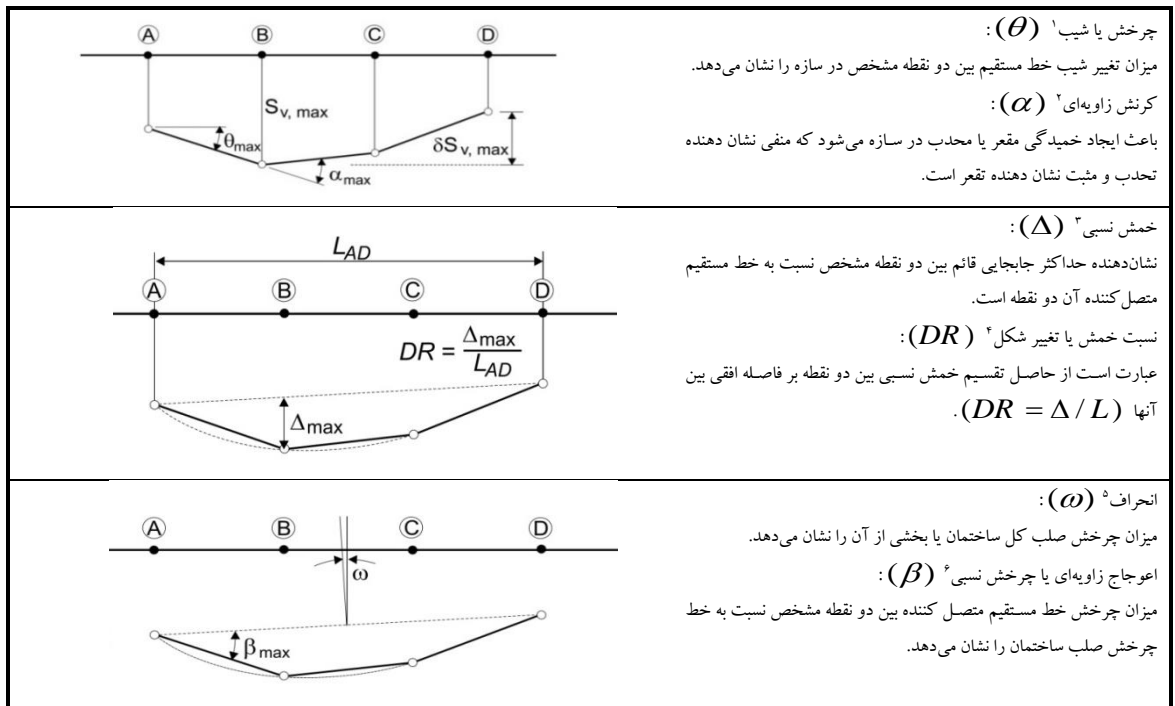
نشست به خودی خود عامل آسیب به ساختمان نیست، بنابراین لازم است متغیرهای دیگری تعریف شود تا بین اطلاعات مربوط به نشست و آسیب ارتباط برقرار شود. متغیرهای کلیدی که براساس نوع پی، ساختمان را تحت

تاثیر قرار می دهند، به شرح ذیل می باشند:

برای ساختمان های با پی منفرد، آسیب عمدتاً در اثر نشست افتراقی پی ها ایجاد می شود. متغیرهای مهم در این نوع ساختمان ها عبارت از، حداکثر اعوجاج زاویه ای،  $\beta_{max}$  و حداکثر نشست قائم در زیر پی،  $S_{max}$  است. برای ساختمان های با پی گسترده، متغیر حداکثر کرنش کششی،  $\epsilon_{max}$ ، که به حداکثر خمش،  $\Delta_{max}$  ساختمان وابسته است، متغیر کلیدی محسوب می شود.

برای ساختمان های بنایی، دو متغیر نسبت خمش ساختمان،  $DR = \Delta/L$  و حداکثر کرنش کششی،  $\epsilon_{max}$ ، متغیرهای مناسب برای بررسی رفتار این نوع ساختمان ها در هنگام نشست است. با استفاده از  $\epsilon_{max}$  می توان هر دو رفتار خمشی و کششی سازه را مشخص کرد. لذا این متغیر به عنوان متغیر کلیدی برای ارزیابی خسارت وارد بر ساختمان محسوب می شود.

متغیرهای مختلف مرتبط با تغییر شکل ساختمان در شکل (۱-۵) نمایش داده شده است.



شکل ۱-۵ متغیرهای مرتبط با تغییر شکل ساختمان در اثر نشست

## ۲-۲-۵- پیش بینی میزان نشست در همجواری های گود

میزان نشست یا تغییر شکل زمین اطراف یک پروژه بالا-پایین، به وسیله روش های مدل سازی عددی (اجزا محدود یا تفاضل محدود) که در فصل چهارم تشریح شد و یا روش های تجربی (و یا تحلیلی) قابل تعیین است.

<sup>۱</sup> Rotation or slope

<sup>۲</sup> Angular strain

<sup>۳</sup> Relative deflection

<sup>۴</sup> Deflection ratio

<sup>۵</sup> Tilt

<sup>۶</sup> Relative rotation or angular distortion



در اکثر مراجع، عنوان شده است که فنون مدل‌سازی عددی هنگامی باید مورد استفاده قرار گیرند که نتایج دیگر روش‌ها (تجربی یا تحلیلی) بیانگر تجاوز تغییر شکل از حد مجاز و یا اعوجاج زاویه‌ای در مستحدثات اطراف پروژه باشد. اما در این راهنما تاکید می‌شود مقادیر تغییر شکل‌ها (و سایر متغیرهای کلیدی) و نشست‌های ناشی از اجرا با روش بالا-پایین بر محیط اطراف، با به‌کارگیری روش‌های عددی تعیین گردد. در فصل چهارم، ضرورت و روش مدل‌سازی ژئوتکنیکی پروژه تشریح شد. در این حالت، حتی در جهت اطمینان می‌توان از مدل‌سازی سازه‌های اطراف به صورت تیر یا قاب نیز خودداری کرد و تغییر مکان میدان آزاد برای سازه‌ها (با در نظر گرفتن بار معادل آنها) در نظر گرفته شود. به عبارتی هنگام استفاده از روش‌های عددی جهت تخمین تغییر مکان زمین، بار و اثرات هندسی موجود ساختمان‌ها، بزرگراه‌ها، مسیر ریلی و دیگر سازه‌های زیربنایی باید در مدل اعمال شود.

### ۵-۲-۳- تعیین شاخص آسیب‌پذیری ساختمان

به‌طور کلی آسیب‌های ناشی از تغییر شکل زمین بر سازه‌های اطراف را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد:

- آسیب به نما و زیبایی عمومی بنا.
- اختلال در بهره‌برداری از سازه یا تأسیسات مستقر در آن.
- آسیب به اجزای سازه.
- ایجاد تهدید برای پایداری سازه

خسارات وارد بر ساختمان‌ها و سازه‌های سطحی به نوع و وضعیت ساختمان، مشخصات سازه و همچنین میزان نشست ناشی از خاکبرداری بستگی دارد. بنابراین اولین گام در ارزیابی ریسک ساختمان‌ها، بررسی شرایط ساختمان‌ها و ثبت مشخصات آنها است. بدین ترتیب شاخص آسیب‌پذیری ساختمان  $IV^1$ ، محاسبه و کلاس ساختمان تعیین می‌شود. در شکل (۵-۲) روند انجام عملیات بررسی و نحوه ثبت شرایط ساختمان‌ها نشان داده شده است.

گام‌های زیر در این مرحله باید انجام شود:

- ۱- تخمین حداکثر نشست در نواحی مختلف اطراف پروژه و با استفاده از روش عددی و تعیین محدوده تحت تأثیر پروژه
- ۲- شماره‌گذاری، تعیین و تدقیق محدوده ساختمان‌های واقع در ناحیه تحت تأثیر نشست
- ۳- تهیه نقشه‌های پایه اتوکد براساس فایل پلان و مقاطع، حدنگار (کاداستر) و تدقیق‌های انجام شده بر اساس نقشه‌برداری محل و تهیه کروکی برای هر کدام از ساختمان‌ها
- ۴- بازدید میدانی به منظور ثبت مشخصات ساختمان‌های واقع در محدوده تأثیر پروژه، تهیه عکس‌های مشخصه و تکمیل فرم‌های ارزیابی وضعیت ساختمان ( $BCS^2$ )
- ۵- تکمیل جداول شاخص آسیب‌پذیری ساختمان‌ها (جداول ۵-۱ تا ۵-۷) براساس اطلاعات ثبت شده در مراحل ۳ و ۴ و محاسبه شاخص آسیب‌پذیری

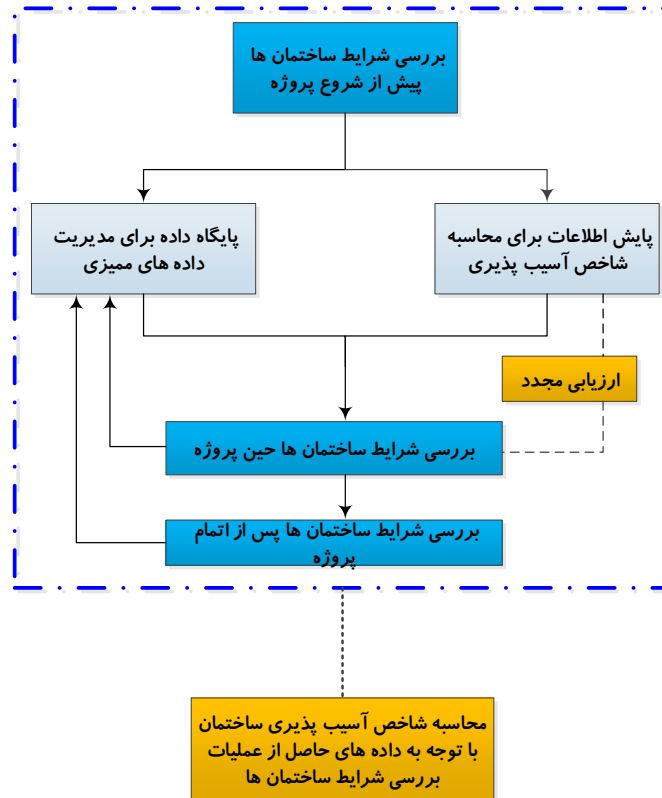
<sup>1</sup> Index of Vulnerability

<sup>2</sup> Building Condition Survey



۶- طبقه‌بندی ساختمان‌ها براساس شاخص آسیب‌پذیری

شاخص آسیب‌پذیری ساختمان، *IV* باید براساس مجموع معیارها تعیین گردد. شاخص آسیب‌پذیری شامل رفتار سازه‌ای ساختمان، وضعیت قرارگیری و جهت‌گیری ساختمان نسبت به پروژه، عملکرد سازه‌ای (درجه اهمیت) بنا، وضعیت معماری بنا و شرایط فعلی بنا است.



شکل ۵-۲ روند انجام عملیات بررسی و ثبت شرایط ساختمان‌ها

جدول ۵-۱ متغیرهای مورد بررسی برای تعیین شاخص آسیب

متغیرهای مورد بررسی در محاسبه شاخص آسیب‌پذیری	حداکثر امتیاز
رفتار سازه‌ای ساختمان	۲۵
المان‌های سازه‌ای افقی	۶
المان‌های سازه‌ای قائم	۶
پی - نحوه دریافت اطلاعات	۴
نوع کارهای تعمیراتی (در صورت انجام)	۶
وجود طبقه زیرزمین	۳
جهت‌گیری (Orientation) و موقعیت بنا نسبت به دیواره گود	۲۵
جهت‌گیری	۱۰
اثر گروه ساختمان‌ها	۱۵
عملکرد سازه‌ای بنا (کاربری)	۱۰
مشخصات معماری بنا	۲۰
تاریخی/میراث فرهنگی	۱۲
نوع دیوارهای غیر باربر داخلی	۴
نمای ساختمان	۴
شرایط فعلی ساختمان	۲۰
عمر ساختمان	۸
نشانه‌های نشست در محیط اطراف	۴
نوع ترک‌ها	۸



جدول ۲-۵ محاسبه شاخص آسیب پذیری ساختمان-شاخص رفتار سازه‌ای ساختمان

محاسبه شاخص آسیب پذیری			
الف- رفتار سازه‌ای ساختمان			
حداکثر امتیاز: ۲۵			
مقدار	شاخص	مشخصه	
الف-۱ المان‌های سازه‌ای افقی			
-	۶	چوبی	
-	۰	بتن مسلح	
-	۴	طاق ضربی (آجر و فلز)	
-	۳	تیرچه و بلوک	
الف-۲ المان‌های سازه‌ای قائم			
-	۶	بنایی	
-	۰	فلزی	
-	۳	بتن مسلح	
-	۴	ترکیبی	
الف-۳ منبع اطلاعات ساخت			
-	۲	مستقیم (از نقشه‌ها، پیمانکار)	
-	۶	مستقیم (مالک ساختمان، ساکنین، مشابهت با ساختمان‌های شناخته شده)	
الف-۴ نوع کارهای تعمیراتی (در صورت نیاز)			
-	۲	نامشخص	
-	۶	افزایش بازشوها در نمای خارجی یا دیوارهای باربر	
-	۰	اصلاحات با حفظ ساختار قبلی	
-	۳	اصلاحات با بهبود ساختار قبلی	
-	۵	تقویت (سازه باربر یا پی)	
-	۴	اضافه کردن طبقه	
-	۰	کارهای داخلی جزئی	
الف-۵ وجود طبقه زیرزمین			
-	۰	خیر	
-	۱	بله	
-	۲۵	مجموع	

جدول ۳-۵ محاسبه شاخص آسیب پذیری ساختمان-شاخص جهت گیری ساختمان.

محاسبه شاخص آسیب پذیری					
ب- جهت گیری (Orientation) و موقعیت ساختمان نسبت به دیواره گود					
حداکثر امتیاز: ۲۵					
مقدار		شاخص		مشخصه	
LT	ST	LT	ST	جهت گیری	ب-۱
	-	۱۰	۵	$L1/L2 < 0.5$	ب-۱-۱
	-	۶	۶	$0.5 < L1/L2 < 2$	ب-۱-۲
	-	۵	۱۰	$L1/L2 > 2$	ب-۱-۳
ب-۲ اثر گروه ساختمانیها					
	-	۱۵		ساختمان های منفرد نوع $(H2 > A(L1, L2))$	ب-۲-۱
	-	۵		ساختمان های منفرد نوع $(H2 < B(L1, L2))$	ب-۲-۲
	-	۱۰		ساختمان های منفرد نوع $(H2 < H, L2 > C(L1))$	ب-۲-۳
	-	۱۰		ساختمان های منفرد نوع $(H2 > H, L2 < D(L1))$	ب-۲-۴
	-	۷	۰	گروه ساختمان های موازی با دیواره ترانشه	ب-۲-۵
	-	۰	۷	گروه ساختمان های عمود با دیواره ترانشه	ب-۲-۶
ب-۳ موقعیت نسبت به حفاری (مقادیر آن در دو $B1$ و $B2$ ضرب می شود)					
	-	۱		$X/H < 1$	ب-۳-۱
	-	۰/۵		$1 < X/H < 2$	ب-۳-۲
	-	۰		$X/H > 3$	ب-۳-۳
-		۲۵		مجموع	



ادامه جدول ۳-۵

توضیحات	
$L_1$ : طول میانگین ساختمان در جهت موازی با دیواره گود	
$L_2$ : طول میانگین ساختمان در جهت عمود بر دیواره گود	
$S.T$ : کوتاه مدت	
$L.T$ : بلند مدت	
$x$ : فاصله ساختمان تا محور دیواره گود	
$H$ : عمق گود	

جدول ۴-۵ محاسبه شاخص آسیب پذیری ساختمان-شاخص کاربری ساختمان

محاسبه شاخص آسیب پذیری		
ج- عملکرد ساختمان		
حداکثر امتیاز: ۱۰		
مقدار	شاخص	مشخصه
		المان‌های سازه‌ای افقی
ج-۱		اهمیت خیلی زیاد (بیمارستان‌ها، تاسیسات، بناهای حاوی تجهیزات بسیار حساس، بناهای یادبود و تاریخی)
ج-۱-۱	۱۰	-
ج-۲		اهمیت زیاد (مدارس، مساجد، استادیوم‌ها، سینماها، فروشگاه‌ها)
ج-۲-۱	۷	-
ج-۳		اهمیت متوسط (همه ساختمان‌ها به غیر از دو گروه دیگر از جمله ساختمان‌های مسکونی)
ج-۳-۱	۵	-
ج-۴		اهمیت کم (پارکینگ‌ها، ساختمان‌های متروکه)
ج-۴-۱	۰	-
	۱۰	مجموع

جدول ۵-۵ محاسبه شاخص آسیب پذیری ساختمان-شاخص معماری ساختمان

محاسبه شاخص آسیب پذیری		
د- مشخصات معماری ساختمان		
حداکثر امتیاز: ۲۰		
مقدار	شاخص	مشخصه
		تاریخی / میراث فرهنگی
د-۱		خیر
د-۱-۱	۰	-
د-۲		بله
د-۲-۱	۱۲	-
		دیوارهای غیر باربر داخلی
د-۲		چوبی
د-۲-۱	۱	-
د-۲		آجری
د-۲-۲	۴	-
د-۲		پنل‌های پیش‌ساخته
د-۲-۳	۳	-
د-۲		آلومینیوم و شیشه
د-۲-۴	۲	-
		نمای خارجی
د-۳		کاشی‌کاری هنری یا ترکیبی (آلومینیوم، شیشه)
د-۳-۱	۴	-
د-۳		معمولی (سنگی، آجری)
د-۳-۲	۳	-
د-۳		پلاستر (سیمانی)
د-۳-۳	۲	-
د-۳		غیره
د-۳-۴	۱	-
	۲۰	مجموع



جدول ۵-۶ محاسبه شاخص آسیب پذیری ساختمان-شاخص شرایط فعلی ساختمان

محاسبه شاخص آسیب پذیری			
ه- شرایط فعلی ساختمان			
حداکثر امتیاز: ۲۰			
مقدار	شاخص	مشخصه	
عمر ساختمان			۱-ه
-	۰	نوساز	۱-۱-ه
-	۲	کمتر از ۱۰ سال	۲-۱-ه
-	۳	بین ۱۰ تا ۲۰ سال	۳-۱-ه
-	۴	بین ۲۰ تا ۳۰ سال	۴-۱-ه
-	۵	بین ۳۰ تا ۴۰ سال	۵-۱-ه
-	۸	بیشتر از ۴۰ سال	۶-۱-ه
نشانه های نشست در محیط اطراف			۲-ه
-	۴	بله	۱-۲-ه
-	۰	خیر	۲-۲-ه
ترک ها			۳-ه
-	۸	ترک های اصلی با شبکه وسیع	۱-۳-ه
-	۵	ترک با شبکه محدود	۲-۳-ه
-	۳	ترک های مجزا و فرعی	۳-۳-ه
-	۱	ترک بر روی پلاستر	۴-۳-ه
-	۰	عدم مشاهده ترک	۵-۳-ه
-	۲۰	مجموع	

جدول ۵-۷ جمع معیارهای شاخص آسیب پذیری ساختمان

محاسبه شاخص آسیب پذیری			
مقدار	حداکثر شاخص	مشخصه	
-	۲۵	رفتار سازه ای ساختمان	الف
-	۲۵	جهت گیری (Orientation) و موقعیت ساختمان نسبت به دیواره ترانشه	ب
-	۱۰	عملکرد سازه ای ساختمان	ج
-	۲۰	مشخصات معماری ساختمان	د
-	۲۰	شرایط فعلی ساختمان	ه
-	۱۰۰	مجموع	

شاخص آسیب پذیری یک مشخصه ذاتی بنا است، که بیانگر فاصله بنا با وضعیت ایده آل است. در واقع هرچه شاخص آسیب پذیری بیشتر باشد، بدین معنی است که وضعیت بنا نامناسب تر است و رواداری های آن در برابر تغییر شکل های اضافی، کوچکتر خواهد بود. شاخص آسیب پذیری ساختمان که مشخص کننده درجه آسیب پذیری (کلاس ساختمان) آن است به ۵ رده کیفی مطابق با جدول (۵-۸) تفکیک شده است.

جدول ۵-۸ رده بندی توصیفی ساختمان براساس شاخص آسیب پذیری (تعیین کلاس ساختمان)

۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	۰-۲۰	امتیاز شاخص
زیاد	متوسط	کم	خفیف	قابل صرف نظر	شاخص آسیب پذیری بنا
ه	د	ج	ب	الف	درجه آسیب پذیری بنا (کلاس ساختمان)

### ۵-۲-۴- برآورد ریسک ساختمان ها

در شکل (۵-۳) روندنمای انجام عملیات بازرسی و ثبت مشخصات و مطالعات برآورد ریسک ساختمان ها نشان داده شده است. بعد از تحلیل نشست و تعیین حوزه تأثیر گودبرداری بالا-پایین و مشخص شدن ساختمان های واقع در حوزه تأثیر، میزان نشست در محل پی هر ساختمان محاسبه شده و متغیرهایی که بیانگر عکس العمل

ساختمان در برابر تغییرشکل‌های پیش‌بینی شده است  $(\Delta l, \varepsilon_h, \beta, S_{max})$ ، برآورد می‌شود. سپس با استفاده از این متغیرها، رده آسیب محتمل برای هر ساختمان بر اساس معیار برلند<sup>۱</sup> (۱۹۹۷) و رانکین<sup>۲</sup> (۱۹۸۸) برآورد می‌شود. سپس با تلفیق نتایج به‌دست آمده با مقدار شاخص آسیب‌پذیری ساختمان (منتج از عملیات بررسی شرایط ساختمان‌ها)، رده ریسک ساختمان‌ها با استفاده از ماتریس برآورد ریسک آنها تعیین می‌شود. شایان ذکر است روابط اختصاصی برای گودبرداری یا اجرای بالا-پایین وجود ندارد و از نزدیکترین روابط موجود استفاده می‌شود.

در جدول (۹-۵) طبقه‌بندی برلند برای بررسی اثر حفاری زیرزمینی تونل بر سازه‌های بنایی (با پی و کلاف) و سازه‌های با پی سطحی ارائه شده است؛ که بر مبنای نسبت انحراف،  $\Delta_{max}/l$  (شکل ۵-۴) در ارتباط با حداکثر کرنش کششی،  $\varepsilon_{max}$  است. این طبقه‌بندی در شکل (۵-۵) شرح داده شده است. همانطور که در شکل (۵-۵) مشاهده می‌گردد مقادیر مختلف کرنش افقی برای رده‌بندی انواع آسیب‌ها استفاده شده است. مقدار کرنش افقی،  $\varepsilon_h$ ، با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود.

$$\varepsilon_h = \left( \frac{dS_H}{dy} \right) \quad (۱-۵)$$

که در آن:

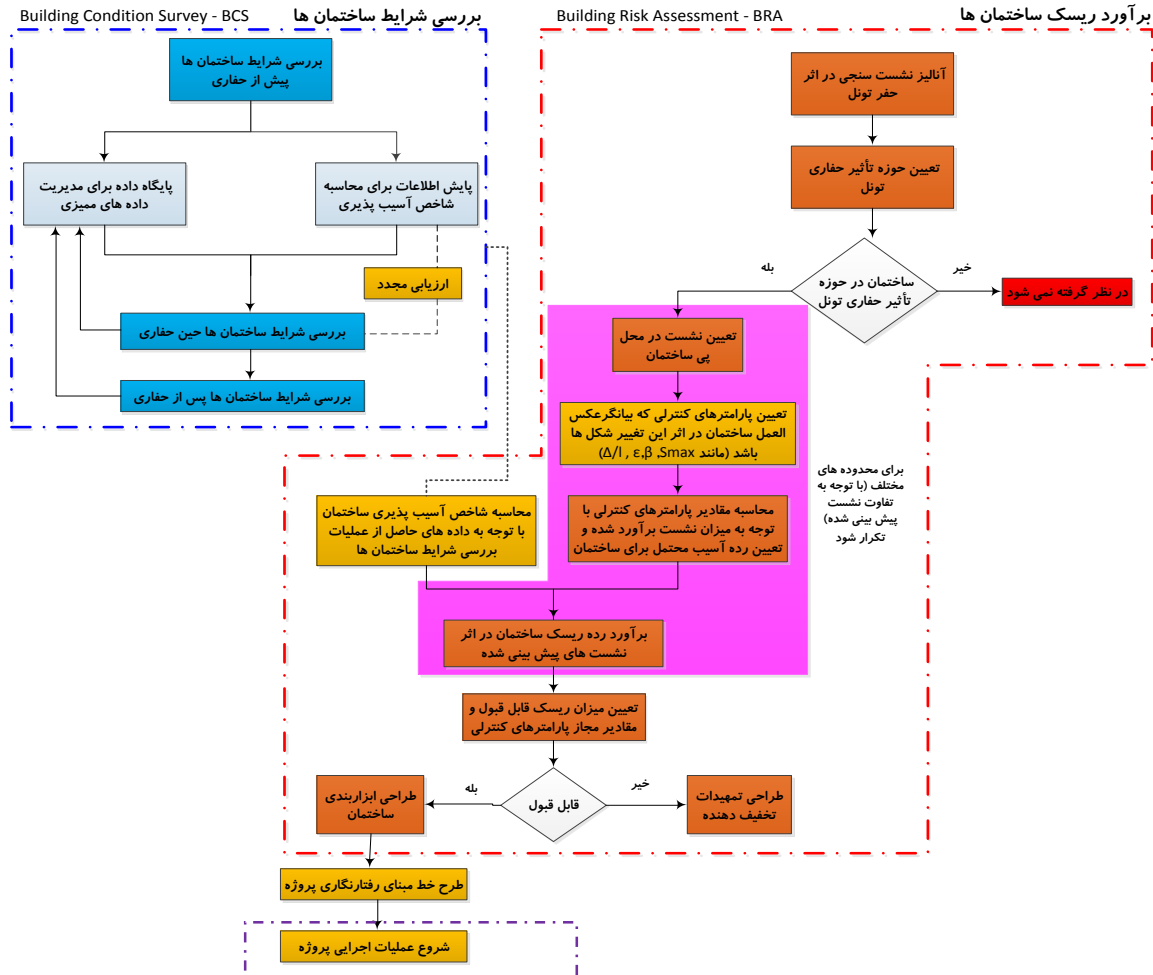
$S_H$ : تغییر مکان سطحی افقی

$y$ : فاصله افقی نقطه مورد نظر از محور حفاری

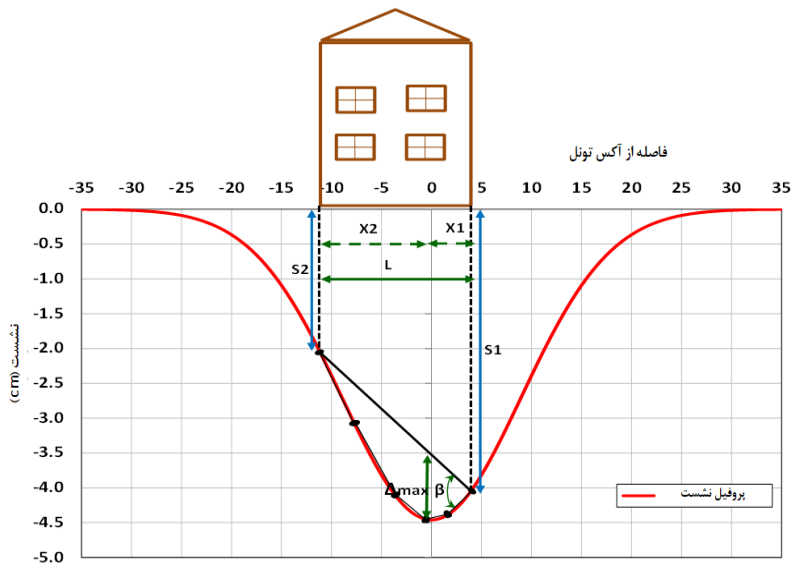
طبقه‌بندی رانکین (۱۹۸۸) نیز برای قاب‌های سازه‌ای با پی منفرد و یا عمیق (جایی که فاصله بین شمع‌ها به اندازه‌ای است که می‌توان از اثر گروهی آنها صرف‌نظر نمود)، استفاده می‌شود و این طبقه‌بندی بر اساس مقادیر حدی نشست،  $S_{max}$  و تغییرشکل زاویه‌ای،  $\beta_{max}$  است (جدول ۵-۱۰).

<sup>۱</sup> Burland

<sup>۲</sup> Rankine

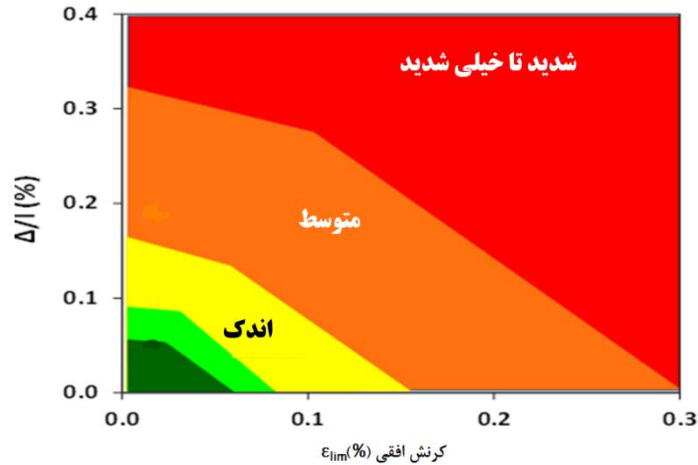


شکل ۳-۵ روند انجام عملیات بررسی و ثبت شرایط ساختمان‌ها و مطالعه برآورد ریسک آنها



شکل ۳-۵-۴ نمایش متغیرهای کنترلی در ارزیابی ساختمان به روش برلند.





بسیار شدید 5 شدید 4 متوسط 3 کم 2 خیلی کم 1 قابل صرف نظر کردن 0

شکل ۵-۵ رده بندی آسیب ها با توجه به نسبت انحراف و کرنش کششی (برلند، ۱۹۹۷).

ارتباط بین دسته بندی خسارت<sup>۱</sup> و شاخص آسیب پذیری ساختمان،  $IV$ ، با کرنش کششی حدی،  $\epsilon_{lim}$ ، در طبقه بندی رانکین، با حداکثر نشست،  $S_{max}$ ، و حداکثر اعوجاج زاویه ای،  $\beta_{max}$ ، در طبقه بندی برلند، در جدول (۵-۱۱) ارائه شده است. نکته قابل توجه، استفاده از ضریب کاهش،  $FR$ ، در تعیین حدود مجاز متغیرهای کنترل کننده است. این ضریب برای در نظرگیری حدود سخت گیرانه تر برای ساختمان هایی که از شاخص آسیب پذیری بالاتری برخوردارند، در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر مقادیر حدی،  $S_{max}$ ،  $\beta_{max}$  و  $\epsilon_{lim}$  در ساختمان های با شاخص آسیب پذیری ساختمان بیشتر، بر عدد  $FR$  تقسیم شده تا مقادیر حدی سخت گیرانه تری را ارائه نماید (در اعداد جدول ۵-۱۱ اعمال شده است).

جدول ۵-۹ طبقه بندی آسیب ها برلند و همکاران (۱۹۷۷)

متغیر کنترلی (کرنش کششی، $\epsilon_{lim}(\%)$ )	بازشدگی ترک (mm)	توصیف نمونه های بارز آسیب	شدت آسیب	دسته بندی آسیب
۰ - ۰/۰۵	< ۰/۱	ترک های مویی	قابل صرف نظر کردن	(۰) نمای ساختمان
۰/۰۵ - ۰/۰۷۵	< ۱	ترک های ریز که با نازک کاری (نوارایی) قابل اصلاحند. آسیب عموماً محدود به پرداخت کاری دیوارهای داخلی است. با بررسی های دقیق تر احتمال آشکار شدن برخی ترک ها در دیوارهای خارجی آجری یا بنایی وجود دارد.	بسیار کم (بدون اهمیت)	(۱) نمای ساختمان
۰/۰۷۵ - ۰/۱۵	< ۵	ترک های ریز که به سادگی پر می شود. شاید نیاز به نوآرایی باشد. ترک های عودکننده را می توان با یک آستر مناسب پوشاند. ترک های خارجی قابل رؤیت بوده و به منظور اطمینان از آب بندی نیاز به بندکشی مجدد وجود دارد. درها و پنجره ها اندکی گیر می کند.	کم	(۲) نمای ساختمان
۰/۱۵ - ۰/۳	۱۵ - ۵ (ترک های بسیاری با بازشدگی بیش از ۳ mm)	ترک ها نیاز به بازکردن و تعمیر با عملیات بنایی دارد. بندکشی در دیوارهای خارجی و اندکی کارهای بنایی برای جایگزینی بخش هایی از دیوار نیاز است. درها و پنجره ها گیر می کند. لوله های سرویس ترک خورده یا شکاف بر می دارد. اغلب اوقات آب بندی معیوب می شود.	محدود	(۳) نمای ساختمان/کارکردی
> ۰/۳	۲۵ - ۱۵ (اما بسته به تعداد ترک ها)	کارهای تعمیراتی وسیع مانند تخریب و جایگزینی بخش هایی از دیوارها، مخصوصاً بالای درها و پنجره ها ضروری است. قاب در و پنجره ها تاب بر داشته و کف بطور قابل ملاحظه ای شیب برمی دارد. دیوارها به طور قابل ملاحظه ای مایل شده یا شکم می دهد. لوله های سرویس شکسته یا می ترکد.	شدید	(۴) کارکردی/قابلیت استفاده
	> ۲۵ (اما بسته به تعداد ترک ها)	کارهای تعمیراتی عمده شامل بازسازی بخشی یا کامل در بعضی قسمت ها. تیرهای سقفی قابلیت تحمل بار نداشته، دیوارهای به شدت مایل شده و نیاز به شمع زنی دارد. پنجره ها تاب برداشته و می شکنند. خطر ناپایداری وجود دارد.	بسیار شدید	(۵) سازه ای

<sup>1</sup> Damage category



جدول ۵-۱۰ طبقه‌بندی ارزیابی خسارت وارد بر ساختمان قابی با پی منفرد، (رانکین، ۱۹۸۸).

متغیرهای کنترلی		توصیف خسارت	شدت خسارت	دسته‌بندی آسیب
$\beta_{max}$	$S_{max}$ (mm)			
$<1 \div 500$	$<10$	بدون آسیب سطحی	ناچیز، غیرقابل مشاهده	۱ (ظاهری)
$1 \div 500 - 1 \div 200$	$10 - 50$	خسارت سطحی بدون اهمیت سازه‌ای	سبک	۲ (ظاهری)
$1 \div 200 - 1 \div 150$	$50 - 75$	خسارت سطحی و خسارت به لوله‌ها	متوسط	۳ (عملکردی)
$>1 \div 150$	$>75$	خسارت به سازه و به لوله‌ها	زیاد	۴ (سرویس‌دهی و سازه‌ای)

جدول ۵-۱۱ ارتباط بین شاخص آسیب‌پذیری و رده خرابی

دسته‌بندی خسارت	شاخص آسیب‌پذیری ساختمان (۱)										
	قابل صرفنظر		بسیار کم		کم		متوسط		شدید		
	$0 < IV < 20$		$20 < IV < 40$		$40 < IV < 60$		$60 < IV < 80$		$80 < IV < 100$		
	ضریب کاهنده، $F_R$										
	$F_R=1/0$		$F_R=1/25$		$F_R=1/50$		$F_R=1/75$		$F_R=2/0$		
متغیر کنترلی											
$\epsilon_{lim} [\%]$		$\epsilon_{lim} [\%]$		$\epsilon_{lim} [\%]$		$\epsilon_{lim} [\%]$		$\epsilon_{lim} [\%]$			
min.		max.		min.		max.		min.		max.	
۰	$0/000$	$0/050$	$0/000$	$0/040$	$0/000$	$0/033$	$0/000$	$0/029$	$0/000$	$0/025$	
۱	$0/050$	$0/075$	$0/040$	$0/060$	$0/033$	$0/050$	$0/029$	$0/043$	$0/025$	$0/038$	
۲	$0/075$	$0/150$	$0/060$	$0/120$	$0/050$	$0/100$	$0/043$	$0/086$	$0/038$	$0/075$	
۳	$0/150$	$0/300$	$0/120$	$0/240$	$0/100$	$0/200$	$0/860$	$0/171$	$0/075$	$0/150$	
۵ تا ۴	$>0/300$		$>0/240$		$>0/200$		$>0/171$		$>0/150$		

دسته‌بندی خسارت	شاخص آسیب‌پذیری ساختمان (۲)										
	قابل صرفنظر		بسیار کم		کم		متوسط		شدید		
	$0 < IV < 20$		$20 < IV < 40$		$40 < IV < 60$		$60 < IV < 80$		$80 < IV < 100$		
	ضریب کاهنده، $F_R$										
	$F_R=1/0$		$F_R=1/25$		$F_R=1/50$		$F_R=1/75$		$F_R=2/0$		
متغیر کنترلی											
$S_{max}$ [mm]		$\beta_{max}$		$S_{max}$ [mm]		$\beta_{max}$		$S_{max}$ [mm]		$\beta_{max}$	
۱	$<10$	$<1 \div 500$	$<8$	$<1 \div 625$	$<6/7$	$<1 \div 750$	$<5/7$	$<1 \div 875$	$<5$	$<1 \div 1000$	
۲	$10 - 50$	$1/200 - 1/500$	$8 - 40$	$1/250 - 1/625$	$6/7 - 23$	$1/300 - 1/750$	$5/7 - 28/5$	$1/350 - 1/875$	$5 - 25$	$1/400 - 1/1000$	
۳	$50 - 75$	$1/50 - 1/200$	$40 - 60$	$1/63 - 1/250$	$33 - 50$	$1/75 - 1/300$	$28/5 - 43$	$1/88 - 1/350$	$25 - 37/5$	$1/1000 - 1/400$	
۴	$>75$	$>1 \div 50$	$>60$	$>1 \div 63$	$>50$	$>1 \div 75$	$>43$	$>1 \div 88$	$>37/5$	$>1 \div 1000$	

بنابراین با توجه به نوع سازه، ابتدا شاخص آسیب،  $IV$ ، و سپس براساس مدل‌سازی عددی (یا روش‌های تحلیلی و تجربی) متغیرهای کنترلی ( $\Delta l$ ,  $\epsilon_h$ ,  $\beta$ ,  $S_{max}$ ) تعیین می‌شود و براساس جدول (۵-۱۲) دسته‌بندی خسارت تعیین می‌شود.

ترکیب این دو طبقه‌بندی، ماتریس ریسک نشست ساختمان‌ها را تشکیل می‌دهد که منتج به تعیین کلاس ریسک ساختمان مطابق با جدول (۵-۱۲) می‌گردد. در این ماتریس، دسته آسیب احتمالی بیانگر احتمال وقوع حادثه (با توجه به نشست پیش‌بینی شده) و کلاس ساختمان، معرف شدت اثر آن است. توصیف رده‌های مختلف ریسک نشست ساختمان‌ها به‌طور خلاصه در جدول (۵-۱۳) اشاره شده است.



جدول ۱۲-۵ ماتریس تعیین دسته‌بندی ریسک ساختمان با توجه به کلاس ساختمان و رده آسیب محتمل.

کلاس ساختمان	رده خرابی یا آسیب					
	۰	۱	۲	۳	۴	۵
A	I	I	I	II	III	IV
B	I	I	II	III	IV	V
C	I	II	II	III	IV	V
D	I	II	III	IV	V	V
E	I	III	IV	V	V	V

جدول ۱۳-۵ توصیف رده‌های مختلف ریسک.

توصیف	رده ریسک
قابل چشم‌پوشی، رفتارنگاری ساختمان حین اجرا به روش بالا-پایین	I
ریسک پایین، رفتارنگاری ساختمان حین اجرا به روش بالا-پایین	II
ریسک متوسط، تمهیدات تخفیف دهنده مد نظر قرار گیرد	III
ریسک بالا، نیاز به تمهیدات تخفیف دهنده به منظور پیشگیری از آسیب	IV
ریسک بسیار بالا، آسیب غیرقابل اجتناب	V

### ۵-۲-۵- طرح پیشنهادی خط‌مشی حفاظت از ساختمان‌ها

خط‌مشی حفاظت از ساختمان‌ها متناسب با شرایط محلی آن ساختمان‌ها می‌باشد و تابع تصمیم‌گیری بر اساس یک سری از متغیرها مانند کلاس ریسک پیش‌بینی شده، کاربری ساختمان، وضعیت سکونت آن و نظایر آن است که باید براساس قضاوت مهندسی، یک طرح مناسب برای حفاظت از آن ارائه گردد. با در نظر گرفتن این موارد، نوع عملیات حفاظتی برای هر یک از کلاس‌های حفاظت از ساختمان و خط‌مشی حفاظت ساختمان‌ها با در نظر گرفتن معیارهای مهم در جدول (۵-۱۴) پیشنهاد شده است. جدول (۵-۱۴) و جدول (۵-۱۴) به صورت پیشنهاد اولیه است و طرح خط‌مشی می‌بایست بر اساس نظر طراح تدقیق گردد.

جدول ۱۴-۵ تشریح عملیات حفاظتی برای هر یک از کلاس‌های مختلف حفاظت از ساختمان.

کلاس حفاظت	نوع عملیات					
	نصب ابزار نشست سنجی بر روی ساختمان و رفتارنگاری آن	قرائت ابزار با تواتر زیاد	نصب ابزار خاص	اسکافول‌بندی و محافظت خارجی ساختمان	تخلیه احتمالی ساختمان	بهسازی
A	✓	-	-	-	-	-
B	✓	✓	-	✓	✓	-
C	✓	✓	✓	✓	✓	-
D	✓	✓	✓	✓	✓	✓

تعیین و تعریف مقادیر قابل تحمل نشست یا "نشست‌های مجاز" برای انواع مختلف سازه‌ها، به علت پیچیدگی اندرکنش سه بخش سازه، شالوده (عمیق یا سطحی) و خاک، مسئله بسیار مشکلی است که در روش‌های تجربی یا روش‌های نظری، نمی‌توان راه‌حل عام و کلی برای آن یافت. موارد ارائه شده در این بخش در تعیین رده ریسک بر اساس مراجع داخلی و خارجی و برای ساختمان‌های غیر از ساختمان‌های خاص است. نشست مجاز ساختمان‌های خاص (ساختمان با ارزش تاریخی، پل) در اطراف محل پروژه بالا-پایین می‌بایست از سازمان‌های مربوطه استعلام گردد یا طی مطالعاتی مجزا و جامع، نشست قابل تحمل برای سازه مورد نظر، بررسی گردد.



جدول ۵-۱۵ خط مشی حفاظت ساختمان‌ها.

رده ریسک ساختمان	رده آسیب احتمالی بنا			کاربری				کلاس حفاظت °				
	۱۰ و ۱	۳	۴ و ۵	تاریخی	محل تجمع (مانند مدرسه، مسجد و...)	مسکونی	تجاری، اداری	متروکه، بدون سکنه	A	B	C	D
کلاس ریسک	۲											
I, II, III												
				x	x							
IV	x			x	x	x	x					
	x							x				
		x		x	x							
		x					x	x				
		x						x				
			x	x	x	x	x					
V		x		x	x	x	x					
		x						x				
			x	x	x	x						

A: نصب ابزار نشست‌سنجی بر روی ساختمان و رفتارنگاری آن

B: نصب ابزار نشست‌سنجی بر روی ساختمان و رفتارنگاری آن در تواتر زیاد. قبل از گودبرداری به روش بالا-پایین نیاز به اقدامات پیشگیرانه نیست اما حین گودبرداری باید آمادگی لحظه‌ای لازم برای با مقابله خطرات احتمالی وجود داشته باشد و در صورت لزوم باید اقدامات تخفیف دهنده مانند اسکافولدنبدی و محافظت خارجی ساختمان و حتی تخلیه ساختمان در دستور کار قرار گیرد.

C: نصب ابزار اضافی بر روی ساختمان به منظور رفتارنگاری دقیق جابجایی‌ها و رفتارنگاری آن در تواتر زیاد الزامی است. بررسی شرایط عمومی ساختمان باید به فاصله ۲۰ متر (۲ برابر قطر حفاری) قبل از رسیدن سینه کار و ۵ روز بعد از عبور سینه کار در دستور کار قرار گیرد. قبل از حفاری بالا-پایین نیاز به اقدامات پیشگیرانه نیست اما حین حفاری باید آمادگی لحظه‌ای لازم برای با مقابله خطرات احتمالی وجود داشته باشد و در صورت لزوم باید اقدامات تخفیف دهنده مانند اسکافولدنبدی و محافظت خارجی ساختمان و حتی تخلیه ساختمان در دستور کار قرار گیرد.

D: اقدامات تخفیف دهنده و پیشگیرانه (مانند تزریق و بهسازی زمین) باید قبل از حفاری انجام شود. نصب ابزار اضافی بر روی ساختمان به منظور رفتارنگاری دقیق جابجایی‌ها و رفتارنگاری آن در تواتر زیاد الزامی است. بررسی شرایط عمومی ساختمان باید به فاصله ۲۰ متر قبل از رسیدن سینه کار و ۵ روز بعد از عبور سینه کار در دستور کار قرار گیرد. در صورت لزوم و یا در صورت مزیت اقتصادی، تخلیه ساختمان هم می‌تواند در دستور کار قرار گیرد.

اگر مطالعات، تمهیدات حفاظت C یا D را نشان دهد، پیشنهاد می‌شود قبل از هر گونه اقدامی، صحت‌سنجی مطالعات (در صورت امکان) با شرایط اجرا صورت پذیرد. به طور مثال با توجه گودبرداری مرحله‌ای در روش بالا-پایین و ساخت تدریجی سازه، انطباق مراحل مطالعات با آنچه در واقعیت انجام می‌شود، اعم از تقدم و تاخر ساخت و خاکبرداری و ساخت اجزاء سازه‌ای صحت‌سنجی می‌شود.

### ۵-۳- تاثیر تغییر شکل ناشی از گودبرداری به روش بالا-پایین بر تاسیسات شهری

معمولاً در ساخت به روش بالا-پایین، برخورد با تاسیسات شهری کمتر از روش‌هایی مانند میخکوبی است؛ اما تاثیر تغییر شکل‌ها بر تاسیسات همجوار گود حتی اگر به روش بالا-پایین هم باشد، همواره وجود دارد. به منظور بررسی اثر تغییر شکل‌های ناشی از گودبرداری و اجرا به روش بالا-پایین، مقایسه نشست ایجاد شده با مقادیر مجاز نشست انجام می‌شود. مقادیر مجاز نشست تاسیسات شهری باید از سازمان‌های مربوطه اخذ گردد. لیکن مبانی ارائه شده در این بخش، عمدتاً بر اساس روابط تجربی است و رعایت محدودیت‌ها به صورت پیشنهاد است. در صورت رعایت نشدن محدوده‌های تجربی، لازم است با در نظر گرفتن جنس تاسیسات، نوع بستر تاسیسات و دیگر ملاحظات اجرایی و مستقل از طراحی روش اجرای بالا-پایین، هر یک از مقادیر از قبیل نشست یا چرخش با نظر طراح از طریق مدل‌سازی عددی محاسبه شود. در بررسی اثرات نشست بر تاسیسات شهری، می‌بایست کنترل‌های ذیل انجام گیرد.

### ۵-۳-۱- مقایسه شیب ایجاد شده ناشی از احداث سازه به روش بالا-پایین در محل تاسیسات شهری با شیب مجاز تجربی

نشست حداکثر ایجاد شده در سطح زمین می‌بایست از محاسبات عددی تعیین شود. براساس مطالعات تجربی در خاکبرداری با عمق مرکز گود برابر  $Z_0$ ، متغیر کنترل کننده ناحیه تاثیر خاکبرداری بر پلان سطح زمین،  $i$ ، در خاک‌های رسی حدود ۵۰ درصد عمق و در خاک‌های ماسه‌های حدود ۲۵ درصد عمق می‌باشد. مقدار،  $i$ ، در عمق تاسیسات شهری،  $Z_p$ ، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$i = z_o \left( 0.175 + 0.325 \left( 1 - \frac{z_p}{z_o} \right) \right) \quad (2-5)$$

در جدول (۵-۱۶) مقادیر تجربی مجاز برای شیب، براساس حداکثر نشست ناشی از خاکبرداری زیرزمینی در سطح زمین، ارائه شده است:

جدول ۵-۱۶ مقادیر مجاز شیب در تاسیسات شهری

نوع لوله	حد مجاز نسبت حداکثر نشست به ناحیه تاثیر خاکبرداری، $S_{max}/i$
لوله‌های نسبتاً صلب و با قطر بیشتر از ۲۰۰ میلی‌متر	۰/۰۱۲
لوله‌های نسبتاً انعطاف‌پذیر و با قطر کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر	۰/۰۱۲ تا ۰/۰۴

### ۵-۳-۲- مقایسه احتمال چرخش اتصالات و بیرون کشیدگی آنها با مقادیر مجاز

با فرض وقوع حداکثر چرخش در محل اتصالات لوله‌ها به صورت محافظه‌کارانه، میزان چرخش برای لوله با عبور عمودی و موازی ناحیه خاکبرداری، به ترتیب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left( \frac{S_{v \max}}{\sqrt{2\pi i}} \right) \quad (3-5)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( 0.4 \frac{S_{v \max}}{i} \right) \quad (4-5)$$

در جدول (۵-۱۷) مقادیر تجربی مجاز برای چرخش اتصالات براساس حداکثر نشست ناشی از خاکبرداری زیرزمینی در سطح زمین، ارائه شده است. میزان کشیدگی دقیقاً برابر تغییر مکان در راستای لوله است.

جدول ۵-۱۷ مقادیر مجاز چرخش در اتصالات تاسیسات شهری.

شرح	چرخش، $\theta$ (°)	کشیدگی، R (mm)
yarn joint-lead سرب و نوع پشم سرب	-	-
yarn joint-lead اتصالات در لوله‌های گاز سالم و نوع پشم سرب	۱	۱۰
yarn joint-lead اتصالات در لوله‌های آب و نوع پشم سرب	۱/۵	۱۵
rubber gasket اتصالات در لوله گاز و یا آب و از نوع لاستیکی	۲/۵	۲۵

### ۵-۳-۳- مقایسه تنش ایجاد شده در تاسیسات شهری با مقادیر مجاز

حداکثر کرنش خمشی و طولی برای لوله‌های با عبور عرضی از مقطع پروژه به شرح زیر است:

$$\frac{d^2 S_{v(y=\sqrt{3}i)}}{dy^2} = 0.446 \frac{S_{v \max}}{i^2} \quad (5-5)$$



$$\frac{dS_h(y = \sqrt{3i})}{dy} = 0.446 + \frac{S_{v \max}}{z_0 - z_p} \quad (6-5)$$

حداکثر کرنش خمشی و طولی برای لوله‌های با عبور موازی مقطع پروژه به شرح زیر است:

$$\frac{d^2 S_{v(x_f \pm i)}}{dx^2} = 0.242 \frac{S_{v \max}}{i^2} \quad (7-5)$$

$$\frac{dS_{h(x_f i)}}{dx} = 0.242 \frac{S_{v \max}}{z_0 - z_p} \quad (8-5)$$

در محاسبه ضریب  $\frac{dS_h(y = \sqrt{3i})}{dy}$  می‌توان از ضریب کاهش  $R_F$  استفاده کرد و لذا کرنش نهایی برابر مقدار زیر است:

$$\epsilon_{py} = R_F \cdot \frac{dS_{hy}}{dy} \quad (9-5)$$

که برای محاسبه ضریب کاهش فوق اطلاعات زیر مورد نیاز است:

$E_p$ : مدول الاستیسیته جنس لوله

$E_g$ : مدول الاستیسیته خاک اطراف لوله

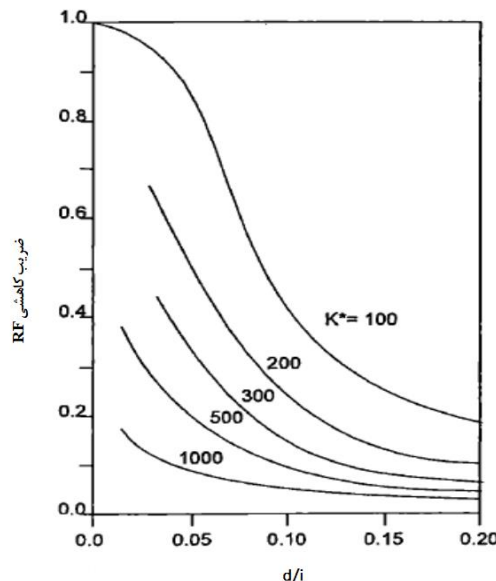
$A_p = \pi(2r_p - t)t$ : سطح مقطع لوله ( $r_p$  شعاع لوله و  $t$  ضخامت لوله)

$R_a = \frac{A_p}{\pi r_p^2}$ : نسبت مساحت لوله

$K^* = E_p R_a / E_g$ : ضریب سختی خاک-لوله

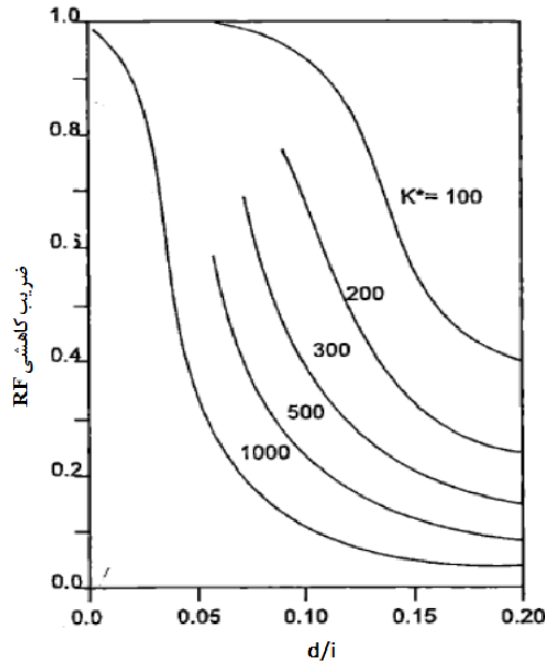
مقدار  $R_F$  با استفاده از شکل (6-5) و شکل (7-5) و برحسب قطر لوله،  $d$ ، به مقدار متغیر کنترل کننده ناحیه

تأثیر خاکبرداری بر پلان سطح زمین،  $i$ ، قابل محاسبه است:



شکل 6-5 ضریب کاهش برای لوله با امتداد عمود بر پروژه (عرضی)





شکل ۵-۷ ضریب کاهش RF برای لوله‌های موازی پروژه

پس از محاسبه مقادیر کرنش خمشی و محوری و جمع جبری آنها، مقادیر کرنش می‌بایست با مقادیر تجربی مجاز مقایسه شود.

مقادیر جدول (۵-۱۸) محافظه‌کارانه است. در بعضی مراجع برای لوله با قطر بالای ۳۰۰ میلی‌متر و جنس لوله ردیف اول جدول، مقدار کرنش تا  $200 \mu\epsilon$  اجازه داده شده است و برای قطرهای کوچکتر عدد  $150 \mu\epsilon$  و  $100 \mu\epsilon$  پیشنهاد شده است. لذا بر اساس قضاوت مهندسی طراح، می‌توان اعداد جدول (۵-۱۸) را افزایش داد.

جدول ۵-۱۸ مقادیر مجاز کرنش

مصالح	کرنش مجاز $\mu\epsilon$		ردیف
	کششی	فشاری	
لوله با ریخته‌گری سرباز و یا ریخته‌گری گریز از مرکز چدن خاکستری	۱۰۰	۱۲۰۰	۱
آهن شکل‌پذیر	۵۰۰	۷۰۰	۲

در صورتی که عملکرد تاسیسات شهری در هر یک از سه مرحله فوق، مورد قبول نباشد، قبل از هر گونه اقدامی مراحل زیر توصیه می‌شود:

- تعیین مقادیر مجاز در هر بخش با استعلام از سازمان‌های مربوط
- استفاده از مدل‌های دقیق عددی به منظور تعیین نشست
- در نظر گرفتن تاسیسات شهری در مدل‌های عددی با رعایت شرایط مرزی و براساس نقشه‌های

چون ساخت

در صورتی که پس از طی مراحل فوق، باز هم تاسیسات شهری عملکرد قابل قبولی نداشته باشند، تشخیص اقدامات بهسازی و یا انحراف برای تاسیسات، برعهده سازمان‌های مربوطه و تعبیه تمهیدات اجرایی در پروژه



جهت کاهش مقادیر نشست، بر عهده طراح است. به عبارت دیگر، عملیات انحراف و یا نگهداری تاسیسات شهری می‌بایست با هماهنگی کامل سازمان‌های مربوط به هر کدام از تاسیسات شهری انجام شود. شایان توضیح است مراحل مدل‌سازی دقیق تاسیسات شهری خارج از مطالعات طراحی بالا-پایین می‌باشد و باید به صورت پروژه‌ای مجزا در نظر گرفته شود.

#### ۵-۴-۱- ابزار دقیق و رفتارنگاری

رفتارنگاری ژئودتیکی-ژئوتکنیکی روشی استاندارد است که امروزه با هدف کاهش ریسک و هزینه‌های احتمالی در پایدارسازی گودها مورد استفاده است. رفتارنگاری جهت اندازه‌گیری تغییرشکل‌های ناشی از اجرای بالا-پایین استفاده می‌شود. با ارزیابی نتایج رفتارنگاری، سطوح ایمنی تعریف شده و بهینه‌سازی مراحل اجرای بالا-پایین ممکن می‌شود. با عنایت به ماهیت متغیر رفتار ژئوتکنیکی و پیچیدگی‌های اجرای بالا-پایین، رفتارنگاری در این روش اجرا از اهمیت زیادی برخوردار است.

در این بخش، ساز و کارهای اصولی یک رفتارنگاری بیان می‌گردد تا حسب نظر طراح و متناسب با اهمیت سازه و همجواری‌های پروژه، رویکرد مناسب رفتارنگاری اتخاذ شود. به بیان دیگر لازم نیست تمامی روش‌های ذکر شده در این بخش برای یک پروژه بالا-پایین به کار گرفته شود؛ بلکه صرفاً پیشنهاد و توصیه است.

#### ۵-۴-۱- اهداف رفتارنگاری پروژه

اهداف رفتارنگاری در یک پروژه ساخت به‌روش بالا-پایین به شرح زیر است:

- جلوگیری از وقوع شرایط بحرانی و غیرمنتظره برای گود، ساختمان‌های موجود در محدوده پروژه، خیابان‌ها و سایر عوارض و تاسیسات سطحی و زیرسطحی و همچنین اسکلت سازه در حال ساخت به‌روش بالا-پایین و تأمین ایمنی آنها
- کنترل متغیرهای طراحی بر اساس نتایج رفتارسنجی و اصلاح روش ساخت در صورت نیاز

#### ۵-۴-۲- مسئولیت رفتارنگاری ژئودتیکی - ژئوتکنیکی

مسئولیت رفتارنگاری ژئودتیکی - ژئوتکنیکی باید بین بخش‌های مرتبط و مسئول تقسیم گردد تا کلیه اطلاعات و موارد مربوطه در نظر گرفته شود. تمامی جزئیات مطرح شده در این گزارش در واقع قسمتی از مدیریت ریسک محسوب می‌شود و جهت اجرای بالا-پایین ضروری است. با دنبال کردن این اصول، رفتار غیر منتظره خاک قابل تشخیص و مدیریت خواهد شد و بر اساس آن می‌توان اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه را انجام داد.

#### ۵-۴-۳- موقعیت و معیارهای مهم برای رفتارنگاری

انجام رفتارنگاری در مراحل مختلف همچون حفاری چاه، خاکبرداری، قطعه‌برداری خاک و به‌طور کلی هر مرحله‌ای که اقدامی محرک برای تغییرشکل خاک را شامل می‌شود، الزامی است. تمرکز بیشتر در رفتارنگاری بر روی موارد زیر است:

- محدوده‌ای که انتظار می‌رود از نظر شرایط ژئوتکنیکی ضعیف باشد.
- محدوده‌ای که تاسیسات زیرسطحی و خیابان‌ها در معرض نشست قرار گرفته‌اند.
- محدوده‌هایی که سازه‌های مجاور در محدوده تاثیر تغییر شکل‌ها قرار دارند.

نشان دادن تأثیر اجرای بالا-پایین بر سطح زمین و سازه‌های موجود در محدوده متأثر شده، مهمترین وظیفه پایش رفتار گود است و در طراحی رفتارنگاری باید تمامی ریسک‌های محتمل در نظر گرفته شود. بخشی از موارد لازم که باید در برنامه رفتارنگاری مدنظر قرار گیرد، شامل موارد زیر است:

- گسیختگی در دیواره‌ها
- تغییر شکل دیواره
- نشست یا تغییر شکل ساختمان‌ها و خیابان‌های اطراف
- نشست ستون‌ها
- پیش بینی حوادث احتمالی و اقدامات متناسب متقابل شامل موارد مختلفی از قبیل:
  ۱. اندازه‌گیری - افزایش تواتر اندازه‌گیری و اضافه کردن روش‌های جدید در صورت نیاز
  ۲. سازماندهی - کاهش مدت زمان ارائه داده‌ها و ایجاد ارتباط مستقیم
  ۳. ساخت - تصحیح یا تغییر روش‌های اندازه‌گیری

#### ۵-۴-۴- روش‌های رفتارنگاری

کلیه داده‌های اندازه‌گیری شده و متغیرهای دیگر در حین ساخت، همچون پیشرفت زمانی، پیشرفت خاکبرداری و ساخت سازه باید ثبت شوند. علاوه بر موارد فوق، روش‌های رفتارنگاری خاص که در ادامه آمده است نیز مدنظر قرار می‌گیرند:

- رفتارسنجی تغییر شکل دیواره‌های گود
- رفتارسنجی ساختمان‌ها و زیرساخت‌های موجود در محدوده تأثیر گود
- رفتارسنجی نشست سطح در نقاط مبناء
- انحراف سنجی در گمانه‌ها
- کشیدگی سنج‌های عمودی چند نقطه‌ای در چال‌ها
- چاه‌های مشاهده‌ای آب زیرزمینی

#### ۵-۴-۵- انواع ابزارهای رفتارنگاری

در پروژه‌های گودبرداری دو نوع کلی ابزار رفتارنگاری استفاده می‌شود:

- ابزارهای سطحی
  - ابزارهای زیرسطحی
- تصویر شماتیکی از نحوه ابزاربندی و رفتارسنجی گودهای عمیق و شمع‌ها در شکل (۵-۸) نشان داده شده است.



شکل ۵-۸ تصویر شماتیکی از ابزاربندی و رفتارسنجی گودهای عمیق شهری و ساختمان‌های مجاور

ابزارهای سطحی برای ثبت نشست‌ها و تغییرشکل‌های روی سطح زمین استفاده می‌شوند. این داده‌ها از آنجایی که مستقیماً بر روی ساختمان‌ها و سازه‌های زیربنایی اثر دارند، دارای اهمیت بسیاری می‌باشند. با استفاده از این داده‌ها، تغییرشکل تمامی سازه‌ها کنترل شده و ریسک کمتر خواهد شد.

#### ۵-۴-۵-۱- رفتارسنجی سطحی

#### ۵-۴-۵-۱-۱- پایش تغییرشکل‌های سطح زمین (نشست‌سنجی)

هرچند در اجرای بالا-پایین به نسبت سایر روش‌ها، تغییرشکل‌ها کنترل شده‌تر می‌باشد، لیکن همچنان پایش نشست از اهمیت برخوردار است. نقاط نشست‌سنجی در ساختمان‌ها، تأسیسات، سازه‌های زیربنایی، خیابان‌ها و سطوحی که در مجاورت پروژه قرار دارند نصب می‌شوند و قرائت‌های زیادی نسبت به یک نقطه مبنا باید صورت پذیرد. این نقاط طبق پلان تصویب شده طراحی نصب می‌شوند.

قالب خروجی و نمایش قرائت‌ها به صورت نمودار نشست در زمان نشان داده می‌شود. اطلاعات مربوط به پیشروی مراحل مختلف اجرای بالا-پایین نیز در نمودارها درج می‌شوند.

مقادیر نشست مجاز در بخش‌های مختلف پروژه بر اساس محاسبات طراحی تعیین خواهند شد. مقادیر نشست مجاز ممکن است در طی ساخت پس از نتایج پایش تغییر یابد. نقاط نشست‌سنجی در مقابل ترافیک و خرابی‌های احتمالی محافظت می‌گردند و در صورت خراب شدن یک نقطه، تعویض آن به سرعت انجام می‌شود. پس از پایان یافتن تغییرشکل‌های به وجود آمده، نقاط نشانه حذف می‌شوند.

در محدوده ساختمان‌ها یا بزرگراه‌های مجاور پروژه، شبکه نشست‌سنجی گسترده‌تری توصیه می‌شود.

## ۵-۴-۱-۲-پایش سازه

پیش از آغاز عملیات اجرایی، تمامی ساختمان‌ها و زیربناهایی که در محدوده محتمل نشست قرار دارند باید از نظر وجود ترکها، شکافها یا خرابی‌های موجود کنترل شوند. این بازرسی‌ها باید از سوی کارفرما سازماندهی شود. در مواردی که تعداد خرابی‌ها بالاست، می‌توان ابتدا خرابی‌های عمده موجود در ساختمان‌ها را پایش کرد. در حین اجرا نیز همچنان پایش مستمر لازم است. روش اولیه برداشت‌ها، جستجو برای یافتن خرابی‌های جدید و کنترل خرابی‌های موجود خواهد بود. می‌توان از ترک‌سنج و درزسنج در کنترل ترک و درزه استفاده نمود. از رفتارسنجی راه دور به وسیله ابزار هشدار دهنده اتوماتیک نیز می‌توان برای سازه‌های مهم استفاده کرد. همچنین نقاط اندازه‌گیری بر روی سازه‌های انتخاب شده برای ترازبایی ارتفاعی نیز نصب خواهند شد.

قالب نمایش و خروجی درزسنج و ترک‌سنج، مقدار تغییر شکل در زمان است. اطلاعات درجه حرارت و پیشروی مراحل خاکبرداری و اجرای بالا-پایین نیز در خروجی درج خواهند شد. قالب خروجی ترازبایی، مقدار نشست در زمان و زاویه انحراف (محاسبه شده از نشست تفاضلی) خواهد بود.

شایان ذکر است مقادیر مجاز مطابق با محاسبات طراحی و شرایط ساختمان باید در نظر گرفته شود. مقادیر مجاز ممکن است در طی ساخت پس از نتایج پایش تغییر یابد.

کلیه ابزارهای مورد استفاده در رفتارنگاری ساختمان‌ها باید در برابر تخریب‌های احتمالی محافظت شوند و در تمام مدت زمان اندازه‌گیری نگهداری و در صورت بروز خرابی تعویض گردند. پس از پایدار شدن تغییرشکل‌های به‌وجود آمده، نقاط نشانه برداشته می‌شوند.

برای بررسی تأثیر ساخت به‌روش بالا-پایین بر ساختمان‌ها، در ابتدا وضعیت اولیه تمامی ساختمان‌های موجود در محدوده محتمل نشست، مستندسازی و سپس ساختمان‌ها بر اساس تأثیرپذیری آنها در اثر عوامل مختلف تقسیم‌بندی خواهند شد. از نظر کلی عوامل مؤثر در ناپایداری ساختمان‌ها را می‌توان به موارد کلی زیر تقسیم‌بندی کرد:

۱. مشخصات ساختمان

۲. مشخصات زمین (محیط) در برگیرنده پروژه

۳. مشخصات پروژه

مهم‌ترین مشخصات ساختمان، پروژه و محیط در برگیرنده آن که تأثیر عمده در ناپایداری ساختمان دارند عبارتند از:

- ابعاد هندسی ساختمان شامل طول، عرض و ارتفاع آن (تعداد طبقات)
- فاصله افقی بر ساختمان‌ها تا دیواره گود
- نوع ساختمان از لحاظ سازه‌ای (فولادی، بتنی و بنایی)
- نوع پی (شامل: بدون پی، منفرد، نواری و گسترده)
- وجود اجزای خاص در ساختمان‌ها (استخر، چشمه، شمع، مهاری، گودبرداری)
- متغیرهای مقاومتی زمین و شرایط آب زیرزمینی
- چاه‌های آب و فاضلاب (محل، جهت، ابعاد، فاصله از پروژه، عمق)



- عبور رشته قنات یا تونل جمع‌آوری آب‌های سطحی و یا هدایت فاضلاب (موقعیت گالری‌های موازی موقعیت گالری‌های متقاطع)
- مشخصات هندسی گود (ارتفاع گودبرداری و نظایر آن)
- جزئیات مراحل اجرای مورد نظر در ساخت به‌روش بالا-پایین

#### ۵-۴-۱-۵-۳- شیب‌سنج<sup>۱</sup>

برای اندازه‌گیری و ثبت میزان خروج از محوریت ساختمان‌های مجاور، از ابزار شیب‌سنج بر روی سطح دیوار خارجی ساختمان و یا کف دال‌های بتنی سازه‌های حساس مجاور گود استفاده می‌شود. شکل (۵-۹) تصویری از شیب‌سنج را نشان می‌دهد. در این خصوص موقعیت‌یابی دقیق محل نصب این ابزار منوط به بررسی و امکان‌سنجی محلی است تا ضمن برخورداری از امنیت کافی، کمترین مزاحمت را برای ساکنین داشته و مهم‌تر اینکه از دیدگاه فنی در موقعیت مناسبی نصب شده باشد. اهمیت پایش این متغیر در مراحل اولیه که تراز خاکبرداری در روش بالا-پایین برابر با تراز پی ساختمان همسایه و زیر آن باشد و هنوز سازه تکمیل نشده باشد، از اهمیت بیشتری برخوردار است.



شکل ۵-۹ تصویری از شیب‌سنج

#### ۵-۴-۱-۵-۴- ترک‌سنج<sup>۲</sup>

از جمله رایج‌ترین ابزار مورد استفاده در رفتارسنجی سازه‌ها ترک‌سنج و یا درزه‌سنج‌ها هستند. این ابزار با اندازه‌گیری میزان بازشدگی و یا جابجایی درزه‌های اجرایی و یا ترک‌های ایجاد شده در سازه‌ها، این امکان را ایجاد می‌نماید تا میزان و نرخ تغییرات پیش از اینکه تخریب ظاهری را در پی داشته باشد، مورد اندازه‌گیری قرار گیرد و رفتار مکانیکی سازه در قبال فعالیت‌های در دست اجرا سنجیده شود. به این منظور می‌توان در موقعیت‌های متفاوت از ترک‌سنج‌های یک تا سه محوره استفاده نمود. با توجه به کاربری ساختمان‌های مجاور پروژه و محدودیت‌های اجرایی، توصیه شده تا این ابزار دارای سنسور و قابلیت قرائت الکتریکی (از فضای بیرون ساختمان‌ها) باشد. شکل (۵-۱۰) ترک‌سنج دو بعدی با گیج قرائت عقربه‌ای را نشان می‌دهد. در صورت بروز ترک‌های نگران‌کننده، پایش تغییرات آن مورد تاکید و توصیه است.

<sup>۱</sup> Tiltmeter

<sup>۲</sup> Crack meter





شکل ۵-۱۰ ترک‌سنج دو بعدی با گیج قرائت عقربه‌ای

#### ۵-۴-۲- رفتارسنجی تغییرشکل‌های محیط در برگیرنده پروژه

##### ۵-۴-۲-۱- انحراف‌سنج گمانه‌ای

انحراف‌سنج گمانه‌ای به منظور رفتارسنجی تغییر مکان افقی دیواره گود در انطباق با محدوده طراحی، عملکرد شمع‌ها و سازه نگهبان و تاثیر ساختمان‌های مجاور موجود در حرکت زمین استفاده می‌شود. همچنین برای رفتارسنجی تاثیر گودبرداری و ساخت به‌روش بالا-پایین بر ساختمان‌های مجاور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

انحراف‌سنج از ابزارهای درون گمانه‌ای انتقال‌دهنده تغییرشکل است که انحراف را در جهت عمود بر راستای دیواره گود اندازه‌گیری می‌کند و با توابع مثلثاتی به جابجایی تبدیل می‌کند. تغییرات در انحراف جانبی، که به‌وسیله داده‌های کنونی و اولیه برداشت‌ها تعیین شده است، تغییر مکان‌های زمین را مشخص می‌کند. رسم تغییرات تجمعی هر دوره اندازه‌گیری، یک مقطع جابجایی با کیفیت بالا را به دست می‌دهد. مقاطع جابجایی برای تعیین بزرگی، عمق، جهت و نرخ جابجایی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

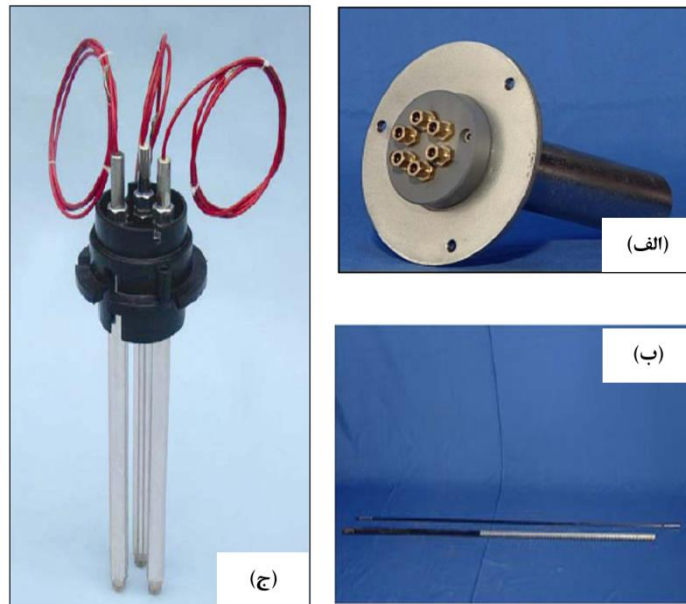
گمانه‌ها باید در خارج از محدوده اجرای بالا-پایین و در نزدیکی دیواره‌های محیط پیرامون پروژه حفر شوند. از این منظر در مناطق شهری احتمالاً مستلزم استفاده از ملک همسایه است که دارای محدودیت‌های قانونی است. بنابراین بایستی امکان اجرای این گمانه‌ها با توجه به وضعیت مستحذات اطراف وجود داشته باشد. فاصله بین گمانه و قسمت ساخته شده (دیوار گود) تقریباً ۱ متر خواهد بود. عمق گمانه‌ها ۴/۵ تا ۵ متر زیر قسمت تحتانی خاکبرداری خواهد بود. مختصات گمانه‌ها در مراحل طراحی بعدی به‌طور دقیق‌تری اعلام می‌شوند. قرائت اولیه انحراف‌سنج‌ها باید قبل از شروع عملیات خاکبرداری و سپس بعد از هر مرحله اجرا تا زمان ناچیز شدن تغییر شکل‌ها ادامه یابد. استفاده از این ابزار در اجرای بالا-پایین در مواقعی که سازه‌های مهمی در نزدیکی پروژه بالا-پایین تحت تاثیر آن قرار می‌گیرند، مورد توصیه است.

##### ۵-۴-۲-۲- کشیدگی‌سنج گمانه‌ای یک نقطه‌ای و چند نقطه‌ای

به‌منظور اندازه‌گیری جابجایی‌های رخ داده در توده خاک ناشی از ساخت به‌روش بالا-پایین، از کشیدگی‌سنج‌های گمانه‌ای استفاده می‌شود (شکل ۵-۱۱). کشیدگی‌سنج‌ها شامل یک یا چند نقطه درگیری با توده خاک در اعماق مختلف گمانه و یک نقطه مبنا در دهانه گمانه بوده و عموماً دارای میله‌های فولادی، الیاف



مصنوعی و یا سیم رابط برای اتصال نقطه درگیری و نقطه مبنا می‌باشد. با کشیدگی سنج‌های گمانه‌ای، جابجایی نسبی بین نقاط درگیری و دهانه گمانه و یا جابجایی نسبی بین هر یک از دو نقطه درگیری را می‌توان اندازه‌گیری کرد.



شکل ۱۱-۵ اجزای کشیدگی سنج: الف)، نمونه‌ای از کلاهک کشیدگی سنج، ب)، نمونه‌ای از میل مهار انتهایی و میله کشیدگی سنج و ج)، کلاهک کشیدگی سنج با مبدل

برای تعیین تغییر مکان مطلق باید یکی از نقاط اندازه‌گیری در مکانی باشد که تحت تأثیر تغییر مکان قرار نگیرد یا مکان آن با استفاده از یک نقطه مبنا با روش نقشه‌برداری قابل اندازه‌گیری باشد. نکته قابل توجه آن است که در صورت استفاده از روش نقشه‌برداری برای تعیین تغییر مکان مطلق، دقت داده‌های تغییر مکان مطلق به دقت روش نقشه‌برداری بستگی خواهد داشت.

استفاده از این ابزار در تونل‌سازی بسیار رایج است. لیکن در اجرای بالا-پایین در ایران، گزارشی مبنی بر استفاده آن تاکنون بدست تیم مولف نرسیده است. استفاده از این ابزار در گود شهری و اجرای بالا-پایین که غالباً در مناطق خاص شهری مورد توجه است، در اغلب موارد مستلزم حفاری گمانه داخل ملک همسایه است که با محدودیت‌های قانونی همراه خواهد بود. استفاده از این ابزار در اجرای بالا-پایین برای پروژه‌های بسیار خاص توصیه می‌شود.

#### ۵-۴-۲-۳-چاه‌های مشاهده‌ای

سطح آب زیرزمینی با اندازه‌گیری فشار آب حفره‌ای توسط پیزومترها قابل مشاهده است. همچنین سطح آب درون چاه‌های موجود نیز می‌تواند مفید باشد. دقت مورد نیاز قرائت‌ها ۲ میلی‌متر بوده و حداکثر خطا محدود به ۵ میلی‌متر می‌باشد. چاه‌ها باید در برابر تخریب‌های احتمالی محافظت شده و در تمام مدت زمان اندازه‌گیری نگهداری شوند. عموماً پس از ثابت شدن تغییر شکل‌های به‌وجود آمده، چاه‌ها پر می‌شوند. اهمیت پایش سطح آب زیرزمینی بسته به اینکه در طراحی سازه به روش بالا-پایین، فشار هیدرواستاتیک آب زیرزمینی منظور شده باشد یا خیر، متغیر می‌باشد.

#### ۵-۴-۵-۲-۴-رفتارسنجی داخلی گود (محدوده ساخت به روش بالا-پایین)

روش‌های رفتارسنجی داخلی پروژه، شامل بازدیدهای دوره‌ای از مراحل مختلف اجرا، برداشت‌های زمین‌شناسی و رفتارسنجی تغییرشکل دیواره‌های گود با استفاده از ابزار ژئودتیک و نیز اندازه‌گیری تنش‌های فشاری و کششی در دیواره پیرامونی پروژه با استفاده از کرنش‌سنج‌های مدفون در بتن است.

قالب خروجی‌ها به صورت تغییرشکل در زمان و بردار تغییرشکل خواهد بود. اطلاعات مربوط به پیشرفت خاکبرداری نیز باید ثبت و ارائه گردد و همچنین حدود مرزی مطابق با محاسبات طراحی و شرایط سازه باید در نظر گرفته شود. مقادیر مرزی ممکن است در طی عملیات ساخت و پس از نتایج پایش، تغییر یابد. همچنین باید نقاط در طول تمامی مراحل نگهداری شوند و در صورت بروز آسیب‌دیدگی، باید به سرعت تعویض گردند. این نقاط پس از تثبیت تغییرشکل‌ها برداشته خواهند شد. در طی خاکبرداری ممکن است بازم باشد، نقاط قرائت هر ۶ ساعت کنترل شوند. برای نقاط و تغییرشکل‌های بحرانی، معمولاً در تحلیل‌های اجزاء محدود تغییرشکلها استخراج و مقایسه خواهند شد. در صورت بیشتر شدن قرائت‌ها از مقادیر بحرانی، عملیات خاکبرداری متوقف و اجرای اجزاء سازه‌ای تسریع می‌شود و اگر لازم باشد، طراحی سیستم تحکیمی مکمل یا بازنگری طرح بالا-پایین موجود و مراحل اجرایی مورد توجه قرار خواهد گرفت.

#### ۵-۴-۵-۲-۵-کرنش‌سنج‌های مدفون در بتن

از کرنش‌سنج‌هایی که درون اجزای بتنی سازه از قبیل دیوار پیرامونی، شمع‌ها و یا سایر اجزاء مهاریه نصب می‌شوند، می‌توان به‌عنوان جایگزین سلول‌های فشار استفاده کرد و یا آنها را به‌طور هم‌زمان جهت کنترل اندازه‌گیری‌ها به‌کار برد. با اندازه‌گیری کرنش به وسیله این ابزار می‌توان به‌طور غیرمستقیم تغییرات تنش اعم از فشاری یا کششی را تعیین کرد. برتری این کرنش‌سنج‌ها بر سلول‌های فشار، در تعیین تنش‌های کششی است. هنگام استفاده از این کرنش‌سنج‌ها مشخصات تنش-کرنش بتن باید به خوبی شناخته شده باشد. نمونه‌ای از کرنش‌سنج‌های مدفون در بتن در شکل (۵-۱۲) نشان داده شده است. در اجرای بالا-پایین، استفاده از این ابزار خصوصاً در دیوار بتنی پیرامونی که با فشار خاک سر و کار دارد و نیز ستون‌های بتنی مورد توجه بیشتری است.



شکل ۵-۱۲ نمونه‌ای از کرنش‌سنج‌های مدفون در بتن مورد استفاده در پایش‌های ژئوتکنیکی

#### ۵-۴-۶- برنامه هشدار بر اساس نتایج پایش

اجرای پروژه‌ها در ساخت به روش بالا-پایین، مشابه پروژه‌های گودبرداری با ریسک‌های ژئوتکنیکی مختلفی مواجه است. رفتارنگاری و پایش پروژه‌ها نیز با هدف مدیریت این ریسک‌ها می‌باشد. بنابراین لازم است مبتنی



بر نتایج پیش‌ها، سطوح مختلف برای اقدام و مواجهه با ریسک‌ها تعریف شود. بر این اساس سطوح مختلف هشدار مبتنی بر نشست اطراف گود و نیز تغییرشکل‌های دیواره گود تعریف می‌شود.

#### ۵-۴-۶-۱- برنامه هشدار بر اساس نشست اطراف گود

در برنامه هشدار، سه سطح مختلف منطبق بر سطوح مختلف نشست بع شرح ذیل تعریف شده است. برای نشست سطحی سه متغیر اصلی، شامل نشست‌های پیش‌بینی شده ناشی از خاکبرداری، نشست‌های قابل قبول برای ساختمان‌ها و سازه‌های زیربنایی، انحراف‌های مورد نظر و گسترش نشست‌ها وجود دارد.

#### ۵-۴-۶-۱-۱- سطح هوشیاری (نشست)

سطح هوشیاری با رسیدن به ۸۵٪ نشست‌های سطح پیش‌بینی شده و ۷۰٪ مقدار مجاز نشست ساختمان‌ها و سازه‌های زیربنایی تعیین می‌شود. زمانی که قرائت‌ها رسیدن به سطح هوشیاری را نشان دادند، کارشناس ژئوتکنیک پیمانکار باید مراتب را به تیم مهندسی اطلاع دهد و گزارشی در این خصوص برای مسئولان گود و یا ساختمان‌ها و سازه‌های زیربنایی مربوطه تهیه نماید. این گزارش باید شامل تحلیل شرایط زمین و شرایط خاصی که منجر به رسیدن به سطح هوشیاری شده است و نیز راه‌حلی جهت از بین رفتن خطر باشد. رفتارنگاری ژئوتکنیکی باید با موقعیت‌ها و افزایش تعداد قرائت‌ها سازگار شود.

#### ۵-۴-۶-۱-۲- سطح آماده‌باش (نشست)

سطح آماده‌باش با رسیدن به ۱۰۰٪ نشست‌های سطح پیش‌بینی شده و ۹۰٪ مقدار مجاز نشست ساختمان‌ها و سازه‌های زیربنایی تعیین می‌شود. زمانی که قرائت‌ها رسیدن به سطح آماده‌باش را نشان دادند، کارشناس ژئوتکنیک پیمانکار باید مشابه سطح هوشیاری مراتب را به تیم مهندسی اطلاع داده و گزارشی در این خصوص برای ذی‌نفعان مربوطه تهیه نماید. پس از تهیه گزارش باید بازدید از پروژه توسط مشاور و پیمانکار به عمل آید. بازدید جهت کنترل آسیب‌ها و سایر عوامل وابسته که ممکن است یافت شوند، انجام می‌گیرد. یافته‌های به‌دست آمده از بازدید باید به‌صورت گزارش ارائه گردد. رفتارنگاری ژئوتکنیکی باید با موقعیت‌ها و افزایش تعداد قرائت‌ها سازگار شود. تمامی داده‌ها باید در طی ۶ ساعت پس از قرائت‌ها به مشاور، طراح و مهندسان رده بالای پروژه اعلام گردد.

در صورتی که حرکات به‌وجود آمده توسط پیمانکار قابل کنترل نباشد، مهندسان و طراحان باید ارزیابی احتمالات و تغییرات در طرح را آغاز نمایند. پیمانکار نیز باید آماده انجام تغییرات مورد نیاز در طرح گردد. در صورتی که تغییرات در طرح قبل از رسیدن به سطح خطر، الزامی باشد، مهندسان، طراحان و پیمانکار با یکدیگر در جهت کاهش تغییرشکل‌ها و توقف ادامه حرکت تصمیم‌گیری می‌نمایند. کارفرما نیز باید از شرایط به‌وجود آمده مطلع باشد.

#### ۵-۴-۶-۱-۳- سطح خطر (نشست)

سطح خطر مربوط به زمانی است که ۱۲۰ درصد نشست سطحی پیش‌بینی شده و در پی آن ۱۰۰ درصد مقدار مجاز نشست ساختمان‌ها و سازه‌های زیربنایی رخ دهد.

زمانی که سطح خطر رخ می‌دهد، تغییرات در طرح باید به سرعت آغاز شود. منازل در صورت نیاز باید تخلیه گردد، خیابان‌ها بسته شده و تأسیسات و خطوط زیربنایی باید جهت جلوگیری از آسیب‌ها و تلفات قطع شود. در موقعیت پروژه نیز باید بازدیدهایی جهت کنترل آسیب‌ها در پوشش بتنی، منازل، سازه‌های زیربنایی و تمامی سازه‌های موجود در محدوده پروژه انجام گیرد.

رفتارنگاری ژئوتکنیکی باید طبق شرایط به‌وجود آمده بازنگری شده و دفعات قرائت‌ها به حداقل دوبار در روز افزایش یابد. تمامی داده‌ها نیز باید ظرف مدت ۶ ساعت پس از قرائت، در دسترس مشاور، طراح و مسئولان پروژه قرار گیرد. کارفرما نیز باید از شرایط به‌وجود آمده مطلع باشد.

#### ۵-۴-۷- حداقل ابزار دقیق مورد نیاز برای پایش پروژه ساخت به روش بالا-پایین

حداقل ابزار دقیق مورد نیاز برای رفتارنگاری پروژه ساخت به روش بالا-پایین، دوربین نقشه‌برداری توتال استیشن و نشانه‌های (تارگت‌های) ژئودتیک است. در صورت بروز شرایط خاص، جابجایی با نظر دستگاه نظارت و یا درخواست کارفرما، استفاده از سایر ابزارها شامل کشیدگی سنج، انحراف‌سنج، کرنش‌سنج، ترک‌سنج، چرخش‌سنج، پیش‌نشست‌سنج، دوربین ترازیابی، نیروسنج و پیزومتر می‌تواند مطرح باشد.

#### ۵-۵-۵- ملاحظات ویژه در نقشه‌برداری

مهمترین قسمت در هر پروژه عمرانی، پیاده کردن نقشه می‌باشد. وجود خطا در پیاده کردن، ممکن است جبران ناپذیر باشد. در این فصل برخی از فنون پیاده سازی با اهمیت در روش بالا-پایین اشاره خواهد شد. همچنین مواردی پیرامون روش پایش سازه‌ها مبتنی بر فنون نقشه‌برداری بیان شده است. شایان ذکر است رعایت اصول عمومی نقشه‌برداری در تمام مراحل با دقت مضاعف مورد تاکید است.

#### ۵-۵-۱- پیاده کردن نقاط

علاوه بر مسائل و موضوعات عمومی نقشه‌برداری، مهمترین موضوع نقشه‌برداری در روش اجرای بالا-پایین، پیاده کردن نقاط در انتهای چاه و نصب ستون با دقت مناسب در داخل چاه است. نصب ستون شامل موقعیت مکانی (X,Y) و تراز ارتفاعی (Z) است. موارد زیر جهت انجام دقیق‌تر این فرایند حائز اهمیت و مورد توصیه است.

برای پیاده کردن موقعیت مکانی ستون‌ها در داخل چاه، لازم است شابلون پایه ستون ساخته و سرچاه در موقعیت خود نصب و تثبیت شود. سپس توسط شاقول، چهار نقطه گوشه شابلون به انتهای چاه منتقل می‌گردد. بهتر است شابلون دیگری از ستون در داخل چاه باشد و توسط شاقول‌ها در موقعیت خود قرار گرفته و تثبیت شود. با توجه به نوسان شاقول، استفاده همزمان چهار شاقول در چهار گوشه شابلون منجر به دقیق‌تر شدن انتقال نقطه است.

چنانچه گالری سرتاسری، چاه‌ها را به هم متصل نموده باشد، انتقال نقطه و پیاده کردن محور با ریسمان در داخل گالری، اقدامی موثر برای کاهش خطای انتقال نقطه است.

پیاده کردن تراز ارتفاعی و کنترل تراز ستون در هنگام نصب، از سرستون انجام می‌شود و نکته ویژه‌ای پیرامون آن مطرح نیست. فقط کافی است نشانه‌گذاری دقیقی سرستون انجام شده باشد که معیار کنترل تراز ستون قرارگیرد. البته توصیه می‌شود در ستون‌های فلزی اتصالات روی ستون فلزی نصب نشده باشد تا حساسیت



نسبت به کد ارتفاعی وجود نداشته باشد. بدین ترتیب عملیات نصب ساده‌تر و سریع‌تر انجام خواهد شد. به منظور نصب دقیق‌تر و بدون مشکل ستون‌ها، خصوصاً در ستون‌ها فلزی، توصیه می‌گردد قبل از بلند کردن ستون، با ریسمان کشی بین سر و ته ستون و در چهار وجه آن، کمائی بودن احتمالی ستون کنترل شده و از عدم کمائی بودن ناشی از فرایند ساخت اطمینان حاصل شود.

#### ۵-۵-۲- پایش تغییر شکلها

پایش، جابجایی سنجی و کنترل تغییر شکل را می‌توان برای سازه های اطراف و دیواره های گود انجام داد. در این روش تعدادی انعکاس دهنده (رفلکتور) برچسبی بر روی نقاط نشانه سازه نصب می‌گردد. سپس به کمک شبکه ژئودزی که در اطراف سازه طراحی شده است، قرائت از ایستگاه‌های مورد نظر انجام می‌شود. یک شبکه ژئودزی محلی با دقت بالا، معمولاً با هدف پیاده‌سازی نقاط یک سازه مهندسی و یا آشکارسازی تغییر شکل و یا اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق، طراحی و اجرا می‌شود. در هر شبکه ژئودزی برای دستیابی به اهداف شبکه، راه‌های گوناگونی را می‌توان انتخاب نمود. تعیین مناسب‌ترین راه دستیابی به اهداف شبکه، پاسخی است که در طراحی شبکه دنبال می‌شود و توسط متخصصین نقشه‌برداری انجام می‌شود. جهت رسیدن به این اهداف برای یک شبکه کنترل، متغیرهایی از قبیل دقت<sup>۱</sup>، اعتماد پذیری<sup>۲</sup> و هزینه<sup>۳</sup> مطرح است. ایجاد یک شبکه ژئودتیک با مراحل طراحی و برای بدست آوردن جزئیات مربوط به نوع مشاهدات، دقت آنها و تجهیزات مورد نیاز انجام مشاهدات انجام می‌شود. سپس نوبت به مرحله ایجاد نقاط و پس از آن انجام اندازه‌گیری‌ها می‌رسد. با توجه به ویژگی خاص شبکه‌های ژئودتیک (که دقت بالا در مولفه‌های مختصات می‌باشد)، دستیابی به این ویژگی نیازمند مشاهدات با دقت بالا است. در طراحی شبکه باید میزان و چگونگی تأثیر خطاهای مشاهداتی بر روی مختصات نقاط شبکه مورد توجه باشد. همچنین در تعریف معیارهای دقت، فرض بر این است که مشاهدات شبکه تنها آلوده به خطاهای اتفاقی بوده و خطاهای غیر اتفاقی نظیر خطاهای سیستماتیک بر روی مشاهدات وجود ندارند. همچنین شبکه باید از اعتماد‌پذیری داخلی و خارجی برخوردار باشد. طراحی شبکه ژئودتیک روشهای مختلفی دارد و توسط متخصص مربوطه انجام می‌شود.

#### ۵-۶- ملاحظات ایمنی در روش اجرای بالا-پایین

پیرامون ملاحظات ایمنی روش بالا-پایین و ایمن بودن روش اجرای گودبرداری در بخشهای مختلف این راهنما بحث شد. در واقع تمامی مباحث مطرح شده پیرامون موضوع از طراحی و اجرای روش بالا-پایین تا نحوه پایش رفتار و ابزاربندی برای اجرای ایمن گودبرداری بود. لیکن در این بخش ایمنی از منظر ایمنی کارکنان و قانون کار مورد توجه است. از این منظر، مخاطرات موجود در کارگاهی که روش اجرا بالا-پایین است، مخاطرات اختصاصی نیست و تقریباً تمامی مخاطرات در کارگاه‌های ساختمانی متعارف نیز وجود دارد. البته احتمال وقوع مخاطرات در این روش اجرا نسبت به کارگاه‌های متعارف، بسته به نوع کار متفاوت است. در این راهنما بنا نیست، موارد عمومی تکرار شود و به جهت اجتناب از حجیم شدن راهنما، موارد عمومی به منابع مرتبط ارجاع می‌شود. با توجه به اینکه مخاطرات، مخاطراتی اختصاصی نیست، رویکرد و راهکار ایمن مواجهه

<sup>1</sup> Precision

<sup>2</sup> Reliability

<sup>3</sup> Expense



با آنها به طور کامل در آیین‌نامه‌ها و ضوابط، موجود است. منابعی همچون مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان ایران با عنوان "ایمنی و حفاظت کار در حین اجرا"، مجموعه آیین‌نامه‌های منتشر شده حفاظت فنی و بهداشت کار وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی از قبیل آیین‌نامه حفاظتی کارگاه‌های ساختمانی، آیین‌نامه و مقررات حفاظتی حفر چاه‌های دستی، آیین‌نامه کار در ارتفاع، آیین‌نامه حفاظت فردی و آیین‌نامه ایمنی در تونل‌سازی<sup>۱</sup>، از این موارد می‌باشد که به تفصیل به موضوعات مربوطه پرداخته است. بر این اساس و با توجه به احتمال بیشتر وقوع برخی مخاطرات در روش اجرای بالا-پایین، در این بخش مخاطرات حایز توجه فهرست، معرفی و برخی موارد تا حدودی تشریح می‌گردند (جدول ۵-۱۹)؛ تا مبتنی بر آیین‌نامه‌های موجود، اقدامات تامینی لازم صورت گیرد. بدیهی است بر اساس اصول مدیریت پروژه، داشتن برنامه یا رویه مدیریت سلامت، ایمنی و محیط زیست (نظام سلام یا HSE) برای پیاده‌سازی دقیق و صحیح این اصول و انجام پایش و بازرسی بر نحوه اجرای آن برای هر پروژه و سازمان به‌طور اختصاصی ضروری است.

جدول ۵-۱۹ فهرست مخاطرات محتمل و حایز توجه ویژه در روش اجرای بالا-پایین.

مخاطرات محتمل
سقوط در چاه
فرو رفتن در حفرات زیرزمینی غیرمکشوف از قبیل قنات، انباره فاضلاب و ... در زمان حفاری زیرزمینی
غرق شدگی ناشی از هجوم ناگهانی آب به داخل چاه
خطر برق‌گرفتگی در صورت استفاده از پیکور برقی در چاه‌های مرطوب
فقدان هوای کافی داخل حفرات زیرزمینی در زمان حفاری یا نصب قطعات و یا وجود گازها یا بخارات مضر در مواقعی همچون بتنی ریزی
سقوط اشیاء (سبک یا سنگین از قبیل اجزاء سازه‌ای) به داخل چاه در زمان‌های حفاری یا نصب قطعات
ریزش دهانه چاه در زمان نصب قطعات به علت تجمع نفرات یا بارگذاری‌های دیگر
سقوط از ارتفاع در سازه نیمه‌کاره اجرا شده
برخورد ماشین‌آلات خاکبرداری با افراد، اجزاء سازه‌ای و دیگر تجهیزات و ماشین‌آلات به علت فضای محدود کاری در زیر سقف
خطر ریزش دیواره‌های خاکی نمایان شده و حفاظت نشده در زمان خاکبرداری
انواع مخاطرات ناشی از فقدان نور و دید کافی در فضای زیرزمینی
انواع مخاطرات ناشی از کاهش هوشیاری عوامل انسانی ناشی از عدم تامین اکسیژن و هوا تازه در زیرزمین
مخاطرات ناشی از ایجاد ناپایداری در سازه به‌علت اجرای تدریجی

علاوه بر رعایت نکات متعدد ایمنی پیرامون مخاطرات مطرح، بر اساس دستورالعمل‌ها و ضوابط مورد اشاره و نیز مواردی که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد، شایان تذکر جدی است در زمان انجام هرگونه عملیات به جز حفاری چاه از قبیل بتن‌ریزی یا نصب ستون فلزی، حضور عوامل انسانی همزمان داخل همان چاه به هیچ وجه مجاز نیست. برای دسترسی به محل عملیات و انجام پاره‌ای کنترل‌های فنی نیز، در صورت نیاز لازم است تردد از چاه دیگر انجام شده و به‌وسیله گالری به محل مورد نظر دسترسی فراهم شود. در صورت عدم حفر گالری، حفاری جان‌پناه با ابعاد مناسب در دیواره چاه، تامین هوا مناسب در عمق چاه و تردد در میله در زمان غیر مخاطره‌آمیز، می‌تواند گزینه جایگزین باشد.

## ۵-۶-۱- سقوط در چاه یا بازشوها

از ویژگی‌های خاص روش بالا-پایین خصوصاً در الگوی بومی و در نخستین مراحل کارگاه که هنوز کاملاً

<sup>۱</sup> شایان ذکر است آیین‌نامه‌های منتشر شده وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی از تارنمای مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار قابل دستیابی است.



شکل نگرفته است، وجود چاه‌های فراوان در سطح کارگاه است که قدری غیرمنتظره و خطرناک است. تعدد این چاه‌ها و پخش بودن در تمامی محدوده کارگاه، ابعاد نسبتاً بزرگتر آنها و نیز انجام سایر فعالیت‌ها در عرصه کارگاه همزمان با حفاری چاه، احتمال سقوط را دوچندان نموده است. ایجاد محافظ یا جان‌پناه مستحکم پیرامون هر حلقه چاه در حال حفاری و پوشاندن مستحکم سر چاه‌های خاتمه یافته مورد تاکید است. در شرایطی که خاک دستی و سست در ترازهای فوقانی وجود دارد، ایجاد لایه بتن پاششی یا شاتکریت یا کول‌گذاری در ترازهای مذکور برای جلوگیری از گسیختگی مخروطی سر چاه بایستی مورد توجه باشد. تامین روشنایی کافی در محدوده کارگاه در شب و پوشاندن سرچاه در زمان تعطیلی کارگاه نیز از اقدامات ساده و تاثیرگذار برای کاهش مخاطرات است.

همچنین ایجاد جان‌پناه مناسب در اطراف تمامی بازشوها و حفرات موجود در سازه در حال احداث از قبیل بازشوی‌های تخلیه خاک و ... که در روش اجرای بالا-پایین به نسبت روش‌های معمول بیشتر است، در این روش اجرای مورد تاکید است.

### ۵-۶-۲- فرورفتن در حفرات زیرزمینی غیر مکشوف

کار زیرزمینی خصوصاً در نواحی شهری که مملو از حفریات پنهان است، همواره با خطر سقوط در آنها همراه است. احتمال برخورد چاه در حال حفاری با حفراتی پنهان از قبیل انباره فاضلاب قدیمی، آب‌انبار متروک، قنات و ... کم نیست. با توجه به اینکه در اغلب موارد به علت محدودیت کار در داخل شهر یا هندسه و ابعاد چاه در حال حفر، حفاری چاه در روش بالا-پایین دستی صورت می‌گیرد، این موضوع می‌تواند مخاطره‌های جدی را ایجاد نماید. در مواردی که حفره پنهانی مملو از آب یا فاضلاب نیز باشد، این مخاطره جدی‌تر و با خطر غرق‌شدگی همراه خواهد بود. از این رو مطالعات میدانی و محلی درباره وضعیت محدوده پروژه از این منظر، بررسی نقشه‌های موجود قنات، بررسی سیستم فاضلاب ساختمان موجود تخریب شده و ساختمان‌های همسایه، مستحذات زیرزمینی احتمالی موجود در محدوده و اقداماتی از این قبیل مورد تاکید است. همچنین آموزش ویژه حفاران پروژه برای شرایط مواجهه با خطر احتمالی و تاکید بر حضور هوشیارانه کمک‌حفار در بالای چاه لازم است. کنترل مستمر استفاده از تجهیزات ایمنی خصوصاً کمربند ایمنی متصل به مهار مناسبی در بیرون چاه توسط مقنی ضروری است.

### ۵-۶-۳- غرق‌شدگی ناشی از هجوم آب

خصوصاً در نواحی آبدار، احتمال برخورد چاه با حجم بالایی از آب قنات یا فاضلاب بطور ناگهانی کم نیست. به نحوی که خطر غرق‌شدگی کاملاً جدی است. بررسی رژیم هیدروژئولوژیکی منطقه، آموزش حفار برای شرایط مواجهه با آب، تامین نور کافی در چاه برای امکان مشاهده از بالا، الزام به حضور هوشیارانه کمک‌حفار در بالای چاه و رصد مداوم اتفاقات داخل چاه، توجه به سر و صداهای داخل چاه و تاکید بر استفاده مستمر از کمربند ایمنی توسط مقنی از موارد دارای اهمیت ویژه است.

### ۵-۶-۴- خطر برق‌گرفتگی در شرایط مرطوب

در شرایط کار زیرزمینی چنانچه خاک مرطوب باشد، کار با دستگاه‌ها و ابزار برقی دارای محدودیت و مستلزم دقت نظر است و خطر برق‌گرفتگی را به همراه دارد. مشخصاً برای حفاری استفاده از چکش (پیکور) برقی در

خاک مرطوب ممنوع است و بایستی حتماً از چکش‌های بادی استفاده گردد. در مورد سایر تجهیزات نیز توجه به موضوع ضروری است و لازم است کارگر مربوطه از پوشش دستکش مناسب و کفش عایق استفاده نماید.

### ۵-۶-۵- تامین هوای تازه در زیرزمین

در شرایط زیرزمینی ممکن است هوای کافی وجود نداشته باشد و فقدان هوای کافی منجر به کاهش هوشیاری و مخاطراتی برای کارگران گردد. این مسئله با افزایش عمق تشدید و با وجود گازهای ناشی از فاضلاب و ... خطرناک‌تر می‌شود. تامین هوای تازه در چاه، بطور سنتی توسط مقنیان انجام می‌شود و معمولاً از تجارب خوبی در این موضوع برخوردار هستند و رعایت ضوابط آیین‌نامه و مقررات حفاظتی حفر چاه‌های دستی مورد تاکید است. لیکن در سایر شرایط بروز کرده در اجرای بالا-پایین که کاملاً زیرزمینی انجام می‌شود و در عین حال ماشین‌آلاتی از قبیل بیل مکانیکی و لودر نیز در زیرزمین فعال بوده و هم مصرف هوا و هم تولید آلاینده دارند، وضعیت متفاوت است و باید با روش مهندسی با آن مواجه شد. در بخش ۳-۴-۲ این راهنما، مفصل در این باره صحبت شده است.

### ۵-۶-۶- سقوط اجسام به داخل چاه یا حفرات

در اجرای بالا-پایین بخشی از عملیات داخل چاه‌ها و بخش بزرگی از عملیات ساخت در طبقات زیرین سازه انجام می‌شود. با توجه به تردد زیاد و تعدد فعالیت‌ها در تراز همکف یا خیابان، سقوط اجسام داخل چاه یا بازشوهای سازه و بر روی کارگران در حال فعالیت بسیار محتمل است. از این رو یادآوری نکات مربوطه در این خصوص و هوشیار نمودن کلیه کارکنان نسبت به این موضوع، که در تمامی بازشوها و حفرات احتمال حضور نیروی انسانی است و هم چنین تمییز نمودن مرتب فضای کارگاه از قطعات سنگ، نخاله و سایر اجسام زاید و نیز ایجاد برآمدگی در لبه چاه و بازشوها برای جلوگیری از سقوط احتمالی می‌تواند نقش موثری داشته باشد.

### ۵-۶-۷- ریزش دهانه چاه

در اجرای بالا-پایین ممکن است در مراحل اجرای بارگذاری‌های خاص و سنگینی بر روی دهانه چاه انجام شود. حین فرایند نصب و وصله نمودن ستون‌های فلزی یا بتنی و معلق‌سازی ستون داخل چاه، نمونه‌ای از این دست است. در موارد زیادی ممکن است خاک در ترازهای سطحی، خاک دستی، سست و یا نخاله ساختمانی باشد و در حین بارگذاری‌های سنگین این چنین دچار گسیختگی گردد. این مسئله علاوه بر اختلال فنی و اجرایی، به علت حضور زیاد عوامل اجرایی در این زمان در اطراف چاه مورد عملیات، برای کارکنان نیز پرمخاطره خواهد بود. از این رو مقتضی است موضوع به دقت مورد بررسی کارشناس متخصص قرار گرفته و چنانچه ضرورت داشته باشد دهانه چاه استحکام بخشی شود. کول‌گذاری یا ایجاد پوشش بتنی مسلح با بتن پاششی یا شاتکریت گزینه‌های مناسبی بدین منظور است.

### ۵-۶-۸- برخورد ماشین‌آلات خاکبرداری با افراد یا اجزاء سازه‌ای

کار در زیرزمین از ملزومات اجرای بالا-پایین است. فضای کاری محدود و محصور بین ستون‌ها و سایر اجزاء، روشنایی محدود و قرار گرفتن زیر سقف از دشواری‌های این روش اجراست. همه این موارد در جهتی است که احتمال برخورد ماشین‌آلات متحرک خاکبرداری با افراد یا سازه را در شرایطی که جبهه‌های کاری مختلفی در نزدیکی هم وجود دارد، بسیار افزایش می‌دهد. برخورد با افراد می‌تواند مرگبار و برخورد با سازه به بسیار خسارت‌بار باشد. از این رو توجه به نکاتی از قبیل موارد زیر اکیداً تاکید می‌گردد:



- تامین روشنایی کافی بر اساس دستورالعمل‌های فنی مربوطه در بخش ۳-۴-۱ همین راهنما
- نظافت و تمیزکاری منظم چراغ‌ها و غبارروبی آنها
- به کارگیری راننده مجرب و حرفه‌ای برای ماشین‌آلات فعال در زیرزمین و انجام آموزش‌های لازم
- مجهز بودن ماشین‌آلات به چراغ و بوق‌های هشدار مربوطه
- استفاده کلیه کارگران فعال در زیرزمین از جلیقه‌های شبرنگ‌دار
- نصب ضربه‌گیر و شبرنگ بر کنج اجزاء سازه‌ای از قبیل ستون‌ها و لبه‌های سقف در معرض برخورد
- چیدمان جبهه‌های کاری به شکل کم‌خطر تا حد ممکن

### ۵-۷- ملاحظات حقوقی - قراردادی در ساخت به‌روش بالا-پایین

روش اجرای بالا-پایین، هیچ‌گونه تعرضی به حریم همجواری‌ها ندارد و تمامی عملیات اجرایی از داخل محدوده ملکی پروژه انجام می‌شود. از این رو از منظر حقوقی و قوانین تملک، دارای نقطه قوت مهمی است و اساساً این ویژگی، مزیت مهم این روش پایدارسازی گود در ایران محسوب می‌گردد. بنابراین نیاز به هیچ اقدام و اخذ مجوز حقوقی برای ساخت به این روش نیست. البته به‌طور کلی توصیه می‌شود پیش از هرگونه عملیات ساختمانی، وضع موجود ساختمان‌های مجاور با ارائه درخواست از مراجع ذی‌صلاح و توسط کارشناسان رسمی دادگستری ثبت و تامین دلیل گردد. بدین ترتیب ریسک ادعاهای احتمالی مالکان املاک مجاور مبنی بر بروز خسارت، قابل بررسی و مدیریت می‌باشد.

دیگر جنبه حقوقی مطرح در روش اجرای بالا-پایین، موضوع قراردادهای مرتبط با این روش اجرا است. روش اجرای بالا-پایین به علت اندرکنش‌های زیاد فنی-اجرایی سازه و ژئوتکنیک، در کنار ماهیت غیرقطعی موضوعات ژئوتکنیکی، روشی با تغییرات زیاد و تا حدود زیادی مبتنی بر روش طراحی مشاهده‌ای<sup>۱</sup> است. از این رو تغییرات در آن احتمال و نرخ بالایی دارد. همچنین آمیختگی و تداخل فعالیت‌ها در این روش، بسیار بیشتر از روش‌های متعارف ساخت‌وساز است. بر این اساس قراردادهای مرتبط با این روش اجرا، از دو جنبه دارای حساسیت می‌باشند و باید ظرفیت حقوقی مناسبی برای آنها ایجاد شود: الف) طرح ادعاهای مختلف در طی مدت پروژه ناشی از تغییرات ایجاد شده، ب) حفظ مرکز مسئولیت و پاسخگویی عوامل اجرایی با توجه به تداخلات بالای فرآیندی.

به‌علت تغییرات غیرقابل پیش‌بینی، نرخ تغییرات در پروژه‌های بالا-پایین زیاد است و در پی آن منجر به طرح ادعا از سوی ذی‌نفعان متعدد می‌گردد. این ادعاها ممکن است جهات مختلفی از قبیل طرح ادعاهای مالی از سوی پیمانکار تا ادعاهای تغییر در محدوده یا کیفیت از سوی کارفرما داشته باشد. همچنین در موارد زیادی از ادعاهای مطرح شده، پیدا کردن فرد یا افراد مسبب یک رویداد یا نتیجه نامطلوب، کار ساده‌ای نیست، چراکه اندرکنش فعالیت‌ها با هم بسیار زیاد است. از این رو در ادامه، توصیه‌هایی برای فراهم شدن شرایط مناسب‌تر برای مواجهه با این موضوعات و تامین ظرفیت‌های قراردادی بهتر ارائه می‌گردد.

اکیداً پیشنهاد می‌گردد از شکست کار در پروژه ساخت به‌روش بالا-پایین بین پیمانکاران متعدد و به اصطلاح

<sup>۱</sup> Observational

مقاطع کاری اجتناب گردد. ممکن است در ظاهر، واگذاری حفاری چاه، نصب ستون، خاکبرداری و اجرای سازه به پیمانکاران مختلف، نسبت به واگذاری یکباره پروژه درصدی کاهش هزینه ایجاد نماید؛ لیکن در صورت بروز مشکل با توزیع مرکز مسئولیت، افت کیفیت، افزایش هزینه و مواردی از این قبیل که احتمال آن کم نیست، شناسایی فرد مسئول موضوع بسیار دشواری است و عملاً درهم آمیختگی فعالیت‌ها، امکان شناسایی را سلب نموده است. در صورتیکه تمرکز مرکز مسئولیت در یک پیمانکار اصلی، به راحتی امکان کنترل تحویل شدنی‌های پروژه را فراهم می‌کند. بر اساس همین منطقی، تفکیک خدمات طراحی از اجرا در این روش توصیه نمی‌شود و نوع قراردادهای طرح و ساخت به جهت حفظ یکپارچگی مسئولیت طراحی و اجرا حائز توجه و مورد توصیه اکید است.

با توجه به احتمال تغییرات در پروژه‌های بالا-پایین، می‌بایست نوع قراردادها در این پروژه‌ها از انعطاف‌پذیری لازم برخوردار باشد. بنابراین خانواده قراردادهای قیمت مقطوع<sup>۱</sup>، قراردادهای مناسبی محسوب نمی‌گردد و ریسک پیمانکار یا هزینه کارفرما را بالا خواهد برد. در نقطه مقابل قراردادهای هزینه قابل پرداخت<sup>۲</sup>، قراردادهای مناسبی می‌تواند باشد. از جمله این نوع قراردادها که اصطلاحاً به قراردادهای مدیریت پیمان شهرت دارند، قراردادهای هزینه به علاوه حق الزحمه ثابت<sup>۳</sup>، هزینه به علاوه کارمزد تشویقی<sup>۴</sup> و هزینه به علاوه مزد پاداش<sup>۵</sup> را می‌توان نام برد. در این نوع قرارداد، هزینه‌های پروژه پرداخت می‌شود، علاوه بر آن مبالغی نیز به صورت درصدی از هزینه یا مقطوع و نیز در صورت تمایل در ترکیب با درصدی پاداش برای کاهش هزینه یا تسریع زمانی پرداخت می‌شود. تنظیم دقیق این نوع قراردادها می‌تواند اشتراک بیشینه منافع کارفرما و پیمانکار را در پی داشته باشد. قراردادهای قیمت واحد یا فهرست‌بهای نیز در این نوع پروژه‌ها دارای ریسک بالای تغییرات و طرح ادعاهای مختلف است.

### ۵-۸- مدیریت اجرا در روش اجرای بالا-پایین

اجرای بالا-پایین، یک روش اجرای زیرزمینی و دارای شباهت‌های زیادی به عملیات تونل‌سازی است. در عملیات تونل‌سازی، طراحی یک سیستم کارآمد اجرایی و انتخاب روش اجرای مناسب عامل مهمی در موفقیت پروژه است. دستیابی به هزینه و زمان بهینه در پروژه، تابع مستقیم روش اجرا و کارایی آن است. مدیریت موفق پروژه‌های بالا-پایین نیز، مستلزم توجه به این مسئله است.

در این روش اجرا، کل خاک محدوده پروژه بایستی از یک یا دو بازشو تخلیه شود. نزدیکی بازشوها به مراکز ثقل پروژه، به معنی حجم کمتر تردد و جابجایی زیرزمینی ماشین‌آلات و در نتیجه تسریع و کاهش هزینه‌های پروژه است. اما بخش مهمی از عملیات بالا-پایین، بالا کشیدن خاک تا تراز طبیعی زمین است. اینکه از چه نوع ماشین‌آلاتی برای این منظور استفاده می‌شود، در انتخاب محل بازشو تخلیه موثر است. همین‌طور، نوع ماشین‌آلات انتخابی به خودی خود نیز بر سرعت عملیات تاثیر مستقیم دارد. طراحی یک سیستم بهینه عملیات، تابع

<sup>۱</sup> Fixed Price or Lump Sum Contracts

<sup>۲</sup> Cost Reimbursable Contracts

<sup>۳</sup> Cost Plus Fixed Fee Contracts (CPFF)

<sup>۴</sup> Cost Plus Incentive Fee Contracts (CPIF)

<sup>۵</sup> Cost Plus Award Fee Contracts (CPAF)



چندین متغیره از عوامل مختلفی است که تا حد زیادی قابل احصاء و فرموله کردن است. تا جایی که بعضاً در مهندسی تونل برای حالات مختلف، تابع زمان و هزینه نوشته شده و الگوی بهینه عملیات با بررسی توابع ریاضی عملیات و بهینه کردن آنها بدست می‌آید. در روش بالا-پایین نیز، روش اجرای بهینه، روشی است که به این ملزومات توجه داشته باشد.

از دیگر ویژگی‌های روش بالا-پایین، تداخل موضوعات عملیاتی است. برای نمونه آرماتوربندی و بتن ریزی با عملیات خاکی در کنار هم انجام می‌شود. بنابراین طراحی سیستمی عملیات با رویکرد حداقل سازی تداخلات، از ارکان این روش اجراست. در اجرای همزمان طبقات روسازه با زیرسازه، حساسیت لزوم رویکرد سیستمی بیشتر است. در فصل سوم همین راهنما در این زمینه مباحثی مطرح شده است.

### ۵-۹- مهندسی ارزش در روش اجرای بالا-پایین

مهندسی ارزش یک تلاش سازمان یافته برای بررسی و تحلیل همه اجزاء یک پروژه از مرحله پیدایش تا بهره‌برداری با هدف بهبود است. هر مقدار پیچیدگی پروژه‌ها بیشتر باشد، ضرورت و اثربخشی مهندسی ارزش، بیشتر خواهد بود. مهندسی ارزش اهدافی همچون شناسایی و حذف هزینه‌های غیرضروری، کوتاه کردن زمان اجرای طرح‌ها، ارتقاء کیفیت، صرفه جویی و حذف یا اصلاح عوامل کاهش ارزش بدون آسیب دیدگی کارکردهای اصلی و اساسی را دنبال می‌کند. شناخت کافی نسبت به موضوع، تفکر واگرا و خلاقیت از ارکان مهندسی ارزش محسوب می‌گردد.

روش اجرای بالا-پایین به علت ماهیت نسبتاً پیچیده‌تر، آمیخته و چند بعدی، زمینه مساعدی برای رویکردهای خلاقانه برای ارتقاء کارایی و خلق ارزش است. بدون تردید در آینده، بهبودهای متعددی در فرایند اجرای بالا-پایین رخ خواهد داد که در جهت اصلاح و خلق ارزش بیشتر خواهد بود. اساساً ابداع روش اجرای بالا-پایین بومی یا رایج در ایران، خود محصول رویکرد خلاقانه و مدیریت ارزش مبتنی بر شرایط ژئوتکنیکی بوده است و به نظر می‌رسد همچنان فرصت‌های بسیاری نیز وجود دارد. از فرصت‌های بهبود و بهینه سازی کلان در فرایند طراحی و اجرا برای نوع پروژه‌های بالا-پایین تا بهبودهای جزئی و خاص هر پروژه مشخص، از این قبیل می‌باشد. روش محاسبات و تدقیق نیروهای وارده، تدقیق اندرکنش خاک و سازه، سیستم‌های سازه‌ای مناسب، روش‌های اجرای سازه و سقف، روش‌های خاکبرداری و تخلیه خاک از جمله مصادیق و محل توجه این رویکرد می‌تواند باشد.

### ۵-۱۰- تلفیق روش ساخت بالا-پایین با سایر روش‌های گودبرداری

با توجه به شرایط همجواری‌های یک پروژه گودبرداری، اقتصاد طرح و مسایل فنی، در برخی موارد استفاده از روش‌های تلفیقی گودبرداری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. این تلفیق مختص همزمانی روش ساخت بالا-پایین با دیگر روش‌های گودبرداری نیست، بلکه فارغ از روش ساخت بالا-پایین، تلفیق روش‌ها امری متعارف است. به‌عنوان مثال در پروژه‌های ممکن است از روش سازه نگهبان خرابایی در برخی اضلاع گود و از روش‌های نفوذ به املاک همسایه در دیگر اضلاع آن استفاده شود. در این بخش، نمونه‌ای از روش‌های تلفیقی معرفی خواهد شد. البته تلفیق منحصر به این موارد نبوده و خاص هندسه و شرایط هر پروژه باید رویکردی مناسب در

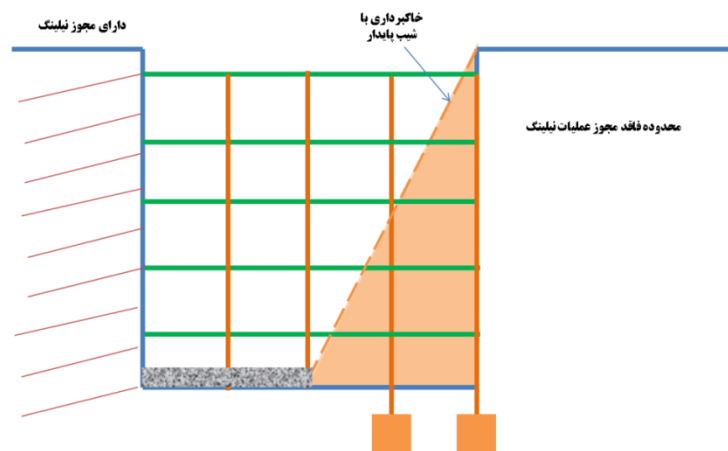


پیش گرفته شود.

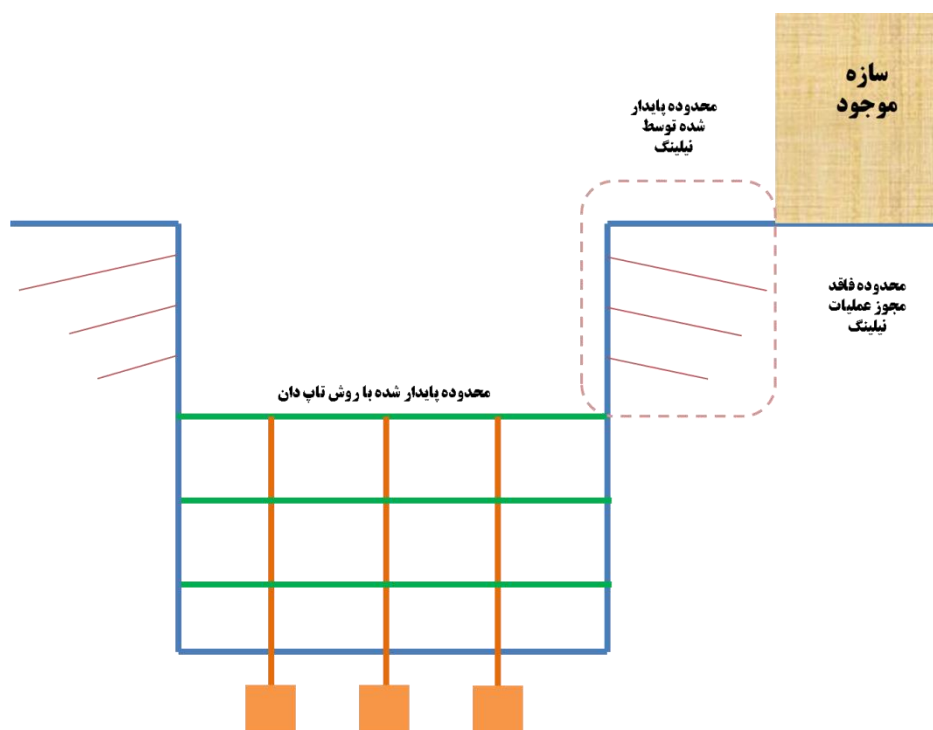
همانگونه که بیان شد، روش‌های نفوذ به املاک مجاور به سبب مسایل حقوقی تعرض به حریم همجواری‌ها، در سال‌های اخیر چالش‌های حقوقی را در ایران در پی داشته و از این رو اقبال به روش‌هایی که از داخل زمین پروژه برای پایدارسازی گود استفاده می‌کند، گسترش یافته است. لیکن عموماً مشکل عدم امکان استفاده از روش‌های نفوذی در پروژه‌هایی که در مجاورت کوچه یا خیابان هستند، وجود ندارد و به سبب برخی مزایای این روش‌ها، کارفرمایان تمایل به استفاده از این روش‌ها دارند. در چنین شرایطی می‌توان به منظور خاکبرداری پروژه بدون صعوبت‌های مترتب با روش‌های اجرای بالا-پایین، در اضلاعی که امکان استفاده از روش‌های نفوذی وجود دارد، با خاکبرداری با شیب پایدار به سمت آن اضلاع، عملیات میخکوبی را انجام داد و با ساخت سازه از پایین و تلفیق آن با روش بالا-پایین، گودبرداری را کامل کرد. در شکل (۵-۱۳) نمونه این مفهوم ارائه شده است.

در حالتی دیگر ممکن است محدوده زمین پروژه تا ساختمان همسایه، که اجازه استفاده از روش‌های نفوذی نداده است، در حدی باشد که متناسب با عمق گود، نتوان از روش‌های میخکوبی یا مهاربندی با طول‌های بلند استفاده کرد و طول بلند اجزاء سبب تجاوز به زمین ملک مجاور گردد. در این موارد می‌توان متناسب با عمق مجاز استفاده از میخکوبی، عمق پایدار خاکبرداری تعیین کرد و نیمه فوقانی با روش میخکوبی پایدار شود؛ در ادامه بخش تحتانی با روش بالا-پایین اجرا شود. در این رویکرد، خاکبرداری قابل توجهی بدون صعوبت‌های روش بالا-پایین انجام شده است و بخش عمده‌ای از گودبرداری پیش رفته است. همچنین فرصت ساخت ستون‌های بالا-پایین در کارخانه مهیا شده است و لذا می‌توان گودبرداری را با این روش تلفیقی پیش برد. شکل مفهومی این روش در شکل (۵-۱۴) نشان داده شده است.

بدیهی است این روش‌های تلفیقی متناسب با هندسه‌های گود می‌تواند بسیار متنوع باشد و صرفاً در این بخش به نمونه‌هایی اشاره گردید (شکل ۵-۱۵).



شکل ۵-۱۳ تلفیق روش میخکوبی با روش بالا-پایین (نمونه شماره ۱)



شکل ۵-۱۴ تلفیق روش میخکوبی با روش بالا-پایین (نمونه شماره ۲)

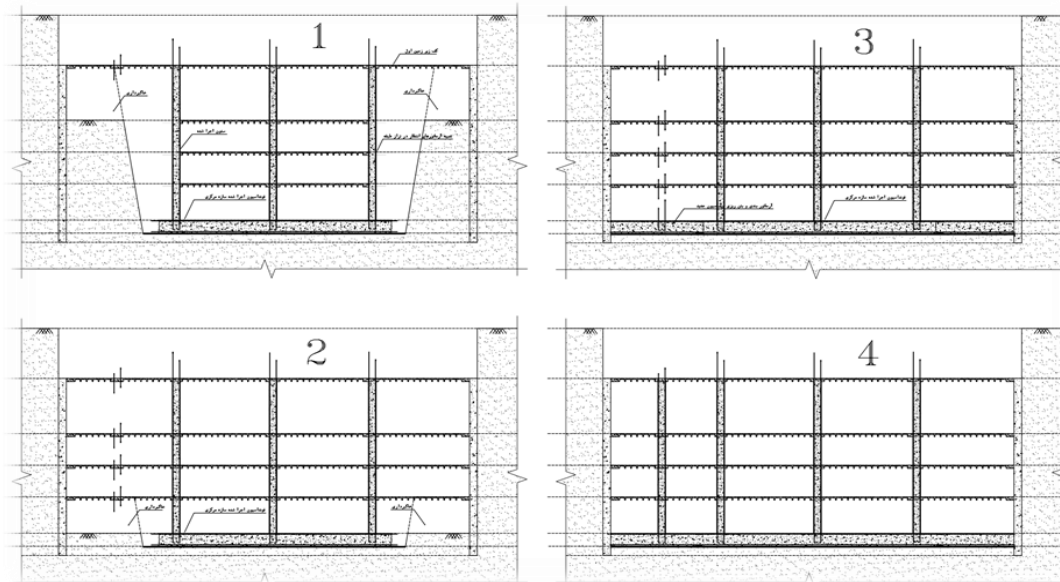
همانگونه که بیان شد، چنانچه بتوان در پروژه‌های ساخت بالا-پایین، حجم خاکبرداری از زیر سقف را کاهش داد، در هزینه و زمان پروژه بسیار موثر است. یکی از رویکردهای موثر، تلفیق روش‌های گودبرداری جزیره‌ای با روش بالا-پایین است. نمونه این مفهوم در شکل (۵-۱۶) نشان داده شده است. برای نمونه در این شکل روش تلفیقی شامل مراحل زیر است:

- ۱- خاکبرداری با شیب پایدار تا رسیدن به تراز پی و اجرای هسته مرکزی سازه تا تراز سطح زمین به صورت پایین به بالا
- ۲- خاکبرداری مرحله‌ای سکوه‌ای (برم‌های) کناری و اجرای سقف و دیوارهای کناری به صورت بالا-پایین
- ۳- تکمیل پی بخش‌های کناری
- ۴- اجرای ستون‌های باقیمانده از پایین به بالا



شکل ۵-۱۵ تلفیق روش مهاربندی با روش بالا و پایین - تهران، نیاوران

در این رویکرد می‌توان ستون‌های مدفون در سکوها را نیز از بالا-پایین اجرا کرد. همانگونه که ابتدا این بخش بیان شد، هدف از بیان این موارد، تنها نمونه‌هایی است و طبیعتاً رویکردهای تلفیقی محدود به نمونه بیان شده نبوده و متناسب با هندسه و شرایط هر خاک می‌تواند اقدام شود.



شکل ۵-۱۶ تلفیق روش ساخت بالا-پایین با روش جزیره‌ای

روش بالا-پایین و مهار متقابل بسیار مشابه هستند و لذا بیان تلفیق روش مهار متقابل با ساخت بالا-پایین امری اجتناب ناپذیر است که در بسیاری از پروژه‌ها محقق می‌گردد. در برخی موارد در بازشوه‌های بزرگ در دیافراگم‌های سقف‌ها از مهارهای متقابل برای پایداری استفاده می‌شود.

### ۵-۱۱- اشتباه‌های رایج

در این بخش، به بیان اشتباهات رایج در روش اجرای بالا-پایین پرداخته خواهد شد، که در شرایط کنونی در مهندسی کشور متداول است. در این راستا اشتباه‌ها در سه بخش مدیریتی، اجرایی و طراحی بیان خواهد شد. بدین منظور در هر بخش ابتدا گزاره متعارف بیان خواهد شد و در ادامه آن توضیحاتی ارائه می‌گردد.

#### ۵-۱۱-۱- اشتباه‌های مدیریتی

از منظر مدیریتی و اقتصادی، بهره‌برداری و انتخاب روش ساخت بالا-پایین، اشتباه‌هایی به شرح زیر رایج است:

- روش ساخت بالا-پایین زمانبرتر از دیگر روش‌ها است. این گزاره لزوماً صحیح نیست. خصوصاً در صورت مدیریت صحیح اجرا در روش‌های خاکبرداری، انتخاب ماشین‌آلات مناسب جهت عملیات خاکی و نیز ساخت طبقات مثبت همزمان با طبقات منفی، زمان ساخت به روش بالا-پایین افزایش چندانی نسبت به دیگر روش‌ها ندارد، بلکه در مواردی می‌تواند کمتر هم باشد.
- روش ساخت بالا-پایین گران‌تر از دیگر روش‌ها است. این گزاره صحیح نیست. چرا که در روش ساخت بالا-پایین معمولاً میزان مصالح مصرفی برای انجام گودبرداری و احداث سازه کمتر از دیگر روش‌ها است. لذا با توجه به رشد چشم‌گیر هزینه مصالح در کشور، عملاً این روش با دیگر روش‌هایی که نیاز به مصالح زیادی برای پایدارسازی موقت گود دارند، قابل رقابت می‌باشد.
- روش ساخت بالا-پایین صرفاً در سازه‌های با اسکلت فولادی کارآمد است. این گزاره صحیح نیست و

- موارد بسیاری از ساخت به روش بالا-پایین در اسکلت‌های بتنی با ملاحظات اجرایی ویژه خود، وجود دارد.
- روش ساخت بالا-پایین روشی است که کیفیت اجرای اجزای سازه‌ای همانند ستون‌ها و دیوارهای سازه‌ای در آن پایین است. این گزاره صحیح نیست. هر جزء سازه‌ای که الزامات کنترل کیفی در آن رعایت گردد، کیفیت خود را دارا خواهد بود. بدیهی است که در روش ساخت بالا-پایین سیستم کنترل کیفی مناسبی بایستی در پروژه فعال باشد.

### ۵-۱۱-۲- اشتباه‌های اجرایی

- روش ساخت بالا-پایین نیازمند تجهیزات خاص اجرایی است. این گزاره صحیح نیست و این روش نیازمند ابزار یا ماشین‌آلات ویژه‌ای نیست و آنچه در کارگاه‌های عمومی اجرای اسکلت‌های فولادی و بتنی متعارف است، برای آن کفایت می‌کند.
- در روش ساخت بالا به پایین ستون‌های میان دهانه (کمکی) حتماً بایستی فلزی باشد. این گزاره صحیح نیست و نمونه‌های زیادی از اجرای ستون‌های میان دهانه (کمکی) اصلی به صورت بتنی نیز وجود دارد. این موضوع توسط طراح ساخت به روش بالا-پایین تعیین می‌شود و الزامی به استفاده از یک نوع مصالح خاص برای ستون میان دهانه یا کمکی نمی‌باشد.
- در روش ساخت بالا-پایین سقف‌ها لزوماً باید از نوع تیر-دال باشد. این گزاره صحیح نیست و در روش ساخت بالا-پایین هرگونه سیستم سقف قابلیت اجرا دارد که هر یک مزایا و محدودیت‌های خاص فنی، اقتصادی و زمانی خود را دارد و بر اساس نظر طراح و مجری سیستم مناسب برای هر پروژه انتخاب می‌گردد.
- در روش ساخت بالا-پایین باید گالری تحتانی در چاه محل نصب ستون‌ها حفر شود. این گزاره صحیح نیست. در شرایطی که برای نصب ستون‌ها به وسیله اتصال‌دهنده‌ها، بازرسی چشمی لازم باشد، گالری حفاری می‌گردد. در بسیاری موارد نیازی به تعبیه گالری تحتانی نیست.
- در روش ساخت بالا-پایین باید ستون با کف ستون بر روی شمع نصب گردد. این گزاره صحیح نیست. در برخی موارد ستون به صورت شناور با برش‌گیر در شمع مهار می‌گردد و در بسیاری موارد و اغلب تجارب جهانی، این روش ارجح است.
- در روش ساخت بالا-پایین خاکبرداری دیوارها باید حتماً یکباره انجام شود. این گزاره صحیح نیست و کاملاً به روش اجرای پیشنهاد شده از سوی طراح وابسته است. بسته به جبهه‌های کاری و شرایط خاک، می‌تواند خاکبرداری به صورت دندان‌های و یا پیوسته انجام شود.
- در روش ساخت بالا-پایین تخلیه خاک به بیرون پروژه باید با جرثقیل برجی انجام شود. این گزینه صحیح نیست و بیرون کشیدن خاک می‌تواند به کمک بیل مکانیکی معمولی یا بازو بلند، جرثقیل بوم خشک مجهز به جام بازشو یا مخزن مناسب، جرثقیل دکل تلسکوپی دارای جام بازشو و یا سایر تجهیزات معرفی شد در فصل سوم همین راهنما، بر حسب شرایط دسترسی و شرایط هندسی پروژه انجام گردد.



### ۵-۱۱-۳- اشتباه‌های طراحی

طراحی یک پروژه برای ساخت به‌روش بالا-پایین یک فعالیت تخصصی است. در فضای طراحی روش ساخت بالا-پایین اشتباه‌های وجود دارد. برخی از این اشتباه‌ها به‌شرح ذیل است:

- در روش ساخت بالا-پایین طراحان ویژه‌ای بایستی انتخاب گردند. این گزاره صحیح نیست. در روش ساخت بالا-پایین، طراح باید به روش اجرا، مسایل ژئوتکنیکی و طراحی سازه‌آشنایی داشته باشد. ممکن است یک فرد عهده‌دار این طراحی باشد یا مجموعه‌ای از مهندسان به‌صورت تیمی این فرآیند را انجام دهند. بر حسب شرایط ایران، مهندس دارای کارشناسی‌ارشد ژئوتکنیک با تسلط کامل بر مباحث سازه‌ای در حد کارشناسی و طراحی سازه‌ها و نیز تجربه روش ساخت بالا-پایین، می‌تواند طراحی این نوع سازه‌ها را انجام دهد. آشنایی با مسایل اندرکنش خاک و سازه در طراحی به روش ساخت بالا-پایین از اهمیت بالایی برخوردار است.

- طراح گودبرداری به‌روش بالا-پایین باید همان طراح سازه باشد. این گزاره صحیح نیست. بهترین رویکرد اینگونه است که سازه مستقل از روش گودبرداری طراحی گردد و اجزای آن مشخص گردد. سپس طراح ساخت به روش بالا-پایین، روش گودبرداری را تدوین نماید و تاب‌آوری اجزای سازه‌ای را متناسب با روش اجرا کنترل نماید. در صورت پاسخگو نبودن برخی اجزاء، تقویت‌های لازم را در اجزاء اعمال نماید.

- در روش ساخت بالا-پایین، فضای خالی مابین چاه و ستون حتماً باید با بتن پر شود. این مساله صحیح نیست و استفاده از انواع مختلف مصالح با نظر طراح همچون استفاده از ترکیب خاک با عیار مناسب سیمان می‌تواند کاربردی و کافی باشد.

- در روش ساخت بالا-پایین، در طراحی باید ستون‌های میان دهانه به جدار خاک متکی باشند. این گزاره هرچند توصیه می‌شود اما الزامی نیست. ممکن است میزان قطعه‌برداری به نحوی توسط طراح در نظر گرفته شده باشد که نیازمند بهره‌گیری از ستون در تحمل فشار جانبی خاک نباشد؛ یعنی به ترتیبی که صرفاً ستون‌ها نقش کمک‌کننده به ستون‌های اصلی جهت بازتوزیع نیروهای وارده حین ساخت را دارند. در این شرایط می‌توان ستون‌ها را به جداره گود متکی نکرد.

- در روش ساخت بالا-پایین ضرورت دارد که تحلیل لرزه‌ای انجام شود. این گزاره در اجرای سازه در دوره زمانی طولانی (بیشتر از دو سال) صحیح است. در عموم پروژه‌های روش ساخت به‌روش بالا-پایین، گودبرداری از منظر زمانی موقت بوده و ضرورتی ندارد تا اجزای سازه در حین اجرا، برای زلزله کنترل شوند. لیکن خود سازه اصلی مستقل از روش گودبرداری بایستی با روش مناسب مورد قبول آیین‌نامه‌ها از منظر لرزه‌ای کنترل گردند.

- مدلسازی ژئوتکنیکی در روش ساخت بالا-پایین باید به‌صورت سه بعدی باشد. این گزاره در شرایط هندسی پیچیده ضروری است. در صورت نبود شرایط پیچیده بازشوها و اجزا در سازه، مدل‌سازی دوبعدی ژئوتکنیکی می‌تواند کارآمد باشد.

- طراحی و کنترل اجزای سازه‌ای لزوماً باید در نرم‌افزار سازه‌ای باشد. این گزاره لزوماً صحیح نیست. آنچه ضروری است، آگاهی از نیروهای برشی، محوری و لنگرهای خمشی ایجاد شده از اجزای سازه‌ای متناسب با



روش اجرایی است. چنانچه شرایط اجرا و نوع اجزاء به نحوی باشد که از مدل‌سازی ژئوتکنیکی بتوان از صحت میزان نیروهای ایجاد شده اطمینان حاصل کرد، می‌توان کنترل‌های لازم را به صورت دستی انجام داد. لیکن در شرایط هندسی پیچیده، احتمال کماتش برخی اجزاء (که نرم‌افزارهای ژئوتکنیکی از شبیه‌سازی آن ناتوان هستند) و با فرضیات حاکم بر مدل‌های دوبعدی، توصیه می‌شود که بر حسب نظر طراح، کنترل‌های سازه‌ای به وسیله نرم‌افزار سازه‌ای با اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه انجام شود.

• **ایجاد فایل‌های متعدد از مدل‌های مختلف مراحل ساخت در برنامه ایتبس برای طراحی و ساخت به روش بالا-پایین کافی و کامل است:** این رویکرد صحیح نیست و می‌تواند منجر به نتایج اشتباه باشد. در طراحی به روش ساخت بالا-پایین، یکی از کامل‌ترین روش‌های مدل‌سازی استفاده از تحلیل غیرخطی ساخت مرحله‌ای است که رفتار اندرکشی خاک-سازه و همچنین مراحل ساخت، همگی در یک فایل محاسباتی قابل مدل‌سازی و تحلیل است و شرایط ساخت مرحله‌ای را می‌توان نزدیکتر به واقعیت شبیه‌سازی نمود. ایجاد مدل‌های متعدد از فایل ایتبس با مدل‌سازی مرسوم، نیازمند دقت به نکات مهمی در مدل‌سازی است. شرایط مرزی در پای دیوارهای حائل باید شبیه‌ساز شرایط برجا و روش اجرا باشد و مقید نباشد. در هر مرحله شرایط مرزی پای ستون‌ها باید به گونه‌ای تعریف گردد که در عمق مناسبی از زیر دیوار حائل در هر مرحله از خاکبرداری که مدل برای آن ساخته می‌شود، ستون مقید باشد.

شایان ذکر است با توجه به اینکه اکنون برنامه عددی که رفتار خاک و سازه را به طور کامل شبیه‌سازی کند، در دسترس نیست و استفاده از هر یک از برنامه‌های سازه‌ای و ژئوتکنیکی به تنهایی سبب از دست رفتن برخی از داده‌ها می‌شود، توصیه می‌گردد در طراحی از نتایج توامان مدل‌سازی ساخت مرحله‌ای در برنامه سازه‌ای و ژئوتکنیکی استفاده شود.



1. AASHTO LRFD, Bridge Design Specifications, Seventh. Edition, 2014.
2. ACI 318-19, (2019). Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete.
3. Alipour, A., and Eslami, A. (2019). Design adaptations in a large and deep urban excavation: Case study. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(2), 389-399.
4. ANSI/AISC 360-16, (2016). Specification for Structural Steel Buildings.
5. API (2000). Recommended practice for planning, designing and construction of fixed offshore platforms. American Petroleum Institute, Report No. API-RP-2A. 115p.
6. Arboleda-Monsalve, L. G., and Finno, R. J. (2015). Influence of concrete time-dependent effects on the performance of top-down construction. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141(4), 04014120.
7. Aristizabal-Ochoa, J. D. (2013). "Stability of slender columns on an elastic foundation with generalised end conditions". *Ingeniería e Investigación*, 33(3), 34-40.
8. ASCE/SEI 37-14, (2014). Design Loads on Structures during Construction.
9. Bowles, J. E. (2001). *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill, pp. 750.
10. Brinkgreve RBJ, Engin E, Swolfs WM.; (2013). *PLAXIS 3D Manual*. Delft, Netherlands, PLAXIS.
11. Brown, D. C. (2003). Novel method of excavation. *J. Construct. Eng. Manage.*, 10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:2(222), 222-225.
12. BS 8002:2015, (2015). Code of practice for earth retaining structures.
13. BS 8102:2009, (2009). Code of practice for protection of below ground structures against water from the ground.
14. Burland, J.B. (1997). Assessment of Risk of Damage to Buildings due to Tunneling and Excavation. In: Ishihara (ed.): *Earthquake Geotechnical Engineering*. Balkema, pp.1189-12
15. Calvello, M. (2017). From the observational method to "observational modelling" of geotechnical engineering boundary value problems. In *Geotechnical Safety and Reliability* (pp. 101-117).
16. CFEM (2006). *Canadian foundation engineering manual*, 4th edition, Canadian geotechnical society, 503 PP.
17. Chai, J., Ni, J., Ding, W., Qiao, Y., & Lu, X. (2021). Deep excavation in under-consolidated clayey deposit. *Underground Space*, 6(4), 455-468.
18. Chen, Z., Wang, Z., Xi, H., Yang, Z., Zou, L., Zhou, Z., & Zhou, C. (2016). Recent advances in high slope reinforcement in China: Case studies. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8(6), 775-788.
19. Cotton, D. M., and Luark, R. D. (2010). Recent advances in the top-down construction of a 26.4-meter deep soil nail retention system—Bellevue technology tower. *Proc., 2010EarthRetentionConf., Vol.208*, ASCE, Reston, VA, 375-381.
20. DIN18195, (2015). *Waterproofing of buildings*.
21. EAB (2014). *Recommendations on Excavations*. 3rd edition, Published by the German Geotechnical Society, Wilhelm Ernst & Sohn, 325 pp.
22. Englekrik R. E. (2003). *Seismic design of reinforced and precast concrete buildings*, by John Wiley & Sons.
23. Feng, T., Liu, L., Tong, T., & Zhou, M. (2017). Numerical study on lateral wall displacement of deep excavation supported by IPS earth retention system. *Underground Space*, 2(4), 259-271.
24. Finno, R. J., and Roboski, J. F. (2005). Three-dimensional responses of a tied-back excavation through clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(3), 273-282.

25. Finno, R.J., Blackburn, J.T. and Roboski, J.F. (2007). Three-dimensional effects for supported excavations in clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(1), pp.30-36.
26. Ghorbani, E., and Khodaparast, M. (2019). Geodetic Accuracy in Observational Construction of an Excavation Stabilized by top-down Method: A Case Study. *Geotechnical and Geological Engineering*, 37(6), 4759-4775.
27. Goh, A. T., Zhang, F., Zhang, W., and Chew, O. Y. (2017). Assessment of strut forces for braced excavation in clays from numerical analysis and field measurements. *Computers and Geotechnics*, 86, 141-149.
28. He, C., Ho, Y., Ding, L., & Li, P. (2021). Visualized literature review on sustainable building renovation. *Journal of Building Engineering*, 102622.
29. Hetenyi, M., (1967). *Beams on elastic Foundation.*, 8th printing, Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan Press, Chapter VII.
30. Hong, W. K., Kim, J. M., Lee, H. C., Park, S. C., Lee, S. G., and Kim, S. I. (2010). Modularized top-down construction technique using suspended pour forms (modularized RC system downward, MRSD). *Struct. Des. of Tall Spec. Build.*, 19(7), 802-822.
31. Hsieh, P. G., Ou, C. Y., and Hsieh, W. H. (2016). Efficiency of excavations with buttress walls in reducing the deflection of the diaphragm wall. *Acta Geotechnica*, 11(5), 1087-1102.
32. Hsiung, B. C. B., Yang, K. H., Aila, W., and Hung, C. (2016). Three-dimensional effects of a deep excavation on wall deflections in loose to medium dense sands. *Computers and Geotechnics*, 80, 138-151.
33. Huang ZH, Zhao XS, Chen JJ, Wang JH (2014). Numerical analysis and field monitoring on deformation of the semi top-down excavation in Shanghai. *New Front Geotech Eng* 1:198-207
34. Ikuta, Y., Maruoka, M., Aoki, M., and Sato, E. (1994). Application of the observational method to a deep basement excavated using the top-down method. *Geotechnique*, 44(4), 655-679.
35. Jamsawang, P., Voottipruex, P., Tanseng, P., Jongpradist, P., and Bergado, D. T. (2019). Effectiveness of deep cement mixing walls with top-down construction for deep excavations in soft clay: case study and 3D simulation. *Acta Geotechnica*, 14(1), 225-246.
36. Lazar, N., & Chithra, K. (2020). A comprehensive literature review on development of Building Sustainability Assessment Systems. *Journal of Building Engineering*, 32, 101450.
37. Lee, H. S., Lee, J. Y., and Lee, J. S. (1999). Nonshored form work system for top-down construction. *J. Construct. Eng. Manage.*, 10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:6(392), 392-399.
38. Lees, A., (2016). *Geotechnical Finite Element Analysis A practical guide*, ICE Publishing, 278 pp.
39. Li, M. G., Chen, J. J., Xu, A. J., Xia, X. H., and Wang, J. H. (2014). Case study of innovative top-down construction method with channel-type excavation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(5), 05014003.
40. Lim, A., and Ou, C. Y. (2017). Stress paths in deep excavations under undrained conditions and its influence on deformation analysis. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 63, 118-132.
41. Lim, A., Ou, C. Y., and Hsieh, P. G. (2019). An innovative earth retaining supported system for deep excavation. *Computers and Geotechnics*, 114, 103135.
42. Loganathan, Nagen (2011). *An Innovative Method for Assessing Tunneling-Induced Risks to Adjacent structures*, Parsons Brinckerhoff, Inc., New York, NY, January.
43. Long M (2001). Database for retaining wall and ground movements due to deep excavation. *J Geotech Geoenviron Eng* 127:203-224



44. Ming-Guang Li, Jin-Jian Chen, An-Jun Xu, Xiao-He Xia, and Jian-Hua Wang. (2014). Case Study of Innovative Top-Down Construction Method with Channel-Type Excavation, *Journal of Construction Engineering Management*, Vol. 140(5): 05014003.
45. Ou CY, Liao JT, Lin HD (1998). Performance of diaphragm wall constructed using top-down method. *J Geotech Geoenviron Eng* 124(9):798–808
46. Ou, C. Y., Chiou, D. C., and Wu, T. S. (1996). Three-dimensional finite element analysis of deep excavations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(5), 337-345.
47. Ou, C.-Y., D.-C. Chiou, and T.-S. Wu. (1996). Three-dimensional finite element analysis of deep excavations. *Journal of Geotechnical Engineering*. 122(5): p. 337-345.
48. Paek, J. H., and Ockz, J. H. (1996). Innovative building construction technique: Modified up/down method. *J. Construct. Eng. Manage.*, 10.1061/(ASCE)0733-9364(1996)122:2(141), 141–146.
49. Peck, R. B. (1969). Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. *Geotechnique*, 19(2), 171–187.
50. Pio-Go Hsieh & Chang-Yu Ou (2011). Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation. January, *Canadian Geotechnical Journal* 35(6):1004–1017
51. Post tensioning manual (2006), Post tensioning institute, sixth edition.
52. Potts, D. and Zdravkovic, L. (2001). *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering*": Volume two Application, Thomas Telford Publishing.
53. Rankin, W.J. (1988). Ground Movements Resulting from Urban Tunneling: Predictions and Effects. *Eng. Geol. of Underground Movements*, pp.79–92.
54. Reese, L. C., and M. W. O'Neill. (1988). *Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods*, FHWA-IF-99-025
55. Schanz, T. (1999). Formulation and verification of the Hardening-Soil Model. *RBJ Brinkgreve, Beyond 2000 in Computational Geotechnics*, 281–290.
56. Seo, S. Y., Kim, S. K., and Jung, S. J. (2017). Stress variation of underground building structure during top-down construction. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 11(2), 21-223.
57. SNV (1983). *Underground Ventilation*, Swiss SIA standard 196.
58. TEC (2016). *Tunnel Engineering Committee, Standard Specifications for Tunneling - 2016: Cut-and-Cover Tunnels*. Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan.
59. Teparaksa, W., & Teparaksa, J. (2019). Comparison of diaphragm wall movement prediction and field performance for different construction techniques. *Underground Space*, 4(3), 225–234.
60. Terzaghi, K., Peck, R. B., and Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley and Sons.
61. Tomlinson, M. J. (1986). *Foundation Design and Construction*, Fifth Edition. Longman Scientific and Technical, London, p. 842.
62. Tomlinson, M., and Woodward, J. (2015). *Pile design and construction practice (Sixth Edition ed.)*: CRC Press.
63. Von der Tann, L., Sterling, R., Zhou, Y., & Metje, N. (2020). Systems approaches to urban underground space planning and management—A review. *Underground Space*, 5(2), 144–166.
64. Wang, J. H., Xu, Z. H., and Wang, W. D. (2010). Wall and ground movements due to deep excavations in Shanghai soft soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(7), 985–994.
65. Wong, I.H., and Goh, A.T.C. (2009). Performance of top-down basement excavation for the Singapore esplanade car park. *Geotech. Eng. J.*, 40(2), 49–59.



66. Wonglert, A., Jongpradist, P., Jamsawang, P., and Larsson, S. (2018). Bearing capacity and failure behaviors of floating stiffened deep cement mixing columns under axial load. *Soils and Foundations*, 58(2), 446-461.
67. Xu, Z. H. (2007). Deformation behavior of deep excavations supported by permanent structures in Shanghai soft deposit. Ph.D. thesis, Shanghai Jiao Tong Univ., Shanghai, China (in Chinese).
68. Zhang, W., Zhang, R., and Goh, A. T. (2018). Multivariate adaptive regression splines approach to estimate lateral wall deflection profiles caused by braced excavations in clays. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36(2), 1349-1363.
69. Zhang, W., Zhang, Y., and Goh, A. T. (2017). Multivariate adaptive regression splines for inverse analysis of soil and wall properties in braced excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 64, 24-33.
70. Zhang, Z. J., Li, M. G., Chen, J. J., Wang, J. H., and Zeng, F. Y. (2017). Innovative construction method for oversized excavations with bipartition walls. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(8), 04017056.
71. Zhou, Z. Q. (2010). Central part by bottom-up method and peripheral part by step-like top-down method construction craft and keytechnologies. *Chinese J. Geotech. Eng.*, 32(2), 455-458 (in Chinese).
72. IS 15916, (2011). *Building Design and Erection Using Prefabricated Concrete - Code of Practice*, Publication date: 2011.
73. Australian Safety and Compensation Council, (2008). *National Code of Practice for Precast, Tilt-up and Concrete Elements in Building Construction*.

۷۴. استاندارد ملی ایران، شماره ۱-۵۹۲۰

۷۵. اسلامی، ابوالفضل (۱۳۸۵). مهندسی پی، طراحی و اجرا نشریه شماره ک-۴۳۷ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۷۶. امین، حسین، علی طالش، مهتاب، (۱۳۹۶). مقاطع نیمه پیش ساخته بتنی مدفون همراه با اتصالات سازه‌ای، شماره ثبت ۹۲۹۰۰، اداره ثبت اختراعات، سازمان ثبت اسناد و املاک کشور، ۱۳۹۶

۷۷. آیین نامه طرح و محاسبه سازه‌های بتنی پیش ساخته، (۱۳۸۶). نشریه شماره ۳۸۸، بخش الحاقی به آیین نامه بتن ایران (آبا)، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

۷۸. آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، (۱۳۹۳)، استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

۷۹. پیش نویس نظام نامه گودبرداری و سازه نگهبان (۱۳۹۸)، سازمان نظام مهندسی استان تهران

۸۰. جواهری، م، برخوردار، ک، (۱۳۹۴). روش‌های نوین پایداری گود، دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی.

۸۱. دستورالعمل آزمایش بارگذاری صفحه ای روی خاک و سنگ ضعیف (۱۳۹۶)، نشریه شماره ۷۳۶ سازمان برنامه و بودجه کشور.

۸۲. دستورالعمل آزمایش پرسیمتری در مطالعات ژئوتکنیک (۱۳۸۰)، نشریه شماره ۲۲۳ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور

۸۳. دستورالعمل آزمایش نفوذ استاندارد (S.P.T) در مطالعات ژئوتکنیک (۱۳۸۰)، نشریه شماره ۲۲۴ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور

۸۴. راهنمای مطالعات صحرائی و آزمایشهای ژئوتکنیک (۱۳۹۹)، سازمان نظام مهندسی ساختمان استان تهران شماره GI-00-02-G

۸۵. روش اجرای سازه پارکینگ طبقاتی و مجتمع تجاری نیایش، (۱۳۹۴)، موسسه مهندسی مشاور طاهها، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء (ص)



۸۶. صادقی، محمد جواد، (۱۳۹۸). مدل‌سازی عددی و تحلیل فشار جانبی خاک در روش ساخت بالا به پایین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهد.
۸۷. صمدزاده، علیرضا، (۱۳۸۶)، توزیع فشار جانبی خاک تهران بر ابنیه مورد استفاده در گودبرداری‌های مجاور ساختمان همسایه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۸۸. علی طالش، م، امین، ح، خوشدل، ح، (۱۳۹۴). روش‌های نوین اجرای زیرزمین سازه‌ها در گودبرداری‌های شهری، پیام نظام مهندسی.
۸۹. فاخر، علی (۱۳۹۴)، مهندسی پی پیشرفته، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم. ۶۹۴ ص.
۹۰. قریشی ثابت، میربهنام، (۱۳۹۷). بررسی روش ساخت بالا به پایین در گودبرداری‌های عمیق، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت.
۹۱. مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان و مسکن (۱۴۰۱)، طراحی و اجرای ساختمانهای بتن آرمه.
۹۲. مبحث ۱۲ مقررات ملی ساختمان و مسکن (۱۳۹۲)، ایمنی و حفاظت کار حین اجرا.
۹۳. مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمان و مسکن (۱۳۸۲)، طراحی و اجرای تاسیسات برقی ساختمانها.
۹۴. مبحث ۱۴ مقررات ملی ساختمان و مسکن (۱۳۹۱)، تاسیسات مکانیکی.
۹۵. مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان و مسکن (۱۳۹۲)، بارهای وارده به ساختمان.
۹۶. مبحث ۷ مقررات ملی ساختمان و مسکن (۱۴۰۰)، ژئوتکنیک و مهندسی پی، ویرایش چهارم.
۹۷. مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان و مسکن (۱۳۹۲)، طراحی و اجرای ساختمانهای بتن آرمه.
۹۸. مرتاض، م، فاخر، ع، (۱۳۹۶)، تعیین فشار جانبی خاک در گودبرداری و اجرای سازه با روش بالا به پایین، پنجمین کنگره مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری.
۹۹. مشخصات فنی عمومی راه (۱۳۹۲)، نشریه ۱۰۱، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
۱۰۰. مشخصات فنی عمومی کارگاه‌های ساختمانی (۱۳۸۳)، نشریه ۵۵، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
۱۰۱. مشخصات فنی عمومی و اجرایی تأسیسات برقی ساختمان (۱۳۸۹)، نشریه شماره ۱۱۰-۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
۱۰۲. مقدس پور، مسعود، (۱۳۹۲). توصیف طرح سازه خودپایدار برای سیستم نگهداری دایمی ترانشه‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۱۰۳. مقررات روشنایی در معادن (۱۳۹۰)، نشریه شماره ۴۸۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
۱۰۴. ملکی، محمد، (۱۳۹۹). بررسی برخی مسائل سازه‌ای ساخت به روش بالا به پایین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهد.
۱۰۵. منصوری، م، برخوردار، ک، بلوری بزاز، ج، (۱۳۹۳). بررسی و مقایسه عملکرد روش‌های مختلف پایدارسازی گودبرداری‌های عمیق، دومین کنگره بین‌المللی معماری و توسعه شهری.
۱۰۶. مهدوی، م، خلیلیان، م، (۱۳۹۴). بررسی و مقایسه روش‌های اجرایی احداث ایستگاه متروی اهواز، همایش ملی عمران و معماری.
۱۰۷. مهندسین مشاور پژوهش (۱۳۹۹). ضوابط طراحی سازه ایستگاههای قطار شهری و حومه، سازمان برنامه و بودجه کشور.
۱۰۸. نافع نیکجه، حبیب، (۱۳۹۵). مدلسازی عددی ساخت و ساز به روش بالا به پایین و مطالعه عوامل مهم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.







## پیوست اول: آشنایی با روشهای گودبرداری

### پ ۱-۱- مقدمه

پیوست حاضر درباره معرفی روشهای گودبرداری رایج و گزینه جایگزین روش اجرای بالا-پایین است. این پیوست به خواننده کمک خواهد کرد، روش بالا-پایین را با سایر روشهای گودبرداری مقایسه نماید تا به انتخاب بهتری در مورد هر پروژه، نزدیک شود.

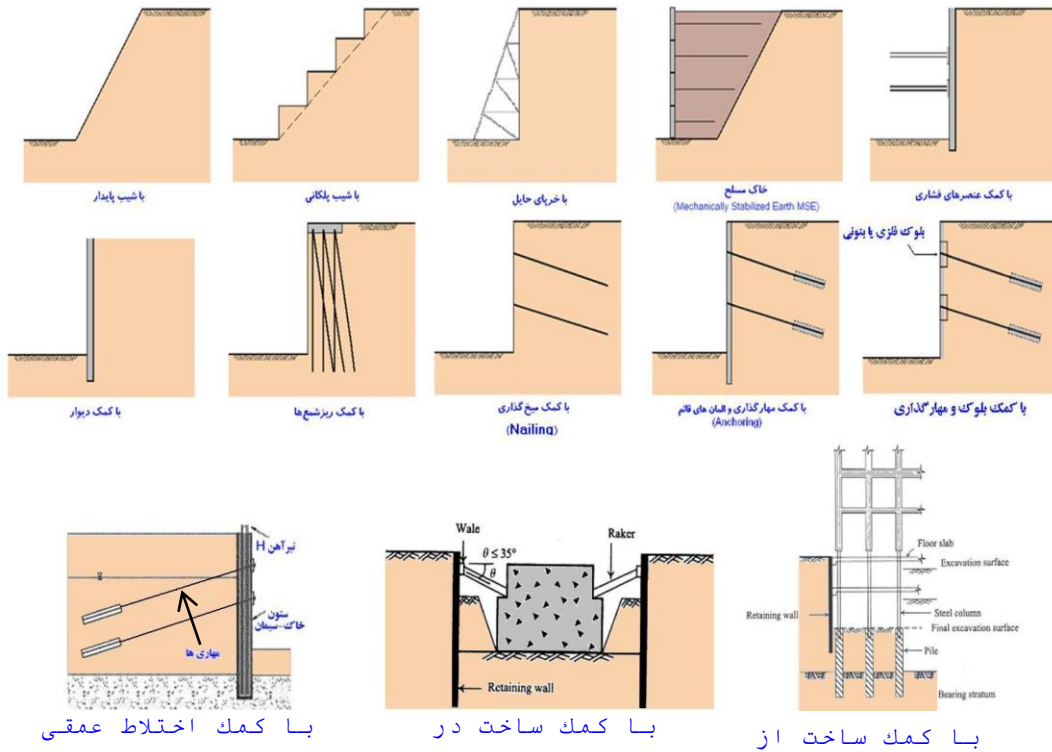
سیستمهای نگهدارنده دیواره گود، قابلیتها و ویژگیهای مختلفی دارند. برای نمونه در خاکهای بسیار سست، سیستمهای نگهدارنده باید قبل از شروع عملیات گودبرداری احداث شوند. شمعها و چاههای نگهدارنده بتنی در مجاورت گود، دیوارههای جداکننده، سپرهای فلزی (در صورت امکان استفاده از آنها با توجه به خطرات کوبیدن) از جمله سیستمهای مناسب برای این شرایط هستند.

در خاکهای با پایداری نسبی خوب، می توان سیستمهای نگهدارنده را همراه با انجام گودبرداری، به صورت گام به گام، احداث نمود. در این حالت باید به تغییر شکل گود و تغییر شکل های رخ داده زیر پی ساختمان مجاور، توجه ویژه داشت و چنانچه این تغییر شکلها از مقادیر مجاز تجاوز کند، باید از روش ساخت سیستمهای نگهدارنده (سازه نگهدارنده) قبل از شروع عملیات گودبرداری استفاده نمود.

شایان ذکر است در بررسی پایداری گودها، انتخاب و طراحی سیستمهای نگهدارنده موارد زیر باید مدنظر قرار گیرد: نوع ساختار و بافت لایه های خاک، متغیرهای مقاومت برشی خاک، متغیرهای تغییر شکل پذیری خاک، عمق و عرض گودبرداری، شرایط آب زیرزمینی و آبهای سطحی، وجود یا عدم وجود سازه در نواحی مجاور گود و نحوه ساخت و ساز آنها، وضعیت سربارهای موجود در کناره گود از قبیل ترافیک خیابانها و غیره و همچنین کوتاه مدت یا بلند مدت بودن دوران استفاده از گود. همچنین در گودبرداریها باید گسیختگیها و تغییر شکل های متداول شامل لغزش خاک، نشست و تغییر مکان ساختمانهای مجاور گود، ریزش، بالازدگی کف گود بر حسب مورد، جوشش ماسه از کف گود (در صورت بالا بودن سطح آب زیرزمینی)، مشکلات ناشی از لرزش ناشی از عملیات گودبرداری در سازه های اطراف گود و نیز چنانکه گود موقت نباشد، آثار نیروی زلزله مورد نظر باشد.

در این پیوست روشهای گودبرداری و پایداری سازی ذیل معرفی و بررسی خواهند شد:

- ۱- روش پایداری سازی با شیب پایدار یا پلکانی
- ۲- روش پایداری سازی با سازه نگهدارنده خریایی
- ۳- روش پایداری سازی با سازه نگهدارنده مهار متقابل (عناصر فشاری)
- ۴- روش پایداری سازی با استفاده از سیستم مهار سیرکوبی
- ۵- روش پایداری سازی با استفاده از سیستم شمع و پوشش نگهدارنده
- ۶- روش پایداری سازی با استفاده از دیوارهای نگهدارنده بتنی
- ۷- روش پایداری سازی با میخ کوبی جهت مسلح کردن خاک
- ۸- روش پایداری سازی با مهاربندی خاک
- ۹- روش گودبرداری جزیره ای



شکل پ ۱-۱ روش های مختلف گودبرداری و پایدارسازی دیواره گود

### پ ۱-۲- روش پایدارسازی با شیب پایدار یا پلکانی

یکی از روش های ایمن در پایدارسازی دیواره گود، گودبرداری با شیب پایدار یا پلکانی است. در مناطقی که فضای کافی در اطراف گود وجود دارد، می توان گود را به صورت شیب دار اجرا کرد. این روش اگرچه به تجهیزات خاصی نیاز ندارد، اما باعث افزایش تغییر شکل های جانبی در خاک می شود. همچنین به دلیل این که این روش به فضای زیادی نیاز دارد؛ امکان استفاده از این روش در محیط های شهری وجود ندارد.



شکل پ ۱-۲ روش پایدارسازی با شیب پایدار یا پلکانی

جدول پ ۱-۱ مشخصات روش پایدارسازی با شیب پایدار یا پلکانی

مزایا	معایب
مشخصه روش	نیازمند محدوده اجرایی خارج از گود
در مقایسه با روش بالا-پایین	تجاوز به ملک مجاور
ارزانی، سادگی	
سادگی بیشتر	

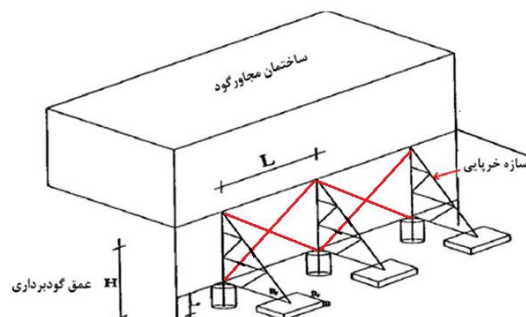
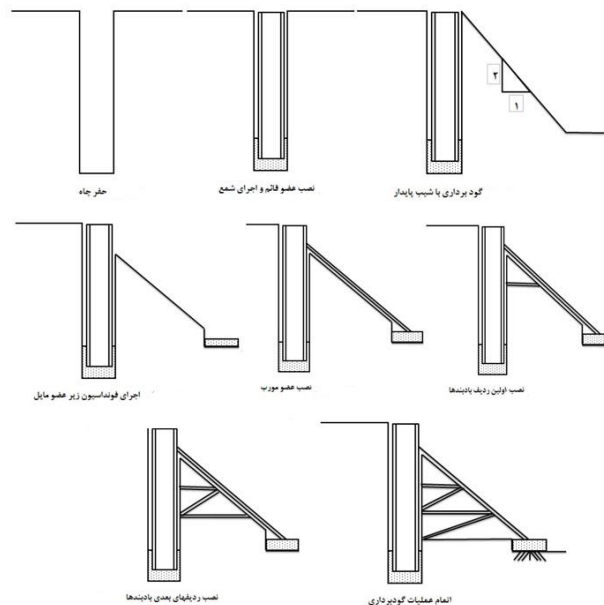


### پ ۱-۳- روش پایدارسازی با سازه نگهدارنده خرابایی

این روش یکی از متداولترین روشهایی سازه نگهدارنده در مناطق شهری و گودهای کم عمق است. زیرا اجرای آن ساده و بدون نیاز به تجهیزات و تخصص بالا و نسبتاً منعطف است. این روش تا دو طبقه زیرزمین و نسبت عرض به عمق گود بزرگتر از ۱/۵ توصیه می شود. از مزایای سازه نگهدارنده خرابایی می توان به امکان بازیافت بخشی از مصالح خرابی، عدم ورود به زمینهای مجاور، قابلیت انطباق با روشهای زهکشی، قابلیت اجرا در پروژههای با هندسه نامنظم اشاره کرد. از معایب آن می توان به جاگیر بودن (مشکل کردن عملیات اجرایی)، محدودیت استفاده در گودهای عمیق، نیازمندی به برداشتن بخشی از خاک به روش دستی، سختی خاکبرداری و اجرای سازه اصلی، سختی اجرا و افت کیفیت سیستم آب بندی، عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری، صعوبت اجرا و تداخل خرابیها در کنجهای مقعر، سادگی ظاهری در طرح و روش ساخت و ورود افراد کاملاً غیر حرفه‌ای در این حوزه اشاره کرد. استفاده از اجزاء فرسوده و مقاطع لانه زنبوری برای اجرای سازه نگهدارنده خرابایی توصیه نمی شود. البته استفاده از مقاطع کارکرده و دارای کیفیت مناسب، ممکن است.

#### پ ۱-۳-۱- مراحل اجرا در روش خرابایی

خلاصه مراحل اجرای سازه نگهدارنده خرابایی در شکل (پ ۱-۳) ارائه شده است. این مراحل به شرح زیر می باشد:



شکل پ ۱-۳ خلاصه مراحل اجرای سازه نگهدارنده خرابایی

این روش بر مبنای جایگزین نمودن یک سازه فلزی با خاک برداشته شده و مهار خاک استوار شده است. در این روش ابتدا تعدادی چاه قائم در نقاط مورد نظر پیرامون زمین حفر می‌شود. در مرحله دوم قفسه آرماتورهای شمع در محل مربوطه قرار می‌گیرد. سپس عضو قائم در داخل چاه قرار گرفته و بتن‌ریزی در انتهای چاه انجام می‌شود. در مرحله بعدی داخل چاه با بتن کم‌مایه پر می‌شود. در ادامه کار، خاک با شیب پایدار در تمام محدوده گود حفاری می‌شود. در نهایت عملیات نصب عضو مایل انجام می‌گیرد.



شکل پ ۱-۴ روش سازه نگهبان خریایی

جدول پ ۱-۲ مشخصات روش پایدارسازی با سازه نگهبان خریایی

مزایا	معایب
متداول در بسیاری گودهای کوچک	سرعت اجرا نسبتاً کم
قابلیت انعطاف زیادی	دست و پا گیری خریا
بازیافت مصالح خریا	احتمال نیاز به خاکبرداری دستی
سادگی	ایمنی کم
عدم نیاز به تخصص یا دستگاه خاص	
در مقایسه با روش بالا-پایین	ایمنی کمتر
سادگی بیشتر	

### پ ۱-۴- روش پایدارسازی با سازه نگهبان مهار متقابل (عناصر فشاری)

در محیط‌های شهری و در مواردی که به دلایل فنی و اجرایی مانند محدودیت ابعاد یا زیادی عمق، اجرای سازه نگهبان خریایی با محدودیت همراه باشد و یا به علت وجود معارض، روش‌های پایدارسازی دوخت به پشت امکان پذیر نباشد، روش مهار متقابل گزینه مناسبی برای پایدارسازی گود است. اصول کلی این روش استفاده از اجزاء فلزی افقی (استرات) و مورب (مهار) به همراه اجزاء قائم (شمع فولادی) به همراه دیوار بتنی یا بتن پاششی، شمع‌های بتنی (جدا یا پیوسته)، سپر فولادی و یا دیوار جداکننده (دیافراگمی) برای تامین پایداری و کنترل تغییرشکل‌های ناشی از گودبرداری می‌باشد. مهارهای فشاری به صورت فلزی یا بتنی ساخته می‌شوند، که گاهی قابلیت عملکرد به صورت هیدرولیکی را نیز دارند و طول آن‌ها قابل تغییر است. با توجه به شرایط پروژه، نیازهای طراحی، سطح آب زیرزمینی، نوع خاک و سایر عوامل، یکی از انواع اجزاء قائم ذکر شده در بالا انتخاب می‌گردد. طراحی اجزاء افقی با طول متغییر بر اساس مراجع معتبر، به شرطی که کلیه امکانات اجرایی آن پیش‌بینی گردد، مجاز است.

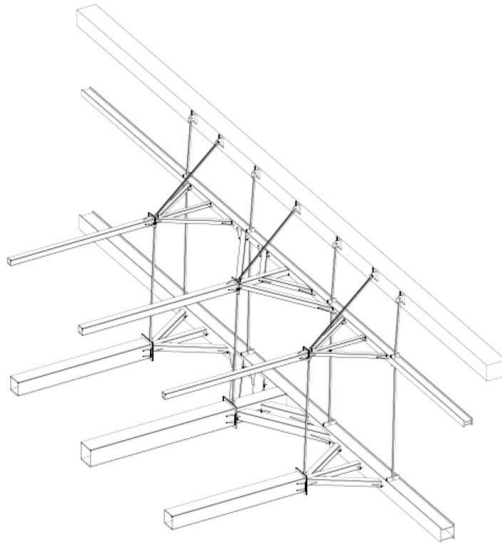


در روش مهار متقابل، فشار خاک وارد بر دیواره گود از طریق اجزاء افقی به دیوار مقابل منتقل می‌گردد. این روش در حفر ترانشه‌های کم عرض مثل کانالها و حتی عمیق در محیطهای شهری کاربرد بسیاری دارد. در طراحی کلیات و چیدمان اجزاء سیستم مهار متقابل، توصیه می‌شود به منظور پیشگیری از بروز پدیده خرابی پیشرونده، درجه نامعینی سازه تا حد امکان افزایش داده شود.

این روش برای عرض حدود ۱۰ و کمتر از ۱۵ متر مناسب‌تر است. فاصله اجزاء باید طوری تنظیم گردد که علاوه بر تأمین ایمنی سیستم سازه نگهبان (تأمین مقاومت و سختی لازم)، مباحث اجرایی نیز رعایت گردد. از مزایای آن در گودبرداری با عرض کم می‌توان به محدود سازی تغییرشکل‌ها، قابلیت انطباق با روش‌های زهکشی، انعطاف‌پذیری و امکان تقویت طرح در حین و پس از اجرا، عدم وابستگی کارایی روش به جنس خاک، هزینه کمتر، سرعت زیادتر و جاگیری کمتر در گودبرداری‌های کوچک و عدم نیاز به تجهیزات خاص اشاره کرد. از معایب آن مشکلات مرتبط با یکسان نبودن خاک طرفین، عدم امکان حفاری توسط ماشین در گودبرداری‌های عمیق، غیراقتصادی بودن در زمین‌های با عرض و عمق زیاد، اشغال فضای داخل گود و مشکل بودن خاکبرداری و اجرای سازه اصلی، سرعت نسبتاً پائین اجرای عملیات، محدودیت اجرا در محیط‌های با دسترسی دشوار، سختی اجرا و افت کیفیت سیستم آب‌بندی، محدودیت اجرا در پروژه‌های با هندسه نامنظم، عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری، نیاز به تجهیزات و ماشین‌آلات خاص، نیازمند پرسنل مجرب و کنترل کیفی دقیق جهت اجرای مهارها به ویژه اتصالات می‌باشد.

در گودهای طویل یا تونل‌هایی که برای مهار جانبی از مهار متقابل استفاده می‌شود، استفاده از تیر افقی سرتاسری یکپارچه کننده (تیر ویل)، به جای اتصال مستقیم عنصر افقی به سازه نگهبان پیشنهاد می‌گردد. اتصال مهار افقی به تیر سرتاسری می‌بایست طوری باشد که از کلیه حرکات انتقالی در سه راستای اصلی جلوگیری کند. لازم است از قراردادن اجزاء در تراز سقف و ترکیب آنها با سقف سازه اصلی خودداری گردد. در مواردی ممکن است از دال بتنی کف به عنوان مهار متقابل استفاده شود که در این موارد لازم است، طراحی لازم جهت تأمین سختی و مقاومت کافی در برابر بارهای جانبی سازه نگهبان و بارهای عمودی (مانند ماشین‌آلات ساخت) انجام گردد. تیر سرتاسری می‌بایست مقاومت و سختی کافی جهت انتقال نیرو از سیستم سازه نگهبان به مهار متقابل را داشته باشد. فاصله عمودی تیرها باید طوری تنظیم گردد که علاوه بر تأمین ایمنی لازم سیستم سازه نگهبان (با توجه به تأمین مقاومت و سختی لازم)، مباحث اجرایی نیز رعایت گردد. ابعاد تیر می‌بایست طوری انتخاب گردد که ملاحظات اتصال مهار به تیر را در برگیرد. پیشنهاد می‌شود در سطح تماس اتصال تیر به مهار، تیر بزرگتر باشد.





شکل پ ۱-۵ اتصال مهارافقی و تیر سرتاسری به سرشمع



شکل پ ۱-۶ پایدارسازی گود با روش مهارمتقابل

جدول پ ۱-۳ مشخصات روش پایدارسازی با مهارمتقابل

مزایا	معایب
سرعت اجرای بالا	دست و پا گیر بودن ناشی از اشغال فضا
مناسب برای گودهای با عرض کم	هزینه بیشتر برای تهیه اجزای پایدارساز
عدم تجاوز به ملک مجاور	لزوم طراحی و اجرای صحیح اتصالات
امکان بازیابی المانهای مهار متقابل	نیازمند تخصص بالای اجرای سازه
سرعت نسبتاً بیشتر	ایمنی کمتر

مشخصه روش

در مقایسه با روش بالا-پایین

### پ ۱-۵- روش پایدارسازی با استفاده از سیستم مهاری سپرکوبی

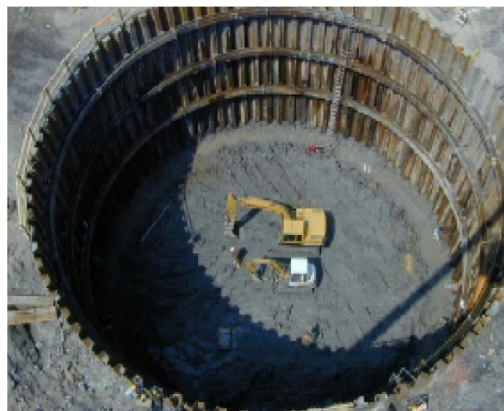
در این روش مقاطع فلزی درون خاک و در جداری گود توسط چکش بادی و یا با استفاده از لرزش کوبیده می‌شوند و با انواع اتصالات کام زبان بین خود، به یکدیگر متصل شده و یک جداری پیوسته را تشکیل می‌دهند. در این روش محدودیت‌های اشغال فضای داخل گود کمتر وجود دارد. سپرها اصولاً عناصر موقت هستند. عمده‌ترین کاربرد سپرها در گودبرداری‌های کم‌عرض جهت لوله‌گذاری، تونل، مترو و امثال آن است.

در این روش، ابتدا در طرفین گود سپرها کوبیده می‌شود و سپس خاکبرداری انجام می‌شود. پس از آن که عمق خاکبرداری به تراز مناسب رسید، در کمرکش سپرها و بر روی آنها، تیرهای پشت‌بند افقی نصب و سپس



قیدهای فشاری قائم در جهت عمود بر صفحه‌ی سپرها از جلو و یا مهار درون خاک از پشت به این پشت‌بندهای افقی وصل می‌گردد. سپس دوباره تا تراز بعدی نصب قید فشاری یا مهارها، حفاری ادامه می‌یابد. سپرها، پشت‌بندها و قیدهای فشاری در عرض‌های کم و خاک‌های غیر سست، معمولاً از نوع چوبی است. ولی در عرض‌های بیشتر و خاک‌های سست‌تر، استفاده از سپرها و پشت‌بندها و قیدهای فشاری فلزی اجتناب‌ناپذیر است.

سپرها عناصری شکل‌پذیر و معمولاً فلزی هستند. خاک در جلوی سپر می‌تواند در حالت رانش مقاوم و در پشت آن در حالت محرک باشد. اگر سپر به اندازه‌ی کافی در خاک فرو رفته باشد، آنگاه سپر گیردار در پا است و فشار ضد رانش مقاوم در پای سپر ایجاد می‌کند. اگر سپر به اندازه‌ی کافی در خاک فرو نرفته باشد، پای سپر مفصل است و به آن سپر آزاد در پا گفته می‌شود.



شکل پ ۱-۷ پایدارسازی گود با روش سپر کوبی

جدول پ ۱-۴ مشخصات روش پایدارسازی با سپر کوبی

مزایا	معایب
ایمنی بالا در صورت مهار به پشت	نیاز به دستگاه‌های ویژه
مناسب برای گودها با طول زیاد	نیاز به نیروی کار متخصص
مناسب برای شرایط بالا بودن آب زیرزمینی	مناسب برای عرض‌های کم
تامین فضای مناسب‌تر کاری	گران‌تر
در مقایسه با روش بالا-پایین	غیرقابل کاربرد در خاک‌های قله‌ای و سخت

### پ ۱-۶- روش پایدارسازی با استفاده از دیوارهای نگهدارنده بتنی

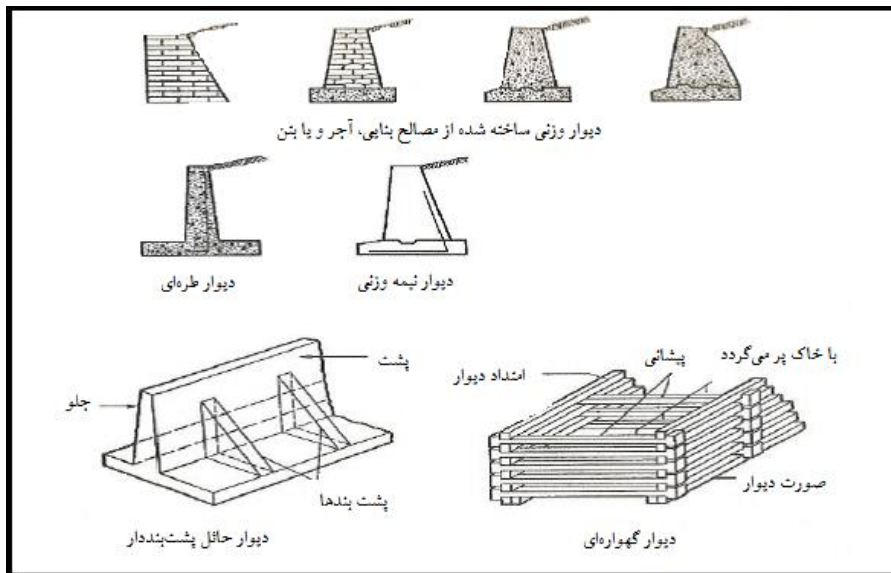
دیوار حائل یا دیوار نگهدارنده، دیواری بتنی است که خاک را در پشت خود نگه می‌دارد و باعث جلوگیری از ریزش آن می‌شود. انواع مختلفی از دیوارهای نگهدارنده بتنی به شرح ذیل وجود دارد:

- دیوارهای ثقلی<sup>۱</sup>
- دیوار طره‌ای<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> Gravity Walls

<sup>۲</sup> Cantilever Walls

- دیوار حائل پشت‌بنددار<sup>۱</sup> یا مهارشده
- دیوار گهواره‌ای<sup>۲</sup>
- دیوار نیمه ثقلی<sup>۳</sup>
- دیوار جداکننده<sup>۴</sup>



شکل پ ۱-۸ انواع مختلف دیوارهای نگه‌دارنده از جنس بتن مسلح یا مصالح بنایی

لیکن همانطور که مشخص است، بسیاری از این دیوارهای بتنی قابلیت اجرا برای گودبرداری را ندارد. یعنی نمی‌تواند قبل از خاکبرداری ایجاد و مانع ریزش خاک شود. از میان این روش‌ها، دیواره طره‌ای یا مهارشده با فناوری‌های اجرایی مختلف از قبیل جداکننده (دیافراگمی)، شمعی با الگوهای مختلف چینش و یا حتی غیربتنی و ساخته شده با خاک‌سیمان با فناوری تزریق پرفشار (جت‌گروت) یا اختلاط عمیق می‌باشد.

### پ ۱-۶-۱- دیوار جداکننده

دیوارهای جداکننده یا دوغابی<sup>۵</sup> دسته‌ای از دیوارهای حائل از جنس بتن مسلح هستند که با حفر ترانشه‌هایی عمیق ساخته می‌شوند. در این روش ابتدا دورتادور گود به کمک دستگاه‌های حفاری ویژه‌ای حفاری می‌شود و به‌طور همزمان با گل بنتونیت پر می‌شود. بعد از پایان خاکبرداری، قفسه آرماتور داخل شیار قرار داده شده و درون آن با بتن پر می‌شود. این روش در گودهای عمیق و تونل‌ها کاربرد بسیاری دارد. به علت کاربرد این نوع دیوارها در روش بالا-پایین با الگوی جهانی، روش اجرای این روش به تفصیل در فصل سوم راهنما ذکر شده است. این دیوارها به غیر از کاربرد در روش بالا-پایین، با ترکیب با قیده‌های فشاری متقابل یا مهارهای کششی پشت دیوار، یک سیستم پایدارسازی قابل اتکا و اصولی است. خصوصاً در مواردی که آب زیرزمینی در ترازهای بالا باشد، استفاده از این روش اجرای دارای مزایای قابل توجهی است.

<sup>۱</sup> Counterfort Walls

<sup>۲</sup> Crib Walls

<sup>۳</sup> Semi-Gravity Walls

<sup>۴</sup> Diaphragm Walls

<sup>۵</sup> Slurry Wall



شکل پ ۱-۹ پایدارسازی گود با روش دیوار جداکننده

جدول پ ۱-۵ مشخصات روش دیوار جداکننده

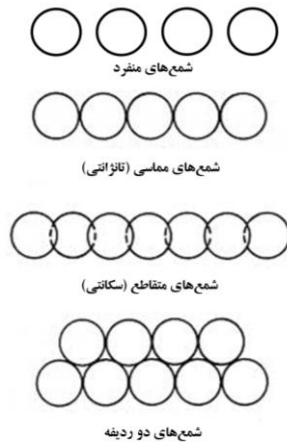
مزایا	معایب
ایمنی بالا در صورت دوخت به پشت	در احجام کم هزینه بالا است عدم امکان اجرا در فضای محدود شهری نیاز به دستگاه‌های ویژه نیاز به نیروی کار متخصص
در مقایسه با روش بالا-پایین	نیاز به فناوری و تجهیزات خاص احتمالاً گران‌تر

### پ ۱-۶-۲- دیوار متشکل از شمع

یک روش دیگر برای ایجاد دیوار، ساخت دیوار با ساخت شمع‌های متعدد است. بدین ترتیب که با ساخت شمع‌های مجاور<sup>۱</sup> (شمع‌های سرباز) که ممکن است با فاصله بوده یا با هم مماس یا همپوشانی داشته باشند، یک سازه نگهدارنده ساخته می‌شود. اگر خاک وضعیت خیلی خوبی داشته باشد، ممکن است شمع‌ها با فاصله از هم ساخته شوند. در غیر این صورت شمع‌ها با هم موازی (تانژانت پایل) و یا حتی برای یکپارچگی بهتر، در هم رفته و با همپوشانی (سکانت پایل) خواهد بود (شکل پ ۱-۱۰). استفاده از مهار برای کمک به مقطع شمع یا مهار متقابل در برابر این شمع‌ها، مشابه آنچه برای دیوار جدا کننده انجام می‌شد، قابل انجام است.

در این روش، در پیرامون زمینی که قرار است گودبرداری انجام شود، در فواصل معینی از هم شمع‌هایی اجرا می‌شود. این شمع‌ها می‌توانند از انواع مختلف مصالح سازه‌ای نظیر فولاد، بتن و چوب باشند. همچنین شمع‌های بتنی را می‌توان به صورت پیش ساخته یا درجا اجرا کرد. در این روش بعضاً شمع‌ها فشار جانبی خاک را به صورت تیرهای یک سر گیردار تحمل می‌کنند. در این شرایط طول گیرداری لازم در انتهای شمع‌ها، چیزی در حدود ۳۰ درصد طول شمع است. پس از اجرای شمع‌ها می‌توان عملیات گودبرداری را اجرا کرد. البته در صورت لزوم باید شمع‌ها را در امتداد گود مهاربندی کرد و یا مهار متقابل برای آنها قرار داد. در این روش ممکن است شمع‌ها از هم فاصله داشته باشند و فاصله بین آنها توسط چوب، قطعات پیش ساخته بتنی و یا بتن پاششی پر شود.

<sup>۱</sup> Soldier piles

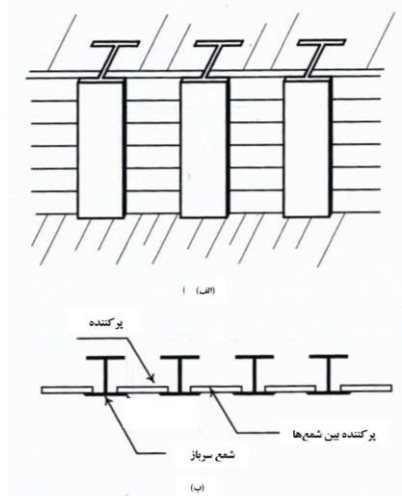


شکل پ ۱-۱۰ پایداری گود با دیواره متشکل از شمع با چیدمان مختلف



شکل پ ۱-۱۱ پایداری گود با روش شمع مماسی

پس کردن فاصله بین شمع‌ها برای جلوگیری از ریزش‌های سطحی خاک می‌باشد. در این روش شمع‌ها می‌توانند با مصالح و مقاطع متنوع دیگری از قبیل مقطع H فولادی نیز باشند.



شکل پ ۱-۱۲ پایداری گود با روش شمع سرباز با فاصله و پرکننده بین شمع‌ها





در این روش اجرا، مقطعی از تیرآهن تا عمقی بیشتر از حفاری در خاک رانده می‌شود. بین این تیرآهن‌ها با استفاده از چوب‌هایی به ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر که در پشت بال جلویی قرار می‌گیرد، پر می‌شود. چنانچه لازم باشد، در ترازهایی از مهار نیز استفاده خواهد شد.



شکل پ ۱-۱۳ پایدارسازی گود با روش شمع سرباز با فاصله

جدول پ ۱-۶ مشخصات روش پایدارسازی با شمع

مزایا	معایب
<p>تامین بخش عمده مزایای دیوار جداکننده بدون استفاده از تجهیزات پیچیده</p>	<p>زمان‌بر بودن لزوم مهار به پشت و نفوذ در زمین مجاور در اعماق زیاد</p>
<p>در مقایسه با روش بالا-پایین</p>	<p>نیازمند فضای بیشتر سطح کار نامنظم تر</p>

### پ ۱-۶-۳- دیوار متشکل از شمع‌های خاک سیمانی

یکی دیگر از روش‌های پایدارسازی دیواره گود، روش مشابه استفاده از شمع‌های بتنی است. با این تفاوت که به جای شمع بتنی که مستلزم حفاری و اجرای شمع است، از ستون‌ها یا شمع‌های خاک سیمانی استفاده می‌شود. حسن استفاده از شمع‌های خاک سیمانی، روش اجرای آن است که بسیار ساده و سریع است و با فناوری اختلاط عمیق<sup>۱</sup> خاک یا تزریق پرفشار<sup>۲</sup> انجام می‌شود. در این روش‌ها ستون یکنواختی با مخلوط خاک و مواد پایدارکننده نظیر سیمان و آهک در محل ساخته می‌شود که از همپوشانی این ستون‌ها، دیواره‌ای محکم جهت پایداری دیواره گود ایجاد می‌کند. اگرچه سختی این مصالح به مراتب کمتر از بتن می‌باشد و به همین دلیل در گودهای عمیق با محدودیت زیادی همراه است، لیکن سرعت و سهولت اجرایی آن به حدی است که در موارد بسیاری راهگشاست.



شکل پ ۱-۱۴ پایدارسازی گود با ستون‌های خاک سیمانی

<sup>۱</sup> Deep soil mixing

<sup>۲</sup> Jet grouting





شکل پ ۱-۱۵ پایدارسازی گود با ستون‌های خاک سیمانی مهارشده

در روش اختلاط عمیق ابتدا دستگاه همزن با بازوهای خود و همزمان با فشار و چرخش در زمین وارد می‌شود. سپس زمانی که به عمق موردنظر رسید، رانش متوقف شده و همزن حرکت خود را به صورت معکوس آغاز می‌کند و به‌طور آهسته به سمت بالا رانده می‌شود. در زمان حرکت همزن به سمت بالا، از درون نازل‌های تعبیه‌شده در نوک بازوها، دوغاب با فشار بسیار زیاد به درون خاک تزریق می‌شود. این حرکت به سوی بالا مرحله‌ای بوده و پس از طی فاصله یک متر رو به بالا، به مدت تقریباً یک دقیقه در همان تراز می‌چرخد و دوغاب به داخل زمین تزریق می‌شود. البته فاصله‌ها و زمان‌های اشاره شده با توجه به نوع دستگاه و نوع خاک متغییر است.

روش دیگر اجرای ستون خاک سیمانی، تزریق پرفشار است. بدین نحو که مته حفاری مجهز به نازل ویژه تزریق، با چرخش و فشار با حفاری به قطر حدود ۱۰ سانتی‌متر خود را به تراز مورد نظر می‌رساند. سپس در آن تراز، تزریق دوغاب سیمان با فشارهای بسیار بالا آغاز می‌شود و مته آرام آرام با چرخش به سطح بر می‌گردد. محصول این اقدام، فرسایش و مخلوط شدن خاک اطراف تا قطر مشخصی است که ستون خاک سیمانی را تشکیل می‌دهد. در این روش‌ها برای افزایش مقاومت خمشی نیز می‌توان، قبل از گیرش مخلوط خاک سیمان با کوبیدن مقاطع H شکل در داخل ستون‌های ایجاد شده، آنها را مسلح کرد.

جدول پ ۱-۷ مشخصات روش‌های استفاده از ستون خاک سیمانی

مزایا	معایب
سرعت اجرای بالا	اقتصادی معمولاً در گودهای کم عمق
دست و پا گیر نبودن روش	صعوبت حفاری در زمینهای سخت
کاهش هزینه در احجام زیاد	مشکلات کنترل کیفی
مناسب برای شرایط بالا بودن آب زیرزمینی	
در مقایسه با روش بالا-پایین	تامین فضای کاری مناسب
	محدودیت زیاد در عمق

### پ ۱-۷- روش پایدارسازی با میخ کوبی دیواره

روش میخ کوبی (نیلینگ) که با عنوان روش دوخت به پشت نیز شناخته می‌شود، یکی دیگر از فنون پایدارسازی دیواره‌های گودهای عمیق است. طریقه عمل این روش بر مبنای مسلح کردن خاک دیواره گود با استفاده از دوختن توده خاک توسط مهارهای کششی به یکدیگر است. در این روش ابتدا تا کمی پایین‌تر از تراز میلگردها، گودبرداری انجام می‌شود. سپس با زاویه بین ۱۰ تا ۲۵ درجه نسبت به افق، سوراخ‌کاری انجام می‌شود. در ادامه میلگردها در سوراخ‌های حفاری شده قرار می‌گیرد و سوراخ‌ها با دوغاب سیمان پر می‌شود؛ و دیواره با شبکه



فولادی و بتن پاششی اجرا می‌شود و این روند تا رسیدن به پایین گود ادامه می‌یابد.

روش میخ‌کوبی برای اعماق گود ۸ تا ۱۵ متر برای خاک‌های دانه‌ای خوب دانه‌بندی شده نسبتاً متراکم با SPT بیش از ۳۰، خاک ریزدانه سخت با SPT بیش از ۱۰ و سنگ‌های هوازده فاقد صفحات سست مناسب است. بطور کلی خاک شن و ماسه‌ای دارای ۱۵ تا ۲۰٪ ریزدانه، بهترین خاک برای پایدارسازی دیواره گود با میخ‌کوبی است. اگر بخش حفاری شده به ارتفاع ۱ تا ۲ متر به صورت قائم یا نزدیک به قائم، برای مدت زمان یک تا دو روز پایداری خود را حفظ کند، به طوری که بعد از خیس شدن کامل، به صورت توده‌ای ریزش نداشته باشد و همچنین اگر شرایط زمین طوری باشد که چال حفاری شده بتواند به مدت چند ساعت (زمان قراردادن آرماتورها و تزریق دوغاب) پایدار بماند، نیازی به قرار دادن لوله حفاظ (Casing) نیست؛ در آن صورت بکارگیری روش میخ‌کوبی کاملاً اجرایی و اقتصادی است.

از مزایای پایدارسازی دیواره گود به روش میخ‌کوبی می‌توان به انعطاف‌پذیری نسبی، قابلیت تحمل نشست زیاد، قابل قبول و مجاز بودن تغییرشکل و خمش دیوار میخ‌کوبی شده، عملکرد خوب تحت بار لرزه‌ای به علت انعطاف‌پذیری، اقتصادی‌تر بودن، قابلیت تنظیم و جانمایی مجدد در صورت برخورد به تاسیسات زیرزمینی و اصلاح راحت‌تر طرح دیوار بدون از دست دادن سطح ایمنی در مقایسه با مهار اشاره کرد. از سایر مزایا می‌توان به سرعت بالای اجرای عملیات، قابلیت اجرا در محیط‌های با دسترسی دشوار، حداقل اشغال فضای داخلی پروژه، عدم تداخل با اجزای سازه اصلی، امکان پایدارسازی دائمی، انطباق با روش‌های زهکشی و آب‌بندی، انعطاف‌پذیری و امکان تقویت طرح در حین و پس از اجرا، قابلیت اجرا در پروژه‌های با هندسه نامنظم، امکان استفاده در پروژه‌های نیمه تمام و یا پایدارسازی نشده و قابلیت استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری می‌باشد.

از معایب این روش می‌توان به تجاوز به حریم همسایه، عدم امکان کنترل جابجایی، مشکلات اجرایی در صورت وجود تاسیسات مدفون، نیاز به تخصص برای نصب میخ‌ها، نشت آب برای مکان‌های با تراز بالای تراز آب زیرزمینی اشاره کرد. از دیگر موارد می‌توان به بروز جابجایی قابل توجه به ویژه در مجاورت سازه‌های حساس، نیاز به تجهیزات و ماشین‌آلات خاص، مشکلات و محدودیت‌های اجرایی مربوط به وجود حفرات زیرزمینی، نیازمند پیمانکارهای تخصصی مجرب، آلودگی صوتی و احتمال آسیب رساندن به فضای سبز و چاه‌های مجاور اشاره کرد. مشکل دیگر این است که با توجه به غیرفعال بودن اجزاء، در اکثر آنها پس از لغزش گوه، نیرو جهت مقابله ایجاد می‌شود که به توجه به ایجاد تغییرشکل نامناسب است. در این روش پایدارسازی، زهکش‌ها باید به دقت زیاد طرح‌ریزی و اجرا گردد.



شکل پ ۱-۱۶ پایدارسازی گود با میخ کوبی دیواره  
جدول پ ۱-۸ مشخصات روش میخ کوبی دیواره

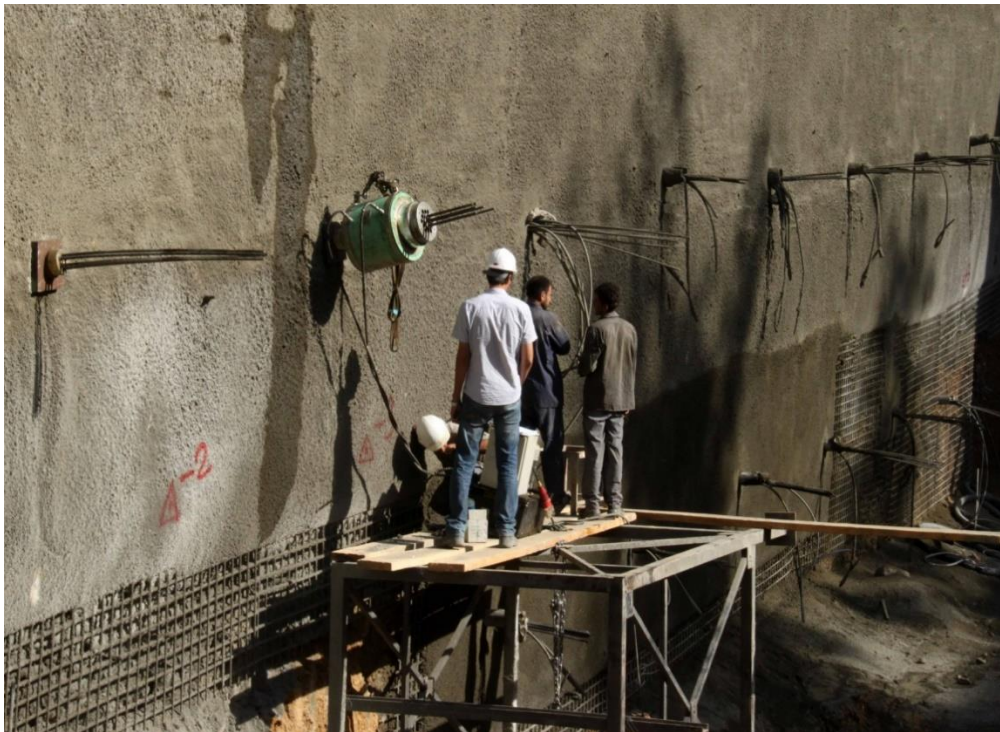
مزایا	معایب
فضای کاری مناسب ارزانی (در پروژه‌های بزرگ ممکن است) سرعت در اجرای اسکلت	تجاوز به حریم همسایه
در دسترس بودن سرعت اجرا تامین فضای کاری مناسب‌تر	تجاوز به حریم همسایه
مشخصه روش	
در مقایسه با روش بالا-پایین	

### پ ۱-۸- روش پایدارسازی با مهاربندی دیواره

یکی از پرکاربردترین روش‌های پایدارسازی گود، استفاده از روش مهاربندی است. این روش یکی از روش‌های دوخت به پشت می‌باشد که با حفاری تعدادی گمانه در زمین‌های اطراف گود و قراردادن اجزاء مسلح کننده (استرند یا میلگرد)، در داخل آنها و تزریق، مقاومت برشی سطح گسیختگی خاک افزایش داده می‌شود.

مزیت اصلی روش مهاربندی نسبت به میخ کوبی، ایجاد نیروی تنیدگی در اجزاء مسلح کننده جهت کاهش نسبی میزان تغییرشکل‌های ناشی از گودبرداری است. در حالی که در روش میخ کوبی فعال شدن نیرو در میخ‌ها مستلزم بروز تغییرشکل در توده خاک دیواره گود است. همچنین اعمال نیروی تنیدگی منجر به حصول اطمینان از صحت عملکرد اجزاء می‌شود. از مزایای روش مهاربندی می‌توان به کاهش نسبی تغییرمکان‌ها، اطمینان از صحت عملکرد کلیه مهارها، قابلیت اجرا در پایدارسازی گودهای با عمق زیاد، حداقل اشغال فضای داخلی پروژه، عدم تداخل با اجزای سازه اصلی، سرعت بالای اجرای عملیات، امکان پایدارسازی دائمی، انطباق با روش‌های زهکشی و آب‌بندی، انعطاف پذیری و امکان تقویت طرح در حین و پس از اجرا، قابلیت اجرا در پروژه‌های با هندسه نامنظم، امکان استفاده در پروژه‌های نیمه تمام و یا پایدارسازی نشده و قابلیت استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری نام برد.

از معایب مهاربندی می‌توان به تجاوز به محدوده زمینهای مجاور، نیاز به حفاری با طولهای بلندتر نسبت به روش میخ کوبی، نیاز به تجهیزات و ماشین‌آلات خاص، مشکلات و محدودیت‌های اجرایی مربوط به وجود حفرات زیرزمینی، نیازمند پیمانکارهای تخصصی مجرب، آلودگی صوتی و احتمال آسیب رساندن به فضای سبز و چاه‌های مجاور اشاره کرد.



شکل پ ۱-۱۷ پایدارسازی گود با مهاربندی دیواره

در روش مهاربندی برای کنترل نیروی مهار در سرمهار و انتقال مطمئن آن به خاک، از اجزاء مناسبی استفاده می‌شود. اجزاء قائم یا بالشتک بتنی یا فلزی و یا ترکیب آنها می‌تواند به این منظور استفاده شود. اجزاء قائم از مقاطع فولادی یا شمع‌های فولادی ساخته شده است. بالشتک بتنی در واقع یک بلوک بتنی مسلح است که می‌تواند پیش‌ساخته یا درجا باشد. بالشتک فلزی نیز در واقع ورق‌های طراحی شده فلزی برای زیر سر مهار است. رفتار بالشتک‌ها، همانند شالوده‌های منفرد و به صورت یک دال دو طرفه است. بالشتک بتنی باید مقاومت کافی در مقابل نیروهای برش سوراخ‌کننده و خمش داشته باشد.

این روش به صورت مرحله به مرحله و از بالا به پایین گودبرداری اجرا می‌شود. مراحل اجرا و روش کار به شرح زیر است:

- (۱) شروع عملیات گودبرداری بصورت مرحله به مرحله (هر مرحله حداکثر ۲ تا ۳ متر) و حدود ۰/۶ متر پایین‌تر از تراز طراحی یک مهار خاک
- (۲) حفر چاهک‌های افقی یا مایل در بدنه دیواره گود با تجهیزات خاص حفاری
- (۳) قرار دادن کابل‌های تنیدگی مونوبار یا استرنند درون چاهک همراه با لوله تزریقی پلی اتیلنی و تزریق دوغاب در انتهای آن به منظور مهار کابل
- (۴) کشیدن کابل‌ها توسط جک (ایجاد تنیدگی) و مهار آن در سطح
- (۵) تزریق دوغاب سیمان درون چاهک‌ها
- (۶) آزاد کردن جک‌ها پس از خودگیری بتن
- (۷) انجام عملیات بتن‌پاشی

در جدول پ ۱-۱۰ مقایسه‌ای بین روش‌های میخ‌کوبی و مهاربندی با عناصر قائم شمع یا بالشتک ارائه شده است.



جدول پ ۱-۹ ارزیابی و مقایسه کلی روش های میخ کوبی، بلوک-مهاری و شمع-مهاری برای گودهای عمیق

روش	ایمنی	تغییر شکل	هزینه اجرا	زمان اجرا
۱ میخ کوبی	کمترین	بیشترین	بیشترین	مشابه ۲
۲ شمع و مهاری	بیشترین	کمترین	بینابین	مشابه ۱
۳ بلوک و مهاری	بینابین	بینابین	کمترین	کمترین

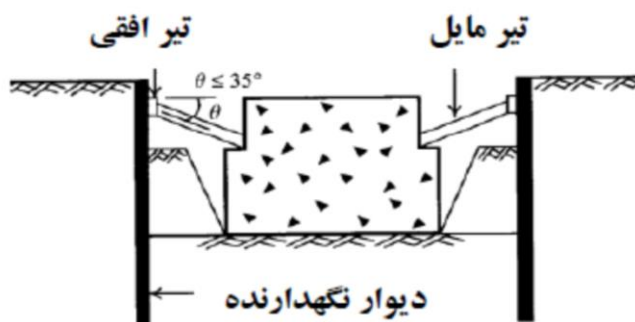
جدول پ ۱-۱۰ مشخصات روش مهاربندی دیواره

مزایا	معایب
بهبود مشخصات مکانیکی خاک فضای کاری مناسب فعال بودن روش و کنترل تغییر شکل ها اجرای سریع تر اسکلت	تجاوز به حریم همسایه نیازمند نیرو و تجهیزات تخصصی
در مقایسه با روش بالا-پایین	استفاده از مصالح بیش از موارد لازم برای اجرای سازه

### پ ۱-۹- روش گودبرداری جزیره‌ای

روش گودبرداری جزیره‌ای، حفاری و گودبرداری بخش مرکزی محل پروژه با دیواره شیب‌دار و ساخت سازه مرکزی و سپس برداشتن خاک ناحیه شیب‌دار با اتکا دیواره به سازه مرکزی است. در این روش اغلب، ابتدا دیوار حائلی اطراف محل مورد نظر ساخته می‌شود و تیرهای افقی به صورت پشت‌بند افقی بر دیوار حائل نصب می‌شود. سپس خاک برداری قسمت مرکزی محل به صورت شیب‌دار انجام می‌شود. در ادامه بخشی از سازه در وسط گود ساخته می‌شود و حائلی بین دیوار و سازه وسط نصب می‌شود و بخش‌های شیب‌دار خاکبرداری شده و بقیه سازه ساخته می‌شود.

مراحل اجرا در این روش شامل ۱- ساخت دیوار حائل، ۲- خاکبرداری بخش مرکزی به صورت شیب دار، ۳- اجرای بخش مرکزی سازه در وسط، ۴- نصب تیر مهاری با زاویه ۳۵ درجه کمتر (نسبت به افق) بین دیوار و سازه در وسط، ۵- خاکبرداری بخش شیب دار و اجرای بقیه سازه می‌باشد.



شکل پ ۱-۱۸ پایدارسازی گود با روش جزیره‌ای

جدول پ ۱-۱۱ مشخصات روش پایدارسازی جزیره‌ای

معایب	مزایا	
مناسب برای اراضی بزرگ	استفاده بیشتر از ظرفیت پایدارسازی خاک	مشخصه روش
	کاهش هزینه	
	افزایش سرعت	
عدم قابلیت کاربرد در اراضی کوچک	کاهش هزینه اجرا	در مقایسه با روش
	افزایش سرعت اجرا	بالا-پایین







## پیوست دوم: مثال طراحی سازه

### پ ۱-۲- مقدمه

در این پیوست فرآیند طراحی سازه بتن مسلح یک پروژه ساختمان مسکونی، واقع در منطقه یک شهر تهران، به عنوان مثالی از طراحی سازه برای اجرا به روش بالا-پایین ارائه شده است. این سازه بتنی ۱۶ طبقه، دارای ۵ طبقه زیرزمین و ۱۱ طبقه روی زمین در زمینی به مساحت حدوداً ۱۳۸۰ مترمربع که سطح اشغال سازه در طبقات زیرزمین ۶۰٪ و به مساحت ۸۶۰ متر مربع می‌باشد، اجرا شده است. احداث این بنا مستلزم انجام عملیات گودبرداری تا عمق ۱۷/۲۵- متری و در بخشی دیگر تا عمق ۱۸/۵- متر بوده است.

به دلیل ملاحظات اجرایی و نیازهای طراحی پروژه، پس از بررسی‌های فنی و اقتصادی، اجرای سازه بتنی به روش بالا-پایین، با استفاده از ستون‌های با مقطع مرکب بتنی (SRC) که دارای هسته قوطی فولادی پر شده با بتن (CFT<sup>۱</sup>) می‌باشد، انتخاب شد. در این حالت هسته فولادی پر شده با بتن، به عنوان اجزای اصلی باربر قائم سازه در دوره ساخت، وظیفه انتقال نیروهای وارد بر ستون‌ها به شمع را طی اجرای سازه و عملیات گودبرداری بر عهده دارند. شرایط همجواری‌های این پروژه به شرح شکل (پ ۱-۲) می‌باشد.

با توجه به اینکه تراز آب زیرزمینی در عمق ۱۹ متری از صفر پروژه واقع است، نظر به ملاحظات اجرایی و ژئوتکنیکی و مقایسه ظرفیت باربری شمع‌ها با نیروهای محوری ستون‌ها و تقاضای نیروها و طراحی سازه و همچنین رفت و برگشت‌های طراحی ژئوتکنیکی و سازه‌ای، در نهایت گام‌های اجرایی که پس از جمع‌بندی شرایط فنی، اقتصادی و اجرایی پروژه باید مبنای مدل‌سازی‌های عددی نهایی سازه و ژئوتکنیک قرار می‌گرفت، به شرح ذیل لحاظ شد:

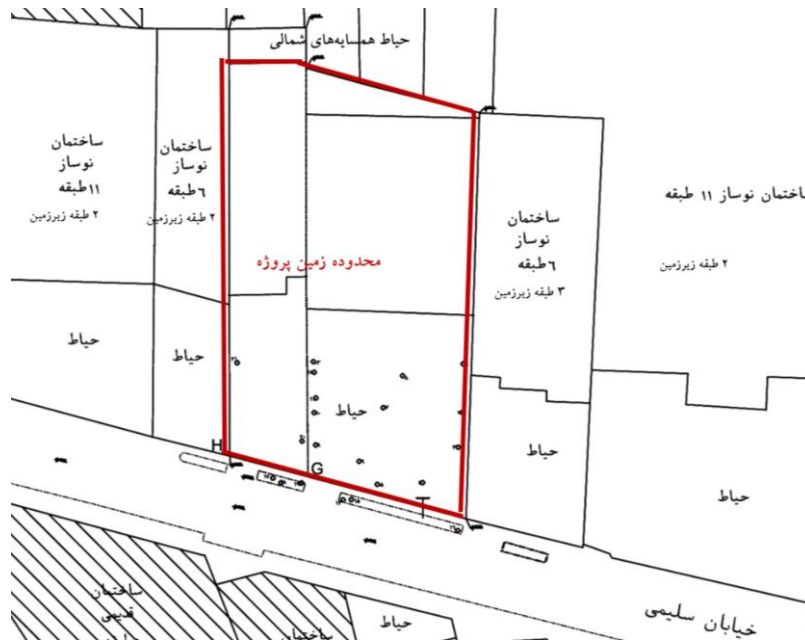
۱. حفاری چاه محل ستون‌های اصلی و کمکی سازه جهت نصب مدفون ستون‌ها در روش بالا-پایین در موقعیت پروژه.
۲. ساخت و آماده‌سازی ستون‌های سازه و همچنین شبکه میلگرد شمع منفرد زیر ستون‌ها.
۳. شبکه آرماتور شمع‌های بتنی با قطر ۱۲۰ سانتی‌متر به طول‌های ۵/۱۴، ۵/۵ و ۶/۸ متر، مطابق با نقشه‌های سازه، داخل چاه نصب و سپس ستون‌های اصلی سازه در محل چاه‌ها به صورت معلق در سرچاه شاقول و نصب می‌شوند.
۴. پس از شاقولی و نصب ستون‌ها با اجزاء سرچاهی، بتن‌ریزی شمع هر ستون انجام می‌شود.
۵. پس از گیرش بتن، فضای خالی مابین چاه و ستون با خاک مناسب پر می‌گردد.
۶. پس از نصب ستون‌های سازه در طبقات زیرزمین به صورت مدفون، طبقه زیرزمین دوم به صورت از پایین به بالا کامل می‌شود.
۷. سپس اولین طبقه زیرزمین به صورت از پایین به بالا کامل می‌گردد.
۸. در حالیکه ساخت سازه زیرزمین سوم و خاکبرداری در حال انجام است، طبقه همکف نیز بتن‌ریزی

<sup>۱</sup> Concrete Filled Tube



می‌شود.

۹. با تکمیل سازه زیرزمین چهارم و انجام خاکبرداری، سازه در طبقات اول و دوم کامل می‌شود.
۱۰. سازه زیرزمین در طبقه ۵- همزمان با انجام عملیات خاکبرداری کامل می‌شود.
۱۱. در پایان پی بتن‌ریزی می‌شود.



شکل پ ۱-۲ پلان جانمایی و همجواری‌های پروژه ساختمان مسکونی

با توجه به اینکه همجواری شرقی و غربی پروژه به ترتیب دارای ۳ و ۲ طبقه زیرزمین است، خاکبرداری اولیه پروژه تا تراز کف دومین طبقه زیرزمین سازه همسایه غربی و به میزان حدود ۵ متر انجام شد. بنابراین حفر چاه و جایگذاری هسته مرکزی طبق روند گام‌های اجرایی از این تراز آغاز می‌شود و همین روند نیز در مدل‌سازی گام‌های ساخت سازه‌ای و ژئوتکنیکی لحاظ شده است.

مراحل طراحی در این پیوست شامل دو مرحله مختلف سازه‌ای و ژئوتکنیکی است که به یکدیگر وابسته هستند به صورت موازی و رفت و برگشت‌های متعدد انجام شده است. شایان ذکر است، چنانچه در فصول آغازین راهنمای پیش‌رو اشاره شده است، طراحی روش بالا-پایین شامل امکان‌سنجی، طراحی روش اجرا، طراحی ژئوتکنیکی و طراحی سازه‌ای است. لیکن در این پیوست امکان‌سنجی مرور نشده است. همچنین طراحی روش اجرا نیز در این پیوست ارائه نشده است. در این طراحی صرفاً دو مرحله طراحی ژئوتکنیکی و سازه‌ای به اختصار اشاره شده است. مراحل این طراحی شامل گام‌های زیر است:

#### ۱. مدل‌سازی، تحلیل و طراحی ژئوتکنیکی:

I. تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها با استفاده از روابط تجربی و مدل‌سازی‌های عددی دو و سه

بعدی با برنامه Plaxis.

II. تعیین میزان و توزیع فشار خاک پشت دیواره‌های مختلف گود تحت سربارهای مربوط به هر



- جناح با استفاده از روابط تجربی و مدل‌سازی‌های عددی مراحل ساخت.
- III. تعیین سختی‌های فنر معادل خاک به منظور استفاده در مدل‌سازی و طراحی ساخت مرحله‌ای سازه در برنامه سازه‌ای (سختی جانبی و قائم ستون‌های مدفون و شمع‌ها).
- IV. مدل‌سازی قاب‌های سازه‌ای در برنامه ژئوتکنیکی به صورت دوبعدی (چند قاب مختلف دو بعدی در راستای شرقی - غربی و شمالی - جنوبی پلان) و یا سه‌بعدی که در این پروژه تحلیل‌های دو بعدی مدنظر قرار گرفت.
- V. کنترل نشست و تغییرشکل همجواری‌ها و پایداری کلی گودبرداری.

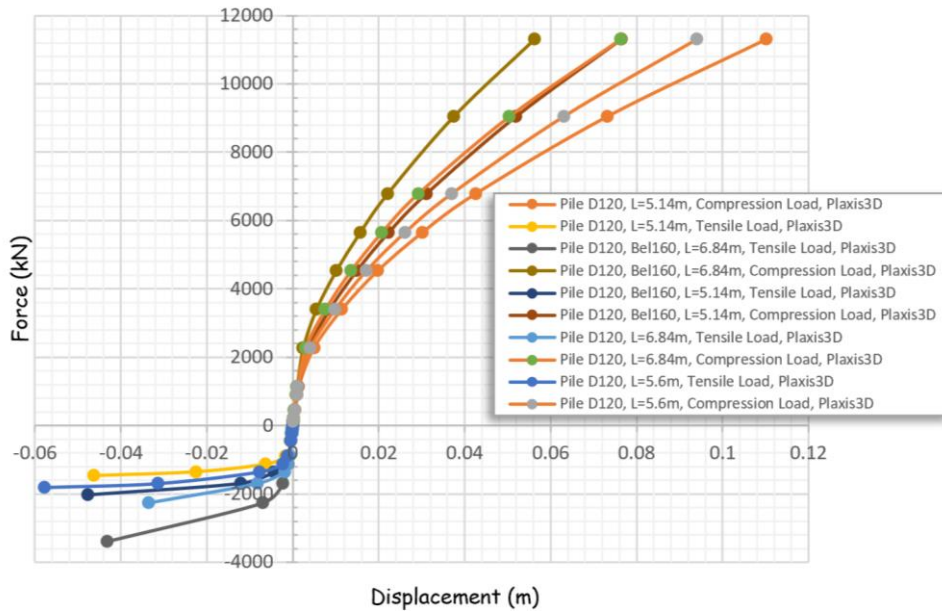
۲. مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سازه شامل:

- I. مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سازه برای حالت مرسوم بدون لحاظ ساخت مرحله‌ای به منظور نهایی شدن احجام و مقاطع مورد نیاز طرح سازه.
- II. مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سازه برای ساخت مرحله‌ای سازه (Staged Construction) به روش بالا-پایین در برنامه تحلیل سازه Etabs.
- III. کنترل نشست شمع‌ها با استفاده از داده‌های فنر معادل خاک.

## پ ۲-۲- تحلیل‌های ژئوتکنیکی

**پ ۲-۲-۱- تعیین ظرفیت باربری و فنر قائم معادل شمع منفرد با استفاده از روش عددی و به کمک Plaxis**

با مدل‌سازی عددی شمع تحت بار محوری فشاری و کششی در برنامه Plaxis3D در تراز زیر پی (برداشتن خاک پس از ایجاد تنش‌های اولیه و شبیه‌سازی تراز کف گود)، نتایج تحلیل عددی به صورت نمودار بار - تغییرشکل در شکل (پ ۲-۲) برای شمع با قطر ۱۲۰ سانتی‌متر و به طول‌های شفت ۵/۱۴، ۵/۶ و ۶/۸۴ متر با و بدون پافیلی حاصل از تحلیل عددی سه‌بعدی ارائه شده است. ظرفیت باربری مجاز فشاری تک شمع با توجه به نمودار و محدود کردن حداکثر نشست به مقادیر مجاز انتخاب می‌شود. نمودارهای عددی حاصل از تحلیل دوبعدی Plaxis2D نیز در این پروژه استخراج و مورد ارزیابی قرار گرفته است. در کنار تحلیل‌های عددی، در نهایت ظرفیت باربری مجاز شمع با استفاده از روابط تجربی و کلاسیک مکانیک خاک نیز ارزیابی و مقایسه شد. در این روش طراحی، داده‌های نیرو - جابجایی قائم به عنوان فنر قائم معادل شمع به مدل سازه‌ای اعمال شده است. همچنین از ظرفیت قائم ایجاد شده ما بین ستون‌ها با خاک - سیمان اطراف آن، در جهت اطمینان صرف‌نظر می‌گردد و فرض می‌شود که تمام بار محوری قائم ستون‌ها به شمع‌ها وارد می‌شود. در نهایت، نیروهای وارد بر شمع‌ها در مدل ساخت مرحله‌ای سازه در برنامه Etabs و همچنین نشست‌های متناظر آن، با مقادیر مجاز حاصل از تحلیل‌های ژئوتکنیکی مقایسه می‌گردد.



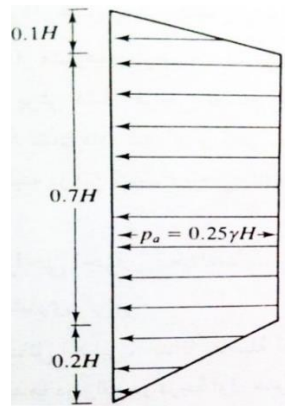
شکل پ-۲-۲ نمودار بار - تغییر شکل برای تک شمع با قطر ۱۲۰ سانتی متر و طول های ۵/۱۴ و ۶/۸۴ متر با پافیلی به قطر ۱۶۰ سانتی متر

### پ-۲-۲-۲- استخراج داده های فشار خاک جهت تحلیل سازه

با توجه به اینکه در روش بالا-پایین دیافراگم سقف به صورت مرحله ای به ستون ها اضافه و دیوار حائل با توجه به شرایط ژئوتکنیکی، از بالا به پایین اجرا می گردد، رفتار کلی سیستم مشابه توزیع فشار خاک دیوارهای مهار شده است. بنابراین در ابتدا با استفاده از روش تجربی ارائه شده توسط چبوتاریوف (۱۹۵۱) برای خاک های ماسه ای طبق شکل (پ-۲-۳)، فشار خاک برای تحلیل سازه و برآورد اولیه احجام محاسبه شده است. سپس با مدل سازی عددی سازه در برنامه ژئوتکنیکی و به کارگیری متغیرهای ارائه شده در جدول (پ-۲-۱) با تدقیق مدل سازی ژئوتکنیکی و مراحل ساخت، نمودارهای فشار خاک با توجه به رفتار دو بعدی مدل خاک - سازه و در نظر گرفتن وضعیت همجواری ها، استنتاج شده است. برای نمونه توزیع فشار خاک در مجاورت ساختمان ۸ طبقه همسایه در ضلع غربی در شکل (پ-۲-۴) ارائه شده است. برای هر یک از جناح های مختلف دیواره های گودبرداری، داده های فشار خاک به طور مشابه از مدل عددی ژئوتکنیکی استخراج و به مدل ایجاد شده سازه در Etabs اعمال شده است.

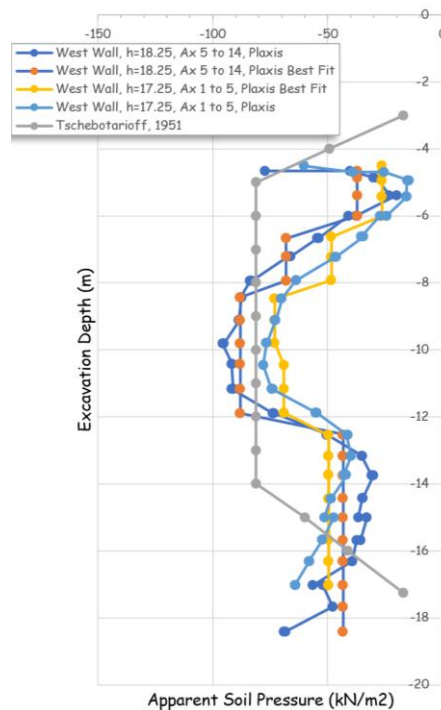
جدول پ-۲-۱ ویژگی های ژئوتکنیکی لایه های خاک ساختگاه پروژه

E (kg/cm <sup>2</sup> )	C (kg/cm <sup>2</sup> )	ψ (°)	φ (°)	وزن مخصوص، γ، (gr/cm <sup>3</sup> )	عمق (متر)
۳۰۰	۰/۱۰	۰	۳۰	۱/۸	۰ ~ ۶/۰ m
۵۰۰	۰/۰۵	۲	۳۲	۱/۸۵	-۶/۰ ~ -۱۵/۰ m
۸۰۰	۰/۰۵	۳	۳۳	۱/۸۵	-۱۵/۰ m ~ ∞



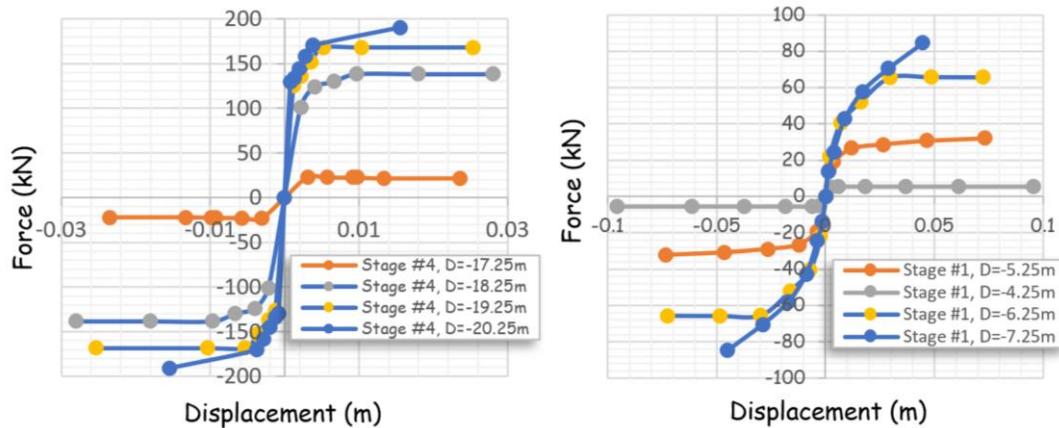
شکل پ۲-۳ توزیع فشار خاک در دیواره‌های مهار شده، خاک ماسه‌ای، چبوتاریوف، ۱۹۵۱.

**پ۲-۲-۳- تعیین ضریب فنر افقی معادل خاک برای شمع منفرد تحت بار جانبی با استفاده از Plaxis2D**  
سختی جانبی شمع (ستون مدفون در خاک) در این مثال به روش عددی محاسبه شده است. اما پیرو آنچه پیش‌تر شرح داده شد، امکان استخراج این نمودارها به کمک روابط تئوریک نیز وجود دارد. با استفاده از مدل‌سازی عددی در برنامه Plaxis2D و بارگذاری جانبی رأس ستون سازه که بر شمع با قطر ۱۲۰ سانتی‌متر مستقر است، نمودارهای سختی افقی معادل خاک (y-p) برای حالت‌های مختلف مدفون‌شدگی ستون (یا شمع)، متناسب با گام‌های اجرایی ساخت بالا-پایین و برای هرگام در فواصل یک متری در عمق مدفون‌شدگی استنتاج شده است. در شکل (پ۲-۵) دو نمونه از نمودارهای سختی جانبی معادل خاک، حاصل از این تحلیل‌ها برای گام‌های مختلف ساخت و در اعماق هر یک ۱ متر ارائه شده است. این نمودارها به صورت داده‌های نیرو - جابجایی در مدل‌سازی، تحلیل و طراحی گام‌های ساخت در برنامه سازه‌ای Etabs مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل پ۲-۴ توزیع فشار خاک در دیوار غربی با سربار ساختمان ۸ طبقه مجاور.

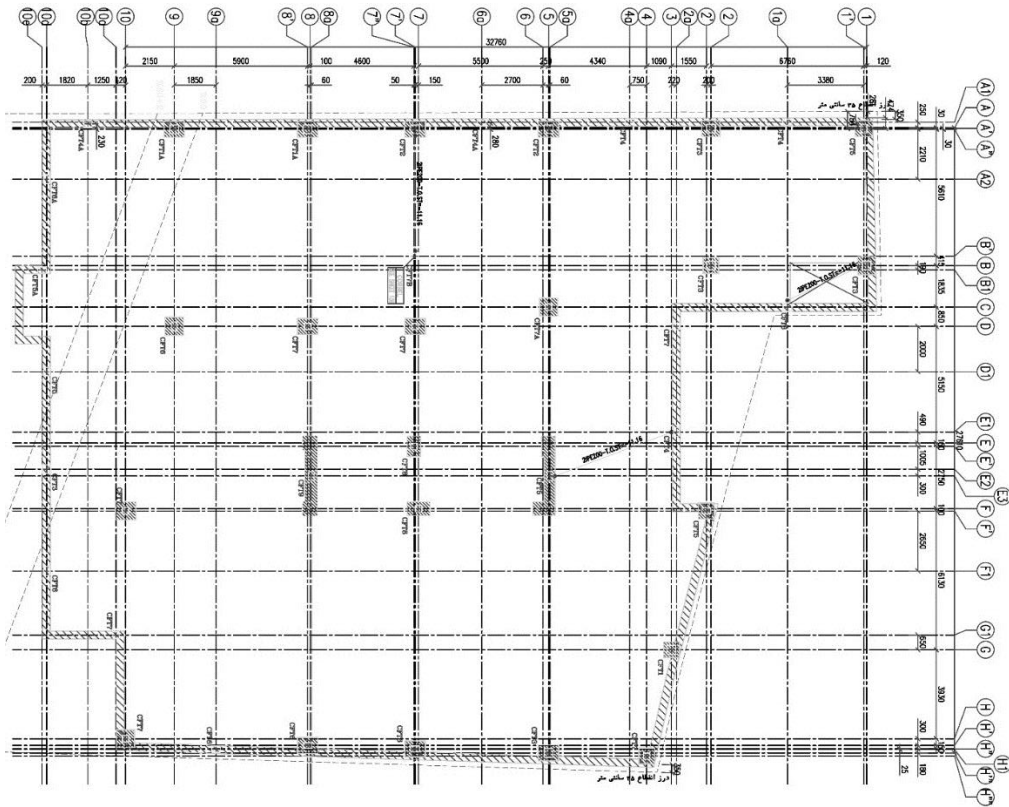




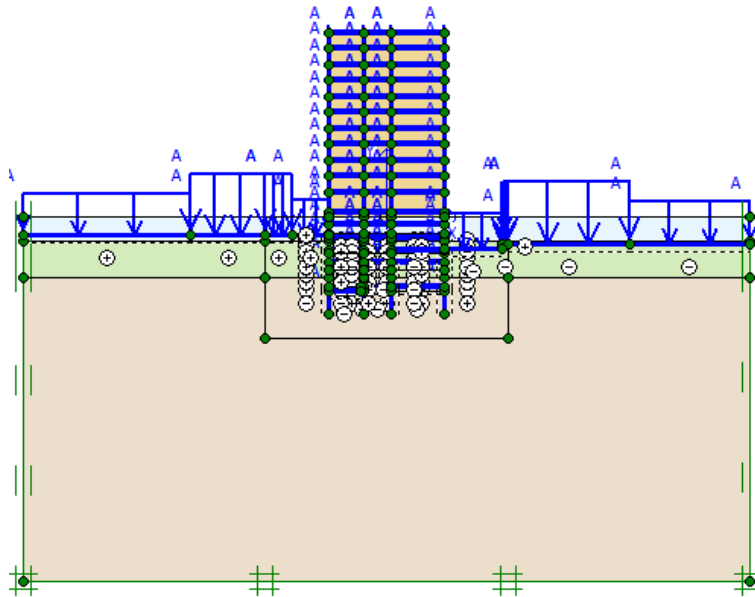
شکل ۲-۵ نمودارهای نیرو - تغییرشکل افقی معادل خاک (y-p) حاصل مدل‌سازی عددی برای ستون مستقر بر شمع. شمع زیر ستون در گام‌های مختلف ساخت به روش بالا-پایین برای اعماق مختلف به فواصل هر یک متر در طول ستون و شمع.

### پ ۲-۲-۴- تحلیل استاتیکی ژئوتکنیکی یک نمونه از قاب شرقی - غربی، محور ۵ پلان ستون‌گذاری سازه برای ساخت مرحله‌ای بالا-پایین

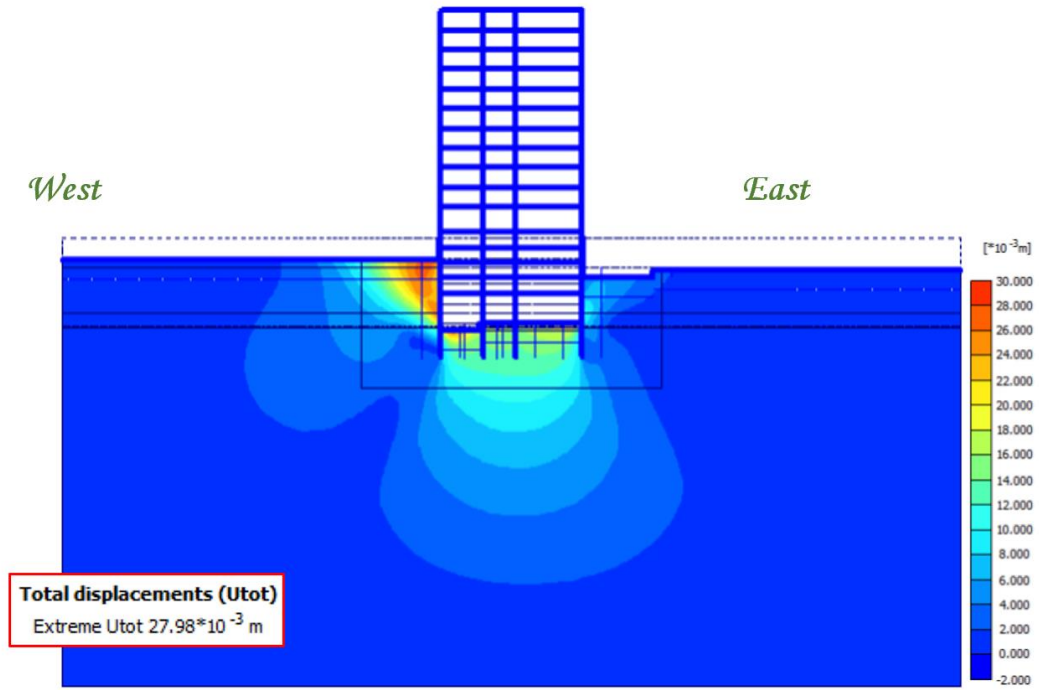
در مدل‌سازی ژئوتکنیکی عددی قاب‌های سازه‌ای در برنامه Plaxis2D، مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌های خاک ساختمانی پروژه طبق شناسایی‌های ژئوتکنیکی مطابق با جدول (پ ۲-۱) در نظر گرفته شد. در شکل (پ ۲-۶) پلان ستون‌گذاری سازه ارائه شده است که مبنای مدل‌سازی عددی قرار گرفته است. در شکل (پ ۲-۳) تصویری از هندسه مدل شده از قاب سازه‌ای محور ۵ در امتداد شرقی - غربی، به همراه سربار همجواری‌های ساختمان همسایه‌های غربی و شرقی مطابق با آن، نشان داده شده است. از شکل (پ ۲-۷) تا شکل (پ ۲-۱۰) به ترتیب نمودار تغییرشکل‌های کل، افقی، قائم و تغییرشکل زیر ساختمان همسایه ناشی از اجرای بالا-پایین سازه و انجام گودبرداری در آن، در مرحله‌ای که عملیات خاکبرداری پایان پذیرفته و فشار خاک توسط قاب سازه‌ای و دیوار حائل تحمل می‌شود، ارائه شده است. مراحل خاکبرداری در هر گام اجرایی، به صورت یک متر ارتفاع زیر تراز سقف و سپس تا تراز سقف زیرزمین بعدی در هر طبقه لحاظ شده و در مدل‌سازی فرض شده است که همراه با ریختن دال سقف، دیوار حائل یک متر زیر آن نیز تکمیل می‌گردد. نظر به اینکه در شرایط اجرایی، خاکبرداری به صورت قطعه‌های یک در میان (دندان موشی) انجام خواهد شد و برنامه مورد استفاده تحلیل دوبعدی انجام می‌دهد، بنابراین مقادیر تغییرشکل‌های عددی به دست آمده، محافظه‌کارانه‌تر و دست بالاتر خواهد بود.



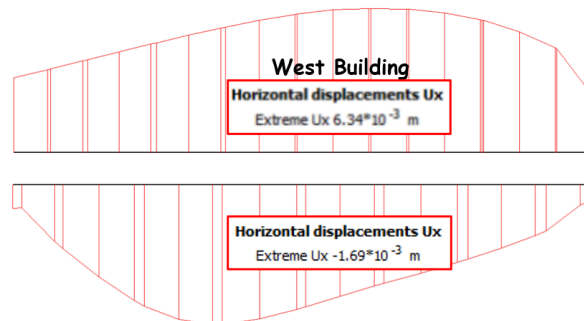
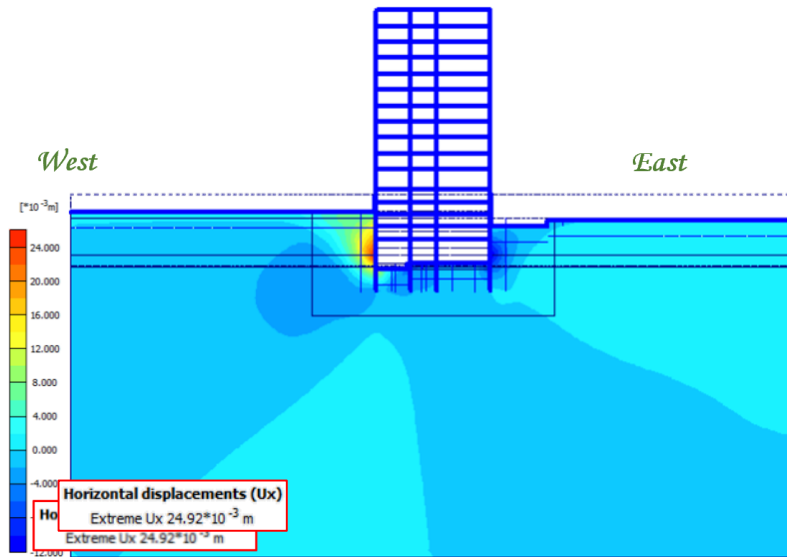
شکل پ ۲-۶ پلان ستون‌گذاری سازه بتنی - طبقات زیرزمین ستون‌های بتنی با مغزه CFT



شکل پ ۲-۷ مدل هندسی یک قاب در امتداد شرقی - غربی



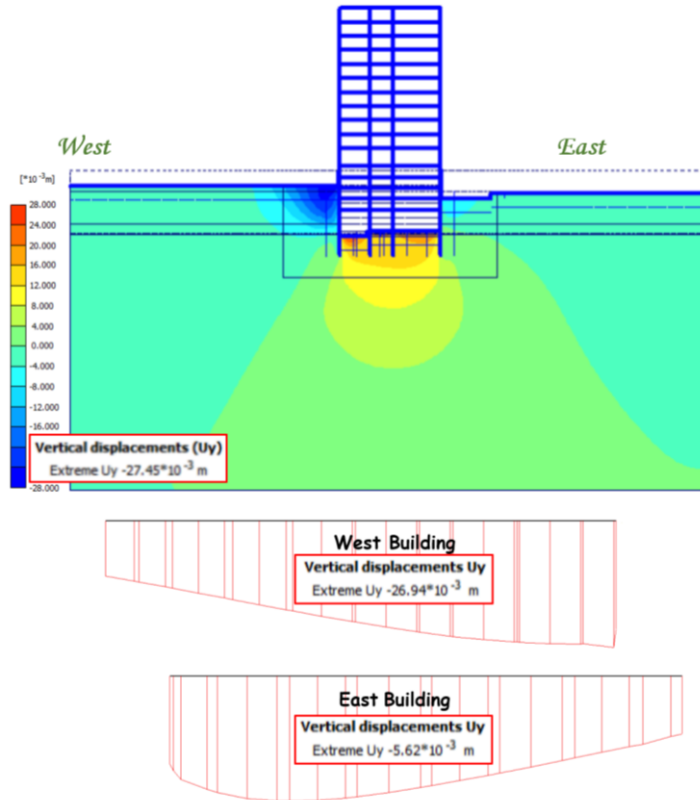
شکل پ ۲-۸ کانتور تغییرشکل کل ناشی از عملیات خاکبرداری پس از اتمام گودبرداری و اجرای سازه به روش بالا-پایین، قاب امتداد شرقی - غربی، محور ششم ۶



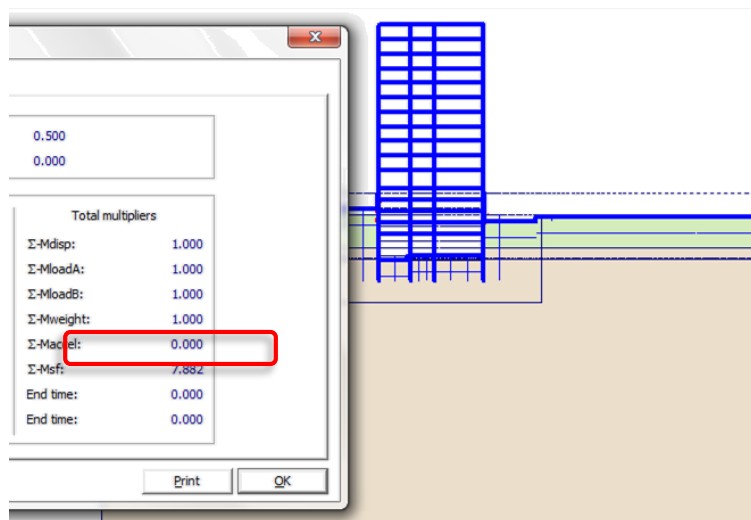
شکل پ ۲-۹ کانتور تغییرشکل افقی ناشی از عملیات خاکبرداری پس از اتمام گودبرداری و اجرای سازه به روش بالا-پایین، قاب امتداد شرقی - غربی، محور ۵.



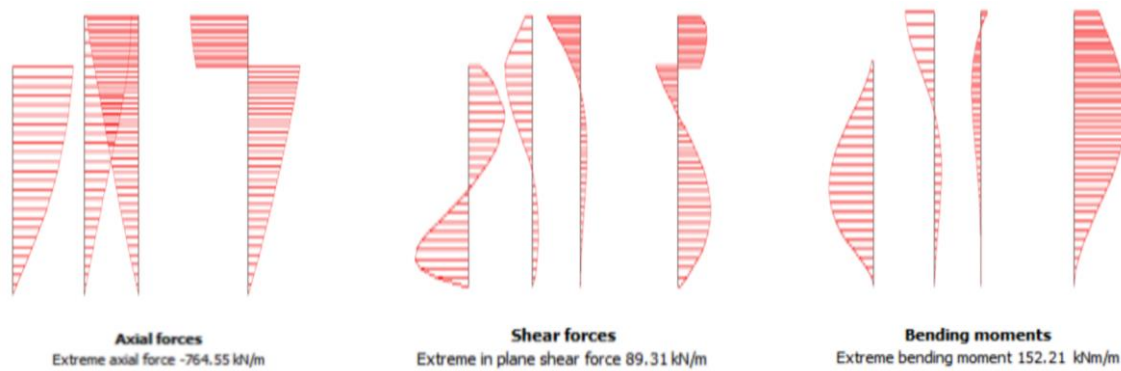
در شکل (پ ۱۱-۲) نتیجه تحلیل  $\phi/c$  reduction برای بررسی ضریب اطمینان پایداری گودبرداری ارائه شده است. در پایان نیز نمودارهای نیروهای برشی و محوری و همچنین لنگر خمشی وارد بر اعضای سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد که یک نمونه از آن در شکل (پ ۱۲-۲) برای شمع‌های زیر ستون‌های سازه ارائه شده است. این بررسی صرفاً برای کنترل مضاعف طراحی سازه انجام می‌شود و طراحی اصلی اعضای سازه‌ای به برنامه طراحی سازه واگذار می‌گردد.



شکل پ ۱۰-۲ کانتور تغییرشکل قائم ناشی از عملیات خاکبرداری پس از اتمام گودبرداری و اجرای سازه به روش بالا-پایین، قاب امتداد شرقی - غربی، محور ۵.



شکل پ ۱۱-۲ ضریب اطمینان پایداری کلی پس از اتمام گودبرداری و اجرای سازه به روش بالا-پایین، قاب امتداد شرقی - غربی، محور



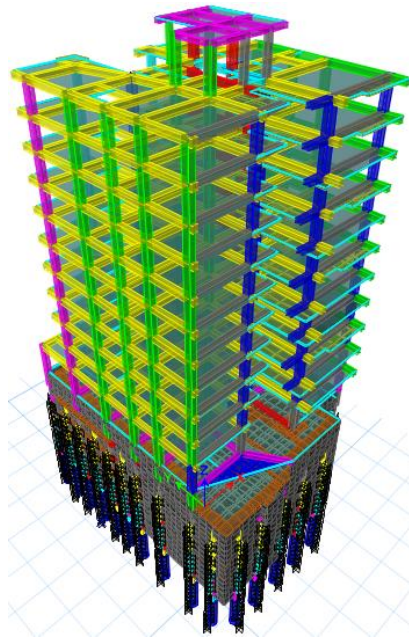
شکل ۲-۱۲ نمودارهای پوش نیروی‌های محوری، برشی و لنگر خمشی در طول شمع، قاب امتداد شرقی-غربی محور ۵

### ۲-۳- مدل سازی و کنترل سازه‌ای برای گام‌های ساخت به روش بالا به پایین

با استفاده از نتایج تحلیل‌ها و داده‌های ژئوتکنیکی، سازه طراحی شده برای بارهای نهایی در برنامه Etabs، برای گام‌های ساخت به روش بالا-پایین نیز مدل‌سازی، تحلیل و طراحی شده است. کفایت اجزاء سازه در تحلیل و طراحی به کمک تعریف بار Nonlinear Staged Construction در برنامه Etabs، برای گام‌های اجرایی که پیشتر توضیح داده شد، مورد بررسی و تایید قرار گرفت. با توجه به مدفون بودن ستون‌های سازه در خاک در مراحل قبل از خاکبرداری و رفتار شمع‌گونه ستون‌های سازه، لازم است تا با استفاده از نتایج تحلیل‌های ژئوتکنیکی و داده‌های سختی معادل خاک، اقدام به ایجاد شرایط مرزی مناسبی برای سازه نمود تا تحلیل گام‌های ساخت به درستی شبیه‌سازی گردد. بنابراین در مدل‌سازی عددی سازه‌ای در هر گام که ستون‌های سازه مدفون است، با اختصاص فنر معادل خاک در اطراف ستون، شرایط مدفون‌شدگی ستون شبیه‌سازی می‌گردد و در مراحل بعد که خاکبرداری و اجرای دیوار حائل انجام می‌شود، این فنرهای معادل خاک حذف شده و فنرهای تراز پایین‌تر تغییر ویژگی می‌دهند و برای شرایط جدید طول مدفون ستون یا شمع، به‌روز رسانی می‌شوند. این کار تا رسیدن به تراز پی ادامه می‌یابد. شایان ذکر است که در مدل‌سازی گام‌های ساخت، شمع‌های منفرد زیر ستون‌ها و همچنین پی نیز در مدل‌سازی وارد شده‌اند تا انتقال تنش‌ها و بارها از مراحل مختلف به مراحل بعدی حین گام‌های اجرایی بالا-پایین به درستی صورت پذیرد. در مدل‌سازی گام‌های ساخت سازه، در ابتدا ستون‌های سازه که مستقر بر شمع هستند به طور کامل در مدل وارد می‌شوند و سپس گام‌های بعدی به صورت احداث طبقات زیرزمین و همزمان اجرای دو طبقه از روسازه دنبال می‌شود. در شکل (پ ۲-۱۳) تصویری از مدل کلی سازه همراه با فنرهای معادل خاک در اطراف ستون‌های مدفون سازه در روش بالا-پایین نشان داده شده است. هر فنر شامل سختی افقی معادل خاک است که اطراف ستون را در بر گرفته است. در زیر نوک شمع منفرد نیز یک فنر، معادل سختی محوری شمع منفرد که از نتایج تحلیل ظرفیت باربری شمع به‌دست آمده است علاوه بر سختی افقی معادل خاک، قرار داده شده است. در شکل (پ ۲-۱۴) تصویری از مدل‌سازی گام‌های ساخت بالا-پایین در برنامه Etabs ارائه شده است. شایان ذکر است که با توجه به شرایط ژئوتکنیکی پروژه، شرایط اجرایی و ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع‌های زیر ستون‌های سازه، طراحی‌های ژئوتکنیکی و کنترل‌های رفت و برگشتی سازه‌ای که بین مشاور سازه و ژئوتکنیک انجام شد، با توجه به ظرفیت باربری شمع به قطر ۱۲۰ سانتی‌متر، می‌توان سه طبقه از روسازه را همزمان با طبقات زیرزمین اجرا نمود تا نشست شمع‌ها در محدود مجاز و کنترل شده باشند و موارد اقتصادی و فنی دیگر حاکم بر پروژه نیز اقلانگ گردد.

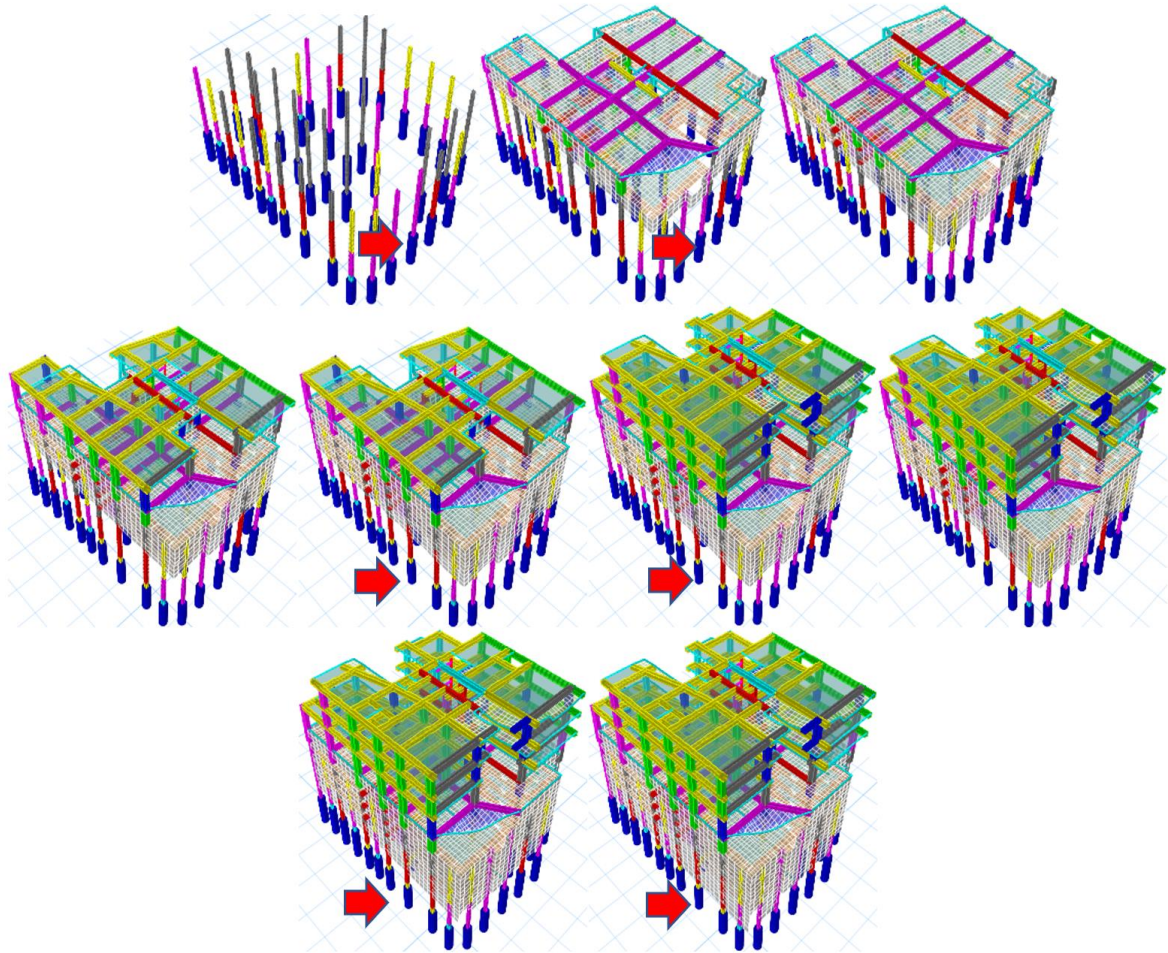


در شکل (پ ۲-۱۴) تصویری از سازه طراحی شده پس از تحلیل ساخت مرحله‌ای بالا-پایین مطابق شرح فوق ارائه شده است. نتایج، حکایت از کفایت اجزاء سازه به‌خصوص هسته فولادی ستون‌ها که اجزای اصلی باربر برای ساخت مرحله‌ای هستند، دارد. شایان ذکر است که در ترکیب بارهای مربوط به مراحل ساخت روش بالا-پایین، از بارهای حین ساخت شامل بار مرده، بار خاک و بار زنده حین اجرای سازه استفاده شده است. همچنین نتایج نیروهای محوری ایجاد شده در شمع‌ها و نشست ناشی از ساخت سازه به روش بالا-پایین به ترتیب در شکل (پ ۲-۱۵) و شکل (پ ۲-۱۶) نشان داده شده است. حداکثر نشست قابل پیش‌بینی ۲/۵ سانتی‌متر برای ستون‌های میانی که دارای بار محوری زیاد و شمع پافیلی هستند، می‌باشد. حداکثر نشست ستون‌های کناری به ۱/۲ سانتی‌متر محدود می‌شود. با استفاده از پایش حین اجرا این مقادیر کنترل و صحت‌سنجی شده است.

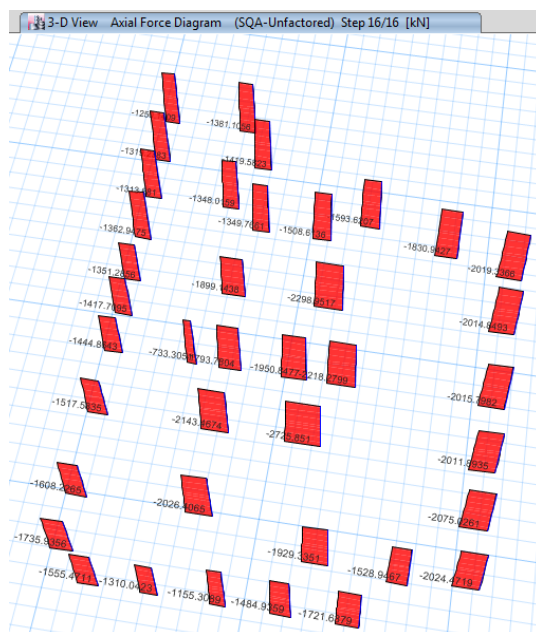


شکل پ ۲-۱۳ تصویری از هندسه ایجاد شده از سازه مستقر بر شمع و شرایط مرزی مناسب در اطراف ستون‌های سازه در برنامه Etabs

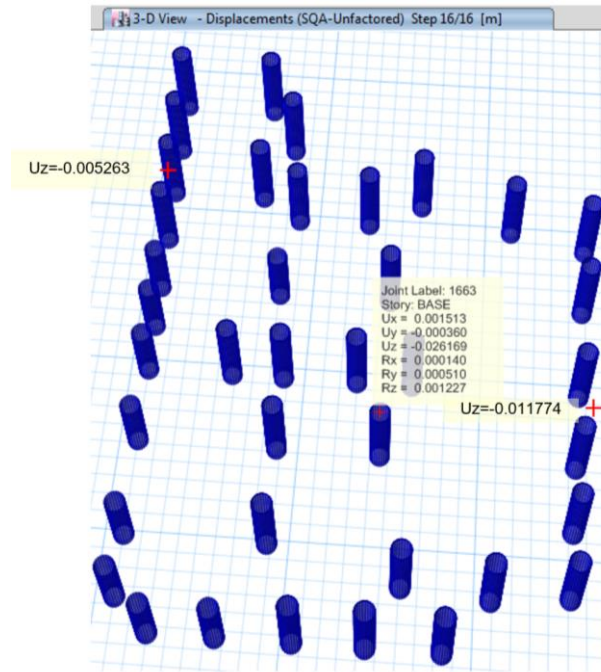




شکل پ-۱۴ گام‌های ایجاد شده از سازه و شرایط مرزی مناسب در اطراف ستون‌های سازه در برنامه Etabs. گام اول مدفون شدن ستون‌های مستقر بر شمع سازه و گام آخر احداث پی، تکمیل طبقات زیرزمین و ۳ طبقه روسازه می‌باشد



شکل پ-۱۵ نیروهای نهایی محوری ایجاد شده در شمع‌های زیر ستون‌ها در آخرین گام از تحلیل سازه برای ساخت به روش بالا-پایین، تحت بارهای بدون ضریب در برنامه Etabs



شکل پ ۲-۱۶ حداکثر نشست قابل پیش‌بینی با ساخت همزمان سه طبقه روسازه و تمام زیرسازه تحت نیروهای محوری ایجاد شده در شمع‌های زیر ستون‌ها در آخرین گام از تحلیل سازه برای ساخت به‌روش بالا-پایین، تحت بارهای بدون ضریب در برنامه Etabs



## **Abstract:**

The use of underground spaces has expanded in consideration of environmental, economic and social requirements. In Iran, population growth and urban crowding have reduced available parking, increased land values and restricted construction of high-rise buildings. The use of subsurface capacity could be the solution to these issues. After a number of unfortunate incidents caused by excavation in the 1970s, guidelines were issued to increase the technical standards of urban excavation, after which nailing and anchoring methods became popular. Aside from their safety and reliability, legal restrictions on these methods which relate to trespassing into neighboring properties have recently limited the effectiveness of these methods. Alternative methods such as top-down construction have been proposed, but the use of this construction method in Iran has been accompanied by changes. In other locations, its use has required the use of a diaphragm wall. In Iran, the high relative density and cementation of the soil of Tehran has often meant that no diaphragm wall is used. Changes have been made in order to adjust top-down construction to local requirements, but the nature of the method has prompted the development of risky implementation methods. In response to this urgent need, codification of the guidelines for top-down design and construction, especially using a localized Iranian model, has been considered. In addition to a detailed definition of the construction method, the guidelines explain the requirements and specifications of top-down construction. The difference between the Iranian method and the conventional method used elsewhere has been defined and the advantages and disadvantages of the Iranian method and approaches to verifying the feasibility of its construction are proposed. The machinery, equipment and tools used in this method have been introduced and the details of implementation have been described. The principles of structural design and excavation for this method have been explained. In these guidelines, additional consideration is given to top-down construction, including risk control, monitoring considerations, construction management, surveying techniques and required facilities and equipment. The purpose of compiling these guidelines has been to provide the comprehensive information that a designer, executive or supervising engineer will need for top-down construction.

## **key words:**

Excavation, Top-down construction, Underground structure, Design and construction guidelines



**Road, Housing & Urban Development Research Center**

# **Top-Down Design and Construction Guidelines for Building**

**By:**

**Mahdi Rojhani- Ata Aghaei Araei**

**Hamed Bayasteh**

**Maziar Pasdarpour**

**Ehsan Dehghani**

**Shizad Abdi**

**Mahtab Alitalesh**

**Saeid Farzaneh**

**1056-BHRC Publication No. B. 1056**

**First Edition: August 2023**