

خاک مسلح

(اصول طراحی و ساخت دیوارها و

گودبرداری عمیق)

دکتر احد باقرزاده خلخالی

(عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران)

علیرضا توانا

(کارشناس ارشد ژئوتکنیک)

محمد رضا کوهستانی

(کارشناس ارشد ژئوتکنیک)



انتشارات دانشگاهی فرهمند

نام کتاب: خاک مسلح (اصول طراحی و ساخت دیوارها و گودبرداری عمیق)

دکتر احد باقرزاده خلخالی / علیرضا توانا / محمدرضا کوهستانی

تاریخ و نوبت چاپ: اول 1401

شمارگان: 500 نسخه

بها: 1200000 ریال

شابک: 978-622-7315-43-1

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فرهمند محفوظ می باشد

نشانی: تهران، خیابان انقلاب، روبروی دانشگاه تهران، پاساژ فروزنده، طبقه اول، پلاک 419

تلفن: 66410688 - 66968614

WWW.FARBOOK.IR

Farbook.pub@gmail.com

سرشناسه	: باقرزاده خلخالی، احد، ۱۳۵۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: خاک مسلح: اصول طراحی و ساخت دیوارها و گودبرداری عمیق/ احد باقرزاده خلخالی، علیرضا توانا، محمدرضا کوهستانی.
مشخصات نشر	: تهران: نشر دانشگاهی فرهمند، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	: ۲۳۶ص: مصور، نمودار.
شابک	: ۱۲۰۰۰۰۰۰ ریال 1-43-7315-622-978
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
عنوان دیگر	: اصول طراحی و ساخت دیوارها و گودبرداری عمیق.
موضوع	: خاک مسلح Reinforced soils خاک و سازه Soil-structure interaction گودبرداری Excavation دیوارها -- طراحی و ساخت Walls -- Design and construction توانا، علیرضا، ۱۳۷۷- کوهستانی، محمدرضا، ۱۳۷۸- TAV60 ۶۲۴/۱۶۲ ۸۹۰۵۷۲۸ فیبا
شناسه افزوده	
شناسه افزوده	
رده بندی کنگره	
رده بندی دیویی	
شماره کتابشناسی ملی	
اطلاعات رکورد کتابشناسی	

فهرست مطالب

فصل اول

3	انواع سازه های نگهبان.....
۴	دیوارهای مهارشده با پشت بندهای افقی و فشاری.....
6	سیستم دیوار مهاری و میخکوبی.....
6	دیوار سپری مهار شده.....
11	دیوارهای شمعی.....
13	شمع های درجا.....
18	دیوارهای دیافراگمی.....
21	مقایسه ی بین انواع سازه های نگهبان.....

فصل دوم

27	اهمیت ملاحظات تغییر شکل برای طراحی.....
27	منابع تغییر شکل.....
29	تخمین مقدار و الگوی جابه جایی زمین.....
31	نظریه Caspe راجع به نشست.....
35	نظریه Goldberg و تغییر شکل سیستم نگهبان.....
39	نظریه Mana and Clough در عوامل موثر بر جابه جایی.....
48	مطالعه Qu et.al در تغییر شکل دیوار.....
53	نظریه Long در سیستم های نگهداری.....
54	تحلیل عددی در جابه جایی.....
54	جابه جایی جانبی در گودبرداری.....
76	جابه جایی عمودی در گودبرداری.....
83	خلاصه مطالب و گام بندی های مربوط به جابه جایی جانبی و عمودی.....

فصل سوم

84	معرفی نرم افزار FLAC-۳D.....
85	ویژگی های کلی نرم افزار.....
87	ویژگی های انتخابی برای انواع تحلیل.....
88	زمینه های کاربرد FLAC-۳D.....
89	روش تفاضل محدود.....
91	مقایسه ی روش های صریح و ضمنی.....
92	مراحل مدل سازی با نرم افزار FLAC-۳D.....
95	اعمال شرایط مرزی و اولیه.....
97	انتخاب مدل بنیادی و خواص آن.....
103	مدل سازی آب زیرزمینی و فشار حفره ای.....

106	.....مدل سازی دینامیکی
109	.....میرایی مکانیکی
114	.....مراحل شبیه سازی دینامیکی
119	.....نکات لازم در مدلسازی و تحلیل با FLAC-۳D

فصل چهارم

123	.....دیوار حائل چیست
123	.....دسته بندی دیوارهای حائل
129	.....انواع دیوار های حائل
135	.....تست های برجا در مواد پایه
136	.....نیروهای وارد بر دیوارها
138	.....فشارها و نیروهای زمین
142	.....تحلیل های کوتاه مدت و بلند مدت
145	.....طراحی فشارها و نیروهای زمین
147	.....الزامات پایداری دیوارها
152	.....اب بندها در طراحی
152	.....مواد پرکننده پشت دیوارها
154	.....سیستم های زهکشی
162	.....طراحی های مربوط به اتصالات بتنی
166	.....انواع جایگزین دیوارهای حائل
171	.....اندرکنش بین خاک و سازه
185	.....عوامل موثر در انتخاب نوع دیوار حائل
187	.....مراحل اجرای دیوار حائل

فصل پنجم

190	.....ضعف های اصلی خاک
190	.....کرنش در خاک
191	.....اصول طراحی در سازه های خاکی
191	.....عوامل کرنش در خاک مسلح
192	.....مزایای ساخت دیوار مسلح
194	.....انواع تسلیح کننده ها
202	.....گام های بررسی ماکزیمم گسیختگی دیوار خاک مسلح
203	.....روش های ساخت سازه های خاک مسلح
205	.....المان های نما
205	.....انواع پلیمر و روش تولید آنها
207	.....اصول طراحی و انتخاب ژئوسنتتیک ها
208	.....اصول ترک های خستگی

211	.....	Pull out	اصول کنترل
215	.....	کنترل بیرون زدگی المان	کنترل بیرون زدگی المان
216	.....	ضرایب اطمینان در خاک مسلح	ضرایب اطمینان در خاک مسلح
228	.....	روش میل مهار و دوخت به پشت	روش میل مهار و دوخت به پشت
228	.....	سیستم نیلینگ و عملکرد رفتاری آن	سیستم نیلینگ و عملکرد رفتاری آن
229	.....	مزایای و معایب روش انکراژ	مزایای و معایب روش انکراژ
230	.....	تفاوت انکراژ و میخ کوبی	تفاوت انکراژ و میخ کوبی
231	.....	اجزای انکراژ	اجزای انکراژ
231	.....	مراحل اجرای انکراژ	مراحل اجرای انکراژ
234	.....	روش طراحی انکراژ	روش طراحی انکراژ
237	.....	طراحی زهکش ها	طراحی زهکش ها
238	.....	ضریب اطمینان و کنترل پایداری	ضریب اطمینان و کنترل پایداری
239	.....	موارد مورد بررسی در طراحی	موارد مورد بررسی در طراحی

فصل اول

معرفی سازه های نگهبان گودبرداری

1-1- مقدمه

سیستم های نگهداری به دو دسته کلی سیستم های افقی و قائم تقسیم بندی می شوند. سیستم های قائم نیز دارای دو دسته کلی سیستم های صلب و سیستم های منعطف هستند. سیستم های صلب معمولاً به عنوان سازه های دائمی استفاده می شوند. در این فصل انواع سازه های نگهبان که در گودبرداری های عمیق مورد استفاده قرار می گیرند، معرفی شده است و مزایا و معایب شناخته شده ی هر یک بیان می شود تا بتوان با توجه به این اطلاعات در انتخاب سازه دقت بیشتری به کار برد. همچنین، مقایسه ای بین سیستم های نگهبان از جنبه های مختلف، انجام شده است. توضیحات تفصیلی در مورد رفتار سازه ها و طراحی آنها در منابع معرفی شده قابل دسترسی است.

1-2- انواع سازه های نگهبان

تا حدود سال های 1960 تا 1970 دو نوع دیوار در گودبرداری ها استفاده می شد : تیر نگهبان و تخته گذاری¹ و سپرهای مهار شده². بعد از این تاریخ انواع زیادی از دیوارهای مورد استفاده، معرفی شده است. که در اینجا ما آنها را به صورت زیر دسته بندی می کنیم :

- دیوارهای مهارشده با بندهای افقی و فشاری³
 - دیوار تیر نگهبان و تخته گذاری
 - سیستم مهار و میخ کوبی⁴
 - دیوار سپری مهارشده
 - انواع دیوارهای شمعی
 - دیوار دیافراگمی
- از انواع سیستم های نگهداری افقی می توان به موارد زیر اشاره کرد :
- پشت بندهای افقی یا استرات ها (struts)
 - مهارها (Tiebacks or anchors)
 - پشت بندهای مایل یا ریکرها (rakers)
- از انواع سیستم های نگهداری قائم صلب می توان به موارد زیر اشاره کرد :
- دیوار دیافراگمی (Diaphragm wall)
 - انواع دیوارهای دارای شمع

¹ - Soldier beam and lagging

² - Braced sheet piling

³ - Wale and strut

⁴ - Tieback and nailing system

فصل اول : معرفی سازه های نگهبان گودبرداری عمیق

از انواع سیستم های نگهداری قائم منعطف نیز می توان به موارد زیر اشاره کرد

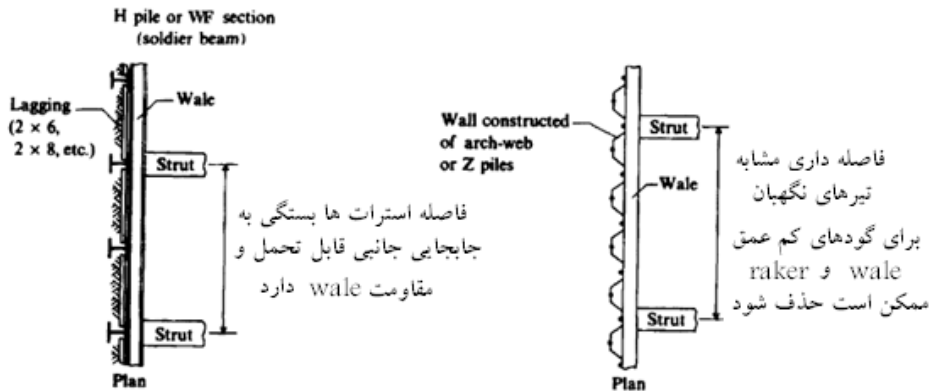
- دیوار سپری (Sheet pile wall)

- شمع نگهبان با تخته گذاری (Soldier pile and lagging)

در ادامه این فصل به طور خلاصه مطالبی در مورد انواع سازه ها بیان می شود.

1-1-2- دیوارهای مهار شده با پشت بندهای افقی و فشاری

از این دیوارها به طور وسیعی در اواسط دهه 60 استفاده می شد (شکل 1-1). امروزه به ندرت از آن ها استفاده می شود و تنها در پروژه های کوچک مثل مهاربندی ترانشه های خطوط آب و فاضلاب که دارای عمق بیش از 2/5 متر هستند، استفاده می شوند. از این نوع دیوارها خیلی در گودهای بزرگ در مناطق شهری استفاده نمی شود زیرا استرات ها و پشت بند های مایل ایجاد ناهنجاری زیادی در محل گودبرداری شده می کنند و هزینه کار و امکان وقوع صدمات را افزایش می دهند [5].



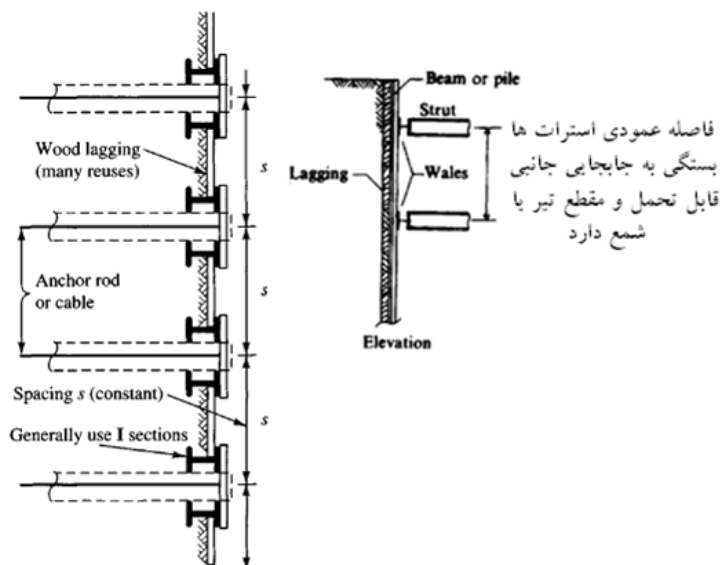
1-2-1 !

این سیستم بیشتر برای کارهای موقت استفاده می شود (شکل 1-2). در این روش، تیرهای نگهبان که دارای مقاطع فولادی زوج هستند، کمی پایین تر از عمق نهایی گود قرار می گیرند. فاصله آن ها (s) 2 متر تا 4 متر است تا بتوان تخته مورد نظر را در این فاصله استفاده کرد. تخته ها که کمی کوتاه تر از این فاصله و دارای ضخامت 50 تا 100 میلی متر هستند، در پشت بال های جلویی نصب می شوند (یا با استفاده از گیرهای اختصاصی، به بال های جلویی اتصال داده می شوند) تا جلوی حرکت خاک را با پیشروی گودبرداری بگیرند. اگر تخته ها در پشت بال قرار بگیرند، معمولاً نیاز به کمی کنده کاری دستی جهت جا انداختن تخته ها خواهد بود [5].

نصب شمع های نگهبان به دو صورت، نصب با تجهیزات کوبش شمع یا بتن ریزی در جای چال های از پیش حفاری شده انجام می شود. معمول ترین شمع نگهبان، مقاطع فولادی با بال پهن یا

فصل اول : معرفی سازه های نگهدارنده عمیق

شمع باربر است ولی دیگر انواع سازه ها مثل مقطع لوله ای ، بتن درجا ریز یا از پیش ساخته کاربرد دارند [10].



شکل 1-2 : نگهداری جانبی با دیوار تیر نگهدارنده و تخته گذاری [5]

در رس های سخت ، شیل های نرم یا دیگر خاک های چسبنده یا سیمانته شده ، چنانچه شمع های نگهدارنده به اندازه کافی نزدیک هم باشند (مثلا 3 فوت) و تمهیدات لازم برای جلوگیری از فرسایش و خردشدن سطح انجام شود، می توان از شمع تنها و بدون تخته گذاری استفاده کرد. از مزایای این سیستم عبارت است از :

- جابجایی و نصب آنها راحت است (مگر اینکه زون گودبرداری سنگی باشد)
- مواد آن را می توان چندین دفعه استفاده کرد
- از معایب این سیستم عبارت است از :
 - تغییر شکل تخته ها و گسختگی برشی زمین در پشت تخته ها و خاک برداشته شده در اثر حفاری محل شمع ها باعث جابجایی زمین می شود
 - جریان آب زیرزمینی و سطحی به عنوان یک ریسک تلقی می شود و باعث جابجایی زمین می شود و باید زهکشی انجام شود که آن نیز مشکلات خود را دارد

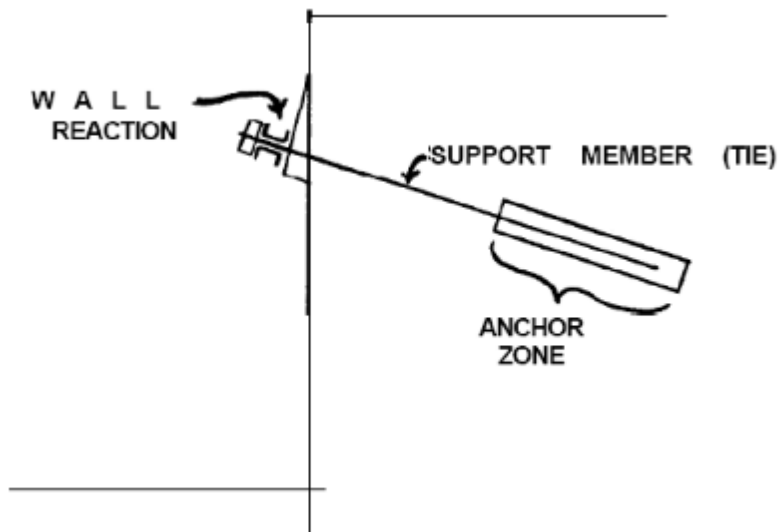
1-2-3- سیستم دیوار مهارى و ميخ كوبي⁵

ديوارهاى مهارى داراى دو فرآيند نصب هستند. ابتدا المان هاى عمودى (معمولا تيرهاى نگهبان) تا عمق زير سطح گودبردارى نهايى كوبيده يا با حفارى نصب مى شوند و سپس مهارها نصب و پس تنيده مى شوند تا بارهاى وارد را به پشت زون گسيختگى انتقال دهند. مهارها داراى سه مولفه اصلى هستند :

1- زون مهار كه به عنوان عكس العملى براى مقاومت در برابر فشارهاى جانبي زمين و يا آب عمل مى كند

2- يك عضو نگهدارى كه بار را از عكس العمل ديوار به زون مهار انتقال مى دهد

3- يك عكس العمل ديوار يا نقطه نگهدارى (شكل 1-3)



شكل 1-3 : مولفه هاى داخل در نگهدارى در مهارها [10]

در عمق هاى تعيين شده توسط مهندس پى گودبردارى متوقف مى شود و حفارى لازم براى نصب مهارها انجام مى گيرد. نصب مهارها با استفاده از صفحات باربرى روى بال تير نگهبان براى مولفه عمودى نيرو از مهار نصب مى شود. براى نگه داشتن مايل تيرها ممكن است به جوشكارى اضافى نياز باشد. معمولا استفاده از شيب 15 تا 20 درجه اقتصادى تر است كه براى ميله هاى مهارى

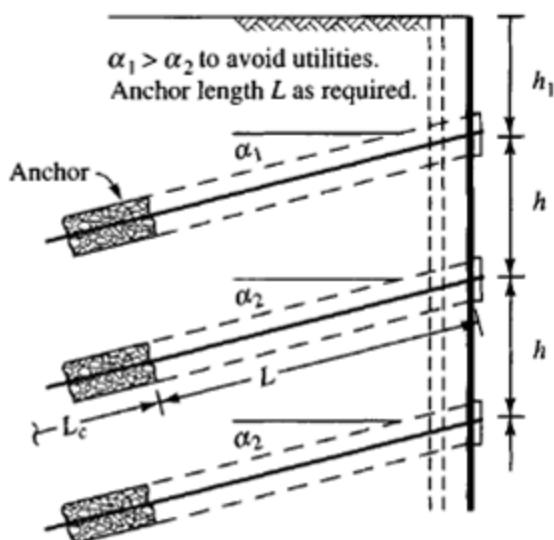
⁵- Tieback and nailing system

فصل اول : معرفی سازه های نگهداری گودبرداری عمیق

نزدیک این شیب در صفحه باربری، سوراخ هایی تعبیه می شوند تا نقطه مهاری ایجاد شود تا هزینه کم تری نسبت به حفر یک کانال جهت ایجاد شیب، داشته باشد (شکل 1-4) [5].

از معایب این سیستم نگهداری می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- مالکین زمین های همسایه ممکن است اجازه نصب مهار را ندهند یا هزینه بالایی بابت اجازه نصب طلب کنند.
- از آنجا که مهارها برداشته نمی شوند، موانعی دائمی در زیرزمین در اطراف محیط محل کار ایجاد می کنند.



شکل 1-4 : نگهداری جانبی با مهارها [5]

سازه دیگری که در این دسته قرار دارد سیستم دیوار میخ کوبی است. این سیستم وقتی دارای شرایط زیر باشد از لحاظ فنی و اقتصادی مناسب است :

- خاک بعد از گودبرداری قادر باشد بدون نگهداری در گودبرداری قائم به عمق 1 تا 2 متر (3 تا 6 فوت) به مدت 1 تا 2 روز پایدار بماند
- تمام میخ ها در یک مقطع بالای تراز آب زیرزمینی قرار داشته باشند

فصل اول : معرفی سازه های نگهبان گودبرداری عمیق

- اگر میخ ها زیر تراز آب زیرزمینی هستند، آب زیرزمینی اثر مخرب بر سینه گودبرداری، مقاومت فصل مشترک بین دوغاب و زمین اطراف یا کیفیت بلند مدت میخ ها نداشته باشد (برای مثال مشخصات شیمیایی زمین ایجاد خردگی نکند)
از مزایای این سیستم نگهداری می توان به موارد زیر اشاره کرد :
 - نیاز به ROW⁶ کوچکتری نسبت به مهارها دارند چرا که میخ ها معمولا کوتاهترند
 - در برابر ترافیک کمتر گسیخته می شوند و اثر زیست محیطی کمتری در مقایسه با دیگر تکنیک های ساخت دارند
 - پایین گودبرداری دارای تراکم تجهیزات کمتری است (در مقایسه با گود مهارشده)
 - نیاز به عمق مدفون برای دیوار نیست چنانکه برای شمع نگهبان با مهار لازم است
 - نصب دیوار میخ کوبی نسبتا سریع است و مواد ساختمانی کمتری نسبت به دیوارهای مهاری استفاده می کند
 - تنظیم شیب و مکان میخ هنگام برخورد با مانع آسان است. در مقابل درست کردن موقعیت افقی مهارها سخت است و گران تمام می شود
 - چون عمدتا مصرف میخ ها بیشتر از مهارهاست، طراحی آن ها آسانتر انجام می شود
 - تجهیزات میخ کوبی کوچکتر از دیوارهای مهاری است زیرا دیوارهای میخ کوبی احتیاج به نصب شمع نگهبان ندارند. این موضوع وقتی مهم است که ساخت در زیر پل انجام می شود
 - در جاهای با دسترسی کم میخ کوبی بهتر است زیرا تجهیزات کوچکتری نیاز است
 - تعداد پیمانکارهای با تجربه و با کیفیت در میخ کوبی هر سال در حال افزایش است
 - دیوارهای میخ کوبی نسبتا منعطف هستند و می توانند جابجایی و نشست نسبتا بزرگی را تحمل کنند
 - معمولا تغییر شکل کلی اندازه گرفته شده دیوار میخ کوبی در حد مجاز است
 - به خاطر انعطاف پذیری کلی سیستم در طول لرزه عملکرد خوبی دارند
 - هزینه ای برابر یا اقتصادی تر از دیوارهای مهاری دارند
 - شاتکریت بندی سطح معمولا کم هزینه تر از دیگر سیستم های دیوار است
- از معایب این سیستم نگهداری می توان به موارد زیر اشاره کرد :
- دیوارهای میخ کوبی برای مواردی که کنترل تغییر شکل شدید برای سازه ها و تجهیزات موجود در پشت دیوار لازم است مناسب نیست زیرا این سیستم نیاز به تغییر شکل خاک

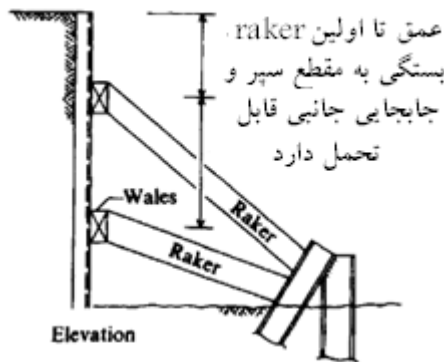
⁶ - right-of-way

فصل اول : معرفی سازه های نگهبان گودبرداری عمیق

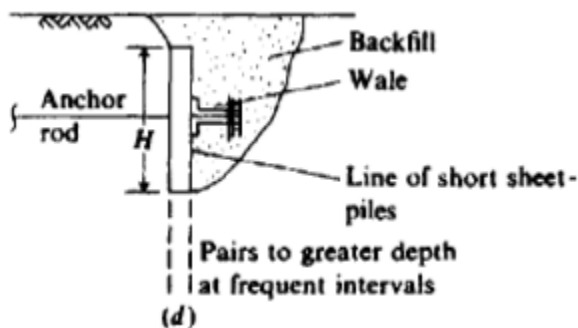
- جهت بسیج مقاومت خود دارد. البته با کشش میخ پس از نصب این عیب در بیشتر موارد رفع می شود ولی هزینه پروژه را بالا می برد
- وجود و مواجه شدن با تجهیزات باعث محدودیت هایی در مکان، جهت و طول میخ ها در سطوح می شود.
 - در جاهایی که مقدار زیادی آب زیرزمینی به گود نفوذ می کند دیوارهای میخ کوبی مناسب نیستند زیرا در این روش خاک باید طوری باشد که مدت زمان موقتی بدون نگهداری پایدار بماند
 - دیوارهای میخ کوبی دائمی احتیاج به مجوز نصب دائمی میخ ها را دارد
 - نیاز به نیروی کار متخصص و با تجربه ضروری است

1-2-4 دیوار سپری مهارشده

این نوع دیوار در واقع دیوار سپری مهارشده با لایه های مهار در سطوح مختلف است. ساخت آنها مشابه سیستم تیر نگهبان و تخته گذاری است که در آن سپر کوبیده می شود و در عمق های انتخابی گود، پشت بندهای افقی یا مهارها نصب می گردند. هنگام استفاده از این سیستم همچنین ممکن است لازم باشد که مهار را به مجموعه به صورت مایل نصب کنیم (شکل 1-5 و 1-6).



شکل 1-5 : سیستم سپرگذاری مهارشده [5]



شکل 1-6: دیوار سپری کوتاه که به عنوان مهار استفاده می شود [5]

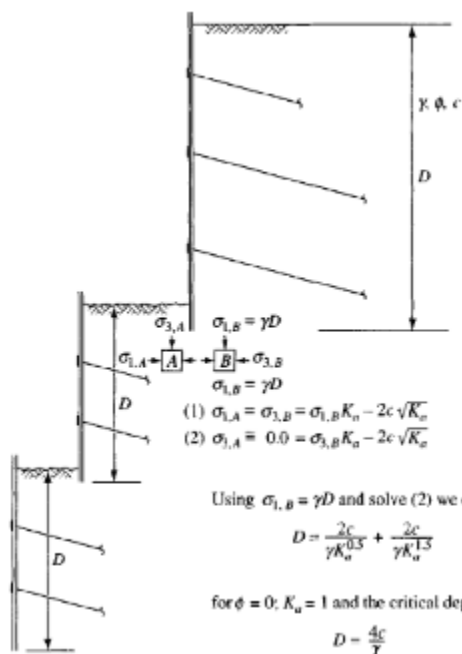
هنگامی که خاک سنگی باشد یا گود در سنگ باشد، باید شمع ها را در فصل مشترک سنگ جایگذاری کرد. گاهی، به خصوص در سپر گذاری، کوبش شمع در کل عمق گودبرداری ممکن نیست. وقتی چنین حالتی رخ می دهد، ممکن است امکان ساخت مرحله ای⁷، چنانچه در شکل (1-7) نشان داده شده است، وجود داشته باشد.

از مزایای این سیستم نگهداری می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- نصب آنها راحت است (مگر اینکه زون گودبرداری سنگی باشد)
- جابجایی آنها راحت است
- مواد آن را می توان چندین دفعه استفاده کرد.

از معایب این سیستم نگهداری می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- مالکین زمین های همسایه ممکن است اجازه نصب مهار را ندهند یا هزینه بالایی بابت اجازه نصب طلب کنند.
- از آنجا که مهارها برداشته نمی شوند، موانعی دائمی در زیرزمین در اطراف محیط محل کار ایجاد می کنند.



شکل 1-7 : عمق بحرانی D (SF=1) وقتی شرایط خاک امکان کوبش سپر در کل عمق گود را ندهد و امکان کاهش سطوح کاری پایینی وجود داشته باشد [5]

1-2-5- دیوارهای شمعی⁸

انواع مختلفی از دیوارهای شمعی وجود دارد. قطر شمع و فاصله شمع ها از هم بر اساس نوع خاک ، سطح آب زیرزمینی و مقدار فشارهای طراحی انتخاب می شوند. فاصله بین شمع ها بزرگ انتخاب نمی شود چرا که می تواند منجر به ایجاد حفره در خاک گردد. در ساخت شمع پیوسته، مرکز به مرکز فاصله شمع ها کمی بیشتر از قطر شمع نگه داشته می شود. شمع های که در ساخت آن ها این فاصله کمتر از قطر است، شمع های متداخل می گویند. نوع دیگری از شمع که وقتی استفاده می شوند که امکانات شمع متداخل یا دیوار دیافراگمی موجود نباشد را شمع مماسی⁹ می گویند [5].

از دیوارهای شمعی در مواقع زیر استفاده می شود :

۱- وقتی کوبش تیر نگهبان و سپر سخت باشد

⁸ - Pile walls

⁹ - Tangent piles

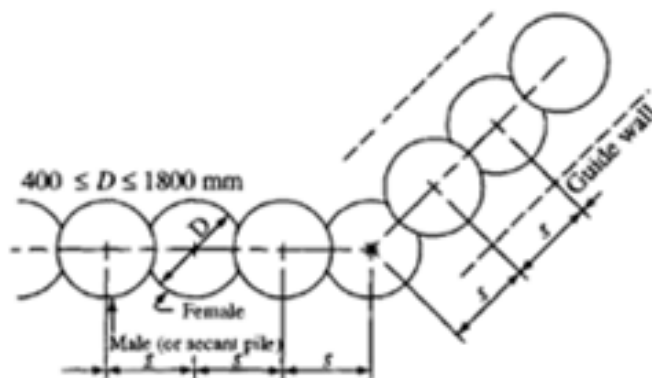
- ۲- وقتی داشتن یک دیوار تقریباً نفوذناپذیر لازم باشد به طوری که تراز آب زیرزمینی در خارج از محیط ساخت، کمتر نشود.
- ۳- وقتی باید از دیوار حائل به عنوان یک قسمت دائمی سیستم سازه ای (مثلاً، دیوارهای زیرزمین) استفاده شود.
- ۴- وقتی استفاده از فضای کامل سایت لازم باشد و همسایگان اجازه استفاده از فضای زیرزمینی آنها را برای نصب مهارها ندهند یا موانعی همچون تونل یا دیوار زیرزمین وجود دارند [5].

الف - دیوار با شمع های متداخل¹⁰

این نوع دیوار که مرکب از شمع های متداخل است و از قطر 410 mm تا 1500 mm متغیر است، بهترین گزینه برای وقتی است که دیوار باید در برابر آب نفوذناپذیر باشد. در ساخت این نوع دیوار ابتدا با ریختن بتن به ضخامت 1m و عرض 400 تا 600 میلیمتر بزرگتر از قطر شمع ها و ترجیحاً با قفسه گذاری آماده برای شمع های ابتدایی¹¹ ساخت سیستم شروع می شود. سپس شمع های ابتدایی (مادگی) حفاری می شوند (ممکن است قفسه گذاری شوند ولی قفسه ها باید بیرون کشیده شوند) و شمع با استفاده از هر نوع وسیله ای ریخته می شود. پس از سخت شدن، شمع ها به شکل نری با قطر برابر یا کمتر حفاری می شوند. در طول این فرآیند حفاری سگمنت های شمع های ابتدایی را از بین می برند، بنابراین چنانچه در شکل (1-8) مشاهده می شود یک درهم قفل شدگی و تداخل حاصل می شود. شمع ها ممکن است قفسه گذاری شوند، ولی در اینجا قفسه گذاری را نباید برداشت. ممکن است این شمع ها را نیز با میله فولادی یا با مقاطع H, w یا I که در حفره قبل از ریختن بتن جایگذاری می شوند، تسلیح کرد. این شکل از شمع به علت توسعه اخیر تجهیزات حفاری با گشتاور بالا که قادرند مواد سخت از قبیل سنگ و بتن را با بازدهی بالایی برش بدهند، ممکن است. این دیوارهای شمعی همچنین می توانند با استفاده از دوغاب سیمان برای شمع های اولیه ساخته شوند به طوری که برش برای شمع ها خیلی سخت نباشد.

¹⁰ - Secant piles

¹¹ - Primary piles



شکل 1- 8 : روش شمع های متداخل برای سازه نگهبان نفوذناپذیر گود [5]

از مهارها¹² نیز ممکن است با دیوارهای شمعی استفاده شود. چنانچه شمع ها در تماس جانبی نسبتا نزدیک باشند، در اینصورت این مهارها احتیاج به بندهای افقی خواهند داشت. برای شمع های متداخل، مهارها به سادگی از میان شمع حفاری می شوند. البته چنانچه از قبل نصب مهار تعیین شده باشد، بهتر است یک یا دو سوراخ مهار در بالای شمع با استفاده از قطعه های تیوب با قطر بزرگ که به اندازه سوراخ ها بریده شده اند و در داخل سوراخ قرار می گیرند و در محل با وسیله ای نگهداری می شوند، تعبیه شود [5].

به طور کلی می توان گفت یک دیوار شمعی متداخل عموماً از شمع مسلح (سخت) و شمع غیر مسلح (نرم) تشکیل شده است. در ابتدا شمع نرم غیر مسلح ساخته می شود و سپس ساخت شمع سخت مسلح انجام می شود. معمولاً از بتن مرتبه 35 (35 MPa) برای شمع سخت و از مرتبه 20 برای شمع نرم استفاده می شود. بتن کمتر از مرتبه 20 برای شمع نرم نامطلوب است و ممکن است باعث تخلخل در شمع شود [2].

ب- شمع های درجای¹³ (فاصله دار)

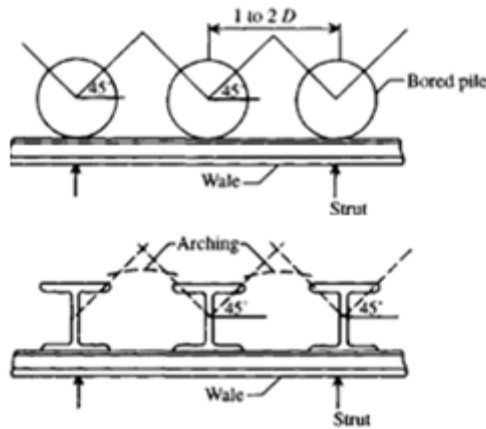
شمع های درجا در جاهایی لازم است که ارتعاش حاصل از کوبش شمع با استفاده از چکش شمع یا کوبنده های ارتعاشی ممکن است باعث تخریب سازه های مجاور شوند یا سر و صدای زیاد تولید کنند. در جایی که خاکی که باید نگهداری شود دارای مقداری چسبندگی است و آب یک فاکتور مهم نیست، فاصله داری تیر نگهبان یا شمع در جا ممکن است طوری باشد که تخته گذاری یا

¹²- Tiebacks

¹³- Drilled-in-Place Piles

فصل اول : معرفی سازه های نگهبان گودبرداری عمیق

دیگر مکمل های دیوار اصلی لازم نباشند زیرا قوسی شدن¹⁴ ناشی از فشار جانبی توسعه داده شده با شمع، خاک را در عرض فضای باز، نگه خواهد داشت. این پهنای زون را، چنانکه در شکل (9-1) نشان داده شده، می توان مستقیماً از تقاطع خطوط 45 درجه محاسبه کرد. البته شمع ها باید به اندازه کافی مهاربندی شوند تا مقاومت لازم جانبی خاک تامین شود.



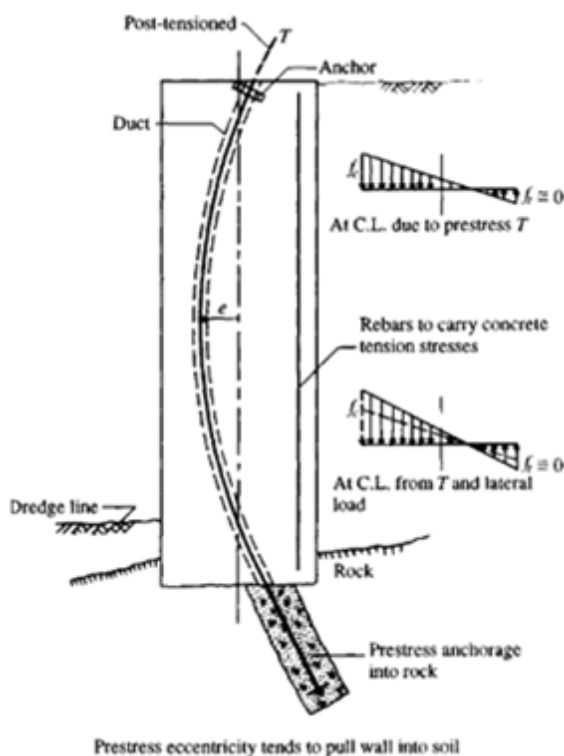
شکل 9-1 : شمع گذاری به طوری که قاب بین شمع ها خاک را نگه دارد و استفاده از تیرهای H به جای شمع [5]

با داشتن مهار کافی در پایین شمع و قطر کافی، یک روش این است که شمع را به عنوان یک تیر پیش تنیده طراحی کنیم (شکل 1-10). پس از نصب تاندون، ریخته شده در یک مجرا، کشش تا حد بار از پیش تنظیم شده انجام می شود و مهار بندی در بالای آن صورت می گیرد. بار پیش تنیدگی تولید تنش کیفی، چنانکه در شکل نشان داده شده، در مقاطع مختلف در شمع، بسته به گریز از مرکزیت، می کند. شمع، همانطور که نشان داده شده، تمایل دارد که با نصب تاندون به طرف خاکریز پشت یا خاک اصلی منحرف شود، اما این انحراف توسط خاک مقاومت می شود به طوری که نتیجه نهایی یک شمع تقریباً عمودی است و خاک در اثر انحراف شمع هدر نمی رود. با جایگذاری تاندون پیش تنیده محور عمودی شمع از خاکریز پشت دور و منحرف می شود. اگرچه این انحراف به طور موثرتری از مقاومت بتن، f'_c ، در خمش بهره می برد، ولی جابجایی جانبی در گود باعث هدر رفتن اضافی زمین می گردد.

¹⁴ - Arching

فصل اول : معرفی سازه های نگهبان گودبرداری عمیق

در جایی که نگهداری باید در برابر زمین و آب انجام گیرد، سیستم باید زیر تراز آب، نفوذناپذیر باشد و بتواند در برابر خاک و فشارهای هیدرواستاتیکی مقاومت کند. کاهش تراز آب به دلایل زیست محیطی زیاد کاربردی نیست و باعث نشست در خاک و هر نوع سازه روی آن می شود. اگر تفاوت هد آب بالا باشد، محل ساخت باید خشک نگه داشته شود و اعتمادی به اتصالات سپرها برای نگه داشتن آب بدون درزگیری کافی و یا پمپاژ وجود ندارد و بنابراین راه حل مورد نظر برای دیوار حائل محدود به دیوار متداخل یا دوغابی¹⁵ می شود [5].



شکل 1-10: استفاده خطی از شمع های پیش تنیده و به هم چسبیده جهت نگهداری تمایل عمودی گود [5]

مشخص است که نیروی برکنش یا بویانسی یک عامل خواهد بود برای سازه هایی که در زیر تراز آب قرار دارند. چنانچه نیروی برکنش تقریبا برابر وزن سازه باشد، یا بیشتر باشد، لازم خواهد بود که ساختمان را به خاک مهاربندی کنیم. این کار را می توان با استفاده از مهار شمع ها به سنگ

فصل اول : معرفی سازه های نگهبان گودبرداری عمیق

بستر انجام داد. راه های چاره ی دیگر استفاده از شمع های با انتهای پهن و مهارهای عمودی است [5].

از معایب این سیستم نگهداری می توان به موارد زیر اشاره کرد :

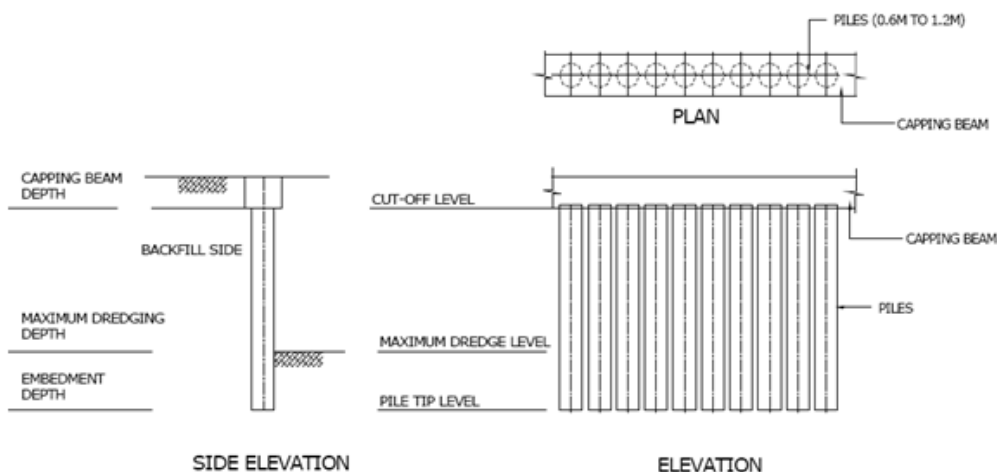
- این نوع ساخت تنها برای مدت خیلی کوتاه می تواند استفاده شود زیرا تکه های بزرگ خاک با خشک شدن سطوح در معرض هوا در اثر گرانش و یا ارتعاش های موضعی ریزش می کنند.

- در صورت بالا بودن تراز آب دارای کارایی بالایی نیستند

ج- دیوار با شمع های پیوسته¹⁶

شمع های به هم پیوسته به علت وجود فاصله بین شمع ها نفوذپذیر هستند. قطرهای معمول شمع ها 0/6 ، 0/8 و 1 متر است. یک دیوار دائمی که شامل شمع های به هم پیوسته است نیازمند درزگیری فاصله بین شمع ها و یا دیوار سازه ای دیگری است تا در کنار شمع ها عمل کنند. به علاوه، یک دیوار شمعی به هم پیوسته در برابر خمش در مقطع دایره ای شمع کارایی زیادی ندارد [2].

شکل (1- 11) قرارگیری شمع های پیوسته را نشان می دهد.



شکل 1- 11: شکل قرارگیری سیستم دیوار شمع پیوسته [6]

¹¹- Contiguous piles wall

- از مزایای این سیستم نگهداری می توان به موارد زیر اشاره کرد :
- می توان تجهیزات سنتی شمع گذاری را برای ساخت شمع های پیوسته که به عنوان دیوارهای حائل استفاده می شوند، به کار برد
 - به علت کاهش در هزینه عملیات در گودبرداری های در مقیاس کوچک تا متوسط، اقتصادی تر از دیوار دیافراگمی در نظر گرفته می شوند.
 - این شمع ها با یک تیر کلاهدک در بالای خود به هم متصل می شوند که به توزیع فشار متعادل در شمع ها کمک می کند.
 - این سیستم در مناطقی که تراز آب عمیق است یا در جایی که نفوذپذیری خاک کم است مناسب است ولی در هر صورت مقدار قابل قبول آب می تواند در کف جمع شود و به بیرون پمپ گردد.
 - شمع های پیوسته در مناطق شهری شلوغ مناسب هستند که در آنجا روش های سنتی حائل بندی تجهیزات مجاور را به مخاطره خواهد انداخت. آماده سازی شمع های پیوسته جابجایی های زمین را در سمت خاکریز پشت محدود می کند و بنابراین سازه های مجاور ، پی ها و دیوارهای مرزی را از اثرات مضر گودبرداری حفظ می کند.
 - شمع های پیوسته امکان گسترش دسته های مستقل زیادی از تجهیزات و گروه ها را دارد که می تواند اجرای آنرا سرعت ببخشد.
 - می توانند با استفاده از تجهیزات مرسوم شمع گذاری نیز اجرا گردند و می توانند در شرایط سخت و سنگی زیر خاک که ساخت دیوار دیافراگمی سخت است ، ساخته شوند.
 - چنین سیستم های نگهبان دارای این مزیت هستند که با تغییر شرایط زیر سطحی یا در مواجهه با لایه ای در عمقی که متفاوت از عمق پیش بینی شده در طراحی است، قطرهای متغیری برای شمع ها به کار بگیرند.
 - بر خلاف دیوار دیافراگمی که بستگی به هندسه قائم منطقه گودبرداری دارد ، سیستم نگهبان با شمع پیوسته می تواند با هر شکلی در منطقه گودبرداری ساخته شود [6].
- از معایب این سیستم نگهداری می توان به موارد زیر اشاره کرد :
- برای ساخت در مناطق با تراز آب بالا به عنوان حائل مناسب نیستند و نگهداری آب در شمع های پیوسته ممکن نیست.
 - ایجاد شیب در شمع ها در محل اغلب مشکل است و این امر ایجاد تاثیر در ابعاد و شیب تیر در کلاهدک می کند.

- تنها قسمت بتن و فولاد دور از محورخشی در برابر ممان مقاوم است و در نتیجه قسمتی از مساحت بتن و فولاد بدون استفاده می ماند یا کمتر استفاده می شود [6].

1-2-6- دیوارهای دیافراگمی

دیوارهای دیافراگمی پانل های ساخته شده ای هستند که در آنها از بتن ترمی¹⁷ استفاده شده است. ساخت دیوار دیافراگمی تکنیکی است که در آن یک دیوار پیوسته زیرزمینی از سطح زمین ساخته می شود. دیوارهای دیافراگمی امکان نگهداری سازه ای و سد آب را فراهم می کنند. ساخت این دیوارها با جایگذاری بتن از طریق یک لوله ترمی در یک فضای حفاری شده که با گل بنتونیتی پر شده است نشانگر شرایطی است که از کارهای عادی جایگذاری بتن متفاوت است. بنابراین به دیوار دیافراگمی کاملاً ضد آب نمی توان رسید مگر اینکه تمهیدات ویژه ای در طراحی و مشخصات آنها در نظر گرفته شود. این تمهیدات عبارتند از استفاده از افزودنی های ویژه برای بتن و غشایی به شکل دیوار در صفحه داخلی دیوار. اتصالات بین پانل ها و محل میله ها در سطوح دال ها منشاء نشت در دیوارهای دیافراگمی هستند که می توان با دوغاب هایی نظیر پلی اُرتن¹⁸ درز گیری کرد [2].

دیوارهای دیافراگمی بتن مسلح را دیوارهای ترانشه ای اسلاری نیز می گویند زیرا تکنیک ساخت در آن طوری است که گودبرداری با پر کردن دیوار با مخلوط آب و بنتونیت در حین گودبرداری انجام می شود تا از سقوط سطوح عمودی گودبرداری شده جلوگیری کند [5].

این سازه های حائل کاربردهای زیر را دارند :

- دیوارهای نگهبان زمین برای گودهای عمیق ، زیرزمین ها و تونل ها
 - المان های پی های عمودی با ظرفیت بالا
 - پی های دیوارهای حائل
 - کنترل آب
 - دیوارهای دائمی جهت تجهیز روش ساخت بالا – پایین¹⁹
- ضخامت معمول دیوار بین 0/6 تا 1/1 متر متغیر است. دیوار در عمق کامل خود پانل به پانل ساخته می شود. عرض پانل از 2/5 m تا حدود 6 m تغییر می کند. عرض کوتاه 2/5 m برای خاک های با پایداری کمتر ، تحت سربار زیاد یا برای دیوارهای خیلی عمیق انتخاب می شوند.

¹⁷ Tremie concrete

¹⁸ Polyurethane

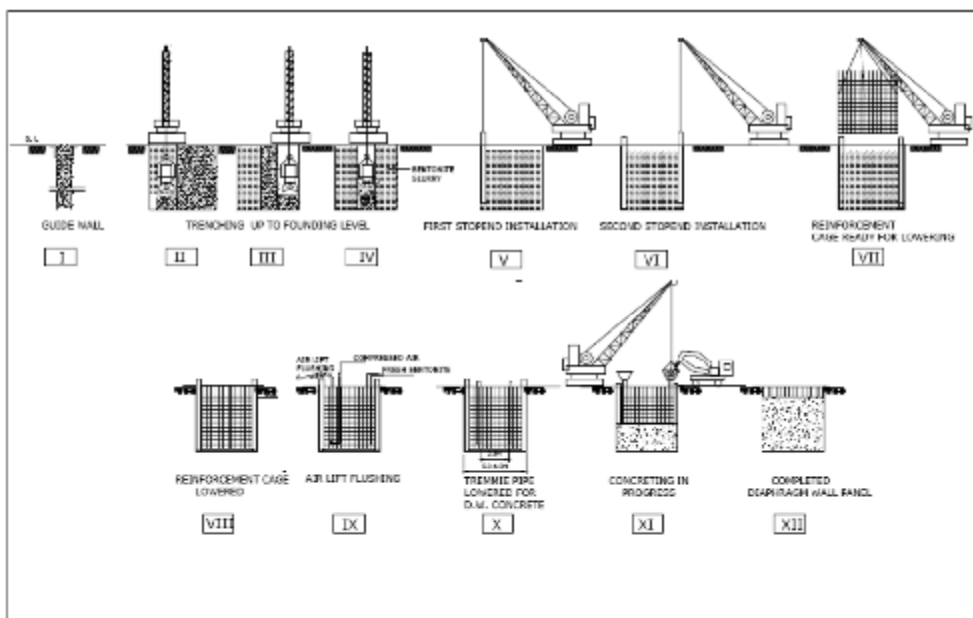
¹⁹ - Top – down construction method

شکل های متفاوت پانل به غیر از مقاطع مرسوم T و L شکل برای اهداف ویژه شکل می گیرند و استفاده می شوند. به طور سنتی ، حفاری پانل با استفاده از دستگاه حفاری تحت نگهداری کابل انجام می شوند. روش دیوار اسلاری یک تکنیک تخصصی است و غیر از دستگاه حفاری با بالابر جرثقیلی ، دیگر تجهیزات آن عبارتند از جرثقیل ها، پمپ ها، مخازن، مخلوط کننده ها، هوا و غیره [5].

مراحل ساخت دیوار دیافراگمی را می توان به صورت زیر بیان کرد :

- ۱- ساخت دیوار راهنما در جهت شیب
- ۲- ایجاد ترانشه با دستگاه حفاری کنترلی با جرثقیل یا دستگاه حفاری هیدرولیکی
- ۳- پاشیدن بنتونیت
- ۴- نصب قفسه مسلح کننده
- ۵- ریختن بتن با استفاده از لوله ترمی

ترتیب ساخت پانل دیوار دیافراگمی به طور شماتیک در شکل (1-12) نشان داده شده است. بایستی به یاد داشت که دیوارهای دیافراگمی به صورت سری های متغیر پانل های اولیه و ثانویه ساخته می شوند. پانل های اولیه در ابتدا ساخته می شوند که در هر طرف با لوله های یک طرف بسته مقید شده اند. قبل از اینکه گودبرداری متوسط دومین پانل انجام شود ، لوله ها برداشته می شوند و پانل در برابر دو پانل اولیه در هر طرف ریخته می شوند تا پیوستگی حفظ شود. متوقف کننده های آب گاهی در مفاصل ساخت بین پانل های مجاور استفاده می شوند تا از تراوش آب زیرزمینی جلوگیری شود [6].



شکل 1-12: مراحل ساخت دیوار دیافراگمی [6]

- از مزایای این سیستم نگهداری می توان به موارد زیر اشاره کرد :
- ساخت دیوار دیافراگمی نسبتا بدون سر و صدا است و داشتن حداقل سر و صدا و ارتعاش آن را برای ساخت در مناطق شهری مناسب می سازد
 - دیوارهای با شکل نفوذناپذیر در برابر آب را می توان به عنوان دیوارهای سازه ای دائم استفاده کرد و وقتی به این شکل استفاده می شوند، بیشترین صرف اقتصادی را دارند
 - دیوار سازه ای پایان یافته قبل از گودبرداری امکان ساخت پایه ها را بعد از گودبرداری در محیطی بدون آب و تمیز می دهد
 - وقتی دیوارهای دیافراگمی ساخته می شوند، کار را می توان طوری برنامه ریزی کرد که به طور همزمان در بالا و پایین سطح زمین پیشرفت داشته باشد
 - میزان فضای تلف شده حداقل است
 - امکان انجام کار درست در مقابل سازه های موجود وجود دارد
 - در طراحی امکان تنظیم خط دیوار به هر شکلی وجود دارد [6]
 - پانل های دیوار دیافراگمی می تواند برای حفاظت ستون های پیرامونی و خارجی عمل کند یعنی ظرفیت باربری را افزایش دهد [2]

1-3- مقایسه بین انواع سازه های نگهبان

تفاوت اصلی بین انواع مختلف دیوار عبارتند از :

- تکنولوژی ساخت
- ماده ای که از آن ساخته شده اند
- انعطاف پذیری و صلبیت دیوار

از سال 1962 پس از تحلیل استاتیکی داده های بدست آمده از تاریخچه ساخت و اجرای سیستم های نگهداری گودبرداری عمیق ، Duncan and Bentler در سال 1998 گزارش دادند که درصد گودهای نگهداری شده با سپرها در طول زمان کاهش پیدا کرده است و درصد گودهای نگهداری شده با دیوارهای دیافراگمی و دیگر دیوارها (عمدتا دیوارهای شمعی متداخل، مماسی و پیوسته) افزایش یافته است. آنها همچنین متوجه شدند که نشست ها و جابجایی های افقی در اثر گودبرداری با زمان کاهش پیدا کرده است. این بهبود در اجرا بیشتر مربوط به استفاده زیاد از دیوارهای با صلبیت بیشتر مثل دیوارهای دیافراگمی بتنی و مربوط به توجه بیشتر در نحوه ساخت است. معرفی تکنولوژی بنتونیت به جهان ، تغییر سریع در حفاری و تکنیک های گودبرداری و این واقعیت که آن ها می توانند به طور رضایت بخشی در شرایط سخت خاک عمل کنند، عمدتا مربوط به استفاده مکرر از دیوارهای دیافراگمی و دیوار شمع حفر شده هستند [9].

1-3-1- مقایسه از لحاظ نوع خاک

الف) دیوارها

برای انواع خاک ها و به خصوص برای گودبرداری در خاک های نرم، دیوارهای صلب مثل دیوارهای دیافراگمی و دیوارهای با شمع های پیوسته معمولا استفاده می شود زیرا در کنترل جابجایی خاک تا حد قابل قبول، موثرتر از دیوارهای با انعطاف پذیری بیشتر مثل دیوارهای سپری عمل می کنند [2]. به طور طبیعی ، دیوارهای شمع نگهبان همراه تخته گذاری، بتن یا شانکریت بین شمع ها به عنوان سیستم نگهداری برای گودبرداری در خاک های نرم مناسب نیستند [9]. دیوارهای سپری عموما در انواع خاک هایی استفاده می شوند که برای دیوارهای شمع نگهبان و تخته گذاری مناسب نیستند یعنی خاک هایی از قبیل رس های نرم، خاک های آلی و خاک های اتساعی با پلاستیسیته کم، سیلت های اشباع و ماسه رسی یا سیلتی شل [10].

ب) نگهداری های افقی

مهارها بیشتر در خاک های چسبنده سفت تا سخت یا در خاک های دانه ای کاربرد دارند. در خاک های چسبنده با مقاومت برشی پایین از مهار با قابلیت دوغاب ریزی مجدد به طور موفق

آزمیزی استفاده شده است، در حالی که دیگر انواع مهار اغلب جابجایی های نسبتا بزرگی را تجربه می کنند [11].

شرایط مناسب خاک برای سیستم میخ کوبی به شرح زیر است :

- خاک های دانه ریز یا چسبنده سفت تا سخت (رسی، سیلت های رسی، رس های سیلتي، رس های ماسه ای و سیلت های ماسه ای)
- خاک های دانه ای متراکم تا خیلی متراکم (ماسه و شن با $N > 30$) با مقداری چسبندگی ظاهری

- سنگ هوازده بدون صفحه ضعیف [11]

1-3-2- مقایسه از لحاظ سختی نصب

ساخت دیوار شمعی متداخل سخت تر و گرانتر از ساخت دیوار شمع های به هم پیوسته است. دیوار دیافراگمی در خاک های دارای قله سنگ هم می تواند استفاده شود در حالی که استفاده از دیوارهای سپری مطلوب نیست زیرا ممکن است قابل نصب نباشند و یا به سختی نصب شوند که نصب با فشار زیاد ممکن است اتصالات بین سپرها را خراب کند و از نفوذناپذیری سپر بکاهد [2].

Duncan and Bentler در سال 1998 بیان کردند که در سازه های افقی تمایل بیشتر به استفاده از استراتها در مقایسه با مهارهای گیردار است. این موضوع عمدتا به خاطر مشکلات مربوط به نصب مهارهای گیردار است، به این معنا که نصب مهارها ممکن است منجر به نشست یا برآمدگی زمین در محل ساخت شود. گاهی مسئله مالکیت زمین باعث ایجاد مشکل در نصب مهارهای گیردار می شود. اساسا، استراتها کمتر از مهارها دچار گسیختگی می شوند [9]. در سیستم دیوار مهاری احتیاج به تجهیزات بزرگ و متفاوت برای نصب دیوار تیر نگهبان و پس تنیدگی مهار است که هزینه و برنامه ریزی زیادی را تحمیل می کند. در دیوار میخ کوبی از تیرهای نگهبان و پس تنش لازم برای مهار استفاده نمی شود [11].

1-3-3- مقایسه از لحاظ نفوذپذیری در برابر آب

شمع متداخل کم نفوذتر از دیوار شمع پیوسته است. همینطور برای دیوارهای دیافراگمی، رسیدن به دیوار شمع سکانتی کاملا ضد آب سخت است. دیوار شمع سکانتی دارای اتصالات بیشتری نسبت به یک دیوار دیافراگمی است و تمهیدی برای توقف آب در بین این اتصالات دیده نشده است [2].

1-3-4- مقایسه از لحاظ میزان جابجایی

دیوارهای دیافراگمی و شمع سکانت انواع دیواری هستند که برای پیشگیری جابجایی خاک در سازه های حساس مثل ستون های سیستم های حمل و نقل سریع انبوه (20MRT)، تونل ها یا ایستگاه ها ترجیح داده می شوند، چرا که در کنترل جابجایی خاک موثرتر عمل می کنند. برای گودبرداری های در رس های سفت که سازه های حساسی در نزدیکی آن نباشد از دیوارهای با انعطاف بیشتر نظیر دیوار سپری می توان استفاده کرد که می تواند به خوبی دیوارهای صلب مثل دیوارهای دیافراگمی عمل کند [2].

نتایج تحلیل ها نشان می دهد که برای گودبرداری پی در رس سفت حداکثر جابجایی جانبی دیوار در سپر کمی بیشتر از دیوار دیافراگمی است. (Wong et al. (۱۹۹۷ گزارش دادند که برای گودبرداری در خاک های سفت، حداکثر نشست مشاهده شده خاک برای دیوارهای صلب مثل دیوارهای دیافراگمی و دیوارهای با شمع های به هم پیوسته کمی کمتر از دیوارهای منعطف تر مثل سپرها و شمع نگهبان با تخته گذاری است [2].

ساخت پانل های دیوار دیافراگمی و شمع های به هم پیوسته و شمع های سکانتی می تواند باعث جابجایی در زمین مجاور شود. مقدار جابجایی ها بستگی به عوامل گوناگونی همچون تکنیک ساخت، نوع خاک و ابعاد شمع یا پانل دارد. چنانچه ابعاد شمع و پانل و تکنیک ساخت به خوبی انتخاب نشوند یا فرآیند ساخت دیوار به خوبی کنترل نشود، جابجایی خاک های مجاور می تواند بیشتر شود [2].

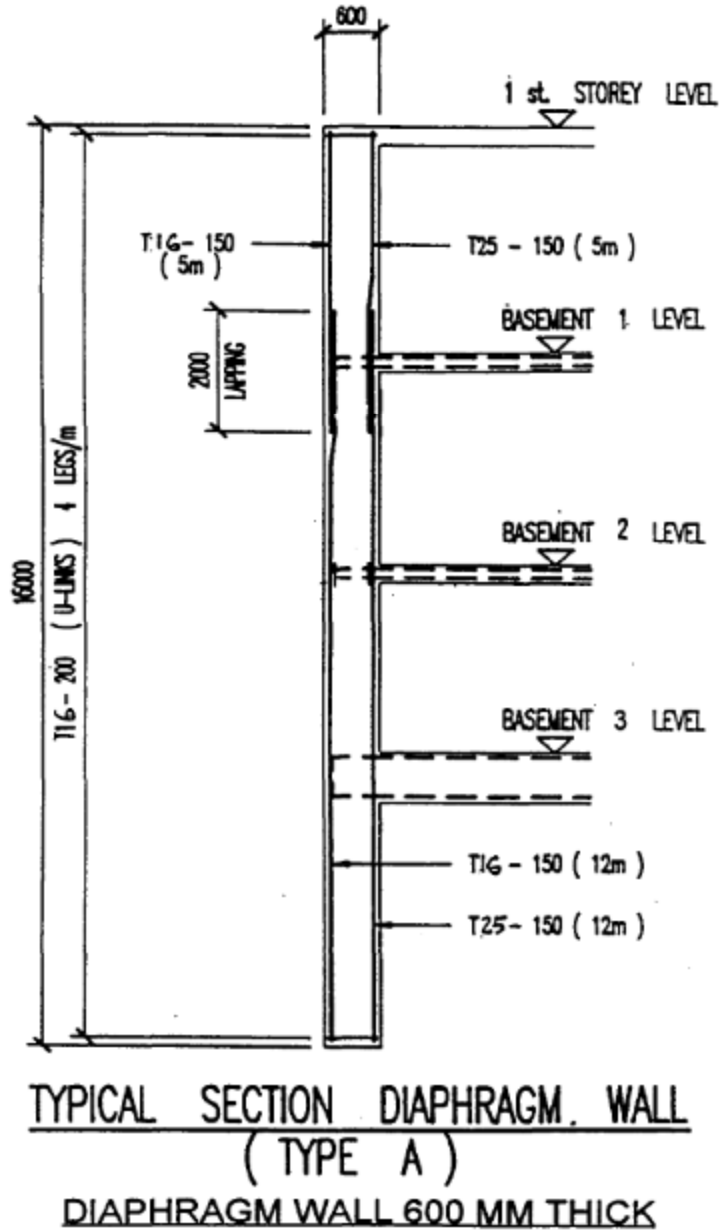
به طور کلی ساخت شمع های به هم پیوسته و شمع های متداخل منجر به جابجایی های کمتری نسبت به پانل های دیوار دیافراگمی می شود زیرا در آنها مقدار حفاری کمتر است. عموماً ساخت دیوارهای سپری با انعطاف بیشتر باعث جابجایی در خاک های مجاور نمی شود. هر چند که کوبش سپرها باعث ایجاد ارتعاش می شود که برای سازه های حساس غیر قابل قبول است [2].

1-3-5- مقایسه از لحاظ قیمت

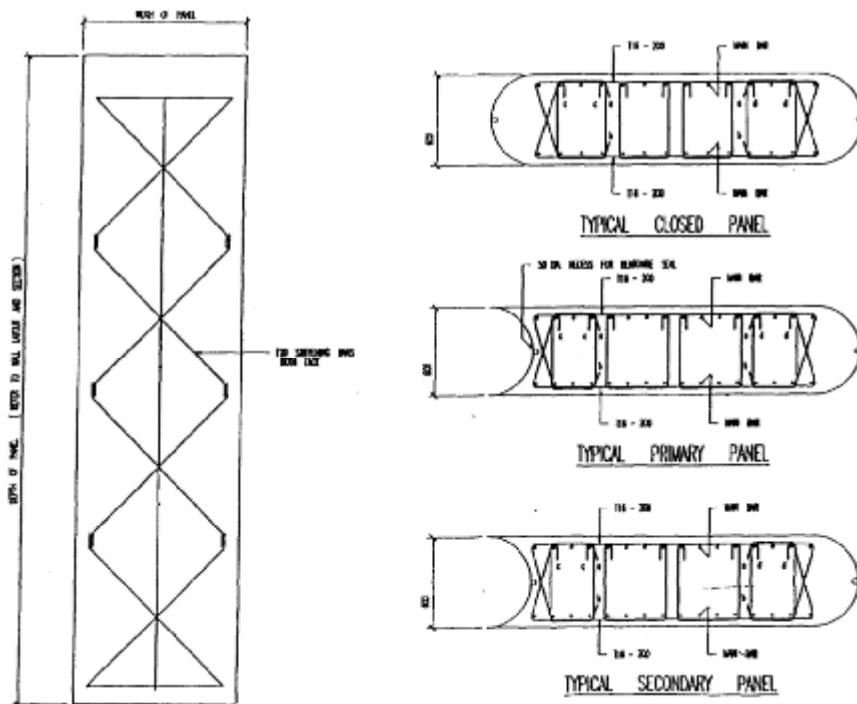
به عنوان مثال در ادامه مقایسه ای بین سازه ها از لحاظ قیمت در خاک رسی سفت نشان داده می شود. برای مقایسه قیمت ها از 4 نوع دیوار به شرح زیر استفاده شده است :

- نوع 1 : دیوار دیافراگمی با ضخامت 0/6 m که به عنوان دیوار حائل موقت و همچنین دائمی عمل می کند (شکل 1-13)
- نوع 2 : دیوار شمع سکانت به قطر 0/7 m که به عنوان دیوار موقت و دائمی عمل می کند و یک دیوار با ضخامت 0/3 m با بتن در جا ریز (شکل 1-15)

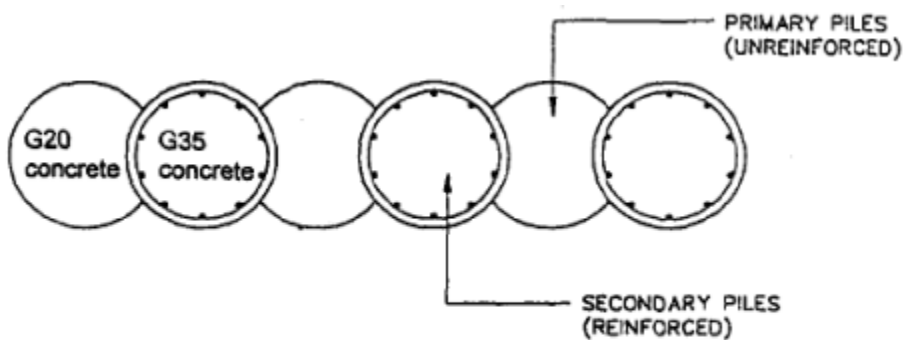
- نوع 3 : دیوار سپری با مقطع FSP IIIA که به عنوان دیوار موقت عمل می کند و یک دیوار با ضخامت 0/3 m با بتن در جا ریز. در این حالت سپر جزوی از دیوار سپری و هم به عنوان روی کار خارجی است (شکل 1-16)
 - نوع 4 : دیوار سپری با مقطع FSP IIIA که تنها به عنوان دیوار موقت عمل می کند و یک دیوار با ضخامت 0/35 m با بتن در جا ریز. در این حالت دیوار دائمی جدای از سپر ریخته می شود و پس از ساخت آن سپر برداشته می شود (شکل 1-17)
- برآوردهای هزینه نشان می دهد که دیوار نوع 1 با داشتن یک دیوار دیافراگمی 0/6 m و یک دیوار کاذب جدا تقریبا قیمتی برابر قیمت دیوار نوع 2 دارد که شامل یک دیوار شمع سکانت با قطر 0/7 m با یک دیوار کاذب است. همچنین هزینه دیوار نوع 1 حدود 40 % بیشتر از نوع 3 است. ارزانترین نوع، نوع 4 است به خصوص اگر سپرها از جنس دسته دوم ساخته شود. با داشتن سپر دسته دوم هزینه نوع 4، 50 % نوع 1 خواهد بود.



شکل 1-13: دیوار نوع 1- دیوار دیافراگمی با ضخامت 0/6 m [2]



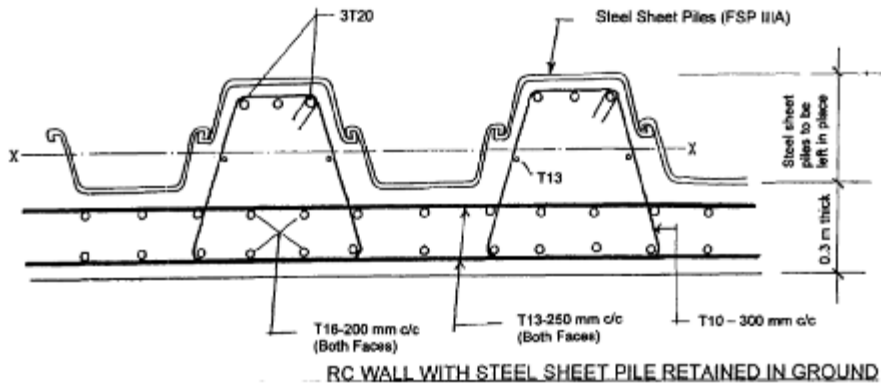
شکل 1-14: مقطع معمول دیوار دیافراگمی [2]



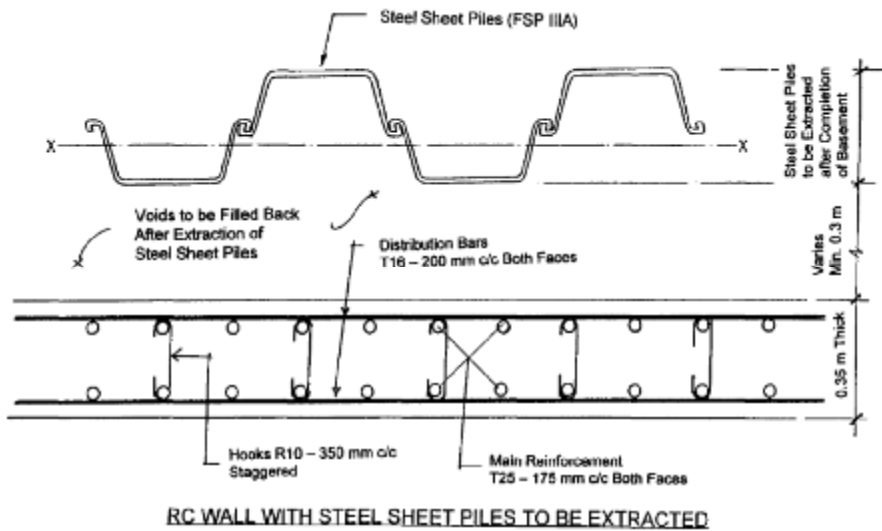
Secant Pile Wall

شکل 1-15: دیوار نوع 2 - دیوار شمع متداخل به قطر 0/7 m [2]

فصل اول : معرفی سازه های نگهدارنده عمیق



شکل 1-16: دیوار نوع 3 - دیوار سپری با مقطع FSP IIIA [2]



شکل 1-17: دیوار نوع 4 - دیوار سپری با مقطع FSP IIIA [2]