به نام خدا

# مطالعات ژئوتکنیک

WWW.ME2CH.COM

منبع این کتاب:

WWW.ME2CH.ROZBLOG.COM & @ME2CH

**سخنران:**

**جناب آقای دکتر فردین جعفرزاده**

**عنوان سخنرانی:**

**مطالعات ژئوتکنیک مورد نیاز پروژه‌های گودبرداری**

# مطالعات ژئوتکنیک مورد نیاز پروژه های گودبرداری

**دکتر فردین جعفرزاده**

**دانشیار و مدیر گروه مهندسی ژئوتکنیک دانشگاه صنعتی شریف**

**مدیرعامل مهندسان مشاور آبگیر**

**نایب رئیس انجمن ژئوتکنیک ایران**

**۹۲/۹/۲۷**

# مقدمه

- رشد روزافزون پروژه های عمرانی و ساختمانی از یک سو و محدودیت زمین پروژه ها، نیازهای کاربری و لزوم تامین فضاهای عمومی بیشتر از سوی دیگر؛ لزوم تعمیق نفوذ پروژه در داخل زمین را افزایش داده است. این امر نیاز به حفاری و گودبرداری را در پروژه ها بالا می برد؛

- بدیهی است که قبل از آغاز هرگونه عملیاتی لازم است تا شناسایی از شرایط زمین و بافت تحت الارضی، تغییرات سطح آب زیرزمینی، خصوصیات مقاومتی و آبگذری لایه ای مختلف در محدوده پروژه و زمینهای مجاور انجام گیرد. مجموعه این فعالیتها و مطالعات **"شناسایی های ژئوتکنیکی"** (Geotechnical Investigations) نامیده می شود.

# مقدمه

- مهندسین همواره سعی در ایجاد تعادل بین کارآیی و هزینه ها در برنامه ریزی اکتشافات داشته اند. این تعادل پایه اصلی تدوین کدها و آیین نامه ها اجرایی نظیر Eurocode بوده است. بنظر Peck (1969) روشهای اکتشافات با دیدگاههای متفاوت در سه گروه قابل دسته بندی هستند:

✓ **روش اول:** انجام اکتشافات محدود و انتخاب ضریب اطمینان بالا در طراحی؛

✓ **روش دوم:** انجام اکتشافات محدود و استفاده از تجربه در انتخاب پارامترهای طراحی؛

✓ **روش سوم:** انجام اکتشافات مفصل و جامع.

- **روش اول:** محافظه کارانه
- **روش دوم:** احتمال تفاوت فرضیات و پارامترها با واقعیت
- **روش سوم:** قابل اعتماد بودن نتایج و هزینه بیشتر، مناسب برای پروژه های مهم

# مقدمه

- Eurocode 7 این مفاهیم را در سه گروه (Category) طبقه بندی نموده است:

**گروه اول:** سازه های کوچک و ساده، و استفاده از روشهای تجربی و اکتشافات کیفی ژئوتکنیکی؛

**گروه دوم:** سازه ها و پی های معمولی بدون شرایط غیرعادی بارگذاری و زمین. در این گروه از روشهای معمول اکتشافات محلی استفاده می شود؛

**گروه سوم:** سازه ها و یا المانهایی که در دو گروه اول و دوم قرار نداشته و شامل سازه های بسیار بزرگ و غیرعادی، اهمیت و ریسک خرابی زیاد، شرایط پی شدیدا" سخت و غیرعادی و یا واقع در مناطق با لرزه خیزی بالا می شوند.

- طبق نظر "انجمن مهندسان ارتش آمریکا" (US Army Corps of Engineers):

اکتشافات و مطالعات ژئوتکنیکی ناکافی، تفسیر نادرست نتایج و یا ناتوانی در ارائه دقیق و واضح آنها؛ می تواند منجر به طراحی های نادرست، تاخیر در عملیات اجرایی، لزوم تعمیرات پرهزینه، استفاده از مصالح ساختمانی زیاد، صدمات زیست محیطی و حتی تخریب سازه گردد.

- شناسایی های محلی و آزمایشهای آزمایشگاهی دو محور اصلی در هر پروژه ژئوتکنیکی محسوب شده و تاثیر مستقیم در توجیه پذیری و اقتصادی بودن پروژه های گودبرداری دارد؛
- بطورکلی گستردگی و دقت این عملیات بستگی به عوامل متعددی نظیر اندازه و اهمیت پروژه، توپوگرافی و زمین شناسی محل، محدودیتهای زیست محیطی، نوع کاربری، تبعات خرابیهای احتمالی و طول عمر سازه دارد؛
- خصوصیات اصلی که از خلال این عملیات و جهت طراحی های سیستم نگه داری گود استخراج می شود عبارتند از: لایه بندی زمین، وزن مخصوص، مقاومت برشی، تراکم پذیری، هدایت هیدرولیکی لایه ها، عوارض زیرزمینی، پتانسیل خوردگی مصالح؛

- در یک تعبیر کلی حفاری یا گودبرداری (Excavation) عبارتست از ایجاد گودال مصنوعی در سطح زمین با خاکبرداری ویا سنگ برداری؛

- انواع گودبرداریها را می توان از دیدگاههای متفاوت طبقه بندی نمود، نظیردو گروه کلی بشرح زیر:

  - حفاری باز (Open Excavation): حفاری بدون هرگونه سیستم نگه دارنده با ایجاد شیب مناسب و برم بندی در صورت امکان؛

  - حفاری عمیق (Deep Excavation): حفاری های با عمق بیش از ۴ تا ۵ متر حفاری عمیق نامیده می شوند؛

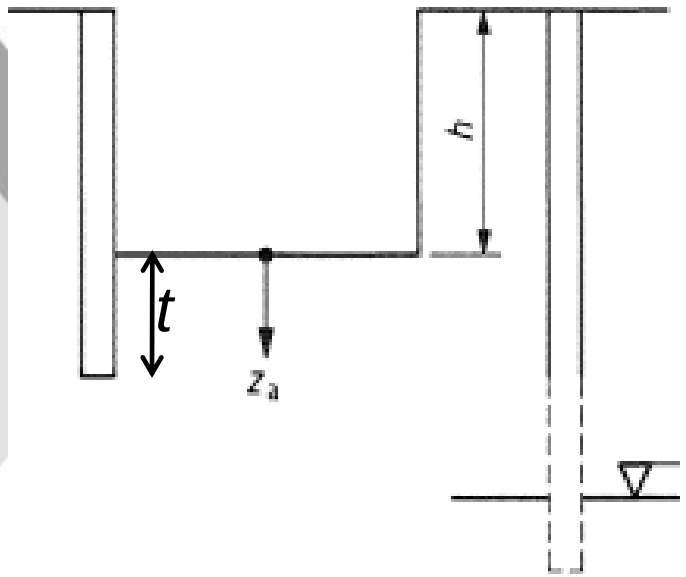
# برنامه ریزی برای اکتشافات و مطالعات ژئوتکنیکی

- شناسایی پروژه، اهداف و بخشهای مختلف آن (زمین، مصالح ساختمانی، آب زیرزمینی...)
- جمع آوری اطلاعات موجود و مطالعات اولیه
- مطالعات طراحی ها (اکتشافات محلی + آزمایشات آزمایشگاهی)
- مطالعات کنترلی در حین اجرا و رفتارنگاری

- هر چند عملیات و مطالعات ژئوتکنیکی مورد نیاز گودبرداریها در چارچوب مطالعات ژئوتکنیکی کلی پروژه قرار دارد، لکن بدلیل تمرکز در نواحی مجاور دیواره های گود، ملاحظات و مشخصات خاص خود را باید داشته باشد؛

# عمق اکتشافات در گودبرداری ها

- **حالت اول:** سطح آب زیرزمینی و پیزومتریک پایین تر از رقوم کف خاکبرداری باشد، حداکثر یکی از دو عمق زیر باید در نظر گرفته شود:

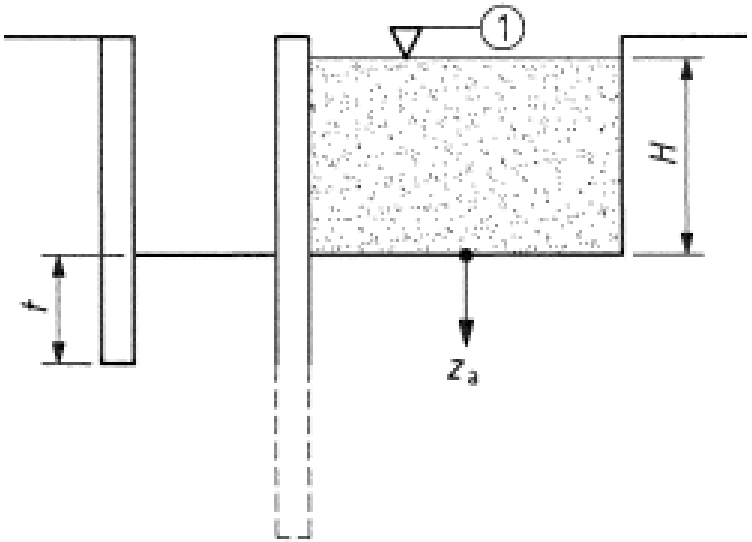



$$z_a \geq 0{,}4h$$

$$z_a \geq (t + 2{,}0)\ \text{m}$$

# عمق اکتشافات در گودبرداری ها

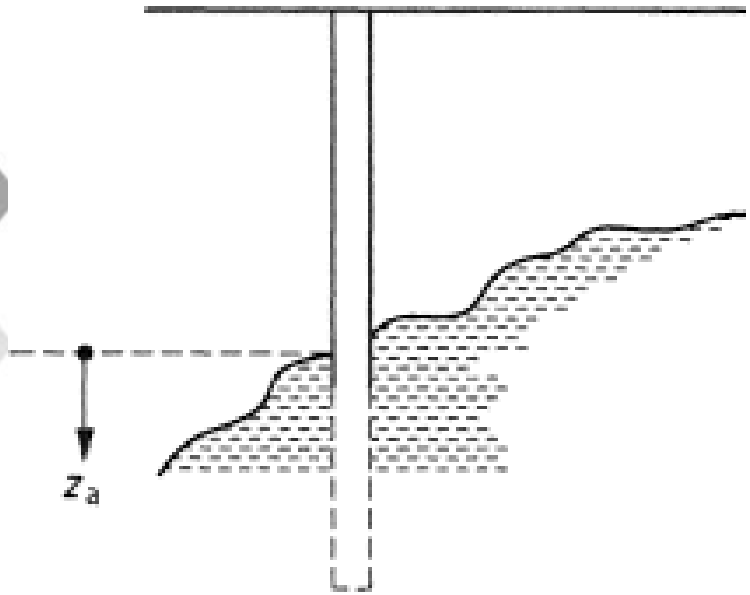
- **حالت دوم:** اگر سطح آب زیرزمینی و پیزومتریک بالاتر از رقوم کف خاکبرداری باشد، حداکثر یکی از دو عمق زیر باید در نظر گرفته شود:




$$z_a \geq (1{,}0 \cdot H + 2{,}0)\ \text{m}$$
$$z_a \geq (t + 2{,}0)\ \text{m}$$

# عمق اکتشافات در دیواره های آب بند

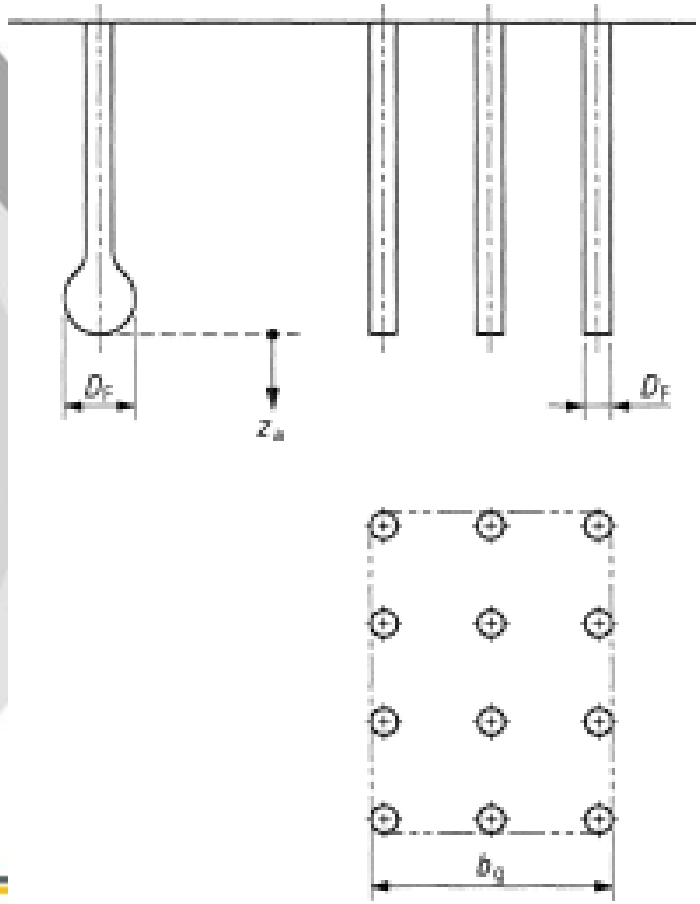
- در مواردی که جهت آب بندی جدار گود از المانها و دیوارهای آب بند استفاده شود، عمق گمانه باید حداقل تا ۲ متر بداخل لایه نفوذ ناپذیر وارد شود:




$$z_a \geq 2\ \text{m}$$

# عمق اکتشافات در صورت استفاده از شمع

- در صورت استفاده از پی های عمیق (شمع) با اهداف افزایش ظرفیت باربری و یا جهت پایدارسازی دیواره های گود حداقل عمق گمانه اکتشافی باید بیشترین مقادیر زیر باشد:



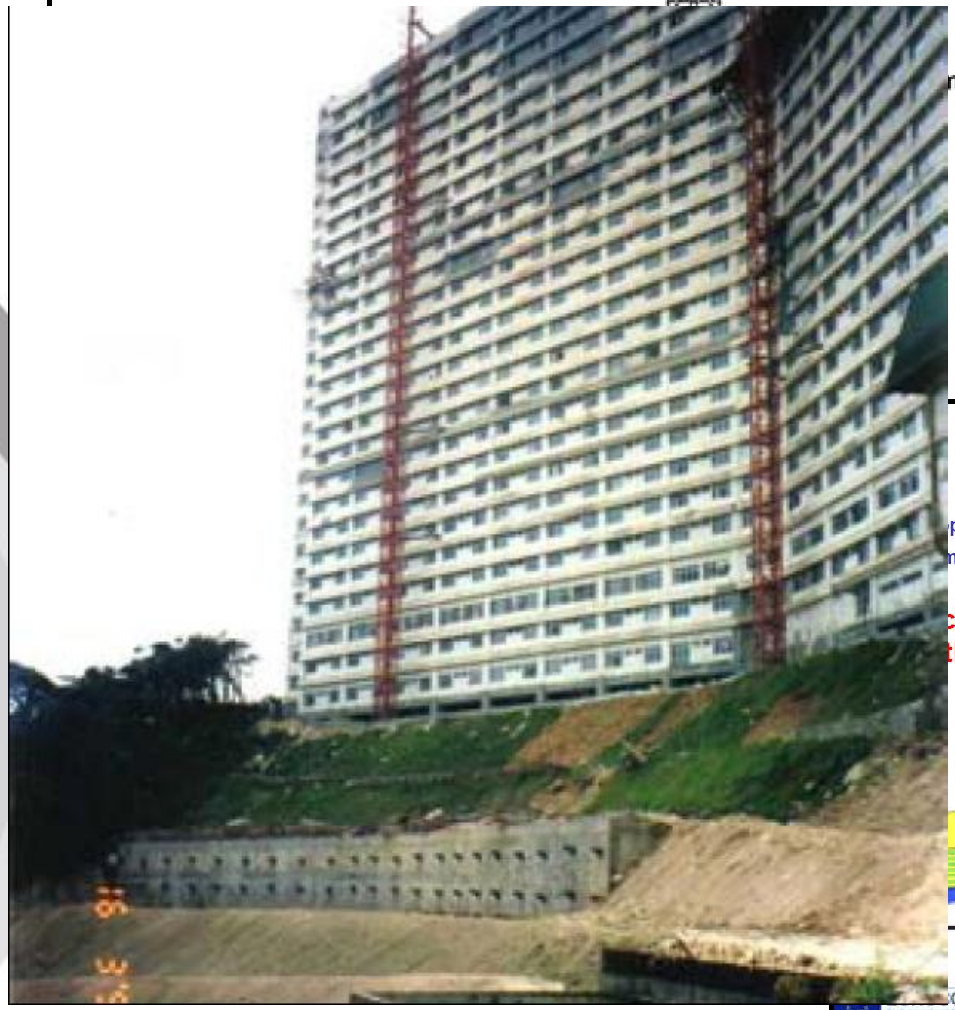

$$z_a \geq 1{,}0 b_g$$
$$z_a \geq 5{,}0 \text{ m}$$
$$z_a \geq 3 D_F$$

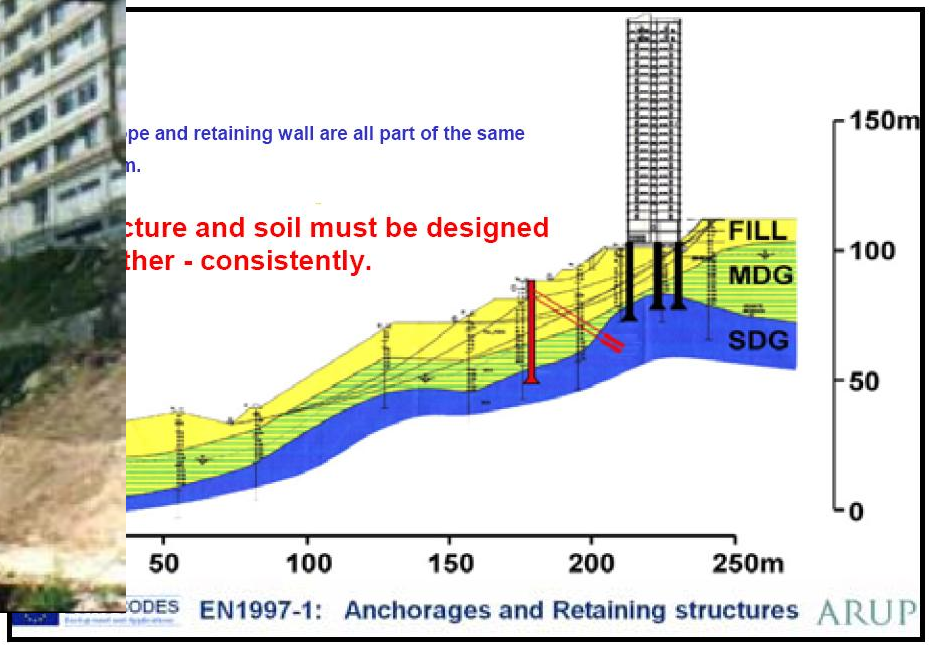
where $D_F$ is the pile base diameter; and $b_g$ is the smaller side of the rectangle circumscribing the group of piles forming the foundation at the level of the pile base.

# محل و فواصل اکتشافات در گودبرداری ها

در انتخاب محل حفاری گمانه ها و نقاط اکتشافات باید به موارد زیر توجه شود:

- ✓ نقاط باید بگونه ای گسترش یابند که لایه بندی محل پروژه در امتدادهای مختلف بدست آید؛
- ✓ نقاط باید در محل نقاط بحرانی از نظر انتقال بار سازه ها به زمین قرار داشته باشند؛
- ✓ برای سازه های طویل نقاط باید با فواصل مناسب از محور سازه با توجه به عرض آن انتخاب گردند؛
- ✓ برای سازه های مجاور یا روی شیروانی ها و نیز مجاور گودهای عمودی و یا شیب دار، نقاطی باید در خارج از محدوده پروژه نیز انتخاب شود تا پارامترهای مورد نیاز آنالیز پایداریها فراهم شود. عمق این گمانه ها نیز باید بیشتر از سطوح لغزش محتمل انتخاب گردد؛



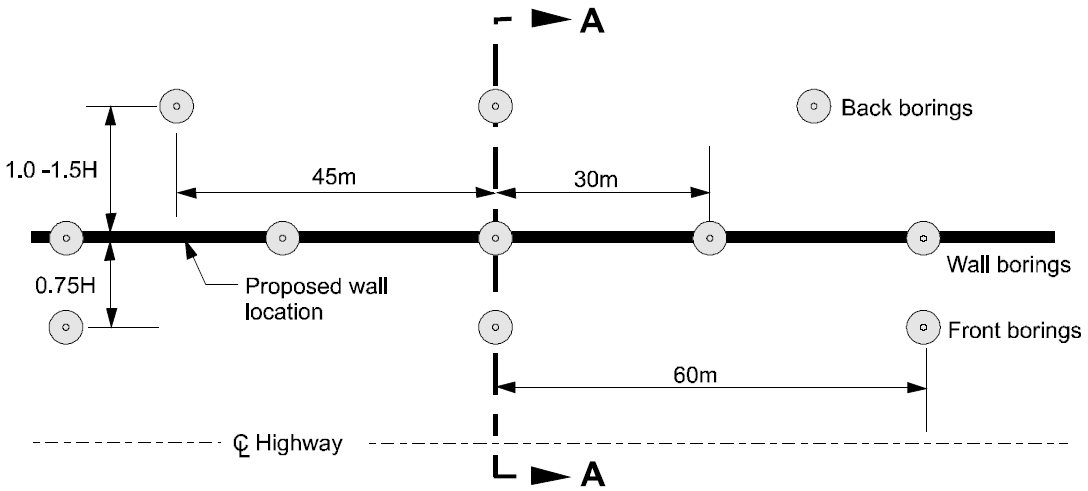

pe and retaining wall are all part of the same
n.
cture and soil must be designed
ther - consistently.
FILL
MDG
SDG
150m
100
50
0
50
100
150
200
250m
ODES
EN1997-1: Anchorages and Retaining structures
ARUP

# محل و فواصل اکتشافات در گودبرداری ها (ادامه)

- ✓ در مواردیکه دیواره گود با استفاده از المانهایی نظیر انکر (anchorage) باید پایدار گردد، خصوصیات مصالح محدوده تاثیر این المانها باید شناسایی گردد؛
- ✓ گسترش نقاط شناسایی به مناطق مجاور باید به حدی باشد که مزاحمت و یا خطری برای سازه های موجود و یا عملیات ساختمانی در حال انجام در مجاورت پروژه اصلی ایجاد نشود؛
- ✓ در گودبرداری هایی که بدلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی نیاز به عملیات آب کشی (Dewatering) وجود دارد، محل و عمق گمانه ها باید با توجه به شرایط هیدروژئولوژی منطقه و سیستم پمپاژ مورد استفاده انتخاب شود؛
- ✓ در انتخاب محل و عمق گمانه ها بخصوص در مناطق شهری باید احتمال برخورد با خطوط لوله و تاسیسات مدفون و مخاطرات ناشی از این امر را مد نظر داشت؛

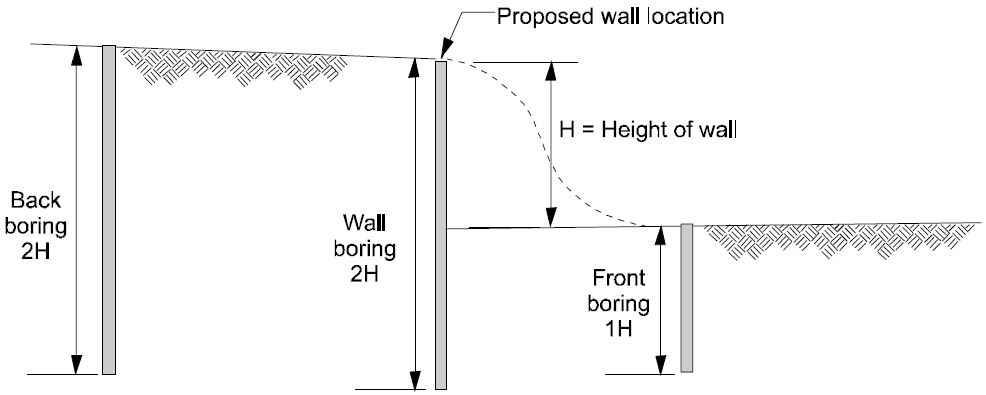
# توصیه هایی برای فاصله و عمق اکتشافات:

- ✓ برای ساختمانهای بلند، برجها و صنعتی یک شبکه به فاصله ۱۵تا ۴۰ متر در نظر گرفته می شود؛
- ✓ برای سازه های با سطح اشغال بزرگ شبکه با فواصل حداکثر ۶۰ متر؛
- ✓ برای سازه های خطی (نظیر جاده ها، خطوط لوله، دیارهای حائل و تونلها) فواصل ۲۰ تا ۲۰۰ متر؛
- ✓ برای سازه های خاص (نظیر پلها، پی های ماشین آلات و صنعتی) ۲ تا ۶ نقطه اکتشاف برای هر شالوده؛
- ✓ برای سدها در مقاطع با فواصل ۲۵ تا ۷۵ متر؛




Note: Distances shown are recommended maximums.

**Typical plan**




**Section A - A**

From Cheney (1988) and Sabatini et al. (1999).

**Figure 3.1: Preliminary Geotechnical Boring Layout for Soil Nail Walls.**



www.rasayesh-event.com / www.safesite.ir

# آزمایشات محلی و آزمایشگاهی معمول

**Table 3.1: Common Geotechnical Field Procedures and Tests.**

| | Activity | Standard[1] /FHWA Reference | Most suitable for | Not suitable for | Obtained from field activity |
|---|---|---|---|---|---|
| Field Procedure | Preservation and Transportation of Soil Samples | ASTM D4220-95 | All | NA | Representative samples |
| | Thin-Walled Tube Sampling | ASTM D1587-00 | Clays, Silts | Sands, Gravel | Undisturbed samples |
| | Subsurface Explorations (Soil and Rock) | ASTM D5434-97 | All | NA | Various |
| Field Test | Standard Penetration Test (SPT) | ASTM D1586-99 ASTM D6066-96e1[5] | Sand, Silt | [2] | Stratigraphy, SPT N-values relative density, groundwater, samples |
| | Cone Penetration Test (CPT) | ASTM D5778-95, Briaud (1992) | Sand, Silt, and Clay | Gravel, bouldery soil | Continuous stratigraphy, soil type, strength, relative density, $K_0$ [3], pore pressures, no sample |
| | Field Vane Shear Test (VST) | ASTM D2573-94 | Soft to Medium Clay | Sand and Gravel | Undrained shear strength |
| | Pressuremeter Test (PMT) | ASTM D4719-00, Briaud (1989) | Soft Rock, Dense Sand, Non-Sensitive Clay, Gravel, Till | Soft Clays, Loose Silts and Sands | Soil type, strength, $K_0$ [3], OCR [4], compressibility, soil modulus, no sample |
| | Flat Plate Dilatometer Test (DMT) | ASTM D6635-01, Briaud and Miran (1992) | Sand and Clay | Gravel | Soil type, $K_0$, OCR, undrained shear strength, soil modulus, no sample |

Notes:
(1) Individual ASTM standards can be found in ASTM (2002). Arman et al. (1997) and Sabatini et al. (2002) present general discussions on these field procedures.
(2) SPT can be used with limitations in clays and gravels.
(3) $K_o$ is the at-rest earth lateral pressure coefficient.
(4) OCR is the overconsolidation ratio.
(5) ASTM D6066-96e1 for the use of SPT in liquefaction resistance evaluation.

**Table 3.4: Common Procedures and Laboratory Tests for Soils.**

| PROCEDURE | TEST NAME | STANDARD | | APPLICABILITY |
|---|---|---|---|---|
| | | ASTM (1) | AASHTO (2) | |
| Classification | Visual and Manual Description and Identification of Soils | D2488-00 | - | All soils |
| | Classification of Soils according to USCS (3) | D2487-00 | M145 | All soils |
| Index Parameters | Particle-Size Analysis (with sieves) | D422-63 (1998) | T88 | Granular soils |
| | Soil Fraction finer than No. 200 (75-µm) Sieve | D1140-00 | T11 | Fine-grained and granular materials boundary |
| | Moisture Content | D2216-98 | T265 | All soils |
| | Atterberg Limits | D4318-00 | T89, T90 | Fine-grained soil |
| | Organic Contents | D2974-00 | T194 | Fine-grained soil fraction |
| | Specific Gravity of Soil Solids | D854-00 | T100 | All soils |
| Strength | Unconfined Compressive Strength (UC) | D2166-00 | T208 | Fine-grained soil |
| | Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression (UU) | D2850-95 (1999) | T296 | Fine-grained soil |
| | Consolidated Undrained Triaxial Compression (CU) | D4767-95 | T234 | Fine-grained soil |
| | Direct Shear (Consolidated) | D3080-98 | T236 | Sands and Fine-grained soils |
| Hydraulic Conductivity | Permeability (Constant Head) | D2434-68 (2000) | T215 | Granular soils |
| Compressibility | One-Dimensional Consolidation | D2435-96 | T216 | Fine-grained soil |
| | One-Dimensional Consolidation (Controlled-Strain Loading) | D4186-89 e1 (1998) | - | Fine-grained soil |
| Other | Frost Heave and Thaw Weakening Susceptibility | D5918-96 (2001) | - | Silts |
| | Collapse Potential | D5333-92 (1996) | - | Loess, silt |
| | Swelling Potential | D4546-96 | T258 | Fine-grained soil |

Notes: (1) Individual ASTM standards can be found in ASTM (2002).
(2) Individual AASHTO standards can be found in AASTHO (1992).
(3) USCS: Unified Soil Classification System.

**Table 3.9: Criteria for Assessing Ground Corrosion Potential.**

| Test | Units | Strong Corrosion Potential/Aggressive | Mild to no Corrosion Potential/Non-Aggressive | ASTM Standard | AASHTO Test Method |
|---|---|---|---|---|---|
| PH | – | < 4.5, > 10 | 5.5 < pH < 10 | G51 | T 289-91 |
| Resistivity | ohm-cm | < 2,000 | Greater than 5,000 | G57 | T 288-91 |
| Sulfates | ppm(1) | > 200 | Less than 200 | D516 | T 290-91 |
| Chlorides | ppm | > 100 | Less than 100 | D512 | T 291-91 |
| Stray current | – | Present | – | – | – |

Note: (1) ppm = parts per million.

**Table 3.10: Estimated Bond Strength of Soil Nails in Soil and Rock.**

(Source: Elias and Juran, 1991).

| Material | Construction Method | Soil/Rock Type | Ultimate Bond Strength, $q_u$ (kPa) |
|---|---|---|---|
| Rock | Rotary Drilled | Marl/limestone | 300 - 400 |
| | | Phyllite | 100 - 300 |
| | | Chalk | 500 - 600 |
| | | Soft dolomite | 400 - 600 |
| | | Fissured dolomite | 600 - 1000 |
| | | Weathered sandstone | 200 - 300 |
| | | Weathered shale | 100 - 150 |
| | | Weathered schist | 100 - 175 |
| | | Basalt | 500 - 600 |
| | | Slate/Hard shale | 300 - 400 |
| Cohesionless Soils | Rotary Drilled | Sand/gravel | 100 - 180 |
| | | Silty sand | 100 - 150 |
| | | Silt | 60 - 75 |
| | | Piedmont residual | 40 - 120 |
| | | Fine colluvium | 75 - 150 |
| | Driven Casing | Sand/gravel | |
| | | low overburden | 190 - 240 |
| | | high overburden | 280 - 430 |
| | | Dense Moraine | 380 - 480 |
| | | Colluvium | 100 - 180 |
| | Augered | Silty sand fill | 20 - 40 |
| | | Silty fine sand | 55 - 90 |
| | | Silty clayey sand | 60 - 140 |
| | Jet Grouted | Sand | 380 |
| | | Sand/gravel | 700 |
| Fine-Grained Soils | Rotary Drilled | Silty clay | 35 - 50 |
| | Driven Casing | Clayey silt | 90 - 140 |
| | Augered | Loess | 25 - 75 |
| | | Soft clay | 20 - 30 |
| | | Stiff clay | 40 - 60 |
| | | Stiff clayey silt | 40 - 100 |
| | | Calcareous sandy clay | 90 - 140 |

# تهیه گزارش عملیات و اکتشافات ژئوتکنیکی:

- خلاصه ای از اطلاعات کلی پروژه
- ارائه نتایج اکتشافات بدست آمده
- ارزیابی اطلاعات حاصل
- استخراج پارامترهای طراحی مورد نیاز

# نتیجه گیری:

۱- لزوم انجام مطالعات جامع و هدفمند ژئوتکنیکی در پروژه های گودبرداری

۲- ملاحظات ویژه در مورد گودبرداری های شهری

۳- لزوم تدوین دستورالعملها و راهکارهای ملی مورد نیاز اکتشافات ژئوتکنیکی مخصوص گود برداری ها

۴- کاهش مخاطرات و صرفه جویی در هزینه های پروژه در صورت انجام جامع مطالعات اولیه ژئوتکنیکی