

شرکت خاک سیال سازه پنتا

ارائه‌کننده خدمات مشاوره، طراحی، تامین مصالح، نظارت و اجرا

مروری بر آب‌بندی سازه‌های زیرزمینی

مهرماه ۱۳۹۶

تهران، بالاتر از فلکه دوم شهران، ضلع غربی خیابان شهران، پلاک ۱۲۸ واحد ۲

تلفن: ۰۲۱-۴۴۳۶۶۲۵۱

فصل اول.....	۱
کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- هدف.....	۳
فصل دوم.....	۴
۱-۲- مقدمه.....	۴
۲-۲- ایجاد لایه مانع نفوذ سیال به داخل سازه.....	۵
۲-۲-۱- ملاحظات روش آببندی تیپ A.....	۶
۲-۲-۲- انواع روش‌های آببندی تیپ A.....	۸
۳-۲- ایجاد سازه آببند.....	۱۸
۳-۲-۱- انواع روش‌های آببندی تیپ B.....	۱۸
۴-۲- زهکشی.....	۲۲
۴-۲-۱- انواع روش‌های آببندی تیپ C.....	۲۳
فصل سوم.....	۲۵
طراحی روش آببندی سازه‌های زیرزمینی.....	۲۵
۱-۳- مقدمه.....	۲۵
۲-۳- عوامل موثر بر طراحی روش آببندی سازه‌های زیرزمینی.....	۲۶
۱-۲-۳- سطح آب زیرزمینی.....	۲۶
۲-۲-۳- درجه اهمیت سازه زیرزمینی.....	۲۷
۳-۲-۳- شرایط ژئوتکنیکی و جنس خاک.....	۲۸
۴-۲-۳- وضعیت توپوگرافی زمین.....	۲۸
۵-۲-۳- درجه اهمیت کاربری و مدت زمان بهره‌برداری از سازه.....	۲۹
۳-۳- اصول طراحی.....	۲۹
۱-۳-۳- روش‌های طراحی مبتنی بر عایق بندی کامل.....	۳۰
۲-۳-۳- روش‌های مبتنی بر زهکشی.....	۳۱

۳۳	فصل چهارم
۳۳	ملاحظات اجرایی
۳۳	۱-۴- مقدمه
۳۴	۲-۴- مشخصات فنی و کیفیت محصولات
۳۴	۳-۴- بارگیر، حمل و تخلیه
۳۵	۴-۴- انبارداری و شرایط نگهداری
۳۶	۵-۴- بسترسازی
۳۶	۶-۴- نصب و اجراء
۳۶	۷-۴- بازشوها و معارضات
۳۷	۸-۴- کنترل و پایش درستی اجراء
۳۷	۹-۴- نگهداری و مراقبت
۳۸	۱۰-۴- ترمیم
۳۹	فصل پنجم
۳۹	جمع بندی و نتیجه گیری
۳۹	۱-۵- مقدمه
۴۰	۲-۵- جمع بندی و نتیجه گیری
۴۱	فصل ششم
۴۱	مراجع
۴۲	پیوست ۱ - پروژه ها
۴۳	پیوست ۲ - نمونه عکس های پروژه

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

امروزه آیین‌نامه‌های متعددی در خصوص آب‌بندی و زهکشی سازه‌های زیرزمینی بر اساس شرایط هیدروژئولوژیک منطقه‌ای کشورهای مختلف ارائه گردیده است که از جمله آنها می‌توان به آیین‌نامه BS-8102 کشور انگلستان، UFC3-220-O5 ایالت متحده آمریکا و فصل پنجم ZTV-ING آلمان اشاره کرد که در شکل ۱-۱ نمایی از جلد این آیین‌نامه‌ها نشان داده شده است.



BSI Standards Publication

Code of practice for protection
of below ground structures
against water from the ground

Bundesanstalt für Straßenwesen

Zusätzliche Technische
Vertragsbedingungen und Richtlinien
für Ingenieurbauten

ZTV-ING

Teil 5
Tunnelbau

Abschnitt 5
Abdichtung

UNIFIED FACILITIES CRITERIA (UFC)

DEWATERING AND GROUNDWATER
CONTROL



APPROVED FOR PUBLIC RELEASE; DISTRIBUTION UNLIMITED

bsi.

...making excellence a habit™

Sheet 007

شکل ۱-۱- آیین‌نامه‌های آب‌بندی سازه‌های زیرزمینی

زهکشی و آب‌بندی یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی سازه‌های زیرزمینی که در معرض نفوذ آب و سیالات قرار دارند بوده که متأسفانه آیین‌نامه‌های مرتبط در کشور ما به خوبی به این مساله نپرداخته است. درمبحث هفتم مقررات ملی ساختمان با عنوان پی و پی سازی به طور مختصر به "زهکشی و آب‌بندی دیوارها" اشاره گردیده است. متن صریح این مبحث به شرح شکل ۱-۲ با بندهای مربوطه ارائه شده است:

۷-۵-۸ زهکشی و آب‌بندی دیوارها

۷-۵-۸-۱ اگر فشار هیدرواستاتیکی آب و یخ در طراحی دیوار دیده نشده است ضروری است سیستم زهکش و فیلتر مناسب در پشت دیوار استفاده شود.

۷-۵-۸-۲ دیوارهای زیرزمین باید به صورت آب‌بندی شده طراحی شوند و فشار احتمالی آب در طراحی لحاظ شود.

شکل ۱-۲- مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان - زهکشی و آب‌بندی

این در حالی است که در آیین‌نامه‌های معتبر دنیا به طور مفصل به این موضوع پرداخته شده و کلیه جزئیات طراحی، اجرایی و کنترل کیفیت آن نیز مورد بحث قرار گرفته است. لذا در این نوشتار سعی بر آن شده است تا با ارائه اطلاعات از متون آیین‌نامه‌های معتبر جهانی و تجربیات بدست آمده از کارشناسان این شرکت در سال‌های اخیر به ارائه توضیحاتی تکمیلی در خصوص انواع روش‌های آب‌بندی، طراحی سیستم‌های آب‌بندی و ملاحظات اجرایی آن بپردازیم.

۲-۱- هدف

هدف و دامنه کاربرد این گزارش جهت بیان کلیاتی از انواع روش‌های آب‌بندی، طراحی و اجرای آن بوده که با توجه به شرایط هیدرو ژئولوژیکی منطقه‌ای کشورمان، نوع سازه زیرزمینی و شرایط مختلف ژئوتکنیکی، راهکارهای کارآمد در خصوص طراحی و اجرای زهکشی و آب‌بندی سازه‌های زیرزمینی ارائه شده است. بدیهی است که در این گزارش تنها به کلیات اشاره شده و ارائه طرح و روش اجراء برای هر پروژه نیاز به طراحی و بررسی کارشناسان مجرب دارد.

تنوع زیادی در سازه‌های زیرزمینی وجود دارد لذا سازه‌های هدف این مطالعه فضاهای پائین تر از سطح زمین در ساختمان‌ها می‌باشد که در شکل ۱-۳ دو نمونه از سازه‌های زیرزمینی نشان داده شده است.



شکل ۱-۳- سازه‌های زیرزمینی ساختمان و تونل

فصل دوم

انواع روش‌های آب‌بندی سازه‌های زیرزمینی

۲-۱- مقدمه

در این فصل به تشریح مبانی و معرفی روش‌های مختلف آب‌بندی و زهکشی سازه‌های زیرزمینی پرداخته و ملاحظات و دامنه کاربرد کلی هر یک از این روش‌ها با توجه به شرایط مختلف زیست محیطی، ژئوتکنیکی و ... بیان می‌گردد.

در آب‌بندی سازه‌های زیرزمینی عوامل بسیار زیادی تاثیرگذارند ولی قبل از هر چیز باید روش‌های جلوگیری از نفوذ و نشت آب به داخل سازه معرفی گردند. این روش‌ها در آیین‌نامه

BS-8102 در سه حالت کلی مورد بررسی قرار می‌گیرند که شامل تیپ بندی A ، B و C می‌باشند. تیپ‌های اشاره شده شامل موارد ذیل بوده که به تفصیل در ادامه به آنها پرداخته شده است:

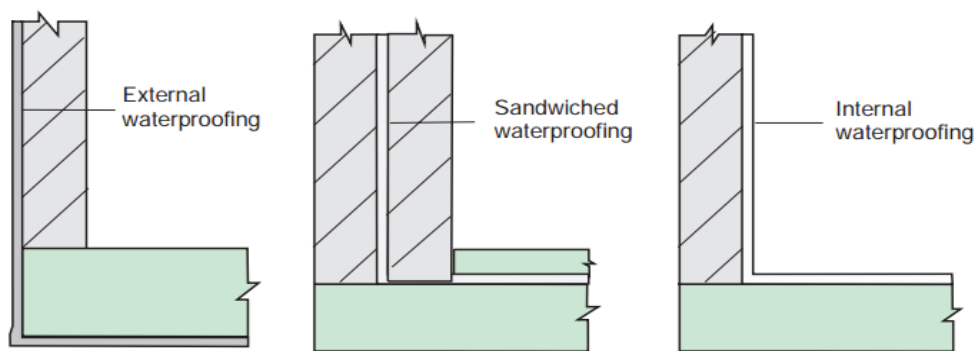
- لایه مانع نفوذ سیالات (تیپ A)

- سازه‌های آب‌بند (تیپ B)

- زهکشی (تیپ C)

۲-۲- ایجاد لایه مانع نفوذ سیال به داخل سازه

سازه‌هایی که با این روش آب‌بندی می‌شوند معمولاً از جنس بتن و یا سازه‌های بنایی هستند و در سه حالت اجرایی داخل^۴، میان لایه^۵ و یا خارجی^۶ مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۱-۲ مقاطعی از این روش‌های اجرایی را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۲- آب‌بندهای غشائی در هر سه حالت اجرایی

- ¹ Barrier Protection
- ² Structurally integral
- ³ Drained Protection
- ⁴ Internal
- ⁵ Sandwiched
- ⁶ External

۲-۱-۲- ملاحظات روش آببندی تیپ A

کلیاتی که باید در طراحی آببندی با بهره‌گیری از این روش مد نظر قرار گیرد شامل موارد ذیل می‌باشد:

(الف) مشخصات بستر زیر لایه در این روش آببندی دارای اهمیت می‌باشد.

(ب) حرکت‌ها و نشست‌های متقارن و یا نامتقارن بستر می‌تواند باعث تخریب کلی سیستم آببندی به این روش گردد.

(ج) میزان سازگاری عایق با حرکت‌های پی سازه باید مورد بررسی قرار گیرد.

(د) رفتار شناسی عایق براساس نوع بکارگیری آن در عملکرد آن اهمیت دارد.

(ه) نیاز به بکارگیری داخلی، میان لایه ای و یا خارجی در زمان اجرا نسبت به میزان و جهت فشار آب مهم است.

(و) تاثیرات زیست محیطی آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد.

به وجود آمدن ترک‌ها و تغییر شکل‌های سازه و همچنین پیوستگی مصالح این روش آببندی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد که در ادامه به تفصیل در خصوص این موارد اشاره شده است.

❖ ترک‌ها و تغییر شکل‌های سازه

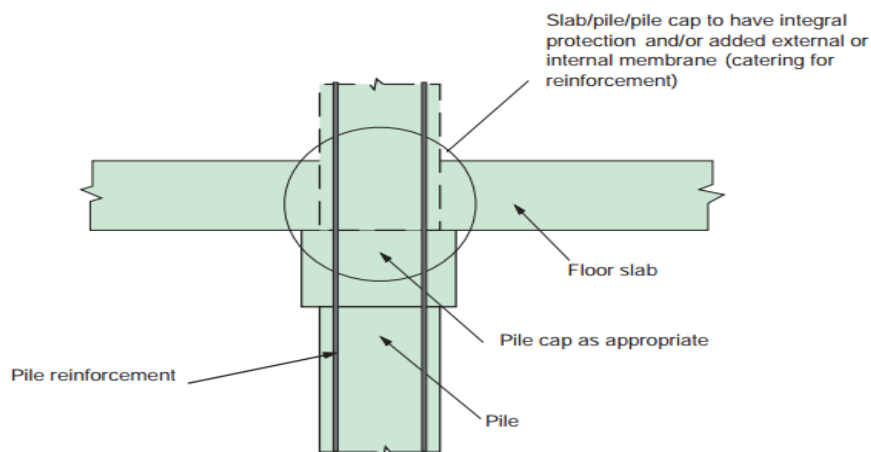
یکی از نکات مهمی که در آببندی به این روش باید به آن توجه شود ترک‌های ناشی از تنش فشاری خاک و آب پیرامون پی‌سازه بوده که تاثیر بسیار زیادی روی سیستم‌های آببندی علی‌الخصوص غشاءهای نفوذ ناپذیر چسبنده دارد. قبل از استفاده از تیپ A آببندی باید در نظر داشت که آیا غشاء مورد استفاده کرنش پذیری لازم را پس از بوجود آمدن ترک دارد یا خیر. به عنوان مثال پوشش‌های پایه سیمانی کریستالی شونده قابلیت پر کردن و پوشش دادن ترک‌هایی تا ماکزیمم بعد ۰/۳ میلیمتر را دارا می‌باشند پس در صورت پیش‌بینی ترک‌های بزرگتر در سطح

دیواره‌های حائل بتنی قابلیت استفاده ندارند. لازم به ذکر است در صورت وجود هرگونه شبهه و یا احتمال بوجود آمدن ترک‌های غیر قابل پیش بینی ناشی از تغییرات ناگهانی شرایط ژئولوژیکی و سازه‌ای باید از روش‌های پشتیبان تزریقی^۱ بهره گرفت.

❖ پیوستگی در تیپ A آب‌بندی

عایق‌های آب‌بند تیپ A باید دارای پیوستگی در پیرامون سازه باشند لذا باید در نظر داشت در این سیستم‌ها نمی‌توان از چند عایق با جنس‌های متفاوت و یا حتی با مشخصات فنی متفاوت استفاده کرد. همچنین آئین نامه‌ها تاکید دارند که تا حد امکان از ایجاد بازشوها (لوله‌های خروجی کف‌شوی‌ها، کابل‌های ارت و ...) امتناع گردد و در صورت وجود این بازشوها جهت آب‌بندی آن باید از جزئیات و طراحی‌های خاص جداگانه‌ای استفاده گردد.

در سازه‌هایی که از شمع‌های بتنی متصل به فونداسیون استفاده گردیده، جهت آب‌بندی باید از دیتایل‌های خاص که توسط تولیدکنندگان مصالح و طراحان سیستم آب‌بندی ارائه می‌گردد مورد استفاده قرار گیرد که در شکل ۲-۲ نمونه‌ای از آن نشان داده شده است.



شکل ۲-۲- نمونه‌ای از جزئیات آب‌بندی سر شمع‌ها

^۱ Backup injection

۲-۲-۲- انواع روش‌های آب‌بندی تیپ A

همانگونه که قبل هم گفته شد عایق‌های آب‌بند تیپ A در ۳ حالت داخلی، میان لایه‌ای و خارجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول ۱-۲ انواع این عایق‌ها را به تفکیک جنس مورد استفاده در آنها نمایش می‌دهد که نصب و اجرای آنها نیز در آیین‌نامه‌های مربوطه تشریح گردیده است. در ادامه به تفصیل در خصوص هر یک از این روش‌ها توضیحاتی ارائه خواهد شد:

جدول ۱-۲- انواع آب‌بندی در تیپ A

Type of barrier	Description	Relevant standard(s)	Application ^{A)}
Bonded sheet membranes (see 8.2.2)	Bitumen-based, sheet membranes can be either: a) cold-applied (self-adhesive); or b) hot applied ("torch-on" or bonded using a hot melt bitumen adhesive). Composite sheet membranes.	BS 743:1970 Class A; or BS 8747	Can be applied externally or sandwiched. Can be applied externally or sandwiched.
Liquid applied membranes (see 8.2.3)	There are many types of liquid applied membranes, which include one or two part systems.	—	Can be applied externally or sandwiched.
Geosynthetic (bentonite) clay liners (see 8.2.4)	These comprise bentonite with a single or dual 'carrier' material, typically of geotextile or high-density polyethylene. There are two principal forms: dry bentonite and pre-hydrated bentonite.	—	Can be applied externally or sandwiched.
Mastic asphalt membranes (see 8.2.5)	These are applied in three coats as a hot liquid.	BS EN 12970	Can be applied externally or sandwiched.
Cementitious crystallization slurries and powders (see 8.2.6)	These are applied as coatings to surfaces of concrete walls and slabs or a solution or powder added to concrete.	—	Can be applied internally or externally.
Cementitious multi-coat renders, toppings and coatings (see 8.2.7)	These are generally applied in multi-coats or slurries and are resistant to liquid water but allow some water vapour penetration.	—	Can be applied internally or externally.

❖ آب بندی های غشائی چسبنده / غیر چسبنده^۱

این آب بندها به دو دسته کلی ژئوممبرانها و آب بندهای غشائی پایه قیری تقسیم می شوند که قیر تشکیل دهنده دسته دوم از نوع فرآوری شده و مقاوم در برابر حل شدن در آب می باشد. ژئوممبرانها غشائی پلیمری هستند که به صورت رولهای با ضخامت مختلف از ۰/۳ تا ۵ میلیمتر تولید و به بازار عرضه می گردد. ژئوممبرانها به لحاظ مشخصات پلیمر تشکیل دهنده آن و مشخصات فیزیکی عملکرد متفاوتی دارند. پلیمر های تشکیل دهنده ژئوممبرانها به چهار دسته کلی تقسیم می شوند:

۱- پلی اتیلن (PE): به طور کلی سهم ژئوممبران پلی اتیلنی نسبت به سایر پلیمر بسیار بیشتر است با این وجود بسیاری از آیین نامه ها همچون NHBC انگلستان استفاده از آنها را در گودهای ساختمانی ممنوع اعلام کرده است. ژئوممبرانهای پلی اتیلنی در سه نوع عمده با چگالی زیاد HDPE، با چگالی کم LDPE و با چگالی خیلی کم VLDPE تولید می گردند. که هرچه چگالی پلی اتیلن کاهش می یابد شاخص سختی ژئوممبران نیز کاهش می یابد و در اصطلاح ژئوممبران نرم تر می شود. ژئوممبرانهای HDPE و LDPE عمدتاً در استخرهای کشاورزی مورد استفاده قرار میگیرند به این ترتیب که ژئوممبرانهای LDPE در استخرهای کشاورزی که گوشه های تیز بیشتری دارند و یا اختلاف دمای شب و روز زیادی دارند مورد استفاده قرار گرفته و ژئوممبران HDPE در استخرهای با زوایای کندتر مصرف می شوند.



شکل ۲-۳- استفاده از ژئوممبران HDPE در مخازن ذخیره آب کشاورزی

¹ Unbonded and Bonded sheet membranes

ژئوممبران‌های VLDPE که عمدتاً با نام‌های تجاری Tunnel liner شناخته می‌شوند غالباً در آب‌بندی تونل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

علت عدم استفاده از ژئوممبران‌های پلی‌اتیلنی در پروژه‌های ساختمانی ضریب انبساط حرارتی بسیار زیاد این نوع پلیمر می‌باشد به شکلی که اگر در هنگام بتن‌ریزی دما از زمان نصب بالاتر باشد مقدار زیادی چین و چروک روی ژئوممبران در اثر افزایش طول انبساطی به وجود خواهد آمد. این چروک‌ها تحت اثر وزن بتن دچار جمع شدگی شده که پس از اتمام بتن‌ریزی و با کاهش دما دچار تنش بسیار زیادی در ژئوممبران می‌گردد که این مسئله از عمر بهره‌برداری مفید آن به شدت می‌دهد.



شکل ۲-۴- چین و چروک انبساطی در اثر تغییرات دما روی ژئوممبران HDPE

۲- پی‌وی‌سی (PVC): پی‌وی‌سی که مخفف پلی‌ونیل کراید می‌باشد مناسب‌ترین ژئوممبران جهت استفاده در گودهای ساختمانی می‌باشد. شاخص نرمی^۱ بسیار مناسب و همچنین مشخصات فنی و مقاومت در برابر سوراخ‌شدگی این پلیمر باعث شده بیشترین مقدار مصرف را در سازه‌های زیرزمینی داشته باشد. ورق‌های ژئوممبران PVC معمولاً در رول‌های با عرض ۲ متر (جهت سهولت نصب در سطوح قائم) تولید گردیده و مطابق آیین‌نامه‌ها ضخامت حداقل معادل ۲ میلی‌متر جهت استفاده در آب‌بندی پی سازه‌ها مورد نیاز می‌باشد.

^۱Flexibility



شکل ۲-۵- استفاده از ژئوممبران PVC در پی سازه‌ها

۳- پلی پروپیلین (PP): این نوع از ژئوممبران‌ها هم به لحاظ مشخصات فنی و هم به لحاظ شاخص نرمی جهت استفاده در سازه‌های زیرزمینی بسیار مناسب است ولی به دلیل قیمت بسیار زیاد آنها معمولاً در پروژه‌های خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۴- ای‌پی‌دی‌ام (EPDM): عمده مصرف این نوع مصالح در کفی کفش‌ها، واشرها و لاستیک اتومبیل می‌باشد. مقاومت کم نظیر این پلیمر در برابر سایش باعث شده این نوع ژئوممبران‌ها نیز در پروژه‌های خاص مورد استفاده قرار گیرند.

آب‌بندهای غشائی پایه قیری نیز معمولاً با یک لایه ژئوتکستایل نبافته به عنوان نگهدارنده به صورت سرد به پروژه‌ها حمل و پس از گرم شدن به صورت چسبنده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ملاحظات طراحی:

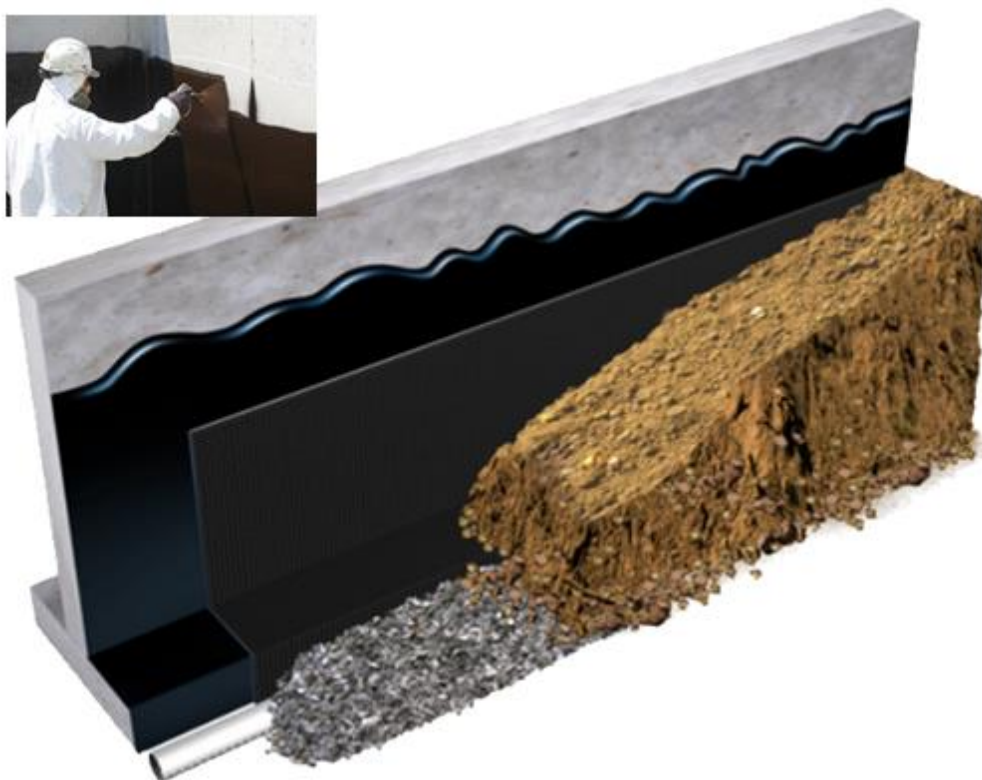
- در پی سازه‌های پیچیده قابلیت استفاده ندارند. پی سازه‌هایی که شامل شمع، شکستگی‌های متعدد و... باشند نمی‌توان از این روش آب‌بندی استفاده کرد.
- ضخامت و کیفیت این مصالح در طرح ارائه شده از اهمیت زیادی برخوردار است.
- این مصالح نیاز به بستر سازی خوبی دارند.

¹ Ethylene propylene diene monomer

- در هنگام اجرای این مصالح سطح باید عاری از هرگونه روان آب باشد.

❖ آببندهای غشائی مایع^۱

غشاءهای مایع از دو جزء که یکی از آنها قیر و دیگری چسب فرآوری شده و یا الاستومر بر پایه پلی یورتان می باشد، تشکیل شده است. این نوع از غشاءها به دو شکل پاششی به وسیله پیستوله های مخصوص و یا با قلمو مورد استفاده قرار می گیرد که در شکل ۲-۶ نمونه ای از آن مشاهده می شود. در صورت استفاده از تیپ B آب بندی (سازه آب بند) امکان استفاده از سمت داخل جهت کنترل نم و رطوبت وجود داشته به شرط آنکه فشار سر بار لازم توسط پوشش داخلی تامین گردد.



شکل ۲-۶- استفاده از آب بند غشائی مایع در دیواره و پی سازه

¹ Liquid- applied membrane

ملاحظات طراحی:

- دارای پیوستگی مناسب بدون خط همپوشانی
- قابلیت اجرا در جزئیات پیچیده و سخت
- شکل پذیری و انعطاف پذیری مناسب و سازگار با تغییر مکان های جزئی سازه
- مقاومت مناسب در برابر خاک های مهاجم با اثر خوردگی روی سازه
- بستر مورد استفاده باید فاقد هر گونه روان آب باشد.
- نیاز به بستر سازی خوب دارند.
- ضخامت این مصالح کاملاً محاسباتی می باشد.

❖ آسفالت ماستیک^۱

این عایق ها در فونداسیون های با عمق نسبی کم و در سه لایه اجرا می شوند که از سمت خارج به داخل دامنه بندی مصالح شنی مورد استفاده در آسفالت ریزتر گردیده و در لایه آخر از مواد ماستیک (چسبنده) استفاده می شود. این لایه می تواند به عنوان یک جایگزین مناسب برای بتن مگر مورد استفاده قرار گیرد. نمایی از این نوع مصالح در شکل ۲-۷ نشان داده شده است.



شکل ۲-۷- استفاده از آسفالت ماستیک در پی سازه

¹ Mastic asphalt Membrane

ملاحظات طراحی:

- به دلیل چند لایه بودن این سیستم ریسک کمتری در خارج شدن کل سیستم از آببندی وجود دارد.
- از مقاومت مناسب در برابر عوامل شیمیایی تهاجمی آب و خاک برخوردار هستند.
- استفاده از این سیستم نیاز به بستر خشک دارد.
- در سطوح قائم نیاز به لایه محافظ دارند.
- برای استفاده در فونداسیون‌های پیچیده مناسب نیستند.

❖ آببندی های بنتونیتی فعال^۱

این عایق‌ها که عمدتاً در بازار با نام GCE شناخته شده هستند که در سه نوع مختلف Resin bond ، Needle punch، Stitch bond تولید می‌گردد که عمدتاً آببندی‌های بنتونیتی فعالی که به روش دوخت سوزی تولید می‌گردند در آببندی سازه‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع GCLها متشکل از دو لایه ژئوتکستایل یکی بافته و دیگری نپافته بوده که به روش خاصی به نام دوخت سوزنی به یکدیگر متصل می‌شوند. بین این دو لایه ژئوتکستایل از خاک رس بنتونیت سدیم طبیعی استفاده شده که علاوه بر نفوذ پذیری بسیار کم، به محض تماس این نوع خاک با آب متورم گردیده و اجازه نفوذ آب را نمی‌دهد. خاک رس بنتونیت سدیم که از فرسایش سنگ‌های آتشفشانی حاصل می‌گردد که از شاخه رس‌های مونت موریلونیت با نفوذپذیری بسیار کم و شاخص تورم بسیار زیاد شرایط خوبی را جهت آببندی در حالت مدفون به وجود می‌آورد.

¹ Betonie clay active membrane

² Geosynthetic clay liner

عملکرد این مدل از عایق‌ها به گونه ای است که پس از برخورد با آب متورم شده و با پر کردن فاصله بین بستر و بتن سازه اجازه حرکت آب در راستای عمودی و افقی را نمی‌دهد .



شکل ۲-۸- استفاده از GCL در پی سازه

ملاحظات طراحی:

- عایق‌های بنتونیتی فعال به دلیل تورم‌پذیری رس بنتونیت قابلیت خود ترمیمی دارند.
- با بتن تازه سازگار بوده و همواره ژئوتکستایل نفاخته آن باید به سمت بتن تازه باشد (علت ایجاد چسبندگی بین GCL و بتن می‌باشد)
- اجرای این عایق‌ها با حداقل بستر سازی میسر خواهد بود.
- خاک رس بنتونیت همانند تمامی رس‌ها به مواد آلی مانند نفت، گازوئیل و... و همچنین انواع نمک‌ها حساس بوده و ضریب نفوذ آن به شدت افزایش می‌یابد. همچنین وجود سیکل رفت و برگشتی آب می‌تواند تاثیر مخربی روی GCL داشته باشد.

❖ آب‌بندی‌های کریستالی شونده

این دسته از عایق‌ها به صورت ملات و یا دوغاب درکارگاه تولید و روی سطوح بتنی مورد نظر پرداخت می‌گردد. پس از استفاده از این روش، لازم است که سطوح پرداخت شده به نحو مناسبی

نگهداری شوند. در شکل ۲-۹ نمونه‌ای از اجرای این مصالح نشان داده شده است. کریستال‌سازی این مصالح بگونه‌ای است که در روزهای اول مصرف با جذب آب و تولید کریستال‌های پیش رونده ترک‌ها و منافذ بتن را بسته و مانع نفوذ آب به داخل سازه می‌گردند.



شکل ۲-۹- استفاده از مواد کریستالی شونده در پی سازه

ملاحظات طراحی:

- این مصالح در طول عمر سازه قابلیت کریستال سازی داشته و به فعالیت آب‌بندی خود ادامه می‌دهند.
- به علت جذب شدید آب امکان مخلوط کردن آن بتن وجود ندارد.
- در ترمیم پروژه‌های آب‌بند نشده قابلیت استفاده دارد.
- قابلیت استفاده داخلی^۱ را دارند.
- این مصالح تنها ترک‌های با عرض ماکزیمم $0/3$ میلیمتر را می‌تواند پوشش دهند.
- قابلیت آب‌بندی بتن‌های معیوب همانند سطوح شن‌زده، حفره‌ها عمیق و غیره را ندارند.

¹ Negative side

❖ عایق‌های پایه سیمانی چند لایه

عایق‌های پایه سیمانی چند لایه معمولاً از ترکیب سیمان و نوع خاصی از چسب تهیه گردیده که به صورت دوغابی و در چند مرحله روی بتن پرداخت می‌گردد که در شکل ۱۰-۲ اجرای این نوع مصالح نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۲- استفاده از مواد پایه سیمانی چند لایه در پی سازه

ملاحظات طرح :

- در عایق‌های غشائی بیشترین مقدار فشار منفی را تحمل میکنند .
- مقاوم در برابر نفوذ شدید آب
- قابل استفاده در بسترهای پیچیده و پروفیل‌های سخت
- نیاز به بستر سازی مناسب
- در صورت مصرف خارجی می‌تواند در مقابل شرایط تهاجمی محیطی مقاومت کند.

۲-۳- ایجاد سازه آب‌بند^۱

یکی از روش‌های آب‌بندی در سازه‌های زیرزمینی ایجاد پوسته‌ای بتنی با ضخامت و مقدار تسلیح طراحی شده برای فشار هیدرواستاتیک آب و فشار جانبی خاک می‌باشد. بتن مورد استفاده در این سازه‌ها باید از نوع مسلح بوده و طراحی آن براساس یکی از آیین‌نامه‌های معتبر همچون BS 1992 و یا ACI انجام پذیرد. در این روش آب‌بندی نیز همانند روش قبلی باید دقت داشت تا حد امکان از ایجاد بازشو در فونداسیون و دیواره‌های حائل خودداری شود و در بازشوه‌های اجتناب ناپذیر باید از جزئیات طراحی شده خاص استفاده کرد.

۲-۳-۱- انواع روش‌های آب‌بندی تیپ B

❖ پایدارسازی آب‌بند

در این روش قبل از اجرای گودبرداری از یکی از روش‌های پایدار که خود مانع نفوذ آب به داخل سازه می‌شود استفاده میکنند. سازه‌هایی همچون دیوار دیافراگمی آب‌بند^۲، شمع‌های سکانت^۳ (تودرتو)، شیت پیل‌ها^۴ و ... از جمله این روش‌ها می‌باشند.



شکل ۲-۱۱- نمونه‌ای از پایدارسازی آب‌بند به روش شمع‌های سکانت (تودرتو)

¹ Structurally integral

² Diaphragm wall

³ Secant pile

⁴ Sheet pile

صفحات فلزی شیت پایل معمولاً به وسیله چکش‌های دیزلی، هیدرولیکی و یا چکش‌های ویبره در خاک‌های با قابلیت جابه‌جایی^۱ همانند ماسه‌ها کوبیده می‌شوند و شمع‌های متداخل نیز با استفاده از باکت^۲ و یا روتاری^۳ (بسته به شرایط خاک) که به دستگاه حفاری ملحق می‌گردند حفر می‌گردد. در اجرای این نوع از سازه‌ها، دو شمع غیر مسلح با مصالح بتن پلاستیک (بتن ریزدانه به همراه مقدار مشخصی بنتونیت) به صورت چسبیده به هم ساخته شده و بین آنها شمعی سازه‌ای اجرا می‌گردد.

در ساخت پرده‌های آب‌بند از روش‌های متنوعی استفاده می‌شود که یکی از آنها به روش برش خاک^۴ مشهور است. در برش‌های با عمق متوسط با دستگاه‌هایی به نام ترنچر^۵ کانال‌های نسبتاً عمیقی را پیرامون محل احداث پروژه حفر کرده و سپس با مش‌گذاری و بتن‌ریزی آن را پر می‌کنند. در پروژه‌های با عمق نسبی بیشتر لازم است دستگاه‌های حفاری کانالی عمیق را پیرامون پروژه حفر کرده و جهت جلوگیری از ریزش دیواره‌ها با بنتونیت دوغابی پرگردد.



شکل ۲-۱۲- پرده آب‌بند به روش برش قالبی خاک

¹ Displaceable

² Bucket

³ Rotary

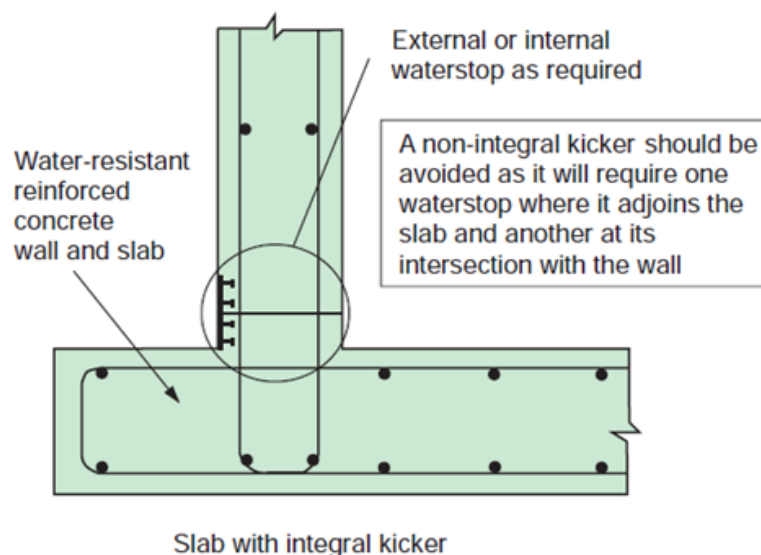
⁴ Cut off

⁵ Trencher

❖ آب بند سازی سازه اصلی

آب بندسازی بتن فونداسیون و دیواره‌های حائل یک سازه نیز یکی از روش‌های آب‌بندی سازه‌های زیرزمینی به شمار می‌رود. متأسفانه این تفکر که تنها با بهره‌گیری از یک نوع افزودنی خاص امکان آب‌بند سازی سازه وجود دارد کاملاً غلط است. در آب‌بند سازی بتن فاکتورهایی همچون کنترل نسبت آب به سیمان، طرح اختلاط مناسب مصالح، استفاده از دانه بندی با مصالح فیلتر (پرکننده مثل خاک سنگ)، کنترل کارایی بتن، استفاده از سیمان با کیفیت در ساخت بتن (نسبت آهک آزاد مجاز که جهت کنترل آن از پزولان‌ها استفاده می‌گردد) و همچنین اجرای آن شامل کنترل ارتفاع بتن‌ریزی (ماکزیمم ۱/۲۰ متر مطابق آیین‌نامه آبا) و ویبراسیون مناسب بتن و ... نقش اساسی دارند.

ضمناً استفاده از واتر استاپ^۱ در درزهای سرد و درزهای انقطاع چه در سطوح افقی (فونداسیون) و چه در سطوح قائم (دیواره‌ها) ضروری می‌باشد.



شکل ۲-۱۳- تیپ B آب‌بندی - آب‌بندی سازه اصلی

¹ water stop

باید دقت داشت مصالحی که به نام آب‌بند کننده بتن در بازار موجود است متشکل از فوق روان کننده (جهت افزایش کارایی بتن و کاهش نسبت آب به سیمان) و نمک آلی چرب جهت آب‌گریزی بتن می‌باشد که به تنهایی و با استفاده صرفاً یک ماده آب‌بند کننده نمی‌توان توقع حصول آب‌بندی کامل داشت.

انواع واتر استاپ

واتر استاپ‌ها در ۳ تیپ کلی تولید می‌شوند که در ادامه به طور مختصر به آنها اشاره می‌شود.

۱- واتر استاپ های غیر فعال:

الف) واتر استاپ‌های پلیمری که غالباً جنس PVC نرم در تولید آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در اشکال مختلفی مانند شکل دمبلی (استفاده در درزهای سرد)، شکل حباب دار (استفاده در درزهای انقطاع) و E شکل که فقط دندانه‌های آن در بتن مدفون می‌شود وجود دارد.

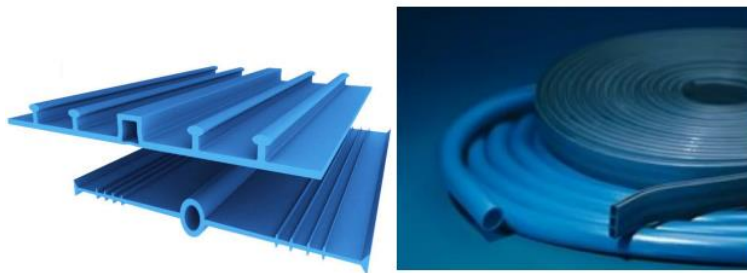
ب) واتر استاپ‌های فلزی از جنس فولاد که علاوه بر نقش آب‌بندی در درزهای سرد مقاومت برشی نیز ایجاد می‌کنند.

۲- واتر استاپ های فعال بنتونیتی، هیدروفیلیکی و یا دوغاب‌های کریستالی شونده:

این نوع از آب‌بندها در برخورد با آب متورم شده و یا با ساخت کریستال فضاهای خالی بین درز سرد بتن را پر می‌کنند و مانع نفوذ آب به داخل سازه می‌گردند.

۳- شیلنگ‌های تزریق رزین:

این مصالح قبل از بتن‌ریزی در درزهای سرد نصب شده و قسمت نازل آن در محل خارج از بتن نصب می‌گردد که پس از بتن‌ریزی با تزریق رزین‌های متورم شونده خاص (مثل ترکیبات پلی‌یورتان) درز سرد را کاملاً پر کرده و مانع نفوذ آب به داخل سازه می‌گردند.



شکل ۲-۱۴- انواع واتر استاپ

۲-۴- زهکشی^۱

زهکشی به معنی مدیریت مسیر برای عبور و جمع‌آوری آب در محلی برای پمپ کردن به خارج از سازه می‌باشد. قبل از هرگونه توضیح در مورد زهکشی لازم است تعاریف واژه‌های مورد استفاده در آن ارائه گردد:

الف) فشار هیدرواستاتیک آب: به اضافه فشار وارد بر سازه در اثر ایجاد سطح ایستایی آب در قسمت پشت دیواره‌های حائل گفته می‌شود.

ب) زهکشی‌های حفره دار^۲: نوعی از مصالح پلیمری که با شکل شانه تخم مرغی و به صورت رول در قسمت پشت دیواره‌های حائل باعث انتقال و زهکشی آب به پائین ترین نقطه در سازه می‌گردند. در شکل ۲-۱۵ نمونه‌ای از این زهکش‌ها نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۵- زهکش‌های حفره دار

¹ Draining

² cavity drain

(ج) زهکشی های سطحی: به روشی شامل حفر کانال، شیب بندی و انتقال آب به محلی جهت جمع آوری و پمپاژ اطلاق می شود.

(د) زهکشی های عمقی: به زهکش هایی شامل حفرچاه های نقطه ای^۱، چاه های عمیق^۲، چاه های نقطه ای مکند^۳ و ... که به صورت قائم و عمود بر کف پی سازه کار زهکشی و جمع آوری آب را انجام می دهند زهکشی عمقی گفته می شود.

۲-۴-۱- انواع روش های آب بندی تیپ C

زهکشی بطور کلی به دو دسته تقسیم می شود :

الف) زهکشی داخلی

در این روش آب از سمت داخل سازه توسط زهکش های حفره دار جمع آوری و به کانال های پیش ساخته گالوانیزه و یا پلی اتیلنی منتقل شده و در یک حوضچه داخلی^۴ (سامپ) جمع آوری می گردد و از آنجا به خارج از سازه منتقل می شود استفاده از این روش مشروط به خصوصیات شیمیایی و میزان اثر تهاجمی آب روی سازه بوده و با تشدید این اثر به دلیل بروز آسیب های جدی روی سازه امکان استفاده از این روش وجود ندارد.

ب) زهکشی خارجی

در این روش با پایین آوردن سطح آب زیرزمینی (زیر سطحی) از ایجاد تراز ایستایی آب پشت دیوارهای حائل جلوگیری به عمل می آید. استفاده از این روش نیز با محدودیت هایی همراه است. نشست های تحکیمی در اثر پایین آوردن سطح آب خصوصا در خاک های مسئله دار، تاثیرات

¹ well points

² Deep wells

³ Vacuum well points

⁴ Sump

زیست محیطی ناشی از تغییر در سطح آب و اختلال در فرآیندهای هیدروژئولوژیکی منطقه از جمله آثار بسیار مخربی است که قبل از هرگونه فعالیت اجرایی باید بررسی گردد.

جدول صفحه بعد روش‌های مختلف زهکشی خارجی را نسبت به عمق تاثیر نمایش می‌دهد.

جدول ۲-۲- انتخاب روش زهکشی با توجه به سطح ایستایی

Me	Ap	Re
Sumps and ditches	Collect water entering an excavation or structure.	Generally water level can be lowered only a few feet. Used to collect water within cofferdams and excavations. Sumping is usually only successful in relatively stable gravel or well-graded sandy gravel, partially cemented materials, or porous rock formations.
Conventional wellpoint system	Dewater soils that can be drained by gravity flow.	Most commonly used dewatering method. Drawdown limited to about 15 ft per stage; however, several stages may be used. Can be installed quickly.
Vacuum wellpoint system	Dewater or stabilize soils with low permeability. (Some silts, sandy silts).	Vacuum increases the hydraulic gradient causing flow. Little vacuum effect can be obtained if lift is more than 15 ft.
Jet-educator wellpoint	Dewater soils that can be drained by gravity flow. Usually for deep excavations where small flows are required.	Can lower water table as much as 100 ft from top of excavation. Jet-educators are particularly suitable for dewatering shafts and tunnels. Two header pipes and two riser pipes, or a pipe within a pipe, are required.
Deep-well systems	Dewater soils that can be drained by gravity flow. Usually for large, deep excavations where large flows are required.	Can be installed around periphery of excavation, thus removing dewatering equipment from within the excavation. Deep wells are particularly suitable for dewatering shafts and tunnels.
Vertical sand drains	Usually used to conduct water from an upper stratum to a lower more pervious stratum.	Not effective in highly pervious soils.
Electroosmosis	Dewater soils that cannot be drained by gravity. (Some silts, clayey silts, clayey silty sands).	Direct electrical current increases hydraulic gradient causing flow.
Cutoffs	Stop or minimize seepage into an excavation when installed down to an impervious stratum.	See paragraph 2-8 for materials used.

فصل سوم

طراحی روش آببندی سازه‌های زیرزمینی

۳-۱- مقدمه

در طراحی آببندی سازه‌های زیرزمینی بسته به نوع سازه و اهداف آببندی، آیین‌نامه‌های مختلفی به عنوان مرجع طراحی قرار می‌گیرند. در همه این آیین‌نامه‌ها برخی عوامل در طراحی آببندی سازه‌های زیرزمینی از اهمیت بسزایی برخوردار است. از جمله این عوامل مهم می‌توان به سطح تراز آب زیرزمینی، درجه اهمیت سازه، شرایط ژئوتکنیکی و جنس خاک، وضعیت توپوگرافی و مدت زمان بهره‌برداری اشاره نمود. در ادامه توضیحاتی در مورد این عوامل به اختصار ارائه می‌گردد.

۲-۳- عوامل موثر بر طراحی روش آب‌بندی سازه‌های زیرزمینی

۲-۳-۱- سطح آب زیرزمینی

مهم‌ترین عامل در طراحی روش آب‌بندی سازه زیرزمینی، تراز ایستایی آب می‌باشد. بر طبق آیین‌نامه BS-8102 سطح آب را به سه دسته کلی تقسیم بندی می‌کنند:

الف) سطح آب بالا: شرایطی که سطح آب از تراز کف فونداسیون بالاتر قرار گیرد.

ب) سطح آب متغیر: شرایطی که سطح آب در تراز پایین تر از کف فونداسیون متغیر باشد.

ج) سطح آب پایین: شرایطی که سطح آب از تراز کف فونداسیون پایین تر قرار گیرد.

جدول زیر رابطه بین نوع تپ آب‌بندی مورد استفاده را با سطح آب زیرزمینی نمایش

می‌دهد.

جدول ۱-۳- تپ آب‌بندی بر اساس سطح آب زیرزمینی

Risk associated with water table	Water table classification (see Note)	Waterproofing protection			
		Type A	Type B		Type C
			Piled wall	Reinforced concrete wall to BS EN 1992	
Low ↑ High	Low	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
	Variable	Acceptable if the "variable" classification is due to surface water. The manufacturer's advice should be sought.	Acceptable where: a) the piled wall is directly accessible for repair and maintenance from inside the structure; or	Acceptable	Acceptable
	High	Acceptable where: a) an appropriate cementitious multi-coat render or cementitious coatings are used; b) the wall is of concrete to BS EN 1992.	b) the piled wall is combined with a fully bonded waterproofing barrier; or c) the piled wall is faced internally with a concrete wall to BS EN 1992.	Acceptable	Acceptable
Measures to reduce risk		<ul style="list-style-type: none"> Use combined protection (see 6.2.2). Incorporate appropriately designed sub-surface drainage and ensure that this is maintained (see 6.4). Use a fully bonded waterproofing barrier (see Figure 6). Lower the permeability of the main structural wall. Use concrete with a waterproofing admixture, e.g. to BS EN 934 (see 9.2.1.5). Ensure that discharge systems, e.g. pumps, are maintained so that the system remains effective (see 10.3.1). 			

NOTE The water table classifications are defined as follows (see also 5.1.3).

- Low – where the water table or perched water table is assessed to be permanently below the underside of the base slab. This only applies to free-draining strata.
- Variable – where the water table fluctuates.
- High – where the water table or perched water table is assessed to be permanently above the underside of the base slab.

Ground permeability might affect risk under a low or variable water table (see 5.1).

۳-۲-۲- درجه اهمیت سازه زیرزمینی

سازه‌های زیرزمینی به لحاظ درجه اهمیت کاربری بر اساس آیین‌نامه BS-8102 به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند.

الف) درجه اهمیت کم: پارکینگ‌های با بتن نمایان^۱، پاسیوها، نورگیرها و کارگاه‌های بدون وسایل الکتریکی از این دسته به حساب می‌آیند. در این نوع کاربری از سازه‌ها وجود مقدار کمی نشت آب و رطوبت مجاز می‌باشد.

ب) درجه اهمیت متوسط: موتورخانه‌ها، انباری‌ها کارگاه‌های مجهز به وسایل الکترونیکی، محل پرورش گیاه و ... در این دسته قرار می‌گیرند که در این نوع کاربری از سازه‌ها وجود هرگونه روان آب مجاز نبوده ولی نم زدگی و رطوبت قابل قبول می‌باشد.

ج) درجه اهمیت زیاد: فضا‌های مسکونی، تجاری یا اداری و انبارهای مخصوص نگهداری مواد غذایی و ... در این دسته قرار می‌گیرند. قسمت‌هایی از سازه که با درجه اهمیت زیاد هستند باید فاقد هرگونه روان آب و نم و رطوبت باشند. جدول زیر درجه بندی سازه‌ها را براساس آیین‌نامه BS-8102 نمایش می‌دهد:

جدول ۳-۲- درجه بندی سازه‌های زیرزمینی نسبت به درجه اهمیت

Grade	Example of use of structure ^{A)}	Performance level
1	Car parking; plant rooms (excluding electrical equipment); workshops	Some seepage and damp areas tolerable, dependent on the intended use ^{B)} Local drainage might be necessary to deal with seepage
2	Plant rooms and workshops requiring a drier environment (than Grade 1); storage areas	No water penetration acceptable Damp areas tolerable; ventilation might be required
3	Ventilated residential and commercial areas, including offices, restaurants etc.; leisure centres	No water penetration acceptable Ventilation, dehumidification or air conditioning necessary, appropriate to the intended use

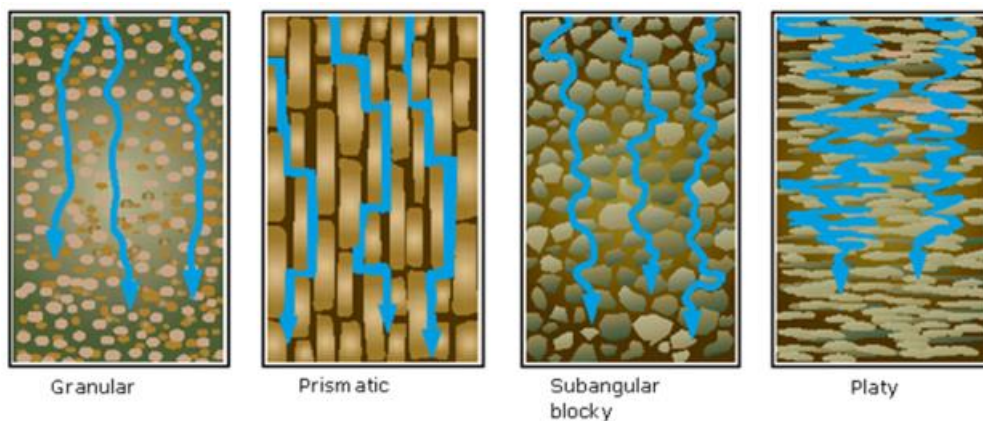
^{A)} The previous edition of this standard referred to Grade 4 environments. However, this grade has not been retained as its only difference from Grade 3 is the performance level related to ventilation, dehumidification or air conditioning (see [BS 5454](#) for recommendations for the storage and exhibition of archival documents). The structural form for Grade 4 could be the same or similar to Grade 3.

^{B)} Seepage and damp areas for some forms of construction can be quantified by reference to industry standards, such as the ICE's *Specification for piling and embedded retaining walls* [1].

¹ Expose

۳-۲-۳- شرایط ژئوتکنیکی و جنس خاک

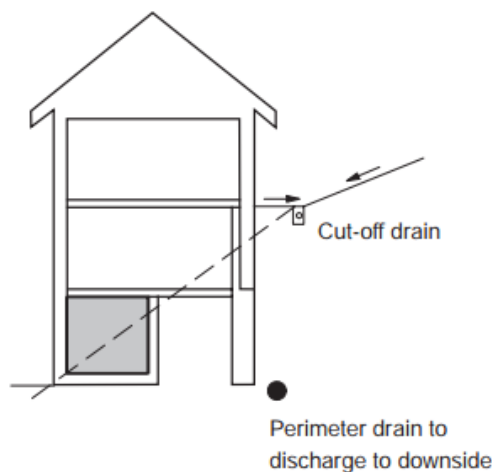
یکی دیگر از عوامل مهم مورد بررسی لایه‌بندی جنس خاک منطقه‌ای است که پروژه در آن واقع گردیده است. بدیهی است بررسی نوع خاک و مشخص شدن نفوذپذیری افقی و عمودی خاک در هر لایه می‌تواند روش زهکشی و یا آب‌بندی گود را تغییر دهد. بعنوان مثال روش‌های مبتنی بر زهکشی در خاک‌های ریزدانه با نسبت رس زیاد چه به لحاظ ایجاد مشکلات نشست تحکیمی در سازه‌های مجاور و چه به لحاظ اقتصادی غیر منطقی است.



شکل ۳-۱- تاثیر جنس خاک بر انتخاب روش آب‌بندی پی سازه

۳-۲-۴- وضعیت توپوگرافی زمین

از مواردی که خصوصا در شهرهای پر بارش اهمیت زیادی دارد وضعیت توپوگرافی زمین می‌باشد. در چنین شرایطی آیین‌نامه‌های طراحی ایجاد زهکشی سطحی جهت کنترل روان آبها و به حداقل رسانیدن تاثیر آن بر روی دیواره‌های حائل را الزامی می‌دانند.



شکل ۳-۲- حفر کانال جهت جمع آوری روان آب‌های سطحی

۳-۲-۵- درجه اهمیت کاربری و مدت زمان بهره‌برداری از سازه

واضح است روش و هزینه‌ای که جهت حصول آب‌بندی در سازه‌های زیرزمینی با درجه اهمیت زیاد (بیمارستان‌ها، ساختمان‌های تجاری، نیروگاه‌ها و ...) مصرف می‌گردد با روش و هزینه‌ای که در سازه‌های موقت مورد استفاده قرار می‌گیرد بسیار متفاوت است.

۳-۳- اصول طراحی

در راستای طراحی روش آب‌بندی سازه‌های زیرزمینی ابتدا باید مشخص کرد طراح سازه فشار هیدرواستاتیک آب را پشت دیوارهای حائل در نظر گرفته است یا خیر. عدم لحاظ فشار هیدرواستاتیک آب در طراحی سازه زیرزمینی به این معنی است که حتما این فشار باید بوسیله یکی از روش‌های زهکشی از پشت دیواره‌های حائل برداشته شود. با پایین آمدن سطح آب می‌توان از یک روش ساده برای کنترل رطوبت و جلوگیری از انتقال آن به داخل سازه استفاده کرد. ولی در صورتی که طراح سازه این فشار را در نظر گرفته باشد و میزان سختی دیواره‌های حائل را جهت

کنترل ترک‌های سازه بتنی به میزان کافی افزایش داده باشد آنگاه می‌توان از روش‌های عایق‌بندی بدون زهکشی استفاده کرد. با توجه به نوع طراحی آب‌بندی سازه‌های زیرزمینی به طور کلی ۲ روش طراحی در آب‌بندی سازه‌های زیرزمینی وجود دارد.

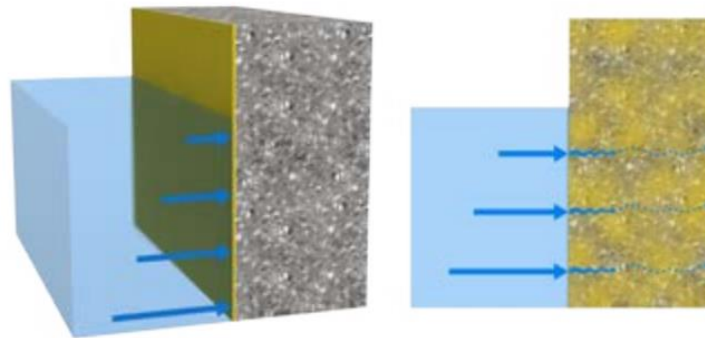
۳-۳-۱- روش‌های طراحی مبتنی بر عایق بندی کامل^۱

در این روش‌ها سازه را به مخزنی تشبیه می‌کنند که در آب قرار گرفته و باید جلوی نفوذ آب به داخل آن گرفته شود. لازم به ذکر است هر متر سطح ایستایی آب فشاری معادل 0.1 Kg/cm^2 در جهت بالا ایجاد می‌کند که تقریباً معادل مجموع بار مرده و زنده یک طبقه از ساختمان است. پس در سطح آب بالا، افزایش سطح آب می‌تواند طراحی سازه را دستخوش تغییرات زیاد از جمله استفاده از روش‌های کنترل بالازدگی^۲ مانند بهره‌مندی از شمع و میکروپایل کند. با این وجود در صورت استفاده از این روش در آب‌بندی سازه زیرزمینی مطابق جدول ۳-۱ در صورت استفاده از آب‌بندهای غشایی حتی باید از بتن آب‌بند نیز استفاده کرد.

همانگونه که از جدول مذکور نیز مشخص است، آیین‌نامه BS در سطوح آب بالا نقش آب‌بندهای غشایی را بیشتر در زمینه حفاظت از سازه در برابر شرایط تهاجمی شیمیایی محیطی دانسته و به لحاظ آب‌بندی بر بتن آب‌بند بیشتر تمرکز می‌کند. بدیهی است ضخامت حداقل ۳۰ سانتیمتر بتن در سازه‌های زیرزمینی باعث شده آب‌بندسازی آن نسبت به استفاده از غشاهای آسیب پذیر با ضخامت ماکزیمم ۱ سانتیمتر قابل اعتمادتر باشد. ولی با این حال نباید نقش محافظت از سازه را در آب‌بندهای غشایی نادیده گرفت. در شکل ۳-۳ نمایی از عملکرد غشاء آب‌بند و بتن آب‌بند نشان داده شده است.

¹ Tanking

² Uplift



شکل ۳-۳- نمای شماتیک از بتن آب بند و آب بند غشائی

۳-۳-۲- روش های مبتنی بر زهکشی^۱

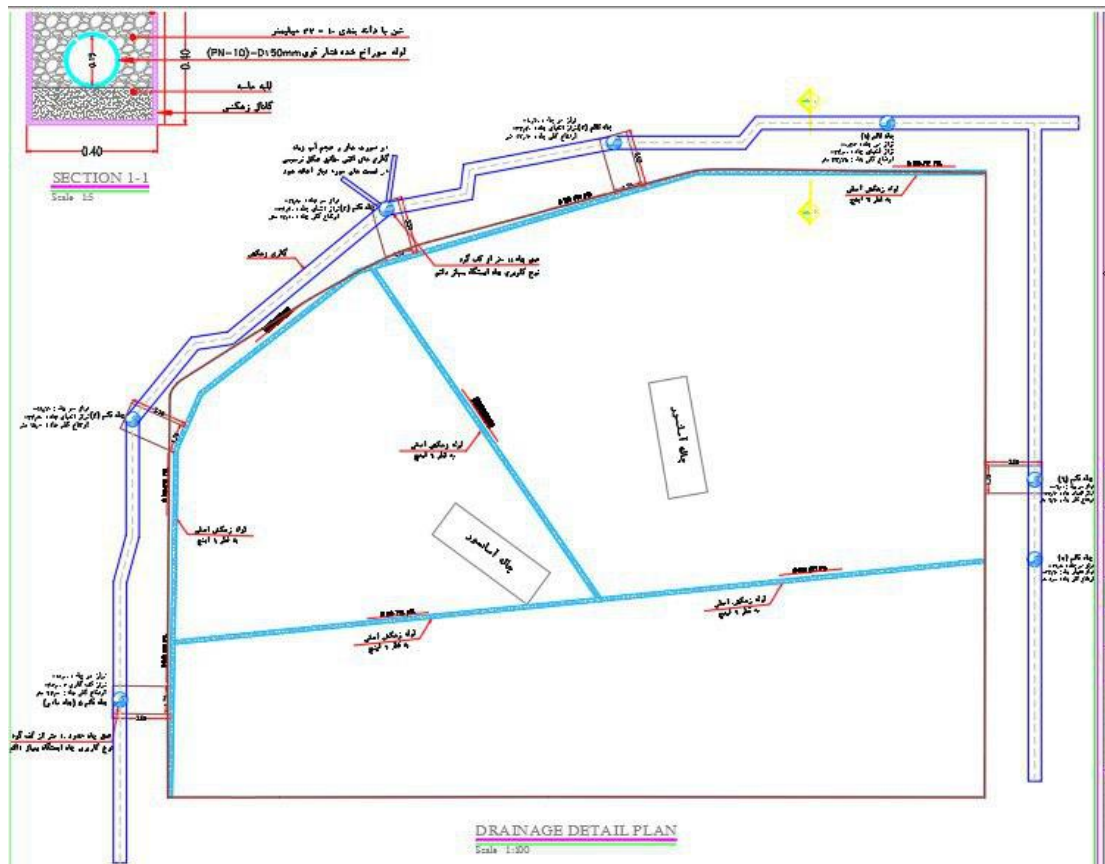
در این روش با توجه به در نظر گرفتن سطح ایستایی آب پایین تر از فونداسیون و طراحی دیوآه های حائل بدون فشار هیدرواستاتیک آب مقداری از هزینه های مربوط به بتن مصرفی کاسته می شود. ولی این موضوع مستلزم آن است که بدانیم امکان اجرای زهکشی در خاک منطقه با شرایط هیدروژئولوژیکی و زیست محیطی وجود دارد یا خیر در صورت امکان احداث زهکشی می توان نسبت به تراز ایستایی آب و جنس خاک روش زهکشی را مشخص نمود:

Soil type	Average particle size (mm)	Coefficient of permeability (m/sec)	Suitable dewatering depth								
			4 m	8 m	12 m	16 m	20 m	24 m	28 m		
Coarse gravel	60 ~ 20	> 1									
Medium gravel	20 ~ 6	> 1									
Fine gravel	6 ~ 2	+10 ⁻¹									
Coarse sand	2 ~ 0.5	>10 ⁻²									
Medium sand	0.5 ~ 0.2	>10 ⁻³									
Fine sand	0.2 ~ 0.05	>10 ⁻⁴									
Coarse silt	0.05 ~ 0.02	>10 ⁻⁵									
Medium silt	0.02 ~ 0.005	>10 ⁻⁶									
Fine silt	0.005 ~ 0.002	>10 ⁻⁷									
Clays	< 0.002	<10 ⁻⁷									
Suggested dewatering method			Open sump method Well point method Vacuum well point method Electro-osmosis method Deep well method Deep wells + auxiliary vacuum pumps								

شکل ۳-۴- انتخاب روش زهکشی بر اساس جنس خاک و سطح ایستایی آب

¹ Draining

پس از مشخص شدن روش زهکشی، با توجه به نقشه‌های معماری محل جانمایی چاله‌های آسانسور مشخص و از نقشه‌های تاسیسات محل قرارگیری میله‌های ارت^۱ و در صورت وجود جانمایی مخازن جمع آوری آب^۲ جهت شستشوی پارکینگ مشخص شده تا با سیستم زهکشی تداخلی ایجاد نکند. در شکل زیر نمایی از زهکشی عمیق و سطحی یکی از پروژه‌های اجرا شده دیده می‌شود.



شکل ۳-۵- پلان زهکشی سطحی و عمیق

¹ Earthing rods

² Gather Sump

فصل چهارم

ملاحظات اجرایی

۴-۱- مقدمه

در این فصل به ارائه برخی از ملاحظات اجرایی در آببندی سازه‌های زیر زمینی اشاره خواهد شد. یکی از مهمترین عواملی که سبب کارآمد شدن سیستم آببندی و یا زهکشی سازه‌های زیر زمینی می‌شود، اجرای درست و اصولی آن توسط شرکت‌ها و افراد مجرب می‌باشد. آیین‌نامه‌های مختلفی از جمله NHBC به طور مفصل به ملاحظات اجرایی پرداخته است. در ادامه به طور مختصر به برخی از فاکتورهای مهم در اجراء سیستم‌های آببندی اشاره شده است.

۲-۴- مشخصات فنی و کیفیت محصولات

با توجه به گستردگی و وجود انواع محصولات آببندی در بازار جهانی و ایران، لازم است که مشخصات فنی محصول مورد استفاده به نحوی باشد که توصیه‌های ارائه شده در بخش طراحی را ارضا نماید. به عنوان مثال محصول GCL برای کاربری‌های مختلف نظیر آببندی گود، زیست محیطی، محافظت و ... تولید گردیده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدیهی است که هزینه تولید و مشخصات فنی هر یک از کاربری‌های این محصول متفاوت می‌باشد و عدم رعایت مشخصات فنی سبب اختلال در عملکرد آببندی می‌شود. برای کنترل این مورد در فعالیت‌های عمرانی، آزمایشگاه‌های معتبر در سرتاسر دنیا به بررسی مشخصات فنی این محصولات پرداخته‌اند که از معتبرترین آنها می‌توان به BBA و SKZ اشاره نمود.



شکل ۴-۱- نمایی از لوگو BBA و SKZ

۳-۴- بارگیر، حمل و تخلیه

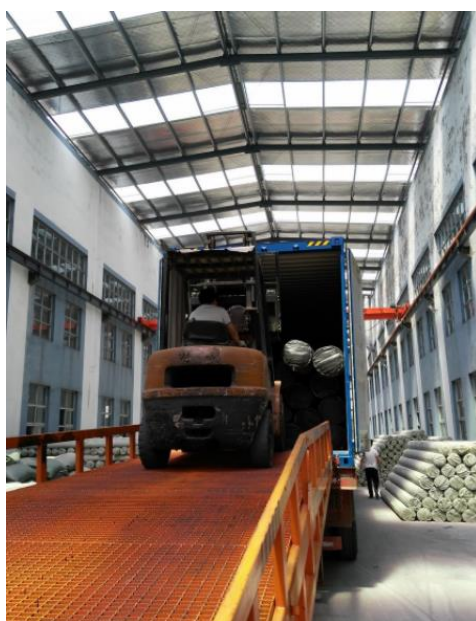
بر اساس محصول انتخاب شده جهت آببندی و یا زهکشی لازم است که در شرایط حمل آن دقت کافی به عمل آید. جهت جلوگیری از هرگونه آسیب در زمان حمل، معمولاً شرکت تولید کننده روش و چگونگی بارگیری و تخلیه آن را طی دستورالعملی به مصرف کننده ارائه می‌نماید. حمل نامناسب محصولات ممکن است سبب اختلال در عملکرد محصول در زمان بهره برداری شود. به طور مثال حمل نامناسب عایق‌های بنتونیتی فعال ممکن است سبب تجمع و یا پراکندگی پودر بنتونیت در محصول گردیده که به سبب آن در زمان بهره‌برداری کارایی مناسبی را ندارد.

۴-۴- انبارداری و شرایط نگهداری

شرایط انبارداری و نگهداری محصولات آب‌بند کننده بسیار حائز اهمیت می‌باشد. عواملی همچون رطوبت و نم، دما، تابش نور خورشید، چیدمان مصالح و از جمله عواملی هستند که حتماً باید در انبارداری و نگهداری محصولات رعایت شوند. در شکل‌های زیر نمونه‌ای از این عوامل برای محصولات مختلف نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- نمایی از چیدمان رول‌های محصولات غشایی



شکل ۴-۳- انبارداری و نگهداری در سالن‌های سرپوشیده

۴-۵- بسترسازی

با توجه به طراحی آببندی و زهکشی، مطابق محصول و نوع طراحی لازم است که بستر سازی مناسب صورت پذیرد تا محصول مورد استفاده به سبب بستر سازی نامناسب دچار خرابی نشود. روند و نحوه آماده سازی بستر با توجه به نوع و مشخصات فنی محصول متفاوت بوده و شرکت تولید کننده محصول باید بستر سازی مناسب را طی دستورالعملی به مصرف کننده ارائه نماید. بعضی محصولات آببندی نظیر بتن نیاز به بستر سازی خاصی نداشته و صرفاً باید ملاحظاتی در خصوص عدم تغییر مشخصات اجزاء بتن مانند آب و ... در زمان گیرش صورت پذیرد.

۴-۶- نصب و اجراء

ملاحظات نصب و اجراء محصولات آببندی و زهکشی با توجه به مقتضیات پروژه و همچنین نوع محصول تعیین می گردد. با توجه به اینکه در زمان نصب و اجراء یک سیستم آببندی ممکن از چندین محصول بهره برده شود یا سازه‌ای که آببندی می شود دارای پیچیدگی بوده و یا شرایط زیست محیطی نامناسبی وجود داشته باشد، لازم است که یک تیم کارشناسی به دقت دستورالعمل مراحل نصب و اجراء را ارائه نموده تا هر یک از عوامل مذکور سبب خلل در عملکرد سیستم آببندی نگردد.

۴-۷- بازشوها و معارضات

وجود بازشوها و معارضات نظیر شمع، چاله آسانسور، وجود آب، دمای بالا محیط و ... باید به دقت در طراحی‌ها و دستورالعمل اجرایی دیده شود تا سیستم آببندی عملکرد مناسبی داشته باشد.

۴-۸- کنترل و پایش درستی اجراء

در هر سیستم آببندی لازم است که کنترل‌ها و نظارت‌های دقیقی بر محصولات قبل از استفاده، در حین اجراء و در زمان اتمام و بهره‌برداری صورت پذیرد تا میزان کارایی سیستم آببندی را مشخص نماید. به همین منظور لازم است که در صورت هر گونه مشکل اجرایی و خرابی محصول به سرعت ترمیم و پیش‌بینی‌ها و بازطراحی‌های لازم در زمان اجراء جهت دستیابی به یک سیستم آببندی بدون نقص صورت پذیرد.



شکل ۴-۴- نمایی از کنترل کیفی محصولات غشایی آببند

۴-۹- نگهداری و مراقبت

پس از اجرای سیستم آببند و زهکشی لازم است که مسئولان پروژه تمامی نکات و موارد لازم را جهت نگهداری و مراقب از سیستم آببندی را طی دستورالعملی که از سوی طراحان و تولید کننده‌گان سیستم آببندی و زهکشی ارائه می‌شود، رعایت نمایند. برای مثال می‌توان به شکستگی لوله‌های زهکش پس از نصب (به سبب آن پر شدن و گرفتگی لوله‌ها)، پارگی محصولات

غشایی بر اثر برخورد اجسام تیز (مانند میلگرد، ستون و ...)، ترک‌های به وجود آمده در بتن و دیگر موارد اشاره نمود.



شکل ۴-۵- نمایی از شکستگی کانال زهکش

۴-۱۰- ترمیم

در صورت بروز هر گونه مشکل در حین اجراء و یا پس از اتمام کار لازم است که مشکل به وجود آمده به خوبی توسط طراحان سیستم آببند مورد بررسی قرار گرفته و راه‌حل لازم در خصوص آن به صورت کارشناسانه اعلام شود. با توجه به اینکه وجود یک مشکل کوچک در برخی از سیستم‌های آببندی سبب اختلال در عملکرد کل سیستم آببندی می‌شود، لازم است که طرح ترمیمی با دقت نظر بیشتری طراحی و اجراء گردد.

فصل پنجم

جمع بندی و نتیجه گیری

۵-۱- مقدمه

در گزارش ارائه شده توسط این کارشناسان این شرکت به بررسی انواع روش‌های آب‌بندی و زهکشی، مختصری بر انواع روش‌های طراحی و دستورالعمل اجرایی اشاراتی مختصر گردید. لزوم کارا بودن سیستم‌های آب‌بندی درستی و رعایت اصول لازم برطبق آیین نامه‌ها و در برخی موارد قضاوت مهندسی در هر یک از عوامل مذکور می‌باشد.

۵-۲- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به موارد ذکر شده مشخص است هرکدام از روش‌ها و تیپ بندی های A,B,C در جایگاه خود قابلیت استفاده داشته و نیاز به طراحی دقیق دارند و هرگونه طراحی و استفاده نادرست و یا بهره‌مندی از محصولات با مشخصات فنی ناکافی، سبب کاهش عملکرد و یا عدم کارا بودن سیستم آب‌بندی می‌شود. آیین‌نامه‌های معتبر دنیا نقش آب‌بندی به روش غشائی (تیپ A) را بیشتر در جهت محافظت از سازه در مقابل شرایط تهاجمی^۱، آب‌بند های سازه ای (تیپ B) را در جهت کنترل آب و مقاومت در برابر نفوذ و زهکشی (تیپ C) را در جهت هدایت و مدیریت آب زیرزمینی معرفی می‌کنند. باید دقت داشت در بسیاری مواقع اجرای یک روش آب‌بندی مناسب مستلزم اجرای زهکشی به صورت موقت است. در زهکشی دائم وجود برق اضطراری، پمپ‌های یدک و کلاً انجام تعمیر و نگهداری امری اجتناب ناپذیر خواهد بود و این درحالی است که در طراحی زهکشی موقت عملیات زهکشی تا زمان اجرای قسمت بتنی سازه زیرزمینی مد نظر قرار می‌گیرد.

¹ Aggressive

فصل ششم

مراجع

- 1- BS 8102 Code of practice for protection of below ground structures against water from the ground: 2009
- 2- UFC-3-220-05 Dewatering and ground water control: 2004
- 3- Chapter 5-4 of NHBC Standard – Waterproofing of basements and other below ground structures: 2017
- 4- BS 13491 Geosynthetic barrier characteristics required for use as a fluid barrier and associated underground structures: 2013
- 5-Tile 5-5 of ZTV-ING – Tunnelbau – Abdichtung: 2007
- 6-ACI 515.2R-13 Guide to selecting protective treatments for concrete: 2013
- 7-BS 1992 Design of concrete structures: 2004

پیوست ۱ - پروژه‌ها

ردیف	نام پروژه	روش همکاری	آدرس
۱	پروژه پایا	مشاور و طراح سیستم ایزولاسیون	لواسان - بلوار امام خمینی (ره)
۲	پروژه آپادانا (بیمه معلم)	ارائه طرح ترمیمی سازه انجام شده	اصفهان - خیابان آپادانا
۳	پروژه چیدر	طراحی، تامین مصالح و اجراء	تهران - خیابان چیدر
۴	پروژه هتل پل	طراح و مشاور	اصفهان - خیابان چهار باغ
۵	پروژه مجتمع اقامتی دانشگاه آزاد اسلامی	طراحی و مشاوره سیستم ایزولاسیون	مشهد - خیابان پاسداران
۶	پروژه بانک پاسارگاد	طراحی و مشاوره سیستم ایزولاسیون	تهران - خیابان میرداماد
۷	پروژه میکا - آرش	طراحی سیستم زهکشی و آببندی	تهران - خیابان نلسون ماندلا - خیابان آرش
۸	پروژه اپل مال	طراحی زهکشی، آببندی و نظارت	تهران - تقاطع خیابان میرداماد و ولیعصر
۹	پروژه آبشار	ارائه طرح ترمیمی، تامین مصالح و اجراء	اصفهان - خیابان آبشار
۱۰	پروژه گلشهر	مشاوره و طراحی زهکشی و آببندی	تهران - جردن - خیابان گلشهر
۱۱	پروژه نوین عاطفی	مشاوره و نظارت	تهران - نلسون ماندلا - عاطفی
۱۲	پروژه جاوید	طراحی و مشاوره	تهران - جنت آباد
۱۳	پروژه دروس	طراحی و مشاوره	تهران - دروس
۱۴	پروژه برج‌های دو قلو میکا	طراحی و مشاوره	تهران - شهر زیبا
۱۵	پروژه مجتمع ساختمانی نسیم	طراحی و مشاوره	تهران - سعادت آباد
۱۶	پروژه هورشید	طراحی، مشاوره و نظارت	تهران - سعادت آباد

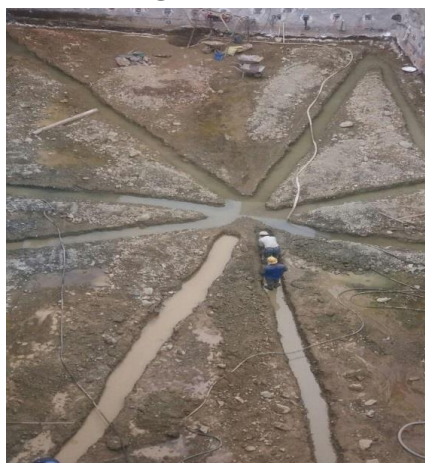
پیوست ۲ - نمونه عکس‌های پروژه



ورود آب با دبی ۲ اینچ بر ثانیه



حفر چاه های زهکشی در ضلع شمال و جنوب



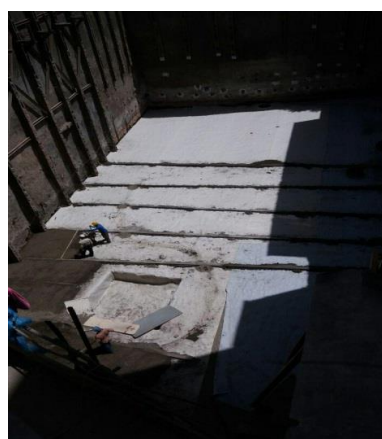
حفر کانال های کف



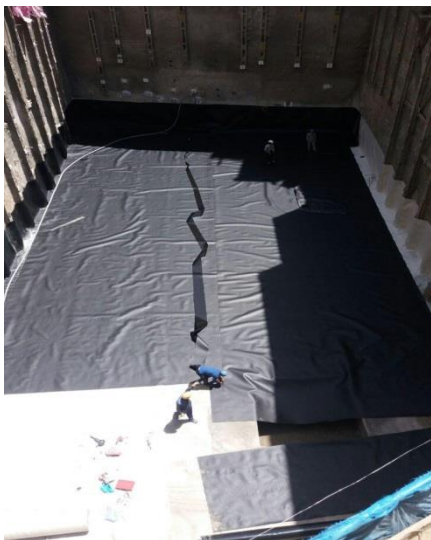
رگلاژ و شیب بندی کف



استفاده از لوله های زهکشی و شن ریزی کانالها



اجرای ژنو تکستایل فیلتر و اولین لایه بتن مگر



اجرای ژئوتکستایل و ژئوممبران



اجرای GCL



کرم بندی کف



اجرای بتن لایه دوم بتن مگر