

بررسی اجرای زهکش بر سازه‌های تصفیه خانه فاضلاب

حسین اصلانی - مهندس عمران haslani49@gmail.com

چکیده

در این بررسی اجرای زهکش در زیر و اطراف سازه‌های تصفیه خانه فاضلاب در مرحله شروع اجراء عملیات در مناطقی که سطح آب زیر زمینی بالا می‌باشد، مورد مطالعه قرار گرفته است و ضرورت مطالعات ژئوتکنیک و شناسائی لایه‌ها، حرکت سطح آب زیرزمینی، املاح موجود در آن و تاثیر آن بر سازه، تغییرات تراز آب در فصول سال و تاثیر آن بر دوام و پایداری سازه و همچنین انواع زهکش و دانه‌بندی مصالح توضیح داده شده است.

کلید واژه

تصفیه خانه فاضلاب، آبهای زیر زمینی، سازه، بتن، زهکش

مقدمه

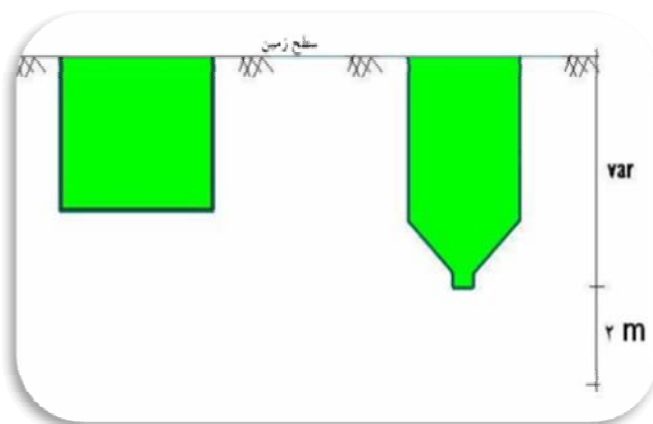
با گسترش و توسعه شهرها حفظ بهداشت عمومی، دفع بهداشتی فاضلاب از محیط زیست، برگشت آب به چرخه طبیعت و استفاده بهینه از آن، یکی از دغدغه‌های مهم انسانهای کره زمین می‌باشد. جمع آوری و انتقال فاضلاب با لوله گذاری و احداث آدم رو طبق ضوابط و مقررات خاص بصورت ثقلی یا پمپاژ در اکثر شهرها انجام می‌گیرد. این شبکه به پست‌ترین منطقه شهر هدایت می‌شود تا حتی الامکان فاضلاب بدون پمپاژ به تصفیه خانه انتقال و یا در صورت استفاده از پمپ، ارتفاع مانومتری پمپ‌ها و در نتیجه هزینه سرمایه گذاری و هزینه بهره‌برداری آن به حداقل کاهش یابد. پس از پالایش و گندزدائی، فاضلاب به آب جاری رود خانه تخلیه شده و این آب به مصارف کشاورزی رسیده و چرخه طبیعی گردش آب پایدار می‌ماند. از طرفی سازه‌های تصفیه خانه، با توجه به موقعیت قرارگیری آن در درون زمین، بطور مداوم از زمین و محیط اطراف آن تاثیر گرفته و در معرض حملات فیزیکی و شیمیایی آن قرار دارد.

بررسی آبها

با در نظر گرفتن محل قرارگیری تصفیه‌خانه فاضلاب، بمنظور حفاظت سازه‌ها و بهره‌برداری مناسب از آن، لازم است که آب سطحی و آب زیرزمینی توأمأ مطالعه گردند. برخی از کارشناسان، این دو نوع منبع آب را مستقل و مجزا در نظر می‌گیرند و غالباً طرحها بر مبنای مطالعه آماری جریانهای سطحی برای رشته‌ای از سالها انجام گرفته و از ذخیره، برداشت، و جریان آبهای زیرزمینی بکلی صرف نظر می‌شود.

مطالعات ژئوتکنیک

در مرحله مطالعات اولیه طرح تصفیه‌خانه فاضلاب، گمانه زنی در محوطه و موقعیت‌های استقرار سازه‌ها انجام می‌گیرد تا براساس آزمایشهای لازم، مطالعات ژئوتکنیک در عمق حداقل دو متر پایین‌تر از عمیق‌ترین سازه پیش‌بینی شده، بر حسب جنس خاک، لایه‌بندی خاک، سطح ایستایی سفره آزاد و ... انجام پذیرد.



در مطالعات ژئوتکنیک محل تصفیه خانه فاضلاب، جنس خاک نظیر رس لای دار (CL) و رس با دامنه خمیری زیاد (CH) و شن رس دار (GC)، ماسه لای دار و غیره مشخص شده و حداقل - حداکثر سطح آب زیر زمینی، مقدار باربری مجاز خاک برای گسیختگی برشی و استقرار پی در عمق لازم گزارش می شود.

در صورتی که تغییرات سطح آب زیر زمینی بیش از یک متر باشد، پیش بینی و انجام آزمایش در فصول سال، نتایج با ارزشی برای مطالعات دقیق طرح ایجاد می کند.

میزان جریان آب زیر زمینی برای خاکهای دارای دانه بندی مختلف، نفوذ پذیری، و شیب آبی بشرح زیر می باشد:

| نوع خاک | نفوذ پذیری Cm/s | شیب آبی | زمان لازم برای ۳۰ سانتیمتر جابجایی | تخلخل موثر |
|--------------|-----------------|---------|------------------------------------|------------|
| ماسه تمیز | ۰/۰۱ | ۰/۱۰ | ۲/۵ ساعت | ۰/۳۰ |
| ماسه لای دار | ۰/۰۰۱ | ۰/۱۰ | ۱/۴ روز | ۰/۴۰ |
| لای | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۰ | ۱۴ روز | ۰/۴۰ |
| ماسه رس دار | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۱۰ | ۱۷۴ روز | ۰/۵۰ |
| رس لای دار | ۰/۰۰۰۰۰۱ | ۰/۱۰ | ۴/۸ سال | ۰/۵۰ |
| رس | ۰/۰۰۰۰۰۰۱ | ۰/۱۰ | ۴۸ سال | ۰/۵۰ |

آب زیر زمینی و کنترل میزان نشت آن مهمترین مسئله در پایداری سازه های مدفون شده می باشد؛ بررسیهای ژئوتکنیکی و طراحی زهکش، در طول اجراء عملیات و بهره برداری تاثیر دارد:

✓ در طول اجراء عملیات:

- ایجاد شرایطی برای حفاری و گودبرداری در محیط خشک که باعث بالا رفتن کارایی و سرعت پیشرفت عملیات می شود.

- کاستن از بارهای جانبی وارد بر سازه

- افزایش پایداری دیواره ی حفاری

- قطع تراوش موئینه آب

✓ در طول بهره برداری:

- تقلیل فشار بالازدگی سازه ها

- کاستن از بارهای جانبی وارد بر سازه

- جلوگیری از آبهای زیر زمینی

- جلوگیری از فرسایش سازه های مدفون

حرکت آبهای زیر زمینی

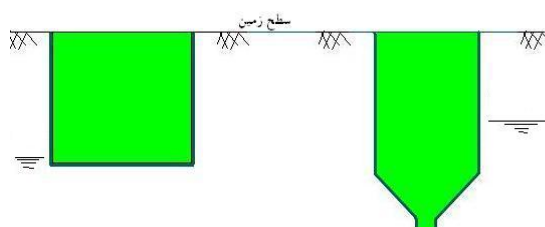
حرکت آبهای زیر زمینی در جهت شیب کلی لایه هاست، ولی نسبت به سرعت حرکت آب در سطح زمین بسیار کند و آرام می باشد. حرکت آبهای زیر زمینی گاهی اوقات بطرف رودخانه یا دامنه ها بوده و چشمه ای ظاهر می گردد.

آبهای زیر زمینی می تواند در انواع سنگها و خاک بدون توجه به سن آنها تشکیل گردد، اما بعلاوه تراکم، لایه ها جواتر از نظر میزان آب غنی تر هستند. خاکهای غیر قابل نفوذ رسی، سنگهای سخت قابلیت نفوذ پذیری بسیار اندک دارند؛ وجود شن، شن و ماسه ای، سیلتی و شنی مقدار نفوذ آب را افزایش می دهند.

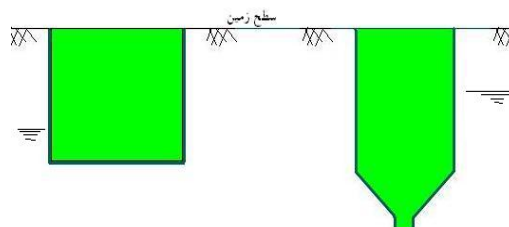
حرکت آب در داخل محیط متخلخل خاک بر اصول هیدرولیکی استوار است و در واقع وقوع حرکت آب تحت تاثیر گرایان هیدرولیکی و وضعیت پوکی، در رابطه با سهولت عبور مولکولهای آب قرار می گیرد. سرعت آب زیر زمینی از ۲ متر بر روز تا ۲ متر بر سال متغیر است.

تغییرات سطح آب زیر زمینی

سطح آب زیر زمینی در یک ناحیه، علاوه بر وضعیت تخلخل و بافت خاک، تابعی از تغییرات و شرایط گوناگون در سطح زمین است؛ از جمله تغییرات شرایط جوی در فصول سال، شرایط جوی سالیانه، مقدار پمپاژ آب، وجود رودخانه یا منابع تغذیه دیگر آبهای زیر زمین می باشد.



وضعیت سطح آب زیر زمینی در فصل پاییز



وضعیت سطح آب زیر زمینی در فصل بهار

عملکرد منفی آب زیر زمینی

آب زیر زمینی در مسیر حرکت خود مواد را حل کرده و منافذ و شکافها را گشوده و در نتیجه امکان فرار آب را افزایش می دهد. آب زیر زمینی می تواند مواد محلول خود را از محلی به محل دیگر منتقل نماید و در این راستا بدلیل گازها و مواد محلول می تواند آثار نامطلوب بر بتن و فلزات و دیگر مصالح داشته باشد.

حمله نمک های خورنده محلول در آب زیر زمینی باعث فساد بتنهای واقع در زیر سطح ایستایی می شود و متغیر بودن سطح باعث افزایش تخریب خواهد شد. از عوامل شیمیایی مضر برای بتن می توان به کربن دیوکسید، کلریدها، منیزیم، سولفات ها، و آمونیاک اشاره کرد.

تاثیر نمکهای سولفاتی بر بتن:

| میزان تاثیر | سولفات در نمونه آب (میلی گرم در لیتر) |
|-------------------|---------------------------------------|
| قابل صرف نظر کردن | ۰ - ۱۵۰ |
| کم | ۱۵۰ - ۱۰۰۰ |
| قابل توجه | ۱۰۰۰ - ۲۰۰۰ |
| شدید | ۲۰۰۰ > |

نمونه آزمایش آب زیر زمینی تصفیه خانه فاضلاب در طول سال:

| زمان انجام آزمایش | کلراید محلول در آب P.P.M | سولفات محلول در آب P.P.M | PH | نمونه آب |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-----|-----------------|
| سه ماه اول | ۴۳۲ | ۲۱۵۰ | ۷/۷ | زمین تصفیه خانه |
| سه ماه دوم | ۴۰۱ | ۱۲۲۵ | ۷/۶ | زمین تصفیه خانه |
| سه ماه سوم | ۴۹۷ | ۳۵۰۰ | ۷/۸ | زمین تصفیه خانه |
| سه ماه چهارم | ۴۴۱ | ۲۶۵۰ | ۷/۷ | زمین تصفیه خانه |

حملات سولفاتی

املاح جامد بر بتن حمله نمی کنند، اما وقتی بصورت محلول باشند می توانند با خمیرسخت شده سیمان واکنش نشان دهند. بعضی از خاکهای رس حاوی قلیائی ها، سولفات های منیزیم و کلسیم می باشند و آبهای زمینی که در تماس با این خاکها باشند در عمل محلولی سولفات ها خواهند بود. حمله سولفات ها به سیمان به این صورت رخ می دهد که سولفات ها با هیدرواکسید کلسیم و آلومینات کلسیم، هیدراته شده واکنش نشان می دهد. حاصل این واکنشها گچ (سولفات کلسیم) و سولفوآلومینات کلسیم (اترینگایت) است که حجم آنها به میزان قابل ملاحظه ای، بیشتر از حجم ترکیباتی که جایگزین نموده اند می باشد؛ بنحوی که واکنش با سولفات ها سبب انبساط و گسیختگی بتن می گردد. واکنش سولفات سدیم با هیدروکلسیم را میتوان بصورت زیر نوشت:

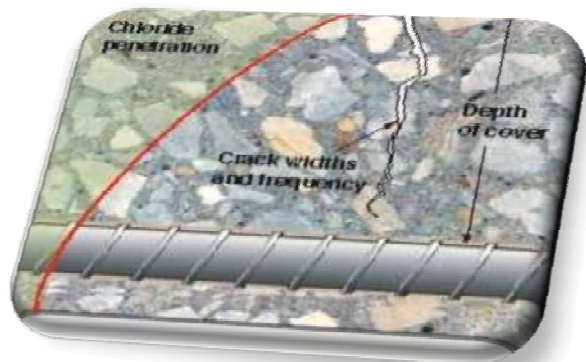


آبهای جاری می توانند Ca(OH)_2 را کاملاً در خود حل نموده و بخارج ببرند، اما اگر NaOH جمع شود، حالت تعادل حاصل خواهد شد و فقط قسمتی از SO_3 بصورت گچ رسوب می نماید.

غلظت سولفات ها بر حسب تعداد قسمتهای وزنی SO_3 در میلیون بیان می شود. غلظت ۱۰۰۰ قسمت در میلیون ppm یک محلول نسبتاً شدید و ۲۰۰۰ ppm یک محلول خیلی شدید می باشد، بخصوص اگر چنانچه MgSO_4 قسمت اعظم آن را تشکیل دهد. مقادیر متناظر سولفات محلول در خاک برابر ۰/۲ تا ۰/۵ درصد می باشد.

سولفات منیزیم دارای تاثیر مخرب بیشتری نسبت به سایر سولفات ها می باشد، زیرا به تجزیه شدن سیلیکاتهای کلسیم هیدراته شده و همچنین Ca(OH)_2 و C_3A هیدراته شده منتهی و سیلیکات منیزیم هیدراته شده، که دارای هیچ خاصیت چسبندگی ندارد، تشکیل می شود. عبارت دیگر محلول نمکهای سولفاتی از قبیل سولفات های سدیم و منیزیم به دو طریق می توانند بتن را مورد حمله و تخریب قرار دهند. در طریق اول یون سولفات ممکن است آلومینات سیمان را مورد حمله قرار داده و ضمن ترکیب، نمکهای دوتایی از قبیل: THAUMASITE و ETTRINGITE تولید نماید که در آب محلول می باشند.

وجود این گونه نمکها در حضور هیدروکسید کلسیم، طبیعت کلوئیدی (COLLOIDAL) داشته که می تواند منبسط شده و با ازدیاد حجم، تخریب بتن را باعث گردد. طریق دومی که محلولهای سولفاتی قادر به آسیب رسانی به بتن هستند عبارتست از: تبدیل هیدروکسید کلسیم به نمکهای محلول در آب مانند گچ (GYPSUM) و میرابلیت MIRABILITE که باعث تجزیه و نرم شدن سطوح بتن می شود و عمل LEACHING یا خلل و فرج دار شدن بتن به واسطه یک مایع حلال، به وقوع می پیوندد.



سرعت حمله بر بتن علاوه بر غلظت سولفات هم چنین بر روند جایگزینی سولفات از بین رفته، در اثر واکنش با سیمان، بستگی دارد. پس در تخمین خطر سولفاتها نحوه حرکت آبهای زیرزمینی باید مشخص گردد. و قتیکه یک طرف بتن در معرض فشار آب حاوی سولفات قرار می گیرد روند حمله بیشترین مقدار را خواهد داشت. اشباع شدن و خشک شدن متناوب موجب گسیختگی سریع بتن خواهد شد. از طرفی و قتیکه بتن کاملاً در زیر خاک قرار می گیرد و مجرائی برای آبهای زیرزمینی وجود نداشته باشد، این شرایط خیلی کمتر بوجود می آیند. بتنی که در معرض حمله سولفاتها قرار گرفته است دارای مشخصه ظاهری سفید رنگ است و معمولاً خسارت از لبه ها و گوشه ها شروع شده و تدریجاً با ترک خوردن و پوسته شدن، جدا شدگی ادامه یافته و بتن بحالت ترد و حتی نرم در می آید، طوریکه بعد از مدتی فقط شن و ماسه باقی می ماند.

حمله سولفاتها به غیر نفوذ بودن بتن نیز بستگی دارد؛ بتن ریزی سازه های تصفیه خانه فاضلاب در صورتیکه دارای خلل و فرج، و جدا شدگی دانه ها باشد، با نفوذ جریان آب زیرزمینی (آبهای سولفات) به داخل بتن، حمله سولفاتها سریعتر انجام می گیرد. در این حالت $\text{Ca}(\text{OH})_2$ شسته شده و تخلخل بتن افزایش یافته، طوریکه بتن مستمر ضعیف تر و در برابر حملات شیمیایی مستعدتر می شود. تبخیر در سطح بتن رسوبات کربنات کلسیم را که از واکنش $\text{Ca}(\text{OH})_2$ با دی اکسید کربن تشکیل شده، باقی می گذارد و این رسوب با ظاهر سفید رنگ، سفیدک نامیده می شود.



برای جلوگیری از حمله سولفاتها می بایست سیمانی بکار رود که مقدار C_3A کمتر لازم است، که آن سیمان همان سیمان ضد سولفات یا سیمان تپ پنج می باشد.

حملات کلریدی

وجود کلرید آزاد در بتن می تواند به لایه حفاظتی غیر فعالی که در اطراف آرماتورها قرار دارد، آسیب وارد نموده و آن را از بین ببرد. خوردگی کلریدی آرماتورهای که درون بتن قرار دارند، یک عمل الکتروشیمیایی است که بنا به خاصیتش، جهت انجام این فرآیند، غلظت مورد نیاز یون کلرید، نواحی آندی و کاتدی، وجود الکترولیت و رسیدن اکسیژن به مناطق کاتدی در سل (CELL) خوردگی را فراهم می کند. گفته می شود که خوردگی کلریدی وقتی حاصل می شود که مقدار کلرید موجود در بتن بیش از 0.6 کیلوگرم در هر متر مکعب بتن

باشد، ولی این مقدار به کیفیت بتن نیز بستگی دارد. خوردگی آبله‌رویی حاصل از کلرید می‌تواند موضعی و عمیق باشد که این عمل در صورت وجود یک سطح بسیار کوچک آندی و یک سطح بسیار وسیع کاتدی به وقوع می‌پیوندد که خوردگی آن نیز با شدت بسیار صورت می‌گیرد. از جمله مشخصات (FEATURES) خوردگی کلریدی، می‌توان موارد زیر را نام برد:

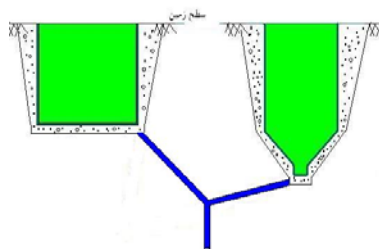
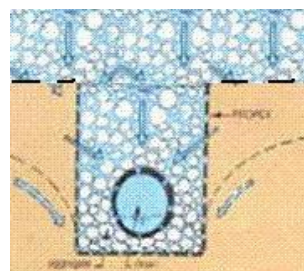
(الف) هنگامی که کلرید در مراحل میانی ترکیبات (عمل و عکس‌العمل) شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته ولی در انتها کلرید مصرف نشده باشد.

(ب) هنگامی که تشکیل همزمان اسید هیدروکلریک، درجه PH مناطق خورده شده را پایین بیاورد. وجود کلریدها هم می‌تواند به علت استفاده از افزودنیهای کلرید باشد و هم می‌تواند ناشی از نفوذیابی کلرید از هوای اطراف باشد. فرض بر این است که مقدار نفوذ یونهای کلریدی تابعیت از قانون نفوذ FICK دارد. ولی علاوه بر انتشار (DIFFUSION) به نفوذ (PENETRATION) کلرید احتمال دارد به خاطر مکش موئینه (CAPILLARY SUCTION) نیز انجام پذیرد.

زهکشی

زهکشی، علم خارج کردن آب اضافی و مازاد درون زمین می‌باشد. این آب اضافی امکان دارد باعث تخریب و سایش بتن سازه‌ها شود. امروزه زهکش‌های پیچیده چه سطحی و چه زیر زمینی را در دنیا مشاهده می‌کنیم. متأسفانه علم زهکشی در کشور ما یک علم نو پایی است. زهکش‌ها مسیرهای کنترل شده‌ای برای جریان آب است که باعث کاهش فشار وارده بر سازه شده و همچنین نیروهای بالازدگی بر سازه‌هایی که زیر سطح ایستایی قرار گرفته‌اند را کاهش می‌دهند. برخی از زهکش‌ها در زمان طراحی سازه منظور می‌شوند و برخی دیگر پس از پایان احداث سازه و بصورت روشی ترمیمی بکار می‌آیند.

ضخامت لایه‌های زهکش بستگی به نفوذ پذیری خاک محل و مقدار آب زیرزمینی که باید کنترل شود، دارد.



دانه‌بندی مصالح زهکش

جریان آرام آبهای زیرزمینی بایستی در عبور از مصالح زهکش متلاطم نشده و فرسایش را افزایش ندهد، برای این امر دانه‌بندی مصالح زهکش از اهمیت خاصی برخوردار است. دانه‌بندی باید به قدر کافی ریز دانه باشد تا مواد فرسایش یابنده را تا اندازه معینی نگه دارد؛ اما در عین حال بقدر کافی درشت دانه باشد تا اجازه دهد زه آب آزادانه انجام گیرد.

ظرفیت زهکش، حداکثر شدت جریان را که مصالح می‌تواند بدون کاهش پایداری سازه تحمل کند، مشخص می‌کند. مصالح رودخانه‌ای مورد استفاده در زهکش بایستی دقیقاً بررسی شود و در حالت عادی شرایط زیر صادق باشد:

- ۱۰۰ درصد مصالح زهکش از الک ۳۷/۵ میلی‌متر بگذرد.
- ۵۰-۷۰ درصد مصالح زهکش از الک ۱۹ میلی‌متر بگذرد.
- حداکثر ۱۰ درصد از الک ۲ میلی‌متر بگذرد.
- مصالح زهکش باید کاملاً تمیز و شسته بوده و فاقد مواد گذشته از الک نمره ۴۰ باشد.

انواع روش‌های زهکشی آبهای زیر زمینی

زہکشی ثقلی افقی

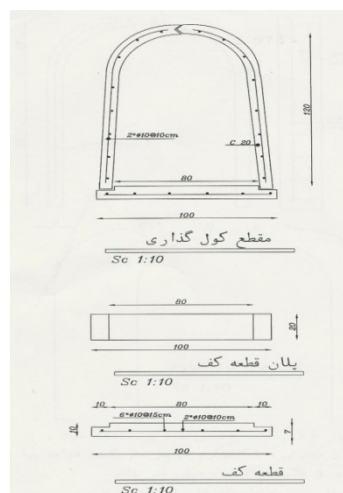
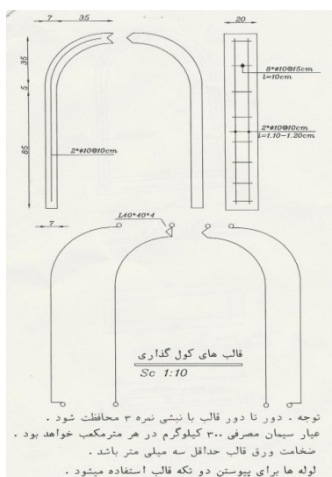
ایجاد زهکشهای تقریباً افقی می‌تواند نقش موثری در کاهش فشار آب زیر زمینی داشته باشد. از اینرو می‌توان از این روش هم برای پیشگیری از حرکت و هم جلوگیری از تحرك يك زمین لغزه در حال تشکیل استفاده کرد. به این منظور در بخشهای پایینی سازه ها ، با شیب ناچیزی به سمت خارج برای ایجاد جریان ثقلی آب، از مصالح زهکش با تعبیه‌ی لوله استفاده می‌شود.

گالری‌های زهکش

حفر نقب یا گالری‌های زهکش در اطراف و زیر سازه، مخصوصاً در جاهایی که زهکشی عمیق مورد نظر است، مفید واقع می‌شود. چنین گالری‌هایی می‌توانند با استفاده از کول‌گذاری بتنی انجام و داخل آن خالی یا لوله زهکش یا مصالح زهکش تعبیه گردد. در ساخت کولهای بتنی بایستی از املاح موجود در آب زیر زمینی مطلع شده و حد امکان در مناطق سولفات از سیمان تیپ پنج استفاده شود.



نمونہ کول بتنی



نقشه‌های اجرایی کول بتنی

زہکش ثقلی قایم

این نوع زهکشی بیش از همه برای تخلیه آب تراوش شده دیواره‌ی خاکبرداری، مواد و املاح معلق که در اطراف سازه وجود دارد، بکار برده می‌شود.

یمیاز

حفر چاه‌های عمیق و پمپاژ آنها می‌تواند بطور موقت در بهبود وضعیت آب‌های زیر زمینی موثر باشد. این روش نیازمند سرمایه‌گذاری و هزینه بهره‌برداری مالی زیاد می‌باشد.

نتیجه گیری

با توجه به موقعیت زمین تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهری، انجام مطالعات ژئوتکنیک قبل از اجراء عملیات سازه‌ها برای کنترل جریان آب زیرزمینی ضروری است. با ایجاد زهکشی محوطه و تخلیه آب زیر زمینی به بیرون از محوطه، از حملات املاح موجود در آب زیر زمینی و خاک بر سازه‌ها جلوگیری، طول عمر سازه تصفیه‌خانه افزایش، هزینه اجرای پروژه بخصوص در عملیات زیر تراز آب نظیر قالب‌بندی، آماتورگذاری، و بتن‌ریزی کاهش می‌یابد. برای جلوگیری از تماس بتن سازه‌ها با آب خورنده، می‌توان سطح بتن را با اپوکسی، قیر یا مواد نفوذ ناپذیر کننده دیگر پوشانده و از سیمان مناسب و افزودنی‌های لازم استفاده کرد.

منابع

- ۱- منزوی، محمد تقی، «فاضلاب شهری - تصفیه فاضلاب»، دانشگاه تهران، انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۶۶
- ۲- نجمایی، محمد، «هیدرولوژی مهندسی»، دانشگاه علم و صنعت ایران، انتشارات سارا ۱۳۶۸
- ۳- راجرد، ویست، «شناخت آبهای زیرزمینی» ترجمه هرمز پازوش، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۹
- ۴- معماریان، حسین، «زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک»، دانشگاه تهران، انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۷۴
- ۵- رمضانپور، علی اکبر و پاشایی، رضا، «تعمیر و حفاظت سازه های بتنی»، انتشارات نوپردازان ۱۳۸۱