شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران

# دستورالعمل پایش آبهای زیرزمینی

## شماره: ۲۱۷۰۰۱۵

| تاریخ تصویب/ بازنگری | شرح بازنگری | تنظیم و تدوین کننده | تأیید کننده | تصویب کننده |
|---|---|---|---|---|
| ۱۳۹۰/۰۷/۰۳ | | معاون مدیر توسعه منابع انسانی در امور سازمان سیروس دهقان مدیسه | مدیر بهداشت، ایمنی و محیط زیست اصغر رمضانی | معاون وزیرومدیرعامل شرکت ملی پالایش و پخش علیرضا ضیغمی |
| | | | | |
| | | | | |

## فهرست

۱- هدف ..... ۲
۲- دامنه کاربرد ..... ۲
۳- تعاریف ..... ۲
٤- مسئولیت‌ها ..... ۲
۵- روش اجرایی ..... ۳
۶- مطالعات مهندسی ..... ۳
۷- عملیات اجرائی ..... ٤
۸- تعمیر و نگهداری ..... ۵
۹- آموزش ..... ۵
۱۰- مستندات ..... ۵
۱۱- تصویب و اجرا ..... ٦

پیوست شماره ۱: راهنمای عمومی چاه پایش ..... ۷
پیوست شماره ۲: راهنمای عمومی روش ژئوالکتریک ..... ۷۸

## ۱- هدف

هدف از تهیه این دستورالعمل، یکسان‌سازی رویه‌ها در نحوه انجام عملیات پایش آب‌های زیرزمینی در سطح شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران است.

## ۲- دامنه کاربرد

کلیه شرکت‌های تابعه شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران که به نوعی پتانسیل نشت و انتشار آلودگی‌های نفتی را در آب‌های زیرزمینی منطقه خود دارا می‌باشند.

## ۳- تعاریف

- **آب زیرزمینی:** عبارت است از کلیه آب‌های تحت‌الارضی که به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم می‌توانند تحت تأثیر عملیات شرکت قرار گیرند.
- **پایش:** برقراری یک سیستم کنترلی جهت بررسی میزان و نحوه انتشار آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی از طریق روش‌های سنتی (چاه پایش) و یا مدرن (ژئو الکتریک).

## ٤- مسئولیت‌ها

- **مدیر عامل:** مسئولیت ابلاغ، پیگیری اجرای صحیح و به موقع و پایش دستورالعمل را برعهده دارد.
- **مدیر تحقیق و توسعه:** مسئولیت سیاست‌گذاری و انجام مطالعات مهندسی و ارائه گزارش جهت شروع عملیات پایش را عهده‌دار می‌باشد.
- **مدیر ایمنی، بهداشت و محیط زیست:** مسئولیت نظارت بر حسن اجراء، پایش و ارائه گزارش به مدیر عامل را برعهده دارد.

## ۵- روش اجرایی

از آنجایی که فعالیت شرکت‌ها و واحدهای تابعه شرکت ملی پالایش و پخش، پتانسیل نشت و انتشار مواد نفتی در خاک و بالطبع، آلودگی آب‌های زیرزمینی را دارند، لازم است تمهیدات خاصی در این خصوص اندیشیده شود. از این رو، ضروری است کلیه شرکت‌های تابعه بر اساس این دستورالعمل، یک روش اجرایی ویژه در خصوص پایش آب‌های زیرزمینی مختص سایت عملیاتی خود تهیه و به مرحله اجرا گذارند. روش اجرایی فوق باید حداقل‌های زیر را در بدنه خود لحاظ نماید:

- شناسایی الزامات قانونی ملی و بین المللی؛
- تدوین استراتژی، اهداف و برنامه‌ها؛
- تدوین دستورالعمل‌ها و رویه‌های اجرایی؛
- نحوه انجام مطالعات مهندسی به منظور تعیین روش بهینه پایش (چاه پایش، ژئوفیزیک، ژئوالکتریک و سایر روش‌های کاربردی)؛
- نحوه تدوین برنامه‌های اجرایی و اولویت‌بندی آن‌ها بر اساس استراتژی و مطالعات مهندسی مصوب؛
- نحوه مستند سازی اقدامات اجرایی صورت گرفته؛ و
- تهیه گزارش سالیانه از وضعیت اجرای برنامه‌ها و میزان دسترسی به اهداف تعیین شده.

## ۶- مطالعات مهندسی

کیفیت آب زیرزمینی در منابع دارای پتانسیل آلودگی را می‌توان از روش‌های مختلفی مانند حفر چاه پایش و آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی و یا استفاده از روش‌های مغناطیسی و الکتریکی تعیین نمود. در این خصوص در مرحله اول لازم است تا بر اساس مشخصات سایت عملیاتی، مطالعات مهندسی مربوطه بر اساس متدولوژی‌های روز دنیا صورت پذیرد. برخی فاکتورهای حائز اهمیت در تعیین روش پایش به شرح زیر می‌باشد:

- هدف از پایش؛
- ویژگی‌های هیدروژئولوژی سایت؛
- ویژگی‌های آلاینده‌ها و میزان توسعه آن (Plume)؛
- تداخل‌های انسانی؛
- مسایل مالی، بودجه و سرمایه‌گذاری؛ و
- پیکربندی ناحیه آلوده و یا تعداد مسیرها که خود ترکیبی از ویژگی‌های هیدرولوژیک و ژئولوژیک، ویژگی‌های آلاینده‌ها و اثرات انسان می‌باشد.

انجام مطالعات فوق در قالب پروژه‌های تحقیقاتی و پژوهشی قابل تعریف بوده و باید در اولویت-های پروژه‌های مذکور لحاظ گردد. کلیه مستندات مطالعات و نقشه‌های مربوطه باید در آرشیو فنی نگهداری شده و برای متخصصین مربوطه در دسترس باشد. لازم به ذکر است سایت‌های عملیاتی که مطالعات فوق را انجام داده و حتی در مواردی بر اساس مطالعات فوق چاه‌های پایش را احداث نموده‌اند لازم است از کفایت و صلاحیت مطالعات و بخصوص مکان‌یابی چاه‌ها اطمینان حاصل نمایند. راهنمای پیوست، برخی اطلاعات علمی مربوطه را ارائه می‌نماید.

## ۷- عملیات اجرائی

هر گونه عملیات اجرائی در خصوص پایش آب‌های زیرزمینی باید بر اساس اصول اولیه طراحی صورت پذیرد. عملیات مذکور باید توسط پیمانکاران دارای تجهیزات و صلاحیت متناسب با طرح مهندسی صورت پذیرفته و پس از نهایی شدن عملیات، نقشه‌های چون‌ساخت (as built) تهیه و در مستندات مربوطه نگهداری شود. در صورت استفاده از چاه پایش، به منظور بهره‌برداری اصولی باید دستورالعمل لازمه تهیه و بر اساس آن، عملیات بهره‌برداری صورت پذیرد. راهنمای پیوست، برخی اطلاعات علمی مربوطه را ارائه می‌نماید.

## ۸- تعمیر و نگهداری

در صورت استفاده از چاه پایش، به منظور حفظ سلامت چاه و افزایش طول عمر و زمان سرویس‌دهی آن، لازم است دستورالعمل نحوه تعمیر و نگهداری چاه پایش تهیه شود و اقدامات لازمه در قالب یک برنامه زمان‌بندی منظم صورت پذیرد. راهنمای پیوست، برخی اطلاعات علمی مربوطه را ارائه می‌نماید.

## ۹- آموزش

کلیه پرسنل مرتبط با پایش آب‌های زیرزمینی باید در دوره‌های آموزشی مربوطه شرکت و توانمندی‌های لازمه را کسب نمایند. نوع آموزش‌های تخصصی باید متناسب با روش پایش انتخاب شده برای سایت عملیاتی باشد و پرسنل مورد نظر توانمندی‌های مربوطه را کسب نمایند.

## ۱۰- مستندات

کلیه مستندات مربوط به روش پایش که حداقل شامل موارد زیر می‌گردند باید ثبت، نگهداری و به روزرسانی گردند:

- مبانی طراحی؛
- مطالعات مهندسی؛
- نقشه‌های جانمایی و طراحی؛
- نقشه‌های اجرایی و چون‌ساخت؛
- دستورالعمل بهره‌برداری؛
- سوابق بهره‌برداری؛
- دستورالعمل تعمیر و نگهداری؛

- سوابق تعمیر و نگهداری؛
- سوابق پایش (شامل بازدید، بررسی و بازرسی میدانی)؛
- سوابق آموزش؛ و
- سوابق گزارش‌دهی.

## ۱۱- تصویب و اجرا

این دستورالعمل توسط مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست تهیه شده و توسط معاونت توسعه منابع انسانی در امور سازمانی در یازده بند تنظیم و تدوین یافته و در تاریخ ۳ /۵/ ۱۳۹۰ به تصویب معاون محترم وزیر و مدیر عامل شرکت رسیده است و در سطح شرکت ملی پالایش و پخش لازم الاجرا می‌باشد.

| | | |
|---|---|---|
| اصغر رضایی | سیروس دهقان مدیسه | علیرضا ضیغمی |
| مدیر بهداشت، ایمنی و محیط زیست | معاون مدیر توسعه منابع انسانی در امور سازمانی | معاون وزیر و مدیر عامل |

# پیوست شماره ۱

# راهنمای عمومی چاه پایش

## مقدمه

هدف از ایجاد چاه‌های پایش، دسترسی به سطوح زیرزمینی به منظور جمع‌آوری نمونه‌های آب زیرزمینی است. کلیه عملیات طراحی، نصب و اجرای چاه‌های پایش باید مطابق با ویژگی‌های مبتنی بر هیدرولوژی محل، ژئوشیمی و همچنین شناخت دقیق آلودگی‌های پیرامونی باشد. اگرچه نمی‌توان بطور دقیق مشخصاتی را برای تمامی شرایط تعریف نمود، لیکن تعیین و شناخت اصول مشترک طراحی امکان‌پذیر می‌باشد.

## ۱- تعاریف

- **چاه پایش (Monitoring Well)**

چاه پایش عبارت است از حفره، چاهک، سوراخ یا حفاری ایجاد شده توسط مکانیسم‌های مختلف حفاری، چاه‌کنی و غیره که به منظور تعیین خواص فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک و یا رادیولوژیک آب زیرزمینی ایجاد می‌گردد.

- **رایزر (Riser)**

رایزر عبارت است از لوله‌ای که داخل پوسته چاه، تعبیه و از صافی ته چاه تا بالای سطح زمین کشیده می‌شود.

- **آنالوس (Annulus)**

آنالوس به فضای حلقوی بین پوسته و رایزر گفته می‌شود.

- **چاهک (Borehole)**

حفره زیرزمینی باز یا بسته‌ای است که توسط عملیات حفاری ایجاد شده است.

- **پوسته (Casing)**

لوله‌ای است که در چاهک نصب می‌شود تا یکنواختی، یکپارچگی، انسجام و استحکام آن را حفظ نماید. هدف از ایجاد پوسته، دسترسی بدون مزاحمت به مناطق زیرسطحی جهت نمونه‌برداری از آب زیرزمینی و تعیین سطح و کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد.

- **سِرج (Surge)**

هر عملی که باعث شود آب به سرعت از صافی چاه وارد و یا خارج گردد.

- **حرکت افقی جریان (Advection)**

عبارت است از انتقال مواد حمل شونده توسط جریان آب زیرزمینی به صورت افقی.

- **پراکنش مکانیکی (Mechanical Dispersion)**

از آنجا که آب حاوی مواد حل شونده با سرعت یکسانی حرکت نمی‌کند، اختلاط در طول مسیر جریان اتفاق می‌افتد که به آن پراکنش مکانیکی گویند. این اختلاط باعث توزیع ماده حل شونده در مرز پیش‌رونده جریان می‌شود.

- **نفوذ (Diffusion)**

فرایندی است که توسط آن اجزای مولکولی و یون حل شده در آب از ناحیه‌ای با غلظت (یا به عبارتی اکتیویته شیمیایی) بالاتر به ناحیه‌ای با غلظت کمتر حرکت می‌کند.

- **کلوئید (Cloide)**

کلوئیدها ذراتی با قطر کمتر از ۱۰ µm هستند که شامل مولکول‌های درشت آلی حل شده، میکروارگانیسم‌ها، ریزامولاسیون‌هایی با فاز مایع آلی، رسوب‌های معدنی، مواد ناشی از فرسایش توسط باد و باران، رسوب‌های عناصری با عدد اتمی بیشتر از اورانیوم مثل پلوتونیم و اجزای معدنی و سنگی می‌باشد.

- **اثر ممانعت عبور به خاطر اندازه ذره (Size-Exclusion Effect)**

اثر ممانعت عبور کلوئید از منفذ به خاطر اندازه آن است و زمانی اتفاق می‌افتد که مولکول‌ها یا یون‌ها آن‌قدر بزرگ هستند که نمی‌توانند از منافذ کوچک‌تر عبور کنند.

- **مایع فازی غیر آبی سنگین (DNAPL)**

اگر آلاینده‌ای از آب زیرزمینی چگال‌تر باشد تمایل به ته‌نشینی داشته و ممکن است به عنوان یک مایع فازی غیر آبی سنگین (DNAPL) ته‌نشین گردد. DNAPL ها شامل ترکیبات کلردار (مثل تتراکلرید کربن و تتراکلرو اتیلن)، PCB ها و کروزوت (Creosote) می‌باشند.

- **مایع فازی غیر آبی سبک (LNAPL)**

یک آلاینده سبک‌تر از آب زیرزمینی تمایل دارد که در بخش‌های فوقانی مناطق اشباع به عنوان مایع فازی غیر آبی سبک (LNAPL) باقی بماند. LNAPL ها عمدتاً شامل روغن‌ها و سوخت‌های هیدروکربوری می‌باشند.

- **Partitioning**

فرآیندی است که توسط آن، آلاینده‌ای که اصالتاً متعلق به فاز محلول است، بین آن محلول و فاز جامد توزیع می‌شود.

- **فاصله‌گذاری**

منظور از فاصله‌گذاری، ایجاد فاصله بین چاه‌های مجاوری است که منطقه‌ای خاص را پایش می‌کنند.

- **لوله ترمی (Tremie Pipe)**

لوله یا شلنگی که برای نصب مواد ساخت و ساز مثل بستر فیلتر چاه استفاده می‌شود.

- **چاه‌های تک‌رایزر (limited interval)**

چاه‌هایی که به منظور پایش یک ناحیه مجزا در یک چاهک مشخص طراحی شده‌اند.

- **چاه‌های چند نقطه ای**

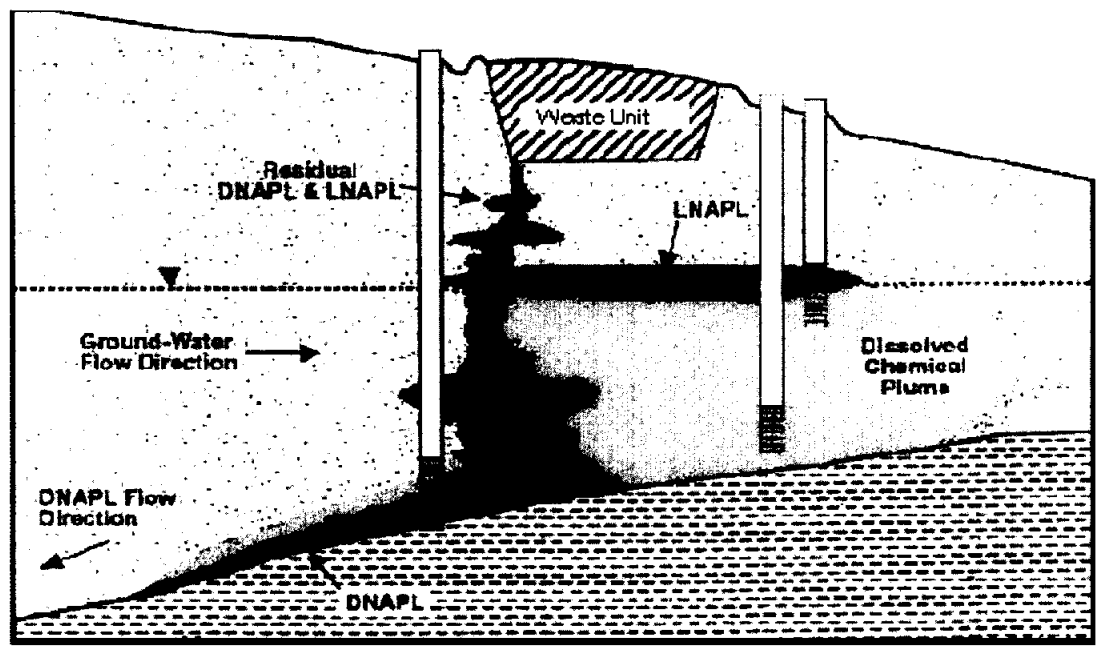
چاه‌هایی که به منظور پایش عمق‌های مجزای چندگانه در یک موقعیت خاص طراحی شده‌اند.

- **بستر فیلتر**

محفظه‌ای از شن یا ماسه یکنواخت، تمیز و کاملاً کروی است که بین بافت خاک و صافی قرار گرفته و مانع ورود لای و رسوب به چاه می‌شود.

## ۲- جانمایی چاه پایش

کیفیت آب زیرزمینی در منابع دارای پتانسیل آلودگی را می‌توان با آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی که از چاه‌های پایش بدست آمده، تعیین نمود. لذا چاه‌های پایش باید بطور مناسب جانمایی، ساخته و نصب شده باشند.




فاکتورهای زیر در جانمایی چاه پایش حائز اهمیت است:

- هدف از پایش؛
- ویژگی‌های هیدروژئولوژی سایت؛
- ویژگی‌های آلاینده‌ها و میزان توسعه آن (Plume)؛
- تداخل‌های انسانی؛
- مسایل مالی، بودجه و سرمایه‌گذاری؛ و
- پیکربندی ناحیه آلوده و یا تعداد مسیرها که خود ترکیبی از ویژگی‌های هیدرولوژیک و ژئولوژیک، ویژگی‌های آلاینده‌ها و اثرات انسان می‌باشد.

## ۲-۱- هدف از پایش

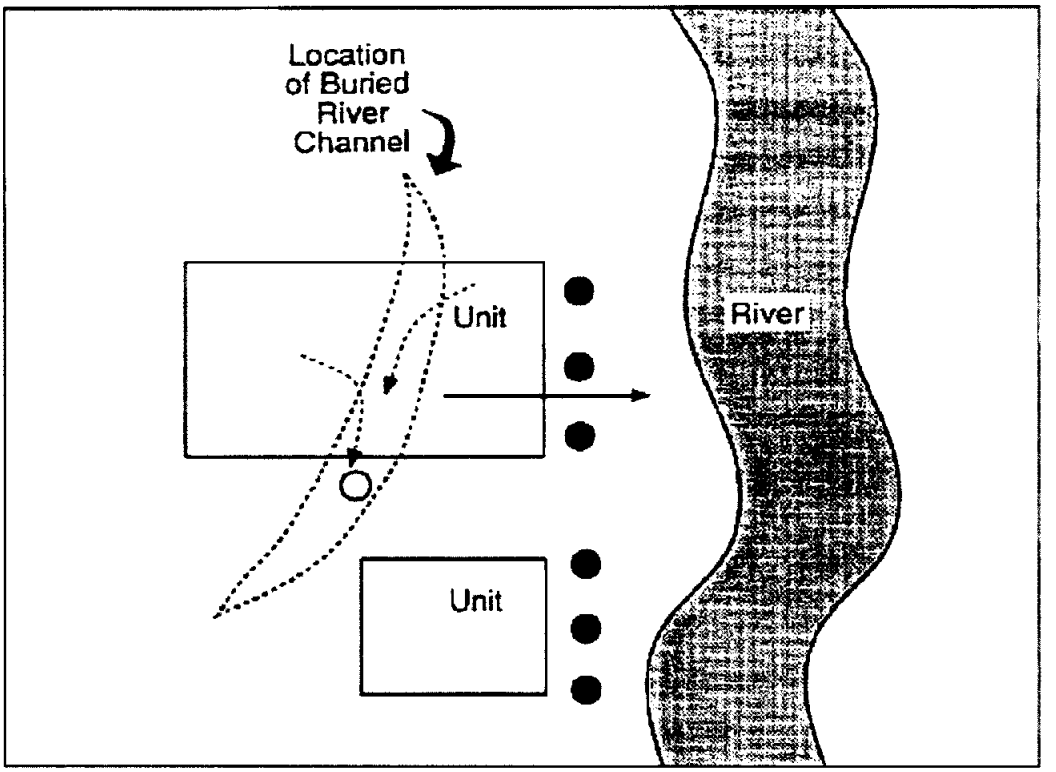
جانمایی مناسب چاه‌های پایش به منظور محقق نمودن اهداف زیر ضروری است: ۱) تعیین جهت جریان؛ ۲) شناسایی نحوه تخلیه آلاینده‌ها از منبع یا منابع احتمالی؛ ۳) تعیین وسعت آلودگی؛ ۴) کمک

در طراحی اقدام اصلاحی؛ ۵) پایش کارآیی و راندمان اقدام اصلاحی؛ ۶) تعیین غلظت آلاینده‌ها برای ارزیابی ریسک.

## ۲-۲- هیدورژئولوژی سایت

شناخت اصول حاکم بر جریان آب زیرزمینی (مثل سرعت، جهت و گرادیان جریان) از میان انواع گوناگون ساختارهای زمین‌شناختی، نقش مهمی در تعیین استراتژی مناسب برای شناخت مسیرهای حرکت آلاینده‌ها و جانمایی محل‌های پایش آب زیرزمینی دارد. در واقع اگر توزیع و ویژگی‌های مواد به درستی تعیین نگردد، نواحی نیازمند پایش نیز ممکن است بطور نادرست تعیین شده و نحوه رهاسازی آلاینده‌ها کشف نگردد. شرایط هیدروژئولوژی مؤثر بر جانمایی چاه‌ها عبارت است از: سطح آب زیرزمینی، مصالح زیرزمینی (مانند بسترهای صخره‌ای یا بسترهای غیر همگن)، وجود نواحی چندگانه آب زیرزمینی، نوع ناحیه (محصور یا غیر محصور).

مسیرهایی که آلاینده‌ها ترجیح می‌دهند در آن حرکت کنند شامل نواحی دارای شکستگی و یا هدایت هیدرولیکی (K) نسبتاً بالا می‌باشد. نحوه توزیع این مواد می‌تواند نقش قابل توجهی در تعیین حرکت آب و آلاینده داشته باشد. وجود نواحی نفوذپذیر درون نواحی با نفوذپذیری کمتر باعث به وجود آمدن مسیرهای متعددی برای حرکت از منبع آلاینده می‌شود. برای مثال، شکل ۱ یک کانال زیرزمینی رودخانه را نشان می‌دهد. حرکت جریان محلی و منطقه‌ای آب زیرزمینی به سمت رودخانه می‌باشد، اگر چه در قسمتی از سایت آب زیرزمینی در راستای کانال جریان می‌یابد. شکل ۲ نشان می‌دهد که چگونه آب و آلاینده‌ها در جهت افقی (across a perched water zone) و سپس در جهت عمودی از میان ناحیه اشباع نشده حرکت کرده و آلاینده‌ها را از مسیری پر پیچ و خم که به راحتی قابل تعیین نیست، به سفره آب در ارتفاعی پایین‌تر منتقل می‌کند. در شکل ۳ پیچیدگی الگوی جریان به واسطه شکستگی‌ها نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که جهت جریان محلی و منطقه‌ای به سمت جنوب است. با این حال، جهت‌گیری، چگالی و نحوه اتصال شکستگی‌ها، آب زیرزمینی و آلاینده‌ها را ابتدا به سمت جنوب شرقی و سپس جنوب غربی هدایت می‌کند.




Downgradient detection wells

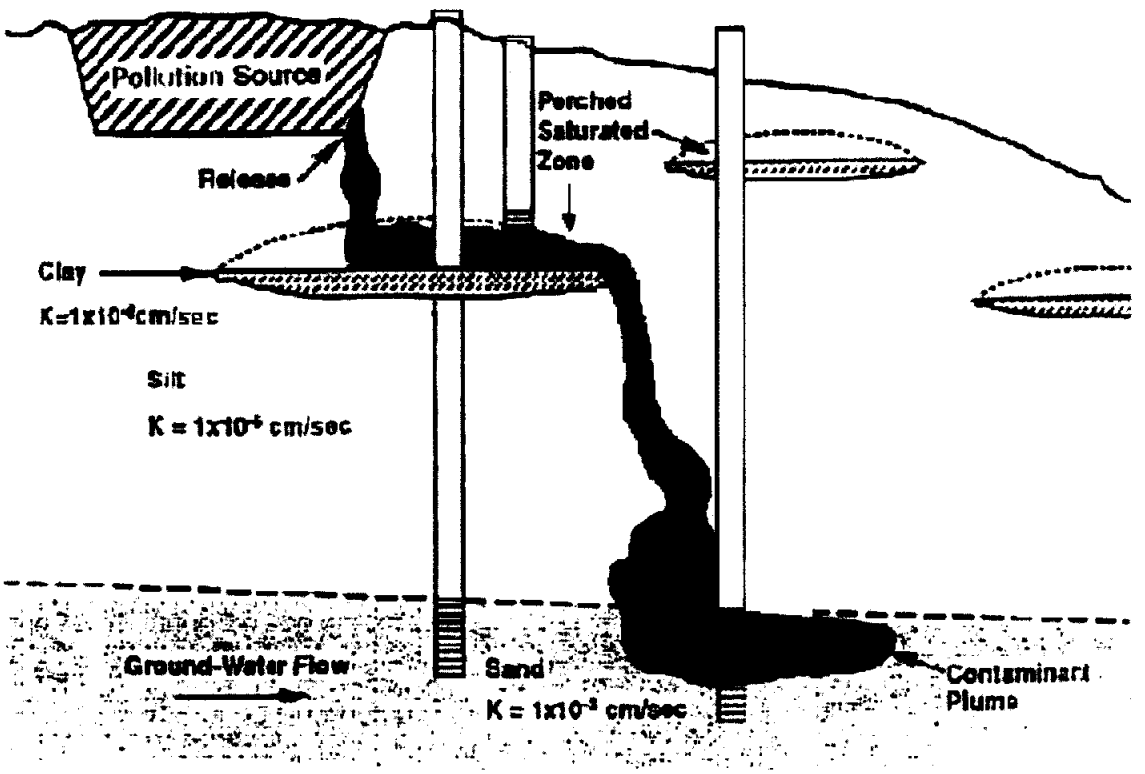
Downgradient well in buried channel

Preferential pathway of contaminant migration into the buried river channel

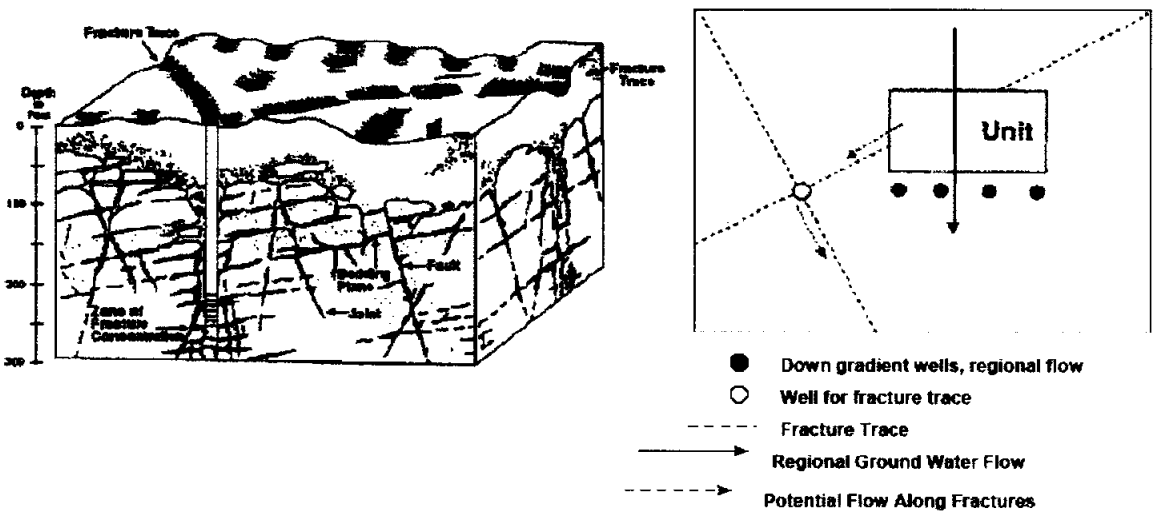
Local ground-water flow direction

شکل ۱: یک کانال زیرزمینی رودخانه‌ای. حرکت جریان محلی و منطقه‌ای آب زیرزمینی به سمت رودخانه می‌باشد؛

اگر چه در قسمتی از سایت، آب زیرزمینی در راستای کانال جریان می یابد




شکل ۲: آب و آلاینده‌ها در جهت افقی (across a perched water zone) و سپس در جهت عمودی از میان ناحیه اشباع نشده حرکت می‌کند




شکل ۳) شکستگی‌های پیچیده، مسیرهای چندگانه‌ای را برای حرکت آلاینده‌ها ایجاد می‌کند

مکانیزم‌های کنترل کنندهٔ حرکت آلاینده‌های محلول از درون محیط متخلخل شامل حرکت افقی جریان، پراکنش مکانیکی و نفوذ می‌شود. آب زیرزمینی گاهی با سرعت هایی بالاتر و یا گاهی کمتر از سرعت خطی میانگین حرکت می‌کند. چرا که ۱) سیال در مرکز منفذ سریع‌تر از نزدیک دیواره آن حرکت می‌کند؛ ۲) سیال مسیرهای کوتاه‌تر را طی می‌کند و یا به اطراف منشعب می‌شود؛ ۳) سرعت سیال حین عبور از منافذ بزرگ‌تر سریع‌تر از زمانی است که از منافذ کوچک‌تر عبور می‌کند. از آنجایی که آب حاوی حل شونده با سرعت یکسانی حرکت نمی‌کند، اختلاط در طول مسیر جریان اتفاق می‌افتد. این اختلاط را پراکنش مکانیکی می‌گویند که باعث توزیع حل شونده در مرز پیش‌رونده جریان می‌شود. اختلاطی که در راستای جریان اتفاق می‌افتد، پراکنش طولی نام دارد. پراکنش عمود بر راستای جریان که به اطراف منشعب می‌شود را پراکنش عرضی می‌نامند.

پراکنش مکانیکی و نفوذ مولکولی در جریان آب زیرزمینی قابل تشخیص نبوده و اغلب به طور مشترک به عنوان پراکنش هیدرودینامیکی از آن‌ها یاد می‌شود. بسته به میزان پراکنش، ناحیه آلوده ممکن است وسیع و یا محدود باشد. پراکنش هیدرودینامیکی همچنین باعث می‌شود تا آلاینده به میزان قابل توجهی سریع‌تر از زمانی که تنها بر پایه سرعت میانگین جریان محاسبه شده بود، به نقطه خاصی برسد.

انتقال کلوئیدی باعث حضور بیشتر آلاینده‌ها نسبت به میزان پیش‌بینی شده از معادلات انتقال توده‌ای ماده حل‌شونده می‌گردد. اندازه کلوئیدها در حدی است که می‌تواند از میان منافذ نواحی آب زیرزمینی عبور کند. این کلوئیدها می‌توانند آلاینده‌های آلی و غیر آلی را جذب و تثبیت کرده و در نتیجه، یک فاز سیار ثانویه را تشکیل دهند.

ممکن است کلوئیدها سرعتی بالاتر از سرعت خطی میانگین داشته باشند. علت آن اثر ممانعت عبور کلوئید از منفذ به خاطر اندازه آن است و زمانی اتفاق می‌افتد که مولکول‌ها یا یون‌ها آن‌قدر بزرگ هستند که نمی‌توانند از منافذ کوچک‌تر عبور کنند. در نتیجه، کلوئیدها تنها می‌توانند از منافذ بزرگ‌تر که سرعت آب زیرزمینی در آن‌ها بیش از مقدار میانگین است، حرکت نمایند. این اثر بیشتر در مواد ریزدانه دیده می‌شود که اندازه منافذ آن برای عبور برخی مولکول‌ها کوچک است.

## ۲-۳- ویژگی آلاینده‌ها

معمولاً امکان مواجهه با سه نوع آلاینده در سطوح آب زیرزمینی وجود دارد. آلاینده‌هایی که در آب زیرزمینی حل شده‌اند (آبی یا aqueous)، مایعات فاز غیر آبی (NAPLs) و مواد معلق (ذرات با اندازه کلوئید که ممکن است خنثی بوده یا بصورت بیولوژیک فعال باشند). غایت و نحوه حرکت آلاینده‌ها تابع ویژگی آن‌هاست که برخی از این ویژگی‌ها شامل -و نه محدود به- حلالیت نسبی، چگالی، ویسکوزیته، پتانسیل جذب، واکنش و میزان تخریب می‌باشد. در صورت وجود آلودگی‌های مرکب با خواص متفاوت، امکان شکل‌گیری توده‌های چندگانه وجود دارد.

- **حلالیت نسبی**

حلالیت نسبی، تعیین کننده این موضوع است که یک آلاینده معین در آب زیرزمینی به صورت یک ماده حل شده یا به شکل یک فاز آزاد و غیر قابل حل وجود دارد. حرکت فاز محلول معمولاً در جهت جریان آب زیرزمینی بوده و عمدتاً با اصول و قوانین فرآیندهای فیزیک و شیمی مثل حرکت افقی و پراکنش و رقیق سازی (بیولوژیک/شیمیایی و جذب) مطابقت دارد. حرکت NAPL تحت تأثیر چگالی سیال می‌باشد. چگالی سیال، جرم سیال در واحد حجم آن ($g/cm^3$) است. اگر آلاینده‌ای از آب زیرزمینی چگال‌تر باشد، تمایل به ته‌نشینی داشته و ممکن است به عنوان یک مایع فازی غیر آبی سنگین (DNAPL) ته‌نشین گردد. بر عکس، یک آلاینده سبک‌تر تمایل دارد در بخش‌های فوقانی مناطق اشباع به عنوان مایع فازی غیر آبی سبک (LNAPL) باقی بماند. LNAPL ها عمدتاً شامل روغن‌ها و سوخت‌های هیدروکربوری و DNAPL شامل ترکیبات کلردار (مثل تتراکلرید کربن و تتراکلرو اتیلن)، PCB ها و کروزوت می‌باشند (U.S. EPA, 1993a; AWWA, 2006) .

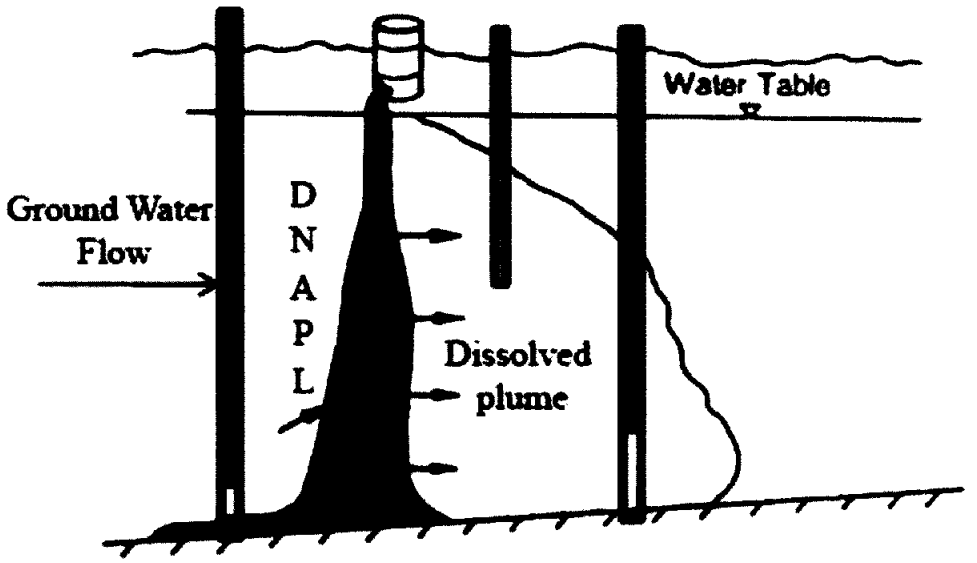
چگالی یک آلاینده در ارتباط با حلالیت نسبی‌اش بر روی شکل و نحوه استقرار توده آلاینده در فاز آزاد یا محلول تأثیر گذار است. لذا آلاینده‌های منفرد می‌توانند بر اساس حلالیت نسبی و چگالی به صورت زیر طبقه‌بندی شوند:

۱) چگالی بالا و نسبتاً محلول (شکل۴)؛

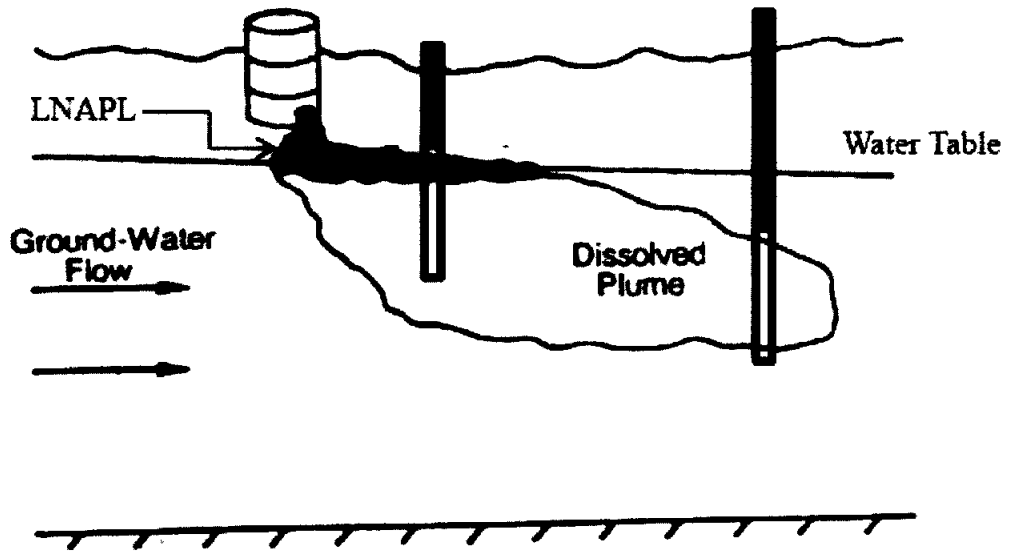
۲) چگالی پایین و نسبتاً محلول (شکل ۵)؛

۳) چگالی بالا و نسبتاً نامحلول (شکل ۶)؛ و

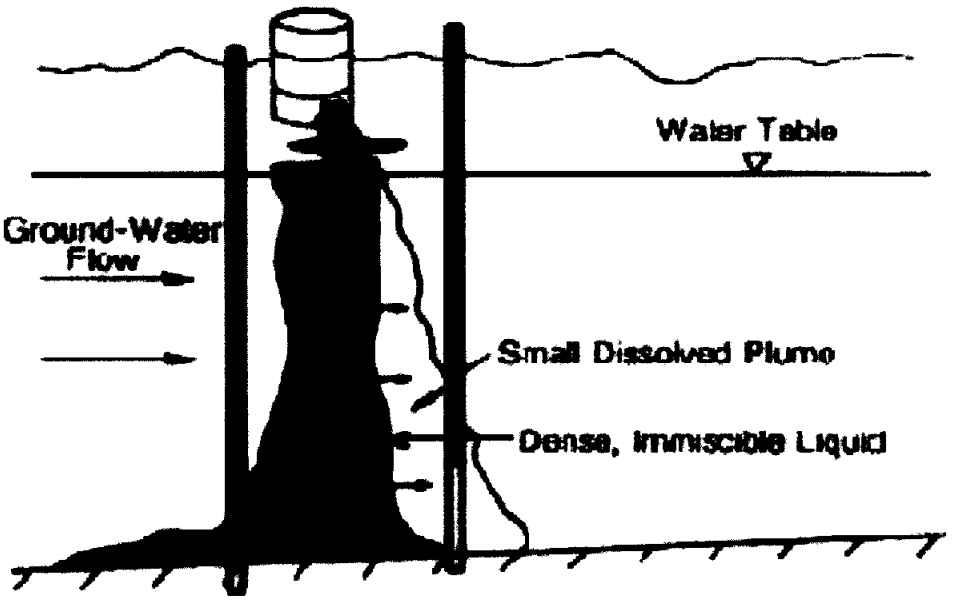
۴) چگالی پایین و نسبتاً نامحلول (شکل ۷).



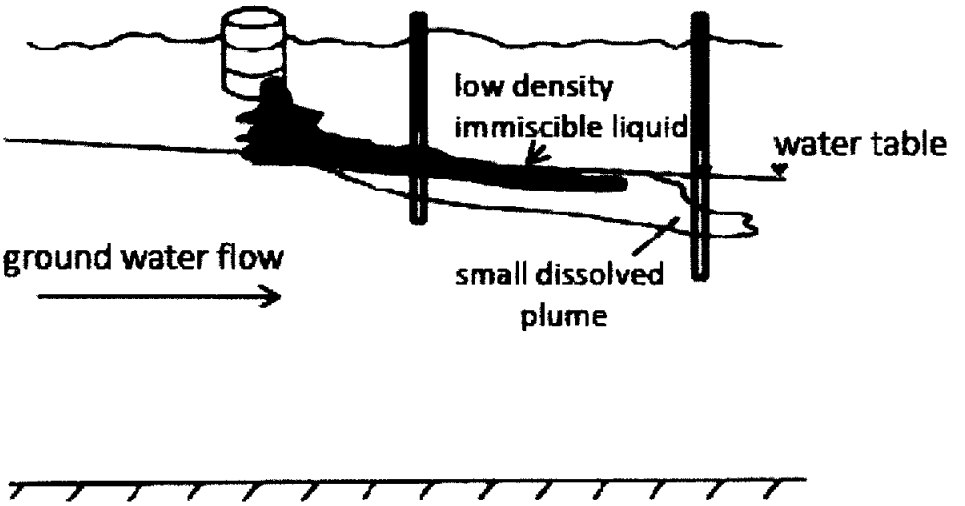

شکل ۴) نحوه حرکت آلاینده با چگالی بالا و نسبتاً محلول در سطوح زیرزمینی




شکل ۵: نحوه حرکت آلاینده با چگالی پایین و نسبتاً محلول در سطوح زیرزمینی




شکل ۶: نحوه حرکت آلاینده با چگالی بالا و نامحلول در سطوح زیرزمینی




شکل ۷: نحوه حرکت آلاینده با چگالی پایین و نامحلول در سطوح زیرزمینی

آلاینده‌های نسبتاً محلول معمولاً در سطوح زیرزمینی در حرکت بوده و می‌توانند توده آلاینده محلول بزرگ به همراه توده‌های فاز آزاد نسبتاً کوچک تشکیل دهند.

چنانچه آلودگی با چگالی بالا و نسبتاً محلول باشد، می‌تواند تمامی ضخامت لایه اشباع را در بر بگیرد (شکل ۴ و ۶)؛ به علاوه، اگر آلودگی با چگالی پایین و نسبتاً محلول باشد، بخش عمده آلودگی در قسمت فوقانی ناحیه اشباع محدود می‌گردد (شکل ۵). عمق فاز محلول با رژیم جریان عمودی مرتبط می‌باشد.

مایعات غیر محلول بصورت توده‌های بزرگ مایع آزاد با توده‌های محلول کوچک ایجاد می‌شوند (شکل ۶ و ۷). DNAPLs تمایل به حرکت عمودی در عمق یک رویه آب زیرزمینی و پخش شدن روی لایه پایینی غیر قابل نفوذ را دارد. در برخی موارد DNAPL ها در جهتی غیر از جهت جریان آب‌های زیرزمینی حرکت می‌کند (شکل ۴ و ۶). LNAPL ها عموماً به سطح لایه آب زیرزمینی حرکت نموده و هاله‌ای از آب زیرین را به صورت محلول تحت تأثیر آلودگی قرار می‌دهند (شکل ۵ و ۷). اطلاعات تکمیلی در مورد نحوه حرکت NAPLها را می‌توان در U.S. EPA (1993) جستجو نمود.

تشخیص LNAPL یا DNAPL بودن یک ترکیب به واسطه ماده‌ای که در آن حل می‌شود می‌تواند امر پیچیده‌ای باشد. برای مثال، فاز آزاد PCB از آب سنگین‌تر است ولی PCBها در روغن ممکن است LNAPL باشد.

- **ویسکوزیته سینماتیک**

ویسکوزیته سینماتیک یک مایع فاز غیر آبی (NAPL) نشان‌دهنده پتانسیل آن ترکیب (در فرم خالص) برای نفوذ در سطوح زیرزمینی است. در واقع ویسکوزیته سینماتیک، نسبت ویسکوزیته دینامیک به چگالی است. ویسکوزیته دینامیک، شاخصی است که آسانی جریان یافتن یک ترکیب (در فرم خالص) را نشان می‌دهد. ویسکوزیته سینماتیک پایین‌تر، بیانگر تمایل بیشتر برای نفوذ به محیط متخلخل

است. به طور معمول اگر مقدار این شاخص کمتر از cs[1] ۰/۴ باشد، تحرک بالاست و اگر بین ۰/۴ تا cs ۰/۸ باشد، تحرک متوسط و اگر بزرگ‌تر از cs ۰/۸ باشد، تحرک پایین است.

ویسکوزیته سینماتیک آب در حدود cs ۱ است. ویسکوزیته نسبی NAPL نشان می‌دهد که آن ماده نسبت به آب با چه سرعتی در لایه‌های زیرزمینی نفوذ می‌کند. برای مثال تتراکلرو اتیلن، ۱و۱و۱- تری‌کلرو اتان، کلرید متیلن، کلروفرم و تتراکلرید کربن (با ویسکوزیته سینماتیک پایین)، ۱/۵ تا ۳ برابر سریع‌تر از آب جریان می‌یابند، در حالی که نفت سبک، سوخت دیزل، سوخت جت و نفت خام (با ویسکوزیته سینماتیک بالا)، ۲ تا ۱۰ برابر کندتر از آب جریان می یابند. نفوذپذیری نسبی یک ماده در زمان عبور یک سیال با ویسکوزیته پایین از درون آن می‌تواند به مقدار یک یا چند برابر بزرگ‌تر از زمانی باشد که آب را از خود عبور می‌دهد. LNAPL ای با ویسکوزیته پایین نسبت به LNAPL ای با ویسکوزیته بالا تمایل بیشتری برای پخش شدن در لایه نازکی از سطح آب زیرزمینی دارد. DNAPL ای ویسکوزتر از آب با سرعتی کمتر از سرعت خطی میانگین آب زیرزمینی حرکت می‌کند.

- **جذب**

فرآیندهای جذب شامل جذب سطحی، جذب شیمیایی، جذب عمقی و تبادل یونی است. این دستورالعمل، قصد تعریف این پدیده‌ها و تشریح روابط فی‌مابین را ندارد. آنچه مهم است آن است که واکنش‌های جذب بین مواد حل شده و بستر ژئولوژیک به هرحال، حرکت مواد حل شده فعال را کند نموده و لذا حذف مواد حل شده از محلول به این پدیده بستگی خواهد داشت. برای مثال، بیشتر فلزات سنگین (مثل کادمیوم، سرب و جیوه) به آسانی بر روی سطوح ذرات جذب شده و یا توسط خاک رس و از طریق فرایند تبادل یونی به دام می‌افتند. جذب سطحی فلزات معمولاً با افزایش pH افزایش می‌یابد؛ اگر چه موارد استثنایی نیز وجود دارد. ترکیبات آلی سنتزی در محلول می‌توانند توسط کربن آلی موجود در خاک جذب شوند.

[1] centi stoke

سرعت و میزان جذب به خصوصیات جاذب، مواد شیمیایی و فازهای حاوی مواد شیمیایی بستگی دارد. فرآیندی که توسط آن، آلاینده‌ای که اصالتاً متعلق به فاز محلول است بین آن محلول و فاز جامد توزیع می‌شود، partitioning نامیده می‌شود. ضریب partitioning ($K_d$) برای ارزیابی تأثیر جذب بر روی تأخیر در نرخ سرعت ماده آلی در مقایسه با نرخ سرعت حرکت آب زیرزمینی بکار می‌رود.

$K_d$ توسط عبارت زیر تعریف می‌شود:

$$R = 1 + rk_d/n$$

که در آن:

R: فاکتور تأخیر که به طور کمّی بیانگر نسبت سرعت آب به سرعت ماده شیمیایی است؛

r: چگالی حجمی؛

n: تخلخل ماده زیرزمینی؛ و

$K_d$: ضریب partitioning می‌باشد،

پارامترهای دیگری که ممکن است در پیش‌بینی میزان جذب یک ماده آلی مفید باشند عبارتند از ضریب partitioning آب-اکتانول (Kow) و ضریب جذب کربن آلی (Koc). هرچه مقدار Kow و Koc بزرگ‌تر باشد، تمایل برای جذب به خاک حاوی مقادیر قابل توجه کربن آلی بیشتر می‌شود.

- **واکنش‌های شیمیایی و تجزیه شیمیایی و بیولوژیک**

آلاینده‌ها در اثر انجام واکنش‌های فوق‌الذکر ممکن است به ترکیبات جدیدی تبدیل شوند. برای مثال، تری‌کلرو اتیلن به دی‌کلرو اتیلن و سپس به کلریدوینیل تبدیل می‌گردند. لذا لازم است خصوصیات آلاینده اولیه و محصولات تجزیه آن در نظر گرفته شود. تجزیه در سطوح زیرزمینی همواره تنها بر پایه رفتارهای شناخته شده ترکیبات قابل پیش‌بینی نمی‌باشد. راست‌آزمایی باید توسط آزمایش‌های مستقیم مثل مطالعات آزمایشگاهی یا نیمه صنعتی انجام شود. همچنین مطالعات نشان داده است که وجود بعضی پسماندهای مایع اسیدی و آلی می‌تواند باعث ایجاد شکاف‌هایی در خاک رس شوند که باعث افزایش نفوذپذیری می‌گردد.

### ۲-٤- تداخل‌های انسانی

فعالیت‌های انسانی می‌تواند جهت جریان آب زیرزمینی را تغییر داده و بنابراین، مسیرهای حرکت آلاینده را تحت تأثیر قرار دهد. چاه‌های پمپاژ، برداشت آب، آبیاری و تغییر در الگوهای استفاده از زمین (مثل ایجاد سنگ‌فرش و ساخت و ساز) می‌توانند باعث تغییر موقت یا دائم جریان آب زیرزمینی تحت یک منبع آلودگی گردد. ایجاد برخی سازه‌ها مانند تأسیسات تصفیه‌خانه، شبکه آب‌های سطحی، شبکه فاضلاب، خطوط یوتیلیتی، لوله‌گذاری زیرزمینی و زهکش بر آب زیرزمینی تأثیر گذار می‌باشد. خطوط برق فشار قوی و همچنین جاده‌ها، دیگر سازه‌هایی هستند که می‌توانند در ایجاد محدودیت مکانی برای جانمایی چاه های پایش مؤثر باشند.

### ۲-۵- طراحی شبکه چاه پایش

هدف از پایش منبع آلودگی، ارزیابی آب زیرزمینی در مسیرهای آلودگی بالقوه و بطور کلی هر ناحیه‌ای که نیازمند الزامات نظارتی است، می‌باشد. جانمایی چاه باید امکان مقایسه شرایط پایین‌دست آب‌های زیرزمینی را با کیفیت زمینه در کلیه مسیرهای پایش شده فراهم نماید. نصب شبکه کافی از چاه‌ها معمولاً یک فرآیند تکراری است. شبکه باید هم زمان با تعیین خصوصیات سایت و پسماند به طور مستعد مورد ارزیابی قرار گیرد.

طراحی همچنین باید بر اساس ملاحظات ایمنی، نگهداری و مراقبت سیستم، محدودیت‌های سرمایه، در دسترس بودن و عملیات در محل و تردد وسایل نقلیه باشد. برای مثال، استقرار چاه‌ها در مسیرهای حمل و نقل و ساختمان‌های مسکونی همسایه ممکن است باعث ایجاد مشکلاتی گردد. همچنین نصب چاه‌ها نزدیک خطوط برق زیرزمینی یا هوایی و همچنین خطوط لوله، ناایمن بوده و باعث بروز مشکلات و حوادثی می‌شود. به علاوه، تعداد، فواصل و جهت منابع دارای پتانسیل آلودگی باید در ملاحظات طراحی شبکه چاه پایش مد نظر قرار گیرد. مدرک U.S.EPA (1993a) الزامات لازم در خصوص نیاز پایش در واحدهای مدیریت پسماند و فاضلاب را به طور خلاصه ارائه می‌نماید.

در جانمایی چاه بطور کلی باید مواردی مثل تعداد، موقعیت، عمق و طول آبگیر (جانمایی عمودی) را مد نظر قرار داد. طراح باید هم جانمایی افقی و هم جانمایی قائم را به طور هم زمان برای توسعه یک سیستم سه بعدی در نظر بگیرد. این دستورالعمل بدون درک کافی از فاکتورهای مؤثر بر جانمایی (که در بخش قبل مورد بحث قرار گرفت)، قابلیت اجرا ندارد. اهمیت درک شرایط هیدروژئولوژی و ویژگی‌های آلودگی‌ها بسیار مورد تأکید می‌باشد.

- **تعداد چاه‌ها**

تعداد چاه‌های مورد نیاز، بستگی به هدف برنامه پایش (الزامات) و شرایط محل دارد. شبکه‌ای که صرفاً به منظور تحقیق در محدوده وجود آلودگی (detection monitoring) طراحی می‌شود ممکن است نسبت به زمانی که به منظور تعیین نرخ و وسعت انتقال آلودگی assessment monitoring یا پایش اقدامات اصلاحی نصب و طراحی می‌شود، دارای وسعت کمتری باشد. به علاوه در بعضی اوقات برخی مقررات، حداقل تعداد چاه‌های تشخیص را تعیین می‌نمایند. به هر حال، باید در نظر داشت که تعداد حداقل چاه برای آلودگی‌های بزرگ و مسیرهای آلودگی چندگانه یا دارای ضخامت همواره کافی نیست.

- **جانمایی قائم**

جانمایی مناسب آبگیر چاه برای تعیین ویژگی‌های دقیق آب زیرزمینی وارزیابی وجود آلودگی‌ها بسیار مهم است. جانمایی قائم چاه‌های پایش باید بر اساس عمق و ضخامت مسیرهای آلودگی باشد. موضوعات مهم مورد بحث در جانمایی قائم شامل عمق و طول آبگیرهای چاه می‌باشد.

❖ عمق آبگیر

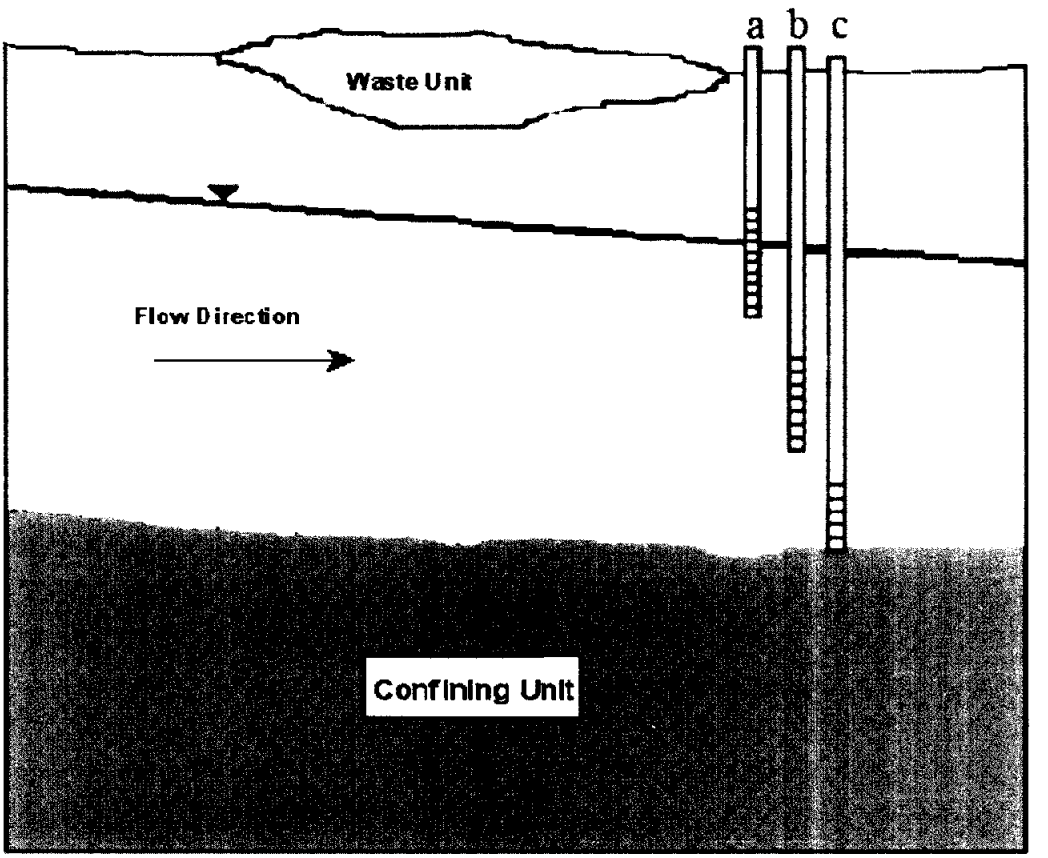
به عنوان یک حداقل، چاه‌ها در محل ارتباط به سفره‌های زیرزمینی و هر ناحیه‌ای که مطابق با الزامات قانونی تصریح شده است، باید از تجهیزات غربال استفاده نمایند.

در مورد مواد ریزدانه مثل خاک رس، خاک موجود در بالای سطح آب زیرزمینی معمولاً مرطوب می‌باشد. این منطقه مرطوب توسط نیروهای مویینگی (نیروی مولکولی بین مولکول آب و ذرات خاک) ایجاد شده و لبه مویینگی نامیده می‌شود. عموماً ضخامت لبه مویینگی بطور عکس با اندازه دانه‌بندی تغییر می‌کند و می‌تواند از چندین اینچ تا چندین فوت در بالای سطح آب زیرزمینی تغییر کند. در این ناحیه فشار آب، کمتر از فشار اتمسفریک است؛ لذا آب وارد چاه نمی‌شود. در واقع لبه مویینگی می‌تواند به عنوان سطح آب زیرزمینی اشتباه گرفته شود. لذا به منظور احتراز از قراردادن آبگیر چاه بر روی لبه مویینگی، توصیه می‌شود که قبل از نصب تجهیزات غربال، آب در چاهِ حفر شده، مشاهده گردد. اگر سفره آب زیرزمینی ضخیم (بزرگ‌تر از ۱۰ ft) باشد، ممکن است نصب چندین چاه در عمق‌های متفاوت، در هر موقعیت به منظور نمونه‌برداری جداگانه در بخش‌های قائم مورد نیاز باشد. این کار می‌تواند توزیع عمودی آلودگی آب زیرزمینی و جریان مربوطه را تعیین نماید. به عبارتی، نصب چاه‌هایی که بخش‌های بالایی، میانی و پایینی ناحیه اشباع را پایش می‌کنند ممکن است ضروری باشد (شکل ۸). همچنین در یک موقعیت به واسطه حضور چندین سفره آب زیرزمینی مجزا نیاز به چاه های چندگانه از نظر عمق ضروری است (شکل ۹). به منظور جلوگیری از اختلاط آب زیرزمینی بین نواحی اشباع باید مراقبت‌های کافی در زمان حفاری صورت بگیرد.

در زمان نصب چاه‌ها برای تشخیص آلودگی آب زیرزمینی بوسیله LNAPL ها، ضروری است که آبگیر در عرض سطح مشترک سطح آب زیرزمینی قرار داده شده و به منظور پوشش نوسانات فصلی در سطح آب، طول و عمق مناسبی برای آن در نظر گرفته شود. در صورت وجود آلودگی‌های محلول قابل توجه، به منظور تعیین عمق آلودگی در سفره آب زیرزمینی ممکن است به چاه‌های عمیق‌تری نیاز باشد.

DNAPL ها معمولاً حرکت عمودی به سمت پایین دارند، حتی اگر جریان افقی آب زیرزمینی قابل توجه باشد. لذا برای تأمین حداقل‌ها باید غربال در کف ناحیه اشباع یا درست بالای لایه غیر قابل نفوذ قرار داده شود (شکل ۸، حالت c). در صورت وجود LNAPL ها و DNAPL ها، وجود چاه‌های با عمق متفاوت ضروری است.

چنانچه پس از پایش، وجود آلودگی آب زیرزمینی مشخص گردید و پتانسیل حرکت آن به عمق-های بیشتر محرز شد، چاه‌های بیشتر با آبده‌هایی در نواحی عمیق‌تر برای ارزیابی میزان گسترش عمودی آلودگی باید نصب شود.




**شکل ۸: خوشه‌های چاه به خاطر ضخامت سفره آب زیرزمینی**

**شکل ۹: برش مقطع عرضی با نمایش خوشه‌های چاه**

❖ طول آبگیر

معمولاً طول آبگیر نباید از ۱۰ فوت تجاوز نماید. به هر حال، وجود پیچیدگی در شرایط هیدروژئولوژیک یا استفاده‌های مبتنی بر اهداف ویژه ممکن است گاهی اوقات ما را ناگزیر به استفاده از

آبگیرهای بلندتر (یا کوتاه‌تر) نماید. چنانچه یک آبگیر از میان چند ناحیه مختلف با مقادیر بالا و پایین K عبور کند، هر ناحیه جریان حجم متفاوتی را نسبت به کل ارائه می‌نماید. حال اگر تنها یک ناحیه آلوده باشد، نمونه برداشت شده از چنین چاهی به علت رقیق شدن نمی‌تواند ناحیه آلودگی، غلظت، جهت و سرعت جریان واقعی را تعیین نماید. به علاوه این چاه می‌تواند به عنوان معبر انتقال آلودگی به دیگر نواحی عمل نماید. اگرچه طول آبگیر به ضخامت ناحیه اشباع بستگی دارد ولی کاملاً مترادف نیستند. آبگیر کوتاه‌تر نسبت به ضخامت لایه اشباع برای پایش مناطق همگن استفاده می‌شود، چرا که رفتار آلاینده ممکن است باعث تجمع آن در عمق خاص شده و آبگیرهای بلند نیز باعث رقیق شدن نمونه شوند. به طور مشابه، آبگیرهای بلندتر برای سطوح آب زیرزمینیِ دارای نوسان و زمانی که آلاینده سبک تر از آب بوده و روی سطح آب شناور می‌گردد، استفاده می‌شود.

- **جانمایی فضایی چاه‌های پایین‌دست منبع آلودگی**

جانمایی فضایی چاه‌های پایش پایین‌دست منبع آلودگی باید بر اساس تعداد و توزیع فضایی مسیرهای آلاینده‌های احتمالی صورت گیرد. موارد مورد بحث در جانمایی فضایی شامل موقعیت نسبت به منبع آلودگی و فاصله‌گذاری است. طراح همچنین باید پذیرنده‌های احتمالی آلاینده، مثل چاه‌های تأمین آب، چشمه و آب‌های سطحی که پایین دست منبع آلودگی قرار دارند را در نظر بگیرد.

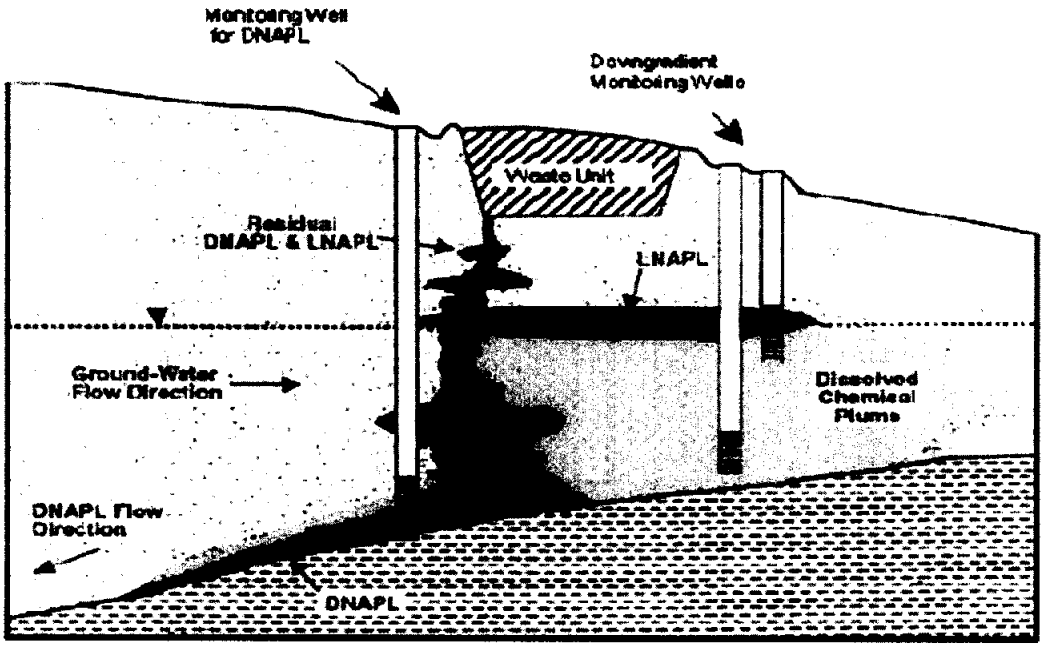
❖ جانمایی نسبت به منبع آلودگی

به منظور شناسایی موقعیت‌های مناسب برای نمونه‌برداری، لازم است جهت جریان آب زیرزمینی در کلیه مسیرهای احتمالی انتقال آلودگی تعیین گردد.

اطلاع از جهت جریان برای اطمینان از این که چاه‌ها به لحاظ هیدرولیکی در پایین‌دست منبع آلودگی حفر می‌شوند، ضروری است. برای تشخیص انتشار آلاینده، چاه‌های پایین‌دست باید به طور جانبی در امتداد لبه، یا در صورت عملی بودن هر چه نزدیک‌تر به منبع قرار گرفته و آبگیرشان درون

مسیرهای انتقال آلودگی تعبیه شود. نباید چاه‌ها درون واحد مدیریت پسماند قرار داده شود. اگر این امر برای تشخیص وجود آلودگی ضروری باشد، در این صورت رویه خاصی از ساخت چاه باید اتخاذ شود تا از حرکت اجزاء پسماند به سمت پایین جلوگیری به عمل آید.

زمانی که احتمال حرکت عمودی DNAPLs به سمت پایین و تجمع آن‌ها در فصل مشترک لایه نفوذ ناپذیر پایین وجود داشته باشد، دیگر برای پایش حرکت DNAPLs، چاه‌ها در پایین دست منبع آلودگی قرار نمی‌گیرند. حرکت سیال چگال به واسطه نیروی ثقل و یا فرو رفتن تا لایه‌های نفوذ ناپذیر است، لذا ممکن است در جهتی غیر از جهت جریان آب زیرزمینی حرکت کند.




**شکل ۱۰: حرکت DNAPLs در طول سرازیری لایه نفوذناپذیر**

اطلاع از شیب لایه نفوذ ناپذیر برای تعیین مکان و پایش فاز چگال مورد نیاز است. باید توجه داشت که اگر فاز چگال همچنین محلول در آب باشد، یک توده حل شده شکل گرفته و در جهت آب زیرزمینی حرکت خواهد کرد (Ailer et al,1991). اگر DNAPLs محلول باشد، سیستم پایش باید قادر به مقایسه نمونه آب‌های زیرزمینی شاهد و پایین‌دست باشد.

چنانچه سیستم پایش، آلودگی را تشخیص دهد، چاه‌های دیگری با فواصل تصاعدی نسبت به منبع باید اضافه شود. برای ارزیابی وسعت افقی آلودگی باید از چاه‌ها نمونه‌برداری شود.

❖ موقعیت

چاه‌های شاهد باید در افق‌های چینه‌شناسی به عنوان چاه‌های پایین‌دست کامل شده تا امکان مقایسه فراهم گردد. طول آبگیر نیز با استفاده از همان معیارهای گفته شده در این فصل برای چاه‌های پایین دست انتخاب می‌شود. همچنین مهم است که چاه‌های شاهد را در فاصله‌ای بزرگ‌تر از شعاع تأثیر هیدرولیکی، از منبع آلودگی بالقوه قرار دهیم تا آن چاه‌ها آلاینده‌هایی را در خلال توسعه یا تخلیه چاه‌ها دریافت نکنند.

همیشه ممکن یا مطلوب نیست که چاه‌های شاهد را به لحاظ هیدرولیکی بالا دست منبع آلودگی قرار دهیم. شرایط زیر ممکن است بر روی موقعیت چاه‌های شاهد تأثیر داشته باشد:

- منابع آلودگی که به لحاظ توپوگرافی بالاتر از محیط اطراف هستند ممکن است به خاطر تپه ایجاد شده دارای یک جریان شعاعی از منبع باشند.
- تغییر جهت جریان آلودگی از پایین‌دست به بالادست به خصوص در مواقع وجود آلودگی DNAPL و جهت معکوس بستر با جریان آب زیرزمینی.
- سایر فعالیت‌هایی که کیفیت آب زیرزمینی را از بالادست منبع آلودگی تحت تأثیر قرار می‌دهد، ممکن است باعث بروز خطا در مقایسه کیفیت شود.
- جهت جریان بصورت فصلی یا به علت اثرات پمپاژ آب سطحی یا زیرزمینی مجاور ممکن است تغییر نماید. لذا به علت تغییرات، مکان چاه‌ها در تمام شرایط، بالادست منبع آلودگی نیست.
- در بعضی مواقع به عللی مانند وجود منابع آلودگی مجزا، ساختمان‌ها و یوتیلیتی ممکن است موقعیت‌های بالادست منبع آلودگی غیر قابل دسترس باشند.

- در مواردی که چاه‌های شاهد واجد شرایط زیر باشند، نیاز به قرار دادن آن‌ها در بالادست نیست: ۱) به دور از تأثیرات منبع آلودگی باشند؛ و ۲) نمونه‌ها نشانگر کیفیت آب زیرزمینی طبیعی باشد.

- **تعداد**

بسته به پیچیدگی شرایط هیدروژئولوژیک، تعداد، موقعیت و اندازه منبع آلودگی ممکن است به بیش از یک چاه شاهد نیاز باشد. بعضی شرایط عمومی که ممکن است اهمیت داشته باشند عبارتند از:

- منبع آلودگی خیلی بزرگ باشد.
- چندین منبع آلودگی احتمالی وجود داشته باشد.
- مناطق هیدرولیکی مختلفی وجود داشته باشد.
- کیفیت آب زیرزمینی شاهد به صورت فصلی یا فضایی تغییر کند.

- **فاصله‌گذاری**

منظور از فاصله‌گذاری، ایجاد فاصله بین چاه‌های مجاوری است که منطقه‌ای خاص را پایش می‌کنند. بطور کلی، هیدروژئولوژی پیچیده‌تر نیازمند فاصله‌گذاری‌های نزدیک‌تر است. در مناطق پایشی که دارای غیر همگنی افقی در نوع ماده هستند، فاصله‌گذاری متغیر یا نزدیک‌تر به هم ضروری می‌باشد. وقتی منبع آلودگی بر روی شن و ماسه قرار داشته باشد، ممکن است به علت احتمال بیشتر حرکت سریع توده آلودگی و در نتیجه، تشکیل توده آلودگی باریک، فاصله‌گذاری نزدیک به هم نیاز باشد. بر عکس، در مناطقی که دارای K پایین (مثل خاک رس و لای) می‌باشد، توده‌های آلاینده توسعه یافته‌تر بوده و فاصله‌گذاری بیشتر نیز کفایت می‌کند. ویژگی‌های دیگری که نیازمند فاصله‌گذاری نزدیک چاه‌ها است، شامل قرارگیری یا نزدیک بودن به مناطق recharge، گرادیان‌های هیدرولیک متغیر یا با شیب زیاد، سرعت بالای جریان و جهت متغیر جریان است.

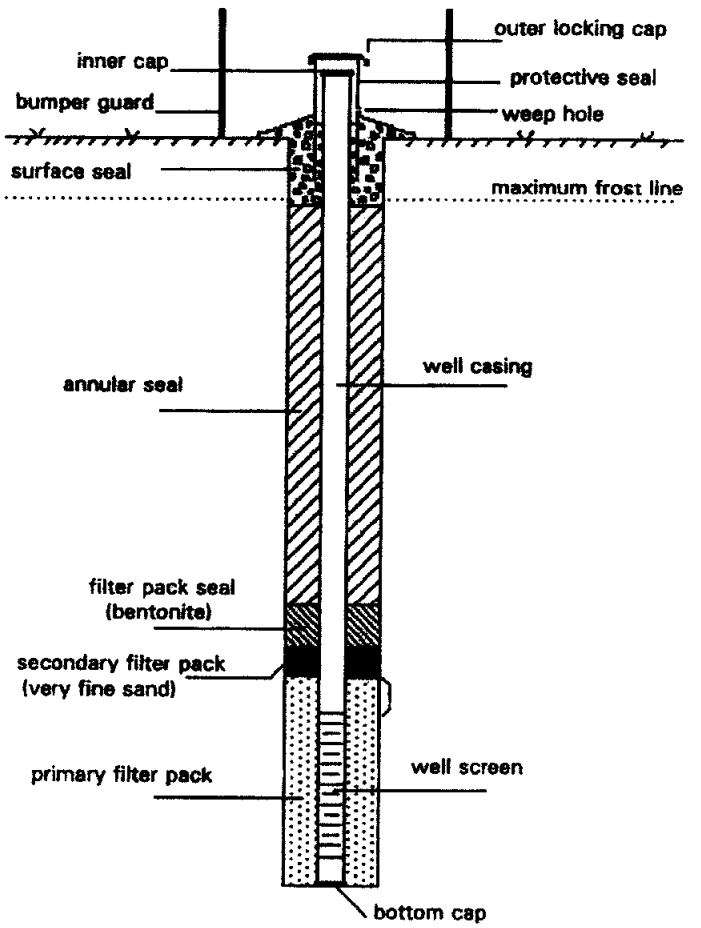
جانمایی چاه‌ها در بستر صخره‌ای دارای شکستگی یا بسترهای صخره‌ای دارای کانال‌های محلول ممکن است دشوار باشد. صخره‌های دارای شکستگی، دارای مناطق زیادی هستند که ممکن است به عنوان مسیرهای مجزای انتقال آلودگی عمل کنند. چاه‌های پایش باید اغلب در این مناطق نیز قرار گرفته تا بتوانند آب را تأمین نموده و وجود آلاینده‌ها را تشخیص دهند. زمانی که نشتی از یک آستری سنتزی تشخیص داده شد، نیاز به فاصله‌گذاری نزدیک به هم می‌باشد. چنین نشتی‌ای نسبت به نشتی حاصل از یک برکه آستری نشده، توده آلودگی باریک‌تری تولید می‌کند. فاصله‌گذاری نزدیک‌تر همچنین در نواحی دارای لوله‌های زیرزمینی یا خطوط یوتیلتی یا چاه‌هایی که می‌تواند به عنوان منبع نشتی مطرح باشد، ممکن است مورد نیاز باشد.

چاه‌های پایش شاهد عموماً به لحاظ هیدرولیکی در بالادست منبع آلودگی قرار می‌گیرند. این چاه‌ها باید نمونه‌هایی را تهیه کنند که از تأسیسات عملیاتی متأثر نبوده و نشانگر کیفیت آب زیرزمینی شاهد باشند. نمونه‌گیری باید به اندازه‌ای باشد که بتواند از غیر همگونی هیدروژئولوژیک و تغییرات فصلی، مقطعی و فضایی کیفیت آب زیرزمینی شاهد را مورد توجه قرار دهد. چاه‌های بالادست یا هم عرض منبع آلودگی نیز می‌توانند دست‌خوش تأثیرات غیر قابل انتظار یک اقدام اصلاحی (مثل جریان شعاعی در اثر تزریق آب) شوند. چاه‌های شاهد همچنین در ایجاد امکان سنجش مستمر کیفیت سیستم محلی جریان، و در نتیجه، اطلاع از ورود آلاینده‌های جدید به منطقه تحت پایش مفید می‌باشد (Gorelick et al., 1993).

## ۳- طراحی و نصب چاه پایش

به منظور برداشت نمونه آب زیرزمینی، نیاز به طراحی و احداث چاه پایش می‌باشد. تمام چاه‌های پایش باید مطابق با هیدروژئولوژی، ژئوشیمی و آلاینده‌های سایت، طراحی و نصب شوند. اگر چه تهیه خصوصیات برای تمامی شرایط ممکن نیست، لیکن شناسایی مؤلفه‌های خاص طراحی، امکان‌پذیر می‌باشد.

شکل ۱۱ شمایی از یک چاه تک‌رایزر را نشان می‌دهد. پوسته، امکان دسترسی به سطوح زیر زمینی را فراهم می‌آورد. آبگیر شامل بستر فیلتر و صافی می‌شود. صافی، امکان ورود آب به چاه، و به طور هم زمان، کمینه کردن ورود مواد بستر را فراهم می‌کند. نصب فیلتر و صافی برای چاه‌های حفر شده در بستر سنگی ضروری نیست. درزگیر حلقوی، بین دیواره چاهک و پوسته قرار می‌گیرد تا از حرکت عمودی آب زیرزمینی و نفوذ سطحی و آلاینده‌ها جلوگیری کند؛ محافظ سطحی که شامل درزگیر سطحی و پوسته محافظ است، یک تمهید ایمنی مضاعف در برابر نفوذ آب بوده و از آسیب‌های فیزیکی به پوسته چاه جلوگیری می‌کند.




**شکل ۱۱: برش مقطعی یک چاه پایش نمونه**

### ۳-۱- طراحی سیستم‌های چند نقطه‌ای

در موقعیتی که در یک مکان مشخص بیش از یک مسیر احتمالی دارای پتانسیل آلودگی وجود داشته و یا ضخامت ناحیه اشباع بیش از ۱۰ ft باشد، نمونه‌گیری از نقاط مجزای چندگانه ضروری می‌باشد. پایش چند نقطه‌ای می‌تواند توسط نصب چاه‌های تک‌رایزر در چاهک‌های مجاور چاه‌های خوشه‌ای و یا استفاده از سیستم‌هایی که اجازه نمونه‌برداری از بیش از یک نقطه را درون یک چاهک (چاه‌های چند نقطه‌ای، چاه‌های آشیانه‌ای یا تو در تو، چاه‌های تک پوسته‌ای با صافی بلند) می‌دهد، اجرا شود.

پایش چند نقطه ای در موارد زیر مفید می باشد:

- تعیین توزیع هد (head) هیدرولیکی؛
- اندازه‌گیری تغییرات مقطعی هد هیدرولیکی عمودی؛
- تعیین توزیع عمودی آلودگی؛ و
- ایجاد امکان پایش بلند مدت کیفیت آب در عمق‌های چندگانه.

- **چاه‌های خوشه‌ای**

برای پایش چندین نقطه در یک مکان، اغلب چاه‌های تک‌رایزر مجاور هم در چاهک‌های جداگانه نصب می‌شوند. از این چاه‌های خوشه‌ای زمانی که اختلاف محسوسی در هد وجود داشته باشد، برای تعیین گرادیان عمودی استفاده می‌گردد.

همچنین از آن‌ها برای پایش مناطق مجزا یا ارزیابی لایه‌بندی شیمیایی در یک ناحیه ضخیم استفاده می‌شود. اگر پیش از نصب، جهت جریان تعیین شده باشد، چاه کم عمق‌تر باید به لحاظ هیدرولیکی بالادست چاه عمیق‌تر باشد. علت این کار، جلوگیری از اثرات احتمالی دوغاب در ناحیه حلقوی مجاور چاه عمیق تر بر روی نمونه‌های برداشت شده از چاه با عمق کم‌تر می‌باشد.

- **چاه‌های چند نقطه‌ای**

این چاه‌ها امکان نمونه‌برداری از بیش از یک نقطه را درون یک چاهک می‌دهند. این نقاط درون چاه توسط مواد پُر کننده یا ملات از یکدیگر جدا می‌شوند. پروب‌ها در درون پوسته به پایین هدایت شده و می‌توانند فشار مایع خارج را اندازه‌گیری و یا نمونه‌برداری کنند. لوله‌های جداگانه‌ای از نقاط نمونه‌گیری به سطح زمین کشیده می‌شوند.

استفاده از این نوع چاه‌ها در بعضی از مناطق به علل زیر محدود شده است: ۱) هزینه نصب؛ ۲) مشکل بودن بر طرف کردن گرفتگی‌ها؛ و۳) مشکل بودن جلوگیری و یا سنجش نشتی درزگیر و پُرکننده. طرح‌ریزی تفصیلی (شامل ساخت و نصب، روش‌های اندازه‌گیری عمق آب و نمونه‌برداری، رجوع به موقعیت‌هایی که این نوع چاه‌ها با موفقیت استفاده شده‌اند و مزایا و معایب) باید پیش از نصب سیستم‌های چند نقطه‌ای ارائه شود.

چندین سیستم تجربی برای پایش چند نقطه‌ای در یک چاهک وجود دارد. اکثر آن‌ها شامل یک پوسته یا لوله با دریچه‌های پایش مستقل و بازه‌های دلخواه می‌باشد.

برای اطلاعات بیشتر در مورد سیستم های چاه چند نقطه‌ای به Nielsen,Schalla (2006) رجوع شود.

- **چاه های آشیانه‌ای (تو در تو)**

در این چاه‌ها مجموعه‌ای از چاه‌های تک‌رایزر در یک چاهک جاسازی می‌شوند. هر چاه با بسترهای فیلتر و درزگیرهایی که برای ایزوله کردن هر ناحیه استفاده می‌شود، برای پایش مناطق خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که نصب و عملکرد صحیح صافی‌ها، بسترهای فیلتر و درزگیرها در این‌گونه چاه‌ها بسیار فنی و پیچیده می‌باشد، معمولاً بکارگیری این نوع چاه‌ها توصیه نمی‌شود. برای اطمینان از نمونه‌برداری مناسب، نصب چاه‌های تک‌رایزر برای هر نقطه مؤثرتر است.

Aller (Aller et al., 1991) نشان داد که این نوع سیستم‌ها عموماً برای عمق‌های کمتر از ۸۰ فوت مقرون به صرفه‌تر است. طبق تأیید Nielsen و Schalla (Nielsen, Schalla 2006)، هزینه نصب چاه‌های خوشه‌ای با هزینه چاه‌های آشیانه‌ای قابل مقایسه است.

- **چاه‌های تک پوسته‌ای با صافی بلند**

عموماً بخش عمده‌ای از این چاه‌ها که در ضخامت سفره آبی واقع شده‌اند، دارای صافی می‌باشد. اگر عمل تخلیه درست قبل از نمونه‌گیری انجام شود، فقط نمونه آب مخلوط به دست می‌آید که برای بیشتر مطالعات پایش دارای دقت کافی نیست. اگر جریان به صورت طبیعی بتواند درون صافی جریان یابد، پروفایل عمودی کیفیت آب می‌تواند توسط تکنیک‌های نمونه‌برداری انفعالی به دست آید. تعیین پروفایل عمودی یک ارزیابی اولیه، برای تعیین عمق چاه های نهایی مقرون به صرفه است. این نوع چاه-ها برای پایش تشخیص وجود آلودگی مناسب نیستند. علاوه بر این، به علت ایجاد و تداخل آلاینده‌ها در نواحی مختلف نباید این نوع چاه‌ها در مناطق با آلودگی بالا به کار گرفته شوند.

### ۳-۲- پوسته

هدف از تعبیه پوسته، دسترسی به سطوح زیرزمینی برای نمونه‌برداری آب زیرزمینی و اندازه‌گیری عمق آب است. مواردی که حین طراحی چاه باید مد نظر قرار گیرد شامل نوع پوسته، مکانیزم کوپل کردن، قطر و نصب می‌باشد.

- **انواع پوسته**

معمولاً از سه نوع پوسته برای پایش آب زیرزمینی استفاده می‌شود که شامل فلوئوروپلیمرها، متالیک‌ها و ترموپلاستیک‌ها می‌باشد (Aller et al., 1991). این مواد دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که انتخاب آن‌ها را برای منظور معینی توجیه می‌سازد.

❖ فلوئوروپولیمرها (Fluoropolymers)

فلوئورپولیمرها در واقع نوعی پلاستیک مصنوعی تشکیل شده از مواد آلی هستند. این پلیمرها در برابر تأثیرات بیولوژیکی و شیمیایی، اکسیداسیون، آب و هوا و تابش ماوراء بنفش (UV) مقاوم می‌باشند. آن‌ها در گستره وسیعی از دما می‌توانند نقش خود را ایفا نموده و دارای ثابت دی‌الکتریک بالا، ضریب اصطکاک پایین، ضد چسبندگی و ضریب انبساط حرارتی بالاتر از بیشتر پلاستیک‌ها و مواد دیگر هستند.

رایج‌ترین فلوئوروپلیمری که برای چاه‌های پایش مورد استفاده قرار می‌گیرد، پلی‌تترافلوئوروواتیلن (PTFE) است. این ماده در مقابل اسیدهای قوی و حلال‌های آلی مقاوم می‌باشد، لذا برای محیط‌های دارای این مواد شیمیایی مفید است.

ا/ین مواد دارای مقاومت کششی پایینی هستند که به لحاظ تئوری، نصب Schedule 40 PTFE را در عمق حدودی ۲۵۰ ft محدود می‌سازند. همچنین PTFE ها بسیار انعطاف پذیرند، به طوری که حفظ مستقیم بودن آن‌ها حین نصب برای اطمینان از وارد کردن موفق ابزار نمونه‌گیری و اندازه‌گیری، بسیار مشکل است. ماهیت انعطاف پذیر PTFE می‌تواند منجر به بسته شدن جزیی منافذ صافی به علت نیروهای فشاری وزن پوسته شود. این امر، انتخاب اندازه منافذ را مشکل می‌سازد.

PTFE ماده گرانی بوده و معمولاً ۱۰ برابر گران‌تر از ترموپلاستیک‌هاست. بر طبق مطالعات انجام شده، PTFE نرخ جذب مواد آلی بالاتری از ترموپلاستیک‌ها داشته، لذا نتیجه گرفته شده که ترموپلاستیک‌ها ماده نسبتاً بهتری برای استفاده در محیط دارای مواد آلی می باشد.

❖ متالیک‌ها

مواد متالیک شامل فولاد کربنی با کربن کم، گالوانیزه و ضد زنگ است. متالیک‌ها خیلی محکم و سخت می‌باشند و عملاً در عمق‌های نامحدود می‌توانند به کار روند. مشکل خوردگی، بزرگ‌ترین عیبی است که پوسته‌های با کربن پایین، کربنی و گالوانیزه دارند چون تأثیرات الکتروشیمیایی و شیمیایی می‌تواند کیفیت نمونه‌های آب گرفته شده را تغییر دهد.

شرایط زیر را می‌توان به عنوان شرایط خورنده برشمرد:

- pH پایین (pH<7.0)؛
- اکسیژن محلول بیشتر از ۲ ppm ؛
- سولفید هیدروژن در مقادیر حدود ۱ ppm؛
- TDS بیشتر از ۱۰۰۰ ppm؛
- $CO_2$ بیشتر از ۵۰ ppm؛ و
- مقادیر یون‌های $Cl^-$، $Br^-$ و $F^-$ مجموعاً بیشتر از ۵۰۰ ppm .

باتوجه به پتانسیل خوردگی بالای متالیک‌ها، استفاده از متالیک‌ها به‌استثنای فولاد ضدزنگ برای چاه‌های پایش غیرقابل قبول است.

فولاد ضدزنگ در دو نوع متداول ساخته می‌شود، نوع ۳۰۴ و نوع ۳۱۶. نوع ۳۰۴ از ترکیب آهن با کروم و نیکل ساخته می‌شود و ترکیب نوع ۳۱۶ مشابه نوع ۳۰۴ است، اما حاوی عنصر مولیبدونیوم که مقاومت بیشتری در مقابل اسیدسولفوریک دارد، نیز می باشد. فولاد ضدزنگ به آسانی در قطرهای متنوع در دسترس است.

فولاد ضدزنگ در بیشتر محیط‌های خورنده می‌تواند بخوبی عمل نماید. درحقیقت با تماس اکسیژن، یک لایه خارجی تشکیل و توسعه می‌یابد که باعث تقویت مقاومت در برابر خوردگی می‌شود. مطالات مختلف، تشکیل یک پوشش از اکسید آهن را بر روی سطح پوسته فولاد ضدزنگ گزارش داده‌اند که در تماس طولانی مدت با آب زیرزمینی ایجاد شده و می‌تواند اثرات غیر قابل پیش‌بینی بر ظرفیت جذب مواد پوسته بگذارد.

در شرایطی که پتانسیل خوردندگی خیلی بالاست، فولاد ضدزنگ نیز دچار خوردگی شده و نیکل و کروم را به نمونه‌های آب زیرزمینی آزاد می‌نماید. ترکیب و یا حد نهایی شرایط خوردگی، بیان کننده محیطی با خوردگی بالا می‌باشد. برای مثال هر دو فولاد ۳۰۴ و ۳۱۶ وقتی در مواجهه با آب حاوی یون کلرید بالای mg/lit ۱۰۰۰ قرار می‌گیرند، دچار زنگ‌زدگی سریع می‌شوند (کمتر از ۲۴ ساعت). حتی

یکی دیگر از مطالعات نشان داده است که فولاد ضد زنگ حتی در حضور مقادیر کمتر کلرید (۶۰۰ تا ۹۰۰ mg/lit) دچار خوردگی می‌شود.

مشابه PTFE ، فولاد ضدزنگ نیز در مقایسه با ترموپلاستیک نسبتاً گران‌تر است.

❖ ترموپلاستیک‌ها

ترموپلاستیک‌ها از مولکول‌های آلی سنتزی بزرگ تشکیل شده‌اند. رایج‌ترین نوع مورد استفاده در چاه‌های پایش، پلی‌وینیل‌کلرید یا PVC است و بعد از آن، ماده‌ای تحت عنوان آکریلونیتریل بوتادی‌ان‌استایرن (ABS) است که به اندازه PVC مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

این مواد در مقایسه با متالیک‌ها، ضعیف‌تر و نسبت به دما حساس‌تر و غیر قابل انعطاف‌تر می‌باشند. ترموپلاستیک به علت سبکی وزن، نسبت مقاومت به وزن بالا، نگهداری آسان، راحتی در اتصال و هزینه اندک بسیار مورد توجه است.

PVC در دو schedule ۴۰ و ۸۰ ارائه می‌شود. به خاطر ضخامت دیواره بزرگ‌تر، دوام و مقاومت نوع ۸۰ بیشتر بوده و در مقابل حرارت مقاومت بیشتری نسبت به سیمان دارد و امکان ساخت چاه‌های عمیق‌تر را فراهم می‌کند. فقط PVC غیر قابل انعطاف برای چاه‌های پایش استفاده می‌شود. PVC انعطاف پذیر، حاوی درصد بالایی از نرم‌کننده (۵۰-۳۰٪) بوده که می‌تواند تجزیه شود و نمونه‌ها را آلوده نماید. پوسته PVC باید استاندارد 14NSF international را برآورده نماید. این استاندارد، حدود کنترلی را برای میزان افزودنی‌های شیمیایی که بمنظ.ر کمینه کردن حل شدن آلاینده‌ها بکار می‌رود، تعیین می‌کند.

نقاط ضعف PVC شامل شکستگی ناشی از تابش فرا بنفش (UV)، مقاومت کششی پایین، نیروی شناوری در آب و آسیب‌پذیری در برابر تأثیرات شیمیایی می‌باشد. PVC نسبت به خوردگی مصون بوده و در برابر بیشتر اسیدها، عوامل اکسید کننده، نمک‌ها، قلیاها، روغن‌ها و سوخت‌ها مقاوم است. به علاوه Schmidt (۱۹۸۷) نشان داد که پس از شش ماه غوطه‌وری PVC درون بنزین معمولی، دیگر تجزیه

نخواهد شد. با این حال، مطالعات نشان داده که غلظت‌های بالا (قسمت در هزار و یا غلظت‌های درصدی) از تتراهیدرافوران، متیل‌اتیل‌کتون، متیل‌ایزبوتیل‌کتون و سیکلوهگزان باعث تجزیه PVC می‌شود (Nielsen and Schalla, 2006) . همچنین گزارش شده که کتون‌ها، آلدهیدها، آمین‌ها، آلکن‌ها و آلکان-های کلردار با جرم مولکولی پایین موجب تجزیه PVC می‌گردد (Barcelona et al., 1983).

مطالعات دیگری نشان داده که هنگامی که PVC در معرض غلظت‌های بالاتر (۲۰ تا۴۰٪ حد حلالیت حلال در آب) از هیدروکربن‌های آروماتیک، حلال‌های کلردار آلیفاتیک و آروماتیک، کتون‌ها، آنیلین‌ها، آلدهیدها و ترکیبات آلی نیتروژن‌دار قرار گیرد، تجزیه می‌گردد. توصیه می‌شود که PVC در مواقعی که غلظت‌های بالاتر از ۲۵٪ حد حلالیت حلال‌های شناخته شده یا عوامل متورم کننده PVC وجود دارد، استفاده نشود.

- **انتخاب نوع**

اگرچه پوسته PVC به علت هزینه کمتر، توسط مراجع زیادی انتخاب شده است اما باید در نظر داشت که یکنواختی چاه و حصول به نمونه مناسب، ملاک‌های بسیار مهم‌تری هستند. هزینه بالای آنالیز و دقت بالای تجهیزات آزمایشگاهی، نصب چاه‌هایی را که نمونه‌های مناسب به دست می‌دهد، ایجاب می‌کند. وظیفه تأیید مناسب بودن پوسته بر عهده هیأت ناظر می‌باشد. انتخاب صحیح با در نظر گرفتن ویژگی‌های پوسته و در ارتباط با شرایط محل انجام می شود.

مشخصات پوسته شامل استحکام، مقاومت شیمیایی و پتانسیل تداخل شیمیایی می‌باشد. استحکام پوسته باید نیروهای کششی، فشاری و خمشی گسترده دخیل در یک چاهک باز را تحمل کند. از آنجا که نیروهای اعمال شده تا حد زیادی به عمق چاه بستگی دارد، استحکام، اغلب زمانی که عمق چاه از حد ماکزیمم ضعیف‌ترین ماده موجود (PTFE– ft ۳۷۵–۱۰۰) تجاوز کند، حایز اهمیت می‌شود. در این موارد، فولاد ضدزنگ و یا PVC را باید انتخاب کرد.

پوسته همچنین باید در مقابل خوردگی الکتروشیمیایی و برخورد و حملات شیمیایی ناشی از آب زیرزمینی و آلاینده‌های مرتبط مقاومت نماید. مقاومت شیمیایی در محیط‌های با خورندگی بالا که آلاینده‌ها در مقادیر فوق‌العاده بالایی وجود دارند و جایی که چاه‌ها به عنوان بخشی از برنامه پایش طولانی مدت مد نظر می‌باشند، از بیشترین اهمیت برخوردار است. برای پایش گسترده در محیط‌های خورنده، PTFE و PVC نسبت به فولاد ضدزنگ ترجیح داده می‌شود، زیرا مواد متالیک از پتانسیل تخریب‌پذیری و تجزیه شدن بالاتری برخوردار می‌باشند. اگر غلظت‌های بالایی از مواد آلی در حد ppt وجود داشته باشد، PTFE یا فولاد ضدزنگ باید انتخاب شود. اگر یک عامل حلال/نرم‌کننده PVC وجود داشته باشد یا غلظت در آب حلال/نرم‌کننده از ۲۵٪ حلالیت آن در آب تجاوز کند، نباید از PVC استفاده کرد. استفاده از PVC در جاهایی که غلظت کمی (ppb تا ppm های کم) از اجزا آلی وجود داشته باشد، مناسب است (Nielsen and Schalla, 2006).

پوسته نباید با کیفیت نمونه آب تداخل داشته باشد؛ به عبارتی، در اثر اضافه یا حذف کردن آلاینده‌ها، کیفیت آن نباید دستخوش تغییرات گردد.

در بیشتر موارد، میزان این تداخلات تابع مدت زمان تماس آب زیرزمینی با پوسته است. هر چه این زمان بیشتر باشد، تداخلات شیمیایی نیز بیشتر است.

- **چاه‌های ترکیبی**

پوسته‌هایی که در تماس ناحیه اشباع نیستند، عموماً در معرض خطر نمی‌باشند. بنابراین، این امکان وجود دارد که قسمت بالا سری سطح ماکزیمم آب فصلی از ماده‌ای با مقاومت شیمیایی کمتر و قسمتی که دائماً در تماس با آب زیرزمینی است، از ماده‌ای خنثی‌تر ساخته شود. چنین چاه ترکیبی‌ای به منظور کاهش هزینه‌ها ساخته می‌شود. برای مثال، برای پایش منطقه‌ای با غلظت‌های بالای مواد آلی، فولاد ضدزنگ برای ناحیه اشباع و PVC برای ناحیه غیر اشباع می‌تواند انتخاب گردد.

در زمان تعیین ترتیب و وضعیت جنس پوسته، تغییرات در سطح آب زیرزمینی که ناشی از اثرات فصلی و پمپاژ است نیز باید لحاظ گردد (Nielsen and Schalla, 2006). از انواع مختلف فولاد نباید درون یک چاه استفاده کرد، چرا که هر نوع، خصوصیت الکتروشیمیایی خاص خود را داشته و باعث افزایش بالقوه خوردگی می‌شود.

- **مکانیزم‌های کوپل کننده**

بندهای پوسته باید توسط اتصالات رزوه شده که در تمام طول چاه، قطر درونی و بیرونی یکنواخت دارند، به هم متصل شوند. چنین کوپل کردن لب به لبی برای جا دادن وسایل و ابزار نمونه-گیری بدون ایجاد انسداد و جلوگیری از اتصال در حین نصب بستر فیلتر و درزگیر حلقوی ضروری است. لازم به توجه است که انواع رزوه‌های تولیدی توسط سازندگان مختلف، متفاوت بوده و جفت کردن آن ها دشوار است. برای کم کردن این مشکل، انجمن تست و مواد آمریکا استاندارد F 480-90 (۱۹۹۲) را برای یکنواخت کردن تولید اتصالات رزوه‌ای ارائه داده است. امروزه تولید کنندگان، اتصالات را طبق استاندارد F 480 و در دو نوع PVC و فولاد ضدزنگ می‌سازند.

سیمان‌های حلال (Solvent Cements) از آنجا که حل کننده مواد آلی هستند نباید مورد استفاده قرار گیرند. اتصال دهنده‌های فلزی مثل پرچ یا پیچ نباید برای تقویت اتصالات رزوه‌ای استفاده شود. استفاده از چنین اتصال دهنده‌هایی می‌تواند باعث کاهش قطر داخلی مؤثر چاه و صدمه زدن به پمپ‌ها و دیگر ابزار که از درون چاه به پایین منتقل می‌شود، گردد (Nielsen and Schalla, 2006). همچنین نشان داده شده است که نوار تفلون می‌تواند به جای واشر آب‌بندی (گسکت) استفاده شود، هر چند درزگیر خوبی نیست. اگر چه جوشکاری فولاد ضدزنگ می‌تواند اتصال هم‌سری را با استحکام بیشتر و یا معادل استحکام پوسته ایجاد کند، ولی این روش به اندازه اتصالات رزوه‌دار متداول نیست. علت آن، زمان بیشتر مونتاژ، سختی جوشکاری، تقویت خوردگی، خطر احتراق و خطر رها شدن مواد به داخل چاه است (Nielsen and Schalla, 2006). پوسته‌های فولادی رزوه شده، اتصالاتی ارزان و بی دردسر

هستند. باید دقت شود که اتصالات رزوه‌دار، استحکام کششی پوسته را کاهش می دهد؛ اگر چه این امر مشکلی را برای اکثر چاه‌های کم عمق ایجاد نمی‌کند. همچنین، اتصالات رزوه‌دار ممکن است استفاده از ابزارهای متنوع نمونه‌گیر در چاه‌های از جنس فولاد ضدزنگ با دیواره نازک (schedule 5, 10) را محدود کند. پوسته‌هایی با دیواره نازک برای رزوه کاری توسط ماشین، بسیار ظریف هستند. بنابراین، کارخانه‌ها یک قطعه کوچک از لوله رزوه‌دار با schedule 40 را که از جنس فولاد ضدزنگ است به انتهای لوله با دیواره نازک جوش می‌دهند. لبه خارجی این اتصالات لب به لب بوده ولی لبه داخلی آن این چنین نیست.

در صورت نصب چاه‌های ترکیبی، جفت کردن صحیح اتصالات رزوه‌دار بسیار حیاتی است. چنین امری با خرید صافی پوسته که طبق استاندارد کوپل ASTM F 480- 90, (1992) ساخته شده است، اجرا می‌شود.

- **قطر**

انتخاب قطر پوسته بسته به هر سایت متفاوت است. چاه‌های کوچک، قطری کمتر از ٤ اینچ دارند. چاه‌هایی که از روش‌های متداول حفاری استفاده می‌کنند، عموماً قطری بین ۲ تا ٤ اینچ دارند.

چاه‌هایی که با تکنولوژی direct push نصب می‌شوند، قطرهایی از ۰/۵ تا ۲ اینچ دارند. مزایای چاه‌های با قطر کم به قرار زیر است:

- سطح آب پس از تخلیه چاه به زمان کمتری برای برگشتن به حالت قبل نیاز دارد.
- حجم کمتری از آب دورریز که نیاز به دفع دارد، تولید می‌شود.
- هزینه‌های ساخت آن کمتر است.
- نصب آن‌ها توسط متودهای driven، direct push، jetting و یا Hollow stem راحت‌تر است.

برخی از معایب آن نیز به شرح زیر است:

- دسترسی به ابزار نمونه‌گیری محدود است.

- نصب بستر فیلتر و درزگیر دشوارتر است.
- به خاطر ضخامت دیواره کمتر، توانایی آن‌ها در عمق‌های کمتر محدود می‌شود.
- توسعه آن‌ها دشوارتر است.
- طی تست هیدرولیک و یا عملیات استخراج اصلاحی آب زیرزمینی کمتری پمپ می‌شود.
- میزان آب در دسترس برای آنالیزهای شیمیایی ممکن است کافی نباشد.
- پس از برداشت آب، بازیابی آن کندتر است.

- **نصب پوسته**

پوسته پیش از نصب باید کاملاً تمیز شود. شوینده‌های قوی و حتی بخار آب ممکن است برای حذف روغن‌ها، زدودن حلال‌ها، روان‌کارها، واکس‌ها و دیگر مواد ضروری باشد. (Curran and Tomson, 1983; Barcelona et al., 1983).

قویاً توصیه شده که تنها مواد تمیزکاری توسط کارخانه برای چاه‌های پایش استفاده شود. پوسته توسط تأمین کننده، تضمین می‌گردد و تک به تک برای حفظ تمیزی، درون بندهایی پیچیده می‌شود. چنانچه توسط کارخانه تمیزکاری و درزگیری نشده باشد، باید به همان ترتیب که Curran و Tomson (۱۹۸۳) و Barcelona و همکاران (۱۹۸۳) پیشنهاد داده‌اند، کاملاً با شوینده‌های غیر فسفاته آزمایشگاهی (مثل لیکویناکس) تمیز شده و با آب تمیز یا مقطر (یون‌زدایی شده) شستشو داده شود. مواد باید در محلی تمیز محافظت و نگهداری شود تا از آلوده شدن آن به خاطر عملیات سایت و حفاری جلوگیری به عمل آید.

در حین نصب پوسته، مهم است که پوسته در مرکز چاهک باشد تا از استقرار صحیح و توزیع یکنواخت بستر فیلتر و درزگیر حلقوی اطمینان حاصل شود. به علاوه، مرکزیت پوسته کمک می‌کند تا دسترسی به ابزار نمونه‌گیری راحت‌تر باشد. اگر از متود hollow-stem استفاده شود، به ابزارهای سنجش دیگر نیازی نیست، چرا که مته به عنوان ابزار ایجاد مرکزیت عمل می‌کند. چنانچه پوسته در یک چاهک باز نصب شود، ابزارهای ایجاد مرکزیت از جنس فولاد ضدزنگ یا PVC می‌تواند استفاده گردد. این ابزار

قابل تنظیم بوده و معمولاً درست بالای صافی و با بازه‌های ۱۰ تا ۲۰ فوت در طول بالابر وصل می‌شود. چنانچه از ابزار ایجاد مرکزیت استفاده شود، تدابیری برای جلوگیری از اتصال بستر فیلتر و مواد درزگیر در طول نصبشان باید اندیشیده شود.

اگر وزن صافی و بالابر چاه به میزان قابل توجهی از نیروی شناوری سیال کمتر باشد، وزنه‌های تعادلی را برای کم کردن تمایل مواد به شناور شدن در چاهک به پوسته اضافه می‌کنند. بالابر توسط آبی که از منبعی معلوم و قابل قبول باشد و یا با آب تخلیه شده از چاهک سنگین می‌شود. گزینه دیگر، استفاده از چکش‌های هیدرولیکی بر روی تجهیزات حفاری برای راندن بالابر به درون چاهک می‌باشد (ASTM D5092-04).

## ۳-۳- آبگیر

اکثر چاه‌ها دارای صافی و بستر فیلتر هستند که آبگیر چاه را تشکیل می‌دهند. چاه‌های پایش در بستر سنگی منسجم ممکن است شامل آبگیرهای چاهک باز باشند.

- **بستر فیلتر**

چاه‌هایی که مواد غیر یکپارچه و با یکپارچگی کم را پایش می‌کنند، معمولاً به صافی احاطه شده توسط موادی با هدایت هیدرولیکی بالاتر (بستر فیلتر) نیازمند هستند. در اصل، بستر فیلتر، قطر مؤثر چاه را افزایش داده و از ورود مواد ریزدانه جلوگیری می‌کند.

❖ انواع بستر فیلتر

بسترهای فیلتر به دو گروه عمده طبیعی و مصنوعی طبقه‌بندی می‌شوند. فیلترهای طبیعی توسط تخریب ساختار خاک پیرامون صافی تشکیل می‌گردد. به طور کلی، فیلترهای طبیعی برای ساختارهایی با دانه‌های درشت، نفوذ پذیر و یکنواخت در اندازه دانه‌ها توصیه می‌شود. توزیع اندازه دانه‌های ساختار

خاک باید توسط آنالیز غربالی نمونه‌های خاک تعیین گردد. فیلترهای طبیعی زمانی مناسب است که اندازه مؤثر دانه‌ها (سایز غربالی که ۱۰٪ خاک را از خود عبور می‌دهد و ۹۰٪ را نگه می‌دارد) از ۰/۰۱ اینچ بیشتر و ضریب یکنواختی (نسبت سایز غربالی که ۶۰٪ خاک را از خود عبور می‌دهد به سایز غربالی که ۱۰٪ خاک را از خود عبور می‌دهد) از ۳ بیشتر باشد. به طور ایده‌آل، زمانی که چاه توسعه می‌یابد، تمام ذرات ریزدانه حذف می‌شوند.

نصب فیلترهای مصنوعی شامل قرار دادن مستقیم مواد درشت‌دانه‌تر پیرامون صافی می‌باشد. این نوع فیلتر، اجازه استفاده از صافی‌هایی با شکاف‌های بزرگتر را نسبت به زمانی که صافی در تماس مستقیم با خاک باشد، می‌دهد. عموماً استفاده از فیلترهای مصنوعی در موارد زیر ضروری است: ۱) ساختار خاک ضعیف باشد؛ ۲) آبگیر درون خاک، چند بافتی و یا مواد چند لایه‌ای نازک با سایز دانه‌های متنوع باشد؛ ۳) ساختار خاک، شن‌های ریز یکنواخت، لای یا خاک رس باشد؛ ٤) ساختار خاک شامل مواد thinly-bedded، سنگ‌های شنی سیمانی و بسترهای صخره‌ای هوا زده، دارای شکستگی و کانالیزه شده باشد؛ ٥) سنگ‌های رس و زغال سنگ که منابع پیوسته‌ای برای کدورت هستند، دیواره چاه را تشکیل دهند؛ و ٦) قطر چاهک به میزان زیادی بزرگ‌تر از قطر صافی باشد (Nielsen and Schalla, 2006) و (Aller et al. ,1991).

فیلترهای مصنوعی عموماً در محیط‌های غیر یکپارچه و غیر منسجم که اندازه مؤثر دانه‌های آن کمتر از ۰/۰۱ اینچ می‌باشد و ضریب یکنواختی کمتر از ۳ دارند، استفاده می‌شود. (Nielsen and Schalla, 2006). صافی‌های از قبل بسته‌بندی شده نیز ممکن است برای نصب فیلترهای مصنوعی استفاده شود. برای اطمینان از مؤثر بودن بستر فیلتر، نصب آن بر روی سطح صافی انجام می‌شود.

فیلتر مصنوعی شامل دو بخش است. فیلتر اولیه که از ته چاهک تا بالاسر قسمت فوقانی صافی کشیده شده است. در بعضی موارد نصب فیلتر ثانویه درست بالای فیلتر اولیه مد نظر است. هدف از آن، جلوگیری از ورود درزگیر حلقوی به درون فیلتر اولیه می‌باشد که می‌تواند به طور جزیی یا کلی باعث گرفتگی صافی شود.

❖ ماهیت مواد بستر فیلتر مصنوعی

مواد بستر فیلتر باید تفکیک شده، کاملاً کروی، تمیز، به لحاظ شیمیایی خنثی، دارای منشأ مشخص و عاری از هرگونه خاک رس ریزدانه، ذرات و مواد آلی باشد. Barcelona و همکاران، استفاده از شن کوارتز یا مهره‌های شیشه‌ای را توصیه کرده‌اند. کوارتز به خاطر ویژگی غیر واکنشگر و در دسترس بودنش، بهترین ماده طبیعی می‌باشد. سنگ آهک خُرد شده به خاطر اندازه نامنظم ذرات و احتمال تأثیرات شیمیایی، هیچ‌گاه نباید مورد استفاده قرار گیرد. مواد باید در کارخانه، شستشو داده شده و خشک و بسته بندی شوند. این مواد معمولاً در کیسه‌های ۱۰۰ پوندی در دسترس هستند (حدوداً در حجم یک فوت مکعب) (Nielsen and Schalla, 2006).

انتخاب مواد باید بر اساس اندازه ذرات ساختار خاک باشد. اگر ذرات خیلی ریزدانه باشند، امکان هدر رفتن آن‌ها درون ساختار خاک وجود دارد (Nielsen and Schalla, 2006). از طرف دیگر، اگر اندازه ذرات خیلی بزرگ باشد، بستر فیلتر نمی‌تواند به طور مؤثر مواد ریزدانه را گرفته و منجر به کدورت زیاد نمونه‌ها می‌شود. به همین دلایل، استفاده از یک ترکیب واحد از صافی و یا بستر فیلتر برای تمام ساختارهای خاک باید اجتناب شود (ASTM D5092-04).

اندازه ذرات بستر فیلتر اولیه عموماً باید از شن با اندازه متوسط تا ریگ‌های کروی متغیر باشد. اکثر مواد در اندازه‌های ۰/۰۱۶ تا ۰/۰۳۳ اینچ موجودند. اندازه ذرات بستر فیلتر اولیه از ضرب اندازه غربالی که ۷۰٪ ذرات را در خود نگه می‌دارد در عدد ۶ بدست می‌آید، ساختار خاک در ضریبی بین ۳ و ۶ تعیین می‌گردد (U.S.EPA, 1975).

ضریب ۳ برای ساختارهای یکنواخت و ریزدانه و ضریب ۶ برای ساختارهای غیر یکنواخت و درشت‌دانه بکار می‌رود. اگر ذرات بستر کمتر یکنواخت بوده و ضریب یکنواختی آن ۶ تا ۱۰ باشد، باید اندازه غربالی که ۹۰٪ ذرات را در خود نگه می‌دارد در عدد ۶ ضرب شود (Nielsen and Schall 2006). این امر برای اطمینان از رد نشدن ذرات توده ساختار خاک است. نسبت اندازه ذرات ساختار خاک نباید از ٦ بیشتر باشد؛ در غیر این صورت، بستر فیلتر توسط مواد ریزدانه ساختار خاک مسدود خواهد شد

(Lehret et al., 1988). چنانچه این نسبت کوچک‌تر از ۴ باشد، استفاده از صافی با شکاف‌های کوچکتر ضروری بوده، توسعه کامل چاه امکان‌پذیر نبوده و بازده چاه پایین خواهد آمد. در صورت پایش منطقه-ای با چینه‌شناسی لایه‌ای و غیر همگون، بستری باید انتخاب شود که برای لایه با کوچک‌ترین اندازه دانه، مناسب باشد. معمولاً بستر فیلتر با اندازه دانه‌های یکنواخت ترجیح داده می‌شود. به طور ایده‌آل، ضریب یکنواختی تا حد امکان نزدیک به ۱ بوده و از ۲/۵ بیشتر نشود (Nielsen and Schalla, 2006) و (ASTM D5092-04, 2005).

نصب مواد یکنواخت، آسان‌تر است. اگر مواد غیر یکنواخت استفاده شود، تفاوت در سرعت‌های سقوط باعث می‌شود که دانه‌های درشت تا ریز از پایین به بالا در طول صافی مرتب شوند. چنین اتفاقی باعث هرز رفتن بخش ریزدانه بالایی به درون چاه در حین توسعه می‌گردد.

مواد بستر فیلتر ثانویه باید حاوی موادی متناظر با غربالی که ۹۰٪ مواد را در خود نگه می‌دارد، باشد تا از تخلخل بستر اولیه بزرگ‌تر بوده و از ورود مواد بستر ثانویه به درون بستر اولیه جلوگیری کند (Nielsen and Schalla, 2006). عموماً، اندازه غربالی که ۹۰٪ ذرات بستر ثانویه را از خود عبور می‌دهد باید یک‌پنجم تا یک‌سوم اندازه غربالی باشد که ۹۰٪ ذرات بستر اولیه را از خود عبور می‌دهد (Nielsen and Schalla, 2006).

❖ ابعاد بستر فیلتر مصنوعی

بستر فیلتر باید به حد کافی ضخیم باشد تا کاملاً پیرامون صافی چاه کشیده شود. آنالوس چاه باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا از اتصال مواد بستر فیلتر جلوگیری کند. نصب صافی چاه در مرکز چاهک، وجود فضای کافی برای یک بستر فیلتر مؤثر را تضمین می‌نماید.

بستر اولیه باید از ته صافی تا حداقل ۳ فوت بالاسر قسمت فوقانی‌اش کشیده شود (Nielsen and Schalla, 2006). در چاه‌های عمیق‌تر (به عبارتی ft ۲۰۰< )، در ابتدا بستر نیازی به فشرده شدن ندارد. فشرده سازی پس از نصب درزگیر حلقوی انجام می‌شود که اجازه تماس بیشتر با

صافی را به آن می‌دهد. بنابراین، برای احتساب فشرده شدن و همچنین ایجاد امکان تفکیک کافی درزگیر و صافی، به مقدار اضافی از مواد بستر نیاز می‌باشد. با این حال، کشیدگی بستر نباید بیش از حد باشد چرا که ناحیه مشترک آب زیرزمینی و چاه زیاد شده و ممکن است باعث رقیق‌سازی اضافی شود. طول بستر ثانویه باید ۱ فوت یا کمتر باشد.

❖ نصب بستر فیلتر مصنوعی

روش‌های مورد استفاده برای نصب بستر فیلتر مصنوعی شامل لوله ترمی، جاگذاری ثقلی، گردش معکوس و شستشوی معکوس می‌باشد (Nielsen and Schalla, 2006).

مواد باید به گونه‌ای مستقر شوند که از اتصال و تفکیک ذرات جلوگیری شود. اتصال باعث ایجاد تخلخل‌های بزرگ‌تر شده و مانع از رسیدن ذرات به عمق دلخواه می‌شود. تفکیک ذرات می‌تواند باعث تولید نمونه‌های کدر شود. در حین عملیات نصب، برای تعیین زمان رسیدن به ارتفاع مطلوب و همچنین عمل به عنوان ابزار کوبش برای کاهش احتمال اتصال، اندازه‌گیری‌های منظم با یک تسمه سنگین انجام می‌شود. حجم مورد انتظار بستر فیلتر باید محاسبه گردد. این مقدار، از اختلاف حجم چاهک و پوسته (محاسبه با قطر خارجی آن) به دست می‌آید که از ته چاهک، در ارتفاع مناسبی بالاسر صافی چاه می‌باشد. هر گونه اختلاف در حجم‌های حقیقی و محاسبه شده باید توجیه شود.

روش ارجح برای نصب بستر مصنوعی، استفاده از لوله ترمی برای جاگذاری مستقیم مواد در پیرامون صافی می‌باشد.

لوله برای کمک به کمینه کردن اتصال به طور متناوب بالا کشیده می‌شود. عموماً قطر داخلی لوله حداقل ۱ اینچ می‌باشد، اما در صورت نصب بسترهای درشت‌دانه‌تر، قطرهای بزرگ‌تر ضروری خواهد بود.

در صورت نصب چاه درون یک ساختار خاک منسجم، لوله ترمی پس از برداشتن ابزار حفاری می‌تواند استفاده شود. در جاگذاری ثقلی به مواد اجازه می‌دهند تا در مکان دلخواهی پیرامون صافی

سقوط آزاد کند. استفاده از این روش محدود به چاه‌های کم‌عمق با فضای حلقوی بیشتر از ۲ اینچ می‌باشد که در این صورت احتمال اتصال یا تفکیک به حداقل می‌رسد (Nielsen and Schalla, 2006). برای ساختار خاک‌هایی با برونده کم، امکان خشک کردن چاهک برای سهولت در جاگذاری وجود دارد؛ با این حال، اگر مواد بستر ضریب یکنواختی ۲/۵ یا کمتر داشته باشند، معمولاً تفکیک ذرات مسئله‌ساز نیست. در صورت یکنواخت نبودن ذرات، جاگذاری ذرات می‌تواند باعث مرتب کردن آن‌ها شود. به علاوه، ذرات خاک اغلب طی عملیات جاگذاری وارد بستر فیلتر شده و میزان کارایی آن را کاهش می‌دهد. برای اکثر موارد، این روش توصیه نمی‌گردد.

روش گردش معکوس شامل وارد کردن مخلوط آب و شن از طریق آنالوس می‌باشد. شن پیرامون صافی ته‌نشین شده در حالی که آب از طریق پوسته دوباره به سطح برمی‌گردد. به خاطر احتمال تغییر کیفیت آب، عموماً این روش توصیه نمی‌شود. در شستشوی معکوس به مواد از درون آنالوس اجازه سقوط آزاد می‌دهند، در حالی که آب تمیز از درون پوسته به پایین پمپ می‌شود. آب حامل مواد ریزدانه از درون آنالوس به بالا باز می‌گردد. این عمل باعث ایجاد بستر یکنواخت‌تر می‌شود.

این روش برای نصب چاه پایش متداول نبوده و به خاطر احتمال تغییر کفیت آب زیرزمینی توصیه نمی‌شود. با این وجود، گاهی به منظور جاگذاری بستر درون شن و لای غیر یکپارچه استفاده می‌شود.

- **صافی‌ها**

صافی، هم امکان دسترسی به قسمت خاص از سفره آب زیرزمینی را فراهم می‌کند و هم مانعی است برای ورود ناخواسته ذرات خاک به درون نمونه‌های آب زیرزمینی.

❖ انواع صافی

جنس پوسته، برای صافی هم صادق است. تنها از صافی‌های تولید شده در کارخانه باید استفاده شود، چرا که منافذ این صافی‌ها دقیقاً برای اندازه‌های خاصی از دانه‌ها طراحی شده است. صافی‌های

سوراخ شده یا شکاف داده شده در محل هیچ‌گاه نباید استفاده گردند، چرا که توانایی تولید اندازه روزنه مورد نیاز وجود نداشته و احتمال حل شدن و یا جذب آلاینده‌ها در سطح تازه برش داده شده وجود دارد. باید یک کلاهک یا در پوش تحتانی در زیر صافی قرار داد تا از ورود رسوبات جلوگیری کرده و مطمئن شویم که تمام آب از درون منافذ صافی وارد چاه شده است.

صافی‌های شکاف‌دار، شیاردار و سوراخ‌دار انواع متداول مورد استفاده برای چاه‌های پایش می‌باشند. در چاه‌های عمیق، عموماً صافی‌های شکاف‌دار، یکپارچگی ساختار خاک را بهتر از صافی سوراخ‌دار حفظ می‌کنند؛ اگر چه سطح آزاد صافی‌های شیاردار و سوراخ‌دار تقریباً دو برابر صافی‌های شکاف‌دار است. سطح آزاد بر واحد طول بزرگ‌تر، بازیابی و توسعه چاه را ارتقاء می‌بخشد. نوع شکاف-داری باید انتخاب شود که بیشترین میزان سطح آزاد را نسبت به تخلخل مؤثر ساختار خاک فراهم آورد. نظرات متفاوتی در مورد درصد بهینه سطح آزاد مورد نیاز برای عملکرد هیدرولیکی مؤثر صافی چاه‌ها بیان شده است. با این حال، چنانچه درصد سطح آزاد پیشنهاد شده در بازه ۸ تا ۳۸٪ باشد، تأثیر قابل توجهی در عملکرد چاه ندارد. Driscoll, (1986) توصیه کرده که درصد سطح آزاد حداقل باید برابر تخلخل مؤثر بافت خاک و بستر فیلتر باشد. در شرایط معمول با تخلخل مؤثر ۸ تا ۳۰ درصد، اگر صافی-های شیاردار مورد نظر نباشند، ترجیح داده می‌شوند. زمانی بالا بودن درصد سطح آزاد صافی مهم‌تر است که چاه در بافت ریزدانه خاک، که اندازه شیارهای کوچک‌تر و بستر فیلتر ریزدانه مورد نیاز است، نصب شده باشد (Nielsen and Schalla, 2006).

❖ صافی های از پیش پُر شده

صافی‌های از پیش پر شده شامل یک صافی از داخل شیاردار شده است که به وسیله یک روکش سوراخ‌دار که به عنوان نگهدارنده بستر فیلتر عمل می‌کند، محاط شده است. این مجموعه، هم می‌تواند با بستر فیلتر که از قبل پر شده نصب شود و هم بدون بستر فیلتر و با شن در محل پر شود. برای سایز کردن مناسب پرکننده‌های فیلتر به ASTM D5092-04 رجوع کنید. این نوع صافی کمک می‌کند تا

مشکلات جاگذاری بستر فیلتر پیرامون صافی در چاه‌های کم‌قطر بر طرف شود. در بافت‌های ریزدانه خاک، صافی‌های از پیش پُرشده برای اطمینان از جاگذاری صحیح بستر فیلتر بهترین گزینه است (ASTM D5092-04). ASTM D5092-04 راهنمایی‌های بیشتری را برای استفاده از چاه‌های از پیش پُر شده ارائه می‌دهد.

❖ اندازه منافذ

برای انتخاب اندازه منافذ، باید آنالیز غربالی روی مواد پُر کننده انجام شود. اندازه انتخاب شده باید قادر به نگهداشتن حداقل ۹۰٪ از پرکننده‌ها در خود باشد. در بسیاری از مواقع مقدار ۹۹٪ ترجیح داده می‌شود (Nielsen and Schalla, 2006 و ASTM D5092-90,1994).

برای چاه‌هایی که به طور طبیعی پر شده‌اند، صافی باید توانایی نگه داشتن حداقل ۷۰٪ پرکننده‌ها را در خود داشته باشد (Nielsen and Schalla, 2006 و ASTM D5092-04). برای اطلاعات بیشتر در مورد انتخاب پرکننده‌ها و صافی به Aller et al., (1991) ، Nielsen and Schalla, (2006) و ASTM D5092-90, (1994) رجوع کنید.

باید دقت شود که اگر صافی PTFE در چاه‌های عمیق استفاده شود، اندازه منافذ باید کمی بزرگتر از مقدار پیش‌بینی شده انتخاب شود. علت آن، مقاومت فشاری کمتر آن است که باعث فشرده شدن منافذ می شود (Dablow et al., 1988).

❖ طول

طول صافی باید برای منطقه مورد نظر مناسب باشد و عموماً نباید از ۱۰ فوت تجاوز کند. صافی-ای با طول ۲ تا ۵ فوت برای نمونه‌گیری دقیق‌تر و اندازه‌گیری‌های مجزای هد مطلوب است. صافی‌های بلندتر، نمونه‌های مرکبی تولید می‌کنند که ممکن است با آب تمیز رقیق شود. در نتیجه، ممکن است غلظت آلاینده‌ها مقداری کمتر به دست آید. به علاوه، اگر جریان عمودی داشته باشیم، صافی چاه ممکن

است مسیری برای توزیع مجدد آلاینده‌ها و تداخل آن‌ها در بافت خاک باشد. همچنین به علت تداخل آلاینده‌ها، صافی نباید درون بیش از یک سفره آب زیرزمینی کشیده شود. زمانی که باید بافت ضخیمی از خاک پایش شود، باید مجموعه‌ای از چاه‌های جداگانه نزدیک به هم در اعماق مختلف نصب شود تا تمام ضخامت بافت خاک پایش شود. برای انتخاب طول صافی که سطح آب زیرزمینی را پایش می‌کند، نوسانات فصلی سطح آب باید به حساب آید.

- **آبگیرهای چاهک‌های باز**

برای ساخت چاه‌های پایش درون بستر صخره‌ای محکم، غالباً نیازی به آبگیر مصنوعی نیست؛ زیرا یک چاله باز می‌توان حفر کرد که حرکت رسوبات را نیز محدود می‌کند. نصب بستر فیلتر در این مواقع به علت هدر رفت آن در بافت خاک اطراف ممکن است مشکل باشد. با این حال، در بعضی موارد، آبگیرها جزء ضروری چاه‌های بستر صخره‌ای هستند. صافی و بستر فیلتر باید در بستر صخره‌ای بسیار هوازده، دارای شکستگی و دارای کمی سیمان نصب شود (Nielsen and Schalla, 2006).

برای جلوگیری از رقیق شدن نمونه، طول چاه باز عموماً نباید از ۱۰ فوت تجاوز کند. برای پایش یک منطقه مجزا در یک بافت یکپارچه، پوسته باید برای حفظ محدودیت ۱۰ فوت، تا عمق مناسبی کشیده شده و ملاط کاری شود.

### ۳-٤-درزگیرهای حلقوی

فضای باز و حلقوی بین دیواره چاهک و پوسته باید به خاطر اهداف زیر آب‌بندی شود: ۱) ایزوله کردن ناحیه‌ای مجزا؛ ۲) جلوگیری از حرکت آب‌های سطحی؛ ۳) جلوگیری از حرکت عمودی آب زیرزمینی بین لایه‌ها؛ و ٤) حفظ شرایط محدود کننده به وسیله جلوگیری از حرکت به طرف بالای آب درون پوسته.

یک درزگیر مؤثر به آنالوسی نیاز دارد که کاملاً با آب‌بند پر شده باشد و یکپارچگی فیزیکی درزگیر در طول عمر چاه حفظ گردد (Allerr et al., 1991).

- **جنس**

درزگیر باید با نفوذپذیری کم (معمولا $10^{-9}$ تا $10^{-7}$ cm/sec)، قادر به چسبیدن به پوسته و در بیش‌ترین غلظت قابل پیش‌بینی مواد شیمیایی، بی‌اثر باشد. متداول‌ترین مواد استفاده شده شامل بنتونیت و دوغاب سیمانی می‌باشد. هر کدام خصوصیاتی خاص، واحد و مطلوب دارند. توضیح مختصری درباره این مواد در اینجا آورده شده است. اطلاعات بیشتر در Michingan DEQ, (2007) و ASTM Method C-150, (2007) و Nielsen and Schalla, (2006) یافت می‌شود.

❖ بنتونیت

بنتونیت شامل ذرات خاک رس است که حجم اولیه‌اش چندین بار بعد از آبگیری زیاد می‌شود. مورد قبول‌ترین شکل آن، خاک رس مونت‌موریلونیت غنی از سدیم (Na) می‌باشد که پس از آبدهی حجمش ۱۰ تا ۱۲ برابر می‌شود. انواع دیگر مثل بنتونیت کلسیمی (Ca)، کمتر مطلوب است چرا که توانایی حجیم شدن و نسبت سطح به جرم کمتری دارد. با این حال، اگر بنتونیت سدیمی با بافت خاک یا آنالیزها ناسازگار باشد، انواع دیگر بنتونیت باید مد نظر قرار گیرد. برای مثال، ممکن است قابلیت‌های بنتونیت به طور سوء با نمک‌های کلرید، اسیدها، الکل‌ها و دیگر ترکیبات قطبی متأثر شود. بنتونیت کلسیمی ممکن است برای رسوبات کربنات کلسیم مناسب‌تر باشد.

بنتونیت در اشکال مختلف موجود است که شامل گلوله‌ای، درشت‌دانه، گرانول و پودری می‌باشد. شکل گلوله‌ای دارای اندازه‌ای یکنواخت بوده و شامل مونت‌موریلونیت پودری فشرده است. اندازه آن‌ها از ۱/٤ تا ۱/۲ اینچ متغیر است.

گلوله‌ای‌ها با سرعت نسبتاً کمتری نسبت به دیگر اشکال منبسط می‌شوند. درشت‌دانه‌ها، شامل ذرات مونت‌موریلونیت خرد شده، براده‌ای، ناموزون و غیر هم‌اندازه است که اندازه‌شان از ۱/٤ تا ۳/٤

اینچ متغیر است. اندازه ذرات گرانول از ۰/۰۲۵ تا ۰/۱ اینچ متغیر می‌باشد. بنتونیت پودر شده، مونت-موریلونیتی است که پس از عملیات معدن در کارخانه تبدیل به پودر شده است. اشکال پودری و گرانول را معمولاً برای تشکیل دوغاب با آب مخلوط می‌کنند.

ریسک از دست رفتن دوغاب درون بستر فیلتر زیرین و بافت خاک اطراف باید مد نظر قرار گیرد. دوغاب بنتونیت با کمتر از ۳۰ درصد جامدات می‌تواند میل طبیعی خود به آب را از دست داده و آن را به درون بافت خاک رها کند (Listi, 1993). بنتونیتی که برای عملیات حفاری استفاده می‌شود مقدار جامدات کمی داشته و خاصیت آب‌بندی ضعیفی دارد، بنابراین، به عنوان ماده درزگیر حلقوی مناسب نیست (Edil et al., 1992). بنتونیت حاوی مقدار جامد بالا (۳۰٪ < جامدات رسی) مخصوص ساخت چاه پایش توسعه پیدا کرده و به عنوان یک درزگیر مؤثر عمل می‌کند.

❖ دوغاب سیمان

دوغاب سیمان از سیمان پورتلند و آب بدون هیچ مصالح ریزدانه تشکیل شده است. این ملاط، سیمان هیدرولیکی است که از پودر کربن کلینکر سیمان که عمدتاً حاوی سیلیکات کلسیم هیدراته و گاهی هم سولفات کلسیم می‌باشد، به دست می‌آید.

سیمان پورتلند حاوی هوا به طرز ویژه‌ای فرآوری شده تا حباب‌های هوای ریزی را درون ساختار سخت شده تشکیل دهد. مواد دارای حباب هوا در حین آسیاب شدن کلینکر به آن اضافه می‌شود. محصول نهایی در برابر یخ زدن-آب شدن مقاوم‌تر بوده و معمولاً برای چاه‌های تأمین آب استفاده می‌شود. با این حال، به خاطر نفوذپذیری بیشترشان، نسبت به سیمان‌های استاندارد کمتر مد نظر هستند. در نتیجه، این نوع سیمان‌ها برای آب‌بندی چاه‌های پایش توصیه نمی‌شود.

آب اضافه شده به این سیمان باید آب آشامیدنی بوده و میزان کل جامدت حل شده آن باید کمتر از ppm ۵۰۰ باشد (Nielsen and Schalla, 2006). غلظت کلرید و سولفات آن هم باید کم باشد (Campbell and Lehr, 1973) با افزایش نسبت آب به سیمان، مقاومت فشاری سیمان کاهش و آب-

رفتگی آن افزایش می‌یابد. انیستیتو نفت آمریکا نسبت ۵/۲ گالن آب برای هر کسیه ۹۴ پوندی سیمان را توصیه کرده است. آب بیشتر باعث پمپاژ راحت‌تر آن می‌شود اما اثر سوئی بر روی خصوصیت آب‌بندی ملاط دارد. آب اضافی موجب آب‌رفتگی و جدایش ذرات سیمان می‌شود که یکپارچگی درزگیر را به خطر می‌اندازد (Nielsen and Schalla, 2006).

معایب عمده دوغاب سیمان، گرمای آبدهی، آب رفتن طی عمل‌آوری و تأثیر آن بر روی کفیت آب می‌باشد. طی عمل‌آوری آن، گرما آزاد می‌شود که معمولاً برای چاه‌های پایش نگرانی خاصی تولید نمی‌کند. اگر حجم زیادی از سیمان استفاده شود و یا گرما به سرعت پراکنده نگردد، دماهای بالا می‌تواند به یکپارچگی پوسته PVC لطمه وارد آورد. اگر چه چاهک اکثر چاه‌های پایش، کوچک است و عموماً گرمای زیادی که آسیب برساند، تولید نمی‌شود.

آب رفتن به خاطر ایجاد ترک و تخلخل نامطلوب است. گاهی اوقات برای کاهش آب رفتن به دوغاب سیمان بنتونیت اضافه می‌شود. بنتونیت همچنین برای بهبود کارایی سیمان، کاهش وزن و چگالی دوغاب و کاهش مقاومت درزگیر سیمان استفاده می‌گردد. بعضی محققین نشان داده‌اند که بنتونیت به لحاظ شیمیایی با سیمان سازگار نبوده و بنابراین، بنتونیت متورم نمی‌شود. در نتیجه، در عمل، ظرفیت دوغاب برای متورم شدن کاهش می‌یابد (Calhoun, 1988, Listi, 1993). یون‌های سدیم بنتونیت طی فرایند تبادل یونی با یون‌های کلسیم سیمان جایگزین شده و ظرفیت متورم شدن بنتونیت را کاهش می‌دهد. سیمان هم با آزاد کردن $OH^-$ در حین سفت شدن باعث لخته شدن بنتونیت و کاهش توان متورم شدن آن می‌شود (Nielsen and Schalla, 2006).

طی عمل سفت شدن دوغاب، سیمان اغلب آب خود را به درون بافت خاک رها کرده و بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد. pH دوغاب سیمان معمولاً بین ۱۰ تا ۱۲ متغیر است. بنابراین ایزوله کردن درزگیر حلقوی از صافی و بستر فیلتر حائز اهمیت است. این کار با قرار دادن بستر فیلتر ثانویه بسیار ریزدانه با ضخامت ۲ تا ۳ فوت بالای بستر فیلتر اولیه انجام می‌شود.

- **طراحی درزگیر**

درزگیرهای حلقوی برای جلوگیری ازورود ذرات به بستر فیلتر باید معیارهایی را رعایت کنند. تماس نمونه‌های آب زیرزمینی با درزگیر باعث بالا رفتن مصنوعی pH خواهد شد. به علاوه، بنتونیت دارای ظرفیت بالای تبادل کاتیونی است که ممکن است بر روی شیمی نمونه‌ها تأثیر بگذارد (Aller et al., 1991). در ناحیه اشباع یک درزگیر بنتونیتی خالص ۲ فوتی می‌تواند خطر ورود ذرات را کمینه کند. بالای درزگیر دوغاب سیمان یا ملاط بنتونیت باید در بقیه آنالوس تا محدوده چند فوتی سطح ریخته شود.

- **نصب درزگیر**

❖ بنتونیت

در نصب درزگیرهای حلقوی باید از تکنیک‌هایی استفاده شود که مانع اتصال گردد چرا که اتصال باعث ایجاد فضاهای خالی، ترک و آب‌رفتگی می‌شود. آب سطحی و/یا آلاینده‌ها می‌توانند درون فضاهای خالیِ ایجاد شده حرکت کنند. اگر بنتونیت در تماس با آب زیرزمینی باشد، ممکن است به علت pH بالا و ظرفیت بالای تبادل کاتیونی‌اش، شیمی آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار دهد. کاتیون‌های درون ساختار مولکولی بنتونیت ممکن است با کاتیون‌های درون آب زیرزمینی مبادله شوند. به همین خاطر، مواد درزگیر بنتونیتی باید حداقل ۳ تا ۵ فوت بالای قسمت فوقانی صافی قرار بگیرند. استفاده از بستر فیلتر ثانویه بالای فیلتر اولیه نیز توصیه شده است (Nielsen and Schalla, 2006). برای نصب درزگیر بنتونیتی بالای بستر فیلتر، معمولاً بنتونیت گرانول، بنتونیت گلوله‌ای و یا تراشه‌های بنتونیت مستقیماً از درون آنالوس به طرف پایین ریخته شده و پیرامون پوسته را فرا می‌گیرد. در صورت امکان اگر ابزار کوبش استفاده شود، این روش برای چاه‌هایی با عمق کمتر از ۳۰ فوت قابل قبول است. با این حال، در چاه‌های عمیق‌تر از ۳۰ فوت، بنتونیت درشت‌دانه توسط لوله ترمی جاگذاری می‌شود.

پیش از درزگیری بقیه فضای حلقوی، باید به بنتونیت اجازه آبگیری و به عمل آمدن داده شود. این امر کمک می‌کند تا از نفوذ ملاط به داخل منافذ صافی جلوگیری به عمل آید. به علت اینکه بنتونیت برای عمل آبگیری به آبی با کیفیت و مقدار کافی نیازمند است، گلوله‌ها و تراشه‌های بنتونیت عموماً در ناحیه اشباع به کار می‌روند. چنانچه یک درزگیر بنتونیتی دو فوتی در منطقه غیر اشباع مد نظر باشد، باید از بنتونیت گرانول استفاده کرد. این بنتونیت اضافه می‌شود و با آبی که آشامیدنی است و عاری از مواد مضر است آبدهی می‌شود (Nielsen and Schalla, 2006).

برای بقیه آنالوس، درزگیرها باید به شکل دوغاب بوده (مثل دوغاب سیمان، دوغاب بنتونیت) و با لوله ترمی جاگذاری شوند. ملاط باید با استفاده از هم‌زن مکانیکی پارویی و یا به گردش در آوردن آن به وسیله یک پمپ با هدف متلاشی کردن کلوخه‌ها، با هم مخلوط شود (ASTM 50-92-04). ملاط باید با لوله‌های ترمی جاگذاری شود. ته لوله باید مجهز به تخلیه کننده جانبی باشد تا از فوران دوغاب از میان بستر فیلتر جلوگیری شود. پیش از اجرای درزگیری سطحی و توسعه چاه، درزگیر باید مطابق با مشخصات معین شده توسط سازنده کاملاً آبگیری شده و به عمل آید.

❖ دوغاب سیمان

دوغاب سیمان نباید درون آنالوس ریخته شود مگر اینکه حداقل ۳ اینچ بین پوسته و چاهک فاصله باشد، آنالوس خشک باشد و ملاط تا محدوده ۳۰ فوتی سطح جاگذاری شود. اگر دوغاب سیمان را درون آب راکد بریزیم ممکن است مخلوط رقیق شده یا اتصال اتفاق بیفتد (Nielsen and Schalla, 2006). دوغاب سیمان باید با ملاط بنتونیت مخلوط شود. لوله ترمی باید برای جاگذاری استفاده شود که درون آنالوس تا محدوده چند اینچی ته فضایی که دریچه تخلیه جانبی تعبیه شده، وارد می‌شود.

### ۳-۵- اجرای عملیات درزگیری سطحی/ پوسته محافظ

درزگیر سطحی مانع ورود آب‌های سطحی به آنالوس می‌شود. پوسته محافظ و درزگیر سطحی نقش حفاظتی را در مقابل تخریب‌ها و آسیب‌های اتفاقی دارد.

- **درزگیر سطحی**

درزگیر سطحی از جنس دوغاب سیمان یا بتون باید پیرامون پوسته محافظ عمقی درست زیر frost line (۳ تا ۵ فوت) جاگذاری شود. چنانچه برای درزگیری حلقوی از ماده مشابهی استفاده شود، درزگیر سطحی می‌تواند ادامه همان باشد. در غیر این صورت، درزگیر سطحی مستقیماً بالای درزگیر حلقوی، پس از سفت شدن و به عمل آمدن، نصب می‌شود. درزگیر سطحی باید به طرف خارج چاه شیب‌دار بوده و تا بعد از لبه چاهک کشیده شده باشد تا بتواند آب‌های سطحی را منحرف کند. سیمان حاوی هوا (Air-entraining cement) ممکن است در آب و هوای سرد برای جلوگیری از ترک خوردن ناشی از یخ زدن و آب شدن، مد نظر قرار بگیرد.

- **اجرای عملیات بالای سطح زمین**

در صورت امکان، برای جلوگیری از ورد آب‌های سطحی و افزایش دید، چاه‌های پایش باید بالای سطح زمین کشیده شوند. از frost line به بالا یک پوسته فولادی محافظ باید دور چاه‌ها را فرا گیرد. پوسته محافظ باید دارای قطر حداقل ۲ اینچ بزرگ‌تر از پوسته داخلی بوده، تا بالای آن کشیده شود و درپوش قفل شونده داشته باشد. برای جلوگیری از تجمع آب بین پوسته‌ها یک زه‌کش یا مجرای قطرات کوچک باید درست بالای درزگیر سطحی قرار گیرد. این زه‌کش مخصوصاً در آب و هوای سرد که انجماد آبِ گیرافتاده می‌تواند به پوسته داخلی صدمه بزند، مفید خواهد بود. در مناطقی که احتمال طغیان وجود دارد، پوسته محافظ باید تا بالای ارتفاع طغیان کشیده شود (Nielsen and Schalla, 2006).

سپر یا مانع محافظ باید بالاتر از لبه درزگیر سطحی و در فاصله ۳ تا ٤ فوتی چاه قرار داده شود. این محافظ‌ها برای کاهش یا جلوگیری از صدمات پیش‌بینی نشده ناشی از وسایل نقلیه، ضروری است. دیوار محافظ و نصب شبرنگ می تواند میزان دید را افزایش داده و مانع اتفاق‌های ناخواسته شود.

### ۳-٦- مستندسازی

در زمان نصب چاه پایش، اطلاعات مورد نیاز شامل طراحی و ساخت، دستورالعمل‌حفاری و کلیه مواد مورد استفاده، باید مستند سازی شود.

نقشه‌های دقیق چون‌ساخت (As-Built) نیز باید تهیه شود که معمولاً شامل موارد زیر می‌باشد:

- تاریخ و زمان شروع و تکمیل عملیات ساخت؛
- شماره چاه؛
- روش حفاری و سیال مورد استفاده در عملیات حفاری؛
- قطر چاهک وپوسته چاه؛
- ابعاد پهنا و طول؛
- موقعیت چاه ( $\pm 0.5 ft$ ) با کروکی؛
- عمق چاهک ( $\pm 0.1 ft$ )؛
- عمق چاه ( $\pm 0.1 ft$ )؛
- طول و جنس پوسته؛
- طول بازه سوراخ‌کاری شده؛
- جنس، طول، طراحی و اندازه منافذ صافی؛
- نوع اتصال صافی و پوسته؛
- عمق / ارتفاع سر و ته صافی؛
- اندازه و جنس، محاسبات حجم و روش جاگذاری بستر فیلتر؛
- عمق/ ارتفاع سر و ته بستر فیلتر؛

- ترکیب، حجم و روش جاگذاری درزگیر حلقوی؛
- ترکیب، روش جاگذاری و حجم درزگیر سطحی؛
- طراحی/ساخت درزگیر سطحی و کف چاه؛
- عمق/ ارتفاع آب؛
- دستورالعمل توسعه چاه و کدورت آب زیرزمینی؛
- نوع/طراحی پوسته محافظ؛
- سرپوش و قفل چاه
- ارتفاع سطح زمین ( $\pm 0.01 ft$ )؛
- ترسیم دقیق چاه (با ذکر ابعاد)؛
- نقطه‌ای که آب وجود دارد؛ و
- سطح آب پس از تکمیل توسعه چاه؛

به علاوه موارد زیر نیز باید در طرح‌های کاری، مستند سازی شده و گزارش گردد:

- نحوه انتخاب دلایل منطقی برای انتخاب پوسته و صافی؛
- نحوه انتخاب و دلایل منطقی برای انتخاب قطر چاه، طول صافی و اندازه منافذ صافی؛
- انتخاب و جاگذاری بستر فیلتر؛
- اقدامات ایمنی؛
- موقعیت و ارتفاع چاه‌ها؛ و
- توسعه چاه.

همچنین تاریخچه هر چاه می‌بایست نگهداری گردد که شامل تاریخ جمع‌آوری نمونه‌ها، تاریخ دستورالعمل‌های توسعه چاه، اطلاعات مرتبط با ارتفاع سطح آب، مشکلات، تعمیرات، پرسنل و روش-های خارج کردن چاه از سرویس می‌باشد. این اطلاعات باید به عنوان یک پرونده همواره در دسترس، نگهداری گردد تا در صورت درخواست مقامات ذیربط ارائه گردد.

### ۳-۷-نگهداری و ترمیم چاه‌های پایش

شرایط نگهداری و مراقبت از چاه‌های پایش باید به گونه‌ای باشد که آن‌ها را همواره در حالت عملیاتی و آماده برای نمونه‌گیری حفظ کند. برنامه‌های نگهداری و مراقبت از چاه‌های پایش برای هر سایت متفاوت است و تمام اطلاعات تأثیرگذار بر کارآیی شیمیایی و فیزیکی چاه را باید مد نظر قرار دهد (ASTM Methode D5978-96, 2005).

مراقبت و نگهداری شامل انجام بازرسی‌ها و ارزیابی‌های دوره‌ای عملکرد چاه می‌باشد. مستندسازی صحیح اطلاعات برای استفاده به عنوان شاخص ارزیابی، مورد نیاز است. شرایط فعلی چاه باید با نقشه‌های چون‌ساخت (As-Built) و نتایج اندازه‌گیری‌های قبلی مقایسه شود.

مراقبت و نگهداری معمولاً شامل، و نه محدود به، موارد زیر می‌باشد:

- اطمینان از قابل رؤیت و در دسترس بودن چاه پایش؛
- بازرسی قفل‌ها از نظر زنگ‌زدگی؛
- بازرسی درزگیر و رویه سطحی از نظر شکستگی؛
- چک کردن علامت مرجع برای اطمینان از در معرض دید بودن؛
- تعیین عمق؛
- حذف رسوبات (در صورت نیاز)؛
- ارزیابی کارآیی با انجام آزمایشات هدایت هیدرولیکی؛
- ارزیابی کدورت و احیاء یا تعویض چاه در صورتی که کدورت از حد معینی فراتر رود؛ و
- ارزیابی ساخت و ساز چاه با استفاده از ثبات‌های ژیوفیزیکی یا دوربین‌های مستقر درون چاه.

بازرسی‌های روزمره می‌تواند در خلال نمونه‌برداری انجام شود. ارزیابی‌های بیشتر را می‌توان توسط مقایسه اطلاعات قبلی کیفیت آب زیرزمینی با داده‌های فعلی انجام داد. اگر بازرسی‌های مراقبت و نگهداری وجود مشکلی را نشان داد، ترمیم آن باید انجام شود. فعالیت‌های ترمیم شامل احیا برای حذف مواد ریزدانه یا آلاینده‌های محبوس شده از چاه می‌باشد.

## ٤- توسعه، نگهداری و احیاء چاه پایش

هدف از نمونه‌برداری آب زیرزمینی، به دست آوردن نمونه‌ای است که نمایانگر وضعیت آب زیرزمینی باشد. بدیهی است در هر برنامه‌ای که به منظور نمونه‌برداری تدوین می‌گردد توسعه، نگهداری و احیاء چاه (در صورت نیاز)، عناصری کلیدی هستند. در این راستا، دستورالعمل توسعه و نگهداری چاه باید مستندسازی گردد.

به خاطر تأثیرات مختلف نصب چاه، ممکن است آبی که به چاه پایش وارد می‌شود دقیقاً معرف شرایط و وضعیت طبیعی آب زیرزمینی یعنی برونده، ویژگی‌های شیمیایی و مقدار مواد معلق نباشد. لذا به منظور تهیه و جمع‌آوری نمونه‌های مناسب و خواص فیزیکی (مثل هدایت هیدرولیکی)، لازم است چاه‌ها بطور مناسب توسعه داده شوند. توسعه چاه در واقع شامل تمرکز بر روی بافت خاک بوده به طوری که یک بستر فیلتر مرتب شده اطراف صافی ایجاد شده و کلیه مواد معلق و سیالات باقیمانده از عملیات حفاری و ساخت، جمع آوری گردد. توسعه می‌تواند باعث احیاء شرایط هیدرولیک و افزایش برونده در منطقه اشباع، پایداری تغییرات شیمیایی که در زمان حفر و ساخت رخ داده است، و ایجاد چاهی باشد که می‌تواند نمونه‌ای با کدورت پایین تولید کند
(Panko and Barth, 1988; Aller et al., 1991, Izraeli et al., 1992).

توسعه مناسب باعث ایجاد یک بستر فیلتر مرتب شده اطراف صافی چاه می‌شود. در شروع پمپاژ، مواد طبیعی در اندازه‌های متفاوت به داخل چاه کشیده شده و آب کدری را تولید می‌کنند. با ادامه پمپاژ، مواد طبیعی به داخل بستر فیلتر کشیده شده و از طریق فرآیند Sorting باعث ایجاد یک فیلتر مؤثر می‌شود. فرآیند Sorting زمانی آغاز می‌شود که بزرگ‌ترین ذرات توسط بستر فیلتر گرفته شده که در نتیجه این عمل، لایه‌ای از ذرات درشت در مقابل صافی تشکیل می‌گردد. در صورت ادامه پمپاژ، لایه‌های کوچک‌تری به صورت فزاینده ایجاد می‌گردد تا در نهایت یک بستر فیلتر مرتب شده مؤثر ایجاد گردد (Izraeli et al., 1992).

در واقع، جنبه کلیدی فرآیند توسعه چاه این است که می‌تواند با گرفتن ذرات معلق کوچک (خاک رس و لای) از بستر فیلتر و بافت ژئولوژیک نزدیک آبگیر، باعث بهبود جریان ورودی به چاه شود. به

علاوه توسعه چاه می‌تواند با کاهش یا حذف پتانسیل پر شدن چاه توسط مواد معلق ریز و مواد آلی، باعث افزایش عمر چاه شود.

چنین تجمعی درون چاه می‌تواند راندمان را کاهش داده و منجر به فعالیت بی‌هوازی گردد (NCASI, 1981). لذا ضروری است توجه کنیم که فیلتراسیون نمی‌تواند به عنوان یک جایگزین برای توسعه چاه تلقی شود.

### ٤-١- فاکتورهای مؤثر در توسعه چاه

چندین فاکتور ممکن است بر روی کارآیی و انتخاب روش یا ترکیبی از روش‌های مورد استفاده در توسعه چاه پایش تأثیرگذار باشد که شامل، و نه محدود به، محیط هیدروژئولوژیکی محل، طراحی چاه، روش حفاری بکار گرفته شده و استفاده مورد نظر از چاه می‌باشد.

- **محیط هیدروژئولوژیکی**

آب زیرزمینی از میان بافت خاک‌های نفوذپذیر و یکپارچه و ماسه و ریگ‌های درشت‌دانه، راحت‌تر حرکت می‌کند؛ لذا توسعه در این نوع ساختارها سریع و راحت است. بر عکس، جریان از میان مواد رسی یا لای غیر قابل نفوذ، کند و یا محدود می‌باشد؛ بنابراین، فرآیند توسعه بسیار مشکل است.

- **طراحی چاه**

طراحی عادی چاه پایش (مثل قطر کوچک، بستر فیلتر مصنوعی و سطح آزاد محدود صافی توسعه را با مشکلاتی مواجه می‌سازد. معمولاً چاه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که سرعت‌های ورودی را به اندازه کافی پایین نگه داشته تا از گاززدایی و یا تغییر کیفیت آب اجتناب گردد (Gass, 1986). با توجه به اینکه ضخامت بستر بر مقدار انرژی وارد شده به دیواره چاهک تأثیر می‌گذارد، باید در انتخاب دستورالعمل مد نظر قرار گیرد. اگر هدف از توسعه چاه حذف ذرات ریز باشد، بستر صافی باید تا حد

امکان نازک باشد. برعکس، بستر باید به اندازه کافی ضخیم باشد تا از کافی بودن نگه دارنده چاهک و توزیع مناسب مواد اطراف صافی اطمینان حاصل گردد. معمولاً مقدار حداقلی در حد ۲ اینچ کافی است.

انتخاب صحیح اندازه منافذ و پیکربندی صافی برای توسعه موفق چاه ضروری است. منافذ طوری انتخاب می‌شوند که قادر باشند مواد ریز را از بافت خاک حذف نمایند. منافذ بزرگ ممکن است مواد خیلی زیادی را فیلتر نموده و باعث ته‌نشینی و آسیب‌های احتمالی شوند. از طرف دیگر، اگر منافذ خیلی کوچک باشد ممکن است توسعه چاه یا نمونه‌برداری مناسب امکان‌پذیر نباشد. مطابق با تحقیقات انجام شده، فعالیت‌های توسعه چاه زمانی به بهترین شکل انجام می‌گیرد که صافی‌ها سطح آزاد ماکزیمم داشته و جهت‌گیری منافذ به گونه‌ای باشد که نیروها را بطور مؤثر به بافت خاک وارد نماید. معمولاً صافی‌هایی که شیارهای پیوسته و سوراخ‌دار دارند به علت داشتن بزرگ‌ترین سطح آزاد، راحت‌تر توسعه می‌یابند.

چاه‌های با قطر بزرگ (یعنی ۴ اینچ یا بزرگ‌تر) به علت در دسترس بودن تجهیزات، برای عملیات توسعه آسان‌تر هستند. با این وجود، هزینه بالای مصالح ساخت منجر به نصب چاه‌های کوچک‌تر و با صافی‌های شیاردار شده با ماشین می‌گردد (Gas, 1986). تجهیزات موجود برای چاه‌های با قطر کوچک (مثل چاه‌های direct push pre-packed)، ممکن است به پمپ‌های Internal Lift و پمپ‌های تیغه‌ای کوچک محدود شود.

- **روش‌های حفاری**

فرآیند حفاری نه تنها بر انتخاب دستورالعمل توسعه اثر می‌گذارد بلکه بر میزان توجهی که در حین اجرای این دستورالعمل‌ها نیاز می باشد نیز تأثیر گذار است (Aller et al., 1991). تمام روش‌های حفاری به توانایی بافت خاک برای انتقال آب به چاهک یا چاه آسیب می‌رساند. مشکلاتی که می‌تواند رخ دهد عبارتند از:

۱) استفاده از حفاری چرخشی هوا برای نفوذ به سنگ‌های مستحکم و یکپارچه می‌تواند باعث تشکیل ذرات کوچک بر روی دیواره‌های چاهک و در نتیجه، انسداد ترک‌ها و فضاهای متخلخل گردد.

۲) به داخل راندن پوسته با استفاده از مته می‌تواند باعث آلودگی ذرات ریزدانه بین پوسته/صافی و بافت طبیعی خاک گردد.

۳) گل و لای در جریان می‌تواند باعث ایجاد لایه ضخیم از گل و لای بر روی دیواره چاهک شود.

۴) همه روش‌های حفاری بصورت بالقوه می‌توانند باعث فشرده سازی مواد ته‌نشین شده شوند. بنابراین، در توسعه چاه باید این مشکلات مرتفع گردد تا آبده خاک بهبود یافته و جمع‌آوری نمونه‌های مناسب، امکان‌پذیر شود.

سیال مورد استفاده در حفاری از هر نوعی که باشد می‌تواند بر روی کیفیت آب زیرزمینی اثر گذار باشد. لذا استفاده از آن‌ها باید محدود گردد. اگر سیالی استفاده گردید، لازم است هر مقداری از آن که وارد بافت خاک شده برداشت شود تا کیفیت آب زیرزمینی محل به شرایط قبلی‌اش برگردد.

- **وجود NAPL ها**

پیش از عملیات توسعه، چاه باید از لحاظ وجود NAPLها بررسی شود. در صورت وجود آن‌ها، اجرا کردن یا نکردن عملیات توسعه و میزان آن باید مد نظر قرار گیرد. باید دقت شود که عملیات توسعه موجب پراکنش NAPL در طول محدوده سوراخ‌کاری شدهٔ صافی نگردد (از درون تمام بستر شنی و در طول بافت خاک مجاور).

- **استفاده مورد نظر**

تکنیک‌های توسعه چاه به استفاده مور دنظر از آن نیز بستگی دارد. چاه‌هایی که برای آزمایش‌های هیدرولیکی (مثل تست پمپ) استفاده می‌شوند، ممکن است با سرعت بالاتری توسعه یابند تا امکان

تعیین دقیق برون‌ده و هدایت هیدرولیکی را بدهند. زمانی که از چاه برای پایش کیفیت استفاده نمی‌شود، از روش‌های دیگر مثل jetting نیز می‌توان استفاده نمود (Driscoll, 1986).

- **فاکتورهای دیگر**

در زمان انتخاب روش یا ترکیب مناسبی از روش‌ها، دسترسی به محل و نوع و در دسترس بودن تجهیزات نیز باید لحاظ گردد. نیاز به دفع صحیح آب آلوده نیز در انتخاب روش تأثیر گذار است. همچنین زمان و هزینه در انتخاب مؤثر است؛ اگر چه روش‌هایی که هزینه و زمان را کمینه می‌کنند، اغلب کارآمد نیستند. آنالیز هزینه/سود عموماً توسعه صحیح و کامل را ترجیح می‌دهد. چنانچه توسعه مناسب نباشد، هزینه و زمان صرف شده برای حفاری، نصب چاه، نمونه‌برداری از آب زیرزمینی و آنالیز نمونه، به خاطر داده‌های نامناسب به هدر خواهد رفت.

توسعه چاه‌هایی که مشکوک به داشتن آلاینده‌اند، مخصوصاً آن‌هایی که در صورت استنشاق یا تماس مستقیم خطرزا هستند، باید با احتیاط انجام شود. برای حفاظت از پرسنل محل، باید ملاحظات ایمنی رعایت گردد. لازم به توجه است که آب و رسوبات آلودهٔ برداشت شده طی عملیات توسعه باید ذخیره، تصفیه و بر اساس ضوابط زیست‌محیطی دفع شوند.

## ٤-۲- دستورالعمل توسعه

رویکرد کلی برای توسعه، عبارت است از خارج کردن و حذف مواد ریزدانه و سیالات حفاری از ناحیه آب زیرزمینی به درون چاه و سپس خروج آن‌ها از چاه. در این‌جا دستورالعمل توسعه چاه که شامل پیش‌توسعه (اقداماتی که در خلال نصب و ساخت صورت می‌گیرد)، زمان و مدت توسعه و روش‌های توسعه می‌باشد، تشریح می‌شود.

- **پیش‌توسعه**

پیش‌توسعه در واقع فعالیت‌هایی است که در زمان نصب و ساخت چاه انجام می‌شود تا برش‌های حفاری و سیالات را قبل از استقرار صافی، بستر فیلتر و درزگیر حلقوی حذف نماید. این امر ممکن است شامل حذف آب بعد از نصب بستر شنی و قبل از نصب درزگیر حلقوی باشد.

معمولاً آب درون چاهک به علت برش‌های حفاری، فوق‌العاده کدر و ویسکوز می‌باشد. حذف این مایع پیش از نصب صافی و بستر شنی توسعه بعدی چاه را آسان‌تر می‌کند. مزیت دیگر این تکنیک این است که احتمال اتصال بستر شنی طی نصب کاهش می‌یابد؛ چرا که ویسکوزیته آب به خاطر رسوبات درون چاه به شدت کاهش یافته است. پس از استقرار صافی و بستر شنی آب موجود در چاه باید به آرامی پیش از نصب درزگیر بنتونیتی تخلیه شود. تخلیه آب در حذف ذرات ریز از چاه و بافت خاک و مرتب کردن و تثبیت بستر شنی در غیاب وزن ملاط بالاسر مؤثر است. برای کمک به فشرده شدن بستر شنی و اطمینان از تفکیک کافی درزگیر حلقوی و آبگیر چاه، شن بیشتری مورد نیاز است. چنانچه عمل تخلیه آب تنها پس از نصب کامل چاه (به عبارتی پس از جاگذاری ملاط) انجام شود، شانس بیشتری برای فشرده شدن بستر شنی و ایجاد فضا بین بستر شنی و درزگیر حلقوی وجود دارد.

پس از نصب چاه، تخلیه آب بصورت مکانیکی و با استفاده از دکل حفاری احتمالاً مؤثرتر و آسان‌تر از انجام آن بصورت دستی می‌باشد. باید مراقب بود تا نیروی زیادی به چاه وارد نکنیم؛ چون ممکن است باعث ریزش چاه شود.

- **ضوابط توسعه چاه**

پیش از سفت شدن و به عمل آمدن درزگیر، عملیات توسعه نباید اجرا شود. بصورت ایده‌آل، مدت زمان ۴۸ ساعت برای مخلوط‌های ملاط بنتونیت و دوغاب سیمان لازم است (Gaber and Fisher, 1988). با وجود این زمان لازم بسته به شرایط محل و نوع ملاط ممکن است تغییر نماید.

مدت زمان لازم برای توسعه بسته به نوع بافت خاک، طول صافی، ارتفاع ستون آب، ضخامت بستر فیلتر و روش مورد استفاده تغییر می‌کند. رایج‌ترین اشتباه، ترک نمودن چاه قبل از توسعه می‌باشد. توسعه کافی چاه ممکن است کمتر از ۲ ساعت تا بیش از ۳ روز به طول انجامد.

فرآیند توسعه باید تا تحقق معیارهای زیر ادامه پیدا کند:

۱) جریان آب به همان آسانی که شرایط هیدرولیک اجازه می‌دهد، وارد شود.

۲) یک نمونه معرف بتواند جمع‌آوری گردد. معمولا شرایط معرف زمانی حاصل می‌شود که آب به صورت چشمی عاری از مواد ته‌نشین شده باشد (برای مثال کدورت در حد NTU ۱۰) و همچنین pH و هدایت ویژه در ۳ نوبت برداشت متوالی ثابت بماند.

برای اینکه تعیین کنیم یک چاه می‌تواند یک نمونه معرف و شاخص ایجاد نماید، معیارهای دیگری مانند دما، پتانسیل اکسایش-کاهش یا میزان اکسیژن محلول نیز می‌تواند مفید باشد. به منظور تعیین زمان تحقق اهداف توسعه چاه، می‌توان از معیارهای پایداری پارامترهای کیفیت آب که در جدول ۵-۱ لیست شده است، استفاده نمود. دوره زمانی اندازه‌گیری pH، دما، هدایت ویژه و کدورت باید به عنوان داده‌های توسعه چاه ثبت گردد.

در بعضی موارد، جمع‌آوری یک نمونه با کدورت NTU ۱۰ مشکل یا غیر قابل حصول است. اگر چاهی یک نمونه عاری از مواد ته‌نشینی تولید ننماید، فرآیند توسعه را می‌توان به شرط تحقق شرایط زیر متوقف نمود:

- چندین دستورالعمل امتحان شده و به مورد اجرا گذاشته شود.
- ساخت صحیح چاه تأیید شده باشد.
- کدورت و pH در حداقل ۳ حجم متوالی چاه پایدار مانده باشد.

۳) ضخامت مواد ته‌نشینی باقی مانده در چاه کمتر از ۱ درصد طول صافی یا کمتر از ۰/۱ فوت برای صافی‌هایی برابر یا کوچک‌تر از ۱۰ فوت باشد.

۴) حداقل ۳ برابر حجم آب راکد (با احتساب صافی، پوسته، آنالوس اشباع (با فرض تخلخل ۳۰ درصد)) باید برداشت گردد.

جدول ۵-۱: پارامترهای شاخص کیفیت آب –استاندارد D6771-02 ASTM

| پارامتر | معیارهای پایداری |
|---|---|
| pH | اختلاف ۰/۲ ± |
| هدایت الکتریکی ویژه | اختلاف ۳٪ ± |
| دما | اختلاف ۰/۵ °C ± |
| کدورت | ۱۰٪ ± (وقتی کدورت بزرگ‌تر از NTU ۱۰ است) |
| پتانسیل اکسایش-کاهش (ORP) | ۲۰ ± میلی‌ولت |
| اکسیژن محلول (DO) | ۱۰٪ یا ۰/۲ mg/l ±، هر کدام که بزرگ‌تر است |

- **روش‌ها**

معمولاً روش‌هایی که برای توسعه چاه‌های پایش وجود دارد شامل پمپاژ، پمپاژ مضاعف، Surging، Bailing و شستشوی معکوس است. مؤثرترین رویکرد معمولاً ترکیبی از یک یا چند روش فوق است که امکان حرکت آب در هر دو جهت از میان صافی را فراهم می‌نماید. روشی که اجازه حرکت جریان در جهت عکس را می‌دهد، کمک می‌کند تا احتمال اتصال در بافت خاک و بستر فیلتر کمینه شود.

روش‌های دیگری مثل airlifting، air surging و jetting با آب یا هوا یا افزودن مواد شیمیایی وجود دارد. اگر چه مواد شیمیایی مختلفی شامل اسیدها، مواد فعال سطحی، عوامل مرطوب کننده، ضدعفونی کننده‌ها و یخ خشک برای چاه‌های تأمین آب بکار گرفته شده است اما استفاده از این مواد برای چاه‌های پایش معمولاً مناسب نیست. افزودن هوا، آب یا مواد شیمیایی ممکن است بر آنالیز نمونه، تداخل‌های غیر قابل پیش‌بینی داشته باشد. هوای وارد شده به بافت خاک می‌تواند نفوذپذیری خاک را کاهش داده (Kraemer et al., 1991) و باعث تبخیر مواد آلی شود. آب تنها در مواقع نادر باید اضافه گردد (بهیعنی در زمانی که مقدار آب برای تأمین انرژی کافی برای توسعه چاه‌ها وجود ندارد). اگر آبی اضافه شود لازم است به لحاظ شیمیایی مورد آنالیز قرار گیرد تا از اثرات احتمالی بر روی کیفیت آب زیرزمینی پیشگیری گردد.

در ادامه ضمن ارائه توصیف کوتاهی از روش‌های معمول، نقاط قوت و ضعف و دستورالعمل هر یک بطور خلاصه ذکر می‌گردد.

❖ Pumping and Overpumping

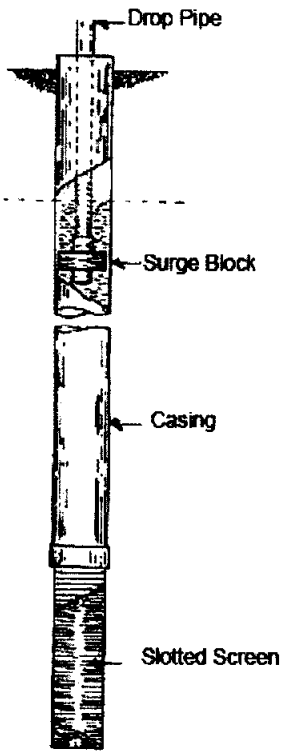
یک تکنیک قابل قبول این است که با استفاده از آبگیری که سرتاسر طول صافی را بالا و پایین می‌رود (بدون تخلیه آب اضافی)، آب را به کمک پمپاژ از چاه خارج کنیم (Puls and Powell, 1992). روش‌هایی که کاملاً به پمپ کردن متکی هستند به میزان کافی بافت خاک یا مواد بستر فیلتر را تثبیت نمی‌کنند. اگر چه به صورت چشمی، نهایتاً آبی زلال خارج می‌شود، ولی هر فعالیت بعدی که موجب اختلاط ستون آب می‌شود، می‌تواند کدورت قابل توجهی ایجاد کند (ASTM Standard D5521-05). رویکرد توصیه شده، شروع پمپاژ از بالای صافی با نرخ پمپاژ کم و افزایش آن به طرف پایین صافی چاه است. سپس فرایند باید به طور عکس از پایین چاه تا بالای آن تکرار شود.

توسعه چاه پایش باید از سرعت‌های پایین (مثل ۱۰ ml/min) شروع و با سرعت‌هایی حداقل ۱۰ برابر نرخ نمونه‌برداری تمام شود؛ اگر چه در اکثر موارد سرعت‌های بیشتر مورد نیاز است. در حالت خاص، زمانی که از چاه برای تست‌های هیدرولیکی برای تعیین خصوصیات هیدرولیکی بافت خاک استفاده می‌شود، سرعت‌های بالاتری مورد نیاز می‌باشد.

توسعه به وسیله پمپاژ در بافت خاک‌های صخره‌ای و رسوبات درشت‌دانه غیر یکپارچه، مؤثرتر است. با این حال، استفاده از آن در بافت خاک‌هایی با هدایت هیدرولیکی بالا، عموماً محدود شده است؛ چرا که پمپاژ چاه پایش در سرعت‌های کافی برای ایجاد سرعت ورودی بالا که برای حذف مواد معلق ریز ضروری است، مشکل است. توسعه چاه هم می‌تواند توسط پمپ سانتریفیوژ و هم پمپ شناور انجام شود. پمپ‌های سانتریفیوژ برای چاه‌های با برون‌ده کم مؤثر خواهد بود؛ اگر چه تنها زمانی که عمق آب کمتر از حدود ۲۵ فوت است، می‌تواند استفاده شود. استفاده از پمپ شناور با عمق آب، محدود نمی‌شود، اما از قطر چاه، جنس پروانه موتور و نوع و غلظت آلاینده‌ها متأثر است. وجود مواد ریزدانه می‌تواند باعث انسداد و صدمه به پمپ‌هایی با پروانه پلاستیکی شود.

❖ Surging

Surging عبارت است از راندن و بیرون کشیدن آب به / از آبگیر چاه به وسیله یک پیستون شناور یا بلوک. این فرآیند، اتصالات را تخریب کرده و می‌تواند برای چاه‌های پایش با قطر کم مؤثر باشد. بلوک Surge وسیله‌ای است با واشر آب‌بندی قابل انعطاف که اندازه قطر آن نزدیک به قطر چاه است. این بلوک به یک میله که بالا و پایین می‌رود، متصل است.




**شکل ۱۲: توسعه با بلوک Surge**

پیش از Surge کردن، چاه باید خالی یا پمپ شود تا از ورود آب به چاه اطمینان حاصل شود. چنانچه آب وارد چاه نشود، Surging نباید انجام شود. فشار منفی تولید شده در حرکت بلوک به سمت بالا می‌تواند باعث فرو ریختن چاه شود.

برای صافی‌هایی با طول ۵ فوت یا کمتر، Surging در بالاسر صافی برای تمام طول صافی مؤثر خواهد بود (Gass, 1986). برای طول‌های بیشتر از ۵ فوت، Surging باید از بالای صافی شروع شده و به آرامی تا فاصله ۲ تا ۳ فوت پایین آید تا آب به راحتی شروع به داخل و خارج شدن از صافی کند.

از Surging چاه‌هایی که صافی‌شان در منطقه ریزدانه قرار دارد، باید خودداری کرد؛ چرا که باعث افزایش کدورت شده، به طرز بی‌رویه‌ای گران بوده و خصوصیات هیدرولیکی را به میزان قابل توجهی بهبود نمی‌بخشد.

❖ شستشوی معکوس

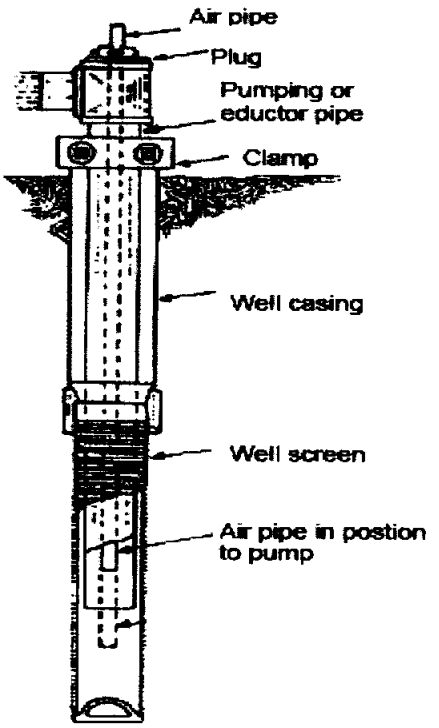
در شستشوی معکوس به آبی که به بالای چاه پمپ شده، اجازه می‌دهند تا از درون پمپ برگشته و از طریق آبگیرها خارج شود. این روش موجب شکستن ذرات متصل به هم شده و اجازه می‌دهد پمپاژ و برداشت شود؛ اگر چه قدرتش برای رسیدن به نتایج مطلوب کافی نیست.

❖ Bailing

در بعضی موارد، Bailer ای با یک شیر یک‌طرفه که در قسمت تحتانی‌اش تعبیه شده است، ممکن است روشی مؤثر برای توسعه باشد (Lapham, et al., 1997). Bailer به سرعت در چاه پایین می‌رود تا به ستون آب برسد. نیروی Bailer که به سطح آب وارد می‌آید، باعث راندن آب به درون بافت خاک می‌شود. کشیدن Bailer باعث برگشتن آب به درون چاه می‌گردد. برای ایجاد وزن کافی، جنس Bailer از فولاد ضدزنگ توصیه شده است. به منظور توسعه صحیح چاه، حرکات در تمام طول آبگیر باید با سرعت انجام شود تا رانش آب به داخل و خارج، که اتصالات تشکیل شده مجاور آبگیر را می‌شکند، شکل گیرد. برای بهبود حذف مواد معلق جمع شده در ته چاه، حرکات کوتاه و سریع نزدیک کف چاه می‌تواند رسوبات معلق را هم‌زده و باعث حذفشان شود. لازم به ذکر است که توسعه چاه به وسیله Bailing بسیار وابسته به نیروی انسانی است.

❖ Air-lift Pumping and Air Surgin

در این روش هوا وارد بافت خاک اطراف آبگیر چاه شده و در آن به تله می‌افتد که باعث تغییر در کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. به علاوه، اگر آب زیرزمینی حاوی آلاینده زیادی باشد، این روش می‌تواند پرسنل سایت را در معرض خطر قرار دهد. استفاده از این روش تا زمانی که هوا وارد صافی می‌شود و کیفیت آب نمونه‌گیری شده تحت تأثیر قرار می‌گیرد، توصیه نمی‌شود. یک روش که هوایی وارد صافی نمی‌کند، Two Pipe Air-lift Pumping می‌باشد. هوا با فشار بالا به درون لوله داخلی تزریق می‌شود تا از لوله بیرونی به شکل حباب خارج شود. حباب‌ها باعث کاهش دانسیته ظاهری آب و بلند شدن ستون آب و رسوبات شده که به آب درون بافت خاک اجازه جریان یافتن به درون چاه را می‌دهد (Gass, 1986).




شکل ۱۳: سیستم Two Pipe Air-lift

توسعه چاه توسط Air Surging شامل به کار گرفتن متناوب هوا به منظور ریختن آب به طرف پایین پوسته و ایجاد شستشوی معکوس می‌باشد که باعث شکسته شدن تمام اتصالات می‌شود (Keely and Boateng, 1987). این روش به خاطر اختلاط آب هوادهی شده با آب درون چاه توصیه نمی‌شود (Aller et al., 1991).

## ٤-٣- مستندسازی توسعه چاه

به منظور اطمینان از حصول نمونه‌های معرف، مستندسازی فرایند توسعه چاه بسیار مهم است. لذا اطلاعاتی مانند روش‌های توسعه زمان صرف شده برای توسعه، حجم آب برداشت شده، عمق چاه، عمق تا بالای صافی، قطر چاه، شفافیت ظاهری، کدورت، pH و هدایت الکتریکی ویژه آب خارج شده در فاصله‌های مختلف باید بر روی یک فرم یا دفتر ثبت گردد. جدول زیر، نمونه‌ای از یک رکورد توسعه چاه را نشان می‌دهد:

| | | |
|---|---|---|
| نام سایت: | عمق اولیه چاه: | عمق پایانی چاه: |
| شماره چاه: | قطرچاه: | طول صافی: |
| توسعه دهنده: | سطح استاتیک آب: | حجم تخلیه شده کل: |
| تاریخ شروع: | تاریخ پایان: | شرایط آب و هوایی: |
| پیشنهادات کلی : | | روش یا روشهای توسعه بکارگرفته شده: |

| تاریخ | زمان | روش | سرعت پمپاژ (gal/min) | حجم تخلیه شده (gal) | دما (°C) | هدایت الکتریکی ویژه (µs/cm) | pH | کدورت (NTU) | سایر | اظهارات (به عنوان مثال شفافیت آب و موفقیت توسعه) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

پارامترها و راهنمای پایداری:

pH : ±۰/۲ ؛ دما: ±۰/۵ °C ؛ هدایت ویژه: ±۳٪ µs/cm ؛ کدورت، وقتی بزرگتر از NTU ۱۰ است: ±۱۰٪ ؛ اکسیژن حل شده: ±۰/۲ mg/l یا ۱۰٪، هر کدام بزرگ‌تر است؛ پتانسیل اکسایش/کاهش: ±۲۰ mg/l

| | |
|---|---|
| NTU : واحد نفلومتریک | µs/cm : میکروزیمنس برسانتی‌متر |

### ٤-٤- فاصله زمانی بین فرایند توسعه و نمونه‌برداری

قبل از اینکه از چاه نمونه‌برداری شود، لازم است بعد از اتمام فرایند توسعه، به چاه فرصت داده شود تا به تعادل پایداری با بافت خاک برسد. در واقع هدف آن است که چاه نصب شده جدید و مواد پرکننده با محیط جدیدشان بعد از ایجاد اختلال و آشفتگی رخ داده به تعادل برسند. زمان لازم برای اینکه چاه به تعادل پایداری برسد بستگی به ویژگی‌های محل و ناحیه آب زیرزمینی و روش توسعه دارد. با این وجود، هیچ آنالیز علمی دقیقی که قالب زمانی مشخصی را اثبات نماید، وجود ندارد. قاعده سرانگشتی پیشنهادی، یک هفته است. هر چند ممکن است برای بافت خاک‌های دارای نفوذپذیری پایین‌تر (کمتر از $1\times10^{-6}$ cm/sec) چند هفته زمان نیاز باشد.

### ٤-٥- بازرسی‌های نگهداری از چاه و احیای آن

چاه‌های پایش در دوره حیات‌شان، باید مورد بازرسی مستمر قرار گیرند تا از سلامت آن‌ها و عدم تجمع ذرات ریز اطمینان حاصل گردد. علاوه بر مواد ته‌نشین شده که در چاه تجمع می‌یابند، پوسته و صافی نیز ممکن است در اثر رسوب‌های بیوشیمیایی یا شیمیایی دچار خوردگی یا گرفتگی شده و بنابراین، باعث افت ارتباط هیدرولیکی شوند. پوسته‌های فلزی چاه نیز در طول زمان در اثر مواجهه با آب‌های زیرزمینی خورنده (pH<۶/۰) ممکن است دچار تخریب شوند. پوسته پلی‌وینیل‌کلرید (PVC) نیز در حضور حلال PVC حل شده یا در صورتی که ترکیب آلی خالص در غلظتهای بالا به چاه برسد می‌تواند سبب تخریب آن شود.

پیشنهاد می‌شود که کارآیی چاه در کل دوره حیات چاه مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد. این ممکن است شامل (و نه محدود به) یادداشت‌برداری از افت قابل ملاحظه در برون‌ده چاه در خلال تخلیه، افزایش کدورت، اندازه‌گیری عمق چاه (برای اینکه تعیین کنیم که آیا مواد قابل ته‌نشینی، رسوب نموده‌اند) و همچنین استفاده از یک دوربین برای اینکه تعیین کنیم آیا آسیب یا مشکلی برای اسکرین و پوسته چاه رخ داده است. مقایسه نوسانات سطح آب چاه در یک بازه زمانی می‌تواند تغییر احتمالی در ارتباط هیدرولیکی چاه با سفره آب زیرزمینی را نشان دهد. برای مثال، یک شیب طولانی مدت در سطح

آب چاه می‌تواند نشان‌دهنده یک گرفتگی تدریجی در صافی چاه باشد. تست‌های تزریق، فشار یا تست-های خلأ جزئی همچنین می‌تواند به عنوان بخشی از ارزیابی پیوسته چاه انجام شود. این تست‌ها به ما کمک می‌کنند ارزیابی کنیم که آیا هنوز یک ارتباط هیدرولیکی مناسب بین صافی چاه و ناحیه آب زیرزمینی وجود دارد یا خیر.

رکوردهای مراقبت از چاه که می‌بایست نگهداری گردد شامل (و نه محدود به) چک‌های دوره‌ای عمق‌ها، روندها در سطوح آب، تغییرات برون‌ده و کدورت، وضعیت فیزیکی خارجی چاه، پوسته محافظ، درزگیر سطحی و معیارهای دیگری که برای پایش یکنواختی و یکپارچگی چاه لازم است، می‌باشد. به عنوان یک حداقل، وقتی ۲۰ درصد از صافی چاه توسط مواد ته‌نشینی مسدود شوند یا داده‌های ثبت شده، یک تغییر در برون‌ده و کدورت را نشان دهند، چاه باید احیا شود.

مراجع:

1- Technical Guidance Manual for Hydrogeologic Investigations and Groundwater Monitoring, Division of Drinking and Groundwaters, Ohio Environmental Protection Agency, 122 South Front Street Columbus, Ohio 43126-1049.

2- U.S. EPA. 1991. Handbook - Ground Water, Vol. II: Methodology. Office of Research and Development. Washington D.C. EPA/625/6-90/016b.

3- Franke, O.L., T.E. Reilly, and G.D. Bennett. 1987. Definition of Boundary and Initial Conditions in the Analysis of Saturated Ground-Water Flow Systems-An Introduction. U. S. Geological Survey, Techniques of Water-Resources Investigation, Report 03-B5. Reston, Virginia.

# پیوست شماره ۲

# راهنمای عمومی روش ژئوالکتریک

## مقدمه

این عملیات از جمله عملیات‌های صحرایی ژئوفیزیکی است که بر اساس انتقال جریان الکتریکی به داخل زمین و اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین دو نقطه برای بدست آوردن مقاومت ویژه عمق‌های مختلف زمین طراحی شده و بر اساس استانداردی که مربوط به مقاومت جنس‌های مختلف خاک و سنگ و همچنین اطلاعات مربوط به مقاومت الکتریکی موادی مثل آب، فلزات، حفره‌ها و ... ارائه شده است به اکتشاف زیرزمینی می‌پردازد. حداکثر عمق شناسایی در این روش ۵۰۰ متر می‌باشد که البته در ۲۵۰ متر سطحی دقت بالاتری را نشان می‌دهد. بسته به کاربردهای متفاوت روش‌های مختلفی از عملیات ژئوالکتریک انجام می‌شود. از جمله کاربردهای آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- اکتشاف سفره‌های آب زیرزمینی جهت احداث چاه آب برای زمین‌های کشاورزی، کارخانه‌ها، کارگاه‌ها و شهرک‌های صنعتی، شناسایی مسیر آب‌های زیرزمینی و ارائه شکل هندسی آبخوان؛
- اکتشاف منابع مختلف معدنی به خصوص منابع فلزی و منابع غیر فلزی مثل سنگ نمک، رس، باریت و ...؛
- اکتشافات باستان‌شناسی؛
- کاربرد در شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی مثل گسل‌ها (امتداد و شیب)، چین‌خوردگی‌ها، ناپیوستگی‌ها و ... جهت احداث سازه‌های بزرگ از قبیل تونل‌ها، سدها، جاده‌ها و ...؛
- تعیین میزان تخلخل سنگ زیرسطحی و میزان نشست؛ و
- شناسایی مناطق آلوده از جمله آلودگی‌های نفتی و گازی زیرزمینی.

در بین روش‌های ژئوفیزیکی، روش‌های الکتریکی و به ویژه ژئوالکتریک بهترین و مناسب‌ترین روش برای بررسی آلودگی‌های زیرزمینی هستند. مناطق آلوده زیرزمینی عمدتاً دارای خصوصیات الکتریکی متفاوت از سنگ‌ها و لایه‌های دربرگیرنده خود می‌باشند و در نتیجه، در اغلب موارد با کاربرد روش‌های ژئوالکتریک به خوبی می‌توان گسترش آلودگی زیرزمینی و تا حدودی شدت آلودگی را مشخص نمود.

## ۱- روش ژئوالکتریک

آلودگی در زیر سطح زمین در جهت‌های فضایی مختلف ممکن است گسترش یابد. در مطالعه و بررسی مسائل آلودگی توسط ژئوفیزیک، منطقه آلوده زیرزمینی به عنوان یک ساختمان یا توده سه بعدی در محیط میزبان که معمولاً" دارای خواص فیزیکی متفاوت از توده آلوده می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود.

آلودگي در زير سطح زمين در جهت‌هاي فضايي مختلف ممكن است گسترش يابد. در مطالعه و بررسي مسائل آلودگي توسط ژئوفيزيک، منطقه آلوده زيرزميني به عنوان يک ساختمان يا توده سه بعدي در محيط ميزبان که معمولاً داراي خواص فيزيکي متفاوت از توده آلوده مي‌باشد، در نظر گرفته مي‌شود.

در بين روش‌هاي ژئوفيزيکي، به طور کلي روش‌هاي الکتريکي (به ويژه روش ژئوالکتريک) بهترين و مناسب‌ترين روش براي بررسي آلودگي‌هاي زيرزميني محسوب مي‌شوند، هر چند که روش-هاي ديگر ژئوفيزيکي مانند روش‌هاي لرزه‌نگاري، گراني‌سنجي و مغناطيسي نيز گاهي براي بررسي مسائل فرعي يا جنبي آلودگي‌هاي زيرزميني به کار برده مي‌شوند. منظور از آلودگي زيرزميني، آلودگي خاک و به ويژه آلودگي آب زيرزميني است. اين آلودگي مي‌تواند از نوع شيميايي، نفتي، هسته‌اي و غيره و يا حتي ترکيبي از آن‌ها باشد. يک توده خاک يا آب زيرزميني آلوده به دليل داشتن خصوصيات الکتريکي متفاوت از محيط يا سنگ‌ها و لايه‌هاي دربرگيرنده خود، معمولاً به راحتي توسط روش ژئوالکتريک قابل تشخيص است. روش ژئوالکتريک علاوه بر تشخيص و تعيين محدوده آلودگي‌هاي زيرزميني، مي‌تواند تا اندازه‌اي نوع و پارامترها يا خصوصيات آلودگي را تعيين نمايد. در اين روش معمولاً از يک آرايه يا آرايش چهار الکترودي متشکل از دو الکترود جريان (فرستنده) و دو الکترود پتانسيل (گيرنده) که به فواصل معين از يکديگر قرار داده مي‌شوند، استفاده مي‌شود. الکترودها عمدتاً ميخ‌هاي فولادي نسبتاً بزرگ و بلند (به طول حدود ۰/۵ متر) هستند که معمولاً در موقع کار به اندازه ۱۵-۱۰ سانتی‌متر از طول آن‌ها را در داخل زمين فرو مي‌کنند. جريان الکتريکي مستقيم (DC) يا متناوب (AC) با فرکانس بسيار پائين توسط الکترودهاي جريان (فرستنده) به داخل زمين تزريق يا فرستاده شده و سپس اختلاف پتانسيل الکتريکي بين الکترودهاي ديگر (الکترودهاي پتانسيل يا گيرنده) اندازه‌گيري و توسط دستگاه ژئوالکتريک قرائت يا نشان داده مي‌شود. بيشتر دستگاه‌هاي جديد ژئوالکتريک به جاي

قرائت اختلاف پتانسيل (بر حسب ولت يا ميلي‌ولت)، نسبت اختلاف پتانسيل به شدت جريان را خوانده يا نشان مي‌دهند. با استفاده از روابط ساده موجود بين اختلاف پتانسيل و شدت جريان و فواصل بين الكترودها براي يک آرايه الكترودي معين مي‌توان مقاومت ويژه ظاهري زمين مورد مطالعه را محاسبه نمود. بديهي است كه با تغيير موقعيت الكترودها در روي زمين و افزايش طول آرايه (افزايش فواصل بين الكترودها)، مقادير جديد مقاومت ويژه ظاهري زمين مورد نظر بدست مي‌آيد كه با توجه به اصول نظري ژئوالكتريک، مربوط به اعماق پائين‌تر داخل زمين مي‌گردند. در روش ژئوالكتريک، از آرايه‌هاي الكترودي مختلفي استفاده مي‌گردد.

يک عمليات يا برداشت ژئوالكتريكي به يكي از دو روش سونداژزني (Sounding) قائم الكتريكي (VES) يا پروفيل‌زني (Profiling) (كه گاهي به آن پروفيل‌زني افقي يا HP مي گويند)، انجام مي‌شود. در روش سونداژزني يا VES، تغييرات عمقي يا قائم مقاومت ويژه مواد يا لايه‌هاي زير سطح زمين مورد بررسي قرار مي‌گيرد. يک برداشت ژئوالكتريكي به روش سونداژزني با استفاده از يک آرايه الكترودي معين در روي زمين بدين شكل انجام مي‌شود كه طول آرايه مرتباً پس از هر اندازه‌گيري افزايش داده شده در حالي كه مركز آرايه در تمام اندازه‌گيري‌ها در يک نقطه بر روي زمين ثابت نگهداشته مي‌شود. بدين ترتيب براي هر طول آرايه، يک مقاومت ويژه ظاهري براي زمين در آن نقطه به دست مي‌آيد كه با پردازش و تفسير اين داده‌های مقاومت ويژه ظاهري، مي‌توان ضخامت و مقاومت ويژه لايه‌هاي زير سطح زمين در آن نقطه را تعيين نمود. در روش پروفيل‌زني، تغييرات جانبي مقاومت ويژه مواد زير سطح زمين در طول يک خط پروفيل بررسي مي‌شود. نحوه انجام يک برداشت ژئوالكتريكي به روش پروفيل-زني با استفاده از يک آرايه الكترودي مشخص در طول يک خط پروفيل در روي زمين بدين ترتيب است كه فواصل بين الكترودها يا طول آرايه (كه با عمق تجسس يا مؤثر آرايه به طور تجربي متناسب است) را در همه اندازه‌گيري‌ها ثابت نگهداشته و بعد از هر اندازه‌گيري، تمامي الكترودها با همان آرايه الكترودي مشخص و طول آرايه ثابت در روي خط پروفيل مورد مطالعه نقل مكان داده مي‌شوند تا در نهايت بدين ترتيب برداشت در تمام طول خط پروفيل مورد نظر صورت گيرد.

با بررسي تغييرات جانبي مقاومت ويژه حاصل از اندازه‌گيري‌هاي ژئوالكتريک به روش پروفيل-زني، مي‌توان نواحي يا مناطق آلوده زيرزميني و محدوده يا وسعت آن‌ها در زير سطح زمين را مشخص نمود. همچنين بررسي تغييرات عمقي يا قائم مقاومت ويژه حاصل از اندازه‌گيري‌هاي ژئوالكتريک به روش سونداژزني، مي‌تواند عمق و ضخامت توده آلوده زيرزميني را مشخص نمايد.

در اكتشاف و مطالعه آب‌هاي زيرزميني، روش ژئوالكتريک بيشترين سهم و موفقيت را نسبت به ساير روش‌هاي ژئوفيزيكي داشته و به تنهايي مي‌تواند عمق، محدوده يا گسترش جانبي، ضخامت و حجم تقريبي سفره يا ذخيره آب زيرزميني در يک محل را تعيين نمايد. يک لايه غير قابل نفوذ رسي، كه در زير يک سفره آب زيرزميني قرار گرفته و يا دو سفره آب زيرزميني را از هم جدا مي‌كند، به راحتي در روي منحني‌هاي حاصل از يک برداشت ژئوالكتريكي به روش سونداژزني قابل تشخيص بوده و در نتيجه، مي‌توان عمق و ضخامت آن لايه را تخمين زد. روش ژئوالكتريک مي‌تواند براي مشخص كردن مناطق حاوي آب زيرزميني شيرين از نواحي داراي آب زيرزميني شور و همچنين تعيين فصل مشترک يا مرز بين آن‌ها، منشأ شوري و محل نفوذ آب شور به داخل آب شيرين نيز به كار گرفته شود. علاوه بر اين، توسط روش ژئوالكتريک مي‌توان از روي سطح زمين، سرعت و جهت يا مسير حركت آب‌هاي زيرزميني را تعيين نمود. همچنين با استفاده از اين روش مي‌توان يک ارزيابي كيفي از آب‌هاي زيرزميني (مانند برآورد ميزان املاح يا شوري آن‌ها) انجام داد. به طور كلي روش ژئوالكتريک در بررسي آب‌هاي زيرزميني مي‌تواند اطلاعات با ارزشي فراهم نمايد كه معمولاً نمي‌توان اين اطلاعات را از روش‌هاي ديگر ژئوفيزيكي به دست آورد.

اندازه‌گيري‌هاي ژئوالكتريک از روي سطح زمين مي‌تواند كمک مؤثري در ارائه يک تصوير سه بعدي از آلودگي زيرزميني بنمايد. يک توده خاک يا آب زيرزميني آلوده معمولاً داراي خصوصيات الكتريكي متفاوت از محيط يا سنگ‌ها و لايه‌هاي دربرگيرنده خود مي‌باشد. به همين علت مي‌توان با استفاده از روش پروفيل‌زني ژئوالكتريكي، گسترش يا محدوده جانبي آلودگي زيرزميني و توسط روش سونداژزني ژئوالكتريكي، گسترش يا محدوده عمقي آن را تعيين نمود. به همين ترتيب مي‌توان جهت و سرعت حركت آلودگي (يا به عبارت ديگر گسترش جانبي و عمقي آلودگي بر حسب زمان) را در زير

سطح زمین نیز مشخص نمود. همچنین روش ژئوالکتریک مي‌تواند به منظور تشخیص مناطق آلوده (خاک و) آب زیرزميني از مناطق غیر آلوده (خاک و) آب زیرزميني، تعیین مرز بین آن‌ها، منشأ و محل نفوذ آلودگي مورد استفاده قرار گیرد.

روش ژئوالکتریک به عنوان یک روش غیرمستقیم براي تعیین خصوصیات مختلف آب‌هاي زیرزميني و همچنین تعیین پارامترها یا خصوصیات آلودگی‌هاي زیرزميني به کار مي‌رود و در واقع این روش در مقایسه با روش کلاسیک و معمول که به طور مستقیم مي‌تواند خصوصیات آب‌ها و آلودگی-هاي زیرزميني را تعیین یا اندازه‌گیري کند، ساده‌تر، سریع‌تر و بسیار ارزان‌تر مي‌باشد. در روش کلاسیک و معمول، ابتدا حفاري چاه‌ها و سپس نمونه‌گیري و در نهایت انجام آزمایش‌هاي لازم بر روي نمونه‌ها مانند تجزیه شیمیایي آن‌ها صورت مي‌گیرد. هر چه شبکه طراحي شده چاه‌هاي حفاري متراکم‌تر (یا به عبارت دیگر تعداد چاه‌هاي حفر شده بیشتر) و به دنبال آن تعداد نمونه‌هاي گرفته شده و آزمایش‌هاي مزبور بیشتر باشد، تعیین خصوصیات آب‌ها و آلودگی‌هاي زیرزميني با استفاده از این روش که یک روش مستقیم است، مؤثرتر و دقیق‌تر انجام مي‌گیرد. متأسفانه این روش در مقایسه با روش ژئوالکتریک، بسیار گران بوده و انجام آن عملاً مدت زمان مدیدي به درازا می‌انجامد. این کاربرد روش ژئوالکتریک و مزایاي آن نسبت به روش کلاسیک و معمول سبب شده است تا روش ژئوالکتریک یک فناوري جدید و پیشرفته و در ضمن غیر تهاجمي در برابر طبیعت محسوب شود، چرا که براي تعیین خصوصیات مزبور با استفاده از روش کلاسیک و معمول، تخریب طبیعت، هر چند جزئي، اجتناب ناپذیر است. در برخي مناطق، حفر این چاه‌هاي مخرب یا مهاجم ممکن است سبب تشدید مسئله آلودگي زیرزميني گردد. همچنین در بعضي مناطق (مثل مناطق حفاظت شده محیط زیست)، ضرورت ایجاب مي‌کند تا در جهت رفع یا علاج این تخریب و یا به عبارت دیگر ترمیم دوباره طبیعت، اقدام مناسبي صورت گیرد که این کار، هزینه و وقت قابل ملاحظه‌اي را مي‌طلبد. اهمیت و ضرورت این کاربرد ژئوالکتریک وقتي بیشتر نمودار مي‌گردد که ملاحظه شود در صورت استفاده از روش کلاسیک و معمول، به علت وسعت زیاد منطقه نیاز به حفر چاه‌هاي بسیاري است. در این حالت، با استفاده از روش ژئوالکتریک مي‌توان به مقدار قابل توجهي از میزان چاه‌ها (یا متراژ حفاری‌ها) کاست و در نتیجه، صرفه‌جوئي هنگفتي در هزینه و

وقت انجام داد. البته در این‌جا ذکر این نکته لازم است که معمولاً روش ژئوالکتریک می‌تواند به طور تقریبی خصوصیات مختلف آب‌ها و آلودگی‌ها را تعیین نماید و بنابراین، در صورت استفاده از روش ژئوالکتریک بدین منظور، باید همیشه تعداد معدودی چاه برای کنترل و تأیید صحت و سقم نتایج حاصل از ژئوالکتریک حفر نمود.

بمنظور کسب اطلاعات تکمیلی در خصوص روش‌های غیر مخرب تعیین آلودگی در آب‌های زیرزمینی، به گزارش فنی شماره P2-178/TR/1 (سال ۲۰۰۲) واحد تحقیق و توسعه سازمان محیط زیست انگلستان (www.environment-agency.gov.uk) با عنوان "NON-INTRUSIVE INVESTIGATION TECHNIQUES FOR GROUNDWATER POLLUTION STUDIES" مراجعه شود.

## مراجع

1- Alvin K.Benson,Kelly L. Payne,and Melissa A. Stubben; Mapping groundwater contaminationusing dc resistivity and VLF geophysical methods-A case study;GEOPHYSICS ; VOL.62; NO.1; JANUARY-FEBRUARY; 1997; P.80.86.

2- Robert L. Stollar and Paul Roux; Earth Resistivity Surveys-A Method for Defining Ground-Water Contamination; GROUND WATER; Vol.13; No.2; Marc-April; 1975; P:145-150.

3- Skuthan B.Mazac; O. Landa ; (1988); The importance of geophysical methods for protectinggroundwaters from agricultural pollution; Sbor.geol. Ved, uzita Geofyz, Vol.22, P:125-139.

4- Daniel W.Urish; The Practical Application of Surface Electrical Resistivity to Detection ofGround Water Pollution.; GROUND WATER; Vol.21; No:2; March-April; 1983; P:144-157.

5- Reinhard K. Frohlich, Daniel W. Urish , James Fuller , Mary O'Reilly; Use of Geoelectrical methods in groundwater pollution surveyes in a coastal environment; Journal of AppliedGeophysics; Vol:32; 1994; P:139-154.