

جمهوری اسلامی ایران  
سازمان برنامه و بودجه کشور

# راهنمای تعیین حریم کیفی منابع آب جهت بسته‌بندی با هدف شرب

ضابطه شماره ۷۱۱

وزارت نیرو

دفتر استانداردها و طرح‌های آب و آبفا

<http://seso.moe.gov.ir>

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی

امور نظام فنی و اجرایی کشور

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)

۱۳۹۵



شماره: ۹۵/۷۹۲۱۴۲	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۹۵/۰۷/۲۷	
موضوع: راهنمای تعیین حریم کیفی منابع آب جهت بسته‌بندی با هدف شرب	
<p>             به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷هـ- مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۷۱۱ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان «<b>راهنمای تعیین حریم کیفی منابع آب جهت بسته‌بندی با هدف شرب</b>» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.           </p> <p>             رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۶/۰۱/۰۱ الزامی است.           </p> <p>             امور نظام فنی و اجرایی این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.           </p> <div style="text-align: center; margin-top: 50px;">               محمد باقر نوبخت           </div>	



## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایراد و اشکال نیست.

از این رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
  - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
  - ۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
  - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می شود.

**نشانی برای مکاتبه:** تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه - مرکز تلفن

۳۳۲۷۱ سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

**Email:** info@nezamfanni.ir

**web:** nezamfanni.ir



## پیشگفتار

یکی از مهم‌ترین ابزارهای موثر جهت پیشگیری از آلودگی منابع تامین آب شرب بسته‌بندی، تعیین و اعمال حریم کیفی منابع آب می‌باشد. با توجه به وجود ابهامات و اشکالات در مبانی تعیین حریم کیفی منابع آب در دستورالعمل آب بسته‌بندی، ضروری است با عنایت به تجارب و مبانی علمی ملی و بین‌المللی، روش‌های تعیین حریم کیفی آب بسته‌بندی تدقیق و شفاف گردد. بر این اساس می‌توان برای حفاظت از کیفیت آب بسته‌بندی در مقابل آلاینده‌های احتمالی و در جهت کاهش ریسک آلودگی آب‌های بسته‌بندی، کاربری‌های حاشیه منابع آب بسته‌بندی را به منظور استقرار بهینه کاربری‌ها طبقه‌بندی و جانمایی نمود و محدودیت‌ها و ممنوعیت‌هایی در این خصوص با روش‌های علمی تعیین کرد. لذا ضروری است تا با توجه به توضیحات مذکور، مبانی علمی تعیین روش حریم کیفی آب‌های بسته‌بندی مورد بازنگری و اصلاح قرار گیرد.

با توجه به اهمیت مبحث فوق، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه «راهنمای تعیین حریم کیفی منابع آب جهت بسته‌بندی با هدف شرب» را با هماهنگی امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به این سازمان ارسال نمود که پس از بررسی، بر اساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی و اجرایی کشور (مصوب شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ- مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده‌است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

بدین وسیله معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی از تلاش و جدیت رییس امور نظام فنی و اجرایی کشور جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و اجرایی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس تقی عبادی و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

پاییز ۱۳۹۵





## تهیه و کنترل «راهنمای تعیین حریم کیفی منابع آب جهت بسته‌بندی با هدف شرب» [ضابطه شماره ۷۱۱]

مجری: معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه صنعتی شریف

مشاور پروژه: احمد ابریشم‌چی      دانشگاه صنعتی شریف      دکترای مهندسی عمران

### اعضای گروه تهیه‌کننده:

احمد ابریشم‌چی	دانشگاه صنعتی شریف	دکترای مهندسی عمران
بیژن بینا	دانشگاه علوم پزشکی اصفهان	دکترای مهندسی بهداشت
مسعود تجریشی	دانشگاه صنعتی شریف	دکترای مهندسی عمران
فرهاد جزایی	دانشگاه صنعتی شریف	فوق لیسانس مهندسی عمران
آرش منظم	دانشگاه صنعتی شریف	فوق لیسانس مهندسی عمران

### اعضای گروه نظارت:

جواد حسن‌نژاد	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق لیسانس مدیریت محیط‌زیست
ناهید غلام‌نژاد	شرکت آب منطقه‌ای یزد	فوق لیسانس عمران
مهین کاظم‌زاده	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی	لیسانس مهندسی راه و ساختمان
	صنعت آب کشور - وزارت نیرو	
سیدحسین هاشمی	دانشگاه شهید بهشتی	دکترای مهندسی محیط‌زیست

### اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی محیط زیست طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

کامران اسماعیلی	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	فوق لیسانس مهندسی عمران - محیط‌زیست
محمدعلی حامدی	شرکت مهندسين مشاور رویان	دکترای برنامه‌ریزی توسعه منطقه‌ای
جواد حسن‌نژاد	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق لیسانس مدیریت محیط‌زیست
بهروز دهراد	دانشگاه شهید بهشتی	دکترای اکولوژی آب‌های داخلی
نادیا روستایی	سازمان حفاظت محیط‌زیست	فوق لیسانس مهندسی شیمی
الهام رسولپور شبستری	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی	فوق لیسانس برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست
	صنعت آب کشور - وزارت نیرو	
محمد محمدی	دانشگاه جامع علمی کاربردی	دکترای ارزیابی و آمایش محیط‌زیست
سیدحسین هاشمی	دانشگاه شهید بهشتی	دکترای مهندسی محیط‌زیست
سیدرضا یعقوبی	شرکت اندیشه زلال	فوق لیسانس مهندسی محیط‌زیست

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی
فرزانه آقارمضانعلی	رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی
سید وحیدالدین رضوانی	کارشناس آبیاری و زهکشی، امور نظام فنی و اجرایی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول - کلیات
۵	۱-۱- تعاریف و اصطلاحات
۶	۲-۱- ضرورت تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی با هدف شرب
۷	۳-۱- متدولوژی
۸	۴-۱- مرور بر رویکردهای جهانی پیرامون تعیین حریم و حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی
۹	۵-۱- جمع‌بندی رویکردها و سوابق اجرایی و مطالعاتی
۱۰	۶-۱- نوع منبع آب بسته‌بندی
۱۰	۷-۱- استراتژی مناسب تعیین حریم کیفی منابع آب
۱۳	فصل دوم - اصول مدیریت منابع آب بسته‌بندی
۱۵	۱-۲- کلیات
۱۵	۲-۲- مفهوم پایداری
۱۷	۳-۲- مدیریت چشمه
۱۸	۴-۲- مفهوم حفاظت منابع و حفاظت منبع
۱۹	۵-۲- آسیب‌پذیری آب زیرزمینی
۲۱	فصل سوم - شناخت محدوده مطالعاتی
۲۳	۱-۳- کلیات
۲۳	۲-۳- محدوده مطالعاتی و حریم کیفی اولیه
۲۴	۳-۳- چگونگی انجام مطالعات پایه در سطح محدوده مطالعاتی
۲۴	۱-۳-۳- مدیریت اطلاعات
۲۶	۲-۳-۳- جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات پایه
۲۶	۳-۳-۳- بررسی ویژگی‌های حوضه آبریز در محدوده مطالعاتی و تعیین عرصه تغذیه
۳۳	۴-۳-۳- بررسی کاربری اراضی در محدوده مطالعاتی
۳۵	فصل چهارم - کانون‌های آلودگی، عوامل آلاینده و ارزیابی آسیب‌پذیری منبع آب بسته‌بندی
۳۷	۱-۴- کلیات
۳۷	۲-۴- کانون‌های آلودگی منابع آب بسته‌بندی
۴۰	۳-۴- عوامل آلاینده منابع آب بسته‌بندی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۴۱	۴-۴- آلاینده‌های غیر آلی
۴۲	۴-۵- آلاینده‌های آلی
۴۳	۴-۶- پاتوژن‌های میکروبی
۴۴	۴-۷- خلاصه‌ای از مشکلات آلودگی آب چشمه‌ها
۴۶	۴-۸- شناسایی و تهیه فهرست منابع آلودگی
۴۷	۴-۸-۱- استفاده از داده‌ها و اطلاعات موجود
۴۷	۴-۸-۲- ممیزی
۴۸	۴-۸-۳- بررسی میدانی
۴۸	۴-۹- ارزیابی آسیب‌پذیری منبع آب بسته‌بندی از کانون‌های آلودگی
۴۸	۴-۹-۱- رویکرد کمی برای برآورد آسیب‌پذیری
۴۹	۴-۹-۲- فاکتورهای برآورد آسیب‌پذیری
۴۹	۴-۹-۳- روش‌های ارزیابی منطقه‌ای آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی
۵۴	۴-۹-۴- تهیه مدل مفهومی از کانون‌های آلوده‌کننده
۵۴	۴-۱۰- به هنگام سازی لیست کانون‌های آلاینده و ارزیابی آسیب‌پذیری
۵۵	فصل پنجم- تدوین برنامه پایش در برنامه حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی
۵۷	۵-۱- کلیات
۵۷	۵-۲- اهداف و ملاحظات برنامه پایش در حریم کیفی آب بسته‌بندی
۵۸	۵-۳- پایش پارامترهای کمی و کیفی در حریم کیفی
۵۸	۵-۴- فازهای سه گانه پایش در حریم کیفی
۵۹	۵-۴-۱- فاز ۱: بررسی اجزای حریم کیفی و هدفگذاری
۵۹	۵-۴-۲- فاز ۲: تدوین و اجرای برنامه پایشی تحقیقاتی
۶۰	۵-۴-۳- فاز ۳: تدوین و اجرای برنامه پایش حریم کیفی
۶۳	فصل ششم- تدوین روش تعیین حریم کیفی
۶۵	۶-۱- کلیات
۶۵	۶-۲- تشریح مبانی تعیین حریم کیفی
۶۷	۶-۳- ملاحظات
۶۷	۶-۴- تشریح مبانی متداول ناحیه‌بندی در داخل حریم کیفی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۶۸	۱-۴-۶- هدف از تعیین ناحیه حفاظت بهداشتی (ناحیه ۱)
۶۹	۲-۴-۶- هدف از تعیین ناحیه حفاظتی داخلی (ناحیه ۲)
۶۹	۳-۴-۶- هدف از تعیین ناحیه حفاظت بیرونی (ناحیه ۳)
۶۹	۴-۴-۶- ناحیه بندی وسیع تر از ناحیه ۳ (ناحیه میانگیر)
۷۰	۵-۶- ملاحظات ضروری در تعیین حریم کیفی
۷۱	۶-۶- روش های متداول تعیین حریم کیفی
۷۱	۱-۶-۶- شعاع ثابت فرضی (AFR)
۷۲	۲-۶-۶- شعاع ثابت محاسبه شده (CFR)
۷۴	۳-۶-۶- شکل های تغییرپذیر ساده شده (SVS)
۷۶	۴-۶-۶- مدل های تحلیلی
۷۸	۵-۶-۶- تهیه نقشه هیدروژئولوژیکی (HM)
۷۹	۶-۶-۶- نگاشت آسیب پذیری
۸۵	۷-۶-۶- مدل های عددی
۸۶	۷-۶- تعیین بهترین روش برای مشخص کردن حریم کیفی
۸۶	۱-۷-۶- معیارهای ژئوهیدرولوژیکی
۸۹	<b>فصل هفتم - مدیریت حریم کیفی</b>
۹۱	۱-۷- کلیات
۹۱	۲-۷- اهداف و منظورهای برنامه مدیریت حریم کیفی
۹۲	۳-۷- راهکارهای پیشنهادی
۹۲	۱-۳-۷- بهترین راهکارهای مدیریتی (BMPs)
۹۲	۲-۳-۷- تعهدنامه
۹۲	۳-۳-۷- تدوین برنامه برای مقابله با شرایط اضطراری
۹۲	۴-۳-۷- ایجاد شبکه پایش کیفیت آب زیرزمینی
۹۲	۵-۳-۷- آموزش همگانی
۹۲	۶-۳-۷- خرید و مالکیت بر کاربری های آلوده کننده
۹۳	۷-۳-۷- کنترل کاربری و الزام آن ها به رعایت استانداردها

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۹۳	۷-۳-۸- تشویق و آگاه‌سازی کاربرها
۹۳	۷-۴- توسعه برنامه مدیریت حریم منابع آب بسته‌بندی در منطقه توسط شرکت آب منطقه‌ای
۹۳	۷-۵- ارکان اساسی و راهبردی مدیریت کیفی منابع آب بسته‌بندی
۹۴	۷-۵-۱- تعیین نقش و وظایف سازمانی
۹۴	۷-۵-۲- تعیین محدوده حریم کیفی
۹۴	۷-۵-۳- شناسایی منابع آلاینده و تدوین برنامه پایش
۹۴	۷-۵-۴- توسعه طرح اجرایی محلی برای مدیریت حریم کیفی
۹۵	۷-۵-۵- تدوین برنامه آمادگی برای مواجهه با منبع آبی آلوده شده
۹۵	۷-۵-۶- تدوین برنامه مکان‌یابی منابع جدید چشمه یا چاه و تدوین برنامه بهره‌برداری
۹۵	۷-۵-۷- تدوین برنامه ارتقای مشارکت عمومی و صاحبان صنایع آب بسته‌بندی
۹۶	۷-۶- سازماندهی کاربری اراضی در اطراف منبع آب بسته‌بندی
۹۶	۷-۷- تعیین استراتژی جهت استقرار کاربری‌های سازگار در اطراف منبع
۹۶	۷-۷-۱- استراتژی‌ها جهت استقرار کاربری‌های سازگار
۹۹	<b>فصل هشتم- حفاظت کیفی از منابع آب بسته‌بندی با منشأ رودخانه‌های طویل</b>
۱۰۱	۸-۱- کلیات
۱۰۱	۸-۲- شناخت خصوصیات و روابط حاکم جهت تعیین حریم برای رودخانه‌ها
۱۰۱	۸-۳- مروری بر روش‌های متعارف جهانی برای تعیین حریم کیفی منابع آب سطحی
۱۰۱	۸-۳-۱- روش زمان انتقال (TOT) جریان رودخانه
۱۰۲	۸-۳-۲- روش تعیین ناحیه حائل/میانگیر
۱۰۳	۸-۳-۳- حوضه آبریز تو در تو
۱۰۵	<b>فصل نهم - مطالعه موردی برنامه حریم کیفی چاه و چشمه</b>
۱۰۷	۹-۱- کلیات
۱۰۸	۹-۲- اهداف اجرای برنامه حریم کیفی در منطقه
۱۰۹	۹-۳- تهیه بانک اطلاعات اولیه و بررسی مطالعات انجام شده در گذشته
۱۱۰	۹-۴- تشکیل گروه متخصص در رابطه با حریم کیفی
۱۱۰	۹-۵- اهداف و مقاصد برنامه حریم کیفی چاه و چشمه‌ها
۱۱۰	۹-۶- مطالعه شرایط هیدروژئولوژیکی

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۱۱	۹-۶-۱- توپوگرافی
۱۱۱	۹-۶-۲- شرایط آب و هوایی
۱۱۲	۹-۶-۳- مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی
۱۱۲	۹-۶-۴- جریان آب زیرزمینی
۱۱۴	۹-۶-۵- آبخوان
۱۱۵	۹-۶-۶- مطالعه چشمه‌ها
۱۱۶	۹-۶-۷- حریم کیفی چاه‌ها و چشمه‌ها
۱۱۷	۹-۶-۸- بررسی اطلاعات ثبت شده در تحقیقات گذشته از منطقه
۱۱۸	۹-۶-۹- روش‌ها و ضوابط تعیین حریم کیفی در منطقه
۱۱۸	۹-۷- تعیین حریم کیفی چشمه‌ها
۱۱۸	۹-۷-۱- ناحیه ۱ حریم کیفی چشمه
۱۲۱	۹-۷-۲- ناحیه ۲ حریم کیفی چشمه
۱۲۱	۹-۷-۳- ناحیه ۳ حریم کیفی چشمه
۱۲۳	۹-۸- حریم کیفی چاه‌ها
۱۲۴	۹-۸-۱- حریم کیفی چاه‌ها (براساس TOT شش ماهه)
۱۲۶	۹-۸-۲- حریم کیفی چاه‌ها (براساس TOT دو ساله)
۱۲۶	۹-۸-۳- حریم کیفی چاه‌ها (براساس TOT پنج ساله)
۱۲۶	۹-۸-۴- حریم کیفی چاه‌ها (براساس TOT ده ساله)
۱۲۶	۹-۹- دقت و صحت محاسبات
۱۲۹	پیوست ۱- مختصری از هیدرولوژی چشمه‌ها
۱۳۹	پیوست ۲- مختصری از وضعیت آب بسته‌بندی در ایران و سازمان‌های بین‌المللی
۱۴۷	منابع و مراجع

## فهرست شکل ها و نمودارها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲- پایداری چشمه تحت تاثیر پمپاژ از آب زیرزمینی	۱۷
شکل ۲-۲- شماتیک مدل مفهومی مبدا - مسیر - هدف در حفاظت از منابع و منبع آبی	۱۹
شکل ۱-۳- نمایش محدوده مطالعاتی، عرصه تغذیه و حریم کیفی	۲۳
شکل ۲-۳- روند مدیریت اطلاعات	۲۵
شکل ۳-۳- در این شکل اهمیت توپوگرافی، چینه‌شناسی و ساختار ژئولوژی در جریان آب زیرزمینی در یک سیستم کارستی نمایش داده شده است. نواحی روشن و تیره فلش دار به ترتیب نواحی غیراشباع و اشباع آهکی کارستی شده و جهت جریان را نشان می‌دهد.	۲۸
شکل ۴-۳- محاسبه نرخ جریان زیرزمینی توسط بازیابی ردیاب و اندازه‌گیری در یک سیستم سفره آب زیرزمینی ساده: Q، گذر حجمی (دبی) و R، بازیابی ردیاب. تشریح بیش‌تر در متن انجام شده است.	۳۱
شکل ۵-۳- فرایندهای متداول آلوده‌کننده منابع زیرزمینی	۳۳
شکل ۱-۴- تکامل کل کربن آبی (TOC) و باکتری مدفوعی (E.coli, CFU=colony forming units) مشاهده شده پس از بارش شدید در یک چشمه کارستی در سوئد.	۴۵
نمودار ۱-۵- فلوچارت ۱۵ گام برنامه پایش حریم کیفی آب بسته‌بندی	۶۲
شکل ۱-۶- ترکیب معمول مناطق حفاظت از منبع آب زیرزمینی در یک چشمه بزرگ و یک ارتباط زمین‌شناسی بین سفره آب زیرزمینی و ناحیه نفوذناپذیر	۶۸
شکل ۲-۶- عدم اعمال صحیح محدودیت‌های کاربری در حریم کیفی با لحاظ تدابیر اقتصادی - اجتماعی کوتاه‌مدت ۷۰	۷۳
شکل ۳-۶- نمایش سطح استوانه و منطقه‌بندی در روش شعاع ثابت محاسبه شده	۷۳
شکل ۴-۶- تعیین حریم کیفی به روش شکل‌های تغییرپذیر ساده شده	۷۵
شکل ۵-۶- نمایش محدوده مشارکت و محدوده تاثیر	۷۹
شکل ۶-۶- تعیین حریم کیفی توسط نگاشت سیستم جریان	۸۱
شکل ۷-۶- تعیین حریم کیفی با استفاده از معادلات جریان یکنواخت	۸۴
شکل ۸-۶- نمایش حریم کیفی با روش‌های مختلف	۸۷
شکل ۱-۸- TOT های مختلف در نقاط پایش بالادست آبرگیر کارخانه آب بسته‌بندی	۱۰۲
شکل ۲-۸- استفاده از ناحیه حائل در طول شاخه‌های بالادست آبرگیر کارخانه آب بسته‌بندی	۱۰۳
شکل ۳-۸- تقسیم حوضه بر اساس توپوگرافی به چند زیر حوضه	۱۰۴
شکل ۱-۹- موقعیت جوامع و منطقه مطالعه شده توسط آب منطقه‌ای Moapa Valley	۱۰۸
شکل ۲-۹- منبع‌های تامین آب در شرکت آب منطقه‌ای Moapa Valley (سه چاه و دو چشمه)	۱۰۹
شکل ۳-۹- نقشه توپوگرافیکی و جغرافیای طبیعی منطقه	۱۱۱
شکل ۴-۹- مدل مفهومی محدوده چاه‌ها و چشمه‌های تامین آب شرکت آب منطقه‌ای Moapa Valley	۱۱۲
شکل ۵-۹- نقشه پیژومتریک عمومی (سطح آب زیرزمینی) محدوده شرکت آب منطقه‌ای Moapa Valley	۱۱۳
شکل ۶-۹- نقشه ژئولوژی منطقه به همراه راهنمای تفصیلی نقشه	۱۱۵



## فهرست شکل‌ها و نمودارها

صفحه	عنوان
۱۱۷	شکل ۷-۹- مدل مفهومی حریم کیفی چاه و چشمه در شرکت آب منطقه‌ای Moapa Valley
۱۲۱	شکل ۸-۹- نواحی ۱ و ۲ حریم کیفی چشمه
۱۲۲	شکل ۹-۹- سه ناحیه حفاظت کیفی چشمه‌ها
۱۲۳	شکل ۱۰-۹- ناودیس Arrow Canyon
۱۲۴	شکل ۱۱-۹- ناحیه‌های حریم کیفی برای چاه‌های Arrow Canyon
۱۲۵	شکل ۱۲-۹- ناحیه‌های حریم کیفی برای چاه‌های Arrow Canyon
۱۳۲	شکل پ.۱-۱- تاثیر تغذیه از سطح بر منبع آب بسته‌بندی در دور دست
۱۳۳	شکل پ.۱-۲- تعدد و تفاوت ساختاری منابع آب بسته‌بندی در یک منطقه به دلیل پیچیدگی‌های ژئومورفولوژیکی و ژئولوژیکی
۱۳۳	شکل پ.۱-۳- (a) چشمه تماسی پایین رونده، (b) چشمه تماسی بالارونده
۱۳۴	شکل پ.۱-۴- چشمه کم فشار به‌وجود آمده در دره یا کانال رودخانه
۱۳۴	شکل پ.۱-۵- چشمه‌های کم فشار تشکیل شده در سطوح مختلف
۱۳۵	شکل پ.۱-۶- انواع مختلف چشمه‌های مانعی
۱۳۶	شکل پ.۱-۷- چشمه جزر و مدی
۱۳۶	شکل پ.۱-۸- تاثیر گسل بر رفتار چشمه‌ها

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۳۸	جدول ۱-۴- تقسیم بندی کانون‌های آلودگی
۳۹	جدول ۲-۴- مشروح کانون‌های آلودگی محتمل
۴۰	جدول ۳-۴- نوع مشکل آلودگی، علت به‌وجود آمدن مشکل و نوع آلاینده
۴۷	جدول ۴-۴- قالب گزارش پیشنهادی برای شناسایی منطقه و منابع آلاینده
۷۴	جدول ۱-۶- رابطه و متغیرهای مورد نیاز برای تعیین شعاع در روش CFR
۱۱۹	جدول ۱-۹- نتیجه آزمایش‌های آبخوان
۱۲۰	جدول ۲-۹- نتیجه محاسبات در شرایط نرمال (بدون تاثیر پمپاژ)
۱۲۰	جدول ۳-۹- نتایج محاسبات زمان انتقال در شرایط تحت فشار (پمپاژ)
۱۴۱	جدول پ.۱-۲- غلظت فلزات جزئی سمی در آب‌های بسته‌بندی شده مصرفی در شهر تهران (غلظت بر حسب میکروگرم بر لیتر)
۱۴۲	جدول پ.۲-۲- میانگین غلظت فلزات کادمیوم، کروم و سرب اندازه‌گیری شده (بر حسب میکروگرم در لیتر) در کشورهای مختلف
۱۴۳	جدول پ.۲-۳- منابع آلودگی و نوع آلاینده‌های متداول



## مقدمه

منابع آبی آب بسته‌بندی مثل چاه و چشمه پتانسیل زیادی برای آلوده شدن از طریق زمین اطراف خود دارند. اولین گام برای حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی تعیین محدوده حفاظت کیفی یا «حریم کیفی» منابع آب بسته‌بندی و سپس حفاظت از این محدوده برای ممانعت از ورود آلودگی به منبع آب بسته‌بندی است.

در این راهنما بیش‌تر به بررسی نحوه حفاظت و مدیریت کیفی منابع آب بسته‌بندی در مقیاس کوچک و محدود به منبع برداشت (مظهر آب) تمرکز شده است و به راهکارها و اصول حفاظت کیفی منابع آب در مقیاس بزرگ و حوضه‌ای صرفاً در حد نیاز پرداخته شده است. حفاظت کیفی بزرگ مقیاس منابع آب بسته‌بندی با مدیریت سفره‌های آب زیرزمینی و حفاظت کیفی آن‌ها در سطح حوضه آبریز مرتبط بوده و لازم است به عنوان راهکار مدیریتی جامعی در جای خود مورد بررسی قرار گیرد. با این وجود، از آن‌جاکه منظور استفاده از راهنماهای مرتبط با مدیریت منابع آب، ارتقای سطح مدیریت جامع منابع آب و تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در سطوح مختلف مدیران منابع آب و زمین و محیط‌زیست در نهادهای مختلف است، لازم است به عوامل و مکانیزم‌های آلودگی و راهکارهای بزرگ مقیاس حفاظت کیفی نیز تا حد نیاز پرداخته شود. از این رو در این راهنما به مسایل مدیریت کیفیت منابع آب بسته‌بندی در سطح بالاتر از منبع برداشت و حریم کیفی آن نیز اشاره شده است.

این راهنما بر حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی شرب با راهبرد حفاظت حریم کیفی و کنترل ورود و انتشار آلاینده‌ها تمرکز دارد و به بررسی فعل و انفعالات و خصوصیات شیمیایی و زیستی آلاینده‌ها در فرایند حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی نمی‌پردازد.

دامنه این راهنما محدود بوده، لذا لازم است به هنگام استفاده از این راهنما، محدودیت‌های آن را در نظر گرفت و توجه داشت که از راهنما نه به عنوان یک نسخه درمانی واحد بلکه به عنوان ابزاری برای یافتن نسخه درمانی مناسب و کارآمد در یک منطقه مطالعاتی مشخص می‌توان استفاده کرد.

با توجه به این‌که حریم کیفی به مفهوم محدوده‌ای پیرامون مظهر منبع آب بسته‌بندی که سرچشمه زیرزمینی دارد است، تمرکز این راهنما بر منابع آب بسته‌بندی از نوع چاه و چشمه است. علاوه بر چشمه و چاه، این راهنما شامل رودخانه‌های بکر<sup>۱</sup> با منشأ زیرزمینی (چشمه) که بلافاصله پس از جاری شدن در سطح زمین و به دلیل در دسترس نبودن مظهر چشمه مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز، است. لکن، منابع آبی سطحی آب بسته‌بندی و حریم کیفی ذکر شده در راهنما شامل رودخانه‌های طویل و غیربکر نیست.

حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی که از منابع آب سطحی (رودخانه‌های طویل) و آبگیر<sup>۲</sup> استفاده می‌کنند، در قلمرو مدیریت و حفاظت کیفیت رودخانه است و با مفهوم حریم کیفی در این راهنما سنخیتی ندارد. مدیریت کیفیت آب رودخانه‌های بزرگ مستلزم سیاست‌گذاری‌ها و اقدامات کلان‌تری در حوضه آبریز و کنترل آلودگی رودخانه‌هاست، با این

1- Virgin

2- Intake

وجود با جزییات نسبتاً کم‌تری در یک فصل جداگانه بررسی شده است.

پدیده‌های حدی هیدرولوژیکی مانند سیل و خشکسالی می‌توانند کیفیت منابع آب زیرزمینی و سطحی را به صورت چشمگیر و در مقیاس مکانی بزرگی در حوضه آبریز تحت تاثیر قرار دهند. از آن‌جا که برنامه حفاظت حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی توانایی مقابله با چنین تغییرات کلان را ندارد، به اثرات این پدیده‌ها در این راهنما پرداخته نشده است. این راهنما در ده فصل و دو پیوست تدوین شده است. در فصل‌های دو تا هشت، مبانی، اصول و مسایل فنی حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی بررسی شده است. در فصل نهم، اقدامات لازم برای کسب مجوز در قالب نوزده بند تشریح و نکات فنی لازم در اجرای هریک از بندها به فصل‌های پیش ارجاع داده شده است. در این فصل، وظایف شرکت آب منطقه‌ای و چگونگی انتخاب مشاور برای اجرای پروژه بیان شده است. مطالعه موردی برنامه حریم کیفی چاه و چشمه در فصل دهم ارائه شده است. در پیوست ۱، مختصری از هیدرولوژی چشمه و در پیوست ۲، مختصری از وضعیت صنعت آب بسته‌بندی در سطوح ملی و بین‌المللی بررسی شده است.

#### - هدف

هدف این راهنما، ارائه راهنمایی لازم برای حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی با هدف شرب، با تکیه بر راهکار تعیین حریم کیفی است. این راهنما، دیدگاه جامعی در خصوص تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی و اتخاذ سیاست‌ها جهت برنامه‌ریزی حفاظت کیفی آن ارائه می‌کند.

#### - دامنه کاربرد

اطلاعات ارائه شده در این راهنما به مدیران، صاحبان صنایع آب بسته‌بندی، مشاوران و پیمانکاران کمک می‌کند تا بر حسب مسوولیت با برآورد وضعیت منابع آب بسته‌بندی و پیش‌بینی منابع آلودگی، سیاست‌ها و راهکارهای مناسبی برای کنترل ورود آلودگی به منبع آبی مورد نظر را انتخاب و الزامات مدیریت کیفیت منابع آب بسته‌بندی را مبتنی بر اصول حفظ سلامت انسان و محیط‌زیست و «مدیریت پایدار منابع آب»<sup>۱</sup> تامین کنند.

با مطالعه این راهنما، انتظار می‌رود مدیران، مشاوران و متقاضیان بهره‌برداری از منبع آب بسته‌بندی دانش کافی در خصوص مدیریت کیفیت منابع آب بسته‌بندی به‌دست آورند و مدیران مسوول از صاحبان صنعت آب بسته‌بندی، مشاوران و پیمانکاران بخواهند که در مناطق مطالعاتی طبق این راهنما عمل کنند.

# فصل ۱

---

---

## کلیات



## ۱-۱- تعاریف و اصطلاحات

**آب بسته‌بندی<sup>۱</sup>:** در استاندارد ملی ایران ۲۶۰۶ با عنوان - آیین کار به منظور بهره‌برداری از آب‌های معدنی طبیعی آشامیدنی، آب بسته‌بندی این گونه تعریف شده است:

آب‌هایی هستند که در ظروف نفوذناپذیر و مختلف (از نظر نوع، ترکیب، حجم و شکل) پرشده‌اند و برای مصرف مستقیم (بدون انجام فرایند دیگر) مورد استفاده قرار می‌گیرند. آب آشامیدنی بسته‌بندی شده یک ماده غذایی محسوب می‌گردد. طبق تعریف سازمان غذا و دارو<sup>۲</sup> (FDA)، به هر آبی که در بسته‌بندی‌های مشخص جمع‌آوری و برای مصرف شرب آماده می‌شود و به جز افزودنی‌های ضد میکروبی مجاز، افزودنی دیگری به آن اضافه نشده باشد، آب بسته‌بندی گفته می‌شود<sup>۳</sup>. انواع مختلف آب بسته‌بندی به صورت زیر تعریف شده‌اند:

- آب (چاه) آرتزین<sup>۴</sup>، آبی است که از چاه در آبخوان‌های تحت فشار برداشت می‌شود.
- آب معدنی<sup>۵</sup>: آبی است که مقدار کل جامدات محلول آن کم‌تر از ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر نباشد و از منابع زیرزمینی حفاظت شده برداشت شود. آب معدنی با توجه به مواد معدنی و عناصر شیمیایی محلول در آن توصیف می‌شود. آب معدنی دارای افزودنی‌های معدنی که به صورت مصنوعی اضافه شده باشد، نیست.
- آب تصفیه شده<sup>۶</sup>: آبی است که از طریق تقطیر، یون زدایی، اسمز معکوس یا سایر روش‌ها، تصفیه شده به نحوی که کیفیت آن طبق استانداردهای کیفی آب آشامیدنی برای مصرف شرب مناسب باشد.
- آب بسته‌بندی گازدار<sup>۷</sup>: آبی است که پس از تصفیه و جایگزینی دی‌اکسیدکربن، دارای همان مقدار دی‌اکسیدکربنی است که در هنگام بیرون آمدن از منبع بوده است.
- آب چشمه<sup>۸</sup>: آبی است که منشأ زیرزمینی دارد و به طور طبیعی از زیرزمین به سطح زمین جریان پیدا می‌کند. آب چشمه ممکن است در محل چشمه و یا از چاه‌هایی که در مسیر زیرزمینی آب چشمه حفر شده‌اند برداشت شود [۳].

در ایران طبق تعریف ارائه شده در «دستورالعمل نحوه صدور مجوز بسته‌بندی آب جهت مصارف شرب» که توسط وزارت نیرو تهیه شده است، آب بسته‌بندی به آبی اطلاق می‌شود که به صورت دربسته (پلمب شده) در ظروف مخصوص و با کیفیت مورد تایید وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی برای شرب مردم تهیه می‌شود. طبق این دستورالعمل آب بسته‌بندی را می‌توان از هر نوع منبع آب سطحی و زیرزمینی (به استثنای شبکه آب شهری) پس از حصول اطمینان از

1- Bottled Water

2- US Food and Drug Administration

3- 21 CFR 165.110(a), FDA

4- Artesian Water

5- Mineral Water

6- Purified Water

7- Sparkling Bottled Water

8- Spring Water

رعایت مسایل بهداشتی و استانداردهای لازم مندرج در دستورالعمل، بسته‌بندی کرد و به فروش رساند. طبق این تعریف، هرگونه نوشیدنی دیگر که از آب به عنوان ماده اصلی در فرایند تولید استفاده می‌کند، جزو آب بسته‌بندی محسوب نمی‌شود [۴].

- **محدوده حفاظت کیفی<sup>۱</sup> یا حریم کیفی:** محدوده حفاظت کیفی یا به اختصار حریم کیفی منابع (زیرزمینی) آب بسته‌بندی، محدوده‌ای در سطح زمین است که احتمال رخداد آلودگی در آن یا انتقال آلودگی از مسیر آن به سمت منبع آب بسته‌بندی وجود دارد. در این محدوده، فعالیت‌های انسانی در سطح و زیرزمین باید کنترل شود.
- **شرکت آب منطقه‌ای:** منظور از شرکت آب منطقه‌ای، شرکت آب منطقه‌ای است که مظهر منبع آب بسته‌بندی در محدوده آن قرار دارد.
- **متقاضی:** به شخصی (حقیقی یا حقوقی) گفته می‌شود که تقاضای بهره‌برداری از منبع آب جهت تولید آب بسته‌بندی را دارد و پیشنهاد خود را به شرکت آب منطقه‌ای ارائه کرده است.
- **مشاور:** منظور از مشاور، شرکت یا شخص ذی‌صلاح در زمینه علم هیدرولوژی و ژئوهیدرولوژی است.
- **نماینده شرکت آب منطقه‌ای:** نماینده شرکت آب منطقه‌ای به معنی کارشناس متخصص هیدرولوژی یا ژئوهیدرولوژی شرکت آب منطقه‌ای است که وظیفه بررسی و تایید اجرای ضوابط اعطای مجوز را بر عهده دارد.
- **مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی:** مدلی مفهومی، نمایش توصیفی است که خصوصیات ژئولوژیکی، هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و الگوهای تغذیه را بر اساس اطلاعات، داده‌های میدانی و عوامل تاثیرگذار بر شرایط کمی و کیفی منبع آب بسته‌بندی و ارتباط آن‌ها با یکدیگر را بر اساس فرضیات (محافظه‌کارانه) در منطقه بیان می‌کند.

## ۱-۲- ضرورت تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی با هدف شرب

کیفیت منابع آبی آب بسته‌بندی و مدیریت و کنترل آن به عوامل طبیعی و غیرطبیعی مختلفی مانند شرایط آب و هوایی، کاربری اراضی، رودخانه‌ها و یا دریاچه‌هایی که تغذیه کننده منابع آب بسته‌بندی هستند، بستگی دارد. در صورت آسیب دیدن و آلوده شدن این منابع، ترمیم آن پرهزینه و زمان‌بر است. در این میان، وضعیت منابع آب بسته‌بندی که منشا زیرزمینی دارند از جهاتی پیچیده‌تر است. برخی از این پیچیدگی‌ها با مسایل مدیریت کیفی منابع آب سطحی مشترک است و برخی متفاوت هستند. برای نمونه می‌توان اشاره کرد که آب زیرزمینی برخلاف آب سطحی به سمت یک نقطه مشخصی جریان ندارد که بتوان با در نظر گرفتن ویژگی‌های توپوگرافی، هیدرولوژیکی و کاربری اراضی حوضه آبریز، فرایندها و اندرکنش آن‌ها را به صورت مستقیم تحلیل کرد و آن را به راحتی مدیریت کرد. جریان آب زیرزمینی به توپوگرافی منطقه (کوهستانی، تپه ماهوری و یا مسطح)، مشخصات سفره آب زیرزمینی (تحت فشار و یا آزاد، جنس و

1- Quality Protection Area



نوع لایه‌ها و سایر مشخصات سفره)، منابع تغذیه آب زیرزمینی (بارش، نفوذ آب آبیاری، نفوذ از بستر رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، و کانال‌ها)، و سیاست‌های بهره‌برداری از دیگر منابع آبی بستگی دارد. به این دلیل، بهترین راهکار مدیریت منابع آب بسته‌بندی، پیشگیری از آسیب دیدن و آلوده شدن آن از طریق تعیین حریم کیفی آن‌ها و اعمال سیاست‌های بازدارنده بر پایه مدیریت کاربری اراضی است.

با مدیریت و حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی می‌توان آن را به منبع آبی پایدار و با کیفیتی مناسب (حتی پس از سال‌ها بهره‌برداری) برای آب بسته‌بندی تبدیل کرد. در مقابل، فقدان برنامه و راهکار مدیریتی و حفاظتی از منابع آبی آب بسته‌بندی می‌تواند کیفیت و کمیت منابع آبی آب بسته‌بندی را کاهش داده و محیط‌زیست اطراف منبع را نیز تخریب کند. این نوع تخریب‌ها معمولاً غیرقابل جبران بوده و ممکن است کارایی منبع آب بسته‌بندی را به طور کل از بین برد.

### ۱-۳- متدولوژی

برای این‌که این راهنما قابلیت تصمیم‌سازی موثر و مطمئنی داشته باشد، به مفاهیم تحلیل و مدیریت کیفی منابع آب بسته‌بندی مطابق با تعاریف و مستندات بین‌المللی مانند موسسه غذا و دارو (FDA)، سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (US EPA) و استانداردهای ملی مرتبط با تولید، کنترل کیفیت، بسته‌بندی و توزیع آب بسته‌بندی پرداخته شده است.

علاوه بر این‌ها، به راهنماهایی که در قالب نشریاتی همچون نشریه ۱۸۲، با عنوان «راهنمای حفاظت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و تجهیزات بهره‌برداری از آن‌ها» و نشریه ۱۸۷، با عنوان «دستورالعمل رفتارسنجی کیفی آب‌های زیرزمینی» که توسط طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو تهیه شده است، توجه شده؛ با این تفاوت که در این راهنما علاوه بر چاه‌ها، به مسایل مربوط به حفاظت کیفی چشمه‌ها به عنوان یکی از منابع اصلی تامین آب بسته‌بندی شرب توجه ویژه‌ای شده است.

این راهنما پس از بررسی منابع آلاینده و مشخصات آلاینده‌ها، روش‌های مطالعه آن‌ها و نکات فنی و مدیریتی لازم و روش‌ها و ابزارهای تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی را ارائه می‌کند.

متدولوژی تهیه راهنما مبتنی بر جمع‌آوری اطلاعات، بررسی و جمع‌بندی مستندات علمی و فنی معتبر بین‌المللی به همراه تحقیق پیمایشی (پرسشنامه و مصاحبه) از صاحبان صنعت آب بسته‌بندی در کشور به منظور تدوین و ارائه روش‌های کاربردی تعیین حریم کیفی و حفاظت آن متناسب با شرایط ملی است. این راهنما به موضوعات مطرح شده در استانداردها و راهنماهای مرتبط با راهنمای حاضر که در کشور وجود دارد، نپرداخته است، بلکه در صورت نیاز صرفاً ارجاع داده شده است. بدین ترتیب ضمن پرهیز از دوباره‌گویی، هماهنگی و انسجام قابل قبولی بین استانداردها و راهنماهای مربوط ایجاد می‌شود. علاوه بر این، خواننده در صورت نیاز به کسب اطلاعات با جزییات بیش‌تر در خصوص موضوع خاصی، به مستندات معتبر در سطح ملی و یا بین‌المللی راهنمایی می‌شود.

## ۴-۱- مرور بر رویکردهای جهانی پیرامون تعیین حریم و حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی

بسیاری از شرکت‌های آب، شهرداری‌ها، سازمان‌های حفاظت محیط‌زیست، سازمان‌های بهداشتی، دارویی و غذایی در سراسر دنیا، کیفیت آب بسته‌بندی را مورد بررسی و مطالعه قرار داده و استانداردها و پیشنهادهای مختلفی ارائه نموده‌اند. در خصوص تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی توجه بیش‌تر کشورها و سازمان‌های جهانی بر منابع آب بسته‌بندی با منشا زیرزمینی متمرکز است؛ چرا که معمولاً منابع زیرزمینی آب بسته‌بندی که شامل چاه و چشمه است از کیفیت بهتری برخوردار هستند. در عین حال، مدیریت کیفیت آن‌ها پیچیده است و لازم است که راهکار جامع‌تر و هماهنگ‌تری نسبت به منابع آب بسته‌بندی سطحی که شامل برخی رودخانه‌هاست، تدوین و ارائه گردد. شایان ذکر مجدد است که رودخانه‌های مورد استفاده در صنعت آب بسته‌بندی معمولاً رودخانه‌های بکر و کوتاهی هستند که منشا زیرزمینی دارند و اغلب به دلیل عدم دسترسی به چشمه (های) اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته در برخی شرایط بحران، طبق تعریف آب بسته‌بندی می‌توان از رودخانه‌های طویل و غیر بکر نیز برای تولید آب بسته‌بندی استفاده کرد، لکن عمدتاً ارزش تجاری و صادراتی آن در مقایسه با آب بسته‌بندی شده از چشمه و چاه کم‌تر است. به طور کلی در بیش‌تر کشورها، حفاظت منابع آب بسته‌بندی بر راهبردهای مدیریتی مثل ایجاد محدودیت در کاربری اراضی استوار است و هدف آن‌ها کنترل فعالیت‌های آلوده‌کننده در اطراف منبع آب بسته‌بندی است. تحقیقات و بررسی‌های علمی و قوانین پیرامون این موضوع در جهان فراوان است که خلاصه‌ای از آن‌ها در زیر ارائه می‌شود:

**ایالات متحده آمریکا:** در این رابطه می‌توان به قانون حفاظت آب زیرزمینی ایلینوی<sup>۱</sup> (IGPA) در سال ۲۰۰۲ میلادی توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایلینوی در ایالات متحده آمریکا که بر اساس نیاز و تاکید مسوولان ایالتی بر مدیریت منابع آب زیرزمینی برای شرب و بسته‌بندی تدوین شده و اجرا می‌شود، اشاره کرد. پروژه مطالعاتی این آژانس منتهی به تدوین قوانین جامع و شفاف در این ایالت شد که بر اساس آن قوانین از کیفیت منابع طبیعی آب زیرزمینی اعم از عمومی و خصوصی قابل شرب حفاظت می‌شود. با اجرای این پروژه الزامات حفاظت کیفی منابع آب زیرزمینی برای شرب (چاه و چشمه‌های طبیعی) در یک منطقه از طریق اقدامات زیر تامین می‌شود [۶]:

- تدوین سیاست حفاظت آب زیرزمینی منطقه
- ارتقای سطح همکاری بین سازمانی
- تعیین محدوده حفاظت (حریم) کیفی برای محل برداشت
- کاوش در منطقه، برآورد اطلاعات و تهیه نقشه
- تدوین قوانین حقوقی حفاظت از عرصه تغذیه
- تدوین قوانین استاندارد کیفی
- ضوابط کنترل و بازرسی ابزارآلات

1- Illinois Groundwater Protection Act

**اروپا:** در کشورهای اروپایی موضوع حفاظت از منابع آب شرب چاه و چشمه از بیش از چند دهه گذشته که شاید هنوز تامین و عرضه آب زیرزمینی به صورت بسته‌بندی انجام نمی‌شده است، از دیدگاه حفاظت منابع تامین آب مورد توجه ویژه‌ای قرار داشته است. در سال‌های ۱۹۷۹ تا ۱۹۸۱ میلادی گردهمایی بین‌المللی بین کشورهای اروپایی با هدف بررسی آسیب‌سنجی منابع آب زیرزمینی، چاه‌ها و چشمه‌ها برگزار شد. در سال ۱۹۹۱ میلادی گردهمایی مشابهی به منظور به‌هنگام سازی سیاست‌گذاری‌ها و هم‌چنین یکسان‌سازی شاخص‌ها و روش مورد استفاده برای برآورد، خوشه‌بندی مناطق و تهیه نقشه آسیب‌پذیری کیفی منابع آب زیرزمینی برگزار شد. در این میان از کشور پرتغال به عنوان کشور پیشرو در زمینه حفاظت کیفی منابع و سرچشمه‌های آب زیرزمینی می‌توان نام برد که در سال ۱۹۹۳ به عنوان اولین کشور اروپایی، تمام قلمرو کشور خود را به روش شاخص DRASTIC (ارائه شده توسط USEPA<sup>۱</sup>) با مقیاس ۱:۵۰۰.۰۰۰ مورد مطالعه قرار داد [۶].

## ۱-۵- جمع‌بندی رویکردها و سوابق اجرایی و مطالعاتی

- حفاظت کیفی از منابع آب بسته‌بندی موضوعی جدا از حفاظت سایر منابع آبی نیست.

نکته مهمی که از جمع‌بندی سوابق اجرایی و مطالعاتی مختلف بر می‌آید آن است که در کشورهای پیشرفته از نظر مدیریت منابع آب مانند ایالات متحده آمریکا و استرالیا، حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی به صورت موضوعی جدا از سایر منابع آبی مورد بررسی قرار نگرفته، بلکه در سیاست‌های حفاظت کیفی چاه‌ها و چشمه‌ها و هم‌چنین رودخانه‌ها جای می‌گیرد؛ چرا که تغییر رفتار چشمه‌ها و چاه‌هایی که منابع عمده آب بسته‌بندی هستند، عکس‌العمل طبیعی تغییرات به‌وجود آمده در سفره‌های زیرزمینی و حتی شرایط سطحی منطقه است. تنها تفاوت منابع آب بسته‌بندی با دیگر منابع آبی شرب در این است که عمدتاً این منابع که به طور طبیعی دارای ویژگی‌های کیفی مطلوبی هستند، به طور مستقیم وارد شبکه یا تصفیه‌خانه‌های متداول آب شهری نمی‌شوند، بلکه به طور خصوصی و به عنوان کالای تجاری غذایی و دارویی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند [۱، ۵ و ۸].

- پیشگیری از آلوده شدن چاه و چشمه مقدم بر بهسازی است.

بر این موضوع اتفاق نظر وجود دارد که حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی چاه و چشمه پیچیده‌تر از منابع آب سطحی است و از اهمیت ویژه‌ای نسبت به مدیریت کیفی آب سطحی برخوردار است؛ چرا که پس از آلوده شدن منبع تامین آب بسته‌بندی، حذف ابر<sup>۲</sup> آلودگی بسیار سخت و پرهزینه است. در صورت موفقیت در این کار، هم‌چنان این آب ممکن است به مدت چند سال تا چند ده سال کیفیت قابل قبولی نداشته باشد. از این رو تمام متخصصان و سازمان‌های ذیربط به اتفاق بر این موضوع تاکید دارند که در مدیریت کیفی چاه‌ها و چشمه‌هایی که به عنوان منبع آب شرب استفاده

1- US Environmental Protection Agency

2- Plume

می‌شوند بیش‌تر باید به جای پرداختن به «بهسازی کیفیت منبع تامین آب بسته‌بندی آلوده شده»، بر موضوع «پیشگیری از آلوده شدن چاه و چشمه» تمرکز داشت [۱].

## ۱-۶- نوع منبع آب بسته‌بندی

شناسایی نوع و ویژگی‌های طبیعی منبع آب بسته‌بندی برای تعیین محدوده مطالعاتی ضروری است. منابع آب بسته‌بندی معمولاً به صورت چشمه، چاه و یا برخی رودخانه‌هایی هستند که منشأ زیرزمینی دارند. مفهوم تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی بیش‌تر شامل چاه و چشمه می‌شود. چشمه‌ها از لحاظ هیدروژئولوژیکی و مکانیزم آبدهی انواع مختلفی دارند که در پیوست ۱ راهنما به اختصار تشریح شده است.

## ۱-۷- استراتژی مناسب تعیین حریم کیفی منابع آب

تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی به معنای تعیین محدوده‌ای در اطراف منبع آب بسته‌بندی است تا با محدود کردن فعالیت‌های انسانی در آن محدوده، احتمال ورود آلاینده‌ها به داخل منبع آب بسته‌بندی کاهش یابد. با دور شدن از منبع آب بسته‌بندی، از شدت محدودیت‌های قانونی و کاربری اراضی کاسته می‌شود. لذا حریم کیفی، خود به چند زیر محدوده با قوانین و محدودیت‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شود. اصول و اساس این استراتژی، توجه به دو معیار «فاصله منبع آلوده‌کننده» و «زمان انتقال آلودگی» و حفظ فاصله مطمئن بین منبع آب بسته‌بندی و منبع آلودگی است. از این رو، حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی در قالب تعیین محدوده آسیب‌پذیر و یا محدوده حفاظت، بر اساس تحلیل داده‌های کمی و کیفی مختلف از محدوده‌ای که پتانسیل آلودگی دارد، تعیین می‌شود و به صورت راهنماها و سیاست‌گذاری‌ها تنظیم می‌شود [۸]. محدوده آسیب‌پذیر محدوده‌ای است که هم احتمال آلوده شدن دارد و هم پتانسیل انتقال آلودگی از آنجا به منبع برداشت آب (چاه یا چشمه) وجود دارد. محدوده حفاظت هم به این مفهوم است که اگر آلودگی در آن محدوده رخ دهد توان و فرصت کافی برای پالایش طبیعی آلودگی وجود نخواهد داشت و آلودگی به منبع سرایت خواهد کرد. برای نمونه، طبق «آیین‌نامه فدرالی حفاظت آب سوئیس (WPO)» در سال ۱۹۹۸، استراتژی مدیریت کمی و کیفی چاه‌ها و چشمه‌ها باید بر پایه تعیین حریم کیفی باشد. طبق روش تدوین شده، منابع آب زیرزمینی که برای شرب استفاده می‌شود، در سه محدوده حفاظتی تعریف می‌شوند و با هدف محافظت آن‌ها از آلودگی در محدوده حفاظت کیفی مشخصی قرار می‌گیرند. هم‌چنین قوانین شفاف برای فعالیت‌های مجاز و غیرمجاز تأثیر گذار بر کیفیت آب در هر یک از این محدوده‌ها بیان شده است. در محیط‌های متخلخل تحکیم نیافته، تعیین محدوده حفاظتی بر اساس زمان انتقال آلودگی انجام می‌شود. محدوده‌های حفاظتی تقریباً به صورت هم مرکز با چاه یا چشمه آب زیرزمینی فرض می‌شود که با دور شدن از منبع آب از محدودیت‌های اعمال شده بر کاربری اراضی کاسته می‌شود [۸].

در کشورهایی مانند آلمان و دانمارک، روش‌های مختلفی برای تعیین حریم کیفی چاه‌ها و چشمه‌ها معرفی شده‌اند که براساس شرایط مختلف محیطی و هم‌چنین ویژگی داده‌های موجود از منطقه انتخاب می‌شوند. برای رسیدن به نتیجه قابل اطمینان از مطالعات تعیین حریم کیفی، از راهکار چند مرحله‌ای که شامل مطالعات هیدروژئولوژیکی، تکنیک‌های عملیاتی در محل و تحلیل‌های لازم برای تهیه نقشه است، استفاده می‌شود.



## فصل ۲

---

---

# اصول مدیریت منابع آب بسته‌بندی





## ۲-۱- کلیات

منابع آب بسته‌بندی را می‌توان به سه گروه زیر تقسیم‌بندی کرد: چشمه که آب زیرزمینی در آن به صورت طبیعی به سطح زمین رسیده و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، چاه که در آن آب زیرزمینی با استفاده از پمپ برداشت و بسته‌بندی می‌گردد و رودخانه. در این میان چشمه و چاه به عنوان منابع آب بسته‌بندی دارای اهمیت ویژه‌ای بوده و از آنجاکه مستقیماً با سفره آب زیرزمینی مرتبط است از پیچیدگی بیش‌تری برخوردار می‌باشد.

بهره‌برداری از آب چشمه از مهارت‌های باستانی تلقی می‌شود. از دیرباز، شهرها برای آنکه دسترسی آسانی به آب داشته باشند در نزدیکی چشمه‌های بزرگ توسعه می‌یافتند. با گذشت زمان در بسیاری از نقاط جهان، به دلایل مختلفی مانند برداشت مستقیم آب از سفره‌های آب زیرزمینی توسط چاه و توسعه منابع آب سطحی توسط مخازن بزرگ، از اهمیت چشمه‌ها به عنوان منابع اصلی تامین آب کاسته شد. از این‌رو مطالعات جامع و گسترده در خصوص چشمه‌ها تا این اواخر که مفهوم مدیریت پایدار منابع آب مورد توجه جهان قرار گرفته، بسیار اندک و محدود بوده است.

کیفیت آب یک چشمه علاوه بر کمیت آن می‌تواند به دلیل شیوه‌های ناپایدار مدیریت اراضی در عرصه تغذیه، کاهش یافته و تا از بین رفتن کامل آن پیش رود. تقریباً تمام فعالیت‌های انسان پتانسیل تاثیر مستقیم یا غیرمستقیم بر آب زیرزمینی دارند. برخی از فعالیت‌ها در اراضی که می‌توانند منجر به آلوده کردن آب زیرزمینی و نهایتاً چشمه‌ها شوند در فصل چهار بیان شده است.

در این فصل اصول مدیریت منابع آب بسته‌بندی در یک منطقه و ارتباط آن با سفره آب زیرزمینی، مفهوم پایداری، مدیریت چشمه، حفاظت منبع، حفاظت منابع و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به اختصار تشریح شده است.

## ۲-۲- مفهوم پایداری

در هنگام برآورد آب قابل دسترس و توسعه استراتژی‌های تامین پایدار آب، این باور که اگر مقدار آب برداشت شده از آب زیرزمینی برابر مقدار آب تغذیه شده به آن باشد (که معمولاً تحت عنوان بده مطمئن<sup>۱</sup> یاد می‌شود)، آنگاه بهره‌برداری از آب زیرزمینی پایدار خواهد بود، باوری متداول ولی نادرست است. در حقیقت مفهوم «بده مطمئن» یک رویاست، چرا که هر آب زیرزمینی که به صورت مصنوعی از سفره آب زیرزمینی برداشت می‌شود لزوماً از جایی می‌آید که بنا داشته به صورت طبیعی به جای دیگری جریان پیدا کند. رویای نادرست (بده مطمئن) بر این تصور است که سایر اجزای تامین کننده بیلان کلی آب، شامل جریان چشمه‌های تغذیه کننده سفره آب زیرزمینی هیچ تاثیری نمی‌پذیرند. فرض نادرست «رویای بیلان آب» و تاثیر آن بر یک چشمه و جریان رودخانه سطحی که از آن تغذیه می‌کند در شکل (۲-۱) نمایش داده شده است. اگر پمپاژ (برداشت) از سفره آب زیرزمینی برابر یا بیش‌تر از تمام جریان ورودی (تغذیه) به سفره آب زیرزمینی باشد، به دلیل اثرات نامطلوب در برخی زمان‌ها، خروجی آب زیرزمینی از طریق چشمه در نهایت به صفر

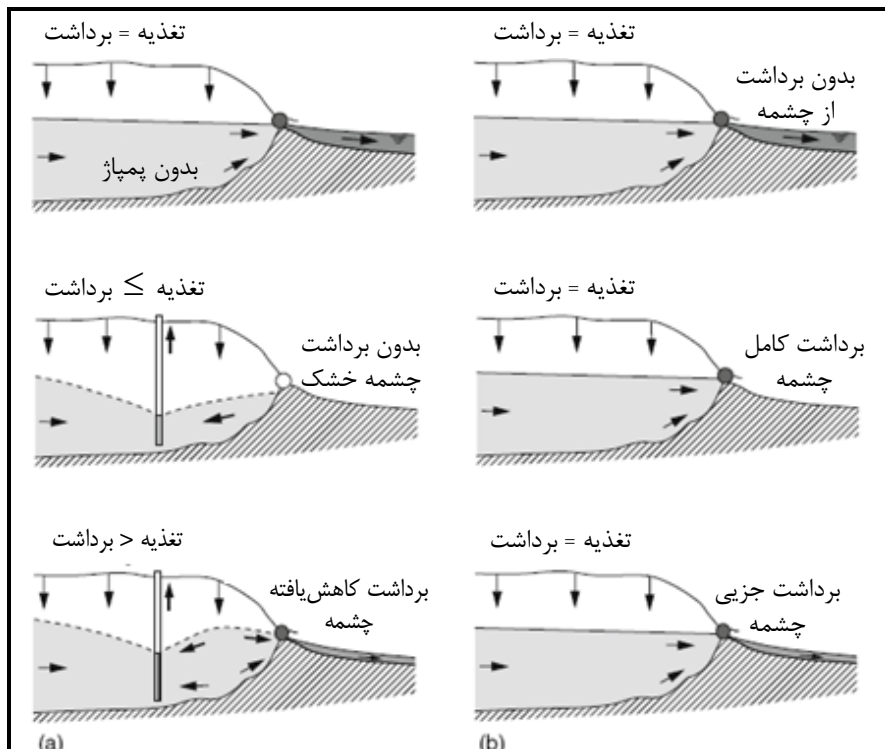
1- Safe Yield

می‌رسد. به طور مشابه، اگر بیش‌تر یا تمام آب برداشت شده از سفره آب زیرزمینی در چشمه بهره‌برداری و در اختیار کاربران قرار گیرد، ناگزیر اثرات نامطلوبی برای کاربران یا اکوسیستم وابسته به آب سطحی خواهد داشت. در هر دو حالت، اثرات هیدرولوژیکی مستقیم برابر با حجم آب برداشت شده از سیستم طبیعی خواهد بود. بروز این اثرات، به گذر زمان نیاز دارد، چرا که مقدار تغذیه سفره آب زیرزمینی، برداشت آب زیرزمینی و آب برداشت شده از چشمه در زمان تغییر می‌کنند. نرخ این تغییرات اطلاعات مهمی در خصوص توسعه سفره آب زیرزمینی و نیز استراتژی‌های مدیریت چشمه در اختیار می‌گذارد. با افزایش تقاضای آب و فشار بر منابع آب زیرزمینی، بحث ده‌ها ساله متخصصان آب در رابطه با آنچه که به منزله «مطمئن» تلقی شدن برداشت آب زیرزمینی بود به بحث «استفاده پایدار» از آب زیرزمینی تغییر کرده است. تفاوت تنها در معنی و سردرگمی که گهگاه به وجود می‌آورد نیست. برای نمونه، تلاش بسیاری انجام شده است تا دو مفهوم «بده مطمئن» و «پمپاژ پایدار»<sup>۱</sup> از هم تمیز داده شوند (پمپاژ پایدار، نرخ پمپاژی است که می‌تواند بدون برداشت یا تغذیه سفره آب زیرزمینی به طور نامحدود پایدار باشد) برای بررسی بهتر این دو مفهوم می‌توان به مراجع مربوط مراجعه کرد.<sup>۲</sup>

آن چه تصور سخت است این است که سیستم آب زیرزمینی یک سیستم پویاست، به این معنی که هر تغییر در بخشی از این سیستم نهایتاً سایر بخش‌های سیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مهم‌تر از آن این‌که، بیش‌تر سیستم‌های آب زیرزمینی به صورت پویا با آب سطحی در ارتباط هستند. هنگامی که آب زیرزمینی از عرصه تغذیه به سمت محدوده برداشت (برای مثال چشمه یا رودخانه) حرکت می‌کند، به طور مداوم در محیط اشباع جریان می‌یابد. اگر محدوده برداشت دیگری (از قبیل چاه تامین آب) بهره‌برداری شود، آب کم‌تری به سمت محدوده‌های برداشت قدیمی (چشمه یا رودخانه) جریان می‌یابد. به نظر می‌رسد که این حقیقت تقریباً از سوی کسانی که استدلال می‌کنند که برداشت آب زیرزمینی تغذیه آب زیرزمینی را با القای جریان ورودی از مرزهای تغذیه (از قبیل منابع آب سطحی) می‌تواند افزایش دهد و نهایتاً منجر به دستیابی به نرخ «پمپاژ پایدار» شود، نادیده گرفته می‌شود. با این‌که این قبیل استراتژی مدیریت آب زیرزمینی ممکن است برای استفاده مورد نظر «مطمئن» یا «پایدار» باشد، اما این سوال مطرح می‌شود که آیا اثر نامطلوبی بر استفاده پایدار سیستم آب سطحی که اکنون آب زیرزمینی کم‌تری از طریق چشمه‌ها دریافت می‌کند، نمی‌گذارد؟

1- Sustainable Pumping

2- Devlin, J.F., Sophocleous, M., 2005. The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability. Hydrogeology Journal 13, 549–554.



شکل ۲-۱- پایداری چشمه تحت تاثیر پمپاژ از آب زیرزمینی (a) مقایسه پایداری آب سطحی متأثر از برداشت آب چشمه. (b) پمپاژ آب زیرزمینی یا برداشت از چشمه پایدار تلقی شده اما کاربران یا محیط زیست را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

## ۲-۳- مدیریت چشمه

مطالعه چشمه‌ها، در حقیقت مطالعه اصول جریان بین مرزی آب زیرزمینی و سطحی است. وضعیت چشمه‌ها نشانگر گذار از آب زیرزمینی به آب سطحی است. از این‌رو، چشمه‌ها تا حدی توسط متخصصان آب زیرزمینی (هیدروژئولوژیست‌ها) و تا حدی توسط متخصصان آب سطحی (هیدرولوژیست‌ها) مطالعه می‌شوند. به طور کلی، تا همین اواخر تا هنگامی که مفهوم مدیریت پایدار منابع آب مورد توجه قرار گیرد، مطالعات جامع در خصوص چشمه‌ها نسبتاً نادر بوده است. چشمه‌ها عکس‌العمل مستقیم وضعیت آب زیرزمینی در سفره آب زیرزمینی تغذیه کننده آن‌ها هستند و به طور مستقیم رودخانه‌ها و سایر منابع آب سطحی (به همراه تمام اکوسیستم‌های وابسته) را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از این‌رو مدیریت چشمه شامل بسیاری از اصول مدیریت منابع آب زیرزمینی و سطحی می‌شود.

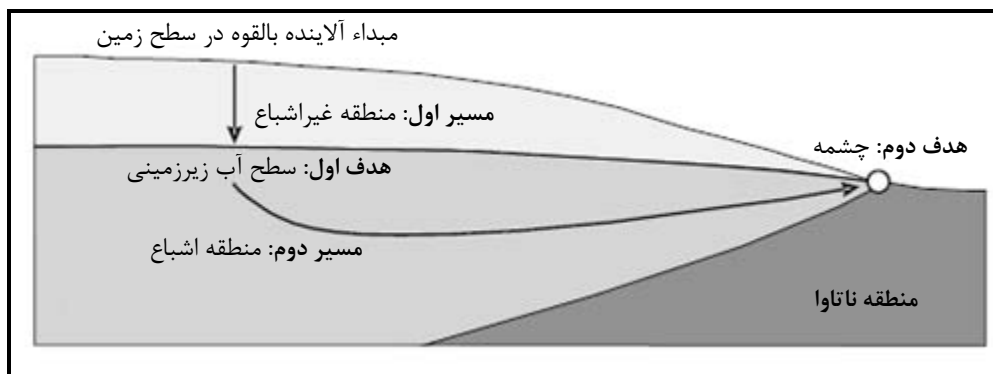
در شرایط ایده‌آل که آب چشمه به هیچ وجه بهره‌برداری نمی‌شود، مدیریت چشمه باید بر حفاظت کمی و کیفی آب زیرزمینی در عرصه تغذیه چشمه تمرکز کند. اما هنگامی که آب چشمه برداشت و مصرف می‌شود الزامات مدیریتی زیر اضافه می‌شوند:

- تامین امنیت<sup>۱</sup>: به این معنی که به طور شفاف مقدار کمی بهره‌برداری مجاز، مشتمل بر جریان‌های زیست محیطی<sup>۲</sup> تعیین شود.
- اطمینان: از این که آب با کیفیت مناسب به تمام مصرف‌کنندگان می‌رسد.
- توسعه حریم کیفی چشمه طبق قوانین.

## ۲-۴- مفهوم حفاظت منابع<sup>۳</sup> و حفاظت منبع<sup>۴</sup>

در مطالعات آب زیرزمینی، برای حفاظت آب زیرزمینی دو رویکرد عمومی وجود دارد: حفاظت منابع و حفاظت منبع. واژه «منابع» معمولاً برای توصیف کل بدنه آب زیرزمینی<sup>۵</sup> یا حوضه آب زیرزمینی<sup>۶</sup> استفاده می‌شود. واژه «منبع» می‌تواند برای یک چاه پمپاژ، چشمه و یا سایر انواع نقاط برداشت آب زیرزمینی به کار رود. مفهوم حفاظت از منبع و منابع بلافتیک و با هم در ارتباط هستند. به طور ایده‌آل، حفاظت از یک منبع مشخص آب بدون حفاظت از منابع آب زیرزمینی ممکن نیست، لکن حفاظت منابع آب زیرزمینی در سطح وسیع تری است بدون این که یک منبع خاصی هدف باشد و البته هزینه و اجرای آن سنگین تر است و کاربرهای زیاد و متنوعی دخیل می‌باشند. از این رو، از نظر مفهومی و عملی، تفاوت قائل شدن بین این دو مفهوم مفید است که منجر به شکل‌گیری مدل مفهومی مبدا - مسیر - هدف<sup>۷</sup> شده است. «مبدا»، مکان انتشار آلودگی بالقوه (معمولاً سطح زمین) است. «مسیر» شامل تمام اجزای سیستم طبیعی است که آلاینده بالقوه مجبور است از آن عبور کند تا از مبدا به هدف برسد. «هدف»، آبی است که به طور بالقوه متاثر از آلاینده شده و باید محافظت شود. در مفهوم «حفاظت از منابع»، هدف، سطح آب زیرزمینی (سطح وسیع) و مسیر، منطقه غیراشباعی<sup>۸</sup> است که مسیر حرکت آب و آلاینده تا رسیدن به سطح آب زیرزمینی است. در مفهوم «حفاظت از منبع»، هدف، چشمه یا چاه و مسیر آن‌هاست. بدین ترتیب، علاوه بر منطقه غیراشباع اطراف منبع (سطحی محدود) شامل منطقه اشباع سیستم سفره آب زیرزمینی نیز است (شکل ۲-۲).

- 
- 1- Securing
  - 2- Environmental Flows
  - 3- Resource Protection
  - 4- Source Protection
  - 5- Entire Groundwater Body
  - 6- Groundwater Basin
  - 7- Origin-Pathway-Target conceptual Model
  - 8- Unsaturated Zone



شکل ۲-۲- شماتیک مدل مفهومی مبدا - مسیر - هدف در حفاظت از منابع و منبع آبی

اولین و مهم‌ترین سوالی که در حفاظت منبع مطرح می‌شود این است که، عرصه تغذیه (عرصه آبخیز)<sup>۱</sup> منبع (چشمه یا چاه) کجاست؟ برخی مواقع از حوضه آبریز تحت عنوان عرصه زهکشی<sup>۲</sup>، عرصه تغذیه<sup>۳</sup> یا حوضه آبریز<sup>۴</sup> نیز یاد می‌شود. روش‌های هیدروژئولوژیکی مختلفی مانند آزمایش ردیابی مصنوعی<sup>۵</sup> برای ترسیم عرصه تغذیه معرفی شده است. سوال دوم این است که آلاینده‌ها به چه سادگی (چگونه) می‌توانند وارد سفره آب زیرزمینی شده و به منبع (چشمه یا چاه) منتقل شوند؟ سوال دوم منجر به مفهوم مهم دیگر، یعنی «آسیب‌پذیری آب زیرزمینی از آلاینده» می‌شود که تحت عنوان سهولت امکان ورود آلاینده‌ها به آب زیرزمینی نیز قابل بحث است. اصطلاح «آسیب‌پذیری از آلاینده»<sup>۶</sup> و «حفاظت طبیعی در مقابل آلاینده»<sup>۷</sup> به یک مفهوم است.

## ۲-۵- آسیب‌پذیری آب زیرزمینی

آسیب‌پذیری زیاد یعنی حفاظت طبیعی در مقابل آلاینده کم است و بر عکس، آسیب‌پذیری کم به معنی حفاظت طبیعی زیاد است. دو نوع اصلی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی عبارت‌اند از: آسیب‌پذیری ذاتی<sup>۸</sup> و آسیب‌پذیری خاص<sup>۹</sup>. آسیب‌پذیری ذاتی تنها به مشخصات هیدروژئولوژیکی و ژئولوژیکی منطقه وابسته و مستقل از نوع آلاینده است. آسیب‌پذیری خاص علاوه بر این، ویژگی‌های یک یا گروهی از آلاینده‌ها و اندرکنش آن‌ها با محیط ژئولوژیکی را در نظر می‌گیرد. نقشه‌های آسیب‌پذیری<sup>۱۰</sup> به عنوان اساس ترسیم مناطق حفاظت کیفی منابع و منبع قابل استفاده است. نقشه‌های

- 1- Catchment Area
- 2- Drainage Area
- 3- Recharge Area
- 4- Watershed
- 5- Artificial Tracer Test
- 6- Vulnerability to Contamination
- 7- Natural Protection Against Contamination
- 8- Intrinsic Vulnerability
- 9- Specific Vulnerability
- 10- Vulnerability Maps

آسیب‌پذیری می‌توانند با سایر اطلاعات مربوط ترکیب شوند. نقشه‌های خطر<sup>۱</sup>، نوع و محل فعالیت‌های بالفعل یا بالقوه آلوده‌کننده مانند سایت‌های صنعتی، کشاورزی و مدفن زباله را نشان می‌دهند. نقشه ریسک<sup>۲</sup>، اطلاعات نقشه آسیب‌پذیری و نقشه خطر را ترکیب کرده و این امکان را فراهم می‌کند که مناطقی که آب زیرزمینی واقعاً دارای ریسک آلوده شدن است مشخص شوند. نقشه ریسک در نتیجه ضرورت برخورد (به صورت ایده‌آل، حذف خطرهای موجود و تغییر کاربری اراضی یا در غیر این صورت به کارگیری سیستم‌های هشداردهی سریع) را نشان می‌دهد.

جزء دیگر طرح حفاظت مناسب آب زیرزمینی، برآورد اهمیت آب زیرزمینی یا چشمه برای مصرف آشامیدنی، تامین تقاضای اکوسیستم‌های آبی مرتبط و یا سایر منظورهاست. چشمه بزرگی که منبع آب آشامیدنی جمعیت زیادی است، همواره بسیار مهم تلقی شده و حفاظت از آن باید در اولویت بالا قرار گیرد. (چگونگی استفاده از این روش در تعیین حریم کیفی منبع آب بسته‌بندی در فصل ۶ با جزییات بیش‌تر تشریح شده است).

---

1- Hazard Map  
2- Risk Map

## فصل ۳

---

---

### شناخت محدوده مطالعاتی



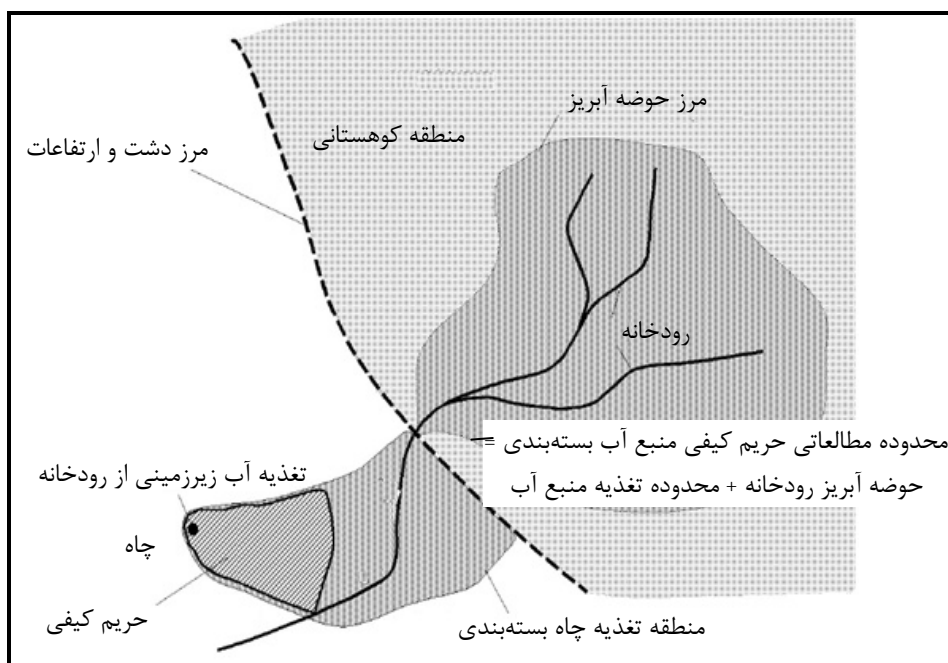


## ۳-۱- کلیات

برای تعیین حریم کیفی منبع آب بسته‌بندی لازم است در ابتدا محدوده مطالعاتی<sup>۱</sup> مشخص و ویژگی‌های آن بررسی می‌شود. در این فصل، محدوده مطالعاتی معرفی شده و چگونگی انجام مطالعات پایه در آن بیان شده است. داده‌ها و اطلاعات پایه مطالعاتی و ویژگی‌هایی از حوضه آبریز که لازم است مورد توجه قرار گیرد بیان شده است. برای شفاف شدن بیش‌تر موضوع پیشنهاد می‌شود این فصل به همراه فصل ۱۰ که به بررسی مطالعه موردی در خصوص تعیین حریم کیفی چاه‌ها و چشمه‌ها پرداخته شده است مطالعه شود.

## ۳-۲- محدوده مطالعاتی و حریم کیفی اولیه

محدوده مطالعاتی برای تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی، محدوده‌ای از منطقه اطراف منبع آب بسته‌بندی است که فرایندهای طبیعی و یا غیرطبیعی (انسان- ساخت) انتقال آب و آلودگی در آن رخ می‌دهد. محدوده مطالعاتی شامل (بخشی از) «عرصه تغذیه»<sup>۲</sup> منبع آب بسته‌بندی می‌شود. به عبارتی اگر منبع آب بسته‌بندی تحت تاثیر حوضه آبریز بالادست و یا المان‌های هیدرولوژیکی خاصی مانند دریاچه و رودخانه باشد، لازم است به عنوان محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار گیرند. در شکل (۳-۱)، «محدوده مطالعاتی»، «عرصه تغذیه» و «حریم کیفی» منبع آب بسته‌بندی نمایش داده شده است (برای بررسی بیش‌تر، فصل ۶ نیز مطالعه شود).



شکل ۳-۱- نمایش محدوده مطالعاتی، عرصه تغذیه و حریم کیفی

1- Study Area

2- Recharge Area

مقتضای مجوز بهره‌برداری ابتدا باید «حریم کیفی اولیه» منبع آب بسته‌بندی را تعیین کند. حریم کیفی اولیه، در حقیقت بخشی از محدوده مطالعاتی است و معمولاً شامل عرصه تغذیه است که مشاور باید کانون‌های آلودگی و شرایط هیدروژئولوژیکی و تغذیه‌ای منبع آب بسته‌بندی را در آن بررسی کند. همان طور که در شکل (۳-۱) مشاهده می‌شود، حریم کیفی نهایی و اصلاح شده می‌تواند به مراتب کوچک‌تر از حریم کیفی اولیه باشد.

از آن‌جا که منابع آب بسته‌بندی با هدف شرب در کشور در موقعیت‌های مکانی و با شرایط مختلف هیدرولوژیکی، ژئوهیدرولوژیکی و کاربری اراضی قرار دارند، امکان پیش تعیین دقیق محدوده مطالعاتی مشخص (برای مثال، شعاع ۱۵۰۰ متری پیرامون منبع آب) منطقی نیست. با این حال، در شرایطی که اطلاعات اولیه برای تهیه نقشه پیزومتریک منطقه و یا تعیین عرصه تغذیه<sup>۱</sup> کافی نباشد، حریم کیفی اولیه برآورد شده می‌تواند دایره‌ای به شعاع ۱۵۰۰ متر و به مرکزیت مظهر منبع آب بسته‌بندی باشد [۳۱].

با توجه به این‌که حریم کیفی اولیه، از نظر ژئوهیدرولوژیکی دقیق و مطمئن نیست، قویاً توصیه می‌شود حتی‌الامکان عرصه تغذیه منبع آب بسته‌بندی تعیین شود و از فرض حریم کیفی اولیه دایره‌ای شکل، برای نمونه به شعاع ۱۵۰۰ متر، اجتناب شود، به ویژه در شرایطی که مکانیزم تغذیه منبع آب بسته‌بندی از نظر متخصص و نماینده آب منطقه‌ای پیچیده باشد (برای نمونه اگر دریاچه یا رودخانه‌ای در نزدیکی منبع آب بسته‌بندی باشد که احتمال اندرکنش منبع آب بسته‌بندی با آن‌ها زیاد باشد). با این حال لازم است محدوده حریم کیفی به شرکت آب منطقه‌ای گزارش شده و مورد تایید قرار گیرد.

### ۳-۳- چگونگی انجام مطالعات پایه در سطح محدوده مطالعاتی

مطالعه محدوده مطالعاتی حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی باید توسط مشاور انجام شود. در این بخش مطالبی که نماینده شرکت آب منطقه‌ای، مشاور و مقتضای باید توجه داشته باشند و آگاهی از آن‌ها می‌تواند مفید باشد ارائه شده است. هدف از انجام این مطالعات، ترسیم و تعیین عرصه تغذیه منبع آب بسته‌بندی (که معمولاً به عنوان حریم کیفی اولیه معرفی می‌شود) و شناسایی ویژگی‌های آن است. برای انجام این مطالعات لازم است موارد ذکر شده زیر مورد بررسی و توجه قرار گیرند.

#### ۳-۳-۱- مدیریت اطلاعات<sup>۲</sup>

امروزه مدیریت اطلاعات به عنوان ابزار کارآمد مدیریت منابع آب مورد توجه قرار گرفته و راهنماهای متنوعی در این خصوص تدوین شده است. مدیریت اطلاعات، فرایند زنجیره‌ای است که طی آن داده<sup>۳</sup> به اطلاعات<sup>۴</sup> و اطلاعات به دانش<sup>۵</sup> تبدیل می‌شود.

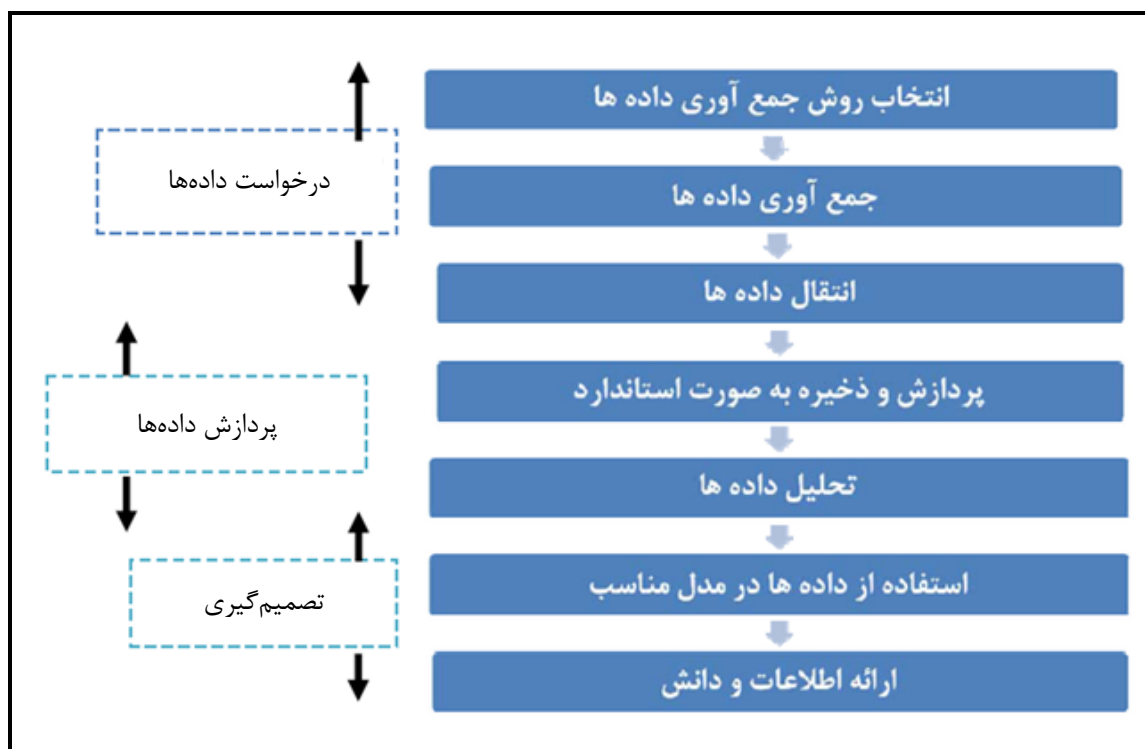
1- Recharge Areas

2- Information Management

3- Data

4- Information

5- Knowledge



شکل ۳-۲- روند مدیریت اطلاعات [۳۳]

انجام مطالعات پایه در سطح محدوده مطالعاتی برای تدوین برنامه حفاظت حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی، مستلزم جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و سازماندهی حجم وسیع داده‌های متنوعی از منابع مختلف است. از سوی دیگر شرکت آب منطقه‌ای برای پیشبرد برنامه‌های حفاظت کیفی منابع آب منطقه باید از داده‌ها، اطلاعات و دانشی که از سوی متقاضی و مشاور در اختیار قرار می‌گیرد استفاده کند. بدون تهیه و مدیریت سیستم پایگاه داده به صورت منسجم و کارآمد، مطالعه دقیق اندرکنش بین اجزای مختلف چرخه آب و انسان در سطح محدوده مطالعاتی امکان‌پذیر نخواهد بود؛ چرا که، اگر برنامه‌ریزی به جای آن که بر اساس دانش مبتنی بر اطلاعات انجام شود، بر اساس مجموعه‌ای از داده‌های نامناسب و ناکافی انجام و نتایج قابل قبولی را به همراه نخواهد داشت.

در فرایند حفاظت حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی پس از تعیین محدوده مطالعاتی، مرحله بعد شامل جمع‌آوری، پردازش و تصمیم‌گیری است. در این فرایند، ابتدا نوع داده‌ها و کیفیت و کمیت مورد نیاز و روش جمع‌آوری تعیین می‌شود. سپس، حجم زیاد داده‌های جمع‌آوری شده پردازش و تحلیل می‌شوند و با استفاده از مدل (های) مناسب به اطلاعات و دانش تبدیل می‌شوند. در طی انجام مطالعاتی که محدوده مطالعاتی انجام می‌شود شرکت آب منطقه‌ای باید بر کیفیت مدیریت اطلاعات نظارت داشته باشد.

### ۳-۳-۲- جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات پایه

نوع، کمیت و کیفیت داده‌ها و اطلاعات پایه لازم برای تعیین محدوده حریم کیفی و حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی به روش انتخابی برای تعیین محدوده کیفی و حفاظت کیفی بستگی دارد. برای تعیین محدوده کیفی منابع آب بسته‌بندی روش‌های مختلفی مانند روش‌های هندسی، تحلیلی، هیدروژئولوژیکی و روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی کامپیوتری وجود دارد که در فصل‌های بعدی این راهنما بحث شده است [۱۲]. داده‌ها و اطلاعات ضروری را در چند گروه به شرح زیر می‌توان دسته‌بندی کرد:

- هواشناسی و هیدرولوژیکی / ژئوهیدرولوژیکی
  - کاربری و پوشش اراضی و جغرافیایی
  - منابع آب مانند آبدهی رودخانه، چاه و چشمه، حجم برداشت، کیفیت آب
  - مصارف آب
  - زیرساخت‌ها و مسایل اجتماعی و نهادی
- هر یک از این گروه‌ها شامل زیرمجموعه‌های متنوعی است. اطلاعات حاصل در روش‌های تعیین حریم کیفی و حفاظت حریم کیفی به عنوان اطلاعات پایه به کار می‌روند که برخی از آن‌ها در زیر معرفی شده‌اند [۳].
- اطلاعات مربوط به کلیه جریان‌های خروجی جهت تعیین بیلان آبی منابع آب بسته‌بندی و هیدرولوژی / ژئوهیدرولوژی منطقه
  - بده خروجی از منبع آب بسته‌بندی در طول مدت آبدهی
  - کاربری اراضی منطقه و ویژگی‌های طبیعی منطقه مانند دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و مراتعی که با منبع آب بسته‌بندی در ارتباط است.
  - اطلاعات خاک‌شناسی، مشخصات آبخوان و آب زیرزمینی و زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه
  - مشخصات منابع محتمل آلودگی و نوع آلودگی و شناسایی پارامترهای شیمیایی و بیولوژیکی مناسب بر اساس کانون‌های آلوده‌کننده

### ۳-۳-۳- بررسی ویژگی‌های حوضه آبریز در محدوده مطالعاتی و تعیین عرصه تغذیه

برای تعیین و ترسیم عرصه تغذیه منبع آب بسته‌بندی و همچنین شناسایی ویژگی‌های آن لازم است مواردی به شرح زیر بررسی شوند.

## ۳-۳-۱- توپوگرافی، ژئولوژی و جریان آب زیرزمینی

توپوگرافی در مقیاس‌های مختلف بر الگوی جریان آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارد، اما ارتباط بین توپوگرافی و تقسیمات عرصه تغذیه چشمه یا چاه معمولاً ساده نیست. محدوده‌های توپوگرافیکی سطح زمین مانند پشته کوه‌ها<sup>۱</sup> لزوماً محدودیت قابل توجهی برای جریان آب زیرزمینی نیستند، به‌ویژه در سیستم‌های کارستی که در آن نمونه‌های مختلفی از جریان متقاطع در زیر پشته‌ها و دره‌ها وجود دارد. در این موارد درست نیست که ترسیم عرصه تغذیه چشمه یا چاه تنها بر اساس توپوگرافی انجام شود. با این وجود لازم است که توپوگرافی منطقه در نظر گرفته شود، زیرا واضح است که عرصه تغذیه چشمه همواره در تراز بالای تراز چشمه یا چاه قرار دارد؛ البته موارد استثنایی اندکی بر اثر فشارهای تکتونیکی وجود دارد. (شکل ۳-۱).

توپوگرافی در ترسیم عرصه تغذیه خود تولیدگر<sup>۲</sup> یا آلورژیک<sup>۳</sup> مانند عرصه تغذیه توسط رودخانه‌ها یا نقب‌های در حال خشک شدن نیز کاربرد دارد. در عرصه تغذیه آلورژیک آب معمولاً از طریق نفوذ آب سطحی به نقب‌های مکنده<sup>۴</sup> به داخل سفره آب زیرزمینی تغذیه می‌شود. سیستم دانوب-آچ<sup>۵</sup> در جنوب غربی آلمان یک نمونه مشهور است که در آن هنگامی که رودخانه دانوب جریان کمی دارد تمام آب رودخانه از طریق نقب‌های مکنده به داخل سفره آب زیرزمینی کارستی ریخته و به سمت چشمه آچ، بزرگ‌ترین چشمه آلمان، در ۱۲ کیلومتری جریان می‌یابد. در این شرایط، تمام عرصه تغذیه سطحی رودخانه دانوب در بالادست این چشمه عرصه تغذیه آلورژیک چشمه آچ است [۵].

سفره آب زیرزمینی که آب آن به سمت یک چشمه در حرکت است یک سیستم ژئولوژیکی است که با توجه به ویژگی‌های هندسی، ساختار درونی، هیدروژئولوژیکی و شرایط مرزی هیدرولیکی آن توصیف می‌شود. هندسه سفره آب زیرزمینی معمولاً توسط عناصر چینه‌شناسی، تکتونیکی و توپوگرافیکی مشخص می‌شود. برای نمونه، یک سفره آب زیرزمینی شن و ماسه‌ای در یک دره محدود به شیست<sup>۶</sup> نفوذناپذیر یا یک سفره آب زیرزمینی کارستی<sup>۷</sup> محصور در موقعیت توپوگرافیکی پست که توسط گسل‌های قائم از سنگ‌های بلورین که جریان سطحی به آن تخلیه می‌شود را می‌توان نام برد. منشأ و مشخصات هیدرولیکی شکاف‌ها<sup>۸</sup> در جریان آب زیرزمینی بسیار مهم هستند. گسل و تراست‌ها<sup>۹</sup> می‌توانند سفره آب زیرزمینی را محدود کنند یا منجر به ایجاد ارتباط هیدرولیکی بین سفره‌های آب زیرزمینی دیگر شوند. تاقدیس‌ها<sup>۱۰</sup> معمولاً زمانی که ناودیس‌ها<sup>۱۱</sup>، مسیرهای اصلی جریان آب زیرزمینی در یک سیستم کارستی را شکل

- 
- 1- Mountain Ridges
  - 2- Autogenic
  - 3- Allogenic
  - 4- Sinks
  - 5- Danube-Aach
  - 6- Schist
  - 7- Karstified Limestone
  - 8- Fractures
  - 9- Faults and Thrusts
  - 10- Anticlines
  - 11- Synclines

۳-۳-۳-۲- پیلان آب<sup>۱</sup> و شرایط ہیدرولوجیکی

تغییر در ذخیره + جریان ورودی = جریان خروجی

تغییر در ذخیره آن به صورت زیر می‌تواند بیان شود:

در اینجا  $Q_s$  میانگین سالانه حجم تغذیه،  $A$  مساحت عرصه تغذیه،  $P$  میانگین سالانه بارش و  $ET$  تبخیر و تعرق سالانه

است (  $P - ET = R$  ، که در آن  $R$  تغذیه است).

با این که مفهوم بیلان آب تئوری ساده‌ای دارد، اما در عمل پیچیدگی‌های بسیاری دارد که هنگام تعیین (اندازه‌گیری) دقیق عناصر مختلف آن مانند بارش، تبخیر و تعرق، پوشش گیاهی، رواناب‌ها و منطقه‌ای کردن<sup>۲</sup> داده‌های هیدرولوژیکی نمایان می‌شود. بعلاوه، تمامی عناصر بیلان آب، به‌ویژه در سیستم‌های کارستی، معمولاً با زمان تغییر می‌کنند. یا این که در بسیاری از موارد، چشمه یا چاه مورد بررسی تنها خروجی آب زیرزمینی سفره آب زیرزمینی نیست. ممکن است خروجی‌های دیگری هم باشند که تعدادی از آن‌ها قابل دسترسی‌اند (مانند سایر چشمه‌ها) و برخی دیگر هم مخفی‌اند (مانند تخلیه مستقیم به جریان سطحی، رخنه، تالاب، دریاچه و دریا).

- 1- Water Balance
- 2- Regionalization

## ۳-۳-۳-۳- ردیاب‌های طبیعی

ردیاب‌های طبیعی و مصنوعی می‌تواند به ترسیم عرصه تغذیه چشمه یا چاه کمک کند. ردیاب‌های طبیعی عبارت است از دمای آب، شیمی آب<sup>۱</sup>، ایزوتوپ‌های پایدار<sup>۲</sup> و سایر پارامترها.

دمای آب چشمه یا چاه و تغییرات آن به راحتی، حتی به صورت مستمر، قابل اندازه‌گیری است و اطلاعات بسیار زیادی به همراه دارد. برای نمونه، دمای بالا و مستمر نشان دهنده جریان آب گرم از اعماق بسیار زیاد است. دمای کم، بیانگر جریان سریع برف یا یخچال طبیعی<sup>۳</sup> ذوب شده از ترازهای بالاتر است و آب چشمه‌ای که دمای آن متناوباً در حال تغییر است معمولاً نشانگر تغذیه از آب‌های سطحی است [۵].

ایزوتوپ‌های پایدار ملوکول آب ( $D$  و  $^{18}O$ ) معمولاً برای تعیین میانگین تراز سطح تغذیه، به‌ویژه در مناطق کوهستانی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین ایزوتوپ‌های پایدار به شناسایی منشأ آب، مثلاً منشأ بارندگی، ذوب برف، ذوب یخچال طبیعی یا نفوذ آب سطحی می‌توانند کمک کنند.

ترکیبات هیدروشیمیایی<sup>۴</sup> آب اطلاعاتی از سفره آب زیرزمینی، تغذیه چشمه و کانون‌های آلودگی در اختیار می‌گذارد. برای نمونه، آبی که از نگاه شیمی آب، بیکربنات کلسیم<sup>۵</sup> بر آن غالب باشد بیانگر آن است که سفره آب زیرزمینی، آهکی است. مقدار زیاد منیزیم<sup>۶</sup> بر وجود سنگ‌های دولومیتی<sup>۷</sup> در عرصه تغذیه سفره آب زیرزمینی دلالت دارد. سولفات از لایه‌های گچی<sup>۸</sup> یا انیدریت<sup>۹</sup> و یا از اکسایش کانی‌های سولفید نشأت می‌گیرد. هوازگی گرانیات و سایر سنگ‌های سیلیکاتی<sup>۱۰</sup> معمولاً موجب تولید پتاسیم<sup>۱۱</sup> یا سایر کاتیون‌ها می‌شود.

با این حال باید توجه داشت که ردیاب‌های طبیعی به ندرت مدارکی بدون تردید هستند. برای نمونه با افزایش زمان انتقال، پتاسیم تمایل می‌یابد که به سدیم تغییر یابد. یا این که وجود سدیم می‌تواند به دلیل انحلال سنگ نمک<sup>۱۲</sup>، پلاژیوکلاز (آلبیت)<sup>۱۳</sup> در حال هوازگی، تبادل کاتیون، نفوذ آب دریا یا نمک جاده باشد. از این‌رو نشانه‌های به دست آمده از ردیاب‌های طبیعی همواره باید با سایر انواع اطلاعات ترکیب شوند.

- 
- 1- Water Chemistry
  - 2- Stable Isotopes
  - 3- Glacier
  - 4- Hydrochemical
  - 5- Calcium-Bicarbonate
  - 6- Magnesium
  - 7- Dolomite Rocks
  - 8- Gypsum Layers
  - 9- Anhydrite Layers
  - 10- Silicate Rocks
  - 11- Potassium
  - 12- Rock Salt
  - 13- Plagioclase (Albite)

## ۳-۳-۳-۴- ردیاب‌های مصنوعی

ردیاب‌های مصنوعی روش قابل اعتمادی برای مطالعه و ترسیم عرصه تغذیه چشمه یا چاه است. آزمون‌های ردیابی معمولاً در سیستم‌های آب زیرزمینی کارستی استفاده می‌شود، اما در سایر محیط‌های هیدرولوژیکی نیز قابل استفاده است. رنگ‌های فلورسنت<sup>۱</sup> مانند اورانین<sup>۲</sup>، که تحت عنوان سدیم فلورسئین<sup>۳</sup> یا به اختصار فلورسئین<sup>۴</sup>، در بسیاری از موارد از مطلوب‌ترین ردیاب‌های آب زیرزمینی است. مثبت تشخیص دادن ردیابی در یک چشمه شاهد محکمی بر اثبات وجود ارتباط هیدرولیکی بین محل تزریق<sup>۵</sup> ردیاب و چشمه (یا چاه) است.

آزمایش‌های کمی ردیاب‌ها، سری داده‌های غلظت - زمان - تغذیه که به «منحنی‌های رسوخ»<sup>۶</sup> مشهور است را با جزئیات بیان و دید بهتری از جریان آب زیرزمینی به سمت چشمه ارائه می‌کنند. «بازیابی ردیاب»<sup>۷</sup>، که مقدار مطلق یا نسبی ردیاب رسیده به چشمه را نشان می‌دهد، اطلاعات مفیدی می‌دهد، لکن معمولاً به طور کامل عملی نیست. بازیابی کمتر از ۱۰۰٪ علل زیادی دارد و معمولاً به خاطر نقص تزریق یا هدر رفت ردیاب به علت جذب یا تجزیه رخ می‌دهد. به هر حال هنگامی که از ردیاب پایستار (مانند اورانین که در بیش‌تر محیط‌های هیدروژئولوژیکی رفتار پایستار دارد) و شرایط آزمایش (مانند تزریق مستقیم ردیاب به آب زیرزمینی) مطلوب است، بازیابی ردیاب، به همراه داده‌های تغذیه این امکان را فراهم می‌آورد که کمی کردن نرخ جریان آب زیرزمینی به سمت نقطه تخلیه ممکن شود. این راهکار با یک مثال نظری بهتر توضیح داده می‌شود.

شکل (۳-۴) یک سیستم کارستی ساده دارای یک نقب مکنده با نرخ جریان ۵ لیتر بر ثانیه و یک چشمه کارستی با جریان تخلیه ۱۰۰ لیتر بر ثانیه را نشان می‌دهد. ردیاب پایستار به داخل نقب مکنده تزریق شده و در چشمه یک شده است. در این آزمایش، ۱۷٪ ردیاب بازیابی شده است. این داده‌ها که به آسانی تهیه می‌شوند به همراه یک مدل مفهومی از شبکه مجاری، کمی کردن جریان آب زیرزمینی در یک سیستم را توسط بیلان آب و ردیاب ممکن می‌سازد (معادلات و جواب‌های شکل ۳-۴).

توجه به این موضوع می‌تواند منجر به بهبود قابل ملاحظه‌ای در مفهوم بیلان آب منطقه می‌شود. در این مثال مشخص، گذر حجمی (بده) کل سیستم ( $Q_1$ ) برابر بزرگ‌تر از بده مشاهده شده چشمه است. این مطلب می‌رساند که، عرصه تغذیه باید ۵/۸۸ برابر بزرگ‌تر از آنچه از معادلات بیلان آب به دست آمده است باشد (بیلان آب در فصل اخیر تشریح شده است).

1- Fluorescent Dyes

2- Uranine

3- Sodium Fluorescein

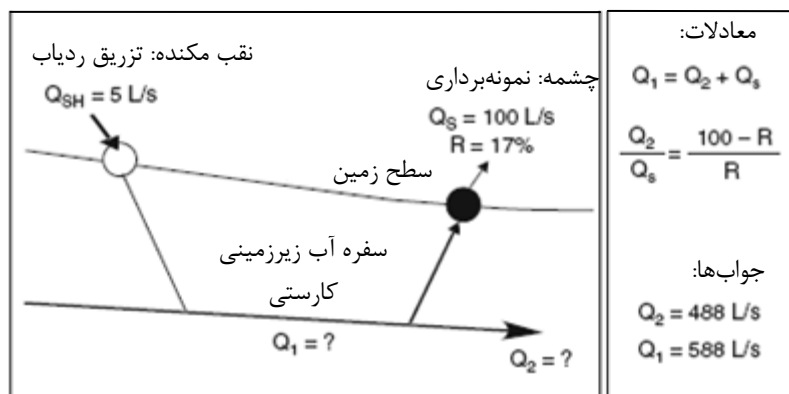
4- Fluorescein

5- Injection Site

6- Tracer Breakthrough Curves

7- Tracer Recovery





شکل ۳-۴- محاسبه نرخ جریان زیرزمینی توسط بازیابی ردیاب و اندازه گیری در یک سیستم سفره آب زیرزمینی ساده: Q، گذر حجمی (دبی) و R، بازیابی ردیاب. تشریح بیش تر در متن انجام شده است.

### ۳-۳-۳-۵- بررسی خاک، عوارض طبیعی و ساختار زمین شناختی محدوده مطالعاتی

#### ۳-۳-۳-۳-۱- خاک و عوارض طبیعی

ویژگی انواع خاک ها و توزیع مکانی آن ها و نیز عوارض طبیعی زمین مهم ترین موضوعاتی هستند که در مطالعات ژئوهیدرولوژیکی بررسی می شوند. آبخوان های آزاد معمولاً در مناطقی که ساختار غیرمحبوس<sup>۱</sup> دارند جریان داشته و سطح ایستابی ممکن است فاصله نسبتاً کمی با سطح زمین داشته باشد. در این مناطق، جریان آب زیرزمینی معمولاً هم جهت با شیب سطح زمین است. عرصه تغذیه معمولاً در مناطق بالادست قرار دارد و در آنجا، مرز زیرین آبخوان و مرز سطحی جریان سطحی تطابق محسوسی دارند.

دشت ها و سیلاب دشت هایی که در آن ها رودخانه دائمی جریان دارد می توانند عرصه تغذیه منبع آب بسته بندی باشند. در واقع هنگامی که رودخانه های بزرگ وارد دشت می شوند به یک منبع قابل توجه تغذیه آب زیرزمینی تبدیل می شوند.

در مناطقی که تاحدودی مرتفع هستند مانند مراتع، نوع خاک و توپوگرافی عوامل موثری بر میزان نفوذ آب باران و تغذیه آبخوان و رودخانه می باشند. هر چه نفوذپذیری و تراوایی خاک بیش تر و شیب منطقه کم تر باشد، سهم آبخوان از تغذیه بیش تر می شود. در مقابل، با کاهش نفوذپذیری و تراوایی خاک و شیبدار شدن منطقه، بیش تر باران به رواناب تبدیل شده و از منطقه دور می شود. در حوضه ها و دشت های بزرگ که دارای توپوگرافی مسطحی اند، علاوه بر شاخص نوع خاک، کاربری زمین نیز شاخص مهمی در تغذیه آب زیرزمینی است.

### ۳-۳-۳-۲- بررسی فرسایش پذیری خاک

فرسایش خاک محدوده مطالعاتی از دو نظر بررسی می‌شود:

#### - مسدود شدن مجاری برداشت آب

فرسایش خاک در زمان جاری شدن رواناب و یا سیل ممکن است مجاری برداشت آب از منابع آب بسته‌بندی را مسدود کرده و کاربری منابع آب بسته‌بندی را مختل کند. از این‌رو، لازم است تمهیداتی برای ممانعت از ورود ذرات خاک فرسایش یافته به داخل منبع آب بسته‌بندی در نظر گرفت. معمولاً این تمهیدات از نظر مهندسی پیچیده نیستند. برای نمونه می‌توان از بهترین راهکارهای مدیریتی<sup>۱</sup> (BMP) مدیریت رواناب، ساخت مظهر مناسب و مدیریت و نگهداری از چاه و گمانه استفاده کرد.

#### - انتقال آلودگی توسط ذرات خاک آلوده

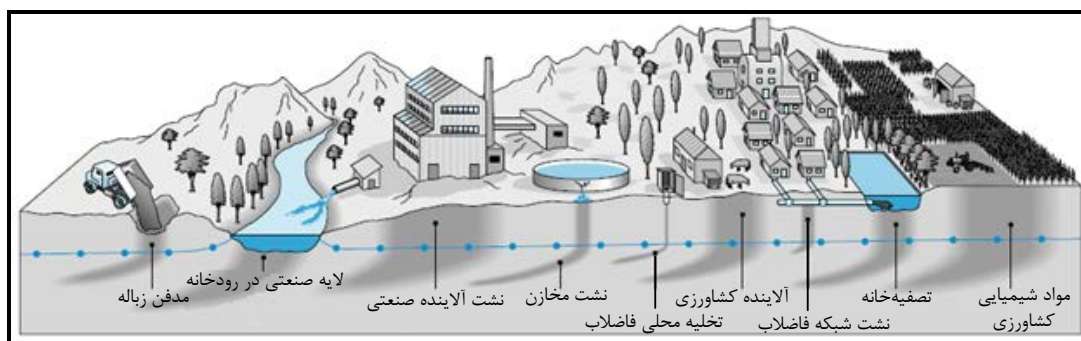
برخی آلاینده‌ها به ذرات خاک می‌چسبند و با ورود به منابع آبی (عمدتاً آب‌های سطحی) می‌توانند آن را آلوده کنند. بارش‌های اسیدی یکی از عوامل فرسایش خاک است که در مناطق صنعتی، شهرهای بزرگ و مناطق ساحلی بیش‌تر مشاهده می‌شود. بارش‌های اسیدی قابلیت فرسایش بالایی دارند و می‌توانند منابع آب بسته‌بندی را تحت تاثیر قرار دهند. فرسایش پذیری خاک در محدوده مطالعاتی به خصوصیات بارش، رواناب، توپوگرافی، جنس خاک و کاربری زمین و پوشش گیاهی منطقه بستگی دارد. برای جلوگیری از فرسایش، از اقدامات مهندسی که در اصطلاح به آن «بهترین راهکارهای مدیریتی» می‌گویند، استفاده می‌شود. برای آشنایی بیش‌تر می‌توان به فصل ۷ این راهنما مراجعه کرد.

### ۳-۳-۳-۳- ویژگی‌های زمین‌شناختی

ویژگی‌های زمین‌شناختی منطقه شامل تخلخل (اولیه و ثانویه)، ضریب ذخیره و تراوایی (هدایت هیدرولیکی) بر جریان آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارند. علاوه بر این ویژگی‌ها، ارتباط لایه‌های مختلف که ویژگی‌های متفاوتی در توانایی انتقال جریان آب زیرزمین دارند در مطالعات چینه‌شناسی بررسی می‌شوند. در این مطالعات، ویژگی‌هایی همچون ضخامت، عمق، زاویه انحنای شیب بر خورد چینه‌ها تعیین می‌شود. در مناطقی که جنس زمین متراکم و سنگ شکسته است، ساختارهای طبیعی مانند شکستگی و ترک چینه‌ها (که از سال‌های دور و یا طی تغییرات تکتونیکی جدید به‌وجود آمده است) می‌توانند جهت جریان آب زیرزمینی را تغییر داده و آن را به سمت سطح زمین هدایت کنند. شکست چینه‌ها می‌تواند باعث افزایش انتقال‌پذیری و یا تشکیل مانع شود. این موضوع در پیوست ۱ راهنما تشریح شده است.

### ۳-۳-۴- بررسی کاربری اراضی در محدوده مطالعاتی

کاربری‌های مختلفی مانند کاربری‌های کشاورزی، مدفن‌های زباله، نشی مخازن و مجاری انتقال مشتقات نفتی، خطوط لوله فاضلاب، فاضلاب تصفیه نشده، فعالیت‌های صنعتی و نیز حوادث غیرمترقبه مانند واژگونی مخازن و تانکرهای مواد نفتی می‌تواند کیفیت منابع آب بسته‌بندی را تحت تاثیر قرار دهد [۵]



شکل ۳-۵- فرایندهای متداول آلوده‌کننده منابع زیرزمینی

کاربری‌های مهمی که در بررسی حریم کیفی منابع آب چاه و چشمه باید مورد توجه قرار گیرند به سه دسته شهری و روستایی، کشاورزی، طبیعی (شامل مرتع، جنگل و پهنه‌های آب) و صنعتی و در برخی شرایط نظامی طبقه‌بندی می‌شوند [۵]. فعالیت‌ها و تهدیداتی که از هر یک از این نوع کاربری‌ها متوجه منبع آب بسته‌بندی می‌شود باید شناسایی شود. از آن‌جاکه معمولاً آلاینده‌ها از طریق جریان آب زیرزمینی وارد منبع آبی آب بسته‌بندی می‌شود، کاربری‌هایی که در مسیر جریان آب زیرزمینی (بالادست منبع آب) قرار دارند از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. نوع آلاینده‌های متداول و یا ویژه‌ای که از هر یک از این کاربری‌ها نشأت می‌گیرند، باید شناسایی و مشخصات آن‌ها مانند زمان انتقال و مسیر انتقال آن‌ها به داخل منبع آب بسته‌بندی تعیین گردد. هدف از طبقه‌بندی کاربری اراضی، برآورد اطلاعات کافی از نوع آلاینده‌های محتمل و میزان آن است تا اطلاعات لازم برای برآورد خطر آلودگی منبع آب بسته‌بندی مهیا شود. این موضوع در فصل بعد کامل بحث می‌شود.

در برخی شرایط ممکن است منبع آب بسته‌بندی به طور طبیعی نیاز آبی ساکنان منطقه پایین‌دست، جریان زیست محیطی رودخانه و یا تالابی را تامین نماید. از این‌رو لازم است مصارف آب در کاربری‌های موجود نیز شناسایی و طبقه‌بندی شوند.



## فصل ۴

---

---

**کانون‌های آلودگی، عوامل آلاینده و  
ارزیابی آسیب‌پذیری منبع آب  
بسته‌بندی**



## ۴-۱- کلیات

هدف از تعیین کانون‌های آلودگی منابع آب بسته‌بندی، تعیین منابع آلاینده و فعالیت‌های تهدید کننده بالقوه حال و آینده (حتی در گذشته) منابع آب بسته‌بندی است. فعالیت‌های تهدید کننده شامل هرگونه فعالیت جدید و هرگونه تغییر در کاربری اراضی در محدوده مطالعاتی منبع آب بسته‌بندی است. شناسایی منابع آلاینده از مهم‌ترین اقداماتی است که در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب بسته‌بندی باید صورت گیرد؛ چرا که با مشخص شدن منابع آلوده‌کننده و نوع آلاینده‌ها و ارزیابی آسیب‌پذیری منبع آب بسته‌بندی، راهکارهای حذف یا کنترل آن‌ها ممکن می‌شود. این اقدام باید در مراحل اولیه برنامه‌ریزی حفاظت کیفی منبع آب بسته‌بندی به عمل آید و تمام منابع آلاینده چه آن‌هایی که ممکن است از جهت قانونی بلامانع باشند و چه آن‌هایی که به صورت غیرقانونی یا بررسی نشده در منطقه وجود داشته باشند شناسایی شوند. در این فصل ضمن توجه به کانون‌های آلودگی محتمل، عوامل آلاینده، نحوه شناسایی و تهیه لیست و همچنین به هنگام‌سازی آن و بالاخره روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری منبع آب بسته‌بندی تشریح شده است.

## ۴-۲- کانون‌های آلودگی منابع آب بسته‌بندی

کانون‌های آلودگی را می‌توان از جنبه‌های گسترده‌ی مکانی (سطحی، خطی و یا نقطه‌ای)، مشخصات زمانی (دائمی، دوره‌ای، متناوب و حتی فقط یکبار) و کاربری منبع آلودگی (کشاورزی، صنعتی، شهری و روستایی، طبیعی و نظامی) و براساس نوع و مقدار پارامتر آلاینده طبقه‌بندی کرد. در این بخش، طبقه‌بندی کانون‌های آلاینده که توسط USEPA ارائه شده است بیان می‌شود [۳۰].

- کانون‌های آلودگی که کاربری تخلیه موادزاید را دارند، مانند چاه و مخازن فاضلاب<sup>۱</sup>، انواع مختلف چاه‌های تزریقی و کاربری‌هایی که از لجن تصفیه‌خانه به عنوان مواد تقویتی خاک استفاده می‌کنند
- کانون‌هایی آلودگی که کاربری ذخیره، تصفیه یا انباشت مواد دارند، مانند انواع مدفن‌ها، دپو مواد زاید، مواد زاید معدنی، انبار قراضه‌ها، قبرستان‌ها، مدفن حیوانات و مخازن رو زمینی و زیرزمینی
- کانون‌های آلودگی که کاربری انتقال مواد مانند خطوط انتقال نفت، گاز و فاضلاب دارند. در این طبقه می‌توان به محل گذر کامیون‌ها یا قطارهای حاوی مواد سمی نیز اشاره کرد.
- کانون‌های آلودگی که انتشار آلودگی از عواقب جانبی فعالیت است. این نوع کانون‌ها شامل فعالیت‌های مختلف کشاورزی مانند سم‌پاشی، کودپاشی، فعالیت‌های دامداری و نیز اقدامات راهداری مانند نمک‌پاشی است.
- کانون‌هایی که موجب تشکیل مجاری برای انتقال آلودگی به سفره‌های زیرزمینی می‌شوند، مانند انواع چاه‌ها (مانند چاه مشاهده‌ای و چاه برداشت آب)، گودبرداری و اقدامات اکتشافی

– کانون‌های آلودگی طبیعی که آلودگی آن‌ها و انتقال آلودگی به منابع آب بسته‌بندی توسط فعالیت‌های انسانی به‌وجود می‌آید و یا تقویت می‌شود، مانند اندرکنش بین آب سطحی (رودخانه، دریاچه، ...) و سفره آب زیرزمینی [۵ و ۳۰].

کانون‌های انتقال آلودگی در شش گروه مختلف در جدول ۴-۱) طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۴-۱- تقسیم‌بندی کانون‌های آلودگی [۳۰]

<ul style="list-style-type: none"> <li>- نشستی زیرزمینی (چاه‌های دفع فاضلاب)</li> <li>- چاه‌های جذبی</li> <li>• مواد زاید خطرناک<sup>۱</sup></li> <li>• مواد زاید غیرخطرناک</li> <li>• مواد غیرزاید (مانند تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، اقدامات مرتبط با معدن، ...)</li> <li>- کاربری اراضی و فعالیت‌ها</li> <li>• استفاده از فاضلاب (برای مثال استفاده در آبیاری)</li> <li>• استفاده از مواد تولید شده در تصفیه‌خانه (مانند لجن)</li> <li>• مواد زاید خطرناک</li> <li>• مواد زاید غیرخطرناک</li> </ul>	<p>کانون‌های آلودگی که کاربری تخلیه مواد دارند (تغذیه غیر برنامه‌ریزی شده آب زیرزمینی)</p>	<p><b>گروه اول</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- مدفن‌ها</li> <li>• زباله‌های (مواد زاید) خطرناک صنعتی</li> <li>• زباله‌های (مواد زاید) غیرخطرناک</li> <li>• زباله‌های شهری (روستایی)</li> <li>- دپوی مواد</li> <li>• زباله و قراضه‌های صنعتی</li> <li>• زباله، مواد زاید جامد و قراضه‌های شهری و روستایی</li> <li>- انبار در فضای رو باز</li> <li>• مواد خطرناک</li> <li>• مواد غیرخطرناک</li> <li>- انبار مواد لازم (غیر زباله)</li> <li>- قبرستان</li> <li>- مدفن حیوانات</li> <li>- مخازن رو زمینی</li> <li>• مواد زاید خطرناک</li> <li>• مواد زاید غیرخطرناک</li> <li>• مواد غیرزاید</li> <li>- مخازن زیرزمینی</li> <li>• مواد زاید خطرناک</li> <li>• مواد زاید غیرخطرناک</li> <li>• مواد غیرزاید</li> <li>- کانتینرها</li> <li>• مواد زاید خطرناک</li> <li>• مواد زاید غیرخطرناک</li> <li>• مواد غیرزاید</li> <li>- سایت (محل) سوزاندن مواد زاید</li> <li>- سایت انفجار</li> <li>- محل نگهداری با دفع مواد رادیو اکتیو</li> </ul>	<p>کانون‌هایی آلودگی که کاربری ذخیره، تصفیه یا انباشت مواد دارند</p>	<p><b>گروه دوم</b></p>



ادامه جدول ۲-۴- تقسیم بندی کانون‌های آلودگی [۳۰]

گروه سوم	کانون‌های آلودگی که کاربری انتقال مواد را دارند	<ul style="list-style-type: none"> <li>- خطوط لوله</li> <li>• مواد زاید خطرناک</li> <li>• مواد زاید غیر خطرناک</li> <li>• مواد غیرزاید</li> <li>- انتقال و استفاده از مواد و مصالح</li> <li>• مواد زاید خطرناک</li> <li>• مواد زاید غیر خطرناک</li> <li>• مواد غیرزاید</li> </ul>
گروه چهارم	کانون‌های آلودگی که انتشار آلودگی به دلیل عواقب جانبی فعالیت رخ می‌دهد	<ul style="list-style-type: none"> <li>- آبیاری (استفاده از پساب)</li> <li>- استفاده از کود</li> <li>- استفاده از سموم و آفت‌کش‌ها</li> <li>- دامداری</li> <li>- عملیات یخ زدایی</li> <li>- رواناب شهری</li> <li>- ورود و نشت آلودگی‌های هوا (بارش)</li> <li>- اقدامات زیرزمینی یا رو زمینی معدن</li> </ul>
گروه پنجم	کانون‌هایی که موجب تشکیل مجاری برای انتقال آلودگی به سفره‌های زیرزمینی می‌شوند	<ul style="list-style-type: none"> <li>- چاه‌های بهره‌برداری</li> <li>• چاه‌های نفت و گاز</li> <li>• چاه‌های ژئوترمال<sup>۱</sup> و حرارتی</li> <li>- سایر چاه‌ها (غیر مواد زاید)</li> <li>• چاه‌های مشاهده‌ای</li> <li>• چاه‌های اکتشافی</li> <li>- ساخت و ساز و گود برداری</li> <li>- چاه‌های نامناسب و رها شده</li> </ul>
گروه ششم	کانون‌های آلودگی طبیعی که انتقال یا تولید آلودگی در آن‌ها توسط فعالیت‌های انسانی به وجود می‌آید و یا قوت می‌یابد.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- اندرکنش آب زیرزمینی و آب سطحی</li> <li>- نشت و نفوذ طبیعی</li> <li>- نفوذ طبیعی آب شور و آب‌های آلوده</li> </ul>

در ادامه کانون‌های آلودگی تجاری، صنعتی، شهری و روستایی، کشاورزی در جدول ۲-۴) تشریح شده است.

جدول ۲-۴- مشروح کانون‌های آلودگی محتمل [۳۰]

تجاری	صنعتی	شهری و روستایی
فرودگاه	کارگاه تولید آسفالت	تاسیسات ذخیره سوخت
تعمیرگاه خودرو	کارخانه تولید، نگهداری و پخش مواد شیمیایی	کارگاه روغن و صافکاری چوب
محل‌های قایقرانی	کارخانه تولید ابزار الکتریکی و الکترونیکی	مواد پرخطر خانگی
سایت‌های ساختمانی و عمرانی	کارخانه صنایع فلزی و ماشین کاری و فلزکاری	کاربرد مواد شیمیایی (آفت کش، علف کش و ...)
کارواش	کارخانه تولید مواد شوینده	سیستم دفع فاضلاب (چاه جذبی، تانک سپتیک، ...)
قبرستان	معدن (زمینی و زیرزمینی)	شبکه فاضلاب
کارگاه شست و شو (فرش، لباس، ...)	کارخانه تولید، نگهداری و پخش مواد پتروشیمی	استخر شنا (کلر زنی و ...)
موسسه تحقیقاتی (آزمایشگاه ها، ...)	خطوط لوله (گاز، نفت و ...)	
مخزن ذخیره مواد پتروشیمی	چالاب‌های صنعتی	
کارگاه صنعتی (قطعه سازی، ...)	مخازن ذخیره (بالا و زیرزمین)	
موسسات دارویی	محل استفاده از مواد سمی و کشنده	
کارگاه نقاشی	چاه (نفت، گاز، تزریقی، پایشی یا اکتشافی)	

ادامه جدول ۲-۴- مشروح کانون‌های آلودگی محتمل [۳۰]

تجاری	صنعتی	شهری و روستایی
ایستگاه راه آهن (تعمیرگاه دیزل) محل دپوی تجهیزات راهداری محل دپوی قراضه مخزن و لوله‌های انتقال (بالا و زیرزمین)	کارخانه صنایع چوب و کاغذ	
کشاورزی	مدیریت زباله	
محل دفن (ضایعات) دام و طیور انبار خوراک دامی و طیور کاربردموادشیمیایی سمی (آفت‌کش، علف‌کش و...) مخازن نگهداری مواد شیمیایی آبیاری اراضی کشاورزی کودپاشی	محل آموزش آتش نشانی / کار با آتش مدفن زباله‌های خطرناک زباله سوز مدفن زباله‌های شهری و روستایی تصفیه خانه و شبکه فاضلاب محل بازیافت یا تصفیه فاضلاب زهکشی و اقدامات مدیریت رواناب	

منبع: آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (EPA)، ۱۹۸۹

## ۳-۴- عوامل آلاینده منابع آب بسته‌بندی

عوامل آلاینده به دلیل چند ویژگی، ممکن است کیفیت منبع آبی آب بسته‌بندی را تهدید کنند. برخی از آلاینده‌ها به دلیل ویژگی ذاتی سمی بودن یا توانایی زیاد حرکت و انتقال، منبع آبی را تهدید می‌کنند. برخی به دلیل ویژگی‌های فیزیکی مانند غلظت و حجم زیاد، نزدیکی و مجاورت به منبع آبی، مکانیزم بهره‌برداری از منبع آلاینده، نگهداری و ذخیره‌سازی آلاینده، طراحی و سن تجهیزات و آسیب‌پذیری هیدروژئولوژیکی منطقه، ممکن است تهدیدی برای منبع آبی باشند. لذا در مرحله شناسایی و تعیین کانون آلودگی، علت و چگونگی تهدید نیز باید بررسی و تعیین شود.

عوامل آلاینده منابع آب بسته‌بندی از نظر نوع مشکل آلودگی، علت به‌وجود آمدن مشکل و نوع آلاینده، طبق جدول ۳-۴ (تقسیم‌بندی می‌شوند).

جدول ۳-۴- نوع مشکل آلودگی، علت به‌وجود آمدن مشکل و نوع آلاینده [۵]

نوع مشکل	علت به‌وجود آمدن مشکل	نوع آلاینده
آلودگی سفره آب زیرزمینی	عدم حفاظت کیفی کافی و کارآمد سفره آب زیرزمینی در مقابل تغذیه‌های غیرطبیعی به‌وجود آمده توسط شهرها، صنعت و کشاورزی	پاتوژن‌ها، نیترات یا آمونیوم، کلراید، سولفات، بور، فلزات سنگین، ترکیبات آلی محلول، هیدروکربن‌های هالوژنه، دارو و بو دار و آفت‌کش‌ها
آلودگی سرچشمه <sup>۱</sup> (چاه، چشمه)	عدم رعایت حریم بهداشتی مظهر	پاتوژن
نفوذ شوری	ورود جریان آب زیرزمینی شور یا آلوده به آب زیرزمینی پاک به دلیل برداشت بیش از حد آب	کلراید سدیم، اما آلودگی‌های تولید شده توسط اقدامات انسانی هم می‌تواند باشد
آلودگی به دلیل تغییرات طبیعی	تغییر شیمیایی آب زیرزمینی و حل شدن مواد معدنی که معمولاً فعالیت انسانی و برداشت بی‌رویه بر شدت آن	آهن و فلوراید حل شده، در برخی مواقع سولفات منیزیم، آرسنیک، منگنز، سلیسیم و سایر مواد غیرآلی

آلاینده‌ها را می‌توان به گروه‌های ترکیبات شیمیایی غیرآلی<sup>۱</sup>، ترکیبات شیمیایی آلی<sup>۲</sup> و پاتوژن‌های میکروبی<sup>۳</sup> تقسیم کرد. غلظت دراز مدت زیاد برخی از آلاینده‌ها در آب آشامیدنی مانند نیترات ( $\text{NO}_3$ )، به آن برای سلامتی انسان مضر است. نیترات متداول‌ترین آلاینده آب زیرزمینی در مناطق کشاورزی است. سایر آلاینده‌ها حتی به میزان کم هم خطرناک‌اند. برای نمونه، ویروس Norwalk در آب آشامیدنی می‌تواند باعث عفونت شدید شود. کروم شش ظرفیتی<sup>۴</sup> و بنزن<sup>۵</sup> به ترتیب، نمونه‌هایی از آلاینده‌های غیرآلی و آلی به‌شدت سمی‌اند.

#### ۴-۴- آلاینده‌های غیرآلی

آلاینده‌های غیرآلی شامل فلزات سمی و انواع مختلف مواد مغذی و نمک‌هایی است که معمولاً به شکل آنیون‌ها یا کاتیون‌های محلول دیده می‌شوند. برخی از آلاینده‌های غیرآلی عمر نامحدودی دارند. برای نمونه کادمیوم<sup>۶</sup>، همیشه کادمیوم می‌ماند. ممکن است به دلیل جذب سطحی یا فرایندهای دیگر کم شود، اما هیچ فرایند طبیعی واقعاً جرم کل کادمیوم را کاهش نمی‌دهد. ترکیبات دیگر مانند نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) یا آمونیاک ( $\text{NH}_4^+$ ) می‌تواند به ترکیبات دیگری مانند گاز  $\text{N}_2$  یا  $\text{N}_2\text{O}$  تبدیل (تجزیه<sup>۷</sup>) شود.

فلزات سمی مانند سرب ( $\text{Pb}$ )، اساساً از آلاینده‌های مشکل‌آفرین در خاک، آب سطحی و ذرات معلق هوا در محیط‌های شهری است. فلزات سمی به طور طبیعی در مناطق معدنی وجود دارند و فعالیت‌های معدن‌کاری انتشار آن‌ها در طبیعت را تقویت می‌کنند. لکن به دلیل محدودیت تحرک، کم‌تر در آب زیرزمینی مشاهده می‌شوند. این گروه از آلاینده‌ها معمولاً کاتیون‌هایی (مثلاً  $\text{Pb}^{+2}$ ) را که مستعد جذب سطحی هستند را تشکیل می‌دهند و یا به صورت اکسیدها، سولفیدها و یا سایر مواد معدنی محلول ضعیف رسوب می‌کنند. در هنگام وقوع جریان‌های شدید می‌توانند جا به جا شوند و وارد چشمه‌های بزرگ شوند. برخی کاتیون‌های فلزی، مخصوصاً کادمیوم ( $\text{Cd}^{+2}$ )، که سمیت زیادی دارند، تحرک بیش‌تری دارند. جیوه به شدت سمی است و برخی باکتری‌های ویژه می‌توانند آن را به متیل جیوه<sup>۸</sup>،  $\text{HgCH}^{+3}$  یا دی‌متیل جیوه،  $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$  فرار که تحرک زیادی دارد تبدیل کنند [۵].

آرسنیک ( $\text{As}$ ) یک فلز سمی است که در مناطق مختلفی از جهان مانند چین، بنگلادش و بنگال شرقی (هند) منجر به آلودگی بزرگ مقیاس زمین‌پیدایشی<sup>۹</sup> آب زیرزمینی و بیماری‌هایی شده است که ده‌ها یا صدها میلیون انسان را تحت تاثیر قرار داده است. آلودگی طبیعی آرسنیک در حوضه‌های آبریز خشک و نیمه خشک و سفره‌های آب زیرزمینی

- 
- 1- Inorganic Chemical Compounds
  - 2- Organic Chemical Compounds,
  - 3- Microbial Pathogen
  - 4- Hexavalent Chromium
  - 5- Benzene
  - 6- Cadmium
  - 7- Degraded
  - 8- Methyl Mercury
  - 9- Dimethyl Mercury
  - 10- Geogenic

که جریان آب زیرزمینی کندی دارند و معمولاً توسط پمپاژ برداشت می‌شوند، رخ می‌دهد [۵]. از این‌رو چشمه‌های بزرگ معمولاً تحت تاثیر این گونه آلودگی‌ها قرار نمی‌گیرند. به هر حال، در مناطق معدنی آب پر آرسنیک یافت می‌شود. در گذشته از این مواد در حشره‌کش‌ها استفاده می‌شد که ممکن است امروزه نیز در برخی مناطق در حال استفاده باشد. نیترات ( $\text{NO}_3$ )، به‌ویژه در مناطق کشاورزی که از ترکیبات نیتروژن دار به عنوان کود شیمیایی استفاده می‌کنند، آلودگی شایع آب زیرزمینی است. خود نیترات زیاد خطرناک نیست، اما مقدار زیاد آن در بازه زمانی طولانی برای سلامت انسان مضر است. غلظت‌های زیاد نیترات همواره با انواع دیگر آلودگی‌های کشاورزی مانند باکتری‌های مدفوعی یا کودها همراه است، از این‌رو نشانه بدی در خصوص کیفیت آب است. از آن‌جاکه نیترات یک ماده مغذی است، افزایش آلودگی آن بر اکوسیستم تاثیرگذار است. در شرایط اکسایش، نیترات رفتار پایستار<sup>۱</sup> از خود نشان می‌دهد. در شرایط احیا، به طور میکروبیولوژیکی به گاز نیتروژن تبدیل می‌شود (نیترات‌سازی). فاضلاب‌ها حاوی مقدار زیادی آمونیاک ( $\text{NH}_4$ ) هستند که در شرایط اکسایش به نیترات تبدیل می‌شود [۵].

نمک‌های محلول جزو ترکیبات طبیعی آب است، اما افزایش مقدار آن‌ها به دلیل فعالیت‌های انسانی می‌تواند آب را غیرقابل استفاده کند. استفاده از نمک در نگهداری جاده‌ها می‌تواند به‌طور محلی بر خاک و گیاهان اثر بگذارد، اما به ندرت موجب آلودگی بزرگ مقیاس آب زیرزمینی می‌شود. معدن نمک منبع آلودگی دیگری است. به هر حال، جدی‌ترین مشکلات توسط کاربری‌های نامناسب کشاورزی و مدیریت بهره‌برداری آب مانند شور شدگی از طریق کشاورزی یا نفوذ آب شور به دلیل برداشت بیش از حد از سفره آب زیرزمینی ساحلی (که معمولاً با اهداف کشاورزی انجام می‌شود)، به‌وجود می‌آید [۵].

#### ۴-۵- آلاینده‌های آلی

ترکیبات آلی آب زیرزمینی را می‌توان به گروه‌های طبیعی و مواد انسانی<sup>۲</sup> تقسیم کرد. گروه دوم شامل محصولات مصنوعی شیمیایی ساخت بشر می‌باشد. نفت با این که منشأ طبیعی دارد، لکن عموماً توسط فعالیت‌های انسانی در محیط‌زیست منتشر می‌شود.

کربن آلی<sup>۳</sup> طبیعی (OC) می‌تواند به صورت محلول یا ذرات ریز باشد که در مجموع به عنوان کربن آلی کل<sup>۴</sup> مطرح می‌شود. کربن آلی زیاد در آب آشامیدنی، به این دلایل نامطلوب است که: (۱) وجود کربن آلی بیانگر وجود احتمالی باکتری‌های مدفوعی و پاتوژن‌هایی است که از منابع مشابه نشأت می‌گیرد، (۲) ترکیبات آلی باعث تحرک فلزات سمی رادیوایزوتوپ (توسط کمپلکس شدن) می‌شوند و (۳) در تصفیه آب، کلر با مواد آلی طبیعی واکنش داده و محصول

1- Conservative Behavior

2- Anthropogenic Substances

3- Organic Carbon

4- Total Organic Carbon

فرعی<sup>۱</sup> سرطان‌زا تولید می‌کند [۵].

عمده نگرانی آلودگی محیط‌زیست از جانب آلاینده‌های آلی مصنوعی است. آن‌ها بر اساس ساختار و ترکیب شیمیایی (مثلا ترکیبات آروماتیکی<sup>۲</sup> یا هیدروکربن‌های هالوژنه<sup>۳</sup>)، بر اساس کاربرد و هدف (مثلا سوخت، حلال یا کود)، بر اساس مشخصات فیزیکی یا شیمیایی (مثلا حلالیت در آب، چگالی در مقایسه با چگالی آب، فراریت یا تجزیه‌پذیری محیط‌زیستی) و یا بر اساس سمیت تقسیم‌بندی می‌شوند. برای اطلاعات بیش‌تر در خصوص آلاینده‌های آلی، خواننده به کتب مرتبط ارجاع داده می‌شود.<sup>۴</sup>

#### ۴-۶- پاتوژن‌های میکروبی

پاتوژن‌های میکروبی در میان کودکان کشورهای در حال توسعه سالانه منجر به چندین میلیارد عفونت و چندین میلیون مرگ می‌شوند [۵]. گرچه در کشورهای توسعه یافته نیز بیماری‌های آب آورده<sup>۵</sup> وجود دارد. پاتوژن‌های آب زیرزمینی شامل باکتری (مانند *Vibrio cholerae*, *Campylobacter Jejuni*, *Shigella* spp., *Salmonella* spp)، پروتوزواها<sup>۶</sup> و کیست‌هایشان (مانند *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica*) و ویروس‌ها (مانند Norwalk virus, Polio, Hepatitis, Rotavirus) می‌شوند.

مهم‌ترین مسیر انتقال، وارد شدن مدفوعی- دهانی<sup>۷</sup> که همان آلودگی آب آشامیدنی با فاضلاب است، می‌باشد. مدفوع انسانی معمولاً بیش از مدفوع حیوانی خطرناک است، چرا که برخی از پاتوژن‌ها، به‌ویژه ویروس‌ها، بسیار میزبان خاص<sup>۸</sup> هستند [۵]. از این‌رو، مدفوع انسان با احتمال بیش‌تری حاوی پاتوژن‌های انسانی هستند. شرایط سلامت عمومی یک جمعیت نیز مهم است، بدین معنی که مدفوع یک جمعیت بیمار پاتوژن‌های بیش‌تری دارد. لذا شرایط ضعیف فاضلاب و حفاظت ناکارآمد آب زیرزمینی معمولاً نقطه شروع دور باطل، یعنی آلودگی آب زیرزمینی موجب بیماری که منجر به تولید پاتوژن‌های بیش‌تر می‌شود و در مقابل آلوده شدن بیش‌تر آب، می‌شود.

پاتوژن‌های آب زیرزمینی معمولاً نابرجا<sup>۹</sup> هستند و از خارج و از طریق مسیرهای مختلف وارد آب زیرزمینی می‌شوند. بیش‌تر پاتوژن‌ها نمی‌توانند در سفره آب زیرزمینی تکثیر یا رشد کنند و برای مدت زمان محدودی باقی می‌مانند. از این‌رو بیش‌تر قوانین حفاظت آب زیرزمینی از معیار زمان انتقال برای ترسیم حریم حفاظتی منبع استفاده می‌کنند. برای نمونه در قوانین آلمان از رعایت فاصله‌ای با زمان انتقال ۵۰ روز، با این فرض که تا آن زمان بیش‌تر پاتوژن‌ها در طی مسیر فیلتر یا

1- By-Product

2- Aromatic Compounds

3- Halogenated Hydrocarbons

4-Bull, R.J., Birnbaum, L.S., Cantor, K.P., Rose, J.B., Butterworth, B.E., Pegram, R., et al., 1995. Water chlorination: Essential process or cancer hazard? Fundam. Appl. Toxicol. 28 (2), 155-166.

5- Waterborne

6- Protozoans

7- Fecal-oral

8- Host Specific

9- Allochthonous

غیرفعال خواهند شد، به عنوان رویکردی که در بیش‌تر موارد کارساز است استفاده می‌شود. به هر حال برخی از پاتوزن‌ها، مشخصاً کیست‌های تک یاخته ای و برخی انواع ویروس‌ها می‌توانند ماندگاری بیش‌تری داشته باشند [۵].

#### ۴-۷- خلاصه‌ای از مشکلات آلودگی آب چشمه‌ها

آلودگی آب چشمه‌ها می‌تواند از منابع مختلفی مانند کاربری‌های کشاورزی، دفع زباله، نشت مخازن ذخیره یا خطوط لوله، انتشار فاضلاب خانگی تصفیه نشده، فعالیت‌های صنعتی و تصادفات حمل و نقلی در عرصه تغذیه چشمه نشات گیرند. شوری به‌وجود آمده از آبیاری نامناسب نیز ممکن است بر کیفیت آب چشمه‌ها اثر بگذارد.

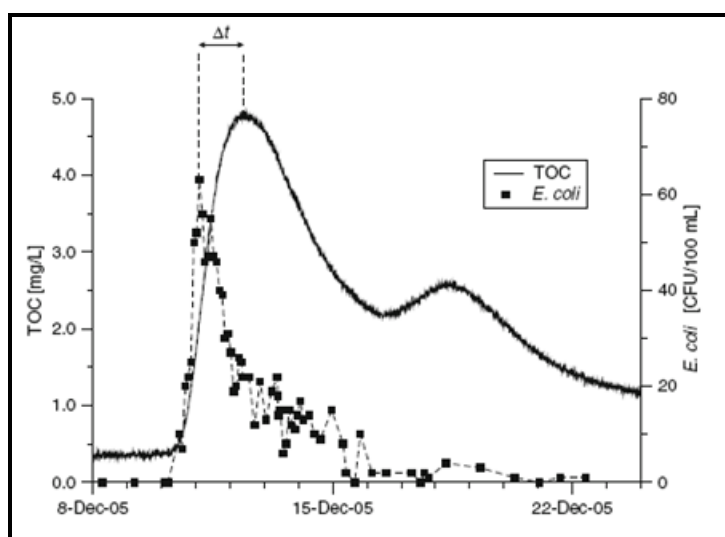
نه تنها سمیت<sup>۱</sup>، بلکه انتقال و ترکیب نهایی (تغییرات شیمیایی) آلاینده<sup>۲</sup> در سفره آب زیرزمینی در ایجاد خطر برای سلامتی انسان بسیار مهم اند. برای نمونه، سرب فلزی سمی و به شدت مشکل‌آفرین در خاک، گیاهان و ذرات معلق هواست، اما به طور کلی به دلیل تحرک محدود، در آب چشمه‌ها جای نگرانی نیست [۵]. در یک روش ساده‌تر، آلاینده‌ها را می‌توان به گروه‌های واکنش‌پذیر<sup>۳</sup> و پایستار<sup>۴</sup> تقسیم کرد. انتقال پایستار آلاینده تنها به مشخصات هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی، به‌ویژه سرعت جریان بستگی دارد. آلاینده‌های واکنش‌پذیر علاوه بر این، متأثر از فرایندهای مختلفی مانند جذب سطحی<sup>۵</sup>، ترسیب<sup>۶</sup>، تغییرات شیمیایی<sup>۷</sup>، تجزیه بیولوژیکی<sup>۸</sup> و برای آلاینده‌های ذره‌ای و ذره - پیوند<sup>۹</sup>، فیلتراسیون<sup>۱۰</sup> و ته‌نشینی<sup>۱۱</sup> نیز هستند.

ماندگاری آلاینده‌ها در آب زیرزمینی، با توجه به زمان انتقال<sup>۱۲</sup> آن به چشمه، مساله کلیدی در ترسیم محدوده حفاظت از منبع است. زمان انتقال آب زیرزمینی می‌تواند در گستره چند ساعت در مجاری کارستی تا هزاران سال یا بیش‌تر در سیستم‌های گردشی<sup>۱۳</sup> عمیق تغییر کند [۵]. فلزات سمی طول عمر نامحدودی دارند، اما می‌توانند با اکسایش و سایر فرایندها به گونه‌های کم‌تر سمی تغییر کنند- مانند تغییر کروم شش ظرفیتی به شدت سمی به کروم سه ظرفیتی<sup>۱۴</sup> با سمیت کم. برخی ترکیبات آلی بر اساس ساختار شیمیایی و شرایط بیوشیمیایی از لحاظ محیط‌زیستی تجزیه‌پذیر است<sup>۱۵</sup> و برخی دیگر مقاوم هستند.

- 
- 1- Toxicity
  - 2- Fate and Transport
  - 3- Reactive
  - 4- Conservative
  - 5- Adsorption
  - 6- Precipitation
  - 7- Chemical Transformation
  - 8- Biodegradation
  - 9- Particulate and Particlebound Contaminants
  - 10- Filtration
  - 11- Sedimentation
  - 12- Transit Time
  - 13- Deep Circulation Systems
  - 14- Trivalent Chromium
  - 15- Biodegradable

ماندگاری پاتوژن‌های میکروبی در آب زیرزمینی می‌تواند از صفر تا تقریباً بی‌نهایت تغییر کند. پاتوژن‌های موجود در آب چشمه‌ها به طور کلی از آلودگی مدفوعی<sup>۱</sup> که معمولاً از فعالیت‌های کشاورزی در عرصه تغذیه یا انتشار فاضلاب تصفیه نشده بهداشتی است، نشأت می‌گیرند. بیش‌تر پاتوژن‌های مدفوعی نمی‌توانند درون سفره آب زیرزمینی رشد کنند یا تکثیر شوند و برای مدت زمان محدودی باقی می‌مانند. از این‌رو، بسیاری از قوانین حفاظت آب زیرزمینی از زمان انتقال، به عنوان معیار کلیدی ترسیم «حریم حفاظت کیفی منبع» استفاده می‌کنند. برای نمونه، در قوانین آلمان از رعایت فاصله‌ای با زمان انتقال ۵۰ روز، با این فرض که بیش‌تر پاتوژن‌ها در طی مسیر فیلتر یا غیرفعال خواهند شد، به عنوان رویکردی که در بیش‌تر موارد کارساز است استفاده می‌شود [۵]. از شاخص‌های باکتریایی مدفوع مانند *E. coli* برای کنترل سلامت بهداشتی آب استفاده می‌شود. به هر حال، برخی از پاتوژن‌ها مانند *Cryptosporidium* cysts بسیار ماندگارتر است، برخی ویروس‌ها حتی در مقابل تصفیه به روش کلرزنی هم مقاوم هستند. از این‌رو، عدم وجود *E. coli*، تضمینی برای امنیت مطلق بهداشتی نیست.

مقدار آلودگی در آب چشمه معمولاً (به‌ویژه پس از بارش‌های شدید) به مقدار زیادی تغییر می‌کند. بنابراین پایش کیفی مستمر آب به همراه تجزیه دقیق نمونه‌های برداشت شده در بازه‌های زمانی مشخص، اهمیت دارد. به هر حال، پاتوژن‌های میکروبی و بسیاری دیگر از آلاینده‌ها به طور مداوم قابل پایش نیستند، به طوری که باید پارامترهای جایگزین به عنوان شاخص آلودگی پایش شوند. برای نمونه، مشخص شده است که افزایش همزمان کل کربن آلی<sup>۲</sup> و کدری<sup>۳</sup> آب چشمه کارستی همبستگی خوبی با سطح *E. coli* دارد (شکل ۴-۱). از این‌رو، پایش مستمر این دو پارامتر می‌تواند به عنوان یک «سیستم هشداردهنده سریع» برای آلودگی میکروبی عمل کند [۵].



شکل ۴-۱- تکامل کل کربن آبی (TOC) و باکتری مدفوعی (*E. coli*, CFU=colony forming units) مشاهده شده پس از بارش شدید در یک چشمه کارستی در سوئد.

- 1- Fecal Contamination
- 2- Organic Carbon
- 3- Turbidity

هر دو شاخص TOC و باکتری از منطقه کشاورزی جریان پوشاننده منطقه کشاورزی نشأت گرفته است که همبستگی بالایی را نشان می‌دهد. TOC بالا شاخصی برای بیان کیفیت پایین آب آشامیدنی است. زمان پیک زود هنگام تر باکتری ( $\Delta t$ ) به دلیل سرعت انتقال زیاد و عملکرد میرایی وابسته به زمان<sup>۱</sup> باکتری توجیه‌پذیر است. هم‌چنین تغییرات زمانی زیادی آلودگی مدفوعی لزوم نمونه‌برداری وابسته به واقعه<sup>۲</sup> و تکنیک‌های پایش مستمر را نشان می‌دهد. برای کسب اطلاعات بیش‌تر در این خصوص می‌توان به کتب و گزارشات آلودگی بهداشتی و شیمیایی آب زیرزمینی مراجعه کرد.<sup>۳</sup>

#### ۴-۸- شناسایی و تهیه فهرست منابع آلودگی

پس از تعیین محدوده مطالعاتی، منابع بالقوه آلودگی منبع آب بسته‌بندی باید شناسایی و فهرست آن‌ها تهیه شود. هدف از تهیه این فهرست، شناسایی کانون‌های آلودگی و فعالیت‌های مرتبط با آن‌هاست که می‌توانند تهدیدی برای کیفیت منبع آب بسته‌بندی باشند.

در جدول (۴-۲) کاربری‌هایی که احتمال آلوده کردن منبع آب بسته‌بندی را دارند معرفی شدند. پتانسیل آلوده شدن منبع آب بسته‌بندی علاوه بر کاربری‌ها، به ویژگی‌های منبع آب مثل عمق چاه یا گمانه، ساختمان چاه و مظهر آن، خصوصیات زمین شناختی و ویژگی‌های سفره آب زیرزمینی نیز بستگی دارد. برای مثال، احتمال تهدید چاهی با ساختمان صحیح از نظر فنی و عمق زیاد در سفره آب زیرزمینی تحت فشار، از منابع آلودگی روی زمین مثل حوضچه‌های فاضلاب بسیار کم است. لکن، چاه مخروبه و رها شده می‌تواند نقش مجرای انتقال آلودگی به سفره آب زیرزمینی را داشته و تهدیدی جدی برای منبع آب بسته‌بندی باشد [۴۲].

در بخش ۴-۲، کانون‌های آلودگی در شش گروه مختلف طبقه‌بندی شدند. با بررسی کاربری‌ها و فعالیت موجود در منطقه می‌توان کانون‌های آلودگی را شناسایی و در طبقه مناسب خود جای داد. ممکن است یک کاربری به طرق مختلفی منبع آب بسته‌بندی را تهدید کند و در طبقه‌بندی مزبور در چند طبقه قرار گیرد.

قالب پیشنهادی تهیه فهرست در جدول (۴-۴) آورده شده است. در این مرحله لازم است اطلاعات زیر تهیه شود.

- تشریح تفصیلی کاربری اراضی در حریم کیفی اولیه (محدوده مطالعاتی)
- نقش‌های که بیانگر موقعیت مکانی منابع آلاینده و کاربری اراضی باشد (مانند پراکندگی و موقعیت اراضی کشاورزی، صنعتی و...)
- جدولی که حاوی اطلاعات تفصیلی از منابع آلاینده شامل موارد زیر باشد:

1- Time-Dependent Die-Off Function

2- Event-Based Sampling

3- Pronk, M., Goldscheider, N., Zopfi, J., 2006. Dynamics and interaction of organic carbon, turbidity and bacteria in a karst aquifer system. Hydrogeology Journal 14 (4), 473-484.



- شماره شناسایی که در نقشه و مدل مفهومی (که پس از تکمیل فهرست تهیه خواهد شد) قابل ارجاع باشد
- نام منبع و مشخصات مکانی
- اطلاعات مشروح منبع آلاینده، شامل تاریخچه مختصر منبع، عمر و چگونگی بهره‌برداری حاوی اطلاعاتی مانند مشخصات زمانی (دائمی، دوره ای یا یکبار در بازه زمانی مثلا شش ماهه)، گستردگی مکانی (سطحی، خطی و یا نقطه‌ای)، تجهیزات کنترلی آلاینده در کاربری
- در صورت امکان، مشخصات پروانه بهره‌برداری و محیط‌زیستی منبع آلاینده مثل کارخانه، کارگاه و یا هر یک از کاربری‌ها
- وضعیت فعالیت کاربری (در حال بهره‌برداری، تعطیل، در دست بازسازی و ...)

جدول ۴-۴- قالب گزارش پیشنهادی برای شناسایی منطقه و منابع آلاینده

شماره شناسایی	نام و موقعیت مکانی کاربری	شرح کاربری	شماره پروانه و شرح بهره‌برداری	نوع آلاینده	وضعیت بهره‌برداری

روش‌های شناسایی کانون‌های آلودگی عبارتند از استفاده از داده‌های موجود، ممیزی و بررسی میدانی.

#### ۴-۸-۱- استفاده از داده‌ها و اطلاعات موجود

ممکن است در یک منطقه داده‌ها و اطلاعات مناسبی از کاربری‌های مختلف در شرکت‌ها و سازمان‌های وابسته به وزارتخانه‌هایی مانند نیرو، جهاد کشاورزی، صنایع و معادن، نفت و یا سازمان‌هایی مانند سازمان حفاظت محیط‌زیست، شهرداری‌ها و بخش‌داری‌ها موجود باشد. برای نمونه ممکن است بتوان داده‌های مناسبی از تعداد و موقعیت مکانی چاه‌های منطقه از وزارت نیرو، جهاد کشاورزی و یا صنایع و معادن به دست آورد. مستندات، نقشه‌ها، بانک‌های اطلاعاتی و عکس‌های منطقه می‌توانند حاوی اطلاعات مناسبی باشند. علاوه بر این می‌توان از طریق انجام مصاحبه با ساکنان و کاربران منطقه اطلاعات مفیدی دست آورد.

نکته قابل توجه این که معمولا داده‌هایی که از این طریق به دست می‌آیند، به فعالیت‌هایی که از جهت قانونی مجاز است محدود می‌شود. نباید فراموش کرد که ممکن است در منطقه کاربری‌های غیرمجاز نیز وجود داشته باشد.

#### ۴-۸-۲- ممیزی

پس از آن که اطلاعات جمع‌آوری و ثبت شدند، لازم است تا نقایص و کاستی‌های اطلاعات شناسایی و برطرف شود. برای کسب اطلاعات بیش‌تر و صحت‌سنجی اطلاعات باید ممیزی لازم در این خصوص انجام شود. این کار با انجام مصاحبه و یا ارسال فرم‌های ویژه به کاربری‌ها میسر است.

#### ۴-۸-۳- بررسی میدانی

تهیه فهرست کانون‌های آلودگی معمولاً شامل بررسی میدانی از بخش یا تمامی منطقه نیز می‌شود. بررسی میدانی به تهیه کننده فهرست این امکان را می‌دهد تا شخصاً از محدوده مطالعه بازدید کرده و اطلاعات را بدون واسطه از صاحبان کاربری‌ها، سازمان‌ها و یا شرکت‌های کسب کند.

#### ۴-۹- ارزیابی آسیب‌پذیری منبع آب بسته‌بندی از کانون‌های آلودگی

پس از تهیه فهرست کانون‌های آلودگی، خطر هر یک از آن‌ها باید تعیین و تشریح شود. به بیان دیگر، آسیب‌پذیری منبع آب بسته‌بندی از کانون‌های آلاینده باید ارزیابی شود. پس از آن، برنامه کنترل آلودگی و مواجهه با این خطرات باید توسط مشاور متقاضی تهیه و ارائه شود. برای ارزیابی و تعیین خطر آلودگی باید به نوع پارامتر آلاینده، مقدار، موقعیت مکانی، روش انتقال و اقداماتی که در خصوص استفاده یا ذخیره‌سازی در کانون آلودگی صورت می‌پذیرد توجه شود.

#### ۴-۹-۱- رویکرد کمی برای برآورد آسیب‌پذیری

هنگامی که در جایی از عرصه تغذیه چشمه آلودگی رخ می‌دهد، برای تامین‌کنندگان و کاربران آب ممکن است این سوالات کلیدی مطرح شود که: (۱) آلودگی برای اولین بار در چه زمانی به چشمه یا چاه خواهد رسید و کی به حداکثر مقدار خود خواهد رسید؟، (۲) غلظت حداکثر آلودگی چه مقدار خواهد بود؟، (۳) تا چه زمانی آلودگی بالای حد بحرانی، مانند محدوده قانونی برای آب آشامیدنی، باقی خواهد ماند؟ و (۴) در حقیقت چه نسبت کمی از آلاینده منتشر شده، به چشمه خواهد رسید؟

از این‌رو، جنبه‌های اصلی برآورد آسیب‌پذیری آب زیرزمینی زمان انتقال، غلظت حداکثر، طول مدت مورد انتظار بقای یک آلودگی و مقدار کمی و نسبی آلاینده است که حقیقتاً می‌تواند به هدف برسد (بخشی از مقدار آلاینده ممکن است هرگز به نقطه هدف نرسد اما در قالب رواناب سطحی یا ورود به چشمه دیگر خارج شود). در میان همه این معیارها، به‌ویژه در موارد آلودگی میکروبی، زمان انتقال احتمالاً مناسب‌ترین است؛ چرا که میرایی وابسته به زمان و غیرفعال شدن مهم‌ترین مکانیزم میرایی پاتوژن‌هاست. بیش‌تر مکانیزم‌های دیگر میرایی، مستقیم یا غیرمستقیم با زمان انتقال در ارتباط است (گذر زمان بیش‌تر عموماً به معنی امکان بروز بیش‌تر فرایندهای تغییر یون، تجزیه، فیلتراسیون و غیره است). هم‌چنین زمان انتقال می‌تواند به معنی زمان بیش‌تر برای واکنش به وقایع آلودگی تصادفی باشد. زمان انتقال و سه معیار دیگر به هم وابسته هستند؛ برای نمونه حداکثر مقدار غلظت به طور سیستماتیک با افزایش زمان انتقال و فاصله جابه‌جایی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، تعیین طول زمان بقای یک آلودگی مشکل است. احتمالاً زمان انتقال و سایر جنبه‌های لیست شده در قبل هرگز به طور دقیق قابل تعیین، برآورد مستقیم یا در نقشه آوردن نیستند. از این‌رو، تهیه نقشه آسیب‌پذیری شامل شناسایی، کمی‌سازی و در نقشه آوردن فاکتورهایی است که زمان انتقال (مهم‌ترین جنبه)، کاهش غلظت، دوام و مقدار

کمی آلاینده‌هایی که می‌توانند به هدف برسند را کنترل می‌کنند. برای نمونه، زمان انتقال به ضخامت و مشخصات هیدرولیکی لایه‌های پوشاننده بستگی دارد، پس این فاکتور باید فاکتور کلیدی برآورد آسیب‌پذیری باشد.

#### ۴-۹-۲- فاکتورهای برآورد آسیب‌پذیری

بر اساس تحقیقات گذشته، متخصصان راهکاری برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی پیشنهاد می‌دهند که به جای چارچوب تجویزی، چارچوب مفهومی انعطاف‌پذیر و عمومی دارد. با این‌که این رویکرد اساساً برای اجرا در مناطق کارستی توسعه داده شده است، می‌تواند با مقداری سازگارسازی، برای انواع دیگر محیط‌های هیدروژئولوژیکی نیز استفاده شود.

در ارتباط با اصول کمی تشریح شده در قبل، این راهکار هدف دارد که مشخصه‌هایی که بر زمان انتقال آلاینده محتمل از مبدا تا هدف تاثیرگذار است را به همراه کاهش غلظت آلاینده و مقدار نسبی آلاینده‌ای که به هدف رسیده است و در برخی موارد خاص، دوام آلاینده را برآورد کند.

رویکرد اروپایی بر پایه مدل مبدا - مسیر - هدف بنیان نهاده شده است. برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری چهار فاکتور در نظر گرفته شده است: لایه‌های پوشاننده (o)، غلظت جریان<sup>۱</sup> (c)، رژیم بارش<sup>۲</sup> (p) و وسعت شبکه کارستی<sup>۳</sup> (k). فاکتورهای o، c و k مشخصات هیدروژئولوژیکی سیستم را بیان می‌کنند و p یک فاکتور خارجی است. برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری منابع (که در آن سطح آب زیرزمینی هدف است) فاکتورهای o، c و p باید در نظر گرفته شوند، درحالی‌که فاکتور k باید در تهیه نقشه آسیب‌پذیری منبع (که در آن چشمه هدف است) مورد توجه واقع شود [۵].

#### ۴-۹-۳- روش‌های ارزیابی منطقه‌ای آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی

آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلاینده‌ها را می‌توان به عنوان کشش یا احتمال رسیدن آلاینده‌ها پس از اعمال و کاربرد آن‌ها در نقاطی در بالای سفره آب زیرزمینی به محل مشخصی (مثل منبع آب بسته‌بندی) در سفره آب زیرزمینی تعریف کرد. روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی و خطرسنجی کانون‌های آلاینده پیشنهاد شده که ساده‌ترین آن‌ها روش‌های تجربی و پیچیده‌ترین آن‌ها، مدل‌های شبیه‌سازی است. پیشنهاد می‌شود مشاور ابتدا ارزیابی اولیه‌ای با روش تجربی زیر انجام دهد:

- تعیین خطر کانون آلاینده به صورت کمی (امتیازدهی)
- رتبه‌بندی کانون‌های آلاینده براساس خطر آن
- تعیین سطح خطر هر یک از کانون‌های آلاینده به صورت کیفی و توصیفی (زیاد، متوسط یا کم)

1- Concentration of Flow

2- Precipitation Regime

3- Karst Network Development

بر این اساس، کانون‌های آلاینده مشخص و سطح خطر آن‌ها بدون استفاده از روش‌های ارزیابی پیچیده تعیین می‌شود. با این حال باید توجه داشت که این برآورد دارای جزییات دقیق خطرسنجی از منطقه نیست و تنها با هدف شناسایی اولیه از کانون‌های آلاینده و تعیین کانون‌های خطر انجام می‌شود. با ارائه این گزارش، شرکت در مورد کفایت این برآورد تصمیم‌گیری کرده و در صورت صحت و کفایت، آن را تایید می‌کند. در غیر این صورت، شرکت علت عدم کفایت این خطر سنجی و ضرورت بررسی دقیق تر را به متقاضی اعلام می‌کند.

روش‌هایی که برای ارزیابی دقیق تر میزان آسیب‌پذیری استفاده می‌شوند را در چهارگروه زیر می‌توان طبقه‌بندی کرد:

- روش‌های همپوشانی و شاخص<sup>۱</sup>
- روش‌های مبتنی بر مدل‌های شبیه‌سازی
- روش‌های آماری
- روش‌های مبتنی بر شاخص‌های پتانسیل حرکت

این روش‌ها در وسعت‌های متفاوتی از چند هکتار تا کل یک کشور قابل استفاده است و به میزان متفاوتی بر دانش و شناخت فرایندها و عوامل موثر بر رفتار و سرانجام آلاینده‌ها در محیط متخلخل غیراشباع متکی می‌باشند. معمولاً، روش‌های همپوشانی و شاخص و نیز روش‌های آماری در مقیاس یزرگ تر از ۱:۵۰۰۰۰ (یعنی مناطق بزرگ مطالعاتی) استفاده می‌شوند؛ در حالی که روش‌های مبتنی بر مدل‌های شبیه‌سازی در مقیاس خیلی کوچک‌تر (یعنی مناطق کوچک‌تر مطالعاتی) استفاده می‌شوند. اولین تلاش‌ها در ارزیابی میزان آسیب‌پذیری، از طریق همپوشانی نقشه‌های کاغذی به طور دستی صورت گرفته است؛ لکن در دهه‌های اخیر، ابداع سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی موجب تسهیل و رواج کاربرد کامپیوتر و نقشه‌های رقومی و پایگاه داده‌ها شده است. با استفاده از GIS، هم‌چنین می‌توان مدل‌های شبیه‌سازی را به پایگاه داده‌های منطقه‌ای متصل کرد و نتایج و ستاده‌های مدل را به صورت ترسیمی نمایش داد.

#### ۴-۹-۳-۱- روش‌های همپوشانی و شاخص

در روش‌های همپوشانی و شاخص از ویژگی‌های مکانی یک منطقه (مانند عمق سطح ایستابی، نوع خاک، خصوصیات زمین‌شناختی و تغذیه خالص) استفاده می‌شود. برای منظور کردن اهمیت هر ویژگی، نمره و وزن‌های عددی به آن‌ها داده می‌شود.

روش DRASTIC<sup>۲</sup> معروف‌ترین و رایج‌ترین روش همپوشانی و شاخص برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی است. این روش، تجربی بوده و به میزان اطلاعات موجود، پارامترها و وزن‌های موثر در آسیب‌پذیری سفره وابسته است و در این روش از مشخصات هیدرولوژیکی و زمین‌شناختی منطقه استفاده می‌شود [۴۵]. روش

1- Overlay and Index Methods

2- Acronym for Depth to water table, aquifer Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone, and hydraulic Conductivity of the aquifer.

DRASTIC از یک سیستم دسته‌بندی عددی استفاده می‌کند و در تعیین میزان آسیب‌پذیری، نمره ای به پارامترهای موثر نسبت داده و به هر پارامتر، وزنی اختصاص می‌دهد.

نام گذاری این روش بر اساس حروف لاتین پارامترهای عمق آب زیرزمینی<sup>۱</sup>، نرخ تغذیه<sup>۲</sup>، قابلیت انتقال آبخوان<sup>۳</sup>، قابلیت انتقال دهی خاک<sup>۴</sup>، تاثیر محدوده غیراشباع<sup>۵</sup> و هدایت هیدرولیکی<sup>۶</sup> است که برای برآورد خطر انتقال آلاینده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شاخص DRASTIC از کنش متقابل پارامترها و وزن‌های آن‌ها به دست می‌آید. برای هر پارامتر در محدوده آن پارامتر و براساس میزان تاثیر آن بر پتانسیل آسیب‌پذیری، نمره‌ای بین ۱ تا ۱۰ در نظر گرفته می‌شود، به نحوی که صفر به مفهوم حداقل خطر و ده به معنی حداکثر خطر است. مثلاً برای پارامتر عمق سطح آب زیرزمینی، برای عمق‌های کم که آلاینده در مدت زمان کوتاهی آن را طی می‌کند و به آب‌های زیرزمینی می‌رسد، نمره‌ای نزدیک ۱۰ و برای عمق‌های زیاد که آلاینده در مدت زمان طولانی‌تری به آن می‌رسد، نمره‌ای نزدیک ۱ در نظر می‌گیرند. برای در نظر گرفتن اهمیت و تاثیر نسبی هر پارامتر در آسیب‌پذیری سفره (در مقایسه با اهمیت و تاثیر دیگر پارامترها)، به هر پارامتر، وزنی بین ۱ تا ۵ داده می‌شود. سپس مجموع حاصلضرب نمره در وزن پارامترهای مختلف محاسبه شده که شاخص DRASTIC را تشکیل می‌دهد. مقدار بیش‌تر شاخص DRASTIC نشان دهنده حساس‌تر بودن منطقه است. این شاخص را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد: کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد. مناطق با آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد، خیلی نسبت به آلودگی حساس اند و باید مدیریت دقیق‌تری نسبت به منطقه اعمال شود [۴۵].

آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به نوع آلاینده نیز بستگی دارد. درحالی‌که روش‌های همپوشانی و شاخص، نوع مشخص آلاینده را در نظر نمی‌گیرند؛ که این محدودیت و ضعف بزرگی برای آن‌ها در ارزیابی میزان آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی است. نقشه‌های آسیب‌پذیری خاص، آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به یک یا گروهی از آلاینده‌های خاص را نشان می‌دهد. با این که چنین نقشه‌هایی می‌توانند برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای کاربری اراضی و برآورد ریسک محیط‌زیستی مفید باشند، به ندرت به عنوان اساس ترسیم مناطق حفاظت از چشمه به کار گرفته شده‌اند. علاوه بر فاکتورهای مرتبط با آسیب‌پذیری خاص، برآورد آسیب‌پذیری خاص اثرات متقابل بین آلاینده و محیط هیدروژئولوژیک مانند جذب سطحی کاتیون‌های سمی فلزی در کانی‌های رسی<sup>۷</sup>، فیلتراسیون پاتوژن‌های میکروبی در منافذ ریز یا تجزیه ترکیبات آلی به عنوان تابعی از شرایط بیوشیمیایی را در نظر می‌گیرد. امروزه روش DRASTIC اصلاح شده‌ای برای برآورد آسیب‌پذیری

1- Depth to Groundwater,

2- Recharge Rate,

3- Aquifer Media,

4- Soil Media

5- Impact of Vadose Zone Media,

6- Hydraulic Conductivity

7- Clay Minerals

خاص سفره‌های آب زیرزمینی کربناتی نسبت به آلودگی میکروبی و آلودگی مرتبط با کود یا نیتрат پیشنهاد است. برای کسب اطلاعات بیش‌تر با جزییات دقیق‌تر می‌توان به مراجع ذکر شده در پاورقی مراجعه کرد<sup>۱</sup>.

#### ۴-۹-۳-۲- مدل‌های شبیه‌سازی

انواع مدل‌های شبیه‌سازی با پیچیدگی مفهومی متفاوتی برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی وجود دارد. انتخاب مدل مناسب بستگی به داده‌های موجود، وسعت منطقه و استفاده‌های مورد نظر از ارزیابی میزان آسیب‌پذیری دارد. مدل‌های مختلفی مانند PRZM, GLEAMS, LEACHM<sup>۲</sup> و CMLS<sup>۳</sup> وجود دارند که می‌توانند انتقال آلاینده‌ها از کانون آلودگی تا منبع آب مورد نظر (چاه یا چشمه) را با دقت مناسبی شبیه‌سازی کنند. این روش‌ها بر اساس اصول فیزیکی جریان آب زیرزمینی در محیط متخلخل و ویژگی‌های شیمیایی آلاینده‌ها و محیط متخلخل توسعه داده شده‌اند. با استفاده از این قبیل مدل‌ها می‌توان خطر آلودگی‌های موجود در منطقه را برای منبع آب مورد نظر برآورد کرده و برای کنترل آلودگی برنامه‌ریزی کرد. در این مدل‌ها، تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در زمان و مکان‌های مختلف مسیر جریان قابل محاسبه و پیش‌بینی است. اما از آن‌جاکه این مدل‌ها زمان‌بر و پرهزینه‌اند و به مجموعه داده‌های وسیعی نیاز دارند، کم‌تر استفاده می‌شوند.

پارامترهای مورد نیاز مدل را می‌توان از نقشه‌های موجود (مانند نقشه‌های خاک‌شناسی)، پایگاه داده‌های خصوصیات خاک و زمین‌شناختی که در اختیار سازمان‌هایی مثل اداره خاک‌شناسی و سازمان زمین‌شناسی است و داده‌های آب و هوایی که توسط سازمان هواشناسی منتشر می‌شود، به‌دست آورد. با توجه به گستردگی و غیریکنواختی خصوصیات مناطق مورد ارزیابی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقش مفیدی دارد و با متصل کردن مدل‌های شبیه‌سازی به GIS، مطالعات ارزیابی میزان آسیب‌پذیری را می‌توان انجام داد.

1- (a) Vrba, J., Zaporozec, A. (Eds.), 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Contributions to Hydrogeology, 6, Hannover, Germany.

(b) Magiera, P., 2000. Methoden zur Abschätzung der Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers [Methods for the estimation of groundwater vulnerability to contamination]. Grundwasser 5 (3), 103–114.

(c) Lee, S., 2003. Evaluation of waste disposal site using the DRASTIC system in Southern Korea. Env. Geol. 44 (6), 654–664. Lisle, J.T., Rose, J.B., 1995. Cryptosporidium contamination of water in the USA and UK—A minireview. Journal of Water Supply Research and Technology-Aqua 44 (3), 103–117.

(d) Ravbar, N., Goldscheider, N., 2009. Comparative application of four methods of groundwater vulnerability mapping in a Slovene karst catchment. Hydrogeology Journal. 17 (3), 725–733.

(e) Andreo, B., Goldscheider, N., Vadillo, I., Vias, J.M., Neukum, C., Sinreich, M., et al., 2006. Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Libar (Southern Spain). Sci. Total Environ. 357 (1–3), 54–73.

2- Leaching Estimation and Chemistry Model (LEACHM)

3- Chemical Movement in Layered Soils (CMLS)

## ۴-۹-۳- روش‌های آماری و شبکه عصبی مصنوعی

روش‌های آماری ارزیابی آسیب‌پذیری، مبتنی بر روابط آماری بین داده‌های کیفیت آب و متغیرهایی مثل عمق سطح ایستابی، خصوصیات خاک و میزان مصرف آلاینده مشخصی است. برای مثال، به رگرسیون چندمتغیره [۴۶]، و تحلیل تشخیص [۴۷]، می‌توان اشاره کرد. این روش‌ها، «داده بر<sup>۱</sup>» می‌باشند و به داده‌های زیادی از پایش آب‌های زیرزمینی نیاز دارند.

## ۴-۹-۳- روش‌های مبتنی بر شاخص‌های پتانسیل حرکت

به عنوان یک اصل کلی می‌توان گفت که میزان و تنوع داده‌های موردنیاز برای مدل‌های شبیه‌سازی با افزایش درجه‌ی پیچیدگی مفهومی مدل‌ها، افزایش می‌یابد، به طوری که خیلی سریع با کمبود داده درمقیاس منطقه‌ای مواجه می‌شویم. این حقیقت موجب شده است که استفاده از «شاخص‌هایی» مثل فاکتور کاهش AF<sup>۲</sup> و فاکتور کندی RF<sup>۳</sup> برای تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری منطقه‌ای بیش‌تر رایج و توجیه پذیر شود. این شاخص‌ها براساس مدل‌های مبتنی بر فرایندها به دست می‌آیند، لکن توصیف فرایندها خیلی ساده است. این شاخص‌ها علیرغم سادگی‌شان می‌توانند ترکیب و وزن‌دهی مناسب‌تری از صفات و ویژگی‌ها در مقایسه با شاخص‌های تجربی مثل شاخص DRASTIC ارائه کنند. توضیح مختصری درباره سه شاخص مهم RF، GUS و AF در زیر ارائه می‌شود.

– شاخص GUS<sup>۴</sup>: این شاخص پتانسیل آبشویی شیمیایی آلاینده‌ها مثل آفت کش‌ها و انتقال آن‌ها به آب زیرزمینی را ارائه می‌کند [۴۸]. این شاخص فقط اثر پارامترهای جذب و تجزیه را در نظر می‌گیرد.

– شاخص RF: این شاخص، فرایند تجزیه را در محیط خاک در نظر نمی‌گیرد [۵۰]؛ لکن توانایی آبشویی آلاینده به خارج از ناحیه غیراشباع را درحالتی که جریان آب کافی برای انتقال آن وجود داشته باشد نشان می‌دهد [۴۹].

– شاخص AF: این شاخص نه تنها پارامتر RF را در خود دارد، بلکه فرایند تجزیه آلاینده‌ها مثل آفت کش‌ها و مشخصات هیدرولوژیکی منطقه را نیز در نظر می‌گیرد [۵۰]. به همین خاطر باید شاخص AF واقع بینانه‌تر از RF باشد [۴۹].

پارامترهای استفاده شده در روش شاخص‌ها از عدم قطعیت زیادی برخوردارند که باعث بروز خطا در توصیف آسیب‌پذیری می‌شوند. این عدم قطعیت‌ها، شامل عدم قطعیت در پارامترهای هیدروژئولوژیکی، پارامترهای خاک و خصوصیات آلاینده‌هاست [۵۱]. روش‌های مختلفی برای برآورد عدم قطعیت نتایج ارزیابی میزان آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی وجود دارد. شیوه‌ی کلاسیک تحلیل قابلیت اطمینان<sup>۴</sup>، سال‌هاست که استفاده می‌شود. تحلیل قابلیت اطمینان

1- Data Intensive,  
2- Attenuation Factor (AF)  
3- Retardation Factor (RF)  
4- Reliability Analysis

را می‌توان به سه روش اصلی نمونه‌گیری آماری<sup>۱</sup>، تحلیل عدم قطعیت مرتبه‌ی اول<sup>۲</sup> و روش‌های مبتنی بر تئوری بیز<sup>۳</sup> انجام داد. استفاده از قواعد فازی<sup>۴</sup>، شیوه‌ی دیگری است که در تحلیل عدم قطعیت و ابهام در پارامترهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی کاربرد پیدا کرده است [۵۲].

#### ۴-۹-۴- تهیه مدل مفهومی از کانون‌های آلوده‌کننده

پس از آن که لیست کانون‌های آلودگی به همراه مشخصات و ویژگی‌های آن تهیه شد باید مدل مفهومی از کانون‌های آلوده‌کننده که بیانگر نوع کاربری، نوع آلاینده و شدت خطر اند تهیه و ارائه شود.

#### ۴-۱۰- به هنگام سازی لیست کانون‌های آلاینده و ارزیابی آسیب‌پذیری

با توجه به موارد ذکر شده لازم است فهرست کاملی از منابع آلاینده شامل تاسیسات، کاربری‌ها و فعالیت‌های قانونی و غیرقانونی تهیه شود. اطلاعات جمع‌آوری شده باید به نحوی تهیه و ذخیره شود که به راحتی قابل مطالعه و به‌هنگام‌سازی باشد. متقاضی باید با استفاده از مشاور حداکثر هر سه سال یکبار، لیست کانون‌ها آلودگی و مدل مفهومی را به‌هنگام‌سازی کند و گزارشی حاوی مشکلات حریم کیفی و تهدیدات جدید به‌وجود آمده در منطقه، تفسیر آن‌ها و جمع‌بندی شرایط حاکم بر منطقه از نظر منابع آلاینده را تهیه کند.

پس از به‌هنگام‌سازی، ممکن است به دلایل مختلفی مانند تغییر فصل برداشت اطلاعات، گذر زمان و یا تغییر شرایط کاربری در منطقه شاهد حدی از تغییرات بود که ناچار به اصلاح محدوده حریم کیفی شود.

---

1- Statistical Sampling Method  
2- First-Order Uncertainty Analysis  
3- Bayes Theory  
4- Fuzzy Rule-Based Approach



# فصل ۵

---

---

**تدوین برنامه پایش در برنامه حریم  
کیفی منابع آب بسته‌بندی**



## ۵-۱- کلیات

این فصل شامل مراحل برنامه‌ریزی پایش در حریم کیفی بر مبنای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی لازم است. پایش در حریم کیفی در فازهای مختلف انجام می‌شود. در فازهای اولیه، اطلاعات لازم برای شناخت منطقه (که در فصل‌های ۳ و ۴ تشریح شدند) و داده‌های لازم برای محاسبات تعیین حریم کیفی برداشت (که در فصل ۶ به آن‌ها پرداخته شده است) می‌شود و در فاز نهایی، زمینه کنترل و حفاظت منبع آب بسته‌بندی و مدیریت حریم کیفی (که در فصل ۷ بیان شده است) مهیا می‌شود. از این رو، فازهای اجرایی شامل طراحی سایت پایش در مراحل ابتدایی برنامه حریم کیفی (تعیین حریم کیفی اولیه) و تحقیقات منطقه‌ای نیز می‌شود با این که در این بخش طراحی و پایش در حریم کیفی نهایی نیز مورد بررسی قرار گرفته است اما برنامه پایش ذکر شده در این بخش نگاهی جامع‌تر بر موضوع داشته و به تدوین برنامه پایش از مراحل ابتدایی و مطالعات منطقه مطالعاتی تا مرحله پایش نهایی و مدیریت حریم کیفی نهایی تعیین شده می‌پردازد.

## ۵-۲- اهداف و ملاحظات برنامه پایش در حریم کیفی آب بسته‌بندی

پایش پارامترهای فیزیکی و شیمیایی به برآورد روند تغییرات هیدروژئولوژیکی در مقیاس زمانی و مکانی و ارتقای سطح حفاظت از منبع آب بسته‌بندی کمک می‌کند. اهداف برنامه پایش در حریم کیفی عبارت است از: «برداشت، مدیریت و تحلیل داده‌های کیفیت آب سفره آب زیرزمینی، منبع‌های آب (چشمه، چاه)، کانون‌های آلاینده و سایر داده‌ها مانند داده‌های زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی، با هدف حفاظت از آب زیرزمینی و منبع آب (چاه و چشمه)». در این راستا اطلاعات برداشت شده در گذشته و پیش از اجرای برنامه پایش می‌تواند از دوباره‌کاری در پایش بکاهد و در بهینه کردن تغییرات در برنامه موثر باشد [۵۳].

اهداف پایش باید هماهنگ با چشم‌انداز برنامه پایش تعیین شود. این اهداف نباید بیش از اندازه وسیع و یا محدود باشند. پیش از برنامه‌ریزی پایش، برنامه‌ریزان باید به سه نکته توجه کنند تا برنامه‌ریزی پایش در حریم کیفی شفاف و چشم‌انداز توسعه آن‌ها از پیش مشخص باشد. این نکات عبارت اند از:

- دلایل مشخص و دقیق لزوم پایش، چگونگی استفاده از داده‌های برداشتی و منافع آن‌ها بیان شود. برای نمونه، باید به این سوال پاسخ داده شود که آیا داده‌های پایش جمع‌آوری می‌شوند تا آلاینده‌های ناشناخته‌ای از یک منبع آلاینده مشکوک شناسایی شوند یا اینکه پایش برای ارزیابی کیفیت پایه آب<sup>۱</sup> انجام می‌شود؟
- نقاط دسترسی<sup>۲</sup> موجود مانند چاه‌ها (یا گمانه‌های پایش)، چشمه‌ها و آب‌های سطحی باید شناسایی شوند.

1- Baseline Water Quality Assessment

2- Access Points

- اطلاعات پایش چگونه خواهند توانست سیستم تامین آب (آبخوان، چاه و یا چشمه) را با توجه به مشخصه مکانی تشریح کنند؟ برای نمونه، آیا داده‌های جمع‌آوری شده برای شناسایی نوع و غلظت آلاینده‌ها در آب زیرزمینی هستند؟ به عبارت دیگر هدف از برداشت داده‌ها نمایش و تشریح مشخصه‌های توزیع مکانی آلاینده‌ها در آب زیرزمینی است؟

### ۵-۳- پایش پارامترهای کمی و کیفی در حریم کیفی

USEPA سه نوع پایش آب زیرزمینی در حریم کیفی را معرفی می‌کند، بررسی روند محیط<sup>۱</sup>، ارزیابی منبع<sup>۲</sup> و پایش و هشدار زود-هنگام<sup>۳</sup> [۵۳]. در «بررسی روند محیط» روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت فیزیکی و شیمیایی سیستم آب زیرزمینی پایش می‌شود. در «پایش منبع»، تأثیرات موجود و محتمل بر کمیت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی سیستم آب زیرزمینی برآورد می‌شود. در «پایش و هشدار زود-هنگام»، وضعیت سیستم آب زیرزمینی در بالادست منبع آب (چاه و چشمه) براساس دانش کسب شده از مشخصات ژئوهیدرولوژیکی منطقه و زمان انتقال (TOT) آب زیرزمینی بررسی و اقدامات ممکن حفاظتی و پیشگیرانه برای ممانعت از ورود آلاینده‌ها به منبع اندیشیده می‌شود. انواع پایش‌های ذکر شده در هنگام اجرا با یکدیگر ترکیب شده و آلاینده‌ها در سیستم آب زیرزمینی تشخیص و اندازه‌گیری می‌شوند و در آن زمان باید‌ها و نبایدهای حفاظت کیفی از منبع تعیین می‌شود.

«ارزیابی منبع<sup>۴</sup>»، اولین و مهم‌ترین اقدام در طراحی برنامه پایش کارآمد در حریم کیفی آب بسته‌بندی است. در برنامه پایش کیفی ابتدا پارامترهای هدف از لیست آلاینده‌های شناخته شده و یا محتمل مشخص می‌شوند (روش تهیه «لیست آلاینده‌ها» در فصل ۴ راهنما تشریح شده است). این آلاینده‌ها براساس کاربری اراضی و فعالیت‌های موجود در منطقه تعیین می‌شوند. این لیست شامل آلاینده‌های محدوده حریم کیفی اولیه (محدوده مطالعه یا عرصه تغذیه هیدرولوژیکی منبع آب بسته‌بندی) و نواحی مجاور آن است.

### ۵-۴- فازهای سه گانه پایش در حریم کیفی

پایش در حریم کیفی منبع آب بسته‌بندی باید در سه فاز انجام شود:

- فاز ۱: بررسی اجزای حریم کیفی و هدف‌گذاری
- فاز ۲: تدوین و اجرای برنامه پایشی تحقیقاتی<sup>۵</sup> در محدوده مطالعاتی
- فاز ۳: تدوین و اجرای برنامه نهایی پایش در حریم کیفی

1- Ambient Trend  
2- Source Assessment  
3- Early-Warning Detection  
4- Source Assessment  
5- Research Monitoring Program

#### ۵-۴-۱- فاز ۱: بررسی اجزای حریم کیفی و هدفگذاری

پایش آب زیرزمینی اقدامی پرهزینه و زمان‌بر بوده و به تجهیزات و تکنیک‌های فنی ویژه پایش نیازمند است. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود تا حد امکان برای حفاظت کیفی از منبع آب بسته‌بندی از روش‌های علمی و کارا برای تعیین حریم کیفی، پایش و جمع‌آوری داده استفاده شود.

فاز ۱ پایش در مراحل اولیه تعیین حریم کیفی و همزمان با تعیین حریم کیفی اولیه (در فصل ۳ و ۴ تشریح شده است) اجرا می‌شود. فاز ۱ شامل تعیین نقش‌ها، وظایف و چارچوب مدیریتی منبع آب بسته‌بندی، تعیین حریم کیفی اولیه و ارزیابی منبع است. برای پشتیبانی و تعیین مسیر تحقیقات در مراحل بعدی پایش و تعیین حریم کیفی نهایی لازم است بانک اطلاعات اولیه بر پایه اطلاعات پایش شده در گذشته (مانند مقالات، گزارشات فنی و تحقیقات هیدروژئولوژیکی گذشته منطقه) و یا اطلاعات فرعی حاصل از بازدیدهای میدانی منطقه تهیه، تفسیر و بررسی شوند تا محدودیت در داده‌ها و کمبودهای اطلاعاتی شناسایی شوند.<sup>۱</sup> هدف از تهیه این بانک اطلاعات، افزایش اطلاعات برای تعریف اهداف پایش، کاهش حجم کاوش و مطالعات منطقه‌ای و همچنین اجتناب از دوباره‌کاری تا حد امکان است. سایت‌های پایش تعیین شده در این فاز مانند چاه‌ها، گمانه‌ها و چشمه‌های موجود در منطقه می‌توانند بخشی از شبکه پایش نهایی و بلندمدت آینده باشند. فاز ۱ معمولاً به یک بازه زمانی ۳ تا ۶ ماهه نیاز دارد تا تکمیل شود [۵۳].

به طور خلاصه اقداماتی که در فاز ۱ پایش در حریم کیفی آب بسته‌بندی انجام می‌شوند عبارتند از:

- شروع و اجرای برنامه حریم کیفی، شکل‌گیری قالب مدیریتی و پرسنل، تعیین نقش‌ها و مسوولیت‌ها (این موضوع در فصل مرتبط با اعطای مجوز تشریح شده است).
- تعیین حریم کیفی اولیه منبع آب بسته‌بندی، بررسی و انتخاب روش‌های مناسب تعیین حریم کیفی در منطقه
- شناسایی و تعیین ویژگی‌های منبع آب بسته‌بندی، آبخوان و کانون‌های آلودگی
- بررسی و شناسایی اطلاعات موجود از منطقه، کاستی اطلاعات و محدودیت داده‌ها
- تعیین اهداف پایش:
- اهداف عمومی: پاسخ به این سوال که چه داده‌هایی در کجا و چگونه استفاده خواهند شد.
- اهداف ویژه: پایش «روند محیط<sup>۲</sup>»، «ارزیابی منبع<sup>۳</sup>» و «هشدار زود-هنگام»

#### ۵-۴-۲- فاز ۲: تدوین و اجرای برنامه پایشی تحقیقاتی

در این فاز سیستم آب زیرزمینی و منبع آب بسته‌بندی شناسایی و مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی آن تهیه می‌شود. فاز دو برنامه پایش به درستی تحت عنوان «برنامه پایشی تحقیقاتی» نامگذاری شده است چرا که در این فاز تحقیقی،

۱- مفاهیم حریم کیفی اولیه، حریم کیفی نهایی و برآورد منبع در فصل‌های گذشته این راهنما تعریف و تشریح شده‌اند.

2- Ambient Trend

3- Source Assessment

اطلاعات جمع‌آوری شده در فاز ۱ تحلیل و تفسیر می‌شوند تا عملکرد سیستم آب زیرزمینی شناسایی و روابط تحلیلی آن تعیین شود. این تحقیقات با هدف توسعه یا تعیین اجزای مدل مفهومی و هیدروژئولوژیکی انجام می‌شود. وجود یک مدل مفهومی جریان آب زیرزمینی قابل دفاع از جهت فنی و هیدروژئولوژیکی سطح اطمینان از کارایی حریم کیفی در حفاظت کیفی را بیش‌تر می‌کند. تحقیقات پایشی در این فاز شامل تعیین مشخصات کیفی پایه آب<sup>۱</sup>، اجرای آزمایش‌های سفره آب زیرزمینی و تعیین مشخصات آن، تعیین مسیر جریان<sup>۲</sup> آب زیرزمینی برای بررسی و تفسیر ارتباط بین منابع آب (سفره آب زیرزمینی) با منبع آب (چاه و چشمه) و ارائه دانش برای اصلاح حریم کیفی اولیه است. نتیجه تحقیقات در این فاز، ارائه «پیشنهاد برنامه پایش بلندمدت و نهایی» است. این فاز با توجه به پیچیدگی هیدروژئولوژیکی منطقه و اطلاعات جمع‌آوری شده در فاز ۱ ممکن است به ۱ تا ۱/۵ سال زمان نیاز داشته باشد [۵۳].

به طور خلاصه اقداماتی که در فاز ۲ پایش در حریم کیفی آب بسته‌بندی انجام می‌شود عبارت است از:

– بررسی ویژگی‌های کیفی آب

- ویژگی‌های طبیعی و انتقال آلاینده‌ها در آب زیرزمینی منطقه مانند مجاری زیرزمینی و گسل‌ها
- مقایسه و تفسیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب مانند غلظت آنیون‌ها، کاتیون‌ها، سختی، pH، TOC<sup>۳</sup>، TDS<sup>۴</sup>، رنگ و غیره
- آنالیز ایزوتوپ<sup>۵</sup> و تعیین عمر<sup>۶</sup>
- تعیین پارامترهای شاخص بر اساس نوع کانون‌های آلودگی در منطقه

– آزمایش و تعیین ویژگی‌های آبخوان

– تعیین مسیر جریان آب زیرزمینی

– اصلاح حریم کیفی اولیه (یا محدوده مطالعاتی)

### ۵-۴-۳: تدوین و اجرای برنامه پایش حریم کیفی

محصول اقدامات انجام شده در فازهای ۱ و ۲، ارائه برنامه پیشنهادی پایش نهایی برای فاز ۳ است. معمولاً برنامه پایش نهایی پس از تعیین مرزهای حریم کیفی نهایی (در فصل ۷ روش‌های تعیین مرزهای حریم کیفی نهایی تشریح شده‌اند) به صورت مرحله به مرحله و بر اساس منابع مالی و فنی طرح‌ریزی می‌شود. برنامه نهایی پایش باید شامل چارت سازمانی<sup>۷</sup>، نقشه و لیست آلاینده‌های حاصل از ارزیابی منبع، نقشه نمایان‌گر حریم کیفی و ناحیه‌های داخل آن و هم‌چنین معیارها و روش تعیین مرزهای حریم کیفی باشد. در فاز ۳ موقعیت مکانی سایت‌های پایش موجود و پیشنهادی

1- Baseline Water Quality Characterization

2- Flow Path

3- Total Organic Carbon

4- Total Dissolved Solid

5- Isotope Analysis

6- Age Dating

7- Organization Chart

برای شبکه پایش باید در یک نقشه نمایش داده شوند. سایت‌های پایش جدید که باید نصب و تجهیز شوند لازم است با جزییات کامل مانند موقعیت پیزومترها، گمانه‌ها، عمق چاه‌ها، بازه‌های زمانی برداشت داده، طرح شماتیک تجهیزات و موقعیت آن‌ها، مواد و تجهیزات استفاده شده و هم‌چنین روش‌های نصب تجهیزات و آزمایش‌ها توصیف شوند. لیست پارامترهای فیزیکی و شیمیایی پایش و بازه‌های زمانی برداشت و آزمایش‌ها باید تهیه شود. اطلاعات سایت پایش باید در یک بانک اطلاعاتی ذخیره شده و امکان به‌هنگام‌سازی و بازخوانی اطلاعات فراهم شود. سایت پایش نهایی باید با اهداف تعیین شده برای حریم کیفی منبع آب بسته‌بندی هماهنگی داشته و نیازهای حفاظت کیفی منبع آب بسته‌بندی را بر اساس خطرات موجود و محتمل در منطقه تامین کند.

در نمودار (۵-۱)، مراحل ۱۵ گانه طراحی برنامه پایش حریم کیفی منبع آب بسته‌بندی نمایش داده شده است. در زمانی که حریم کیفی منبع آب بسته‌بندی مورد بازبینی و به‌هنگام‌سازی قرار می‌گیرد و یا به هر دلیلی تغییراتی در مرزهای حریم کیفی رخ می‌دهد، باید شبکه پایش نیز بازبینی و به‌هنگام شود.



نمودار ۵-۱- فلوچارت ۱۵ گام برنامه پایش حریم کیفی آب بسته‌بندی



# فصل ۶

---

---

## تدوین روش تعیین حریم کیفی



## ۶-۱- کلیات

آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA)، گستره وسیعی از روش های تعیین حریم کیفی، از روش های ابتدایی و غیرتحلیلی تا روش های پیشرفته عددی را به عنوان روش های قابل قبول معرفی کرده است [۱۲، ۳۸ و ۴۰]. انتخاب روش مناسب براساس تجربه کاربر، داده های موجود، اعتبار مالی تخصیص یافته به برنامه، قطعیت و دقت مورد نظر پروژه صورت می گیرد.

روش های ارائه شده در این راهنما که به ترتیب پیچیدگی معرفی شده اند، مطابق روش های تایید شده توسط USEPA است. باید توجه داشت که تمام این روش ها در همه موارد قابل استفاده نیستند. از این رو محدودیت ها، نقاط قوت و اطلاعات مورد نیاز هر روش شرح داده شده است.

## ۶-۲- تشریح مبانی تعیین حریم کیفی

طبق تعریف، محدوده حریم کیفی منابع آب بسته بندی، محدوده ای در سطح یا زیرزمین است که احتمال رخداد آلودگی در آن و یا انتقال آلودگی از مسیر آن به سمت منبع آب بسته بندی وجود دارد. در این محدوده، فعالیت های انسانی در سطح و زیرزمین باید مهار و پایش شود.

منابع آبی آب بسته بندی مثل چاه و چشمه پتانسیل زیادی برای آلوده شدن از طریق زمین اطراف خود دارند. اولین گام برای حفاظت کیفی منابع آب بسته بندی تعیین محدوده حفاظت کیفی یا «حریم کیفی» منابع آب بسته بندی و سپس حفاظت از این محدوده برای ممانعت از ورود آلودگی به منبع آب بسته بندی است. برای ممانعت از ورود آلودگی لازم است مراقبت شود که:

- مسیر جریان آب منبع آبی آب بسته بندی مسدود و یا تغییر نکند، و
  - مسیر جریان آب منبع آب بسته بندی از جریان های آلوده، به ویژه آن هایی که در اعماق کم خاک جریان دارند، جدا بماند.
- در بیش تر موارد، ممانعت کردن از الحاق جریان های کم عمق منطقه به منابع آب بسته بندی سخت یا غیر عملی است، از این رو منطقی است جریان های سطحی آلوده در منطقه شناسایی و کنترل شوند. به این منظور ضروری است تا محدوده ای برای کنترل فعالیت های مختلف انسان در اطراف منابع آبی آب بسته بندی مورد مطالعه قرار گیرد تا از حفاظت کیفی منبع اطمینان حاصل شود [۵].

حریم حفاظت به طور عمومی شامل مناطق معرفی شده زیر است.

- یک ناحیه تحت عنوان حریم حفاظت بهداشتی که در بند ۹-۲-۲ راهنما به آن اشاره شده است.
- (حداکثر) سه ناحیه که تحت عنوان ناحیه (zone) ۱، ۲ و ۳ مشخص می شود. (معمولا حریم بهداشتی به عنوان یکی از ناحیه های سه گانه در نظر گرفته می شود).

- یک ناحیه میانگیر<sup>۱</sup> که به صورت اختیاری می‌تواند استفاده شود. این ناحیه کل حریم کیفی تعیین شده را در بر می‌گیرد (شکل ۶-۱).
- اصول و مبانی تعیین حریم کیفی در روش‌های ذکر شده بر پایه، شاخص فاصله از منبع، زمان انتقال (TOT)، و مرزهای فیزیکی در جریان آب زیرزمینی است. جزییات این شاخص‌ها به شرح زیر است:
- **فاصله:** فاصله از منبع، ساده‌ترین اصل در تعیین حریم کیفی است. منطق محاسبه این فاصله، معیاری است که با آن دقت و قابلیت اطمینان محاسبات سنجیده می‌شود.
- **زمان انتقال:** این شاخص بر اساس نرخ جریان آب زیرزمینی تعیین می‌شود. یک بازه زمانی بحرانی (مثلاً ۳ یا ۵ سال) به عنوان زمان انتقال تعریف می‌شود. هدایت هیدرولیکی و گرادیان هیدرولیکی تعیین کننده سرعت آب زیرزمینی اند. از ضرب کردن سرعت جریان در زمان بحرانی تعریف شده، می‌توان ابعاد حریم کیفی را تعیین کرد.
- **مرزهای جریان:** مرزهای طبیعی جریان آب زیرزمینی، می‌توانند بر روش و وسعت حریم کیفی تعیین شده تاثیر بگذارند. خط تقسیم آب زیرزمینی<sup>۲</sup>، موانع زمین‌شناختی و وجود منابع آب سطحی (مثل دریاچه‌ها، تالاب‌ها و ...) مثال‌هایی از این مرزهای طبیعی است.
- شیوه‌های مبتنی بر معیارهای ذکر شده در سه سطح طبقه‌بندی می‌شوند:
- سطح ساده بر پایه فاصله مجاز
- سطح پیچیده بر پایه زمان انتقال و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی
- سطح بسیار پیچیده بر پایه مدل‌های ژئوهیدرولوژیکی و سینتیک آلاینده
- با پیچیده شدن سطح، از عدم قطعیت در تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی کاسته می‌شود، لکن هزینه مطالعات افزایش می‌یابد. البته، بهترین و دقیق‌ترین روش، لزوماً پیچیده‌ترین آن نیست، زیرا به خاطر کمبود داده‌ها و اطلاعات عدم قطعیت روش (یا مدل) افزایش می‌یابد [۵].
- روش معمول و متداول، روشی است که بر پایه فاصله و زمان انتقال توسعه یافته است. این روش پیچیدگی زیادی ندارد، از این‌رو، از لحاظ اجرایی و در مرحله مطالعات امکان‌سنجی بهتر از سایر روش‌هاست. با این وجود، از آن‌جاکه منابع آب بسته‌بندی در شرایط و مکان‌های مختلفی قرار دارند، ارائه یک فاصله مطمئن بدون بررسی شرایط ژئوهیدرولوژیکی و آسیب‌سنجی، پایه و اساس علمی محکمی ندارد، لکن تا حد زیادی می‌تواند مفید واقع شود. برای افزایش اعتمادپذیری و کاهش عدم قطعیت در تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی، از روش‌های برآورد ریسک و ارزیابی آسیب‌سنجی استفاده می‌شود.

1- Buffer Zone

2- Ground Water Divide

## ۳-۶- ملاحظات

- زمان انتقال محاسبه شده بر اساس سرعت جریان آب زیرزمینی تعریف می‌شود. با این حال ممکن است در شرایطی سرعت انتقال آلودگی سریع‌تر (برای مثال برای مواد فرار<sup>۱</sup>) و یا کندتر (برای مثال در شرایط جذب سطحی<sup>۲</sup>) از سرعت جریان آب باشد.
- منظور از زمان انتقال در روش‌های ساده، زمان انتقال افقی است. در این محاسبات از زمان انتقال قائم چشم پوشی شده است. اما در مدل‌های عددی، در شرایطی که داده‌های مربوط به تراوش قائم در دست باشد، می‌توان زمان انتقال قائم را نیز در نظر گرفت. زمان انتقال قائم در محدوده مطالعه می‌تواند به شدت متغیر باشد. لذا با صرف نظر کردن از این موضوع، حریم کیفی تعیین شده از سطح اطمینان بیش‌تری برخوردار می‌شود.

## ۴-۶- تشریح مبانی متداول ناحیه‌بندی در داخل حریم کیفی

البته همان‌طور که در ادامه آمده است در مواردی (روش شعاع ثابت) با توجه به شرایط و بیان تخصیص یافته برای مطالعه، ممکن است حریم کیفی تنها شامل یک ناحیه باشد که مسلماً دارای عدم قطعیت بالایی نیز خواهد بود. با این حال در حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی حداکثر سه نوع ناحیه‌بندی مختلف برای حفاظت از منبع تعریف شده است که تحت عنوان، حریم حفاظت بهداشتی چاه<sup>۳</sup> یا چشمه (ناحیه ۱)، ناحیه حفاظت داخلی (ناحیه ۲)<sup>۴</sup> و ناحیه حفاظت خارجی (ناحیه ۳)<sup>۵</sup>. این ناحیه‌ها به طور متوالی پیرامون چاه پمپاژ یا چشمه جوشان در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۶-۱).

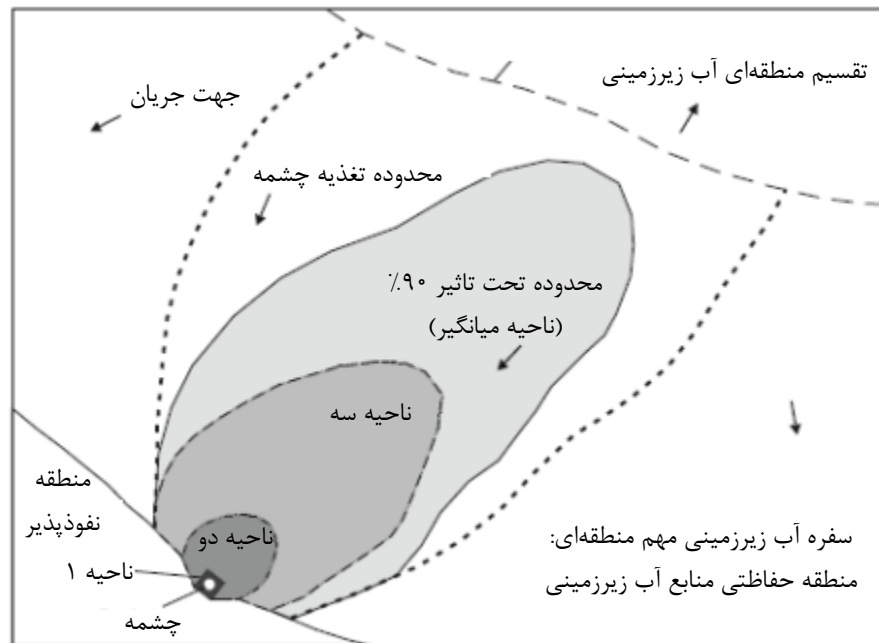
1- Volatile

2- Adsorption

3- Wellhead Protection Zone

4- Inner Protection Zone (zone II)

5- Outer Protection Zone (zone III)



شکل ۶-۱- ترکیب معمول مناطق حفاظت از منبع آب زیرزمینی در یک چشمه بزرگ و یک ارتباط زمین‌شناسی بین سفره آب زیرزمینی و ناحیه نفوذناپذیر

ناحیه یک محدوده حفاظت بهداشتی از مظهر چشمه. ناحیه دو و سه به ترتیب مناطق حفاظت درونی و بیرونی هستند. بسیاری از قوانین ملی مناطق حفاظتی اضافی و اختیاری مانند تمام عرصه تغذیه چشمه یا یک ناحیه تحت تاثیر ۹۰٪ منبع آب را نیز در نظر می‌گیرند. مناطق مهم سفره آب زیرزمینی معمولاً تحت عنوان مناطق حفاظت منابع آب زیرزمینی تقسیم‌بندی می‌شود.

#### ۶-۴-۱- هدف از تعیین ناحیه حفاظت بهداشتی (ناحیه ۱)

ناحیه حفاظت حریم کیفی چاه<sup>۱</sup> یا چشمه<sup>۲</sup> به ترتیب شامل ناحیه حفاظت بهداشتی (ناحیه ۱) بلافاصله پیرامون چاه پمپاژ یا چشمه است. هدف از این ناحیه، حفاظت از چاه یا چشمه در مقابل اثر مستقیم هر آسیب مکانیکی یا آلودگی است. وقوع آلودگی در این ناحیه به معنی ورود مستقیم آلاینده به داخل منبع است. به طور معمول این ناحیه شامل دایره‌ای به شعاع حداقل ۲۵ متر پیرامون چاه یا چشمه است که معمولاً حصارکشی شده و تمام فعالیت‌هایی که مستقیماً با تامین آب در ارتباط هستند در آن ممنوع است. تجهیزات تغذیه مصنوعی و نقب‌ها مکنده در نواحی کارستی نیز شامل این ناحیه می‌شوند (شکل ۶-۱).

1- Wellhead Protection Zone  
2- Springhead Protection Zone

#### ۶-۴-۲- هدف از تعیین ناحیه حفاظتی داخلی (ناحیه ۲)

ناحیه حفاظتی داخلی (ناحیه ۲) در درجه اول برای ممانعت از آلودگی میکروارگانیزم‌های مدفوعی و پاتوژنی است. بنابراین، زمان انتقال در سفره آب زیرزمینی معمولاً معیار اصلی ترسیم منطقه دو است. اگر از مدل‌های مبتنی بر زمان انتقال (که در بخش بعدی تشریح شده‌اند) استفاده شود، برای ترسیم این ناحیه از زمان انتقال ۱۰۰ روزه، با این فرض که بیش‌تر پاتوژن‌های میکروبی در این بازه زمانی فیلتر یا غیرفعال می‌شوند، استفاده می‌شود [۵]. فعالیت‌هایی مانند استفاده از کود مایع که موجب انتشار آلودگی میکروبی در ناحیه می‌شوند در ناحیه دو ممنوع هستند. در سفره‌های آب زیرزمینی شنی و ماسه‌ای که تخلخل موثر<sup>۱</sup> زیاد و سرعت جریان در حدود ۱ m/d است، این راهکار زمان انتقال موجب توسعه ناحیه دو در حدود ده‌ها یا صدها متر پیرامون چاه پمپاژ می‌شود. در یک ناحیه طبیعی، سرعت جریان آب زیرزمینی بالاتر منجر به بلندتر شدن ناحیه دو در جهت بالادست چاه می‌شود (شکل ۶-۱).

#### ۶-۴-۳- هدف از تعیین ناحیه حفاظت بیرونی (ناحیه ۳)

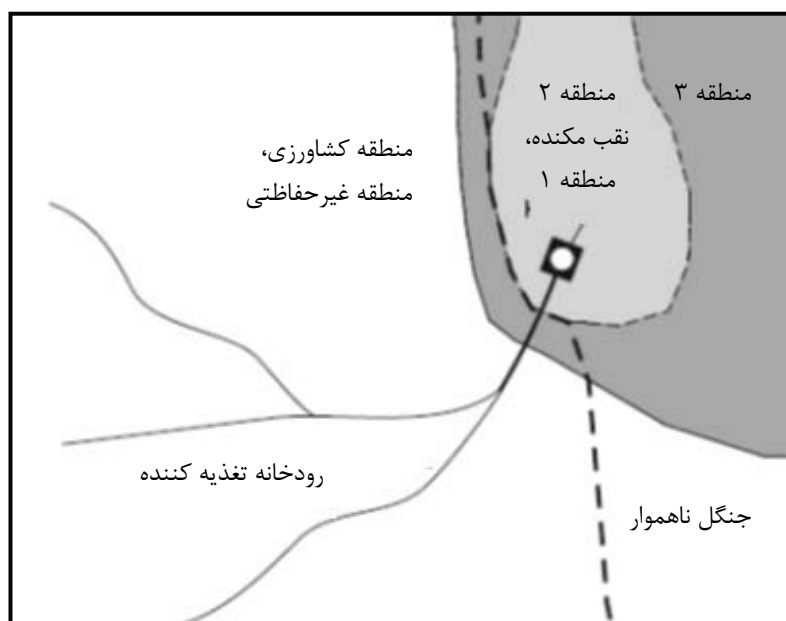
ناحیه حفاظت بیرونی (ناحیه ۳) برای حفاظت از آلودگی مزمن توسط آلاینده‌های مقاوم و پرتحرک طراحی شده و این اطمینان را حاصل می‌کند که در صورت وقوع حوادث ناگهانی و انتشار آلاینده، زمان و فضای کافی برای دفع خطر وجود دارد. با توجه به ساختارهای هیدروژئولوژیکی، ناحیه ۳ شامل تمام عرصه تغذیه چشمه یا چاه می‌شود و یا براساس فاصله یا زمان انتقال بیش از ۱۰۰ روزه ترسیم می‌شود. تجهیزاتی و اقداماتی مانند ایستگاه گاز یا انتشار فاضلاب که تهدیدی برای آب زیرزمینی هستند در این ناحیه مجاز نیستند (شکل ۶-۱).

#### ۶-۴-۴- ناحیه‌بندی وسیع‌تر از ناحیه ۳ (ناحیه میانگیر)

طرح‌های ملی حفاظتی بسیاری مانند سوئد، نواحی اضافی، مانند نواحی حفاظت از منبع برای تمام سفره آب زیرزمینی (شامل نواحی بیرون عرصه تغذیه چشمه چاه آب آشامیدنی) یا یک ناحیه میانگیر بر تمام عرصه تغذیه چاه یا چشمه را در نظر می‌گیرند. به هر حال در برخی موارد تمام عرصه تغذیه یک چشمه خیلی وسیع است و شامل نواحی که در تغذیه سفره آب زیرزمینی و میزان جریان تخلیه چشمه نقش اندکی دارند نیز می‌شود. برای نمونه طرح‌های حفاظت آب زیرزمینی سوئد شامل ناحیه تحت تاثیر ۹۰٪ تغذیه منبع آب می‌شود. این ناحیه عموماً وسیع‌تر از ناحیه ۳ است، اما گاهی اوقات کوچک‌تر از تمام عرصه تغذیه می‌باشد (شکل ۶-۱). محدودیت‌های کاربری در این نواحی گسترده‌تر در مقایسه با ناحیه ۳ کم‌تر سختگیرانه است، اما در مقابل آلودگی‌های مزمن و مقاوم، مانند آلودگی‌های مرتبط با نیترات که در آب‌های زیرزمینی پر اکسیژن رفتار پایستاری دارند، امنیت بیش‌تری تامین می‌کنند [۵].

## ۵-۶- ملاحظات ضروری در تعیین حریم کیفی

از آن‌جاکه ایجاد محدودیت کاربری در حریم کیفی با تدابیر اقتصادی - اجتماعی از قبیل پرداخت غرامت به کشاورزان یا محدودیت‌های توسعه اقتصادی همراه است، ممکن است نواحی حفاظت خم، پیچیده یا تکه‌تکه شود تا هزینه‌های کوتاه مدت حداقل شود (شکل ۶-۲). از قضا این راهکار معمولاً در دراز مدت منجر به افزایش هزینه‌های اجتماعی و اقتصادی می‌شود؛ چرا که اصلاح سفره آب زیرزمینی و منبع آلوده و تصفیه آب آلوده شده معمولاً از اجرای صحیح حریم کیفی، گران‌تر است. با این‌که علاوه بر حفاظت آب زیرزمینی، حفظ منافع اقتصادی - اجتماعی نیز مشروع و بر حق است و لازم است که در طرح‌های جامع مدیریت کاربری اراضی لحاظ شود، هیدروژئولوژیست‌ها و مهندسان نباید قوانین هیدرولیکی را به گونه‌ای تحریف کنند که مناطق حفاظتی راحت‌طلبانه و از پیش مطلوب تعیین شوند.



شکل ۶-۲- عدم اعمال صحیح محدودیت‌های کاربری در حریم کیفی با لحاظ تدابیر اقتصادی - اجتماعی کوتاه مدت<sup>۱</sup>

۱- مثال آشکاری از ناحیه‌بندی نامناسب نواحی حفاظتی و متناقض با اصول هیدروژئولوژیکی است اما در آن هزینه‌های کوتاه مدت حداقل شده است. عرصه آبخیز جریان آب سطحی تغذیه‌کننده نواحی کشاورزی و تغذیه‌کننده نقب مکنده‌ای که به چشمه کارستی متصل است، شامل هیچ یک از نواحی حفاظتی نیست. اما نواحی ناهموار جنگلی مجاور برای برابری در پرداخت غرامت کشاورزان به عنوان ناحیه حفاظتی تعیین شده است.



## ۶-۶- روش‌های متداول تعیین حریم کیفی

### ۶-۶-۱- شعاع ثابت فرضی<sup>۱</sup> (AFR)

#### الف- روش کار

- در این روش محدوده‌ای به شکل دایره و به مرکزیت مظهر چشمه یا چاه در نظر گرفته شده و با عنوان «محدوده ۱»<sup>۲</sup> یا «ناحیه جلوگیری از اتفاقات تصادفی»<sup>۳</sup> نام گذاری می‌شود.
- این روش در انواع سفره‌های زیرزمینی (تحت فشار، آزاد و نیمه تحت فشار) و با تمام رژیم‌های جریان (جریان پخشی<sup>۴</sup> و مجرای<sup>۵</sup>) قابل استفاده است.
- همان طوری که از نام این روش بر می‌آید، این روش بر اساس دانش عمیقی از ویژگی‌های آبخوان، چشمه یا چاه طرح‌ریزی نشده است، بلکه براساس تعیین ناحیه احتیاطی حایل (میانگیر) به مرکزیت مظهر چاه یا چشمه طرح‌ریزی شده است. این موضوع باعث سادگی روش شده و از طرفی نقطه ضعف آن نیز تلقی می‌شود، چرا که ممکن است اجرای این روش منجر به حفاظت کامل از منبع آب بسته‌بندی نشود.
- در کل به دلیل این که این روش از شاخص‌های علمی بسیار کمی استفاده می‌کند، اطمینان نتایج آن نیز کم است.

#### ب- الزامات

- از این روش در شرایطی می‌توان استفاده کرد که حجم آب برداشتی کمتر از ۳۸۰ متر مکعب در روز باشد. در این روش کافی است به این سوال پاسخ داده شود که حداقل شعاع منطقی برای محدوده ۱ چه مقدار می‌تواند باشد. این شعاع نباید کمتر از ۱۵۰۰ متر باشد [۳۱ و ۴۳].
- این روش در شرایطی که برداشت اطلاعات از محدوده حریم کیفی امکان‌پذیر نیست و نماینده شرکت آب منطقه‌ای از بلامانع بودن آن اطمینان حاصل کرده است، قابل قبول خواهد بود.
- استفاده از این روش در شرایطی که کاربری خطرناکی در نزدیکی منبع برداشت آب وجود نداشته باشد مجاز است.

#### ج- مزایا

- اجرای آن بسیار ساده است و نیازی به اطلاعات ویژه از منطقه ندارد.
- به زمان اندکی نیاز دارد.
- به تخصص فنی اندکی نیاز دارد.

1- Arbitrary Fixed Radius  
 2- Zone 1  
 3- Accident Prevention Zone  
 4- Diffuse Flow  
 5- Conduit Flow

- به داده‌های اندکی وابسته است.
- هزینه تعیین حریم کیفی بسیار کم است.

#### د- معایب

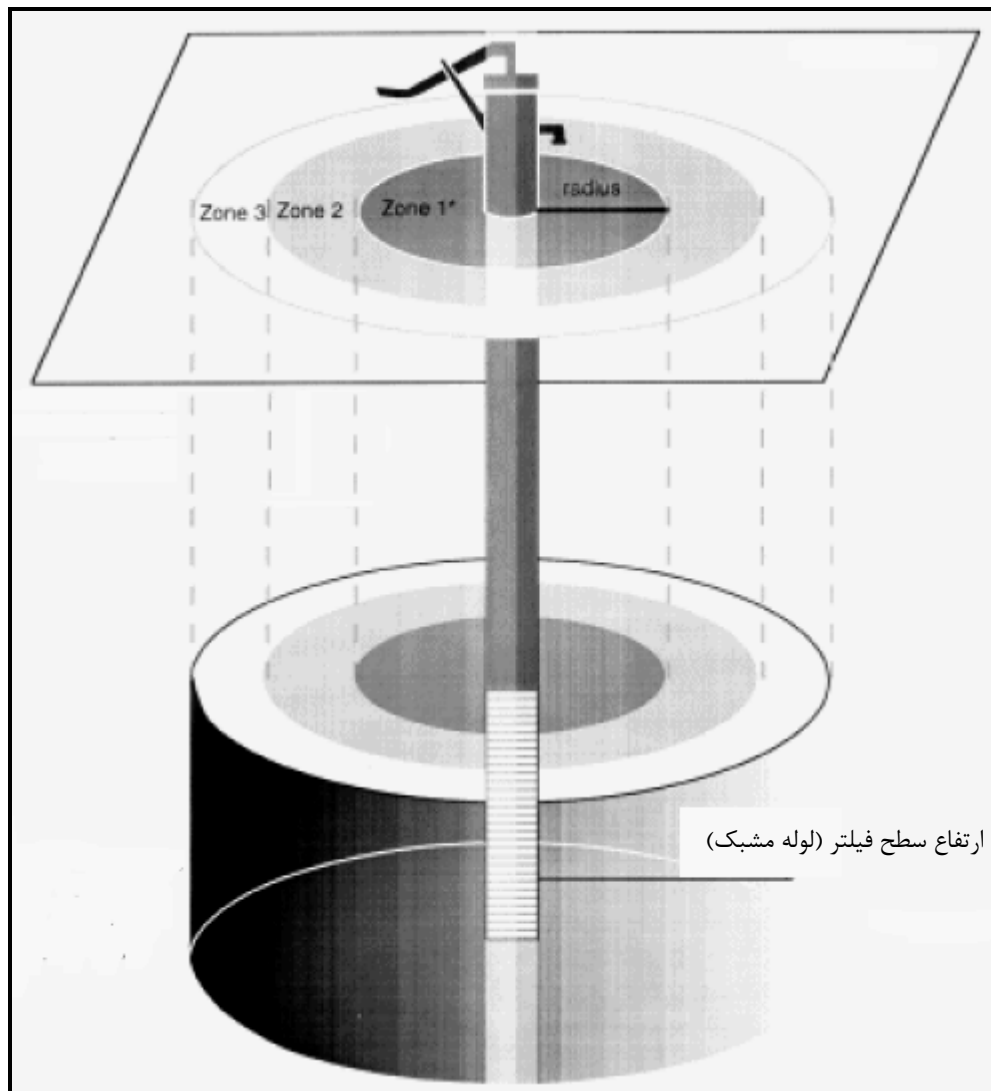
- از جهت دقت ضعیف‌ترین روش است.
- بر اساس فرض‌ها و قضاوت‌های غیرعلمی و عمومی است.
- شاخص‌های تصمیم‌گیری در تعیین شعاع، قابلیت بحث و به چالش کشیده شدن دارند.
- سطح حفاظت، قابل برآورد نیست و ممکن است در سطح ابتدایی باشد [۳۹].

#### ۶-۶-۲- شعاع ثابت محاسبه شده<sup>۱</sup> (CFR)

#### الف- روش کار

- روش نسبتاً ساده‌ای است که می‌تواند برای چاه‌ها و چشمه‌های آب بسته‌بندی مورد استفاده قرار گیرد.
- این روش که به نوعی مکمل روش اول است، علاوه بر محدوده ۱، دو محدوده دایره‌ای شکل دیگر با شعاع بزرگ‌تر و تحت عنوان محدوده ۲ و محدوده ۳ پیشنهاد می‌کند (شکل ۶-۳).
- در این روش، محدوده‌ای دایره‌ای شکل به مرکزیت منبع آب بسته‌بندی در نظر گرفته می‌شود، به گونه‌ای که آب زیرزمینی برای طی مسیر از مرز دایره تا مرکز دایره که منبع در آن قرار گرفته است، به مدت زمانی مشخصی نیاز داشته باشد. به این ناحیه «ناحیه تاثیر<sup>۲</sup>» گفته می‌شود. به بیان دیگر، در این روش، استوانه‌ای در داخل زمین در نظر گرفته می‌شود به طوری که شعاع استوانه براساس زمان انتقال (TOT) تعیین می‌شود.
- TOT پیشنهادی در این روش، حداقل یک سال برای منطقه ۱، حداقل دو سال برای محدوده ۲ و حداقل پنج سال برای محدوده ۳ است [۳۴].
- از آن‌جاکه در این روش نیز فرض‌ها و ساده‌سازی‌هایی وجود دارد و تمام ویژگی‌های آبخوان، مانند غیریکنواخت بودن ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی در اطراف منبع در نظر گرفته نشده است، ممکن است حفاظت انجام شده در این روش کافی نباشد. به همین دلیل لازم است در این روش از ضریب ایمنی<sup>۳</sup> استفاده شود. ضریب ایمنی پیشنهادی و سایر معادلات و داده‌های مورد نیاز در جدول (۶-۴) آورده شده است.

1- Calculated Fixed Radius  
2- Zone of Influence  
3- Factor of Safety



شکل ۶-۳- نمایش سطح استوانه و منطقه بندی در روش شعاع ثابت محاسبه شده

#### ب- الزامات

این روش به داده های نرخ پمپاژ<sup>۱</sup> و داده های هیدروژئولوژیکی شامل تخلخل، ارتفاع لوله مشبک چاه<sup>۲</sup> (جدول ۶-۳) و زمان انتقال جریان نیاز دارد.

— ممکن است برای برای جمع آوری برخی داده ها، تحقیقات میدانی نیاز باشد.

#### ج- مزایا

— از دقت بیش تری نسبت به روش شعاع اختیاری برخوردار است.

— روش ساده ای است و به زمان زیادی نیاز ندارد.

1- Pumping Rate  
2- Well Screen

- به تخصص اندکی احتیاج دارد.
- هزینه آن کم است.

#### د- معایب

- این روش برای آبخوان‌های تحت فشار می‌تواند دقت قابل قبولی داشته باشد، ولی در آبخوان‌های آزاد دقت بالایی ندارد.
- منطقه‌ای که به عنوان ناحیه تاثیر مشخص می‌شود ممکن است در برگیرنده مناطقی باشد که آب چاه یا چشمه از آنجا تامین نمی‌شود.
- نتیجه این روش به ضریب هدایت هیدرولیکی خیلی حساس است.

جدول ۶-۱- رابطه و متغیرهای مورد نیاز برای تعیین شعاع در روش CFR [۳۴]

رابطه محاسبه شعاع محدوده ۲ و ۳	$r = FS \sqrt{\frac{Q \cdot t}{n \cdot H \cdot \pi}}$
R	شعاع محدوده‌های ۲ و ۳
Q	میانگین سالانه نرخ پمپاژ (m <sup>3</sup> /year)
T	زمان انتقال (۲ سال برای محدوده ۲ و ۵ سال برای محدوده ۳)
N	ضریب تخلخل
H	ارتفاع لوله مشبک چاه
$\pi$	۳/۱۴
FS	ضریب ایمنی = ۱/۳ (زمانی که تمام مقادیر قطعی هستند) ۱/۵ (زمانی که تمام مقادیر قطعی نیستند)

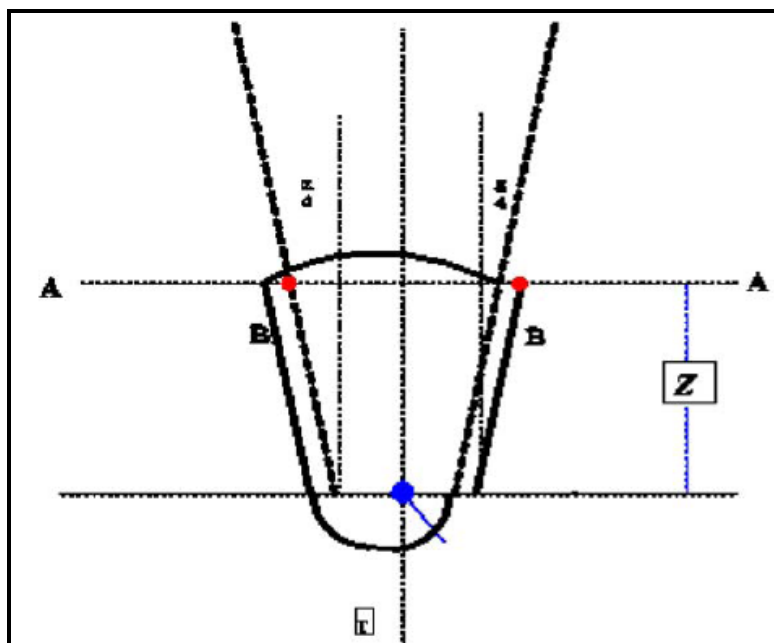
#### ۶-۶-۳- شکل‌های تغییرپذیر ساده شده<sup>۱</sup> (SVS)

##### الف- روش کار

- این فرض که تمام آب برداشتی از منبع آب بسته‌بندی (چاه یا چشمه)، از استوانه فرضی اطراف منبع تامین می‌شود تنها در فاصله کوتاهی از منبع (۱۵ تا ۳۰ متر) یا در شرایطی که از گرادیان هیدرولیکی صرف نظر شده باشد، صحیح است.
- اگر سطح پتانسیل یا سطح آب زیرزمینی دارای شیب قابل توجهی باشد، آنگاه سهم آب برداشتی از بالا دست چاه یا چشمه بسیار بیش‌تر از مناطق پایین دست است. از این‌رو، سطح دایره‌ای شکل در اطراف منبع، فرض دقیقی نخواهد بود.

1- Simplified Variable Shapes

- در روش شکل‌های تغییرپذیر ساده شده، شکل‌های غیر دایره‌ای بر اساس مشخصات هیدروژئولوژیکی و شرایط پمپاژ تعیین می‌شود. این شکل‌ها بر اساس گرادیان پایین دست و مرزهای جریان جانبی منبع (در هنگام پمپاژ) محاسبه می‌شود. (شکل ۴-۶)
- این روش نیز مانند دو روش گذشته ساده است، اما به داده‌های هیدروژئولوژیکی بیش‌تری نیاز دارد که در ادامه مشخص شده است.
- گام‌های استفاده از این روش عبارتند از:
  - از روش CFR یک دایره به مرکز چاه رسم می‌شود.
  - یک خط مرکزی در جهت بالادست چاه با استفاده از رابطه  $Z = t \times \frac{Ki}{n}$  رسم می‌شود. در این رابطه  $t$ ، برای محدوده ۲ و محدوده ۳ به ترتیب ۲ سال و ۵ سال است. در این رابطه  $k$ ، هدایت هیدرولیکی،  $i$  گرادیان هیدرولیکی و  $n$  تخلخل است.
  - خطی عمودی بر خط مرکزی به فاصله  $Z$  از نقطه مرکزی رسم کرده و A-A نام‌گذاری می‌شود.
  - دو خط مماس بر دایره و به موازات خط مرکزی رسم می‌شود. در محل تقاطع این خط‌ها با A-A، فاصله  $Z/4$  به سمت بیرون را اندازه‌گیری کرده و این نقاط B و B' نام‌گذاری می‌شود.
  - خطوطی از B و B' مماس بر دایره رسم می‌شود.
  - با در نظر گرفتن منبع به عنوان نقطه مرکزی، کماتی بین B و B' رسم می‌شود.



شکل ۴-۶- تعیین حریم کیفی به روش شکل‌های تغییرپذیر ساده شده

### ب- الزامات روش

- روش به داده‌های نرخ پمپاژ<sup>۱</sup> و داده‌های هیدروژئولوژیکی شامل تخلخل، ارتفاع لوله مشبک چاه (جدول ۳-۶)، زمان انتقال جریان چاه، ضریب هدایت هیدرولیکی و گرادیان هیدرولیکی نیاز دارد.
- ممکن است برای جمع‌آوری برخی داده‌ها، تحقیقات میدانی نیاز باشد.

### ج- مزایا

- در مقایسه با روش‌های گذشته از دقت بیش‌تری برخوردار است.
- روش ساده‌ای است و به زمان زیادی نیاز ندارد.
- به تخصص اندکی نیاز دارد.
- کم هزینه است.

### د- معایب

نتیجه این روش به ضریب هدایت هیدرولیکی وابسته و خیلی به آن حساس است.

## ۶-۶-۴- مدل‌های تحلیلی

### الف- روش کار

- از معادلات هیدروژئولوژیکی برای مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی و زمان انتقال آلاینده‌ها استفاده می‌شود. مجموعه‌ای از این قبیل معادلات در کتب و مقالات علمی موجود است.
- این معادلات عموماً به آسانی قابل حل اند، لکن به پارامترهای هیدروژئولوژیکی نیازمند است که معمولاً هم در سطح و هم در عمق آبخوان یکنواخت فرض می‌شوند.
- نتایج این روش منحصر به محل مورد مطالعه است، چرا که از اطلاعات خاص آن محل استفاده می‌کند.
- نقطه ضعف این روش، یکسان فرض کردن مشخصات هیدروژئولوژیکی در منطقه است. در برخی مدل‌ها می‌توان این نقطه ضعف را تا حدودی برطرف کرد.
- ممکن است عدم قطعیت زیادی، به ویژه برای حریم‌های حفاظتی محاسبه شده بلند و باریک که حساسیت زیادی نسبت به منحنی‌های هم‌پتانسیل<sup>۲</sup> دارند، وجود داشته باشد.
- در حریم‌های کیفی باریک، خطای کوچکی در پتانسیل‌سنجی و نقشه خطوط هم‌پتانسیل به خطای بزرگی در تعیین حریم کیفی منجر می‌شود.

1- Pumping Rate

2- Potentiometric Contours

- به این دلیل اعمال ضریب اطمینان یا در نظر گرفتن منطقه میانگیر<sup>۱</sup> اطراف حریم تعیین شده توصیه می شود. برای مثال، توصیه می شود برای هر ۱۰۰ متر حریم تعیین شده در بالادست چاه، ۲۵ متر حریم میانگیر در نظر گرفته شود.
- همان طور که در بخش گذشته بیان شد ناحیه دو باید بر مبنای زمان انتقال حداقل ۱۰۰ روزه و ناحیه ۳ بیش از ۱۰۰ روزه محاسبه شود.
- داده های متداول مورد استفاده در این روش عبارت اند از گرادیان هیدرولیکی، هدایت هیدرولیکی، ضخامت منطقه اشباع و داده های هیدروژئولوژیکی.
- برای نمونه می توان به مدل WHPA که توسط USEPA توسعه داده شده و به طور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد اشاره کرد. این مدل توانایی تعیین محدوده ها بر حسب زمان انتقال را دارد.

#### ب- ویژگی های مدل

- مدل دارای سه ماژول RESSQC، MWCAP و GPTRAC است که هر یک دارای ویژگی ها و فرضیات مختص خود است.
- در تمام ماژول ها، آبخوان دارای ضخامت ثابتی است و آبخوان می تواند تحت فشار و یا غیرتحت فشار باشد. در مدول GPTRAC آبخوان می تواند وضعیت نیمه تحت فشار نیز داشته باشد.
- پارامترهایی که در این مدل استفاده می شود شامل ضخامت آبخوان، ضریب هدایت هیدرولیکی، گرادیان هیدرولیکی، تخلخل، دبی پمپاژ، افت سطح آب بر اثر پمپاژ، شعاع منبع و زمان انتقال است.

#### ج- الزامات روش

- روش به دانش قابل توجهی در خصوص شرایط هیدرولوژیکی منطقه مانند عمق آبخوان، هدایت هیدرولیکی، تخلخل، نرخ پمپاژ و همچنین تجربه کافی در مدل سازی کامپیوتری نیاز دارد.

#### د- مزایا

- معادلات جریان آب با دقت و سرعت قابل قبولی حل می شوند.
- مسیرهای جریان و زمان های انتقال با دقت بیشتری تعیین می شوند.
- مدل های USEPA مانند WHPA کاربر دوست اند که امروزه در سطح وسیعی استفاده می شوند<sup>۲</sup>.

1- Buffer Zone

۲- برای کسب اطلاعات بیشتر می توان به سایت اینترنتی <http://igwmc.mines.edu/software/igwmcsoft/> که توسط EPA ارائه شده است مراجعه کرد (قابل دسترسی در تاریخ ۸۹/۱۲/۱۰).

## ه- معایب

- معمولاً مساله را در فضای دو بعدی و ساده شده حل می‌کنند.
- همواره احتمال رخداد خطاهای پنهان در مراحل محاسبات کامپیوتری وجود دارد.
- در بیش‌تر مواقع فرض می‌شود که جریان یکنواخت و ضریب هدایت هیدرولیکی ثابت است.

۶-۶-۵- تهیه نقشه هیدروژئولوژیکی<sup>۱</sup> (HM)

این روش عارضه‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی منطقه که بر جریان آب زیرزمینی تاثیرگذار است را شناسایی می‌کند. برای استفاده از این روش لازم است نقشه‌های ژئولوژیکی، سطح آب زیرزمینی، داده‌های آزمون پمپاژ و گزارش‌های هیدروژئولوژیکی منبع آب بسته‌بندی تهیه شود. باید توجه داشت که ممکن است در منطقه مورد نظر تمام این نقشه‌ها موجود نباشد لذا استفاده از این روش معمولاً مستلزم تهیه نقشه‌های هیدروژئولوژیکی است که مشخصات آبخوان، جریان آب زیرزمینی و مرزهای سفره آب زیرزمینی را بیان می‌کند.

- زیرگروه های روش

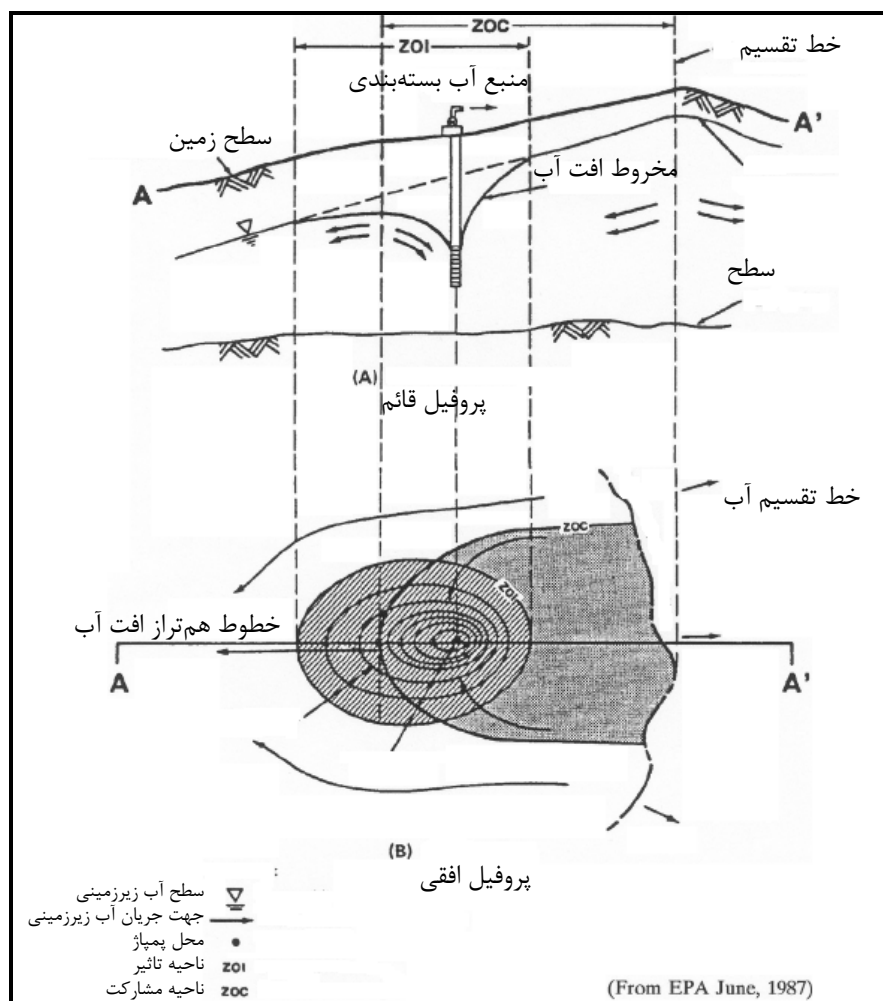
- روش نگاشت آسیب‌پذیری<sup>۲</sup>
- روش نگاشت سیستم جریان<sup>۳</sup>
- روش نگاشت جریان با معادله جریان یکنواخت

در این روش‌ها از مفهومی با عنوان «محدوده مشارکت»<sup>۴</sup> استفاده می‌شود. محدوده مشارکت به محدوده‌ای از سطح منطقه گفته می‌شود که آب با نفوذ به داخل زمین و حرکت در زیرزمین می‌تواند به منبع برداشت (چاه یا چشمه) برسد. همان‌طوری‌که در شکل (۵-۶) پیداست، ناحیه مشارکت از کمی پایین‌تر از منبع و از مخروط افت، در خلاف جهت جریان تا مرز خط تقسیم آبخوان کشیده می‌شود [۳۹].

در ادامه هر یک از این روش‌ها به همراه معایب و مزایایشان تشریح شده است. برای کسب اطلاعات بیش‌تر در این خصوص باید به کتب و مقالات هیدرولوژی و هیدروژئولوژی مرتبط مراجعه کرد.

1- Hydrogeologic Map  
2- Vulnerability Mapping  
3- Flow-System Mapping  
4- Zone of Contribution





شکل ۶-۵- نمایش محدوده مشارکت و محدوده تاثیر

### ۶-۶-۶- نگاشت آسیب پذیری

مفهوم آسیب پذیری آب زیرزمینی بر پایه این فرض که خصوصیات فیزیکی محیط زیست تا حدی از آلودگی زیرزمینی حفاظت می کند. از این رو، برآورد آسیب پذیری شامل تعیین کمیت فاکتورهایی مانند ضخامت و مشخصات لایه های پوشاننده و شرایط نفوذ است که درجه حفاظت طبیعی در مقابل آلودگی را مشخص می کنند. تهیه نقشه آسیب پذیری به این معنی است که یک منطقه مانند عرصه تغذیه چشمه به ناحیه های مختلفی از درجه آسیب پذیری تقسیم شود. رنگ های قرمز عموماً برای نمایش آسیب پذیری زیاد (حفاظت طبیعی کم) و رنگ های آبی برای نواحی با آسیب پذیری کم (حفاظت طبیعی زیاد) استفاده می شود.

هم چنین از نقشه ها می توان به طور کامل و یا به عنوان مکملی برای روش های مرسوم ترسیم مناطق حفاظت از منبع که در گذشته تشریح شدند استفاده شود. این نقشه ها مشخصاً برای تعیین مناطق حفاظتی در نواحی کارستی که در آن ها روش های مرسوم بر پایه زمان انتقال یا فاصله به دلیل سرعت های جریان زیاد و عدم تجانس ناموفق اند، مفید است.

## الف- روش کار

- در روش نگاشت آسیب‌پذیری، از نقشه‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، سطح ایستابی، عکس‌های هوایی و نقشه‌برداری زمینی استفاده شده و نقاط آسیب‌پذیر در برابر آلاینده‌ها تعیین می‌شود.
- در این روش ناحیه تاثیر تعیین نمی‌شود، ولی مناطق آسیب‌پذیر نزدیک منبع (چاه یا چشمه) را که پتانسیل آلوده شدن و انتقال آلودگی به منبع دارند را به خوبی مشخص می‌کند. (برای کسب اطلاعات بیش‌تر فصل ۴ را نگاه کنید).
- رسم خطوط مرزی پیرامون این مناطق منجر به تعیین حریم کیفی منبع آب بسته‌بندی می‌شود.

## ب- الزامات

این روش به داده‌هایی مشتمل بر نقشه‌های خاک، زمین‌شناسی، سطح ایستابی و محل‌های مهم شکستگی و ترک‌خوردگی‌ها، موقعیت کانون‌های آلودگی مانند چاه‌های دفع فاضلاب و مشخصات تاسیسات تصفیه و کنترل آلودگی در منطقه نیاز دارد.

## ج- مزایا

- این روش به محاسبه دقیق مشخصات سفره آب زیرزمینی نیازی ندارد.
- در این روش از پردازش داده‌ها و استخراج اطلاعات در سطح وسیعی از منطقه استفاده می‌شود.

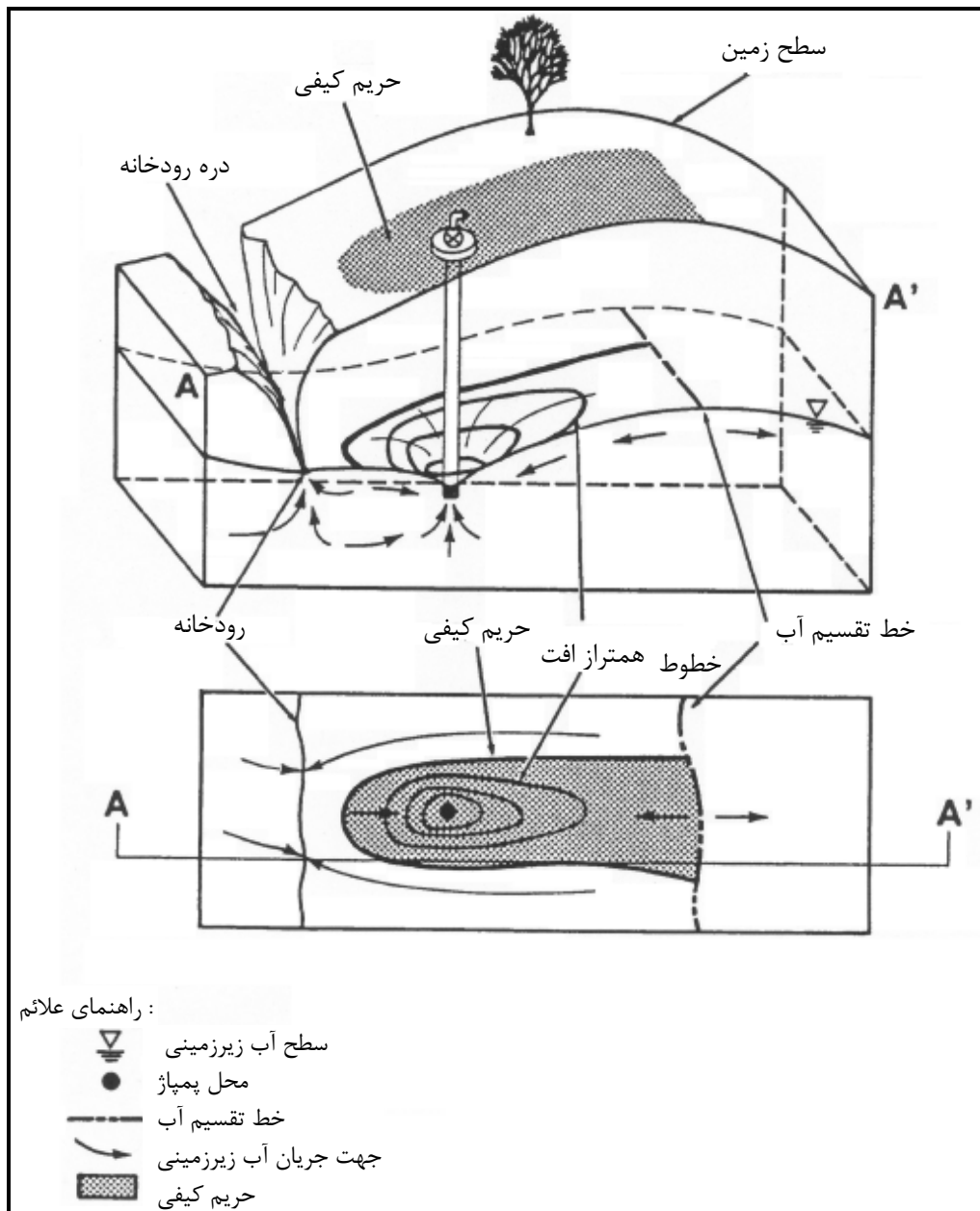
## د- معایب

- در این روش ناحیه مشارکت منبع تعیین نمی‌شود.
- نتایج تا حد زیادی سلیقه‌ای است.

## ۶-۶-۱- نگاشت نقشه سیستم جریان

## الف- روش کار

در این روش، منطقه مشارکت (ZOC) منبع با توجه به مرز خط تقسیم آب‌های آب زیرزمینی و مرزهای جریان (که از نقشه‌های سطح ایستابی به‌دست می‌آیند) تعیین می‌شود (شکل ۶-۶).



شکل ۶-۶- تعیین حریم کیفی توسط نگاشت سیستم جریان

#### ب- الزامات نقشه

- سطح ایستابی که قبلاً تهیه شده و یا از اطلاعات موجود تهیه می شود.
- انجام بعضی آزمایشات هیدرولوژیکی برای تهیه نقشه سطح ایستابی و سپس تعیین ناحیه مشارکت الزامی است.

#### ج- مزایا

- روش دقیق تری است، چرا که هندسه سیستم جریان آب زیرزمینی را نیز در نظر می گیرد.
- نسبتاً ساده است، چرا که به آزمایشات هیدروژئولوژیکی محدودی نیاز دارد.

- اگر داده‌های کافی در دسترس باشد، نیازی به بررسی‌های میدانی و آزمایش در محل ندارد.
- در این روش از مرزهای هیدروژئولوژیکی که قابلیت ترسیم شدن در نقشه را دارند استفاده می‌شود.

#### د- معایب

- آبخوان همگن و هدایت هیدرولیکی در سراسر منطقه ثابت در نظر گرفته می‌شود.
- جریان آب زیرزمینی به صورت دو بعدی بررسی می‌شود.
- اگر فاصله منبع (چاه یا چشمه) از خط تقسیم آب‌های زیرزمینی زیاد باشد، محدوده حریم کیفی تعیین شده می‌تواند به صورت غیرقابل قبولی بزرگ باشد.
- خطاهای کوچک در نقشه‌های سطح ایستابی می‌تواند به خطای بزرگی در تعیین ناحیه مشارکت منجر شود.
- در صورتی که اطلاعات هیدرولوژیکی کافی در دسترس نباشد، هزینه این روش می‌تواند زیاد باشد.

#### ۶-۶-۲- نگاشت جریان با محاسبه زمان انتقال

#### الف- روش کار

- برای تخمین سرعت جریان آب زیرزمینی از نقشه‌های سطح ایستابی استفاده می‌شود.
- به کارگیری پارامترهای سرعت جریان و زمان انتقال (TOT) مشخص، می‌تواند حریم کیفی را به صورت بخشی از ناحیه مشارکت (ZOI) که آب را در محدوده زمانی مشخصی وارد چاه یا چشمه (منبع آب بسته‌بندی) می‌کند تبدیل کند.

#### ب- الزامات

این روش به نقشه سطح ایستابی و برآورد ضریب هدایت هیدرولیکی و تخلخل منطقه نیاز دارد.

#### ج- مزایا

- استفاده از شاخص زمان انتقال، امکان می‌دهد در شرایطی که ناحیه مشارکت به صورت غیرقابل قبولی بزرگ است، حریم کیفی به صورت بخشی از ناحیه مشارکت منبع، تعیین شده تا از وسعت قابل قبولی برخوردار شود.
- چنان‌چه از روش تهیه نقشه سیستم جریان استفاده شده باشد، اضافه کردن شاخص زمان انتقال به محاسبات کار سختی نخواهد بود.
- این روش مستلزم استفاده از روش‌های محاسباتی پیشرفته نیست.

**د- معایب**

- بروز خطا در محاسبه تخلخل و هدایت هیدرولیکی منجر به خطا در محاسبه زمان انتقال و در نتیجه تعیین حریم می‌شود.
- آبخوان همگن و هدایت هیدرولیکی در سراسر منطقه ثابت در نظر گرفته می‌شود.
- جریان آب زیرزمینی به صورت دو بعدی بررسی می‌شود.
- وجود ناحیه‌ای در منطقه که قابلیت انتقال بالایی دارد، منجر به بروز خطای زیادی در محاسبه زمان انتقال و متعاقب آن، حریم کیفی می‌شود.

**۶-۶-۳- نگاشت جریان با معادله جریان یکنواخت****الف- روش کار**

- با نقشه‌های سطح ایستابی در سطوح ایستابی شیبدار، برای تعیین ناحیه مشارکت از معادلات جریان یکنواخت استفاده می‌شود.
- توسط این معادلات، سطح ایستابی پیش از پمپاژ و مرزهای متقاطع برای تعیین حریم کیفی تعیین می‌شود. در شکل (۶-۷) این موضوع به همراه معادلات این روش نمایش داده شده است.

**ب- الزامات**

در این روش لازم است نقشه سطح ایستابی تهیه و ضریب هدایت هیدرولیکی، تخلخل و ضخامت آبخوان محاسبه شود.

**ج- مزایا**

- ناحیه مشارکت بدون نیاز به نقشه حاوی جزییات مخروط افت متاثر از پمپاژ، تعیین می‌شود که باعث کاهش عملیات جمع‌آوری داده در محل می‌شود.
- این روش، بسیار ساده است و به تجربه و دانش زیاد هیدروژئولوژیکی نیاز ندارد.
- از داده‌های به‌دست آمده از نقشه سطح ایستابی استفاده می‌شود.



جریان آب زیرزمینی به صورت دو بعدی بررسی می‌شود. از اثرات مرزهای طبیعی هیدرولوژیکی (البته به جز مرزهای خط تقسیم آب زیرزمینی)، غیر همگن بودن سفره آب زیرزمینی و تغذیه غیر یکنواخت صرف نظر شده است. اگر فاصله منبع (چاه یا چشمه) از خط تقسیم آب زیرزمینی زیاد باشد، محدوده حریم کیفی تعیین شده می‌تواند به صورت غیرقابل قبولی بزرگ باشد. خطاهای کوچک در تهیه نقشه‌های سطح ایستابی یا محاسبه تخلخل و هدایت هیدرولیکی می‌تواند به خطای بزرگی در تعیین ناحیه مشارکت منجر شود.

#### ۶-۶-۷- مدل‌های عددی

در این روش از برنامه‌های کامپیوتری برای محاسبه جریان سه بعدی آب زیرزمینی و شبیه‌سازی مسیرهای جریان آلاینده‌ها استفاده می‌شود. امروزه مدل‌های عددی بسیاری در این زمینه توسعه داده شده است. این مدل‌ها جریان آب زیرزمینی و آلاینده‌ها را به صورت دو بعدی و یا سه بعدی مدل می‌کنند. این مدل‌ها به داده‌های مشابه با روش‌های تحلیلی و نقشه‌های هیدروژئولوژیکی نیازمند است، در مقابل از توانایی پردازش بیش‌تری برخوردار هستند. این روش به عنوان توانمندترین روش تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این مدل‌ها تقریباً در تمام شرایط هیدرولوژیکی قابل استفاده هستند.

#### الف- الزامات مدل

این روش به مجموعه داده‌های کامل و با جزییات ژئوهیدرولوژیکی شامل هندسه سفره آب زیرزمینی، مرزهای ژئوهیدرولوژیکی، تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی در سطوح افقی و عمودی، تخلخل، نرخ پمپاژ، ضریب جذب سفره، توزیع فضای تغذیه (ورودی) سفره و البته تجربه کافی در کار با مدل‌های عددی نیاز دارد.

#### ب- مزایا

این روش دقیق‌ترین روش برای تعیین منطقه مشارکت است. مدل‌های عددی موجود، معمولاً سفره آب زیرزمینی را به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی و تغییرات سطح آب زیرزمینی را با دقت خوبی محاسبه می‌کنند. در مقایسه با سایر روش‌ها، مسیرهای جریان آب زیرزمینی و زمان انتقال را با دقت بسیار بیش‌تری تعیین می‌کنند. در تمام شرایط هیدروژئولوژیکی قابل استفاده هستند و از دقت زیادی برخوردار هستند.

#### ج- معایب

برای واسنجی<sup>۱</sup> و رواسنجی<sup>۲</sup> به مجموعه جامع و کامل داده‌ها نیاز دارد.

1- Calibration  
2- Verification

فرایند شبیه‌سازی معمولاً زمان‌بر و پرهزینه است، چرا که علاوه بر داده‌های زیاد به متخصص نیز نیازمند است.

## ۶-۷- تعیین بهترین روش برای مشخص کردن حریم کیفی

همان‌طور که در بخش‌های گذشته بیان شد، روش‌های مختلف تعیین حریم کیفی دارای نتایج، مزایا، معایب و نیازمندی‌های متفاوتی دارند:

- بعضی روش‌ها به داده‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی زیادی نیاز دارند. این روش‌ها منجر به تولید نقشه‌هایی می‌شوند که جهت و مشخصات جریان آب زیرزمینی را به همراه جزییات زیادی مشخص می‌کنند.
- برخی از روش‌های دیگر نقشه‌های با جزییات زیاد تولید نمی‌کنند، ولی اطلاعات مفیدی برای آغاز یک طرح کارآمد در حفاظت کیفی منابع آب بسته‌بندی را در اختیار می‌گذارند.

عواملی که بر انتخاب روش موثر اند عبارتند از:

- ویژگی‌های روش‌ها (مزیت و معایب)
  - میزان تهدیدهای موجود برای منبع آب،
  - میزان برداشت آب و جمعیتی که ممکن است تحت تاثیر قرار گیرند،
  - شرایط ژئوهیدرولوژیکی منطقه،
  - میزان بیلان و زمان تخصیص یافته برای تعیین محدوده. دقت نقشه‌های تهیه شده رابطه مستقیمی با هزینه و وقت صرف شده دارد.
- به طور کلی برای انتخاب روش تعیین حریم کیفی لازم است علاوه بر ویژگی‌های هر یک از روش‌ها، به سه معیار تصمیم‌گیری مهم توجه شود [۳۱].

- معیارهای هیدرولوژیکی و ژئوهیدرولوژیکی
- اهداف برنامه حفاظت کیفی
- منابع در دسترس

## ۶-۷-۱- معیارهای ژئوهیدرولوژیکی

روش‌های مختلف، شرایط ژئوهیدرولوژیکی منطقه را با جزییات و دقت متفاوت در نظر می‌گیرند. روشی که شرایط ژئوهیدرولوژیکی و رژیم جریان را با دقت مناسب و به صورت واقع‌بینانه شبیه‌سازی کند، نتایج قابل قبول‌تری را خواهد داشت. از این‌رو، باید در هنگام انتخاب روش تعیین حریم کیفی شرایط ژئوهیدرولوژیکی منطقه مورد بررسی اولیه قرار گیرد.

ویژگی‌های ژئوهیدرولوژیکی مهم عبارت‌اند از:

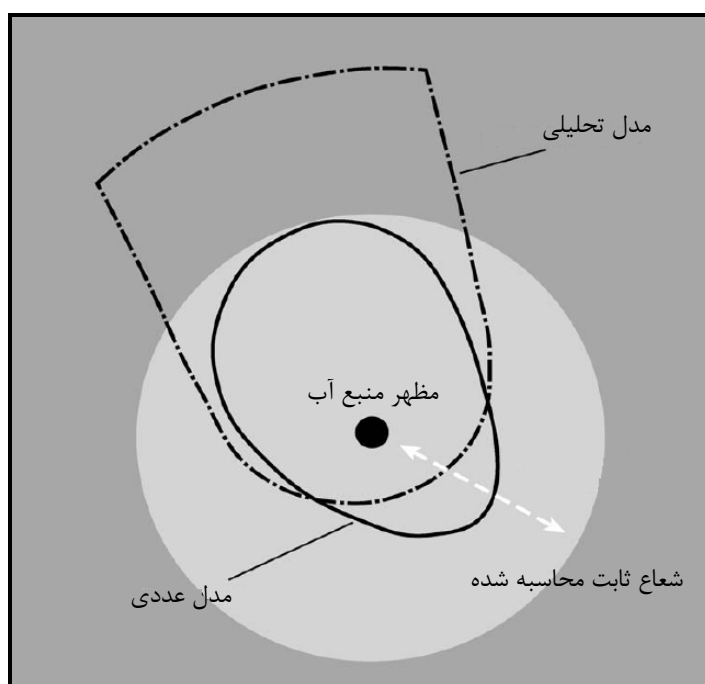
- نوع آبخوان
- ویژگی‌های هیدرولیکی جریان



- جنس خاک منطقه
- جهت و گرادیان هیدرولیکی جریان
- مرزهای جریان آب زیرزمینی

باید توجه داشت که روش انتخابی به دلیل شرایط ژئوهیدرولوژیکی ویژه منطقه دچار خطا یا نتیجه غیرقابل دفاع نشود [۳۱].

حریم کیفی تعیین شده برای یک منبع آب بسته بندی در شکل (۶-۸) نمایش داده شده است. همان طوری که مشاهده می شود با افزایش دقت و صرف هزینه انتظار می رود حریم کیفی محاسبه شده وسعت کمتری داشته باشد. این موضوع می تواند در برخی شرایط از اهمیت ویژه ای برخوردار باشد و در انتخاب روش محاسبه تاثیرگذار باشد.



شکل ۶-۸- نمایش حریم کیفی با روش های مختلف



# فصل ۷

---

---

## مدیریت حریم کیفی



## ۷-۱- کلیات

پس از تعیین حریم کیفی و تعیین کانون‌های آلاینده و ارزیابی آسیب‌پذیری منبع آب بسته‌بندی، متقاضی باید برنامه کنترل منابع آلودگی برای ممانعت از ورود آلاینده‌های محتمل را ارائه دهد برای هر یک از منابع آب بسته‌بندی با توجه به خصوصیات منبع آب زیرزمینی و آلاینده، از راهکارهای کنترلی مناسب می‌توان استفاده کرد. شرکت آب منطقه‌ای موظف است پس از اعطای مجوز و تعیین حریم کیفی، مانع فعالیت کاربری‌هایی که می‌تواند کیفیت منبع آب بسته‌بندی را تحت تاثیر قرار دهند شود. اما پیش از اعطای مجوز، متقاضی موظف است طبق بند ۹-۲-۱۴ برنامه کنترل حفاظت کیفی را در خصوص کانون‌های آلودگی موجود ارائه دهد. انواع این کانون‌ها در فصل ۴ تشریح شده‌اند. در این فصل اهداف و برنامه مدیریت حریم کیفی از دو دیدگاه، متقاضی و شرکت آب منطقه‌ای بیان می‌شود.

## ۷-۲- اهداف و منظورهای برنامه مدیریت حریم کیفی

- هدف اصلی مدیریت حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی، کنترل منابع آلاینده موجود و یا محتمل در حریم کیفی برای جلوگیری از آلوده ساختن منبع آبی است. با این هدف، منظورهای برنامه مدیریت حریم کیفی عبارتند از:
- داشتن برنامه کاربری اراضی و مکانیزم مدیریتی مناسب در حریم کیفی برای جلوگیری از ورود آلاینده به منبع آبی
  - تبیین اهمیت فعالیت‌های پایشی و قانون‌گذاری برای سازمان‌های ذی‌ربط محلی، منطقه‌ای و کشوری برای مدیریت حریم کیفی
  - شناسایی و به حداقل رساندن کاربری‌های اراضی که منابع آبی آب بسته‌بندی منطقه را به طور جدی تهدید می‌کنند
  - شناسایی و سازمان‌دهی منابع اجتماعی-اقتصادی منطقه مانند صاحبان صنایع، کشاورزان و دامپروران برای مدیریت حریم کیفی به صورت داوطلبانه
  - ایجاد انگیزه برای مالکان اراضی منطقه برای بازداشتن آن‌ها از ایجاد تهدید برای آلوده شدن منابع آبی آب بسته‌بندی
  - آموزش عمومی، صاحبان کارخانجات، کارگاه‌ها، اراضی کشاورزی و دامپروری و هم‌چنین صاحبان صنعت آب بسته‌بندی برای محافظت از منبع آب
  - شناخت روش‌های ممکن برای توسعه و بهبود اثر روش‌های مدیریت حریم کیفی موجود. بدین منظور لازم است عوامل جدیدی که در گذشته به آن‌ها توجه نشده است و یا به تازگی به وجود آمده‌اند، مانند کاربری‌های جدید مورد توجه قرار گیرد.
  - استفاده از بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP) در مدیریت حریم کیفی مانند مخازن ذخیره آلاینده و تکنیک‌های کنترل رواناب

### ۷-۳- راهکارهای پیشنهادی

برنامه کنترل آلودگی باید توسط مشاور متقاضی تهیه شود. این برنامه باید با توجه به کانون‌های آلودگی و مکانیزم انتقال آن‌ها تدوین شود. در این بخش برخی اقدامات قابل اجرا پیشنهاد می‌شود.

#### ۷-۳-۱- بهترین راهکارهای مدیریتی (BMPs)

بهترین راهکارهای مدیریتی شامل مجموعه اقدامات وسیعی است که معمولاً در خصوص کانون‌های آلودگی کشاورزی و یا کنترل رواناب قابل استفاده است. این اقدامات شامل کنترل رواناب در منطقه و ممانعت از ورود آن‌ها به داخل حریم کیفی و ممانعت از نشت رواناب‌های منطقه به داخل حریم کیفی و یا به داخل مظهر، رعایت اصول کاربرد، جابه‌جایی و نگهداری مواد در کارخانه، حفظ و نگهداری چاه (گمانه)، استفاده از عمق و عرض دهانه مناسب برای چاه، رعایت اصول ساخت و ساز مناسب در حریم کیفی و مدیریت مجاری موجود در حریم کیفی که می‌توانند مجرای ورود آلودگی به سفره آب زیرزمینی باشند، می‌شود.

#### ۷-۳-۲- تعهدنامه

متقاضی می‌تواند با صاحبان یا مالکان کاربری‌های آلوده‌کننده تعهد کند و مانع از ایجاد تهدید در منطقه شود.

#### ۷-۳-۳- تدوین برنامه برای مقابله با شرایط اضطراری

برنامه مشخصی برای مقابله با حوادث غیرمترقبه و اضطراری را تدوین کند تا در شرایط پیش‌بینی نشده بتواند خطر به‌وجود آمده را به خوبی مدیریت کند.

#### ۷-۳-۴- ایجاد شبکه پایش کیفیت آب زیرزمینی

ایجاد شبکه پایش مناسب در حریم کیفی و نمونه‌گیری از آب سفره آب زیرزمینی به‌ویژه در بالا دست مظهر چشمه می‌شود.

#### ۷-۳-۵- آموزش همگانی

این اقدام شامل آموزش و آگاه‌سازی کاربران از تاثیر فعالیت‌های آن‌ها بر کیفیت آب منبع آب بسته‌بندی است.

#### ۷-۳-۶- خرید و مالکیت بر کاربری‌های آلوده‌کننده

با خرید و مالکیت قانونی بر کاربری‌ها و تغییر شرایط و یا حذف فعالیت‌های آلوده‌کننده می‌توان مانع از آلوده شدن منبع آب بسته‌بندی شد.

### ۷-۳-۷- کنترل کاربری و الزام آن‌ها به رعایت استانداردها

کاربری‌های آلوده‌کننده باید الزامات و استانداردهای تعیین شده را رعایت کنند، در غیر این صورت باید پیگیری‌های قانونی به عمل آید.

### ۷-۳-۸- تشویق و آگاه‌سازی کاربرها

می‌توان با تشویق و آگاه‌سازی کاربرها، مکانیزم فعالیت آن‌ها را به نحوی تغییر داد که از اثر آلودگی آن‌ها کاسته شده و یا از بین برود [۴۳].

### ۷-۴- توسعه برنامه مدیریت حریم منابع آب بسته‌بندی در منطقه توسط شرکت آب منطقه‌ای

شرکت آب منطقه‌ای از آن‌جاکه از قدرت اجرایی بالاتری برخوردار است، لازم است متقاضیان را در اجرای برنامه مدیریت حریم کیفی یاری کند. به همین منظور و در راستای اهداف کلان‌تر حفاظت کیفی منابع آب منطقه، لازم است برنامه‌ریزی مناسبی در خصوص مدیریت حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی منطقه را تدوین و اجرا کند. لذا باید راهکارها و برنامه‌های عملیاتی<sup>۱</sup> برای حفظ منابع آب بسته‌بندی از آلوده شدن توسط منابع آلاینده بر اثر عوامل طبیعی (مثل نوسانات آب و هوایی<sup>۲</sup> و تغییر اقلیم<sup>۳</sup>) و یا عوامل انسانی همچون تغییر کاربری زمین در محدوده حریم کیفی ارائه شده و نقش و وظایف سازمان‌های دولتی و مشارکت عمومی تبیین شود. حفاظت منابع آب بسته‌بندی از طریق شناسایی مکانیزم تغذیه منابع آب بسته‌بندی، شناسایی منابع آلوده‌کننده منطقه و اجرای اقدامات مدیریتی در اطراف منبع آب بسته‌بندی برای به حداقل رساندن تهدید آلاینده‌ها صورت می‌گیرد.

### ۷-۵- ارکان اساسی و راهبردی مدیریت کیفی منابع آب بسته‌بندی

ارکان اساسی و راهبردی مدیریت کیفی منابع آب بسته‌بندی توسط شرکت آب منطقه‌ای عبارتند از:

- تعیین نقش و وظایف سازمانی و مردمی
- تعیین محدوده حریم کیفی
- شناسایی منابع آلاینده درون محدوده مطالعاتی و حریم کیفی و تدوین برنامه پایش
- توسعه طرح اجرایی محلی برای حفاظت حریم کیفی
- تدوین برنامه آمادگی<sup>۴</sup> برای مواجهه با منبع آبی آلوده شده

1- Action Plan

2- Climate Variability

3- Climate Change

4- Preparedness Plan or Contingency Plan

- تدوین برنامه مکان‌یابی منابع جدید چشمه یا چاه، و
- تدوین برنامه ارتقای مشارکت عمومی و صاحبان صنایع آب بسته‌بندی

#### ۷-۵-۱- تعیین نقش و وظایف سازمانی

این راهکار برای شناسایی نقش و تعیین وظایف افراد حقوقی و حقیقی ذیربط در برنامه مدیریت کیفی منابع آب بسته‌بندی طرح ریزی می‌شود. با مشخص شدن مسوول مدیریت منابع آب بسته‌بندی در منطقه و شناسایی ذینفعان<sup>۱</sup> و ذی‌دخلان مانند شرکت آب بسته‌بندی، کاربران اراضی و دستگاه‌های محلی، استانی و کشوری، اقدامات مدیریتی کیفیت منابع آب بسته‌بندی به صورت هماهنگ و کارآمد به اجرا می‌رسد. منظور از ذینفعان و ذی‌دخلان، افراد حقیقی یا حقوقی هستند که به نحوی تاثیر گذار یا تاثیرپذیر از این برنامه هستند. برای ایجاد ارتباط کارآمد پیشنهاد می‌شود در صورت نیاز گروه‌های محلی شامل نمایندگان شرکت آب بسته‌بندی، شهرداری، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، روستایی‌هایی که حقایقه‌ای از منبع آبی دارند، تشکیل شود. تشکیل چنین گروه‌هایی موجب افزایش سطح همکاری‌ها، رفع مناقشات، انسجام مدیریت کیفی منابع آب بسته‌بندی و تضمین کیفیت اجرای برنامه و پایداری آن می‌شود.

#### ۷-۵-۲- تعیین محدوده حریم کیفی

محدوده‌های حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی باید به خوبی بررسی و در برنامه‌ریزی‌های آینده مورد توجه قرار گیرد.

#### ۷-۵-۳- شناسایی منابع آلاینده و تدوین برنامه پایش

پس از آن که حریم کیفی منبع آب بسته‌بندی مشخص شد، شرکت آب منطقه‌ای باید منابع آلاینده را شناسایی و لیستی از «منابع آلاینده معین و شناخته شده» و «منابع آلاینده محتمل» شهری (روستایی)، کشاورزی و صنعتی را تهیه کند و بانک اطلاعاتی مناسبی در این خصوص را تهیه کند.

#### ۷-۵-۴- توسعه طرح اجرایی محلی برای مدیریت حریم کیفی

با توجه به شرایط منطقه‌ای و منابع آلاینده موجود در محدوده حریم کیفی چاه<sup>۲</sup> و یا چشمه<sup>۳</sup> از راهکارهای مدیریتی مختلفی مانند استفاده از ابزارهای پایش، اجرای قوانین کاربری اراضی، تدوین سیاست بهره‌برداری، استفاده از بهترین راهکارهای مدیریتی<sup>۴</sup> (BMPs) و آموزش و آگاه‌سازی عمومی می‌توان استفاده کرد. این راهکارها باید منجر به از بین رفتن یا به حداقل رساندن فعالیت‌های کاربری اراضی مستعد برای آلوده کردن منبع آب بسته‌بندی و تهدید آلاینده‌ها شود، برای مالکان اراضی قابل قبول بوده و آن‌ها را تشویق به همکاری کند.

1- Stakeholders

2- Well Field

3- Spring Shed

4- Best Management Practices



### ۷-۵-۵- تدوین برنامه آمادگی<sup>۱</sup> برای مواجهه با منبع آبی آلوده شده

شرکت آب منطقه‌ای که وظیفه حفاظت و مدیریت کیفی منابع آب بسته‌بندی محلی را برعهده دارد باید برنامه شفاف و از پیش تعیین شده‌ای برای مواجهه با منبع آبی آلوده شده داشته باشد تا در شرایط اضطراری بتواند به درستی و به سرعت تصمیم‌گیری و اقدام کند. این موضوع از چند جهت بسیار مهم است. یکی آن که، منابع آب بسته‌بندی با سلامت و بهداشت مصرف‌کنندگان و نیز با امان‌های هیدرولوژیکی دیگر مانند آب زیرزمینی، رودخانه و دریاچه در ارتباط است و آسیب‌دیدن هر یک منجر به خسارت‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی هنگفتی است. دیگر آنکه وجود برنامه آمادگی می‌تواند انسجام برنامه حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی را برای صاحبان صنایع و سازمان‌های ذی‌دخل افزایش دهد. در برنامه آمادگی برای مواجهه با منبع آب بسته‌بندی آلوده باید:

- پرسنل، تجهیزات آزمایشی، مکانیزم اجرایی و ابزار لازم برای جلوگیری سریع و موثر از آلودگی بیش‌تر مشخص شده باشد.
- قواعد و معاهدات پاسخ‌گویی (بین سازمان ذی‌دخل و صاحب صنعت)، روند اطلاع‌رسانی و روش‌های مدیریت بحران رخ داده بر اساس ویژگی‌های آلاینده موجود ذکر شده باشد.
- روش کار مواجهه با آلاینده‌های شیمیایی تبیین شده باشد.
- توانایی آن را داشته باشد که در صورت امکان (یا ضرورت) منبع آبی جایگزین، برای رفع نیاز مصرفی استفاده کنندگان و یا رفع نیازهای آبی امان‌های دیگر در منطقه که ممکن است در این زمان متضرر شده باشند، را معرفی کند.

### ۷-۵-۶- تدوین برنامه مکان‌یابی منابع جدید چشمه یا چاه و تدوین برنامه بهره‌برداری

در مطالعات تعیین حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی، اطلاعات مختلفی در خصوص مکانیزم تغذیه منبع آب بسته‌بندی، میزان قابلیت استفاده از آب زیرزمینی، آلاینده‌ها و چگونگی انتقال آن‌ها به منبع آبی جمع‌آوری می‌شود. از این‌رو لازم است در هنگام مکان‌یابی منبع جدید تغییرات هیدرولوژیکی، اقتصادی و ژئولوژیکی بر منابع آبی تحت تاثیر برآورد شود. از آنجایی که تمایل برای بهره‌برداری از منابع آبی برای بسته‌بندی در کشور رو به افزایش است، مکان‌یابی منابع جدید، تعیین حریم کیفی و تدوین برنامه حفاظت حریم کیفی برای منابع آبی آب بسته‌بندی در حال تاسیس از جهات مختلف اقتصادی، اجتماعی و فنی تحلیل و بررسی شود.

### ۷-۵-۷- تدوین برنامه ارتقای مشارکت عمومی و صاحبان صنایع آب بسته‌بندی

بهترین راهکار ایجاد انگیزه برای صاحبان صنایع و ساکنین منطقه برای رعایت حریم کیفی منابع آبی، توسعه مشارکت عمومی است. مشارکت عمومی پشتوانه محکمی برای موفقیت و تداوم مدیریت حریم کیفی منابع آبی آب

1- Preparedness Plan or Contingency Plan

بسته‌بندی است. آگاه‌سازی صاحبان صنایع و مردم از این که فعالیت‌های آن‌ها چگونه می‌تواند منابع آبی را آلوده کند و این که چگونه می‌توانند مانع از این اتفاق ناخوشایند شوند، می‌تواند بسیار مفید باشد. این کار می‌تواند در قالب برنامه‌های آموزشی در مدارس، رادیو، تلویزیون، روزنامه و شوراها محلی انجام شود. مدیران و کارشناسان ذیربط صنایع آب بسته‌بندی باید اصول مدیریت حریم کیفی را آموزش دیده و متقاعد شوند که صرف هزینه، همکاری و مشارکت با سازمان‌های ذی‌دخل برای رعایت این اصول، نه تنها حفظ محیط‌زیست و سلامت مصرف‌کنندگان، بلکه منافع شرکت را نیز به همراه دارد [۳۲].

## ۷-۶- سازماندهی کاربری اراضی در اطراف منبع آب بسته‌بندی

طبق تعریف، حریم کیفی به محدوده‌ای پیرامون منبع آب بسته‌بندی اطلاق می‌شود که اگر آلودگی در آن رخ دهد، شرایط طبیعی خاک و آب زیرزمینی منطقه توانایی تصفیه و رفع آلودگی را ندارد. شرکت آب منطقه‌ای به عنوان مسوول مدیریت و حفاظت منابع آب منطقه، باید توجه داشته باشد که کاربری‌هایی که در داخل و یا مجاورت حریم کیفی قرار دارند باید با سیاست‌های حریم کیفی سازگاری کافی داشته باشند. کاربری‌هایی سازگار محسوب می‌شوند که از موادی که ممکن است کیفیت آب بسته‌بندی را تهدید کنند، استفاده (ذخیره) نکرده و حتی در منطقه جا به جا نکنند. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود کاربری‌هایی که در منطقه منبع آب بسته‌بندی هستند مورد ارزیابی قرار گرفته و پتانسیل انتقال آلودگی و بزرگی خطر احتمالی آن‌ها برآورد شود [۳۱] و در صورت وجود خطر از فعالیت آن‌ها ممانعت به عمل آید و یا نسبت به سازگار کردن آن‌ها اقدامات لازم انجام شود.

## ۷-۷- تعیین استراتژی جهت استقرار کاربری‌های سازگار در اطراف منبع

کاربری‌های سازگار باید پتانسیل بسیار اندکی برای ایجاد آلودگی در حریم کیفی داشته باشند.

### ۷-۷-۱- استراتژی‌ها جهت استقرار کاربری‌های سازگار

– تعیین کاربری‌های سازگار

برای این منظور لازم است ارزیابی ریسک<sup>۱</sup> آن کاربری صورت گیرد. به این معنا که مواد مورد استفاده، ضایعات تولیدی و سیاست بهره‌برداری آن کاربری ارزیابی شده و پتانسیل انتقال آلودگی‌های محتمل به داخل حریم کیفی و منبع آب بسته‌بندی سنجیده شود.

– تدوین و اعمال قوانین محدود کننده برای کاربری اراضی

قوانین تدوین شده در سطوح محلی و ملی می‌توانند مانع از فعالیت کاربری‌های خطرناک و یا سازگارسازی کاربری‌های خطرناک شوند.

— به کارگیری بهترین راهکارهای مدیریتی<sup>۱</sup> (سازه‌ای و غیر سازه‌ای) مانند مدیریت رواناب، بازسازی و اصلاح چاه‌ها، پایش کیفی منطقه.

— بهترین راهکارهای مدیریتی به کنترل آلودگی‌های محتمل کمک کرده و مانع ورود آلاینده‌ها به داخل منبع آب بسته‌بندی می‌شود. به کارگیری بهترین راهکارهای مدیریتی در محدوده حریم کیفی یا مجاورت کاربری‌های منطقه می‌تواند میزان سازگاری کاربری‌های منطقه با سیاست حفاظت حریم کیفی را افزایش دهد.

---

1- Best Management Practices (BMPs)



# فصل ۸

---

---

**حفاظت کیفی از منابع آب بسته‌بندی**

**با منشا رودخانه‌های طویل**



## ۸-۱- کلیات

حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی ارائه شده در این راهنما، به عنوان محدوده‌ای پیرامون منبع برداشت، برای منابع آب بسته‌بندی که منشأ آن‌ها رودخانه‌های طویل است و از طریق احداث آبگیر برداشت می‌شوند قابل استفاده نیست. حفاظت کیفی این قبیل از منابع آب بسته‌بندی در قالب برنامه‌های حفاظت و مدیریت کیفی رودخانه‌ها می‌گنجد که خود نیازمند بررسی و تدوین راهنمای ویژه ای است. با این حال، در این راهنما روش‌های متداول و خصوصیات حاکم به توصیه USEPA، برای حفاظت کیفی این دسته از منابع آب بسته‌بندی به اختصار تشریح شده است.

## ۸-۲- شناخت خصوصیات و روابط حاکم جهت تعیین حریم برای رودخانه‌ها

روابط حاکم در تعیین حریم کیفی منابع آب سطحی، مشابه روابطی است که در تعیین حریم کیفی چاه‌ها و چشمه‌ها استفاده می‌شود. USEPA بر این باور است که خطر منابع آلوده‌کننده بستگی بسیار زیادی به موقعیت مکانی منبع آلوده‌کننده دارد؛ به این معنا که در برخی مناطق، یک کانون آلودگی می‌تواند برای منبع آب سطحی که برای شرب استفاده می‌شود خطر جدی محسوب شود، اما همان منبع آلوده‌کننده در یک حوضه آبریز بزرگ‌تر خطر جدی محسوب نشود. برای حفاظت کیفی منابع سطحی آب بسته‌بندی از سه روش می‌توان استفاده کرد. این روش‌ها عبارتند از: روش زمان انتقال (TOT) جریان رودخانه<sup>۱</sup>، تعیین ناحیه حائل/میانگیر<sup>۲</sup> و حوضه آبریز تو در تو<sup>۳</sup>. روش اول برای حفاظت کیفیت آب آبگیرهای<sup>۴</sup> رودخانه استفاده می‌شود. دو روش آخر نه تنها برای حفاظت کیفی آبگیر، بلکه برای حفاظت حوضه آبریز نیز قابل استفاده است. در ادامه خصوصیات و روابط حاکم در این روش‌ها تشریح شده است.

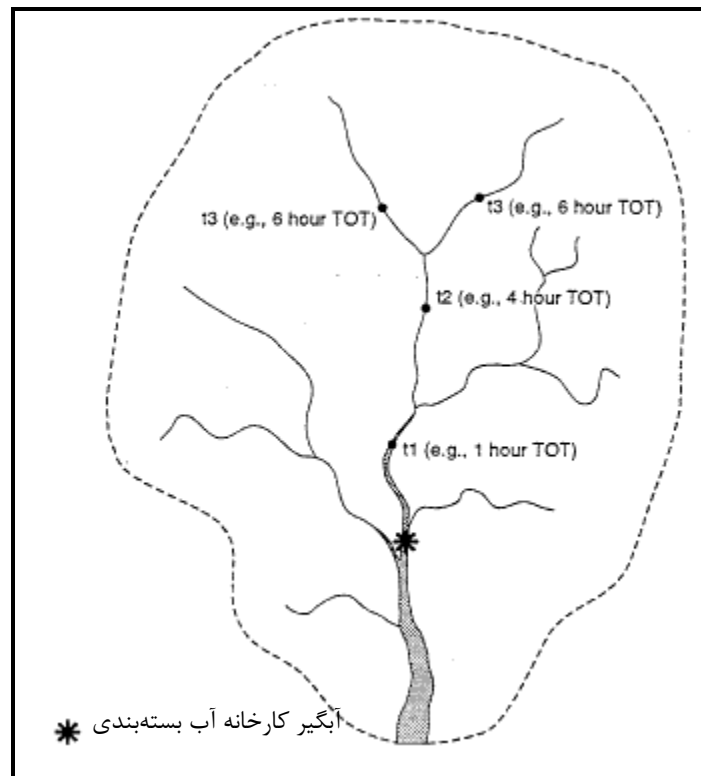
## ۸-۳- مروری بر روش‌های متعارف جهانی برای تعیین حریم کیفی منابع آب سطحی

## ۸-۳-۱- روش زمان انتقال (TOT) جریان رودخانه

هدف این روش، حفاظت کیفی آبگیر منبع سطحی آب بسته‌بندی به صورت مستقیم است. حال آن که هدف در روش‌های دیگر، حفاظت کیفی آبی است که وارد محل بهره‌برداری می‌شود. در این روش، حریم کیفی برای منبع آب بسته‌بندی محاسبه و تعیین نمی‌شود، بلکه این روش زمان انتقال (TOT) جریان رودخانه بین محل بهره‌برداری و یک نقطه در بالادست رودخانه (مانند یک نقطه پایش) را محاسبه می‌کند (شکل ۸-۱). با تعیین TOT های مختلف در محل‌های حساس در بالا دست محل بهره‌برداری، حفاظت کیفی مستقیم محل بهره‌برداری در پایین دست ممکن می‌شود. این روش معمولاً برای هشداردهی به محل‌های بهره‌برداری پایین دست (مانند محل بسته‌بندی آب) استفاده

1- Streamflow TOT  
2- Setback/buffer Zones  
3- Nested Watershed Area  
4- Intake

می‌شود. برای مثال، اگر آلودگی در محلی در بالا دست محل بهره‌برداری مشاهده شود، بهره‌برداری از منبع که در پایین‌دست قرار دارد، بسته به TOT محل در بازه زمانی مشخصی متوقف می‌شود، تا زمانی که آلودگی برطرف شود. با بستن آبگیر رودخانه و بهره‌برداری نکردن از آب در بازه زمانی مشخص، می‌توان از کیفیت آب بهره‌برداری شده حفاظت نمود. اما با این حال، این روش هیچ‌گونه مزیتی در خصوص عوارضی که آلودگی برای محیط‌زیست، گیاهان و جانوران رودخانه دارند، ندارد.



شکل ۸-۱- TOT های مختلف در نقاط پایش بالادست آبگیر کارخانه آب بسته‌بندی

### ۸-۳-۲- روش تعیین ناحیه حائل/میانگیر

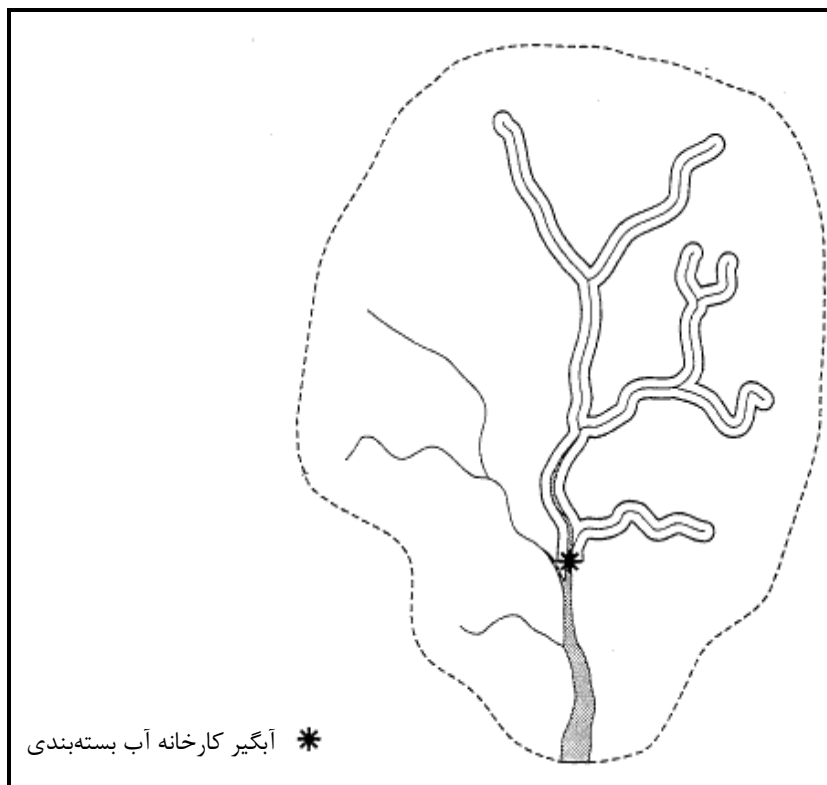
ناحیه حائل/میانگیر، مناطقی با پوشش گیاهی (طبیعی یا کاشته شده) در امتداد تمام شاخه‌های اصلی و فرعی رودخانه است (شکل ۸-۲). عرض ناحیه حائل معمولاً در حدود ۱۵ تا ۶۰ متر است. در ناحیه حائل (منطقه سبز<sup>۱</sup>) رسوباتی که دارای آلودگی اند فیلتر می‌شوند. همچنین با کم شدن سرعت رواناب سطحی در این ناحیه، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و امکان پالایش طبیعی آلودگی‌ها بیشتر می‌شود. علاوه بر این‌ها، ناحیه حائل تا حدودی امکان رخداد برخی واکنش‌ها مانند نورکافت<sup>۲</sup> بخار شدن و جذب آلودگی‌ها توسط گیاهان را افزایش می‌دهد. ناحیه

1- Green Area

2- Photolysis



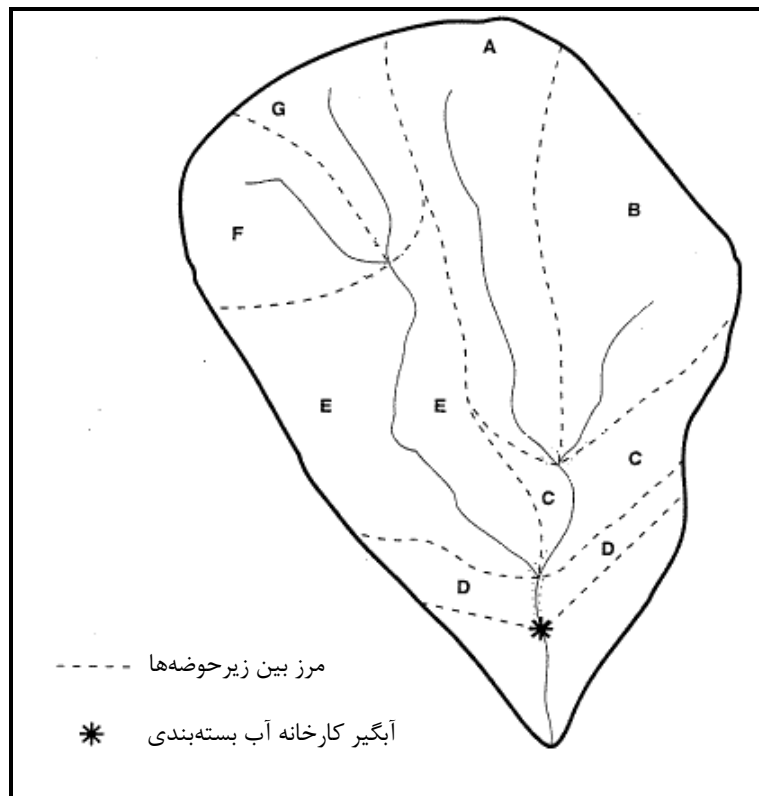
حائل کمک می‌کند تا از میزان ورود آلودگی‌های غیر محلول در رودخانه نیز کاسته شود. برخی تحقیقات ثابت کرده‌اند که وجود ناحیه حائل در اطراف رودخانه منجر به کاهش چشمگیری در نیترات آب رودخانه می‌شود.



شکل ۸-۲- استفاده از ناحیه حائل در طول شاخه‌های بالادست آبگیر کارخانه آب بسته‌بندی

### ۸-۳-۳- حوضه آبریز تو در تو

این روش، حالت توسعه یافته روش زمان حرکت رودخانه است که در بالا تشریح شد. در این روش، حوضه آبریز بالا دست آبگیر کارخانه آب بسته‌بندی به چند زیرحوضه تقسیم می‌شود. در این روش، زمان انتقال (TOT) از تمامی نقاط در هر یک از زیرحوضه‌ها به دهانه آن زیرحوضه برابر زمان انتقال شاخه رودخانه‌ای که در آن زیرحوضه قرار گرفته است فرض می‌شود. زمان انتقال زیرحوضه‌ها تا رسیدن به آبگیر کارخانه مورد نظر با هم جمع می‌شوند. در این روش، اگر در یکی از زیر حوضه‌ها آلودگی رخ دهد که زمان کافی برای تصفیه طبیعی در حین انتقال تا منبع برداشت را نداشته باشد، لازم است اقدامات مدیریت آلودگی در آن زیر حوضه به اجرا برسد. USEPA پیشنهاد می‌کند که برای دقت بیش‌تر محاسبه TOT در حوضه‌های بزرگ، زیرحوضه‌های بیش‌تری در نظر گرفته شود [۳۸].



شکل ۸-۳- تقسیم حوضه بر اساس توپوگرافی به چند زیر حوضه

# فصل ۹

---

---

**مطالعه موردی برنامه حریم کیفی**

**چاه و چشمه**



## ۹-۱- کلیات

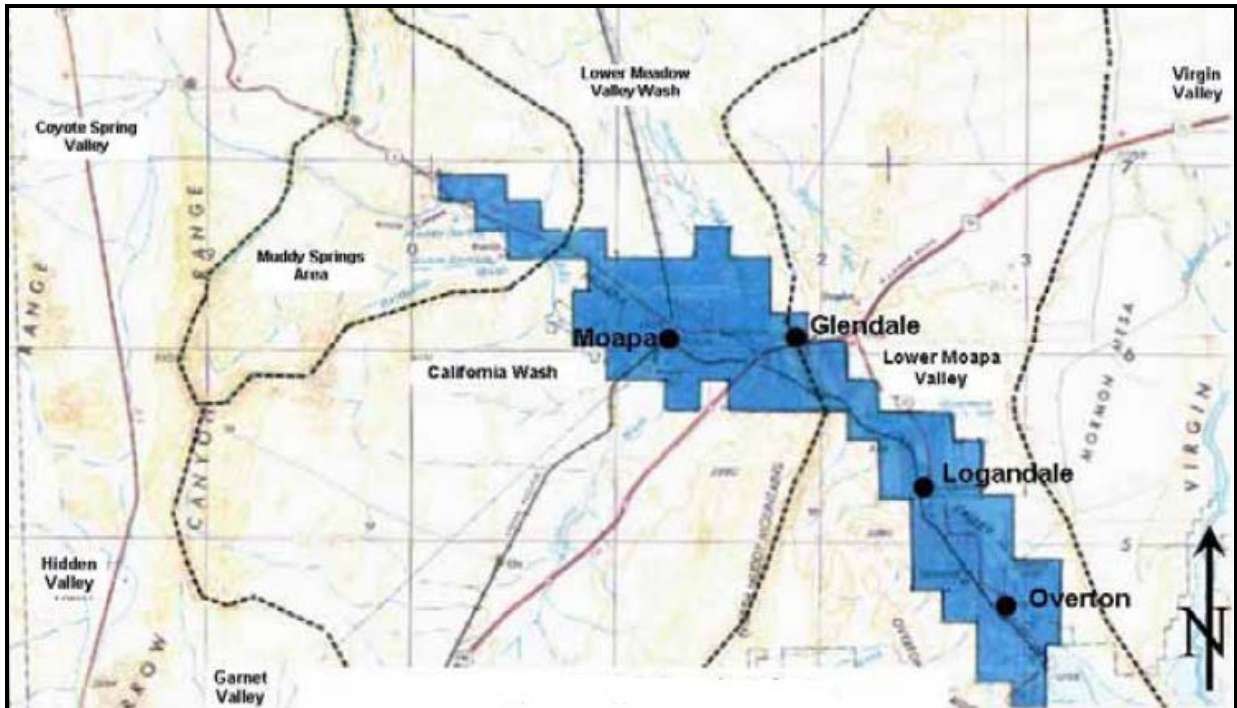
USEPA در سال ۱۹۹۳، مصوبه‌ای با عنوان قانون آب آشامیدنی سالم (SDWA)<sup>۱</sup>، که در آن به اجرای برنامه حریم کیفی برای منابع تامین آب آشامیدنی مانند چاه‌ها و چشمه‌ها نیز پرداخته شده است را منتشر کرد. در این مصوبه بین چشمه‌ها و چاه‌های تامین آب شرب شهرها، چشمه‌ها و چاه‌های آب آشامیدنی که به صورت بسته‌بندی و بطری شده بهره‌برداری می‌شوند و به صورت خصوصی در بازار به فروش می‌رسند تفاوتی قائل نشده است. به عبارتی روش‌های مورد استفاده برای تعیین حریم کیفی برای منابع آب بسته‌بندی مشابه سایر چاه‌ها و چشمه‌هاست. اما از آن‌جاکه معمولاً مالکان چاه‌ها و چشمه‌های آب بسته‌بندی از امکانات و قدرت اجرایی پیشگیرانه محدودی برای ممانعت از آلوده شدن آب زیرزمینی یا منبع آب برخوردارند، غالباً حفاظت از آب زیرزمینی در مناطقی که این شرکت‌ها تاسیس می‌شوند حساسیت زیادی داشته و مورد توجه مدیران و حاکمان آب منطقه‌ای‌هاست. به دلیل همین حساسیت‌ها، انجمن بین‌المللی آب بطری<sup>۲</sup> (IBWA) و سازمان‌های حاکم بر آب کشورها معمولاً مدیریت منابع آب بسته‌بندی و منابع تامین کننده آب شهری را از هم تفکیک می‌کنند. از اینرو امروزه حفاظت از آبخوان‌هایی که چشمه‌ها و چاه‌های آن توسط شرکت‌های آب بسته‌بندی برداشت می‌شود به صورت مساله‌ای برای هیدرولوژیست‌ها و ژئولوژیست‌ها تبدیل شده است که با همکاری سازمان‌ها و حاکمان آب مناطق بررسی می‌شوند [۵۴].

در این فصل به تفصیل به بررسی مطالعه موردی انجام شده برای برنامه حریم کیفی چاه و چشمه‌های واقع در Clark County در ایالت تگزاس ایالات متحده در سال ۲۰۰۵ میلادی، از مراحل ابتدایی تا مرحله پایانی، پرداخته شده است. در این بخش، برنامه حریم کیفی، اهداف آن، مطالعات انجام شده، قوانین و ضوابط رعایت شده در این برنامه اشاره شده است. برای مطالعه بیش‌تر مفاهیم و تعاریف پایه حریم کیفی، به فصل‌های گذشته این راهنما می‌توان مراجعه کرد. در این بخش به مطالعات پایه برای تعیین حریم کیفی، روش‌های مختلف تعیین حریم کیفی و منطق انتخاب آن‌ها به همراه نکات کاربردی آن‌ها اشاره می‌شود.

مطالعه موردی بررسی شده در این فصل توسط آب منطقه‌ای Moapa Valley و در منطقه‌ای شامل جوامع نسبتاً کم جمعیت Overton، Logandale، Glendale، Moapa و منطقه دارای چشمه Muddy انجام شده است. موقعیت مکانی و وسعت منطقه در شکل (۹-۱) نمایش داده شده است. این مطالعه برای تعیین حریم کیفی پنج منبع آب اجرا شده که در شکل (۹-۲) نمایش داده شده است.

1- Safe Drinking Water Act

2- International Bottle Water Association

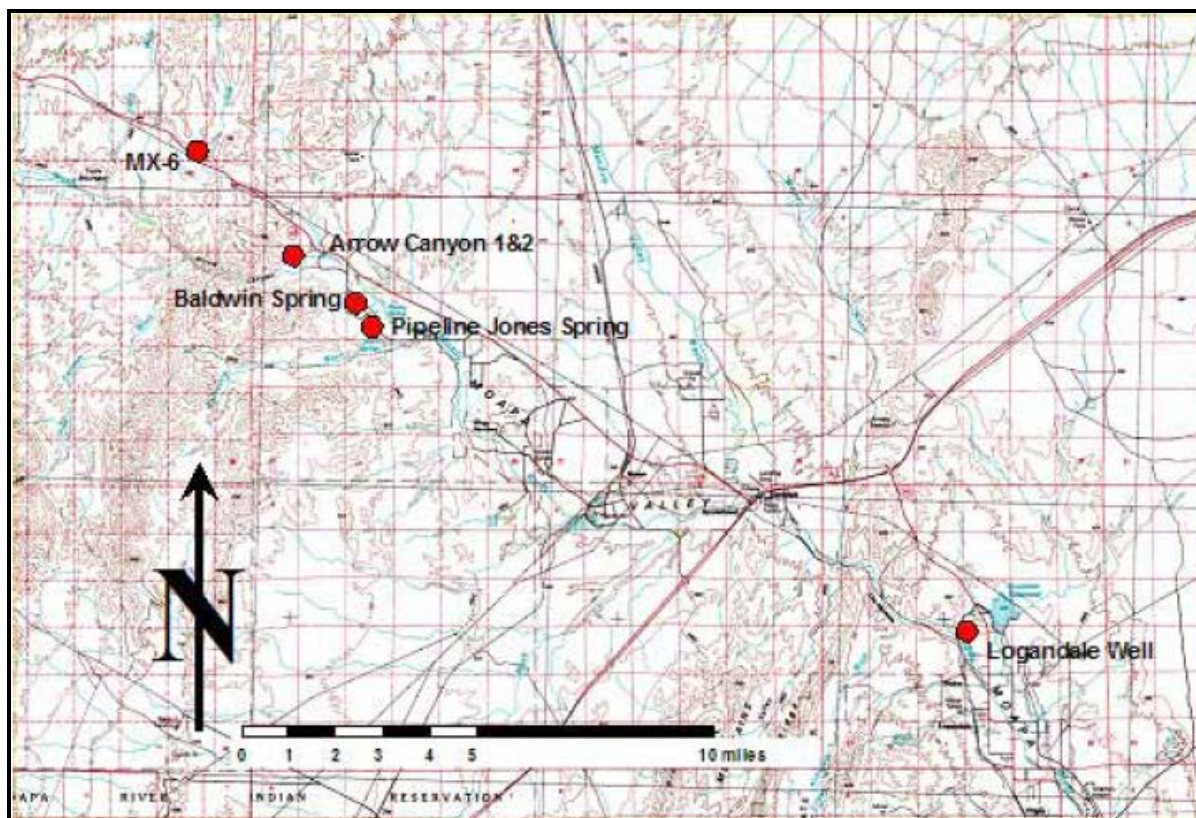


شکل ۹-۱- موقعیت جوامع و منطقه مطالعه شده توسط آب منطقه‌ای Moapa Valley

## ۹-۲- اهداف اجرای برنامه حریم کیفی در منطقه

هدف از اجرای برنامه حریم کیفی در این منطقه، تشکیل یک قالب مدیریتی بلند مدت و حفاظت از منابع‌های تامین آب شرب، توسط شرکت آب منطقه‌ای بوده است. این قالب مدیریتی شامل موارد زیر است:

- تشکیل و توسعه یک گروه متخصص در خصوص حریم کیفی، تعیین نقش‌ها، وظایف و مسوولیت‌های مسوول در شرکت آب منطقه‌ای، مجری متخصص در زمینه هیدرولوژی یا هیدروژئولوژی و هم‌چنین نمایندگان جوامع تحت خدمت شرکت آب منطقه‌ای
- تعیین مرزهای حریم کیفی چاه‌ها و چشمه‌ها
- شناسایی کانون‌های آلودگی، برآورد خطر و هم‌چنین توسعه استراتژی‌های مدیریت آلودگی آب زیرزمینی
- شناسایی موقعیت مکانی چاه‌های جدید تامین آب شرب در آینده
- توسعه برنامه مواجهه با خطر
- توسعه برنامه‌های آموزشی و تهیه مستندات لازم برای آگاه‌سازی مردم و ساکنان منطقه



شکل ۹-۲- منابع های تامین آب در شرکت آب منطقه ای Moapa Valley (سه چاه و دو چشمه)

### ۹-۳- تهیه بانک اطلاعات اولیه و بررسی مطالعات انجام شده در گذشته

در این برنامه از مطالعات انجام شده در گذشته توسط سازمان های مختلف استفاده شده است تا از دوباره کاری ها کاسته شده و کمبود اطلاعات موجود در منطقه شناسایی شود. برای نمونه این مطالعات عبارتند از:

- مستندات برنامه حفاظت حریم کیفی شامل برآورد آسیب پذیری آب زیرزمینی و چاه های تامین آب که توسط سازمان حفاظت از سلامتی نوادا<sup>۱</sup> انجام شده است.
- مطالعات هیدرولوژیکی و منابع آب که توسط شرکت آب منطقه ای انجام شده است.
- داده های ثبت شده توسط بخش مدیریت منابع آب نوادا<sup>۲</sup>
- مقالات علمی منتشر شده توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده<sup>۳</sup> (USGS)، مدیریت آب نوادای جنوبی<sup>۴</sup>، شرکت مدیریت نیرو نوادا<sup>۵</sup> و غیره.

1- Nevada Bureau of Health Protection Service  
 2- Nevada Division of Water Resources  
 3- U.S. Geological Survey  
 4- Southern Nevada Water Authority  
 5- Nevada Power Company

## ۹-۴- تشکیل گروه متخصص در رابطه با حریم کیفی

گروه متخصص تشکیل شده شامل نمایندگانی از مردم جوامع تحت پوشش آب منطقه‌ای، شرکت آب منطقه‌ای، شرکت آبیاری رودخانه Muddy<sup>۱</sup>، دفتر مدیریت اراضی<sup>۲</sup> و مهندسان مشاور هیدروژئولوژیست است. هدف از تشکیل این گروه توسعه و اجرای استراتژی‌های مدیریتی برای حفاظت منابع آب شرب محدوده تحت پوشش آب منطقه‌ای است. این گروه مسوولیت به‌هنگام‌سازی برنامه حریم کیفی منابع آب در هنگام مشاهده تغییر وضعیت در منابع آب، کانون‌های آلودگی و کاربری اراضی را نیز عهده‌دار است.

## ۹-۵- اهداف و مقاصد برنامه حریم کیفی چاه و چشمه‌ها

اهداف برنامه حریم کیفی آب منطقه‌ای عبارتند از:

- مدیریت پایدار آب زیرزمینی منطقه
- کاهش ریسک آلودگی منابع آب منطقه و اطمینان از تامین بی وقفه آب پاکیزه به مصرف‌کنندگان
- کاهش هزینه‌های آب منطقه‌ای با کمینه کردن نیازهای پایش و هزینه‌های آن
- برای دستیابی به این اهداف مدیریت آب منطقه‌ای این ناحیه برنامه حریم کیفی منابع آب خود را که شامل سه چاه و دو چشمه است را اجرا کرد در این برنامه، موارد زیر به اجرا رسیدند:
- تعیین محدوده تغذیه هر یک از منابع‌های آب (محدوده مطالعاتی)
- تعیین کانون‌های آلودگی تهدید کننده منابع‌های آب
- تعیین مرزهای حریم کیفی با توجه به مشخصات و شرایط هر یک از منابع‌های آب (چاه و چشمه)
- پیشنهاد برنامه حفاظتی برای ممانعت از آلودگی منابع‌های آب
- توسعه برنامه مواجهه با خطر و بحران
- شناسایی منابع جدید آب و بررسی اقدامات حفاظتی لازم
- تهیه مستندات و تفسیرهای کافی از یافته‌های تحقیقات و برنامه اجرا شده
- چنان‌چه مشاهده می‌شود در صورت دستیابی به مقاصد ذکر شده، تمام اعضای تشکیل دهنده گروه برنامه حریم کیفی، از ذینفعان اجرای برنامه خواهند بود.

## ۹-۶- مطالعه شرایط هیدروژئولوژیکی

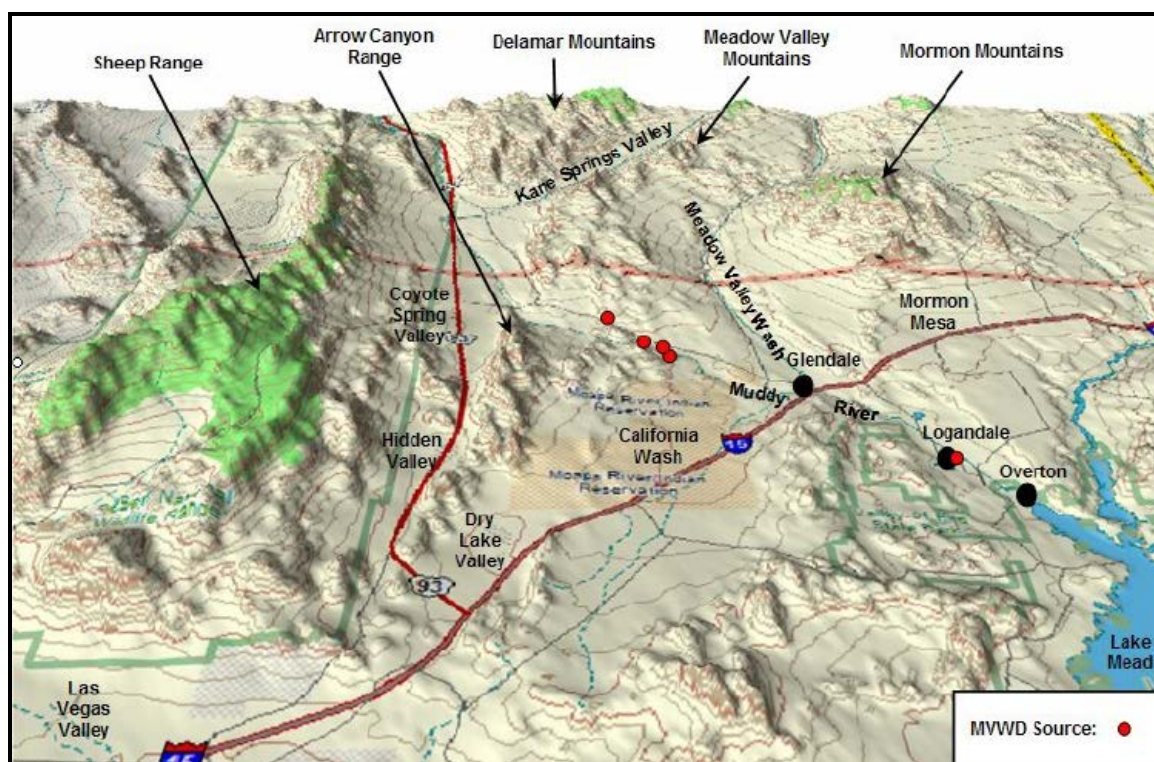
شناخت وضعیت هیدروژئولوژیکی منطقه از اولین اقداماتی است که انجام شد که به اختصار به آن‌ها اشاره می‌شود.

1- Muddy River Irrigation Company  
2- Bureau of Land Management



### ۹-۶-۱- توپوگرافی

توپوگرافی عمومی منطقه در شکل (۹-۳) نشان داده شده است. مرتفع‌ترین مناطق شامل بلندی‌های Arrow Canyon با ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، کوهستان‌های Mormon با ارتفاع ۱۲۰۰ تا ۲۲۰۰ متر و رشته کوه‌های Sheep با ارتفاع ۲۲۰۰ تا ۴۰۰۰ متر است. زهکش اصلی منطقه، رودخانه Muddy است که دارای سه شاخه اصلی California، Pahranagat و Meadow Valley است. در شرایط نرمال دریاچه Mead، رودخانه Muddy در Overton به دریاچه می‌ریزد.



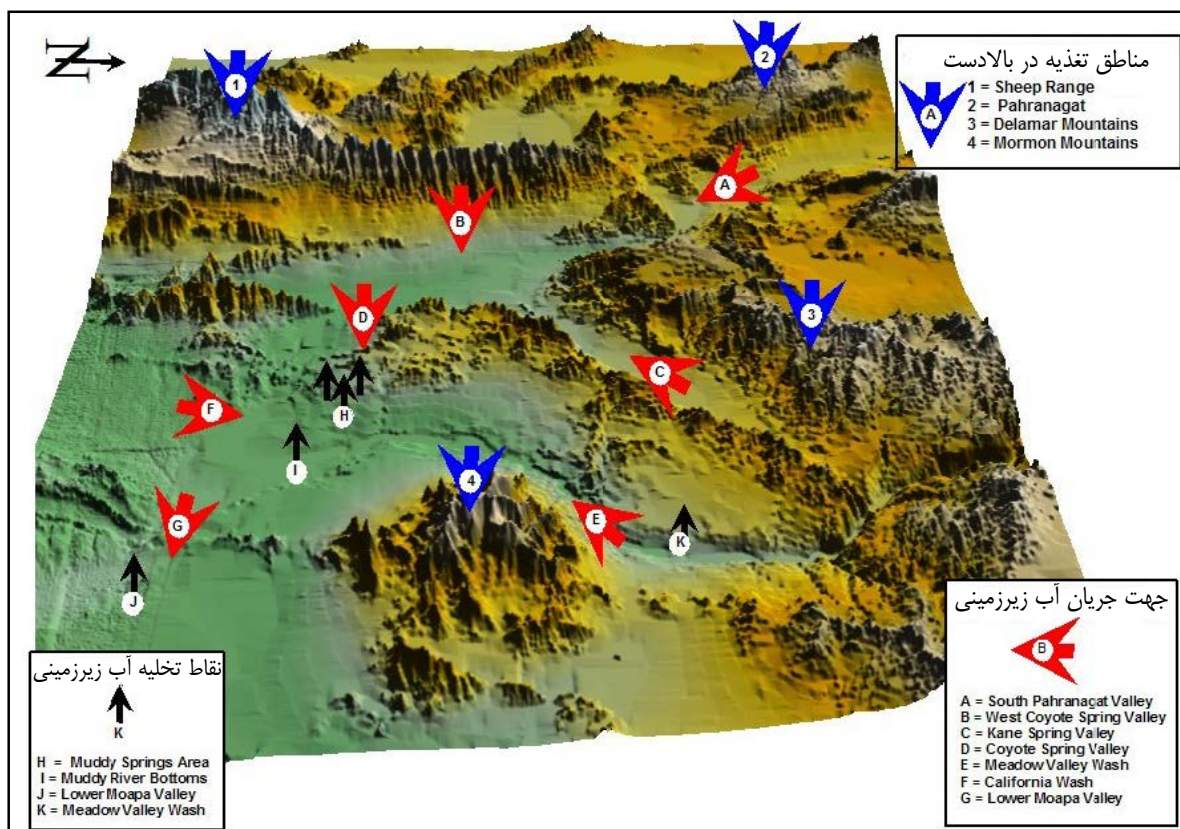
شکل ۹-۳- نقشه توپوگرافیکی و جغرافیای طبیعی منطقه

### ۹-۶-۲- شرایط آب و هوایی

این منطقه دارای دو ایستگاه باران‌سنجی در منطقه Moapa Valley و Logandale و Overton است. میانگین بارش سالانه در ایستگاه Logandale از سال ۱۹۶۸ تا ۱۹۹۲، ۱۳۷ میلی‌متر و متوسط بارش ماهانه در بازه ۱ میلی‌متر در ماه ژوئن تا ۱۹ میلی‌متر در ماه مارس است. میانگین ارتفاع بارش برف سالانه ۱۵ میلی‌متر است. میانگین بارش سالانه در ایستگاه Overton از سال ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۳، ۱۰۶ میلی‌متر و متوسط بارش ماهانه در بازه ۱ میلی‌متر در ماه ژوئن و ۱۶ میلی‌متر در ماه فوریه است. میانگین سالانه بارش برف ۸ میلی‌متر است.

### ۹-۶-۳- مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی

مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی در محدوده تحت پوشش شرکت آب منطقه‌ای در شکل (۹-۴) نمایش داده شده است. در این منطقه تنها مقدار اندکی از آب چاه‌ها و چشمه‌ها به صورت محلی تغذیه می‌شود. به عبارت دیگر، بیش‌تر آب مصرفی در منطقه از نواحی دور دست به‌ویژه از طریق تغذیه در Sheep Range، در ۳ کیلومتر غرب چشمه‌های Muddy و تغذیه زیرزمینی از Pahranagat تامین می‌شود. آب زیرزمینی عمدتاً از میان سنگ‌های کربناتی بلندی‌های Arrow Canyon سرچشمه گرفته و در چشمه‌های Muddy به سطح زمین می‌رسد. جریان آب زیرزمینی اندکی از طریق سیستم رودخانه (شاخه) California و Meadow Valley تغذیه می‌شود. دومین منبع تغذیه چاه‌ها و چشمه‌های شرکت آب منطقه‌ای به تغذیه از نواحی آبیاری، کشاورزی، مخازن و سیستم ذخیره آب محدود می‌شود. جریان آب زیرزمینی در چشمه‌های Muddy به طور طبیعی به سطح زمینی تخلیه می‌شود. سایر تخلیه‌های آب زیرزمینی شامل برداشت آب توسط سیستم پمپاژ برای مصارف کشاورزی، معدن و شهری است.



شکل ۹-۴- مدل مفهومی محدوده چاه‌ها و چشمه‌های تامین آب شرکت آب منطقه‌ای Moapa Valley

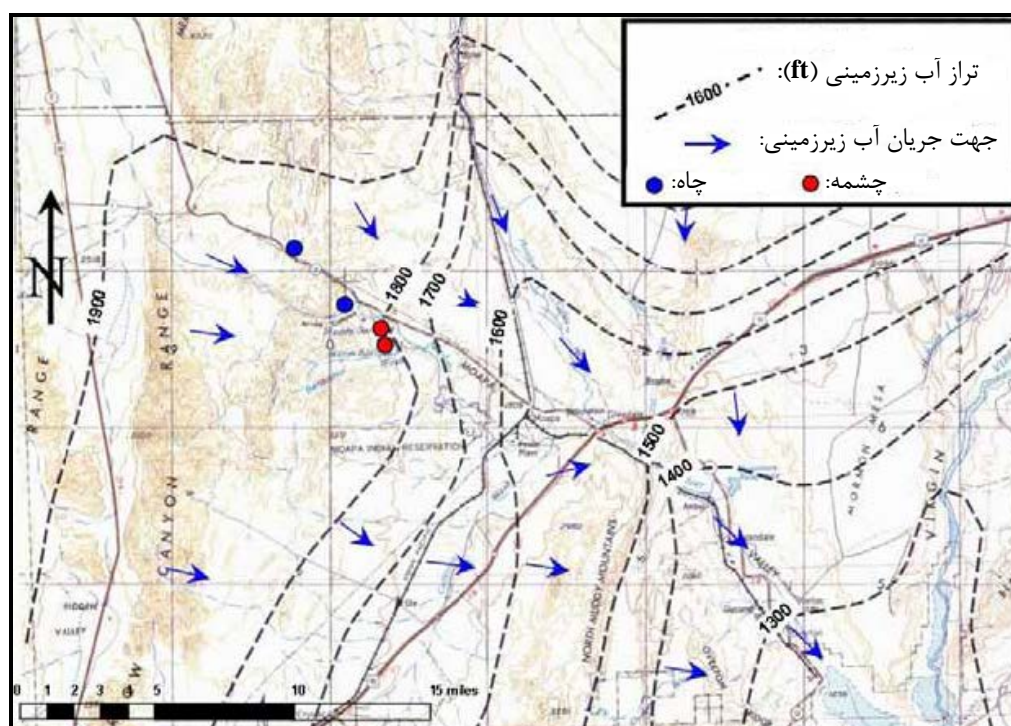
### ۹-۶-۴- جریان آب زیرزمینی

آب زیرزمینی در کل منطقه تحت پوشش شرکت آب منطقه‌ای در نزدیکی سطح زمین جریان دارد. آب زیرزمینی کم عمق (کم‌تر از ۷/۵ متری سطح زمینی) در پایین دست رودخانه Muddy جریان دارد. کم عمق‌ترین آب زیرزمینی بین



چشمه‌های Muddy و تنگه‌های White و با عمق ۱/۲ تا ۳/۶ متری جریان دارد. با دور شدن از این منطقه و حرکت به سمت بالادست و کوهستان‌های منطقه، بر عمق آب زیرزمینی افزوده می‌شود. عمیق‌ترین نقطه آب زیرزمینی گزارش شده، به یکی از چاه‌های شرکت آب منطقه‌ای به عمق ۱۴۰ متر تعلق دارد. در محدوده رودخانه (شاخه) Meadow Valley عمق آب زیرزمینی در بازه ۱۵ متر (در بالای خط راه‌آهن) تا ۹ متر (در محدوده Glendale) متغیر است.

نقشه پیزومتریک عمومی (سطح آب زیرزمینی) محدوده شرکت آب منطقه‌ای و مجاور آن هم‌چنین جهت جریان آب زیرزمینی در شکل (۵-۹) نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود آب زیرزمینی عموماً از نواحی مرتفع در شمال و غرب به سمت نواحی پست و کم ارتفاع رودخانه Muddy که به سمت دریاچه Mead ختم می‌شود جریان دارد. سطح آب زیرزمینی در محدوده شرکت آب منطقه‌ای تقریباً تا حدود ۱۸۲ متر متغیر است. تراز آب زیرزمینی در مناطق Arrow Canyon بیش از ۵۵۰ متر بالاتر از سطح دریا، در Glendale ۴۷۰ متر بالاتر از سطح دریا، در Logandale ۴۲۰ متر و در نزدیکی دریاچه Mead در Overton در حدود ۳۷۵ متر بالاتر از سطح دریا است. گرادیان هیدرولیکی کلی در منطقه تقریباً حدود ۰/۰۰۴ است. به نظر می‌رسد با توجه به مشخصات ژئولوژیکی و داده‌های سطح آب زیرزمینی، در مناطقی موانع جزئی<sup>۱</sup> در مسیر جریان آب زیرزمینی وجود دارد و گرادیان هیدرولیکی در آنجا مانند نواحی اطراف چاه‌های پمپاژ تا حدودی تندتر است.

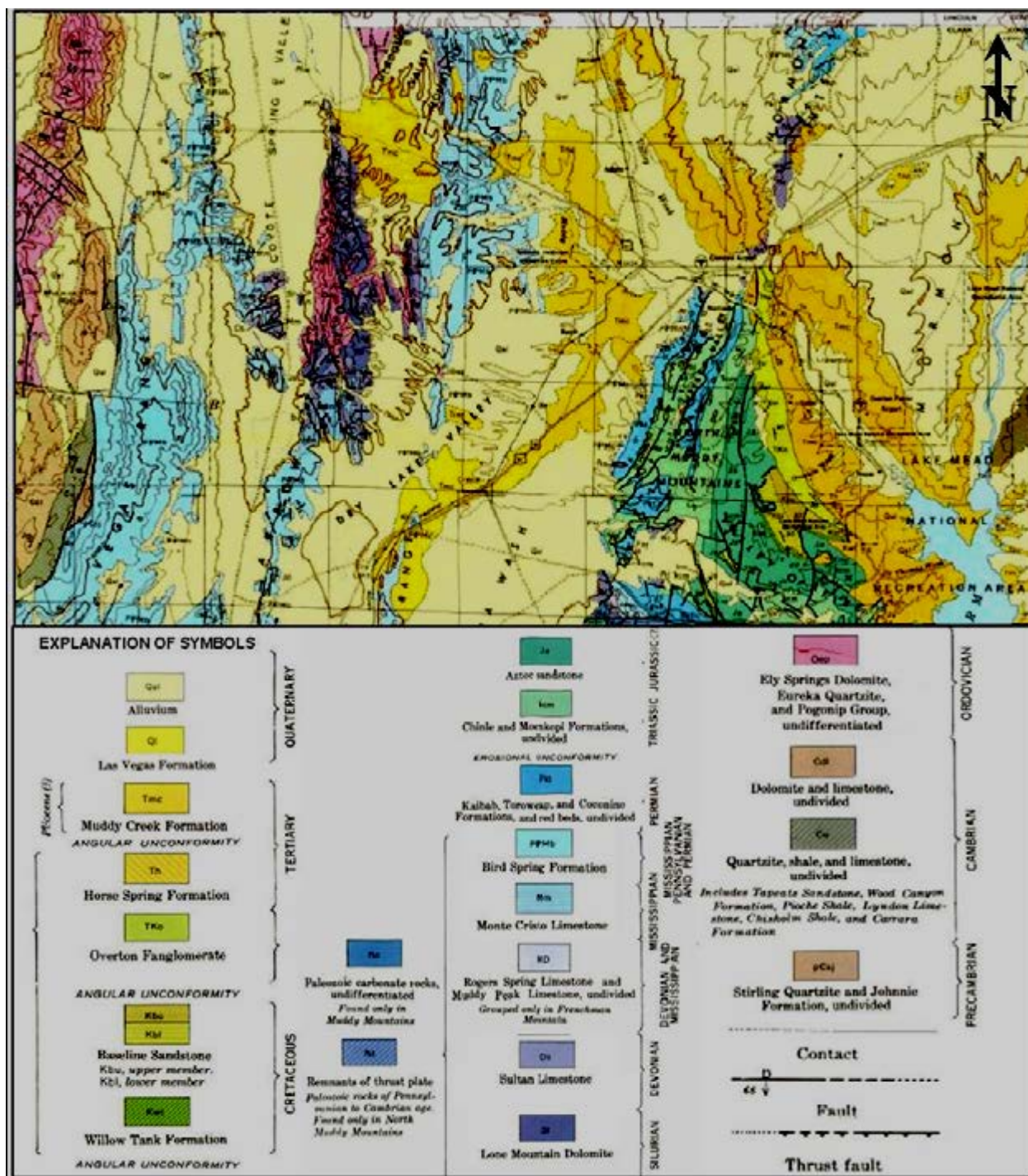


شکل ۵-۹- نقشه پیزومتریک عمومی (سطح آب زیرزمینی) محدوده شرکت آب منطقه‌ای Moapa Valley

در مناطقی شواهدی دال بر وجود گرادیان هیدرولیکی قائم به سمت سطح زمین مشاهده می‌شود. در این مناطق آب زیرزمینی از اعماق آبخوان به سمت آب‌های زیرزمینی کم عمق جریان می‌یابد. این چنین گرادیان هیدرولیکی در مناطق دارای چشمه Muddy قابل مشاهده است. در این تحقیق، داده‌های هیدروژئولوژیکی در خصوص گرادیان هیدرولیکی قائم که در گذشته (سال ۱۹۹۰) توسط USGS برداشت شده است، بررسی شدند. مطالعات دیگری هم در سال ۱۹۶۸ در خصوص گرادیان هیدرولیکی قائم به سمت اعماق آبخوان انجام شده که آن‌ها هم بررسی شدند. این نوع گرادیان در مناطق تغذیه آب زیرزمینی مانند بلندی‌های رشته کوه‌های Sheep مشاهده می‌شوند که نواحی پایین‌دست مانند ناحیه چشمه Muddy را تغذیه می‌کنند.

#### ۹-۶-۵- آبخوان

در زیر و در مجاورت محدوده تحت پوشش شرکت آب منطقه‌ای، واحدهای ژئولوژیکی مختلفی وجود دارند که آبخوان و لایه‌های ژئولوژیکی را تشکیل می‌دهند. در این تحقیق داده‌های مربوط به نوع و ترتیب قرارگیری لایه‌ها بررسی و نقشه ژئولوژی منطقه به ویژه در محدوده چشمه‌ها و چاه‌ها تهیه شده است (شکل ۹-۶).



شکل ۹-۶- نقشه ژئولوژی منطقه به همراه راهنمای تفصیلی نقشه

### ۹-۶-۶- مطالعه چشمه‌ها

محدوده تحت پوشش آب منطقه‌ای، بخشی از ناحیه سنگ کربناتی وسیعی است که از ایالت یوتا تا کالیفرنیا ادامه دارد. در هنگام شکل‌گیری، رسوب‌گذاری و هم‌چنین در پی حرکات تکتونیکی لایه‌های زمین، در سنگ‌های کربناتی

چین خوردگی، شکستگی و فرورفتگی‌های بسیار زیادی شکل گرفته است که در برخی مناطق مجاری مجزا در آبخوان‌ها را تشکیل داده‌اند. وجود این مجاری منجر به تغییر مسیر و سرعت جریان آب زیرزمینی می‌شود.

ناحیه تغذیه اصلی چشمه‌ها و چاه‌های تامین آب در سیستم رودخانه White قرار دارد. چشمه‌های Muddy جزو چشمه‌های مهم نوادا<sup>۱</sup> محسوب می‌شوند که در آنجا آب از سفره‌های آب زیرزمینی به سمت سطح زمین رسیده و جاری می‌شود.

آب زیرزمینی که در شکاف‌های آبخوان آهکی بلندی‌های Arrow Canyon جریان دارد با نزدیک شدن به محدوده منطقه Muddy که قابلیت انتقال کمی دارد با ممانعت حرکتی روبرو می‌شود و در پی یافتن محل گریز و مقابله با مانع حرکتی به سمت سطح زمین جریان می‌یابد. به همین دلیل، بخشی از جریان به صورت چشمه‌های Muddy، چشمه Pederson, Iverson، چشمه‌های آب گرم و تعدادی چشمه دیگر به سطح زمین جریان می‌یابند.

#### ۹-۶-۷- حریم کیفی چاه‌ها و چشمه‌ها

در این بخش به بررسی روش‌ها، نکات فنی مورد توجه شرکت آب منطقه‌ای Moapa Valley و منطق انتخاب روش‌های محاسبه مرزهای حریم کیفی چاه‌ها و چشمه‌ها پرداخته شده است.

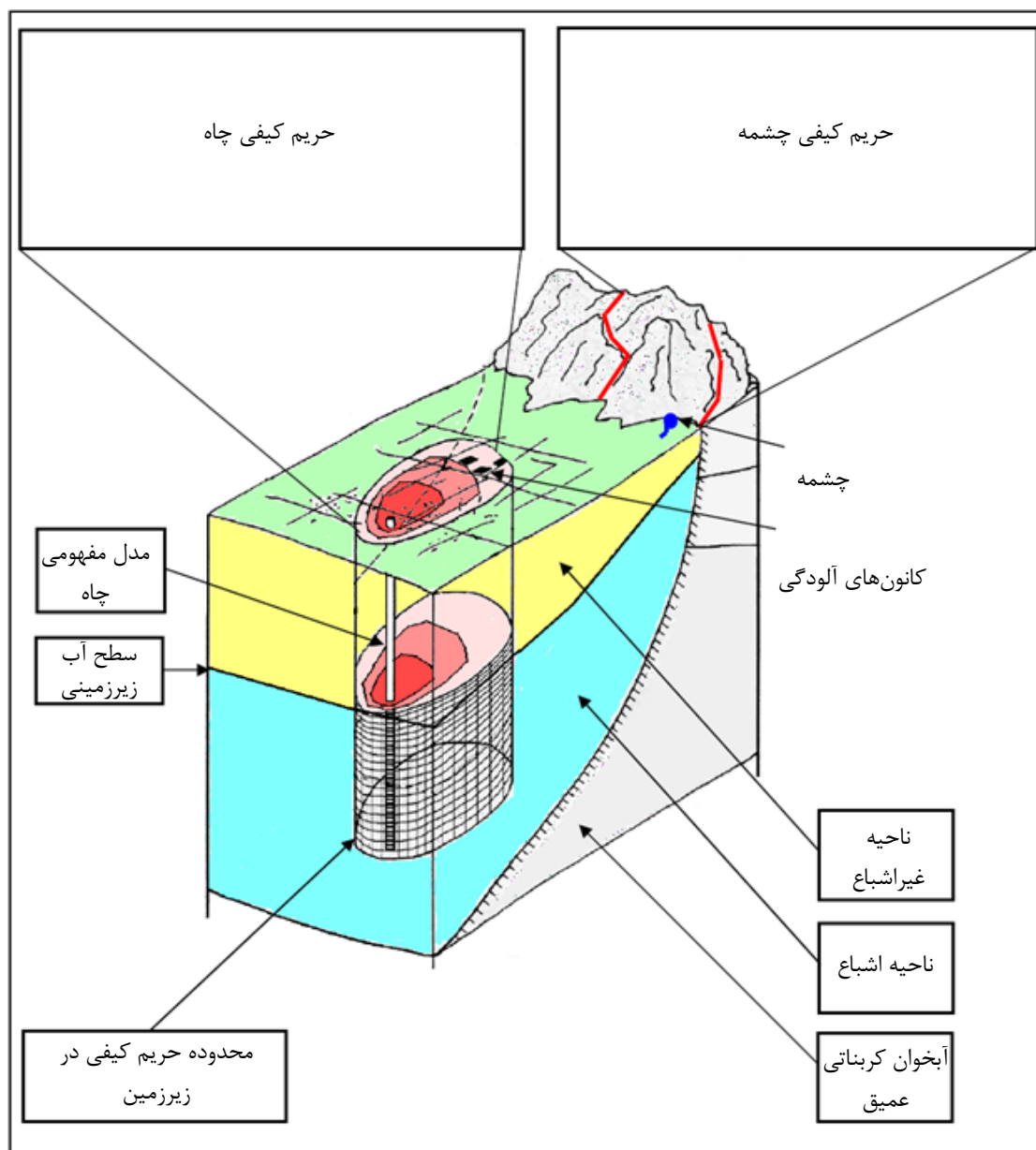
به دلیل تفاوت مشخصات هیدروژئولوژیکی چاه‌ها با چشمه‌ها، از روش‌های مختلفی برای تعیین حریم کیفی استفاده شده است. محدوده حریم کیفی چشمه‌ها بر اساس نقشه‌های هیدروژئولوژیکی، محدوده تغذیه، زمان انتقال آب زیرزمینی و مشخصات ژئولوژیکی و هیدرولوژیکی تعیین شده است. حریم کیفی چاه‌ها از روش‌های تحلیلی و مدل‌های توسعه داده شده توسط U.S. EPA و بسته‌های WHPA Model و RSSQC استفاده شده است.

مدل مفهومی حریم کیفی برای یک چاه و یک چشمه در شکل (۹-۷) نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود حریم کیفی برای یک چاه محدوده‌ای در زیر و سطح زمین است که پتانسیل حرکت و انتقال آلودگی به سمت آن وجود دارد. حریم کیفی پیشنهاد شده برای یک چاه به ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان و ویژگی‌های بهره‌برداری از چاه بستگی دارد.

برای چشمه‌ها، حریم کیفی بخشی از محدوده تغذیه چشمه است. به همین دلیل برای چشمه‌هایی که در ارتفاعات کوهستانی واقع شده‌اند، به دلیل کوچک بودن محدوده تغذیه، حریم کیفی وسعت کم‌تری دارد و معمولاً کانون‌های آلودگی کم‌تری کیفیت آب آن‌ها را تهدید می‌کنند. اما چشمه‌های اصلی تامین کننده آب در این تحقیق (چشمه‌های Muddy) در ارتفاعات پایینی واقع شده‌اند که محدوده تغذیه نسبتاً وسیعی دارند. محدوده تغذیه چشمه‌های Muddy دارای وسعت زیادی است و آب تخلیه شده در چشمه‌ها از فواصل طولانی، از حدود ۳۰۰ km بالادست چشمه‌ها، نشأت می‌گیرند. لذا در نظر گرفتن حریم کیفی به این وسعت برای شرکت آب منطقه‌ای Moapa Valley منطقی و ممکن نیست. از اینرو علاوه بر نقشه‌های هیدروژئولوژیکی از شاخص زمان انتقال در بازه ۶ ماه تا ۱۰ سال به عنوان شاخص تعیین محدوده حریم کیفی استفاده شد.

1- Nevada





شکل ۹-۷- مدل مفهومی حریم کیفی چاه و چشمه در شرکت آب منطقه‌ای Moapa Valley

#### ۹-۶-۸- بررسی اطلاعات ثبت شده در تحقیقات گذشته از منطقه

اولین گام در تعیین حریم‌های کیفی بررسی اطلاعات هیدروژئولوژیکی موجود و تهیه شده توسط سایر سازمان‌ها در گذشته است. اصلی‌ترین منبع اطلاعات در این مطالعات، گزارشات هیدروژئولوژیکی تهیه شده در سال ۱۹۹۳ است. نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط پیمانکاران و کارفرماها در هنگام حفر چاه‌ها، گزارش‌های مطالعات سازمان‌های مدیریت منابع آب نوادا، USGS و سایر گزارش‌ها و مقالات علمی منتشر شده در خصوص هیدروژئولوژی و هیدروژئولوژی منطقه نیز بررسی شدند. اطلاعات کانون‌های آلودگی نیز از طریق نتایج تحقیقات سازمان‌های حفاظت محیط زیست، سازمان بهداشت ایالت تگزاس و مستندات برنامه‌های اجرا شده مرتبط با کیفیت آب منطقه، جمع‌آوری و تفسیر شدند.

این اطلاعات شامل آسیب‌سنجی آب زیرزمینی منطقه در سال ۲۰۰۳، نقشه‌های ژئولوژیکی تهیه شده، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات علمی انجام شده در این رابطه نیز می‌شدند.

#### ۹-۶-۹- روش‌ها و ضوابط تعیین حریم کیفی در منطقه

روش‌های استفاده شده در برنامه تعیین حریم کیفی بر اساس نسخه چهارم راهنمای برنامه حریم کیفی تهیه شده توسط دفتر برنامه‌ریزی کیفیت آب در سازمان حفاظت محیط زیست نوادا، (سال ۲۰۰۲) اجرا شدند. در راهنمای مزبور، روش‌های تعیین حریم کیفی برای چاه‌ها و چشمه‌ها به چهار گروه: روش شعاع ثابت، روش‌های تحلیلی، تهیه نقشه هیدروژئولوژیکی و مدل‌های جریان و انتقال آب زیرزمینی تقسیم شده است (فصل ۵ این راهنما).

در تعیین حریم کیفی چشمه‌های Muddy از روش تهیه نقشه هیدرولوژیکی و شاخص زمان انتقال استفاده شده است. در مطالعات سال ۱۹۹۶ در منطقه، نقشه محدوده چشمه‌ها با مقیاس ۱:۱۲۰۰۰ تهیه شده است. در این مطالعات از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی نیز استفاده شده و ساختار ژئولوژیکی و مشخصات هیدرولوژیکی موثر بر جریان آب زیرزمینی در بالادست چشمه‌ها شناسایی شده‌اند.

برای تعیین محدوده حریم کیفی چاه‌ها، روش‌های تحلیلی و بسته نرم‌افزاری WHPA توسعه داده شده توسط EPA استفاده شد و محدوده تاثیر<sup>۱</sup> چاه‌ها محاسبه شدند. علت استفاده از این روش‌ها، وجود داده‌های مورد نیاز و اعتبار مدل WHPA است. داده‌های استفاده شده در این روش عبارتند از داده‌های گرادیان هیدرولیکی، جهت جریان، قابلیت انتقال، تخلخل و ضخامت آبخوان، شعاع چاه‌ها و نرخ پمپاژها. برای کسب اطلاعات بیش‌تر در خصوص روش تحلیلی تعیین حریم کیفی به فصل ۶ این راهنما مراجعه شود.

#### ۹-۷- تعیین حریم کیفی چشمه‌ها

همان‌طور که در شکل (۹-۸) نمایش داده شده است، حریم کیفی چشمه‌ها بر اساس محدوده تغذیه چشمه، مشخصات ژئولوژیکی و توپوگرافی حوضه آبریز تعیین شده‌اند.

#### ۹-۷-۱- ناحیه ۱ حریم کیفی چشمه

این ناحیه در پیرامون هر یک از چشمه‌ها و بر اساس زمان انتقال (TOT) یک ساله آب زیرزمینی که در حدود ۱۳۰۰ متر بالادست چشمه‌هاست در نظر گرفته شده است. ناحیه ۱ حساس‌ترین و مهم‌ترین بخش محدوده حریم کیفی چشمه‌هاست؛ چرا که در صورت بروز هرگونه آلودگی در آب سطحی و زیرزمینی در این منطقه، آلودگی به سرعت وارد چشمه خواهد شد. در حقیقت لایه آبرفتی نازک در پایین‌دست Canyon، لایه شکسته آهکی زیرین و آبخوان سنگدانه‌ای شرایط برای جریان سریع آب زیرزمینی به سمت چشمه را مهیا کرده است.

1- Zone of Influence



ناحیه ۱ بر اساس روش مبتنی بر زمان انتقال (TOT) که بر اساس قانون داری و رابطه ( $V = \frac{KI}{\eta}$ )، تعیین می‌شود. در این رابطه  $V$  سرعت متوسط آب زیرزمینی (متر بر روز)،  $K$  هدایت هیدرولیکی افقی (متر بر روز)،  $i$  گرادیان هیدرولیکی و  $\eta$  تخلخل است.

مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی در تمام نقاط آبخوان سنگی بالادست چشمه‌های Muddy مشخص و معلوم نیست. مشخصات هیدرولیکی آبخوان کربناتی در بلندی‌های جنوب نوادا بر اساس گزارش‌های تهیه شده در سال ۲۰۰۲ بیانگر هدایت هیدرولیکی در بازه ۰/۰۱ متر در روز تا ۸۲۰ متر در روز برای واحدهای ژئولوژیکی شکسته و دارای شکاف و بازه ۰/۰۰۰۱ متر در روز تا ۴ متر در روز برای واحدهای کربناتی دست نخورده است. برای تعیین مشخصات هیدرولیکی آبخوان کربناتی در مجاورت چشمه‌های Muddy، هفت آزمایش انجام شد، سه آزمایش در Arrow Canyon و چهار آزمایش در Coyote Spring Valley. نتیجه این آزمایش‌ها در جدول (۹-۱) نمایش داده شده است. هدایت هیدرولیکی حتی در بین چاه‌های آزمایش نزدیک به هم، مقدار قابل توجهی تفاوت دارند. در چاه شماره ۱ در Arrow Canyon، هدایت هیدرولیکی ۱۹۵ متر در روز و در چاه شماره ۲، به فاصله تنها ۲۳ متر از چاه شماره ۱، هدایت هیدرولیکی ۲۳ متر در روز است. به طور مشابه در چهار چاه حفر شده در Coyote Spring Valley، شاهد بازه گسترده ۲/۵ متر در روز تا ۲۷۵ متر در روز هستیم. از آن‌جاکه پارامترهای مشاهده شده در بازه‌های بسیار گسترده‌ای قرار داشتند، برای محاسبه TOT از پنج مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی ۳، ۳۰، ۳۰۰، ۱۶۰۰ و ۳۳۰۰ متر در روز استفاده شد.

جدول ۹-۱- نتیجه آزمایش‌های آبخوان

شماره چاه	سال	دوره آزمایش (روز)	نرخ پمپاژ (m <sup>3</sup> /minute)	ضخامت باز آبخوان <sup>۱</sup> (m)	عمق آب (m)	ضریب انتقال (m <sup>2</sup> /d)	هدایت هیدرولیکی (m/d)
AC#1	۱۹۹۴	۱۲۱	۱۱	۱۱۰	۱۲/۵	۲۱۳۶۷	۱۹۵
AC#2	۲۰۰۴	۵	۳/۴	۵۸/۵	۱۳/۵	۳۶۵۸	۱۹
CE-DT-4	۱۹۸۰	۱۰	۲	۹۶	۱۰۷/۶	۱۲۱۹۲	۳۹
CE-DT-5	۱۹۸۱	۳۴	۱۲/۸	۸۵	۱۰۶/۷	۷۶۲۰۰	۲۷۴
CE-DT-6	۱۹۸۶	۳	۱/۸	۱۴۶	۱۳۹/۳	۲۴۳۸	۵
CE-VF-2	۱۹۸۶	۰/۶	۰/۳	۱۱۳	۱۸۴	۸۸۴	۲/۵
CSV-2	۱۹۸۶	۰/۹	۰/۴	۲۶/۵	۱۱۹/۲	۴۵۷	۵

از آن‌جاکه مشاهدات میدانی مقدار تخلخل در این تحقیق کافی نبودند، باید برآورد می‌شدند. طبق گزارشات سال ۱۹۸۵، مقدار تخلخل در آبخوان آهکی در بازه ۵ تا ۵۵ درصد قرار می‌گیرد. به طور کلی، تخلخل سنگ‌های آهکی در واحدهای ریزدانه شکسته نشده به طور محسوسی کم‌تر از تخلخل در واحدهای شکسته شده است. با بررسی شواهد و مطالعات موجود، از پنج مقدار تخلخل برای محاسبه OT، استفاده شد که به ترتیب برابراند با ۱، ۱۰، ۲۵، ۴۰ و ۵۵.

گرادیان هیدرولیکی بر اساس داده‌های سری زمانی درازمدت دو چاه پایش سطح آب زیرزمینی CE-DT-4 در Coyote Spring Valley و EH-5b در Arrow Canyon محاسبه شد. برای محاسبه زمان انتقال (TOT)، از ضریب انتقال، گرادیان هیدرولیکی، تخلخل و قانون دارسی استفاده شد. نتیجه محاسبات در شرایط طبیعی (شرایط بدون تاثیر پمپاژ) در جدول (۹-۲) نمایش داده شده است.

جدول ۹-۲- نتیجه محاسبات در شرایط نرمال (بدون تاثیر پمپاژ)

قانون دارسی					
پارامتر	مقدار ۱	مقدار ۲	مقدار ۳	مقدار ۴	مقدار ۵
ضریب هدایت هیدرولیکی، $k$ (m/d)	۳۳۰۰	۱۶۰۰	۳۰۰	۳۰	۳
گرادیان هیدرولیکی، $i$	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۲
تخلخل، $\eta$	۰/۵۵	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۱۰	۰/۰۱
زمان انتقال، TOT (m/d)	۰/۰۶۷	۰/۰۴۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴

بر اساس این محاسبات، سرعت جریان آب زیرزمینی به سمت چشمه‌های Muddy در شرایط طبیعی در بازه m/d ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۶۷ قرار دارد. جریان کند آب زیرزمینی بیانگر گرادیان هیدرولیکی کم بین Coyote Spring Valley و چشمه‌های Muddy در شرایط طبیعی است. جریان آب زیرزمینی تغذیه کننده چشمه‌ها تحت تاثیر سیستم پمپاژ افزایش می‌یابد. از آن جاکه شکاف‌های طبیعی در آبخوان کربناتی وجود دارد، پمپاژ در نقاط دوردست هم بر TOT و سرعت جریان تاثیر گذار است. برای برآورد تاثیر پمپاژ بر سرعت جریان و TOT، محاسبات بر اساس گرادیان هیدرولیکی مشاهده شده در چاه‌های پمپاژ شرکت آب منطقه‌ای انجام شد که نتایج آن در جدول (۹-۳) آورده شده است.

جدول ۹-۳- نتایج محاسبات زمان انتقال در شرایط تحت فشار (پمپاژ)

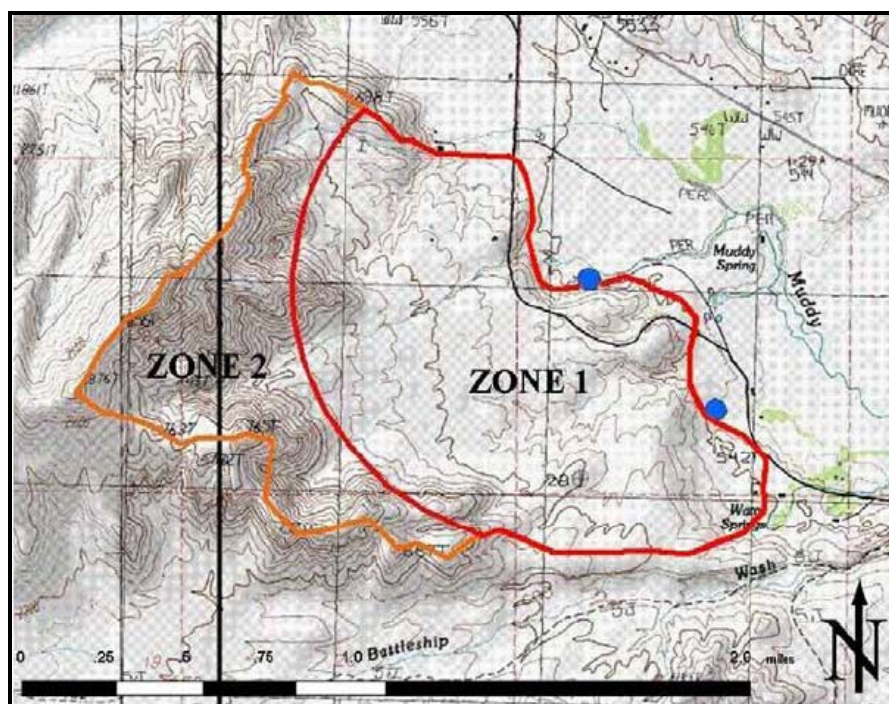
TOT: زمان انتقال (Distance of Travel): فاصله انتقال						
پارامتر	مورد ۱-الف	مورد ۱-ب	مورد ۲-الف	مورد ۲-ب	مورد ۳-الف	مورد سه-ب
ضریب هدایت هیدرولیکی (k) (m/d)	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۳۰	۳۰
گرادیان هیدرولیکی (i)	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
تخلخل ( $\eta$ )	۰/۵۵	۰/۲۵	۰/۵۵	۰/۲۵	۰/۵۵	۰/۲۵
زمان انتقال TOT (m/d)	۰/۵۵	۱۲	۰/۲۷	۶/۰	۰/۰۵۵	۱/۲
TOT شش ماه (m)	۳۰	۶۶۰	۱۵	۳۳۰	۳	۶۶
TOT یک سال (m)	۶۰	۱۳۱۶	۳۰	۶۶۰	۶	۱۳۲
TOT دو سال (m)	۱۲۱	۲۶۷۰	۶۰	۱۳۳۵	۱۲	۲۶۷
TOT پنج سال (m)	۳۲۶۵	۷۱۸۵۰	۱۶۳۴	۳۵۹۲۵	۳۲۸	۷۱۸۵
TOT ده سال (m)	۶۵۳۶	۱۴۳۷۸۰	۳۲۶۸	۷۱۸۹۰	۶۵۳	۱۴۳۷۷

موارد ۱-الف، ۲-الف و ۳-الف: بر اساس مشاهده افت سطح آب به میزان ۲/۴ متر در چاه شماره ۱ Arrow Canyon به اضافه گرادیان طبیعی  
موارد ۱-ب، ۲-ب و ۳-ب: بر اساس مشاهده افت ۳/۹ متری در چاه شماره ۲ Arrow Canyon به اضافه گرادیان طبیعی

همان‌طور که مشاهده می‌شود تاثیر پمپاژ چاه بر TOT روزانه برای موارد ۱- الف و ۱- ب زیاد است. نرخ جریان آب زیرزمینی در این شرایط تقریباً ۵۰ برابر نرخ جریان در شرایط طبیعی (بدون شرایط فشار پمپاژ) است. از آن‌جاکه در شرایط اوج مصرف ماهانه پمپ‌ها به صورت دائم در حال پمپاژ اند، فاصله ۱۳۲۰ متری به عنوان TOT یک ساله و به صورت محافظه‌کارانه به عنوان ناحیه ۱ (Zone I) انتخاب شد.

#### ۹-۷-۲- ناحیه ۲ حریم کیفی چشمه

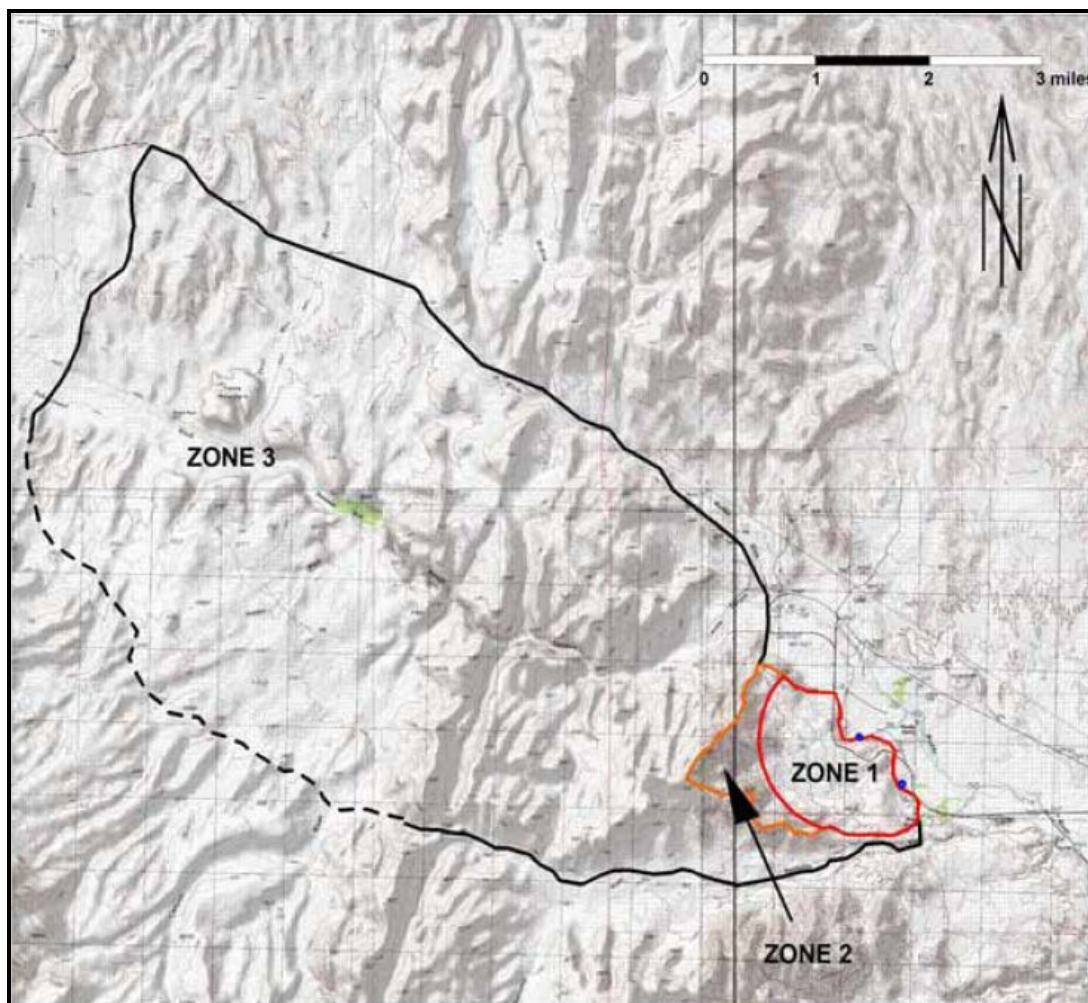
این ناحیه شامل مناطقی در بالادست چشمه و فراتر از ناحیه ۱ است. زهکش‌های جریان‌های سطحی در این ناحیه رواناب‌ها را به سمت چشمه‌ها منتقل کرده و مقدار بسیار اندکی آب زیرزمینی جاری به سمت چشمه‌ها را نیز تغذیه می‌کند (شکل ۹-۸). این ناحیه نقش ضمانت‌کننده حفاظت کیفی چشمه‌ها را بر عهده دارد. این ناحیه هم‌چنین در مقابل آلودگی‌های سطحی به ویژه آلودگی‌های ناشی از خودروها و تصادفات جاده‌ای حوالی جاده Warm Spring آسیب‌پذیر است. ناحیه ۲ نسبتاً کوچک و وسعت آن کم‌تر از ۱/۲ کیلومترمربع است. آب سطحی در شمال غربی ناحیه ۲ به سمت Arrow Canyon زهکش شده و رواناب جنوب و جنوب غرب ناحیه ۲ به سمت رودخانه Battleship جاری می‌شود.



شکل ۹-۸- نواحی ۱ و ۲ حریم کیفی چشمه

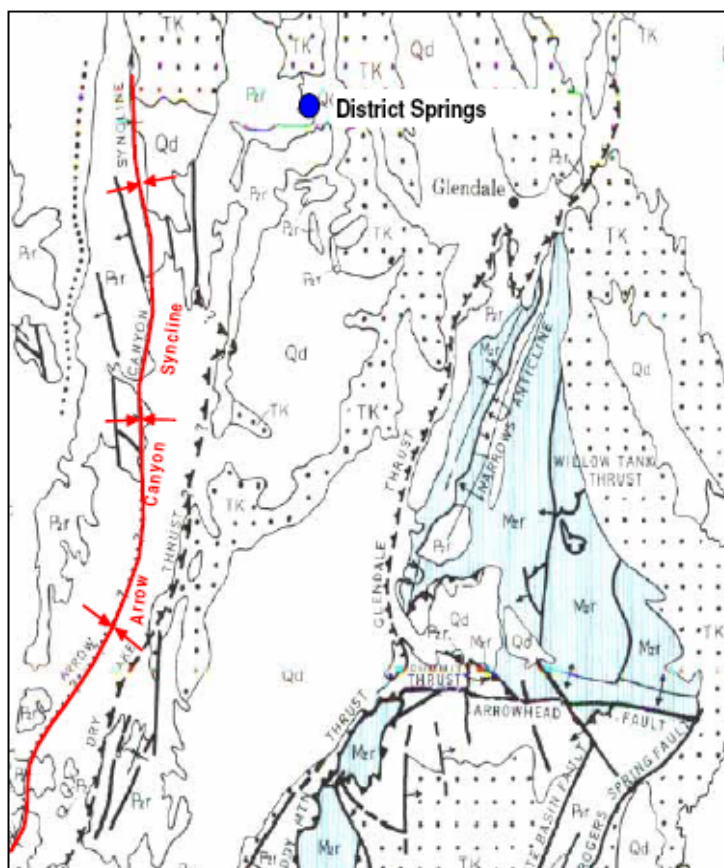
#### ۹-۷-۳- ناحیه ۳ حریم کیفی چشمه

این ناحیه شامل محدوده تغذیه چشمه‌ها می‌شود. این محدوده وسیع در شکل (۹-۹) به همراه دو ناحیه حفاظت کیفی ۱ و ۲ نمایش داده شده است. این ناحیه تا حدود ۱۳ کیلومتر در جهت شمال غربی چشمه‌ها ادامه دارد که تقریباً معادل TOT ۱۰ ساله است و حدود ۵ کیلومتر عرض دارد. در مجموع، ناحیه ۳، ۶/۵ کیلومترمربع مساحت دارد.



شکل ۹-۹- سه ناحیه حفاظت کیفی چشمه‌ها

قطعت برآورد مسیر دقیق حرکت آب زیرزمینی از Coyote Spring Valley به چشمه‌های Muddy بسیار کم است. مشخصه ژئولوژیکی اصلی در Arrow Canyon وجود ناودیس‌هایی است که تا منطقه دارای چشمه Muddy امتداد دارد. ناودیس‌ها از قله‌های Arrow Canyon تا چشمه‌ها گسترش یافته و لایه‌های اطراف آن به سمت محور ناودیس و تا اعماق زمین امتداد دارند. به همین دلیل ارتباط هیدرولیکی بین Coyote Spring Valley و چشمه‌های Muddy تا حد زیادی محدود است. لذا امتداد حریم کیفی از جانب شرقی ناودیس‌های Arrow Canyon ضروری نبوده و فقط برای احتیاط بیش‌تر و محافظه‌کاری می‌تواند مورد توجه باشد. بخشی از نقشه تکتونیکی تهیه شده در مطالعات سال ۱۹۶۵ در شکل (۹-۱۰) نمایش داده شده است. موقعیت مکانی ناودیس‌های Arrow Canyon و چشمه‌ها در این نقشه مشخص شده‌اند.



شکل ۹-۱۰- ناودیس Arrow Canyon

علاوه بر این، در منطقه‌ای که در آن شاخه رودخانه‌هایی در جهت جنوب شرقی امتداد یافته‌اند، گسل‌هایی وجود دارند که از شمال به شمال شرق امتداد یافته‌اند. نقشه این گسل‌ها با مقیاس ۱:۲۴۰۰۰ در مطالعات سال ۱۹۹۶ مورد بررسی قرار گرفتند. این گسل‌ها مسیر جریان رودخانه‌ها را قطع و نقش مجاری انتقال را ایفاء می‌کنند و منجر به افزایش سرعت جریان آب زیرزمینی می‌شوند. ساختار ژئولوژیکی رودخانه‌ها و وجود چنین مجاری انتقالی در منطقه، منجر به انتقال آب به سمت چشمه‌ها و تغذیه آن‌ها می‌شود.

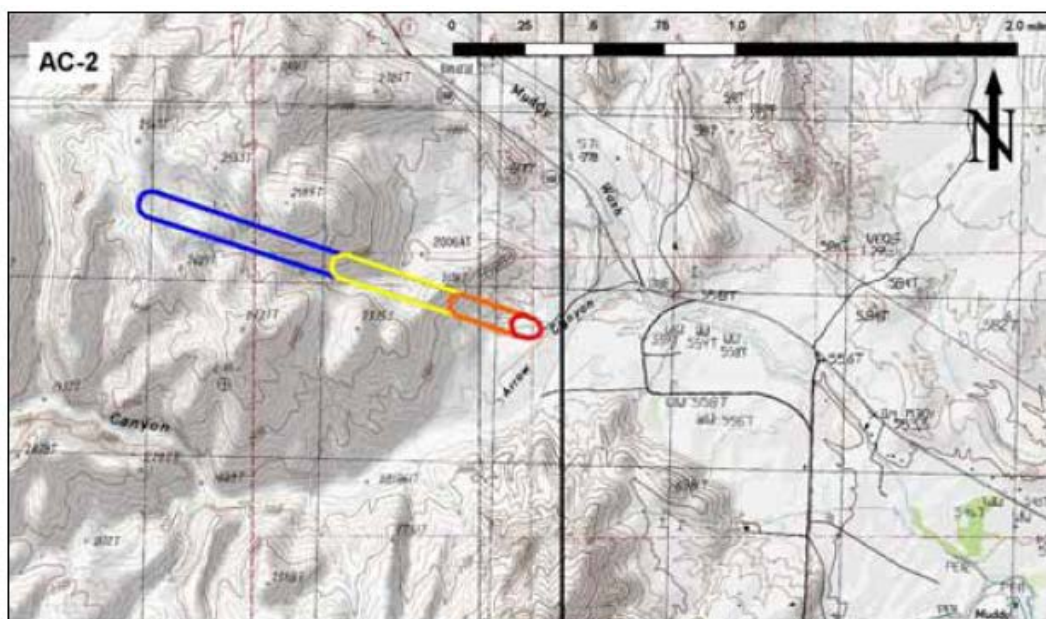
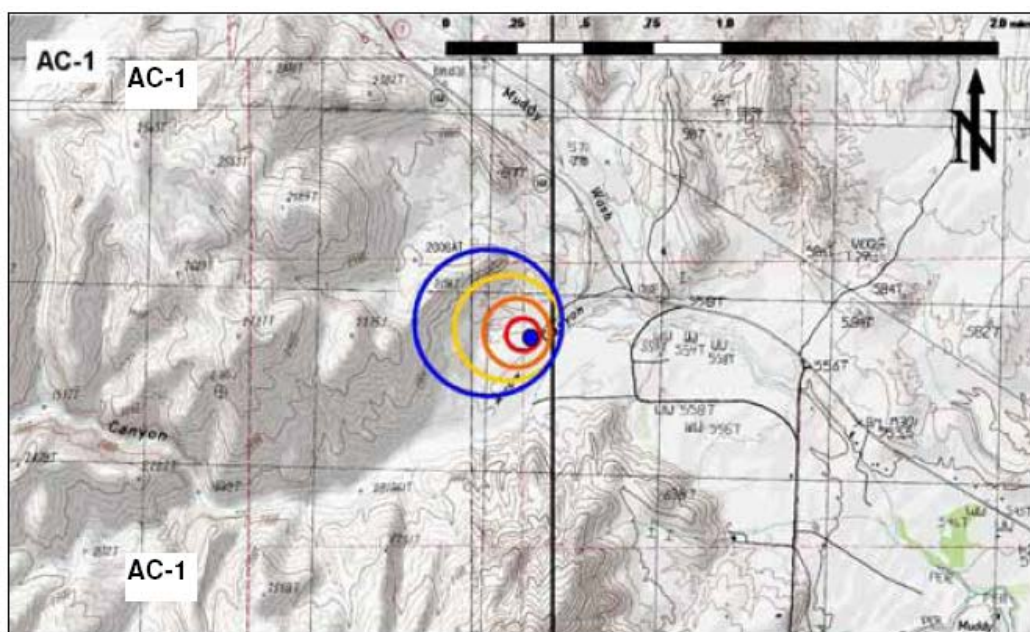
## ۹-۸- حریم کیفی چاه‌ها

روش‌های تعیین حریم کیفی چاه‌ها بر پایه TOT شش ماهه، ۲ ساله، ۵ ساله و ۱۰ ساله توسعه داده شده‌اند. برای هر چاه، محدوده تحت تاثیر شش ماهه بیانگر محدوده تاثیر در شرایط طبیعی است. سایر ناحیه‌ها بر اساس حداکثر زمان پمپاژ ممکن برای هر چاه محاسبه شدند. ناحیه‌های حریم کیفی هر یک از چاه‌ها در شکل (۹-۱۱) و شکل (۹-۱۲) نمایش داده شده‌اند. تفاوت در شکل، ابعاد و جهت حریم کیفی به دلیل تفاوت در جهت جریان آب زیرزمینی، مشخصات آبخوان و چاه و موقعیت و نرخ بهره‌برداری از چاه‌ها به وجود آمده است. در برنامه حریم کیفی اجرا شده برای چاه‌ها با توجه به نیاز شرکت آب منطقه‌ای، حریم کیفی چاه‌ها به چهار ناحیه مدیریتی تقسیم شده است.



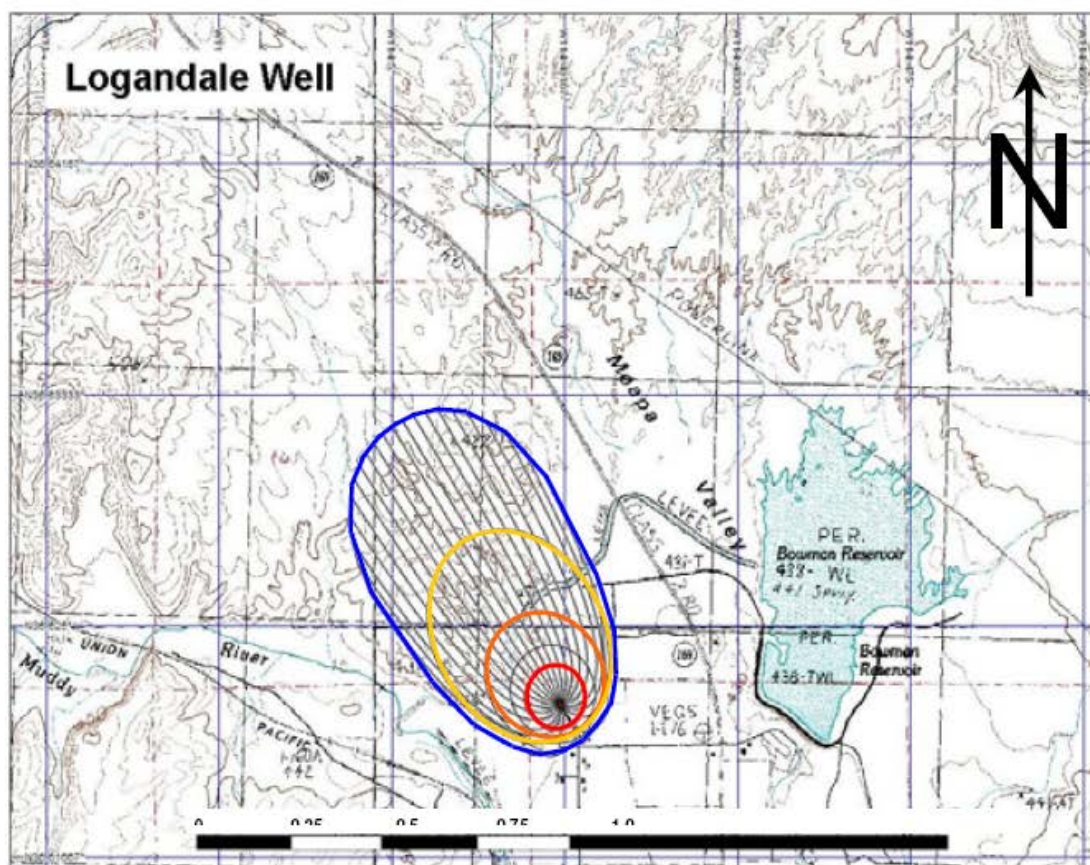
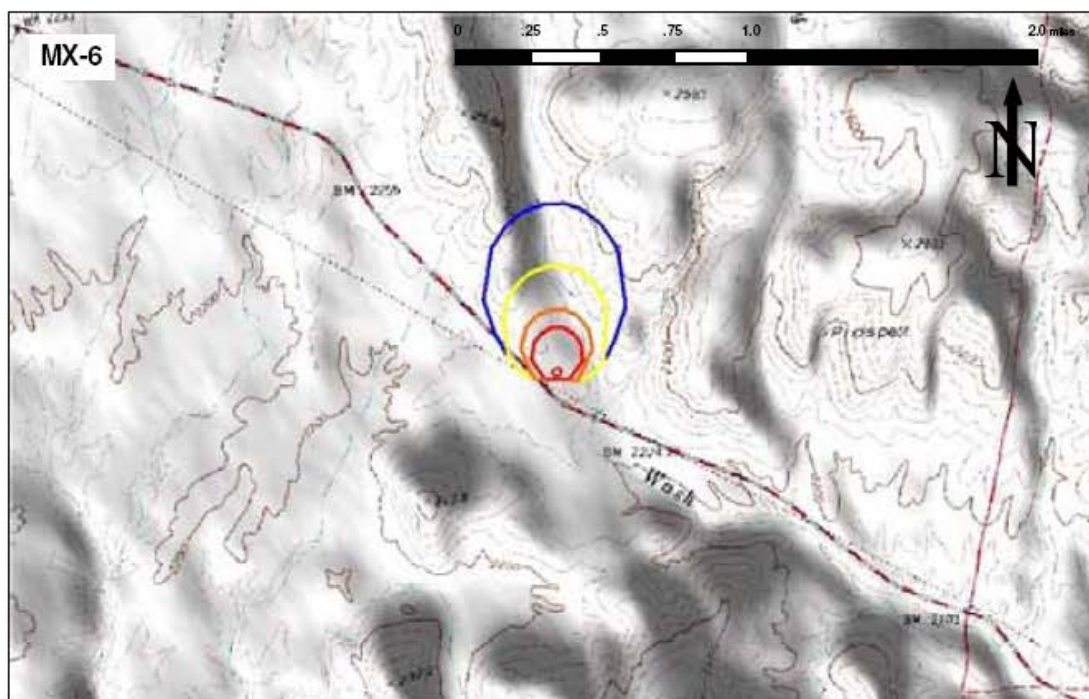
### ۹-۸-۱- حریم کیفی چاه‌ها (براساس TOT شش ماهه)

این ناحیه که بر اساس TOT شش ماهه تعیین شد، بیانگر حداکثر محدوده تاثیر در شرایط طبیعی بهره‌برداری از چاه‌هاست. در این ناحیه از راه کارهای مدیریتی و اجرای ضوابط سخت‌گیرانه در کاربری‌ها استفاده می‌شود؛ چرا که بروز هرگونه آلودگی در این ناحیه منجر به آلوده شدن چاه‌ها ظرف شش ماه است. استراتژی مدیریتی در این ناحیه با هدف حذف کانون‌های آلودگی موجود و ممانعت از ایجاد کانون‌های آلودگی محتمل مانند کاربری‌های صنعتی، تجاری، کشاورزی و احداث سیستم‌های تصفیه یا دفع فاضلاب یا زباله ساکنان منطقه توسعه داده شده است.



شکل ۹-۱۱- ناحیه‌های حریم کیفی برای چاه‌های Arrow Canyon

ناحیه قرمز = TOT = ۶ ماهه، نارنجی = TOT = ۲ ساله، زرد = TOT = ۵ ساله، آبی = TOT = ۱۰ ساله



شکل ۹-۱۲- ناحیه‌های حریم کیفی برای چاه‌های Arrow Canyon

ناحیه قرمز = TOT = ۶ ماهه، نارنجی = TOT = ۲ ساله، زرد = TOT = ۵ ساله، آبی = TOT = ۱۰ ساله



### ۹-۸-۲- حریم کیفی چاه‌ها (براساس TOT دو ساله)

این ناحیه بر اساس TOT دو ساله تعیین می‌شود و استراتژی مدیریتی به سخت‌گیری ضوابط و قوانین ناحیه ۱ نیست. اقداماتی که در این ناحیه ممنوع اند شامل موارد پرخطر مانند صنایع و کاربری‌های مرتبط با خودرو، صنعت، دفع زباله، دامداری و کشاورزی و استفاده از کود و احداث مخازن ذخیره سوخت یا مواد شیمیایی است.

### ۹-۸-۳- حریم کیفی چاه‌ها (براساس TOT پنج ساله)

این ناحیه بر اساس TOT ۵ ساله توسعه داده شده است. این ناحیه با فرض پمپاژ به صورت مستمر و به مدت دو سال محاسبه شده است و منجر به وسیع شدن ناحیه ۳ شده است. بروز آلودگی در این ناحیه ممکن است منجر به انتقال آلودگی به نزدیکی چاه‌ها شود، اما زمان انتقال طولانی و پالایش طبیعی به احتمال زیاد خطر آلودگی را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد. با این حال برخی از کاربری‌های ویژه و پرخطر مانند احداث مدفن‌های زباله و صنایع خطرناک و آلوده در این ناحیه ممنوع است.

### ۹-۸-۴- حریم کیفی چاه‌ها (براساس TOT ده ساله)

این ناحیه بر اساس TOT ۱۰ ساله و با فرض پمپاژ مستمر چاه‌ها به مدت ۵ سال محاسبه می‌شود. با اینکه بروز آلودگی در این ناحیه خطر جدی برای آلوده کردن چاه‌ها را به وجود نمی‌آورد، با این حال این منطقه باید تحت نظارت و کنترل باشد. از احداث کاربری‌های پرخطر در این ناحیه نیز ممانعت شده و اقدامات کنترل کاربری در این ناحیه انجام می‌شود.

## ۹-۹- دقت و صحت محاسبات

دقت و صحت محاسبات تعیین حریم کیفی چاه‌ها و چشمه‌ها به عواملی مانند کیفیت و کمیت مجموعه داده‌های استفاده شده، فرض‌های اعمال شده و تغییرات هیدروژئولوژیکی طبیعی بستگی دارد. به دلیل وجود عدم قطعیت زیاد در محاسبات، از تفسیرها و راه‌کارهای محافظه کارانه در تعیین حریم کیفی استفاده شده است. محاسبات انجام شده برای چشمه‌های Muddy متأثر از مشخصات و تفسیرهای ژئولوژیکی، توپوگرافی حوضه آبریز و شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه است. در رابطه با چاه‌ها نیز عدم قطعیت با استفاده از رویکردهای محافظه کارانه جبران شده است. به علت نبود اطلاعات دقیق و غیرقابل پیش‌بینی بودن مشخصات مکانی و هیدروژئولوژیکی مجاری زیرزمینی، گسل‌ها و سایر عوارض زیرزمینی که بر سرعت و مسیر جریان آب زیرزمینی موثر اند، عدم قطعیت در محاسبات همواره وجود دارد. از اینرو ورودی مدل‌ها، با اعمال فرض‌ها و پس از تفسیر اطلاعات جمع‌آوری شده و به صورت محافظه کارانه در نظر گرفته شدند. در حین انجام محاسبات از تحلیل حساسیت برای بررسی و تحلیل پارامترها استفاده شده است. در تحلیل نهایی مدل‌ها از قضاوت متخصصان برای تفسیر نتایج تحلیل حساسیت و عدم قطعیت استفاده شد. در مطالعات قدیمی انجام شده در منطقه، از روش شعاع ثابت برای حفاظت کیفی چاه‌ها استفاده شده بود که تفاوت بسیار زیادی با حریم کیفی به دست آمده در این



تحقیق دارد. از آن جاکه در این تحقیق از روش دقیق تر تحلیلی استفاده شده و رویکرد محافظه کارانه در محاسبات اعمال شده است، حریم کیفی جدید قابلیت حفاظت بیش تری در مقابل آلودگی ها را دارد [۵۵].



# پیوست ۱

---

---

## مختصری از هیدرولوژی چشمه‌ها



## پ.۱-۱- کلیات

شناخت هیدرولوژی و تغییرات هیدرولوژیکی منطقه‌ای که منابع آبی آب بسته‌بندی در آن واقع شده برای مدیریت منبع آبی آب بسته‌بندی و مدیریت کیفیت آب بسته‌بندی ضروری است. اهمیت این موضوع در مناطقی که دارای آبخوان آزاد است بیش‌تر از مناطقی است که دارای آبخوان تحت فشار می‌باشند. در این پیوست به اختصار به مبانی هیدرولوژیکی، انواع چشمه و مکانیزم تغذیه آن‌ها پرداخته شده است.

## پ.۱-۲- فرایندهای مرتبط با تغذیه چشمه

تغذیه منابع آب زیرزمینی موثرترین شاخص کمیت منابع آب بسته‌بندی است. به دلیل انواع کاهشهای هیدرولوژیکی در حوضه آبریز، تنها بخشی از بارندگی به منابع آب زیرزمینی تغذیه می‌شود. میزان تغذیه منابع آب بسته‌بندی از رابطه زیر قابل برآورد است:

$$\text{جریان زیرسطحی}^1 - \text{تبخیر و تعرق}^2 - \text{رواناب}^3 - \text{گیرش}^4 - \text{بارش} = \text{تغذیه آب زیرزمینی}^5$$

حجم تغذیه شده به سفره‌های آب زیرزمینی به صورت جریان پایه در رودخانه و یا از طریق چاه یا چشمه وارد سطح زمین می‌شود. جریان پایه معمولاً جریان رودخانه‌ها را در دوره‌های خشک تامین می‌کند. از این‌رو، بهره‌برداری از چاه یا چشمه برای بسته‌بندی آب ممکن است آبدهی رودخانه‌ای که از آب زیرزمینی تغذیه می‌شود را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین، در مدیریت منابع آب بسته‌بندی لازم است چنین رودخانه‌هایی شناسایی و تاثیر بهره‌برداری از منابع آب بسته‌بندی بر آن‌ها بررسی شود.

فرایندهای مرتبط با تغذیه منابع آبی آب بسته‌بندی را می‌توان در سه زیر-سیستم، یعنی منابع آب سطحی، محیط متخلخل غیراشباع زیر سطح زمین و ناحیه اشباع بررسی کرد. اگر تغییری در میزان آب موجود در یکی از این سه زیر-سیستم ایجاد شود، در اصطلاح شاهد «عکس‌العمل زنجیره‌ای» خواهیم شد که بر زیر-سیستم‌های دیگر تاثیر خواهد گذاشت. این تغییرات با توجه به شرایط فیزیکی و هیدرودینامیکی آبخوان و رودخانه با تأخیرهای زمانی مختلف رخ می‌دهد. برای نمونه، در شکل (پ.۱-۱) تغذیه از سطح زمین به سرعت بر میزان آبدهی منبع آب بسته‌بندی که در دوردست قرار گرفته است تاثیر می‌گذارد. در این مثال، فشار هیدروستاتیکی به سرعت در آبخوان منتشر می‌شود. به دلیل تغذیه از سطح زمین، موجی در سطح آب زیرزمینی به وجود می‌آید که سرعت آن در زمان  $t_0$  برابر  $C_0$ ، در زمان  $t_1$  برابر  $C_1$  و در زمان  $t_2$  برابر  $C_2$  است که به دلیل کاهش گرادیان هیدرولیکی،  $C_0 > C_1 > C_2$  است. A، حجم آب تغذیه

1- Interflow

2- Evapotranspiration

3- Runoff

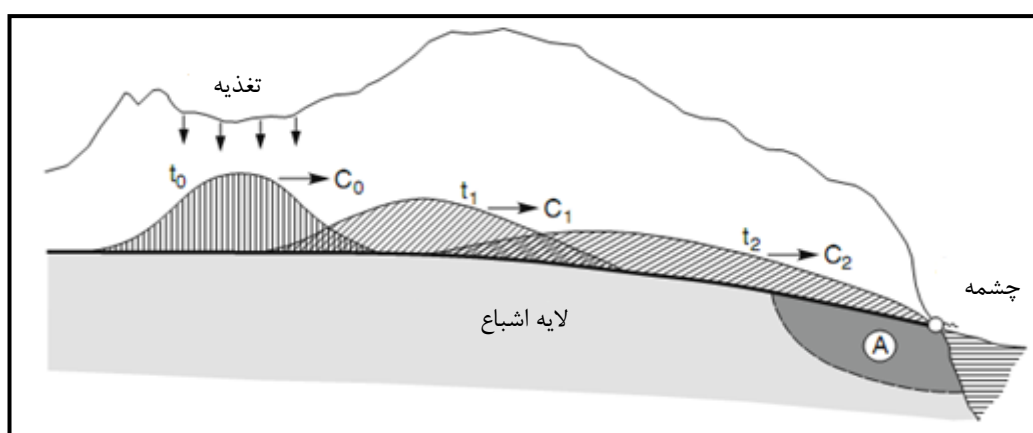
4- Interception

5- Recharge

6- Chain Reaction

شده و برداشت شده در گذشته است. برای بررسی هیدرولوژی منابع آب بسته‌بندی لازم است سیستم سفره آب زیرزمینی تغذیه کننده منبع آبی آب بسته‌بندی از نظر زمانی و مکانی به صورت پویا<sup>۱</sup> بررسی شود [۴].

برای برآورد تاثیر شرایط آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی بر منابع آبی آب بسته‌بندی می‌توان تغییرات مشاهده شده در آبدهی منبع در زمان‌های مختلف را بررسی کرد. نرخ جریان آب چشمه از محدود شاخص‌های بیلان آبی منطقه است که به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری است. با بررسی هیدروگراف چشمه می‌توان برآورد مناسبی از وضعیت آب زیرزمینی منطقه نیز داشت. با این که فرایندهای تشکیل جریان و هیدروگراف چشمه با رودخانه متفاوت است، لکن تشابه‌های بسیاری داشته و اصطلاحات علمی تفسیر آن‌ها مشابه یکدیگر است.



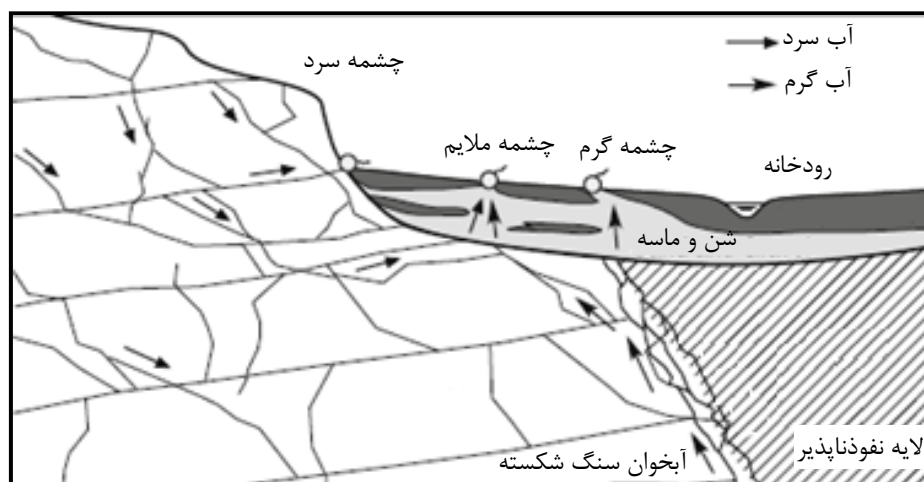
شکل پ.۱-۱- تاثیر تغذیه از سطح بر منبع آب بسته‌بندی در دور دست

### پ.۱-۳- ویژگی‌های زمین‌شناختی و انواع چشمه‌ها

برای تعیین حریم کیفی منابع آبی آب بسته‌بندی باید به مشخصات زمین‌شناسی و زمین ساختاری منبع آبی آب بسته‌بندی توجه شود؛ چرا که نوع سنگ و شکست‌های تکتونیکی مانند فرورفتگی‌ها و فرازهای شدید نقش کلیدی در شرایط خروج آب در منابع آب بسته‌بندی ایفا می‌کنند. برای تعیین محدوده مطالعاتی لازم است که مشخصات منبع آب بسته‌بندی و مکانیزم آبدهی و مکانیزم تغذیه منبع آب بسته‌بندی شناسایی شود. بدین منظور لازم است موارد ذکر شده در زیر مورد بررسی قرار گرفته و نوع منبع تعیین شود.

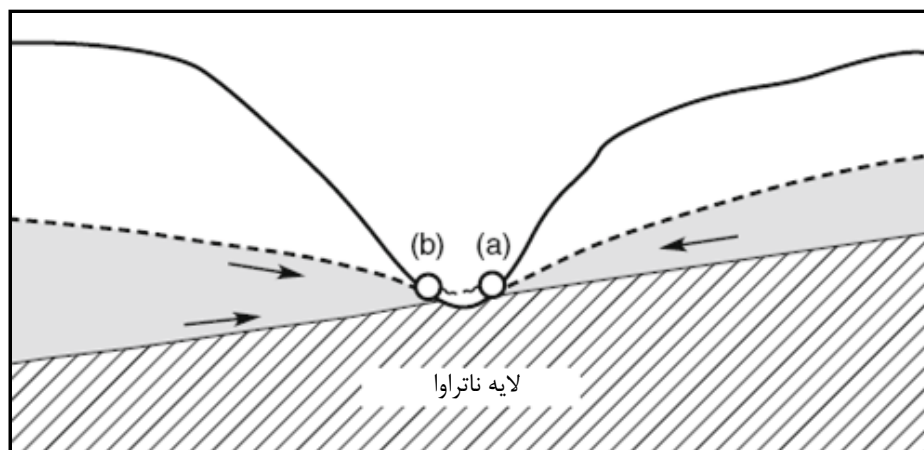
در مواردی که شرایط منطقه تا حدودی پیچیده باشد، ممکن است چندین چشمه با ویژگی‌های ساختاری متفاوت در فاصله نسبتاً کمی با یکدیگر مشاهده شوند. لذا همواره نمی‌توان انتظار داشت که در یک منطقه، شرایط تمامی منابع با یکدیگر مشابه باشد. برای نمونه چنان‌چه در شکل (پ.۱-۲) مشاهده می‌شود، مانع ناتراوایی که به علت شکست ساختار زمین به وجود آمده منجر شده است که به سفره آب زیرزمینی در اعماق زمین فشار وارد آید و آب زیرزمینی بالا آمده و در بستر رسوبی دره رودخانه خارج شود. بخشی از آب به دلیل گرادیان زمین-گرمایی در پوسته زمین، دارای دمای بالایی است

و به بالا صعود کرده است که در اصطلاح به آن «چشمه گرمایی»<sup>۱</sup> گفته می‌شود. در همین منطقه، چشمه ثقلی سرد در نیز نزدیکی چشمه گرمایی و در منطقه‌ای با رسوبات ریزدانه آبرفتی تراوا قرار دارد. در این منطقه، چشمه دیگری هم که دمای آن بسته به الگوی بارندگی، تاثیرات فصلی و مخلوط شدن آب زیرزمینی تغییر می‌کند مشاهده می‌شود.



شکل پ. ۱-۲- تعدد و تفاوت ساختاری منابع آب بسته‌بندی در یک منطقه به دلیل پیچیدگی‌های ژئومورفولوژیکی و ژئولوژیکی

هنگامی که جهت جریان آب زیرزمینی در جهت نزولی بستر ناتراوی تحتانی سفره آب زیرزمینی باشد، به آن، «چشمه تماسی پایین‌رونده»<sup>۲</sup> گفته می‌شود. هنگامی که جریان آب زیرزمینی در جهت صعودی بستر ناتراوا باشد، به آن، «چشمه تماسی بالا‌رونده»<sup>۳</sup> گفته می‌شود [۵] (شکل پ. ۱-۳).



شکل پ. ۱-۳- (a) چشمه تماسی پایین‌رونده، (b) چشمه تماسی بالا‌رونده

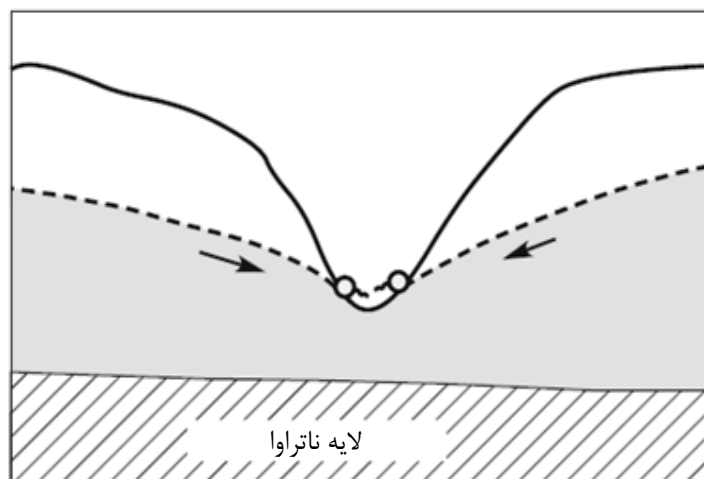
«چشمه‌های کم‌فشار»، به چشمه‌هایی گفته می‌شود که در سفره‌های آزاد در محل تلاقی سطح زمین با سطح سفره آب زیرزمینی که معمولاً در دره‌ها و مسیر کانال آبراهه‌ها و رودخانه‌ها قرار دارد، به‌وجود می‌آیند (شکل پ. ۱-۴).

1- Thermal Springs

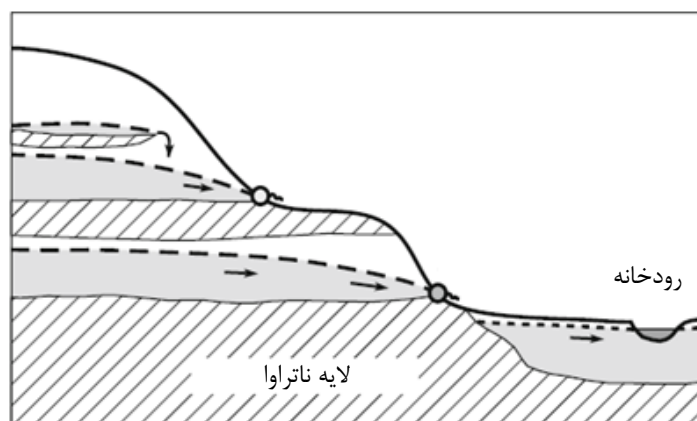
2- Descending Contact Spring

3- Overflowing Contact Spring

هنگامی که جریان رودخانه بستر خود را تا حدود بستر ناتراوی سفره آب زیرزمینی فرسایش دهد ممکن است چشمه‌های جدیدی بالاتر از بستر آبراهه رودخانه‌های فرساینده تشکیل شود. این اتفاق ممکن است به دلایل مختلف دیگر فرسایش در سطوح ناتراوا در منطقه که ممکن است در بازه‌های زمانی بسیار طولانی، رخ داده باشد (شکل پ. ۱-۵).



شکل پ. ۱-۴- چشمه کم فشار به وجود آمده در دره یا کانال رودخانه



شکل پ. ۱-۵- چشمه‌های کم فشار تشکیل شده در سطوح مختلف

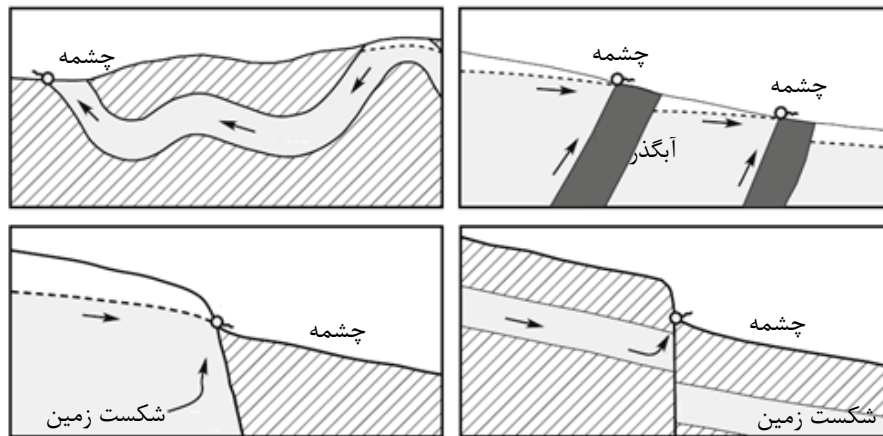
چشمه‌های کم فشار در مناطقی با بستر سنگی شکسته که لزوماً هیچ‌گونه ارتباطی با آبراهه رودخانه‌ها ندارند نیز به وجود می‌آیند.

در شکل (پ. ۱-۶) نوع دیگری از چشمه‌ها که به «چشمه‌های مانعی»<sup>۱</sup> موسوم است نمایش داده شده است. در این نوع چشمه‌ها، آب به صورت جانبی در سطوح تراوی زیرزمین جریان می‌یابد. شدت فرسایش در گذشته و هم‌چنین تغییرات تکتونیکی می‌تواند اشکال مختلفی از جریان را تشکیل دهد. هنگامی که جریان آب زیرزمینی به علت فشار هیدروستاتیکی از اعماق پایین‌تر به قسمت‌های بالایی سفره آب زیرزمینی فشار داده می‌شود، چشمه‌هایی ایجاد می‌شود

1- Barrier Spring



که در اصطلاح به آن‌ها چشمه‌های «صعودی» یا «آرتزینی»<sup>۱</sup> گفته می‌شود. این چشمه‌ها معمولاً دارای دمای ثابتی بوده و اگر دمای آن‌ها از دمای متوسط هوای اطراف بالاتر باشد به آن‌ها «چشمه‌های گرمایی» گفته می‌شود.

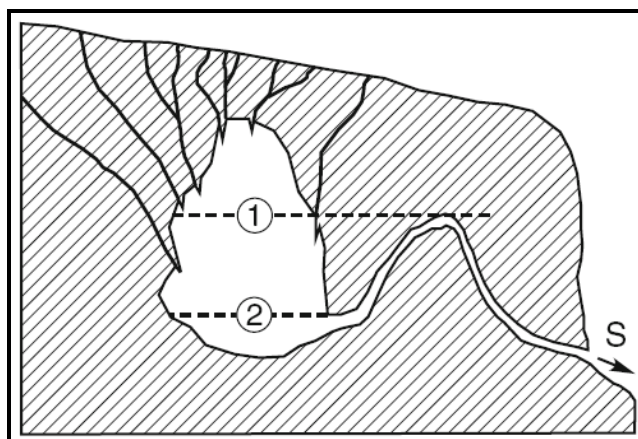


شکل پ.۱-۶- انواع مختلف چشمه‌های مانعی

علاوه بر چشمه‌های دائمی که تقریباً در تمام سال به میزان متفاوتی آبدهی دارند، برخی از چشمه‌ها تنها در بازه‌ای از سال آبدهی دارند که در آن بارندگی رخ دهد و در سایر بازه‌ها خشک هستند و به آن‌ها «چشمه‌های متناوب»<sup>۲</sup> گفته می‌شود. این نوع رفتار، ارتباط مستقیمی با میزان تغذیه و برداشت سفره آب زیرزمینی دارد. این نوع چشمه‌ها در انواع بسترهای متراکم و غیرمتراکم مشاهده می‌شوند، اما بیش‌تر در سفره‌های آب زیرزمینی کارستی وجود دارند. لازم به ذکر است که بسترهای کارستی درصد زیادی از بارندگی را جذب کرده و به سرعت به سمت چشمه‌هایی که خشک هستند، منتقل می‌کنند.

از نظر زمان آبدهی، نوع دیگری از چشمه‌ها نیز وجود دارند که تحت عنوان «چشمه‌های جزر و مدی»<sup>۳</sup> شناخته می‌شوند. این چشمه‌ها معمولاً در محیط‌های آهکی (کارستی) مشاهده می‌شوند. این نوع چشمه‌ها تقریباً در بازه‌های زمانی مشخص و ثابتی آبدهی دارند. این ویژگی با ساختار سیفونی در بستر سنگی زیرین خود در ارتباط است. همان‌طور که در شکل (پ.۱-۷) نمایش داده شده است، هرگاه سطح آب ذخیره شده در مخزن از تراز الف بالاتر باشد، چشمه آبدهی دارد و اگر در سطحی پایین‌تر باشد، آبدهی نخواهد داشت. چشمه‌های سیفونی مستقل از الگوی بارندگی پر و خالی می‌شوند. بازه‌های زمانی بین آبدهی‌های متوالی معمولاً در حدود چندین دقیقه است و دارای آبی سرد و شفاف است.

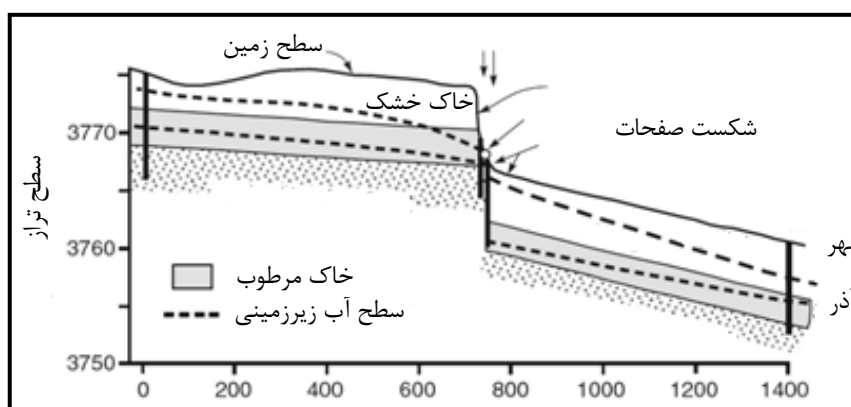
1- Ascending or Artesian  
2- Intermittent Spring  
3- Ebb and Flow



شکل پ.۱-۷- چشمه جزر و مدی

گسل‌های، به‌ویژه در سفره‌های کارستی و سنگی شکسته در مکانیزم آبدهی چشمه نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند (شکل پ.۱-۶ و شکل پ.۱-۸). گسل‌ها بر رفتار چشمه‌هایی در بستر رسوبی غیرمتراکم و نیمه متراکم رسوبی هم بی‌تاثیر نیستند. به طور کلی گسل‌ها به سه روش بر رفتار منابع آب بسته‌بندی تاثیرگذار است:

- مجرای انتقال جریان آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند.
- با افزایش فضای خالی در منطقه گسل، مخزن ذخیره‌ای برای آب زیرزمینی تشکیل می‌دهند.
- با کاهش تخلخل، نوعی مانع برای آب زیرزمینی تشکیل می‌دهد.



شکل پ.۱-۸- تاثیر گسل بر رفتار چشمه‌ها

#### پ.۱-۴- انواع سفره‌های آب زیرزمینی

- سفره آب زیرزمینی آزاد

این نوع سفره به‌طور مستقیم از بارش‌های جوی تغذیه می‌شود و به علت نبود لایه پوششی ناتراوا، در معرض خطر آلودگی‌های سطحی مثل فاضلاب‌ها قرار دارد.

### – سفره تحت فشار

اگر سفره آب زیرزمینی توسط دو لایه ناتروا و یا نیمه تراوا از پایین و بالا احاطه شده باشد، تشکیل سفره آب تحت فشار را می‌دهد.

### پ.۱-۵- چشمه‌ها

چشمه‌ها را بر حسب جریان خروجی آن‌ها به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌کنند:

- چشمه نشتی<sup>۱</sup>: در این نوع چشمه جریان خروجی قابل مشاهده نیست و برای بسته‌بندی آب استفاده نمی‌شود.
- چشمه‌های شکافی<sup>۲</sup>: در این نوع چشمه، آب به صورت متمرکز از شکاف و یا لایه‌های سنگی بستر کارستی<sup>۳</sup> چشمه خارج می‌شود. این نوع چشمه برای بسته‌بندی آب مناسب است.
- چشمه‌های ثانویه<sup>۴</sup>: در این چشمه‌ها، محل خروجی جریان از منشا اصلی جریان که توسط تخت سنگ و یا صخره‌های فرو ریخته شده از دامنه کوه پوشیده شده است فاصله دارد. این نوع چشمه که معمولاً در دامنه کوه‌ها به وجود می‌آید دارای جریان متغیر است و ممکن است شدت و حجم آن به دلایل مختلف محیطی مانند بارندگی و یا حرکات تکتونیکی و شکست سنگ تغییر کند [۵].

### پ.۱-۵-۱- مکانیزم انتقال آب در چشمه

چشمه‌ها از نظر مکانیزم انتقال آب به دو گروه تقسیم می‌شوند:

- الف- چشمه‌هایی که به دلیل فعالیت‌های آتشفشانی و هیدروترمال<sup>۵</sup> به وجود آمده و جریان آب آن‌ها به شرایط گازها و گرا دیان دما وابسته است.
- ب- چشمه‌هایی که در سطح زمین و به دلیل نیروی ثقل تشکیل شده‌اند. این چشمه‌ها بر اساس هد هیدرولیکی طبیعی در سفره آب زیرزمینی در نقطه خروجی به دو زیر گروه تقسیم می‌شوند:
- چشمه‌های ثقلی<sup>۶</sup>: این چشمه‌ها در آبخوان‌های آزاد که سطح آب زیرزمینی به سطح زمین رسیده است تشکیل می‌شوند. به این نوع چشمه‌ها «چشمه‌های نزولی<sup>۷</sup>» نیز گفته می‌شود.

---

1- Seepage Spring  
 2- Fracture Spring  
 3- Karst  
 4- Secondary Springs  
 5- Hydrothermal  
 6- Gravity Springs  
 7- Gravity Springs

– چشمه‌های آرتزینی<sup>۱</sup>: در این چشمه‌ها جریان آب به دلیل فشار موجود در شرایط تحت فشار آبخوان به سطح زمین منتقل می‌شوند. به این چشمه‌ها «چشمه‌های صعودی<sup>۲</sup>» نیز گفته می‌شود.

پدیده‌های حدی هیدرولوژیکی مانند سیل و خشکسالی می‌توانند کیفیت منابع آب زیرزمینی و سطحی را در مقیاس مکانی بزرگی در حوضه آبریز تحت تاثیر قرار دهند. از آن جاکه برنامه مدیریت حریم کیفی منابع آب بسته‌بندی توانایی برخورد با چنین تغییرات کلان در منطقه را ندارد، به تجولات متاثر از بروز این پدیده‌ها در این راهنما پرداخته نشده است.

---

1- Artesian Springs  
2- Ascending or Rising

# پیوست ۲

---

---

**مختصری از وضعیت آب بسته‌بندی در  
ایران و سازمان‌های بین‌المللی**



## پ. ۲-۱- کلیات

این فصل از راهنما به اختصار به بررسی وضعیت موجود آب بسته‌بندی در کشور، مشکلات و موانع آن، عوامل متداول کاهش کیفیت منابع آب بسته‌بندی، استانداردها و ضوابط موجود در زمینه کیفیت آب بسته‌بندی در کشور و در سازمان‌های بین‌المللی و تشریح فرایندهای تولید آب بسته‌بندی در کشور پرداخته است.

## پ. ۲-۲- بررسی وضعیت موجود آب بسته‌بندی در کشور و تشریح مشکلات و موانع

تحقیقاتی که در ایران در خصوص آب‌های بسته‌بندی انجام شده است محدود به بررسی کیفیت شیمیایی و اندازه‌گیری عناصر شیمیایی، میکروبی و با رویکرد بهداشتی بوده است. در این تحقیقات نمونه‌هایی از بازار فروش برداشت شده و پارامتر شیمیایی یا میکروبی ویژه‌ای اندازه‌گیری شده و با استانداردهای ملی و بین‌المللی مقایسه شده است که در ادامه به دو نمونه از آن‌ها و نتایج به دست آمده اشاره شده است. متأسفانه تحقیقات کافی در خصوص علل بروز تغییرات کیفی برای یک منبع آب بسته‌بندی مشخص انجام نشده است و علت این موضوع را می‌توان در نحوه نظارت شرکت‌های آب منطقه‌ای و خصوصی بودن منابع آب بسته‌بندی جستجو کرد.

برای نمونه در یکی از تحقیقاتی که توسط دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شده، غلظت فلزات جزئی سمی در آب‌های بسته‌بندی شده مصرفی در شهر تهران و در پاییز سال ۱۳۸۷ اندازه‌گیری شده است. در این تحقیق ۱۳ مارک<sup>۱</sup> آب بسته‌بندی شده مورد بررسی گرفته است. میانگین غلظت فلزات کادمیوم، کروم و سرب آب‌های بسته‌بندی شهر تهران به ترتیب  $1/55 \pm 2/34$ ،  $1/06 \pm 0/72$  و  $3/18 \pm 3/44$  میکروگرم بر لیتر برآورد شده که در همه نمونه‌های مورد بررسی در حد مجاز استاندارد ایران و استانداردهای جهانی (جدول پ. ۲-۱) بوده است [۴۳]. با این حال در این تحقیق عناصر سمی دیگر مانند آلومینیوم، جیوه و آرسنیک مورد مطالعه قرار نگرفته است.

جدول پ. ۲-۱- غلظت فلزات جزئی سمی در آب‌های بسته‌بندی شده مصرفی در شهر تهران (غلظت بر حسب میکروگرم بر لیتر) [۴۳]

کادمیوم	کروم	سرب	
۱۰	۵۰	۱۰	استاندارد ایران
۳	۵۰	۱۰	استاندارد WHO
۵	۱۰۰	۱۵	استاندارد EPA

در جدول (پ. ۲-۲) میانگین غلظت فلزات کادمیوم، کروم و سرب اندازه‌گیری شده (بر حسب میکروگرم بر لیتر) در کشورهای مختلف قابل مقایسه می‌باشد [۴۳].

جدول پ.۲-۲- میانگین غلظت فلزات کادمیوم، کروم و سرب اندازه‌گیری شده (بر حسب میکروگرم در لیتر) در کشورهای مختلف [۴۳]

نام کشور	تعداد مارک	کادمیوم	کروم	سرب
ترکیه	۱۵	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۵۶	<۰/۰۰۱
کویت	۶	۰/۰۱۳	۲/۹۵	۰/۰۴
یونان	۴	-	۲/۶	۰/۰۲
هند	۶	<۰/۰۰۵	-	<۰/۰۰۵
کرواسی	۱۸	<۰/۰۱۶	۰/۳۱	۰/۰۹۱
یونان	۱۶	-	۰/۲۹۱	۰/۱۰۱
کانادا	۳۴	۰/۲	-	۵/۳
ایران [۴۳]	۱۳	۱/۵۲	۱/۰۶	۳/۱۸

در تحقیق دیگری که در سال ۱۳۸۸ منتشر شد، در ۱۵۰ نمونه آب آشامیدنی بسته‌بندی شده از روش فیلتراسیون جهت جداسازی باکتری اشریشیا کلی<sup>۱</sup> که از مهم‌ترین شاخص‌های آلودگی آب است، بهره گرفته شد. در این تحقیق تمامی نمونه‌ها عاری از باکتری اشریشیاکلی شناخته شدند، اما بررسی‌های دقیق‌تر طبق استاندارد ملی ایران به شماره‌های ۶۲۶۷ و ۲۵۹۱، ۲٪ و ۶٪ آن‌ها به ترتیب به آنتروکوک<sup>۲</sup> و سودوموناس<sup>۳</sup> آلوده بودند [۴۴].

علاوه بر مسایل کیفی، مشکلات دیگری که شرکت‌های آب بسته‌بندی در کشور با آن مواجه هستند عبارتند از: عدم آگاهی و دانش شرکت‌ها با مفهوم حریم کیفی، عدم همکاری و یا شفاف نبودن وظایف شرکت‌های آب منطقه‌ای در اعطای مجوز بهره‌برداری و عدم وجود ضوابط، شفافیت و نیروی اجرایی کارآمد برای ممانعت برخی کاربری‌ها (کشاورزی، دامپروری و چرای دام بومیان منطقه) در محدوده منبع آب بسته‌بندی است<sup>۴</sup>.

## پ.۲-۳- بررسی عوامل متداول کاهش کیفیت منابع آب بسته‌بندی

تا کنون تحقیقات جامعی در خصوص عوامل و کاربری‌های آلوده‌کننده منابع آب بسته‌بندی در کشور انجام نشده است. اما با توجه به توصیه‌ها و پیشنهادات سازمان‌های بین‌المللی مانند USEPA، به طور کلی انتظار می‌رود فعالیت‌های و آلودگی‌های متداولی که می‌توانند به طور جدی منابع آب بسته‌بندی کشور را آلوده کنند به شرح جدول (پ.۲-۳) باشند. از آن‌جا که عوامل ذکر شده می‌توانند تاثیر بسیار نامطلوبی بر کیفیت سفره آب زیرزمینی داشته باشند، توجه ویژه به ابزارآلات و تکنیک‌های کنترل آلودگی ضروری است.

1- Escherichia Coli

2- Enterococcus

3- Pseudomonas

۴- موارد ذکر شده حاصل بررسی میدانی، مصاحبه و مکاتبه با ۲۰ شرکت آب بسته‌بندی در کشور است که توسط مجری طرح انجام شده است.



جدول پ.۲-۳- منابع آلودگی و نوع آلاینده‌های متداول [۱۰]

منبع آلودگی	نوع آلاینده
فعالیت‌های کشاورزی	نیتрат‌ها، آمونیوم، آفت‌کش‌ها، ارگانیزم‌های مدفوعی <sup>۱</sup>
فاضلاب‌های محلی	نیترات‌ها، هیدروکربن‌های هالوژن‌دار، میکروارگانیزم‌ها
مخازن سوخت و پارکینگ	هیدروکربن‌های آروماتیک، بنزن، فنل‌ها، هیدروکربن‌های هالوژن‌دار
دفن‌گاه زباله	آمونیوم، شوری، هیدروکربن‌های هالوژن‌دار، فلزات سنگین
صنایع فلزی	تری‌کلرواتیلن، تتراکلرواتیلن، هیدروکربن‌های هالوژن‌دار، فنول‌ها، فلزات سنگین، سیانید
صنایع رنگ‌کاری و رنگ‌سازی	الکیل بنزن، هیدروکربن‌های هالوژن‌دار، فلزات، هیدروکربن‌های آروماتیک، تتراکلرواتیلن
صنایع چوب	پنتاکلروفنول، هیدروکربن‌های آروماتیک، هیدروکربن‌های هالوژن‌دار
صنایع تولید آفت‌کش‌ها	هیدروکربن‌های هالوژن‌دار، فنول‌ها، آرسنیک
دفع لجن فاضلاب <sup>۲</sup>	نیترات‌ها، هیدروکربن‌های هالوژن‌دار <sup>۳</sup> ، سرب، روی
صنایع دباغی	کروم، هیدروکربن‌های هالوژن‌دار، فنل‌ها
صنایع نفت و گاز	شوری، هیدروکربن‌های آروماتیک
معادن زغال‌سنگ و فلزات	مواد اسیدی، انواع فلزات سنگین، آهن، سولفات‌ها

#### پ.۲-۴- تشریح فرایندهای تولید آب بسته‌بندی جهت شرب

فرایند تولید آب بسته‌بندی که توسط وزارت صنعت، معدن و بازرگانی به عنوان طرح پایه این صنعت معرفی شده است به شرح زیر است [۳۶].

- پمپاژ آب از منبع آب از چاهای عمیق آب معدنی و یا چشمه‌های مخصوص آب معدنی به‌وسیله پمپ به مخازن انتقال می‌یابد.
- ته نشین کردن مواد معلق و جداسازی آن‌ها در مخزن ته نشینی
- با ضدعفونی کردن (افزودن کلر) از مقدار باکتری‌ها و هم‌چنین کدورت رنگ کاسته می‌شود.
- با هواگیری گازهای شیمیایی غیر ضروری و هم‌چنین از میزان بوهای ناخواسته حاصل از مواد آلی و سایر ارگانیزم‌ها کاسته می‌شود.
- آب از لایه‌های شنی با اعماق مختلف و با دانه‌های یک اندازه عبور داده و تصفیه شنی می‌شود.
- آلودگی‌های غیر محلول و بو توسط کربن فعال از آب گرفته می‌شود.
- در این مرحله توسط فیلترهای خاص آلودگی‌هایی که از صافی‌های قبلی عبور کرده عاری می‌شود.
- در مراحل پایانی آب صاف شده و استریلاسیون انجام می‌شود.
- آب را برای بسته‌بندی به دستگاه پرکن انتقال می‌دهند و توسط دستگاه در ظروف یکبار مصرف پر شده و دربندی می‌گردد.

1- Fecal Organism

2- Sewage Sludge Disposal

3- Halogenated Hydrocarbons

## پ.۲-۵- بررسی استانداردها و ضوابط موجود در زمینه کیفیت آب بسته‌بندی در کشور و در سازمان‌های بین‌المللی

### پ.۲-۵-۱- استانداردها و ضوابط ایران

آب آشامیدنی بسته‌بندی شده، آب آشامیدنی است که از منابع مختلف نظیر آب‌های زیرزمینی و آب چشمه با اعمال روش‌های تصفیه مناسب نظیر استفاده از اوزون و تصفیه با عبور آب از مقابل اشعه ماورای بنفش تحت شرایط خاص در ظروف پاکیزه نفوذناپذیر و مناسب طبق بند ۶ استاندارد ملی ایران به شماره ۶۳۰۵ سال ۱۳۸۱ بسته‌بندی می‌گردد. طبق قوانین کشوری مناسب بودن منشا آب آشامیدنی جهت بهره‌برداری باید به تایید وزارت نیرو و سازمان‌های آب منطقه‌ای کشور رسیده باشد.

طبق ضوابط و استانداردهای ایران، آب معدنی طبیعی بسته‌بندی شده آبی است که با آب آشامیدنی به دلایل زیر متمایز باشد<sup>۱</sup>:

- بسته به این‌که منشا آب معدنی (چشمه و یا چاه) در چه ناحیه‌ای از نظر ساختار زمین‌شناسی واقع شده باشد، حاوی املاح معدنی خاص و عناصر کمیاب و دیگر ترکیبات می‌باشد.
- از منابع طبیعی مانند چشمه و نقاط حفاری شده از سفره‌های آب زیرزمینی به‌دست می‌آید و کلیه اقدامات احتیاطی برای جلوگیری از هرگونه آلودگی یا اثرات خارجی بر کیفیت آن باید انجام گیرد.
- ترکیبات آن در فصول سال از ثبات نسبی و منطقی برخوردار می‌باشد.
- در نزدیک‌ترین محل ممکن به منشا آب تحت شرایط بهداشتی خاص بسته‌بندی می‌شود.
- روش‌های مجاز تصفیه آب معدنی طبیعی بسته‌بندی شامل جداسازی اجزای ناپایدار مثل ترکیبات محتوی آهن، منگرن و سولفور و آرسنیک به‌وسیله دکانتی کردن و یا صاف کردن و در صورت لزوم تسریع آن با عمل هوادهی است [۱۷]. در این ارتباط استفاده از صافی‌های نظیر صافی هیدوسایکلون جهت جداسازی ذرات جامد معلق درشت و فیلتر شنی و کربن جهت گرفتن و حذف رنگ و طعم و مزه اضافی و خصوصاً سایر ذرات معلق و سپس میکروفیلترهایی با شماره‌هایی در حدود ۵، ۱، ۴۵ و ۲۲/۰ میکرون جهت جداسازی باکتری‌ها و میکرواورگانیسم‌های باقیمانده مجاز است. لازم به ذکر است که روش‌های تصفیه مجاز باید در شرایطی انجام گیرد که در میزان ترکیبات آب معدنی تغییر اساسی ایجاد نشود. حمل و نقل آب معدنی طبیعی در واحدهای حجیم برای بسته‌بندی یا برای هر فرایند دیگری قبل از بسته‌بندی ممنوع است.

طبق ضوابط ایران، تاییدیه منبع بهره‌برداری آب به عنوان آب معدنی طبیعی جهت بهره‌برداری از منبع زیرزمینی آب مربوطه برعهده وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و ادارات بهداشت تابعه در مراکز استان‌ها و نیز وزارت نیرو و وزارت

۱- استاندارد ملی ایران ۴۴۰۳ - سال ۱۳۷۷، آب معدنی طبیعی، ویژگی‌های باکتریایی

صنایع است. بر مبنای نتایج آنالیز شیمیایی و میکروبی آب مربوط در چهار فصل پی در پی و مقایسه نتایج مذکور و ثبات نسبی و منطقی نتایج فوق (که این ثبات نسبی در نتایج آزمون چهار فصل، خود تاییدی است بر این که منشا آب مربوط به عنوان سفره آب زیرزمینی در اعماق زمین قرار گرفته و به سطح زمین نزدیک نبوده و در نتیجه تحت تاثیر بارندگی‌های فصلی و شست و شوی خاک ناشی از آن قرار نگرفته است) و نهایتاً بازدید کارشناسان از محل سرچشمه و بررسی ساختار زمین‌شناسی منطقه، در صورت مناسب و منطبق بودن کلیه شرایط با استانداردهای ملی، تاییدیه جهت بهره‌برداری از آب منشا مربوط به عنوان آب معدنی طبیعی صادر می‌گردد [۱۹، ۱۸، ۱۷، ۴ و ۲۰].

در سال‌های گذشته اقدامات قابل توجهی برای منظم و قانون‌مند کردن روند تهیه، توزیع و فروش آب بسته‌بندی صورت گرفته و استانداردهایی در خصوص کیفیت، نحوه برچسب‌گذاری و سایر قوانین تدوین و لازم‌الاجرا شده است. این استانداردها عبارت‌اند از:

- استاندارد ملی ایران ۱۸۳۶، سال ۱۳۸۸- آیین کار - اصول کلی بهداشت در مواد غذایی
- استاندارد ملی ایران ۴۴۰۳، سال ۱۳۷۷- ویژگی‌های باکتریایی آب معدنی طبیعی
- استاندارد ملی ایران ۲۴۴۱، سال ۱۳۹۰ - آب معدنی طبیعی، ویژگی‌ها و روش‌های آزمون
- استاندارد ملی ایران ۲۶۰۶، سال ۱۳۷۳- آیین کار به‌منظور بهره‌برداری از آب‌های معدنی طبیعی آشامیدنی
- استاندارد ملی ایران ۶۲۶۷، سال ۱۳۸۰- آب آشامیدنی بسته‌بندی شده، ویژگی‌های میکروبیولوژی
- استاندارد ملی ایران ۱۴۰۹، سال ۱۳۸۸- ظروف شیشه‌ای مخصوص مواد غذایی و آشامیدنی، ویژگی‌ها
- استاندارد ملی ایران ۴۴۷۰، سال ۱۳۸۸- مواد غذایی از پیش بسته‌بندی شده - برچسب‌گذاری کلی
- استاندارد ملی ایران ۶۳۰۵- آب، آیین کار بهداشتی آب‌های آشامیدنی بسته‌بندی شده (به‌غیر از آب معدنی)
- استاندارد ملی ایران ۶۶۹۴، سال ۱۳۸۹- آب آشامیدنی بسته‌بندی شده، ویژگی‌ها
- استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳، سال ۱۳۸۸- آب آشامیدنی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی
- استاندارد ملی ایران ۲۳۴۷، سال ۱۳۶۲، روش نمونه‌برداری آب
- استاندارد ملی ایران ۵۸۶۹، سال ۱۳۸۲ آب معدنی، روش آزمون میکروبیولوژی

## پ. ۲-۵-۲- استانداردها و ضوابط بین‌المللی

در سطح بین‌المللی، تا سال ۱۹۹۳ میلادی استاندارد جامع و قابل‌اجرایی در رابطه با آب بسته‌بندی وجود نداشته است. در سال ۱۹۹۶ میلادی قانون آب آشامیدنی سالم (SDWA)<sup>۱</sup> قوانینی مشابه آنچه برای آب شرب شیر وجود داشت پیشنهاد کرد. سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا<sup>۲</sup> (USEPA) که برای منابع آب شرب شیر قوانینی را تدوین

1- Safe Drinking Water Act

2- US Environmental Protection Agency

کرده است، در رابطه با آب بسته‌بندی قوانینی ارائه نکرده است. اما سازمان غذا و دارو<sup>۱</sup> (FDA) در آمریکا از آن جهت که آب بسته‌بندی را در گروه مواد غذایی قرار می‌دهد، قوانین کنترل کیفیتی برای آب بسته‌بندی تدوین کرده است. با این حال، با بررسی این قوانین می‌توان دریافت که سازمان غذا و دارو برای آب بسته‌بندی همان رویکرد سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا برای آب شرب شیر را دارد، ولی شدت عمل کم‌تری دارد. برای مثال، بازه زمانی بررسی میزان باکتری‌ها و مواد شیمیایی در آب بسته‌بندی طولانی‌تر از آب شیر است. موسسه بزرگ و معتبر دیگری که راجع به آب بسته‌بندی تاسیس شده و فعالیت می‌کند، انجمن بین‌المللی آب بسته‌بندی<sup>۲</sup> (IBWA) است که بیش‌تر وظیفه کنترل و نظارت کیفی آب بسته‌بندی سازمان‌های عضو را بر عهده دارد [۲].

---

1- Food and Drug Administration

2- International Bottled Water Association

## منابع و مراجع

- 1- Technology of bottled water (Second Edition, 2005), Group Technical Adviser Highland Spring Ltd Blackford, Perthshire UK and NICHOLAS DEGE Supply Chain Manager Nestle' Waters North America Calistoga, California USA, Published by Blackwell Publishing Ltd.
- 2- International Bottled Water Association (IBWA) – <http://www.bottledwater.org/>
- 3- Regulation of Bottled Water, Principal Deputy Commissioner of Food and Drugs, Food and Drug Administration (FDA), Department of Health and Human Services  
<http://www.fda.gov/NewsEvents/Testimony/ucm170932.htm>
- ۴- دستورالعمل نحوه صدور مجوز بسته‌بندی آب جهت مصارف شرب، وزارت نیرو
- 5- Groundwater Hydrology of Springs., Kresic, K. and Zoran Stevanovic, Copyright # 2010, Elsevier Inc.
- 6- Illinois Groundwater Protection Program – Biennial Comprehensive Status and Self-Assessment Report (2002), Illinois Environmental Protection Agency
- 7- Lobo Ferreira.J. P. and Oliveira.M., Groundwater vulnerability assessment in Portugal, Geofísica Internacional (2004), Vol. 43, Num. 4, pp. 541-550
- 8- Pochon, A., Tripet, J.P. and Kozel, R. Groundwater protection in fractured media: A vulnerability-based approach for delineating protection zones in Switzerland, Hydrology Journal 16, Issue 7, 1267 – 1281 (2008)
- 9- Foster, S. Garduno, H. Kemper, K. Tuinhof, A. Nanni, M. Dumars, C. Groundwater Quality Protection defining strategy and setting priorities. The World Bank, 2002-2006
- 10- Foster, F. Hirata, R. Gomes, D. D'Elia, M. Paris, M. Groundwater Quality Protection. The World Bank, 2002
- 11- Harman, W. A., Allan, C. J. and Forsythe Randall D. Assessment of potential groundwater contamination sources in a wellhead protection area, journal of Environmental Management, 2001 Jul;62(3):271-82.
- 12- Harter, T. Delineation Groundwater Sources and Protection Zones. California Department of Health Services, 2002
- 13- Finn, M., Groundwater Rule, source assessment guidance manual. EPA, 2008
- 14- Meeting the requirements of the Wellhead Protection Program. U.S Army Environmental Center, 1996
- 15- Fadlelmawla, A. and Dawoud, M. An approach for delineating drinking water wellhead protection areas at the Nile Delta, Egypt, journal of Environmental Management, Volume 79, Issue 2, April 2006, Pages 140-149 2006
- ۱۶- استاندارد ملی ایران ۱۸۳۶، سال ۱۳۸۸- آیین کار - اصول کلی بهداشت در مواد غذایی
- ۱۷- استاندارد ملی ایران ۴۴۰۳، سال ۱۳۷۷- ویژگی‌های باکتریایی آب معدنی طبیعی
- ۱۸- استاندارد ملی ایران ۲۴۴۱، سال ۱۳۹۰ - آب معدنی طبیعی، ویژگی‌ها و روش‌های آزمون
- ۱۹- استاندارد ملی ایران ۲۶۰۶، سال ۱۳۷۳- آیین کار به‌منظور بهره‌برداری از آب‌های معدنی طبیعی آشامیدنی
- ۲۰- استاندارد ملی ایران ۶۲۶۷، سال ۱۳۸۰- آب آشامیدنی بسته‌بندی شده، ویژگی‌های میکروبیولوژی

- ۲۱- استاندارد ملی ایران ۱۴۰۹، سال ۱۳۸۸- ظروف شیشه‌ای مخصوص مواد غذایی و آشامیدنی، ویژگی‌ها
- ۲۲- استاندارد ملی ایران ۴۴۷۰، سال ۱۳۸۸- مواد غذایی از پیش بسته‌بندی شده - برچسب‌گذاری کلی
- ۲۳- استاندارد ملی ایران ۶۳۰۵- آب، آیین کار بهداشتی آب‌های آشامیدنی بسته‌بندی شده (به‌غیر از آب‌معدنی)
- ۲۴- استاندارد ملی ایران ۶۶۹۴، سال ۱۳۸۹- آب آشامیدنی بسته‌بندی شده، ویژگی‌ها
- ۲۵- استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳، سال ۱۳۸۸- آب آشامیدنی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی
- ۲۶- استاندارد ملی ایران ۲۳۴۷، سال ۱۳۶۲، روش نمونه‌برداری آب
- ۲۷- استاندارد ملی ایران ۵۸۶۹، سال ۱۳۸۲ آب معدنی، روش آزمون میکروبیولوژی
- 28- Sadegh, N. and Qamhie, A.R. Assessment of Groundwater Vulnerability to Contamination in the West Bank, Palestine. An-Najah National University. 2006
- 29- Edmund, W.M. and Shaund, P. Natural Groundwater Quality, Blackwell Publishing Ltd, Australia ,2008
- 30- U. S. Environmental Protection Agency; April, 1989, Wellhead Protection Programs: Tools for Local Governments; Office of Ground-Water Protection, Washington, D.C., EPA 440/6-89-002.
- 31- Indiana wellhead protection guidance
- 32- Guidance for Developing a Wellhead Protection Program Plan, Michigan Department of Environmental Quality
- 33- An Overview of Michigan's Wellhead Protection Program, Michigan Department of Environmental Quality (MDEQ)
- 34- Data Requirements for Integrated Urban Water Management: Urban Water Series – UNESCO-IHP (Urban Water) By Tim Fletcher, Ana Deletic,
- 35- Wellhead Protection Delineation Fact Sheet, Minnesota Department of Health, Drinking Water Protection Section, Source Water Protection Unit, 2008
- 36- [http://www.iraniec.ir/tips/1379/daru/182\\_4-001.pdf](http://www.iraniec.ir/tips/1379/daru/182_4-001.pdf)
- 37- Monitoring Technologies for Wellhead Protection, US Environmental Protection Agency, environmental monitoring systems laboratory, Office of research and development, Las Vegas, Nevada 89193-3478
- 38- Delineation of Source Water Protection Areas, A Discussion for Managers, United States Environmental Protection Agency (EPA) 816-R-97-012
- 39- Determining Wellhead Protection Area Boundaries-An Introduction, Wisconsin Department of Natural Resources, January 1993
- 40- Delineating Groundwater Sources and Protection Zones, Department of Land, Air, and Water Resources, University of California at Davis, Edited By: Larry Rollins, Davis, Calif.
- 41- Washington State Wellhead Protection Program Guidance Document, Washington State Department of Health, Office of Drinking Water, 2010
- ۴۲- م. قادری، غ. جاهد خانیکی، ش.نظم آرا، «تعیین غلظت فلزات جزئی سمی در آب‌های بطری شده مصرفی در شهر تهران»، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، آبان ماه ۱۳۸۸

۴۳- م.سلطان دلال، ر.خاکسار، ا.طباطبایی بفرویی و همکاران، «بررسی آلودگی آب‌های آشامیدنی بسته‌بندی در سطح عرضه به روش فیلتراسیون»، مجله علمی زیست فناوری میکروبی دانشگاه آزاد اسلامی، تابستان ۱۳۸۸، شماره اول.

- 44- New Hampshire Code of Administrative Rules, Part Env-Dw 303, Groundwater Sources of Bottled water
- 45- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J. and Hackett, G. (1987), "DRASTIC- A standardized system for evaluating ground water potential using hydrogeologic settings", Ada, Ok. U.S. Environmental Protection Agency Report 600/2-87/035.
- 46- Chen, H., and Druliner, A.D., (1988), "Agricultural contamination of ground water in six areas of high plains aquifer", Nebraska. National Water Summary 1986- Hydrologic Events and Ground-water Quality. pp. 103-108, reston, VA: U.S.
- 47- Teso, R. R., Younglove, T., Peterson, M. R., Sheeks, D. L., and Gallavan, R. E., (1988), "Soil taxomony and surveys: Classification of areal sensitivity to pesticide contamination of groundwater", Soil Water Conservation. 43 (4): 348-352.
- 48- Gustafson, D. I., (1989), "Groundwater Ubiquity Score-a simple method for assessing pesticide leachability", Environ. Toxicol Chem. 8: 339-357
- 49- Khan, M.A., and Liang, T., (1989), "Mapping pesticide contamination potential", Environmental Management. 13 (2): 233-242.
- 50- Rao, P.S.C., Hornsby, A.G. and Jessup, R.E., (1985), "Indices for ranking the potential for pesticide contamination of ground water", Soil Crop Sci. Soc. Florida Pro. 44:1-8.
- 51- Alley, W, (1993), "Pesticides. In: Regional Groundwater Quality", pp. 345-382.
- 52- Freissinet, C., Guinot, V. and Vauclin, M., (1996), "Validity of model calibration and simulation results", Hydroinformatics 96, Balkema, Rotterdam. pp. 355-362.
- 53- Beth A.Moore, "Case studies in wellhead protection area, delineation and monitoring", Environmental Monitoring Systems Laboratory, U.S.EPA, Las Vegas, Nevada 89193-3478.
- 54- Philip Elmer LaMoreaux, Judy T. Tanner, "Springs and bottled waters of the world: ancient history, source, occurrence, Quality and Use", ISBN 3-540-61841-4 Springer-Verlag Heidelberg New York, 2001.
- 55- "Wellhead Protection Program- Moapa Valley Water District, March 2005", Farr West Engineering 1310 Dalwood Court Reno, NV 89521 775.851.4788.





## خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هفتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی [nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir) قابل دستیابی می باشد.

## **Guidance on Delineation of Bottled Water Source Protection Zones [No.711]**

Executive Body: Vice Chancellor for Research and Technology, Sharif University of Technology

Project Advisor: Ahmad Abrishamchi

### **Authors & Contributors Committee:**

Ahmad Abrishamchi	Sharif University of Technology	PhD in Civil Engineering
Bijan Bina	Isfahan University of Medical Sciences	PhD in Engineering Health
Massoud Tajrishy	Sharif University of Technology	PhD in Civil Engineering
Farhad Jazaei	MSc. in Civil Engineering	Sharif University of Technology
Arash Monazzam	Sharif University of Technology	MSc.in Civil Engineering

### **Supervisory Committee**

Javad Hassannezhad	Iran Water Resources Management Co.	MSc.in Environmental Management
Nahid Ghlamnazhad	Yazd Regional Water Co.	MSc. in Civil Engineering
Mahin Kazemzadeh	IranWater Industry Technical Guidelines and ProceduresPreparation Program - Ministry of Energy	MSc. in Civil Engineering
Seyyed Hossein Hashemi	Shahid Beheshti University	PhD in Environmental Engineering

### **Confirmation Committee:**

Kamran Esmaeili	Iran Water and Wastewater Engineering Co.	MSc. in Civil Engineering (Environmental Engineering (emphasis))
Mohammad Ali Hamed	PhD in Regional Development Planning	Royan Consulting Engineers
Javad Hassannazhad	Iran Water Resources Management Company	MSc. in Environmental Management
Behrooz Dehzad	ShahidBeheshti University	PhD in of Ecology of inland (internal) waters
Nadia Roostaei	Department of Environment	MSc. in Chemical Engineering
Elham Rasoulpour Shabestari	Management, and Education, Iran Water Industry Technical Guidelines and Procedures Preparation Program - Ministry of Energy	MSc. In Environmental Planning and Management
Mohammad Mohammadi	Applied ScienceGeneral University	PhD in Environmental Assessment and Planning
Seyyed Hossein Hashemi	ShahidBeheshti University	PhD inEnvironmental Engineering
Seyyed Reza Yaghoubi	AndishehZolal Co.	MSc. in Civil Environmental Engineering

### **Steering Committee:**

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzaneh Agharamazanali	Head of Water & Agriculture Group, Technical and Executive Affairs Department
Seyyed Vahidoddin Rezvani	Expert in Irrigation & Drainage Engineering, Technical and Executive Affairs Department



## Abstract

Freshwater from springs as the prime source of bottled water is an example of a renewable natural resource: It can be used and the infiltration of rainwater or meltwater in the catchment will renew it—as long as the climate does not change dramatically, which it may do, however. One of the most obvious ways to waste this resource is groundwater contamination. Therefore, the delineation of protection zones for spring or pumping well used for the drinking water supply and the implementation of proper land-use practices in these zones, resulting in a reduction of polluting activities, are keys to the sustainable use of these valuable drinking water sources.

The main objective of this guideline is to provide guidance for protecting the quality of bottled water sources by predicting sources of pollution, delineation of protection zones for spring or pumping well, and appropriate pollution control policies and solutions to protect human and environment health and to achieve sustainable use of drinking water sources.

The scope of this guidance is limited, so it is necessary to consider its limitations and note that it is not a single blueprint, but a tool for finding the appropriate solution strategy. The focus of this guideline is on the protection of the quality of bottled water sources by delineation of protection zones. It does not explicitly address the physical, chemical, and biological processes of contaminants in the process of bottled water quality protection. The focus is on the springs and wells as bottled water sources. In addition to springs and wells, it includes virgin rivers originated from groundwater sources (i.e., springs) that are used immediately after running surface due to the unavailability of a well defined springhead. However, the guideline does not include long rivers and not virgin.

The Karst aquifers require specific methodologies, including hydrogeological techniques, artificial tracer tests and the evaluation of intrinsic vulnerability. Diversity is considered as the main feature of karstic systems. They are known to change very fast over time and in space, so that an investigation of each system on its own is needed and is not specifically discussed in this guideline.

Extreme hydrological events such as floods and droughts can dramatically influence the quality of surface water and groundwater sources as well as the water resources in large spatial scale of watersheds. The effects of these extreme climate variabilities are not addressed in this guideline.

By reading this document, it is expected that managers, consultants and bottled water industries gain sufficient knowledge on bottled water source quality management.

This guideline has been developed in nine chapters and two appendices. In Chapter two to eight, the principles and technical issues have been considered. Case study of delineation of protection zones for spring or pumping well presented in Chapter 9. Appendix 1, briefly describes the hydrology of springs and Appendix 2, presents an overview of the bottled water industry at national and international levels.



**Islamic Republic of Iran**  
**Plan and Budget Organization**

# **Guideline for Delineation of Bottled Water Source Protection Zones**

**No. 711**

Office of Deputy for Technical and  
Infrastructure Development Affairs  
Department of Technical and Executive  
Affairs  
**nezamfanni.ir**

Ministry of Energy  
Water and Wastewater Standards and Projects  
Bureau  
**<http://seso.moe.gov.ir>**

**2016**



#### این ضابطه

به بررسی نحوه حفاظت و مدیریت کیفی منابع آب بسته‌بندی در مقیاس کوچک و محدود به منبع برداشت (مظهر آب) تمرکز شده و به راهکارها و اصول حفاظت کیفی منابع آب در مقیاس بزرگ و حوضه‌ای صرفاً در حد نیاز پرداخته شده است.