دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی معدن

پیش بینی الگوی پراکندگی نیترات در آب زیرزمینی دشت اراک به روش‌های هوشمند شبکه عصبی و SVR و مقایسه نتایج آن با مدل‌های Modflow و زمین آمار چند متغیره

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن

سروش مقصودی

اساتید راهنما

دکتر نادر فتحیان پور

دکتر علی احمدی

شهریور ۱۳۹۱

به نام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی معدن

پیش بینی الگوی پراکندگی نیترات در آب زیرزمینی دشت اراک به روش‌های هوشمند شبکه عصبی و SVR و مقایسه نتایج آن با مدل‌های Modflow و زمین آمار چند متغیره

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن–اکتشاف

سروش مقصودی

استاد راهنما

دکتر نادر فتحیان پور

دکتر علی احمدی

شهریور ۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی معدن

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی معدن–اکتشاف آقای سروش مقصودی

تحت عنوان

پیش بینی الگوی پراکندگی نیترات در آب زیرزمینی دشت اراک به روش‌های هوشمند شبکه عصبی و SVR و مقایسه نتایج آن با مدل‌های Modflow و زمین آمار چند متغیره

در تاریخ ۹۱/۶/۲۸ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱– استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر نادر فتحیان پور–دکتر علی احمدی
۲– استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر مجید سرتاج–دکتر احمد رضا مختاری
۳– استاد داور خارجی	دکتر هستی هاشمی نژاد
۴– استاد داور داخلی	دکتر مرتضی طبایی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر راحب باقر پور

بر خود لازم می‌دانم که از توجه، راهنمایی و تشویق استاد بزرگوار جناب آقای دکتر فتحیان پور و راهنمایی‌ها و کمک‌های بی‌دریغ جناب آقای دکتر علی احمدی، دکتر احمد رضا مختاری و دکتر مجید سرتاج، نهایت سپاسگزاری را داشته و همچنین از مسئولین محترم آب منطقه‌ای استان مرکزی بخصوص جناب آقای مهندس مرادی که در جمع آوری اطلاعات و نمونه برداری‌ها نهایت همکاری را داشته قدردانی نمایم.

در نهایت از خانواده بسیار عزیزم که صبورانه مرا در این راه یاری نمودند و دوستان خوب و پرتلاشم در دانشگاه صنعتی اصفهان و تمامی اساتید و کارکنان محترم دانشکده مهندسی معدن نهایت سپاسگزاری را دارم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

همه‌ی استفاده‌کنندگان،

...

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه و اهداف تحقیق

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ اهداف تحقیق ۴

فصل دوم: سابقه موضوع تحقیق

۲-۱ مقدمه ۶

۲-۱-۱ منابع اصلی آلودگی نیترات ۷

۲-۲ مطالعات موردی انجام گرفته در زمینه مدلسازی نیترات در آب زیرزمینی ۱۲

۲-۲-۱ کاربرد روش‌های هوشمند در تخمین کیفیت منابع آب ۱۳

۲-۲-۲ سابقه بررسی نیترات در دشت اراک ۱۸

فصل سوم: مبانی و متدولوژی تحقیق

۳-۱ مقدمه ۲۰

۳-۲ مبانی مدلسازی عددی جریان آب زیرزمینی (MODFLOW) ۲۳

۳-۲-۱ حرکت آلودگی در آبهای زیرزمینی ۲۳

۳-۲-۲ حرکت همراه با جریان ۲۴

۳-۲-۳ پخشیدگی ۲۴

۳-۲-٤ تأخیر ۲۶

۳-۲-۵ واکنش شیمیایی ۲۶

۳-۳ مبانی مدلسازی عددی گسترش آلودگی آب زیرزمینی به روش (MT3D) ۲۷

۳-۳-۱ مدل‌های عددی در سامانه های آب زیرزمینی ۲۷

۳-۳-۲ روش تفاضل محدود(FDM) ۲۸

۳-۳-۳ روش اجزای محدود(FEM) ۲۸

۳-۳-۴ برنامه‌های رایانه‌ای برای جریان آب‌های زیرزمینی و انتقال ماده در محیط متخلخل ۲۹

۳-۳-۵ واسنجی ۳۱

۳-۳-۶ صحت سنجی ۳۱

۳-۴ مبانی مدلسازی عددی گسترش آلودگی آب زیرزمینی به روش SVM ۳۲

۳-٤-۱ شکل دسته بندی ماشین‌های بردار پشتیبان(SVC) ۳۳

۳-۴-۲ شکل رگرسیونی ماشین‌های بردار پشتیبان(SVR) ۳۴

۳-۵ مبانی مدلسازی عددی گسترش آلودگی آب زیرزمینی به روش رگرسیون چند متغیره ۳۵

۳-۵-۱ مدل رگرسیونی خطی ساده ۳۷

۳-۵-۲ معادله رگرسیونی خطی چندگانه ۳۸

۳-۶ مبانی مدلسازی عددی گسترش آلودگی آب زیرزمینی به روش شبکه عصبی (ANN) ۳۹

۳-۶-۱ عناصر تشکیل دهنده یک شبکه عصبی ۴۰
۳-۶-۲ الگوریتم یادگیری ۴۳
۳-۶-۳ الگوریتم پس انتشار خطا (BP) ۴۴
۳-۶-۴ توابع انتقال ۴۵
۳-۶-۵ آموزش شبکه ۴۶
۳-۶-۶ انتخاب مجموعه داده‌ها جهت تخمین ۴۶
۳-۶-۷ عوامل موثر در کاربرد موفقیت آمیز شبکه های عصبی ۴۷
۳-۷ مبانی زمین آمار چند متغیره ۴۷
۳-۷-۱ متغیر ناحیه ای ۴۸
۳-۷-۲ واریوگرام ۴۸
۳-۷-۳ کریجینگ معمولی ۵۰
۳-۷-۴ شبیه سازی تصادفی ۵۰
۳-۷-۵ شبیه سازی گوسی مرحله‌ای ۵۱
۳-۸ متدولوژی تحقیق حاضر ۵۱
فصل چهارم: آشنایی با محدوده مورد مطالعه
۴-۱ مقدمه ۵۳
۴-۲ مورفولوژی و توپوگرافی دشت اراک ۵۴
۴-۳ وضعیت زمین شناسی ۵۴
۴-۳-۱ رسوبات عهد حاضر ۵۸
۴-۳-۲ گسلها ۶۰
۴-۴ منابع آب زیرزمینی ۶۰
۴-۴-۱ چاهها ۶۱
۴-۴-۲ قناتها ۶۲
۴-۴-۳ چشمه ها ۶۲
۴-۴-۴ حفاریهای اکتشافی ۶۳
فصل پنجم: پیش بینی الگوی پراکندگی نیترات در دشت اراک
۵-۱ مقدمه ۶۵
۵-۲ پیش بینی الگوی پراکندگی نیترات در دشت اراک به روش MODFLOW ۷۰
۵-۲-۱ شبیه سازی کمّی آبخوان دشت اراک ۷۲
۵-۲-۲ شبیه سازی کیفی آبخوان دشت اراک ۷۵
۵-۲-۳ پیش بینی تغییر در سطح ایستابی و غلظت نیترات در دشت اراک ۷۷
۵-۳ پیش بینی الگوی پراکندگی نیترات در دشت اراک به روش SVM ۷۹
۵-۴ پیش بینی الگوی پراکندگی نیترات در دشت اراک به روش رگرسیون چند متغیره ۸۲
۵-۵ پیش بینی الگوی پراکندگی نیترات در دشت اراک به روش شبکه عصبی (ANN) ۸۶
۵-۶ پیش بینی الگوی پراکندگی نیترات در دشت اراک به روش زمین آمار چند متغیره ۹۱
۵-۷ مقایسه نتایج روش‌های مختلف پیش بینی الگوی پراکندگی نیترات ۹۶
فصل ششم: جمع بندی نتایج و پیشنهادات

۶-۱ مقدمه ۹۷
۶-۲ جمع بندی نتایج ۹۸
۶-۳ پیشنهادات ۹۹
مراجع ۱۰۰

چکیده

نیترات ها مهم‌ترین آلوده‌کننده‌های غیر نقطه‌ای آب‌های زیرزمینی در اراضی کشاورزی به شمار می‌روند. نیترات حاصل از مصرف کودها با نفوذ عمقی آب از دست می‌رود. غلظت نیترات در آب زیرزمینی نیز به میزان نفوذ، میزان آلودگی، سرعت و جهت حرکت آب زیرزمینی و تحرک آن در آب زیرزمینی بستگی دارد. در این تحقیق، با به کارگیری روش‌های هوشمند شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان و مقایسه نتایج آن با مدل‌های Modflow و رگرسیون چند متغیره و شبیه سازی زمین آماری ، الگوی پراکندگی نیترات در آب زیرزمینی دشت اراک واقع در استان مرکزی ارزیابی شده است. اطلاعات موجود نتایج نمونه‌گیری از ۴۰ چاه آب منتخب موجود در سطح دشت و به مدت ۴ بار در فصول مختلف سال از پاییز ۱۳۸۵ تا تابستان ۱۳۸۶ بوده است و میزان نیترات، pH، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، فلزات سنگین، آهن، کلیفرم کل، BOD و COD نمونه‌ها تعیین گردیده و در تابستان ۱۳۹۱ نیز به منظور صحت سنجی نتایج مدلسازی مجدداً اقدام به نمونه گیری از همان چاه‌ها شده است. همچنین با توجه به نیاز به شناخت سنگ بستر و تعیین نوع آبخوان، مطالعات ژئوفیزیک نیز انجام گرفته و تعداد ۴۲ سونداژ ژئوالکتریک طراحی و اجرا شده است. سپس با استفاده از داده‌های میزان بارندگی دشت اراک و همچنین میزان تبخیر و نوع کشت کشاورزی، هدایت الکتریکی، دما، pH، اکسیژن محلول، کل مواد جامد محلول و سطح آب زیرزمینی(WL) و با استفاده از مختصات چاه‌ها، مدل غلظت نیترات در آبخوان دشت اراک به عنوان تابعی از متغیرهای ورودی فوق به روش‌های شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون چند متغیره مرحله ای به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که تخمین‌های بدست آمده از شبکه عصبی با بیش از ۷۷ درصد همبستگی بین مقادیر پیش بینی شده با مقادیر مشاهده‌ای در مقایسه با ۴۸ درصد همبستگی در روش رگرسیون چند متغیره و ۶۵ درصد همبستگی در روشSVR از انطباق بهتری با واقعیت‌های مشاهده‌ای برخوردار بوده و از این مدل می‌توان در تخمین غلظت نیترات در آبخوان دشت اراک استفاده نمود. هم چنین با انجام شبیه سازی زمین آماری به روش SGSIM پراکندگی نیترات در دشت به صورت مکانی تخمین زده شده است.

با استفاده از نتایج مدل‌سازی در دشت و انجام پیش‌بینی در دشت مشخص شد که غلظت نیترات در فصول پس از بارندگی از حالت منطقه ای به کل آبخوان گسترش یافته و هم چنین هاله آلودگی به سمت شرق و جنوب حرکت کرده و بر وسعت آن افزوده شده است. نتایج نمونه برداری های انجام شده در دشت در تابستان ۱۳۹۱ نیز صحت نتایج مدلسازی را تأیید نموده و با توجه به بالا بودن غلظت نیترات و برخی آلاینده های دیگر نظیر TDS و EC لزوم توجه بیشتر به وضعیت آلودگی آبخوان را آشکار می نماید.

کلمات کلیدی: ۱- آلودگی نیترات ۲-شبکه های عصبی ۳-ماشین بردار پشتیبان ۴-رگرسیون چند متغیره ۵-شبیه سازی زمین آماری SGSIM

فصل اول
مقدمه و اهداف تحقیق

۱-۱ مقدمه

طبق تحقیقات به عمل آمده، حجم هیدروسفر[۱] حدود ۱٤۰۰ میلیون کیلومتر مکعب است که حدود ۹۷ درصد آن شور است. از مقدار کم آب شیرین باقیمانده، حدود ۲٤ میلیون کیلومتر مکعب به صورت یخ در یخچال-ها و عرقچین‌های قطبی و حدود ۲۴ میلیون کیلومتر مکعب در درون زمین و در سطح خشکی‌ها جمع شده و تنها حدود ۰/۰۰۱ درصد از کل هیدروسفر، یعنی حدود ۱٤۰۰۰ کیلومتر مکعب آن، در جو وجود دارد. در جدول ۱-۱ منابع آب به تفکیک در کره زمین ذکر شده است [۱]. با توجه به مقادیر ارائه شده در بالا مشاهده می‌شود که آب های زیرزمینی[۲] از ذخایر مهم آب در طبیعت هستند که از طریق حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و یا چشمه‌ها و قنوات مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در حدود ۹۷ درصد از کل آب‌های شیرین قابل بهره‌برداری کره زمین به صورت آب‌های زیرزمینی ذخیره شده و فقط ۳ درصد آن را آب‌های سطحی تشکیل می‌دهد [۲].

---

۱ - Hydrosphere

۲ - Groundwater

کشور ایران با بارندگی متوسط سالیانه به میزان ۲۵۲ میلی‌متر که کمتر از یک سوم بارندگی متوسط سالانه جهانی است، جزء مناطق خشک محسوب می‌شود و این در حالی است که افزایش جمعیت، ارتقاء سطح زندگی و به موازات آن توسعه شهری، صنعتی و کشاورزی، روز به روز نیاز به تأمین آب را افزایش می‌دهد [۳].

جدول ۱-۱- مقادیر تخمینی آب موجود در کره زمین [۱].

منابع	درصد نسبت به حجم کل آب‌ها	حجم آب $\times 10^{15}$ مترمکعب	درصد نسبت به کل آب‌های شیرین
دریاها	۹۶/۵٦٤	۱۳۵۱/۹	۰/۰
یخ‌های قطبی	۱/۷۳۰	۲٤/۲۲	٦۹/٦۱
دریاچه‌ها	۰/۰۱۳	۰/۱۸۰	۰/۲٦۱
رودخانه‌ها	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰٦
اتمسفر	۰/۰۰۱	۰/۰۱٤	۰/۰٤
آب‌های زیرزمینی	۱/٦۸۹	۲۳/٦۵	۳۰/۰
رطوبت خاک	۰/۰۰۱	۰/۰۱٤	۰/۰۵
تالاب‌ها	۰/۰۰۰۸	۰/۱۱	۰/۰۳
آب‌های بیولوژیک	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱٤	۰/۰۰۳
جمع کل	۱۰۰	۱٤۰۰	۱۰۰

در حال حاضر حجم جریان‌های سطحی کشور به طور متوسط معادل ۹٤/۲۷٦ میلیارد متر مکعب است. توزیع فصلی و مکانی بارندگی در کشور کاملاً غیر یکنواخت است. به طوری که ۲۳ درصد بارش‌ها در بهار و تنها ٤ درصد آن در فصل تابستان اتفاق می‌افتد. از نظر توزیع مکانی هم در حالی که در منطقهٔ طوالش در استان گیلان نزدیک به ۲۰۰۰ میلی‌متر بارندگی در سال اتفاق می‌افتد، مقدار بارش در کویر شهداد یزد فقط ۲۵ میلی‌متر در سال است.

با توجه به کافی نبودن مقدار جریان‌های سطحی در تأمین آب مورد نیاز، و نیز با توجه به کمبود باران، به منظور دست‌یابی به آب بیشتر، رویکرد به منابع آب زیرزمینی افزایش شدیدی یافته و تعداد چاه‌های برداشت آب که در سال آبی ۵۲- ۱۳۵۱، تنها ٤۷۱۲۷ حلقه بوده، در سال ٦٤- ۱۳٦۳ به ۱٦٤٤۲۳ حلقه، در سال ۷۲- ۱۳۷۱ به ۲٦٤٤٤٤، در سال ۸۱- ۱۳۸۰ به ٤۵۰٦۵۳ و در سال آبی ۸٤- ۱۳۸۳ به ٤٦۸۰٤۹ حلقه رسیده است. بدیهی است متناسب با افزایش تعداد چاه‌های برداشت، میزان برداشت آب از چاه‌ها در چهار دههٔ اخیر به طور قابل ملاحظه‌ای

در حال افزایش بوده است. به طوری که کل میزان تخلیهٔ آب از چاه‌ها در سال آبی ۵۲- ۱۳۵۱، ۹۱۵۰ میلیون متر مکعب، در سال ٦٤- ١٣٦٣، ٢٩٦٠١، در سال ۷۲- ۱۳۷۱، ۳۷۰۳۱، در سال ۸۱- ۱۳۸۰، ٤٤٩٥٥ و در سال ۸٤- ۱۳۸۳، ٤٤٨٩٥ میلیون متر مکعب بوده است. همانطور که مشاهده می‌شود در طی سال‌های ۵۲-۱۳۵۱ تا ۸٤-۱۳۸۳ میزان تخلیه از چاه‌ها پنج برابر شده است. متناسب با افزایش برداشت از چاه‌ها، میزان تخلیهٔ متوسط سالانه چاه‌های آب در چهار دههٔ اخیر به سرعت کاهش یافته به نحوی که سرانه تخلیه چاه در سال آبی ۵۲- ۱۳۵۱، ۱۹٤ هزار متر مکعب، در سال ٦٤- ١٣٦٣، ١٨٠، در سال ۷۲- ۱۳۷۱، ۱٤۰، در سال ۸۱- ۱۳۸۰، ۱۰۰ و در سال ۸٤- ۱۳۸۳، ۹٦ هزار مترمکعب در سال بوده است.

به جرأت می‌توان گفت که آب‌های زیرزمینی در مناطق خشکی همچون ایران سهم بسیار زیادی در تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی دارند که این مسئله با توجه به کمبود آب و بحران خشکسالی در چند سال اخیر اهمیتی روز افزون یافته است. بیشترین خطری که آینده بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی را تهدید می‌کند، آلودگی این منابع توسط مواد زیان آوری است که انسان به طور عمد و یا غیر عمد، در نتیجه سهل‌انگاری و ناآگاهی وارد محیط‌های طبیعی می‌سازد [۴].

۱-۲ اهداف تحقیق

با توجه به وضعیت آب قابل استفاده در دنیا و اهمیت آب‌های زیرزمینی، لذا محافظت از این منابع با ارزش لازم است. یکی از منابع مهم آلاینده منابع آب زیرزمینی که امروزه مورد توجه بسیاری است، نیترات حاصل از فعالیت‌های کشاورزی است. مدل‌سازی نیترات از منبع استفاده تا وضعیت آن در آب زیرزمینی می‌تواند به عنوان ابزار کارآمدی در دست مدیران اجرایی و برنامه‌ریزان باشد. که هدف از این تحقیق به طور کلی فراهم آوردن این امکان است. و برای مطالعه موردی دشت اراک مورد توجه قرار گرفته است. محدوده حوضه آبریز دریاچه میغان (به این دریاچه توزلوگل هم گفته می‌شود)، که دشت اراک در آن واقع شده است، از جمله مناطقی است که از وجود آب سطحی دائم و کافی بی‌بهره بوده و از قدیم‌الایام اهالی منطقه از طریق چشمه‌ها و یا از طریق حفر قنات، احتیاجات خود را برطرف نموده‌اند. لیکن با ظهور علائم کاهش تدریجی حجم مخزن آب زیرزمینی در اثر اضافه برداشت توسط چاه‌های حفر شده و تشدید آن به ویژه در اثر بروز خشکسالی‌های اخیر از یک طرف و آلودگی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی از سوی دیگر، ضرورت شناخت دقیق‌تر آبخوان و فراهم نمودن اطلاعات لازم به منظور اعمال مدیریت بهینه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، بیش از پیش احساس گردیده است [۵].

هدف از انجام این تحقیق، کسب شناخت لازم در خصوص میزان آلودگی به نیترات آبخوان دشت اراک و بررسی چگونگی تغییرات آن در طول زمان می‌باشد. همچنین به وسیله مدل‌سازی کیفی و کمی این آبخوان، به روش‌های مختلف هوشمند مانند شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون چند متغیره و مقایسه نتایج آن با دیگر روش‌ها مانند زمین آمار چند متغیره و Modflow چگونگی تأثیر فعالیت‌های کشاورزی انجام گرفته در سطح دشت بر آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات و تعیین بهترین مدل برای تخمین نیترات در دشت و پیش بینی الگوی پراکندگی آن بررسی می‌شود.

اهم نتایجی که از این رهگذر حاصل می‌شود عبارتند از:

- مشخص نمودن مناطق آلوده به نیترات در محدوده دشت
- بررسی روند تغییرات فصلی نیترات در محدوده دشت با تهیه نقشه‌های آلودگی آب زیرزمینی دشت به روش‌های مختلف شبکه عصبی-رگرسیون چند متغیره-ماشین بردار پشتیبان و زمین آمار چند متغیره
- بررسی مشخصات آبخوان دشت اراک و مدل‌سازی ریاضی آن
- شبیه سازی کیفی آبخوان دشت و نحوه انتشار آلودگی نیترات و انجام پیش‌بینی‌های لازم در صورت ادامه روند کنونی انجام فعالیت‌های کشاورزی در دشت اراک و مقایسه روش‌های مختلف تخمین و پیشنهاد بهترین الگوریتم برای تخمین.

فصل دوم
سابقه موضوع تحقیق

۲-۱ مقدمه

نیترات مهم‌ترین عامل آلوده کننده آب‌های زیرزمینی است و مهم‌ترین دلیل افزایش غلظت آن در منابع آب سطحی و زیرزمینی، فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد. فعالیت‌های بیولوژیک موجود در خاک باعث تبدیل شکل‌های دیگر نیتروژن به نیترات شده و آلودگی آب‌های زیرزمینی را به دنبال دارد. نیترات خاک از طریق آب شویی از سطح خاک شسته شده و با ورود به آب‌های زیرزمینی، منجر به آلودگی آن‌ها می‌گردد.

حداکثر غلظت مجاز نیتروژن نیتراتی(NO_3-N) از نظر اداره حفاظت محیط زیست آمریکا[۱] و سازمان بهداشت جهانی، برای آب آشامیدنی ۱۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که تقریباً معادل ۴۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات (NO_3) است. این حد از نظر اتحادیه اروپا[۲]، ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات تعیین شده است. در کشور ما نیز ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات به عنوان حداکثر غلظت مجاز در آب آشامیدنی تعیین شده است.

آبشویی نیترات علاوه بر آلودگی منابع آب زیرزمینی، به علت اینکه از سطح خاک شسته شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود، از نظر اقتصادی نیز موجب ضرر و زیان می‌شود[۷].

---

۱ - U. S. Environmental Protection Agency (USEPA)

۲ - European Union (EU)

۲-۱-۱ منابع اصلی آلودگی نیترات

الف- منابع خانگی و شهری

استفاده خانگی از آب (مصارف آشپزی، شستشو، آبیاری چمن‌ها و باغات و تخلیه مواد زائد شهری) باعث پایین آمدن کیفیت آب شده و در صورت همراه داشتن ترکیبات نیتروژن یا نیترات می‌تواند منجر به آلودگی آب-های زیرزمینی شود. به طور کلی منابع خانگی و شهری که به وسیله جامعه امروزی تولید می‌شوند به دو شکل می-توانند باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی شوند.

- زباله‌های جامد

امکاناتی که برای از بین بردن زباله‌های جامد وجود دارد شامل وسایل سوزاننده زباله و محل دفن زباله می-باشند که در صورت عدم احداث و کنترل صحیح، باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شوند. برای تعیین عمق صحیح، جهت دفن بهداشتی زباله، باید محل حفره‌ها و فاصله آن‌ها با سطح آب زیرزمینی و نیز شیب زمین مد نظر قرار گیرد. این مطالعات را می‌توان در منطقه مورد نظر با حفر چاه‌های آزمایشی انجام داد. محل حفره‌ها و بالاترین سطح سفره آب زیرزمینی در طرح‌ریزی یک محل دفن از بیشترین اهمیت برخوردار است. کف زمین پر شده از زباله، باید به مراتب بالاتر از سطح سفره آب زیرزمینی باشد و در صورت نیاز خاک موجود بین این فاصله، حفاظت آب‌های زیرزمینی را تضمین خواهد کرد [۸].

مواد زاید جامد قادر به جذب بسیار زیاد آب و تولید شیرابه هستند. نیترات‌ها و کلریدها آلاینده‌های اصلی شیرابه این مواد هستند. در صورت انتقال شیرابه، آب‌های زیرزمینی پایین دست تا فواصل زیاد آلوده خواهند شد. این آب برای مصارف انسان، حیوان، آبیاری و حتی استفاده در صنایع مناسب نخواهد بود [۹].

عابدی در سال ۱۳۷۸ تحقیقی بر روی نمونه‌های آب چاه‌های پایین دست لندفیل[۱] مشهد انجام داد و تنها در چاهی که با حداقل فاصله از محل لندفیل -نسبت به سایر چاه‌ها- واقع شده بود، میزان غلظت بالای عناصر کلر، منیزیم، کلسیم و فسفات مشاهده شد که علت عمده آن نشت از لندفیل و نفوذ و تراوش شیرابه آن از خلال درز و شکاف‌های موجود در زمین عنوان گردید. برای جلوگیری از ورود آلودگی، پیشنهاد گردیده که لندفیل با بستر و پوشش مناسب و مطابق با استانداردهای بین‌المللی طراحی شود [۱۰].

- فاضلاب شهری

مقدار ترکیبات نیتروژن در فاضلاب‌های شهری نسبتاً بالا بوده و حدود ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر است [۸]. منشأ اصلی ترکیبات نیتروژن در فاضلاب شهری، فضولات انسان است. قسمت عمده ترکیبات نیتروژن در فاضلاب خام

---

۱ - Landfill

به صورت یون آمونیوم می‌باشد که در زمین تحت فرآیند نیترات سازی به نیترات تبدیل می‌شود. از سوی دیگر مواد سمی موجود در فاضلاب سبب مرگ و نابودی باکتری‌های غیر هوازی در زمین شده و لذا عمل نیترات سازی متوقف می‌شود. مقدار ترکیبات کلراید، سولفات، سختی و میزان باکتری‌های آب زیرزمینی نیز در اثر بالا رفتن نیترات افزایش می‌یابد [۸]. تخلیه فاضلاب‌های شهری بر حسب مقدار آن، میزان مراقبت، شرایط زمین شناسی و هیدرولوژی منطقه و روش دفع، میزان آلودگی متفاوتی ایجاد می‌کند [۱۱].

مقدار نیتروژن تولید شده توسط انسان در شبانه روز به طور متوسط در مدفوع برابر ۱۶۰ میلی‌گرم نیتروژن در هر کیلوگرم وزن انسان بوده و مقدار ماده جامد موجود در ادرار به طور متوسط ۴۰ تا ۷۵ گرم در شبانه روز می‌باشد که از این مقدار ۲۵ درصد آن را اوره تشکیل می‌دهد که ۴۶ درصد از وزن اوره نیز به سرعت به NH_4^+ تبدیل می‌شود [۱۲] . بر این اساس مقدار نیتروژن تولید شده در یک سال توسط یک انسان با متوسط وزن ۶۰ کیلوگرم تقریباً برابر ۶ کیلوگرم می‌باشد که در صورت دفع غیر بهداشتی این فاضلاب، خود به تنهایی پتانسیل آلودگی بسیار زیادی را در محیط‌های طبیعی ایجاد می‌کند.

خزاعی در سال ۱۳۷۹ تأثیر گسترش شهری بر کیفیت آبخوان آب زیرزمینی زاهدان که تنها منبع تأمین آب برای مصارف مختلف شهر است را بررسی کرد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که غلظت نیترات به میزان خیلی بالاتر از حد مجاز افزایش پیدا کرده، به طوری که در بعضی نقاط به حدود ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. نتایج حاصل در مورد میزان آمونیوم و نیتریت، دلالت بر تازه بودن آلودگی توسط فاضلاب خانگی دارد. به علت رعایت نکردن حریم چاه‌ها و عدم بهسازی و حفاظت بهداشتی چاه‌ها، ۳۳ درصد نمونه‌ها از نظر کلیفرم مجموع مثبت بوده و ۱۱ درصد دارای کلیفرم مدفوعی هستند. میزان و نوع آلودگی با نوسانات آب زیرزمینی در فصول سال تغییر می‌کند. به طور کلی، گسترش برنامه ریزی نشده شهر به طور نگران کننده‌ای موجب آلودگی آب زیرزمینی آبخوان زاهدان گردیده است که خود اخطاری به مسئولین در اقدامی جدی و هماهنگ برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی می‌باشد [۱۳].

ب-منابع صنعتی

دو منبع اصلی برای آلوده‌سازی آب‌های زیرزمینی توسط صنایع وجود دارد.

- پس‌مانده‌ها و ضایعات

تلاش و کوشش بخش صنعت این است که محصولات مورد نیاز را تولید کند. اما همواره در این مسیر با تولید پس‌مانده و ضایعات صنعتی روبرو بوده است. ضایعات و پس‌مانده‌های مایع ممکن است ترکیبات پیچیده‌ای باشند که در بیشتر موارد به درون چاه‌هایی که در ارتباط با آب‌های زیرزمین هستند، تخلیه می‌شوند و بدین صورت

موجبات آلودگی آب‌های زیرزمینی را به وجود می‌آورند. ضایعات جامد هم در گذشته معمولاً به مکان دوری برده شده و در آنجا تخلیه می‌شدند ولی در حال حاضر آن‌ها در زیرزمین دفع می‌شوند. حدود ۹۲ درصد از ضایعات جامد جهان به روش دفن زمین (لندفیل) دفع می‌شوند. آلودگی آب‌های زیرزمینی به وسیله ضایعات جامد بستگی به آبشویی لندفیل‌ها دارد که آن هم تحت تأثیر نفوذپذیری خاک، شیب زمین و تماس با آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

- نشت مواد شیمیایی ذخیره شده

مواد شیمیایی ذخیره شده نیز از مواردی است که ممکن است برای مدت طولانی از نظرها دور مانده و نادیده گرفته شود. نشت این مواد ممکن است از مخازن بزرگ ذخیره مواد و یا لوله‌های انتقال آن‌ها انجام شود که می‌تواند آب‌های زیرزمینی را آلوده سازد.

ج- منابع کشاورزی

منشأ آلودگی کشاورزی در درجه اول مربوط به استفاده بی‌رویه از کودها و آفت‌کش‌ها و در درجه دوم مربوط به دامپروری و فعالیت‌های انسانی است. ممکن است این نوع آلودگی مناطق وسیعی را در برگیرد. افزایش روزافزون جمعیت از یک‌سو و کمبود مواد غذایی از سوی دیگر باعث شده تا استفاده از کودهای شیمیایی و سموم آفت‌کش روند فزاینده داشته باشد که باعث آلودگی منابع آب، خاک و هوا شده است.

موسوی در سال ۱۳۷۶ مطالعه‌ای در مورد آلودگی آب‌های زیرزمینی حاشیه زاینده رود انجام داد و به این نتیجه رسید که نیتروژن نیتراتی در دو چاه - از مجموع ۲۴ چاه مورد نمونه‌برداری- بسیار بیشتر از بقیه چاه‌ها و به میزان ۱۶/۲ و ۲۹/۷ میلی‌گرم بر لیتر بوده است. همچنین از لحاظ کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی، آب بسیاری از چاه‌ها در وضعیت نامطلوبی قرار داشته‌اند. منابع اصلی آلودگی در حاشیه زاینده‌رود، تخلیه فاضلاب-های صنعتی و شهری به زاینده رود و مصرف زیاد آب، کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات در مناطق کشاورزی اطراف رودخانه تشخیص داده شده است [۱۴].

در تحقیقی توسط محسنی که در سال ۱۳۶۵ انجام شد، غلظت نیترات در چاه‌های آب اطراف شالیزارهای بابل تعیین شده و مشاهده گردید که بین مصرف کودهای نیتروژن دار و آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات همبستگی مثبتی وجود دارد. در حدود ۲۵ درصد از چاه‌های نمونه برداری شده آب آشامیدنی شهر بابل دارای غلظت نیترات بیش از حد استاندارد (۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) بوده که حداکثر آن ۶۶ و متوسط آن‌ها ۴۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر بوده است [۱۵].

جلالی و همکاران در سال ۱۳۷۹ با ارزیابی غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی همدان به این نتیجه رسیدند که در ۶۸ درصد از نمونه‌ها، غلظت نیترات کمتر از ۵۰، در ۲۶ درصد از نمونه‌ها در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ و در ۶