Journal of Water & Wastewater
Science & Engineering (jwwse)
Vol. 3, No. 4., PP. 33-48, Winter 2019
DOI: 10.22112/jwwse.2018.142639.1104

نشریه علمی- ترویجی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال سوم، شماره ۴، صفحات ۳۳-۴۸، زمستان ۱۳۹۷

Investigating Pump and Treat Methods in Remediation of Contaminated Aquifer

Seyed Mostafa Tabatabaei[1*] and Abolfazl Akbarpour[2]
1- Ph.D. Student of Water Resources, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
*Corresponding author, Email: Tabatabaei1984@yahoo.com

Received: 01/08/2018
Revised: 28/12/2018
Accepted: 29/12/2018

Abstract

Penetration of pollutions to groundwater resources and extending in the aquifer environment can endanger the health in large volumes of groundwater resources as green and sustainable water. Pump and treat methods have not been widely used in Iran in last decades due to the operational complexity, exercising high potential costs and low threat of pollution. In this study, pump and treat methods are investigated for successful implementation and overcoming the failure factors in Iran. The study is library-based and the content is based on the experiences of this method for contaminated sites, scientific and experimental studies of this method, along with guidelines from the US Environmental Protection Agency in a descriptive-analytical manner. It is shown that determination of pollutant type and contamination range through sampling with new tools, hydraulic containment to prevent the spread of contaminated mussels, computer simulation, effective pumping operation, monitoring the contaminated area, employing a suitable purification method and evaluating the total operation performance, reducing the costs and duration of the project and the success of the pump and treat method are effective in achieving the objectives of purification practice in the contaminated area. The principal application of the pump and treat method can prevent the development of pollution in groundwater resources and high purification costs and help to rehabilitate many contaminated aquifers in Iran.

Keywords: Ground water, Pollution control, Pumping and injection, In-situ treatment.

مروری بر تجارب جهانی روش پمپاژ و تصفیه در پالایش آبخوان‌های آلوده

سید مصطفی طباطبائی[1*] و ابوالفضل اکبرپور[2]
۱- دانشجوی دکتری منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: Tabatabaei1984@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۰
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۱۰/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۰۸

چکیده

کاربرد روش پمپاژ و تصفیه از چند دهه گذشته در کشورهای توسعه یافته رواج دارد و به‌دلیل پیچیدگی های عملیاتی، اعمال هزینه‌های احتمالی زیاد و عدم گسترش و تهدید آلودگی در دهه های گذشته، در ایران استفاده چندانی نداشته است. در این پژوهش به بررسی کامل روش پمپاژ و تصفیه برای اجرای موفق و غلبه بر عوامل شکست پروژه‌های پمپاژ و تصفیه در صورت اجرا در کشور پرداخته شده است. روش انجام این پژوهش از نوع کتابخانه ای بوده و مطالب براساس تجربیات اجرایی این روش در سایت‌های آلوده و بررسی های علمی و تجربی مختلف پیرامون این روش به‌همراه رهنمودهای سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا به‌شیوه توصیفی-تحلیلی در بخش های مختلف با بیان ساده مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که موفقیت این سیستم به‌دلیل بزرگ بودن ابعاد و پیچیدگی‌های محیط آبخوان بستگی به استفاده از ابزار و راهکارهای درست برای درک دقیق مسئله در محیط واقعی دارد. تعیین نوع آلاینده و محدوده آلودگی از طریق نمونه‌برداری با ابزارهای نوین، مهار هیدرولیکی مناسب برای جلوگیری از گسترش توده آلوده، شبیه‌سازی کامپیوتری، عملیات پمپاژ موثر، پایش منطقه آلوده، به‌کارگیری روش مناسب تصفیه و ارزیابی عملکرد مجموع عملیات، در کاهش هزینه‌ها و مدت زمان اجرای طرح و موفقیت روش پمپاژ و تصفیه برای رسیدن به اهداف پاکسازی منطقه آلوده موثر هستند. کاربرد اصولی روش پمپاژ و تصفیه می‌تواند در جلوگیری از توسعه آلودگی منابع آب زیرزمینی و تحمیل هزینه‌های زیاد تصفیه جلوگیری نماید و در احیای بسیاری از آبخوان‌های آلوده کشور مفید و موثر واقع شود.

کلید واژه‌ها: آب زیرزمینی، پمپاژ و تزریق، تصفیه در محل، کنترل آلودگی

۱- مقدمه

در سراسر دنیا آب زیرزمینی به‌عنوان تامین کننده بخشی از نیازهای آبی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و این اهمیت در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک برجسته‌تر است (Polemo et al., 2008). توسعه روزافزون جوامع بشری و گسترش فعالیت‌های صنعتی سهم عمده‌ای در آلودگی محیط زیست به‌ویژه منابع آب دارد. یکی از مهمترین منابع آبی آسیب‌پذیر در برابر آلودگی آب‌های زیرزمینی هستند و به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آن‌ها نسبت به آب‌های سطحی با دشواری و هزینه بیشتر همراه است (گرگانی و همکاران، ۲۰۱۷). نفوذ انواع آلاینده‌ها که در ادامه مهمترین آن‌ها به‌همراه چند نمونه از پژوهش های انجام شده پیرامون آن ذکر شده است، از عمده موارد حاصل از فعالیت‌های بشری بر منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شوند، که آبخوان‌های زیادی را در کشور با آلودگی موجه ساخته اند. از این بین می‌توان آلاینده هایی نظیر شیرابه زباله‌های شهری و صنعتی گزارش شده توسط (اسدی‌شیرین و غلامعلی‌فرد، ۱۳۹۵؛ کاکائی و همکاران، ۱۳۹۵) آفت‌کش‌ها و سموم دفع آفات کشاورزی (خدادادی و همکاران، ۱۳۸۹؛ خلیجیان و همکاران، ۱۳۹۵) و هیدروکربن های نفتی گزارش شده توسط (ناصری و همکاران، ۱۳۹۰؛ پاکروان و صائب، ۱۳۹۴) را نام برد. از طرفی پایداری آلاینده ها در محیط متخلخل آبخوان نسبت به آب‌های سطحی بسیار بالا بوده و پالایش و پاکسازی آن‌ها نیازمند به‌کارگیری روش مناسب احیای آب زیرزمینی است (Thomson and Johnson., 2000). در یک دسته‌بندی کلی پالایش آبخوان معمولا به روش‌های زیست پالایی[1] (Raymond et al., 1977)، پمپاژ و تصفیه[2] (Chau., 1988)، گیاه پالایی[3] (Mulligan., 2001)، استخراج بخار خاک[4] (U.S EPA., 1995) انجام می‌شود.

در این پژوهش روش پمپاژ و تصفیه به‌عنوان روش معمول پالایش آبخوان‌های آلوده، مورد بررسی قرار گرفته است. این روش برای حذف و پاکسازی درصد قابل توجه آلودگی به‌عنوان اولین گزینه مطرح است و یکی از گسترده‌ترین فنآوری‌های مورد استفاده در پالایش آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود. برای تکمیل پروسه پاک‌سازی و افزایش عملکرد این روش می‌توان از سایر روش‌ها بهره برد.

روش پمپاژ و تصفیه یکی از ارکان اصلی پالایش آب‌های زیرزمینی برای حذف و یا کنترل آلودگی است و به‌طور معمول برای تصفیه و زلال‌سازی آب‌های زیرزمینی که با مواد شیمیایی حل‌شونده از جمله حلال های صنعتی، فلزات سنگین و روغن‌های سوختی آلوده شده‌اند کاربرد دارد (Chau., 1988). آمار ارائه شده از EPA (2001) نشان می‌دهد که اگر چه تعداد پروژه های پمپاژ و تصفیه از ۹۲ درصد کل پروژه‌های روش‌های پالایش آب زیرزمینی در سال ۱۹۸۶، به ۳۰ درصد در سال ۱۹۹۹ کاهش یافته است، اما این‌روش به‌عنوان متداول‌ترین روش پالایش در فهرست اولویت‌های دولتی قرار دارد. در روش پمپاژ و تصفیه آب زیرزمینی برای حذف آلودگی و جلوگیری از گسترش توده آلوده و رسیدن به چاه‌های برداشت آب آشامیدنی، تالاب‌ها و سایر منابع طبیعی، به سطح زمین پمپاژ می‌شود و پس از پالایش به آبخوان تزریق می‌شود، یا در بخش های مختلف مورد استفاده قرار گرفته و یا برای تصفیه بیشتر از طریق سیستم انتقال به تصفیه خانه منتقل می‌شود. روش تصفیه نیز بستگی به خواص فیزیکی و شیمیایی نوع آلاینده هایی دارد که باید حذف شوند. این سیستم به‌عنوان پمپاژ و تصفیه (P & T) شناخته می‌شود (USEPA, 1996). مدت زمان عملیات پمپاژ و تصفیه ممکن است از چند سال تا چند دهه ادامه یابد و زمان پاکسازی واقعی آبخوان در نقاط مختلف متفاوت است. در محلی که غلظت آلودگی بالا، توده آلاینده بزرگ، جریان آب زیرزمینی آهسته، مسیر حرکت جریان پیچیده بوده و یا منبع آلودگی به‌طور کامل حذف نشده باشد، زمان عملیات پمپاژ و تصفیه طولانی است (Mackay and Cherry, 1989).

EPA (1991) در ارزیابی عملکرد سیستم پمپاژ و تصفیه، به‌طور کلی شکست این روش را به‌دلیل ناتوانی در دستیابی به کاهش آلاینده‌ها به مقدار استانداردهای بهداشتی در پیش‌بینی های ۵ تا ۱۰ ساله طراحی این پروژه‌ها اعلام کرد. سیستم های پمپاژ و تصفیه توسط Doty and Travis (1991) در یک گزارش با عنوان "یک واقعیت ساده که حذف آلودگی‌ها نمی تواند از طریق پمپاژ و تصفیه دوباره انجام شود" مورد انتقاد قرار گرفت. با این‌حال، انتظارات برای اثربخشی فنآوری پمپاژ و تصفیه ممکن است بیش از حد بالا باشد. به‌طوری که با توجه به حجم زیاد آبخوان با استفاده از روش پمپاژ و تصفیه می‌توان بار آلودگی قابل‌توجهی را کاهش داد. طبق نظر متخصصین و مهندسین زمین‌شناسی بهبودی کامل یک منطقه آلوده از آبخوان یک هدف غیر واقعی به‌نظر می‌رسد. هرچند که انتظارات غیرواقعی از پمپاژ و تصفیه

می‌تواند منجر به نارضایتی از عملکرد این سیستم شود، اما استفاده متناسب روش تصفیه براساس نوع آلودگی و شرایط زمین شناسی در منطقه در عملکرد این فرایند تاثیر زیادی دارد. چرا که مسئله پالایش آبخوان از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌عنوان مثال وجود مقدار کم برخی از حلال‌ها در آب زیرزمینی میتواند عاملی برای به خطر افتادن سلامت انسان و محیط زیست اطراف آن محسوب شود. این نوع آلودگی‌ها همراه با جریان آب زیرزمینی در محیط آبخوان جریان می یابند و در آب‌های زیرزمینی تجزیه می‌شوند و یا مقداری در فضاهای بین ذرات محیط متخلخل جذب می شوند. روش پمپاژ و تصفیه با این‌که دارای معایبی چون نیاز به هزینه زیاد و زمان بر بودن فرایند پالایش دارد، همواره یکی از محبوب‌ترین روش‌های پالایش آبخوان‌های آلوده محسوب می‌شود (Huang et USEPA, 2001 al., 2006;). پژوهش‌های انجام شده در دهه اخیر برپایه روش اولیه متمرکز بوده و پیرامون کاهش هزینه و زمان پاکسازی عملیات پمپاژ و تصفیه روش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. در دنباله این مبحث به ضرورت، روش و هدف انجام این پژوهش پرداخته شده است. سپس مطالعات تجربی پیرامون روش پمپاژ و تصفیه مرور شده و در انتها در بخش‌های مختلف مراحل و نکات فنی و اجرایی این روش مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۱- ضرورت، اهداف و روش انجام پژوهش

با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی و گستردگی آبخوان ها، جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی برای کاهش مخاطرات ناشی از آلودگی و اعمال هزینه ها ضرورت دارد. انتشار آلودگی در سراسر یک آبخوان باعث محدودیت کاربرد آب می‌شود و محیط زیست را با تهدید مواجه می‌سازد. ضمن این‌که در بسیاری از مناطق پس از گسترش آلودگی و لزوم تصفیه، ممکن است در محل مصرف امکان تصفیه آب فراهم نباشد. روش پمپاژ و تصفیه به‌عنوان یک روش کنترل آلودگی و احیای آبخوان در محل ایجاد آلودگی مطرح است. کاربرد این روش از چند دهه گذشته در کشورهای توسعه یافته رواج دارد و به‌دلیل پیچیدگی‌های عملیاتی، اعمال هزینه‌های احتمالی زیاد و عدم گسترش و تهدید آلودگی در دهه‌های گذشته، در ایران استفاده چندانی نداشته است، در حالی‌که با توسعه کشور در دهه اخیر آبخوان‌های متعددی در محل پالایشگاه فرآورده‌های نفتی و محل دفن مواد زائد، همچنین زهاب‌های کشاورزی حاوی سموم کشاورزی و آفت‌کش‌ها و سایر منابع آلودگی نقطه‌ای وجود دارد که باعث آلودگی آبخوان‌های متعددی شده است. از طرف دیگر نسبت به دهه‌های گذشته وجود متخصصان داخلی و بسیاری از محدودیت‌های تکنولوژی در کشور برطرف شده است. بنابراین به‌کارگیری صحیح و مناسب از این‌روش تحت یک مدیریت واحد می‌تواند ضمن کنترل آلودگی در محل، از گسترش آن جلوگیری نماید و محدودیت‌های کاربرد آب را در مناطق مختلف برطرف سازد و از مجموع هزینه‌های تصفیه در محل مصرف بکاهد. هدف از انجام این پژوهش بررسی مراحل مختلف روش پمپاژ و تصفیه و ارائه موارد و نکات حاصل از تجربیات کاربردهای مختلف این روش در کشورهای توسعه یافته برای غلبه بر عوامل شکست و اجرای موفق پروژه‌های پمپاژ و تصفیه در صورت استفاده در کشور بوده و روش انجام آن از نوع کتابخانه ای است. مطالب براساس تجربیات اجرایی این روش در سایت‌های آلوده و بررسی‌های علمی و تجربی مختلف پیرامون این روش به‌همراه رهنمودهای سازمان حفاظت محیط زیست ایالات آمریکا به‌شیوه توصیفی-تحلیلی و بیانی ساده در بخش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مطالعات تجربی

تاکنون تصفیه آب زیرزمینی توسط فناوری پمپاژ و تصفیه در بسیاری از سایت‌های آلوده مورد استفاده قرار گرفته‌است. به‌عنوان مثال می توان به گزارش‌های EPA (2000; 2002; 2007; 2008) و USACE (2000) اشاره کرد. در گزارش‌های Rivett et al. (2006) و Sale and Newell (2011) عوامل موثر بر عملکرد روش پمپاژ و تصفیه در سایت‌های مورد نظر شناسایی شده است. مطابق با نقشه راه آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده EPA (2011) و استراتژی راه‌حل‌های تکمیلی تصفیه آب زیرزمینی EPA (2014)، در هنگام اعمال تصفیه روش موردنظر باید بهینه‌سازی شده و یا با یک روش بهتر جایگزین شود. علاوه‌بر این، شورای ملی تحقیقات NRC (2013) تصفیه آب‌های زیرزمینی و در سایت‌های پیچیده آلوده را مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل نشان داد که روش‌های جانبی کمکی و حتی جایگزینی روش تصفیه بر عملکرد موفق پمپاژ و تصفیه در این سایت ها موثر است. اولین سیستم پمپاژ و تصفیه در

ایران پس از انجام مطالعاتی توسط شرکت ژاپنی Idmitsu در سال ۲۰۰۴ با هدف جلوگیری از انتقال و گسترش توده‌های آلاینده به سایر نقاط آبخوان با تاکید بر مهار هیدرولیکی توده آلوده در پالایشگاه نفت تهران به بهره‌برداری رسید. این سیستم علیرغم هزینه‌های زیاد با شکست مواجه شد. جلالی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی پیرامون بررسی این سیستم، عملکرد آن را ۱۱ درصد برآورد کردند.

Knox et al. (1984) برای افزایش درصد موفقیت سیستم پمپاژ و تصفیه با تاکید بر مهار هیدرولیکی مناسب، در مورد طراحی و ساخت موانع فیزیکی و مهار هیدرولیکی توده‌های آلاینده روش و راه‌کارهایی ارائه دادند. Rogers et al. (1995) در آزمایشگاه ملی "لارنس لیورمور" رویکرد بهینه‌سازی غیرخطی را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی بیش از چهار میلیون الگوی پمپاژ چاه‌های پمپاژ و تزریق آب ۲۸ پروژه مورد ارزیابی قرار دادند. در سه الگوی اول پمپاژ با هشت تا ۱۳ چاه، در عمر ۵۰ ساله پروژه هزینه ۴۱ تا ۵۳ میلیون دلار تخمین زده شد. استفاده از این الگوی پمپاژ در ۲۸ پروژه هزینه پمپاژ را یک سوم تا یک چهارم هزینه پیش‌بینی شده کاهش داد. Voudrias (2001) برای ارزیابی اثر جذب آلاینده بر پمپاژ و تصفیه یک آبخوان کم عمق با ضخامت کم که به آفتکش‌ها، بروماسیل، لیندن و DDT آلوده شدند را مورد بررسی قرار داد. در این پروژه پمپاژ از چاه‌های کاملا نفوذ یافته در یک خط مستقیم و در عرض بخش آلوده انجام گرفت. وی عملیات پمپاژ و تصفیه را تا کاهش ۹۵ درصدی غلظت آلودگی ادامه داد و طول توده آلوده را ۱۰۰ متر برآورد نمود و مقدار انحلال‌پذیری لیندان، بروماسیل و DDT را به‌ترتیب ۷، ۸۱۵ و ۰/۰۰۵۵۲ میلی‌گرم بر لیتر ارزیابی کرد.

گزارش EPA (2002) نشان می‌دهد که تکنولوژی پمپاژ و تصفیه اغلب در مناطق آلوده به MTBE [۵] که در اثر نفوذ این آلودگی از مخازن ذخیره بنزین ایجاد شده، بیشتر مورد استفاده قرارگرفته است. طبق این گزارش بیش از ۷۰۰ پروژه پمپاژ و تصفیه در کشور امریکا در حال اجرا است که ۸۸ پروژه از حمایت‌های مالی برخوردار هستند و هزینه‌های زیادی را به دولت های محلی تحمیل می‌کنند. به‌طوری که میانگین هزینه های اختصاص یافته دولتی به این پروژه‌ها به‌طور سالانه ۵۷۰ هزار دلار تعیین شده است.

ارزیابی پروژه‌های پمپاژ و تصفیه توسط Ros et al. (2003) نشان می‌دهد که آئین‌نامه‌ها و توصیه‌های EPA در بیش از ۵۰ درصد پروژه‌های اجرایی به‌صورت کامل اجرا شده و در کمتر از ۱۰ درصد از این پروژه‌ها تخلف گسترده انجام شده که اجرای این پروژه‌ها به حالت تعلیق درآمده است. Hand and Jarvie (2004) سناریوهای مختلف تصفیه آب‌های زیرزمینی با طیف وسیعی از انواع و غلظت‌های آلاینده‌های شیمیایی، با هدف تغییرات غلظت خروجی آلاینده ها پس از عملیات پمپاژ و تصفیه را مدل‌سازی کردند (USEPA, 2008).

Endres (2004) برای کمک به تصمیم‌گیری درست گزینه های مختلف طراحی سیستم‌های پمپاژ و تصفیه آبخوان‌های آلوده ای که اطلاعات زیادی از مشخصات فیزیکی آبخوان و شیمیایی آلاینده‌های آن در اختیار نبود را مورد بررسی قرار دادند. وی با شناسایی دقیق منطقه آلوده و پارامترهای موثر بر آن و درنظر گرفتن استانداردهای موجود، زمان پاکسازی و احیای آبخوان را مورد بررسی قرار داد و جنبه‌های فنی سیستم تصفیه براساس خواص فیزیکی حاکم بر منطقه و محدودیت‌های قانونی به شیوه‌های مختلف مورد بررسی قرار داد. به‌عنوان مثال، در شرایطی که اهداف پمپاژ و تصفیه ثابت و برخی از پارامترهای محدودکننده تعیین شده است، با اضافه کردن یا تغییر در سیستم تصفیه فیزیکی برآورد دقیق‌تر هزینه‌ها را می‌توان به‌دست آورد. ایجاد تغییرات فنی به مانند انتخاب تکنولوژی و نرخ پمپاژ زمانی انجام می شود که در آبخوان و یا شرایط حاکم بر منطقه تغییراتی ایجاد شود و محدودیت‌هایی ایجاد نماید. تاثیر تغییرات در مقدار تصفیه باید بر اساس هزینه‌ها انجام شود. پارامتر زمان نفوذ و منبع آلودگی تاثیر زیادی بر ناحیه آلوده شده و منطقه هیدرولوژیکی تحت تاثیر جریان آب دارد. وی درنهایت برای ارزیابی تاثیر پروژه‌های مختلف طراحی چارچوبی ارائه داد.

صفوی و همکاران (۱۳۸۴) برای احیای آب زیرزمینی آلوده در محل پالایشگاه تهران روش پمپاژ و تصفیه و هوادهی را شبیه‌سازی کردند. آن‌ها با مدل سازی این دو روش امکان شبیه سازی در مقیاس واقعی را فراهم کرده و صحت‌سنجی آن را مورد بررسی قرار دادند. سپس مدل ارائه شده را در یک مطالعه موردی برای حذف توده آلاینده MTBE آبخوان باقرشهر واقع در غرب پالایشگاه به‌کار بردند. نتایج شبیه سازی آن‌ها نشان داد که برای احیای منطقه‌ای این آبخوان در طی یک دوره ۵ ساله شبیه‌سازی و بدون نصب ادوات احیای آبخوان در مناطق شهری، مقدار آلاینده در آبخوان به ۵۰ درصد کاهش می یابد. Cheng Chang et al. (2007) با ترکیب الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی پویا سیستم

چاه‌های تزریق را برای به حداقل رساندن هزینه‌های روش پمپاژ و تصفیه طراحی کردند. در مدل پیشنهادی آن‌ها هزینه حفر چاه‌ها، عملیات پمپاژ، عملیات تصفیه و تزریق درنظر گرفته شده‌است. مدل آن‌ها با توجه به برآورد شدن کیفیت آب در حد استاندارد، تعداد مطلوب چاه‌های پمپاژ و تزریق و مکان حفر آن‌ها را برای کاهش هزینه‌ها بهینه می‌کند. همچنین آن‌ها با عدد و رقم نشان دادند که ایجاد تعادل در حجم پمپاژ و تزریق می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر طرح نهایی تاثیر مطلوبی داشته باشد.

Chul Park et al. (2011) طراحی و بهینه‌سازی آب‌های زیرزمینی آلوده در یک منطقه صنعتی واقع در کشور کره جنوبی با استفاده از روش پمپاژ و تصفیه را مورد بررسی قرار دادند. آبخوان منطقه موردنظر آلوده به TCE و سایر حلال‌ها بوده است. آن‌ها انتقال آلودگی را با MODFLOW، MT3D و RT3D شبیه‌سازی نموده و بهینه‌سازی سیستم پمپاژ و تصفیه را با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام دادند. سپس برای ارائه یک استراتژی مقرون‌به‌صرفه سه سناریوی اجرایی را درنظر گرفتند. سناریوی اول شامل حذف TCE از کل منطقه آلوده با استفاده از پمپاژ دائمی از چاه‌های موجود و چند چاه اضافی در محل‌های مناسب و هزینه حفر چاه‌های پمپاژ اضافی و انرژی مصرفی برای عملیات پمپاژ آب و تصفیه آن بود. نتایج نشان داد که برای دستیابی به اهداف تصفیه ایجاد چند چاه اضافی در مناطق مختلف منطقه به‌صورت پراکنده ضروری است. سناریوی دوم شامل حذف هم‌زمان TCE و سایر حلال‌ها از کل منطقه آلوده بود. هزینه سناریوی دوم ۱۸۰درصد بیشتر از سناریوی اول برآورد شد. سناریوی سوم مستلزم پمپاژ از چاه‌ها در یک خط و استفاده از یک روش جانبی پالایش بود، تا از این طریق بتوان هزینه‌های طرح را کاهش داد. مقایسه هزینه‌های سناریوی اول با سوم نشان داد که هزینه موردنیاز در اجرای سناریوی سوم تنها ۳۷ درصد اجرای سناریوی اول می‌شود. بنابراین آن‌ها استراتژی اصلاحی سوم را به‌دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن پیشنهاد نمودند.

Bortone et al. (2013) طراحی و بهینه‌سازی پالایش آبخوان آلوده را به‌روش پمپاژ و تصفیه و موانع واکنش را مورد بررسی قرار دادند. منطقه میدانی مورد مطالعه آن‌ها در نزدیکی یک لندفیل واقع در شمال کشور ایتالیا بود که در اثر نفوذ شیرابه به آب زیرزمینی سطح وسیعی از آبخوان منطقه را با آلودگی مواجه ساخته بود. برای هر دو فناوری موردنظر جذب آلودگی بر روی کربن فعال دانه‌ای را برای حذف PCE از آب درنظر گرفته شد. مقایسه براساس سناریوهای راندمان حذف آلاینده و هزینه‌های مورد نیاز انجام شد. برای هر دو فناوری تصفیه، جذب بر روی کربن فعال دانه‌ای برای حذف PCE از آب درنظر گرفته شد. مقایسه نتایج حاصل از هر دو با توجه به اثربخشی حذف آلاینده و هزینه عمومی اولیه مربوطه انجام شد. آن‌ها در نهایت یک مدل تجاری سه‌بعدی را برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و انتقال آلودگی توسعه دادند.

Kazemzadeh et al. (2015) به شبیه‌سازی سیستم‌های پمپاژ و تصفیه به‌روش اجزای محدود (FEM)[۶] پرداختند. آن‌ها از الگوریتم FA[۷] برای بهینه سازی مدل طراحی شده استفاده کرده و به‌منظور حداقل سازی هزینه‌های پمپاژ و تصفیه، نرخ پمپاژ از آبخوان را با توجه به زمان، به حداقل رساندند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که کاربرد FA در بهینه سازی سیستم پالایش آب های زیرزمینی ضمن این‌که کیفیت آب تصفیه شده را در حد استاندارد نگه می‌دارد، موجب کاهش هزینه‌های عملیات پمپاژ و تصفیه می شود. همچنین آن‌ها نتایج حاصل از بهینه‌سازی انجام شده با FA را با نتایج بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک مقایسه کردند. نتایج این مقایسه نشان دهنده همگرایی بهتر FA نسبت به[۸] GA بود. از جمله پژوهش‌های انجام شده برای غلبه بر معایب (زمان طولانی اجرا و هزینه‌های اجرا) روش پمپاژ و تصفیه می‌توان به پژوهش‌هایی در زمینه شبیه‌سازی آنالینگ[۹] (Bau and Mayer, 2006)، برنامه‌ریزی دینامیک[۱۰] (Lu et al., 2008)، الگوریتم ژنتیک (Ko and Lee, 2010)، برنامه ریزی‌های غیرخطی[۱۱] (He et al., 2009) و شبکه های عصبی مصنوعی[۱۲] (Almasri and Kaluarachchi, 2005) اشاره کرد.

۳- مرحل عملیاتی روش پمپاژ و تصفیه

۳-۱- تعیین مشخصات کامل محل آلوده

تعیین دقیق محدوده آلوده به دو تابع عمده کمک می‌کند. اول این‌که ارزیابی دقیق محدوده و شکل آلودگی، عملکرد و اثربخشی پمپاژ و تصفیه را افزایش می‌دهد. این مسئله نیاز به شناخت فیزیکی آلودگی در دو فاز آب و خاک و اندازه‌گیری و نحوه توزیع آلودگی این دو بخش دارد. در واقع اطلاعات ناکافی در مورد محدوده آلوده بر عملکرد عملیات پمپاژ و تصفیه تاثیر

منفی دارد. دوم این‌که توصیف سه‌بعدی کامل از لایه‌های خاک و هیدروژئولوژی منطقه آلوده، از جمله توزیع اندازه ذرات، خصوصیات جذب و هدایت هیدرولیکی، پایه‌ای قوی برای استقرار مناسب چاه‌های پمپاژ و تصفیه را فراهم می‌آورد. این اطلاعات هم‌چنین برای ارزیابی میزان ضریب تاخیر که ممکن است در یک منطقه وجود داشته باشد نیز مورد نیاز است. تکنیک‌های توصیف سه‌بعدی شامل مشاهدات غیرمستقیم و استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی، نمونه‌برداری مستقیم از خاک و آب زیرزمینی و اندازه‌گیری‌های مخروط افت چاه است.

با پیچیده‌تر شدن شرایط برای شناسایی دقیق‌تر محل آلودگی و شکل و توزیع آن در محیط دو فازی آبخوان می‌توان از تکنیک های مدلسازی استفاده کرد. نرم افزار SITE3D EPA که توسط سازمان حفاظت و بازسازی آب زیرزمینی در بخش آزمایشگاه مدیریت ریسک توسعه یافته است، امکان شبیه‌سازی سه بعدی آلودگی را فراهم می‌آورد. نرم‌افزار آماری توسعه یافته توسط EPA مانند Geo-EAS و GEOPACK برای تجزیه و تحلیل ژئواستاتیستیکی و تعمیم داده‌های آلودگی آب زیرزمینی و GRITS / STAT برای تجزیه و تحلیل غلظت آلاینده‌ها از جمله ابزارهای رایج برای تجزیه و تحلیل داده‌های توسعه آلودگی در آب زیرزمینی است. برای آبخوان‌های همگن و هم‌روند حل تحلیلی به‌صورت دستی، روش ترسیمی و کدهای کامپیوتری ممکن است کافی باشد. در شرایط پیچیده‌تر ممکن است روش های کامپیوتری عددی مورد نیاز باشد. این مدل‌ها در تهیه الگوهای حرکت جریان در اطراف پمپاژ و تعیین نقاط مناسب پایش موثر هستند (Bear et al., 1992). مدل WHPA ارائه شده توسط Blandford and Huyakorn. (1991) و مدل CZAEM ارائه از Haitjema (1984) و توسعه یافته توسط EPA نمونه‌های نرم افزاری کامپیوتری نسبتا ساده هستند که جریان آب زیرزمینی را به‌صورت خطی تجزیه و تحلیل می‌کنند.

مدل‌های عددی MODFLOW و MODPATH که توسط سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده توسعه یافته است، برای مدلسازی شرایط پیچیده‌تر استفاده می‌شود (Cohen et al., 1994). یکی از مدل‌های سه بعدی انتقال آلودگی در آب‌های زیرزمینی Modular Transport three-dimensional Multi-Species است که نسخه اولیه آن توسط Zheng (1990) توسعه داده شد، بیشترین کاربرد را در زمینه آلودگی آب‌های زیرزمینی دارد و با عنوان MT3DMS عمومیت پیدا کرده است. این مدل سه بعدی برای شبیه‌سازی پخشیدگی، انتقال، انتشار مولکولی، واکنش‌های شیمیایی و جذب آلودگی در آب زیرزمینی کاربرد دارد، به‌طوری که قادر است انواع واکنش‌های شیمیایی، جذب و تجزیه را در انواع آبخوان مدل کرده و با هر مدل از نوع MODFLOW قابلیت اجرا دارد. این مدل سه روش تفاضل محدود استاندارد، ردیابی ذره Eulerian–Lagrangian و روش TVD را در خود جا داده است و در حل معادلات انتقال از توانایی بالایی برخوردار است (Zheng, 2009).

علاوه‌براین روش‌های بهینه‌سازی برای بهبود طراحی سیستم پمپاژ و تصفیه موثر هستند (Gorelick et al., 1993). همان‌طور که در طراحی اعمال می‌شود سیستم‌های بهینه سازی پمپاژ شامل تعریف یک تابع هدف مانند به‌حداقل رساندن میزان پمپاژ به‌ازای بیشترین مقدار حذف آلودگی از مجموعه چندین چاه بهینه‌سازی میشود. با اعمال یک بهینه‌سازی نرخ پمپاژ را می‌توان از ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش داد. برای دستیابی به این اهداف محدودیت‌های مسئله باید رعایت شود. به‌عنوان مثال برای موفقیت در مهار هیدرولیکی یک توده آلاینده نیازمند به‌کارگیری روش‌های بهینه سازی غیرخطی است. مخصوصا هنگامی که غلظت آلاینده‌ها به‌عنوان محدودیت درنظر گرفته می‌شود (Rogers et al., 1996).

۳-۲- مهار هیدرولیکی توده آلوده

کنترل و مهار هیدرولیکی توده آلودگی تقریبا هدف طراحی تمام سیستم‌های پمپاژ و تصفیه برای دستیابی به استانداردهای بهداشتی است. هدف اصلی این مهار، جلوگیری از گسترش بیشتر توده آلوده در دوره پمپاژ و تصفیه است. در چنین شرایطی یک سیستم پمپاژ و تصفیه معمولی ممکن است برای حذف توده آلوده استفاده شود. مهار هیدرولیکی می‌تواند با کنترل مسیر جریان آب زیرزمینی از طریق چاه‌های پمپاژ، ایجاد فشار از طریق چاه‌های تزریق و یا با استفاده از موانع فیزیکی در مقابل توده آلوده انجام شود. شکل ۱ پلان یک سیستم پمپاژ و تصفیه را نشان می‌دهد که در آن از هر سه نوع روش مهار هیدرولیکی استفاده شده است. مطابق این شکل منبع آلاینده توسط یک دیواره مانع احاطه شده است. جنس دیواره می‌تواند از خاک منطقه، خاک رس و پوشش‌های مصنوعی باشد. در حالت دوم چاه‌های پمپاژ در حاشیه‌های توده آلوده حفر شده است و با هدایت جریان به کناره‌ها مانع حرکت جریان در جهت شیب

هیدرولیکی می‌شود. در حالت سوم آب‌های زیرزمینی تصفیه شده با تزریق به آبخوان یک فشار در امتداد محور آلودگی ایجاد می‌کنند و سرعت و جهت حرکت آلودگی را تحت تاثیر قرار می دهد (Cohen et al., 1994).

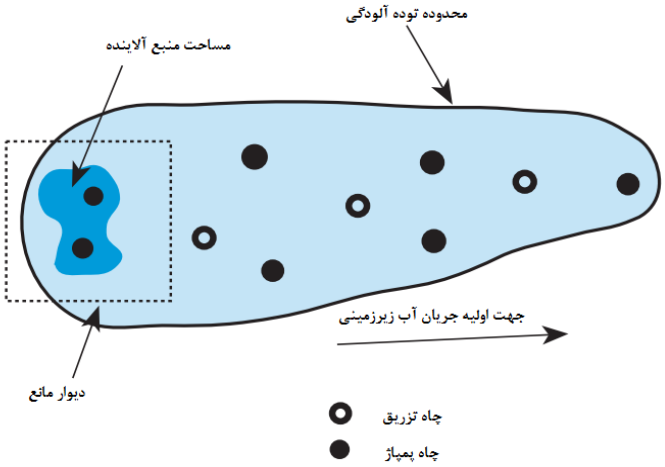
موارد خاصی مانند اثرات ناهمسان گردی، ممکن است باعث گریز آلودگی از سیستم مهار هیدرولیکی شود. شکل ۲ نشان می‌دهد که ناپیوستگی افقی چگونه می‌تواند جهت جریان را تغییر دهد. در یک آبخوان هم‌روند مانند شکل ۲-الف جهت جریان آب زیرزمینی در جهت شیب هیدرولیکی است. در این مثال، قرار دادن چاه پمپاژ در جهت شیب هیدرولیکی (شکل ۲-ب) منجر به استخراج آلودگی تنها در ناحیه حریم چاه می شود. اگر حرکت توده آلوده در جهت شیب هیدرولیکی نباشد ممکن است جریان تحت تاثیر ناهمسان‌گردی قرار گرفته باشد. نرم‌افزارهای کامپیوتری مانند WHPA می‌تواند برای ارزیابی اثرات بالقوه ناهمسانگردی موثر واقع شود Bradbury et al., (1991).

۳-۲-۱- چند نکته فنی در مهار هیدرولیکی و حذف توده آلودگی و منبع آلاینده

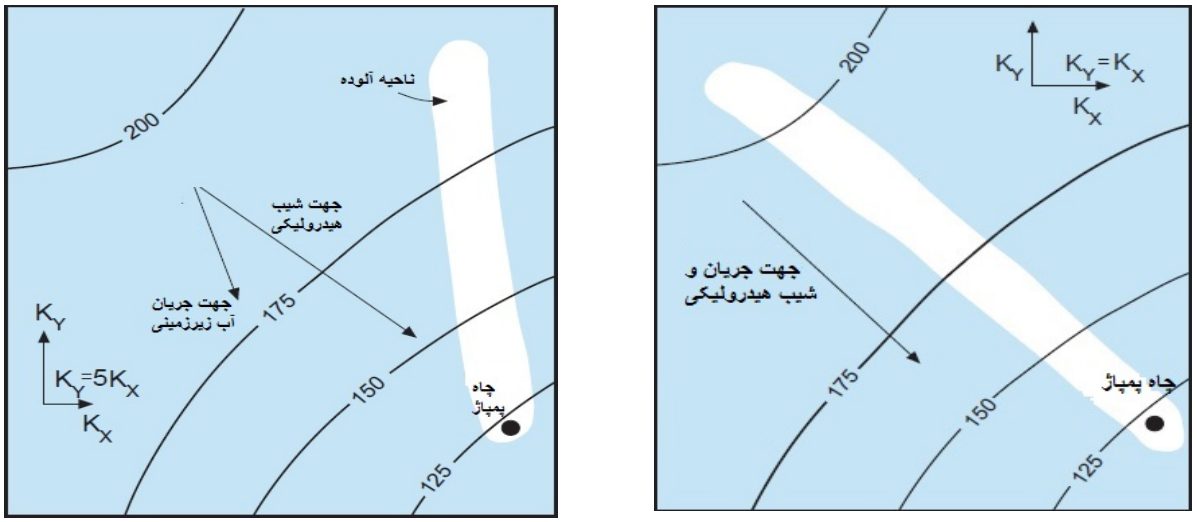
در صورتی‌که منبع آلودگی شناسایی و حذف یا حداقل توده آلوده وارد شده به آبخوان برای جلوگیری از آلودگی بیشتر آبخوان کنترل نشود، هرگونه اقدام تصفیه ممکن است نتایج مطلوبی به‌دنبال نداشته باشد. در بسیاری از مناطق آلوده، یکی از مهمترین عوامل آلودگی آب‌های زیرزمینی مایعات آلی هستند. آلایندگی هر مایع به نسبت چگالی خودش به چگالی آب و مقداری که با آب مخلوط شده است مشخص می‌شود. حتی زمانی که مایع آلی در منطقه بین سطح زمین و سطح آب محصور است، می تواند به‌عنوان یک منبع آلودگی آب زیرزمینی مطرح باشد. در چنین شرایطی، آلودگی زمانی اتفاق می‌افتد که مقداری از مایع آلوده در هر تماس با آب به آب زیرزمینی منتقل می‌شود و یا بخار آلودگی ممکن است بدون نفوذ آلاینده به سطح آب برسد و در آب زیرزمینی آلودگی ایجاد کند. در چنین شرایطی حذف منبع آلاینده موثرترین راه برای جلوگیری از آلودگی بیشتر است. همچنین در جایی‌که آلودگی‌های غیرآلی یا آلی با یک دوز مشخص در یک منطقه محدود هستند، گزینه سرمایه‌گزاری برای حذف منبع ارجحیت دارد. هنگامی که حذف کامل آلودگی امکان‌پذیر نیست، اغلب مانند DNAPL که در زیر سطح آب قرار دارند، اولین مرحله ضروری در پالایش، مهار هیدرولیکی آلودگی است. در بعضی موارد، مهار آلودگی می‌تواند از طریق جلوگیری از نفوذ بارندگی و یا کاهش نفوذ آن در خاک آلوده حاصل شود. بنابراین اگر سطح آب نوسان داشته باشد یا زمانی که بخار NAPL وجود دارد می‌تواند در انتشار آلودگی و کاهش عملکرد سیستم پمپاژ و تصفیه موثر باشد (Heron et al., 2016).

۳-۳- عملیات پمپاژ موثر

عملیات پمپاژ برای اثربخشی روش پمپاژ و تصفیه باید یک فرآیند پویا باشد. به‌این منظور که باید از اطلاعات مربوط به



شکل ۱- مهار منبع آلودگی در سیستم پمپاژ و تصفیه



(الف) (ب)

شکل ۲- الف) جهت جریان هم‌جهت با شیب هیدرولیکی، ب) ناهمسان‌گردی در جهت حرکت آب به سمت چاه پمپاژ

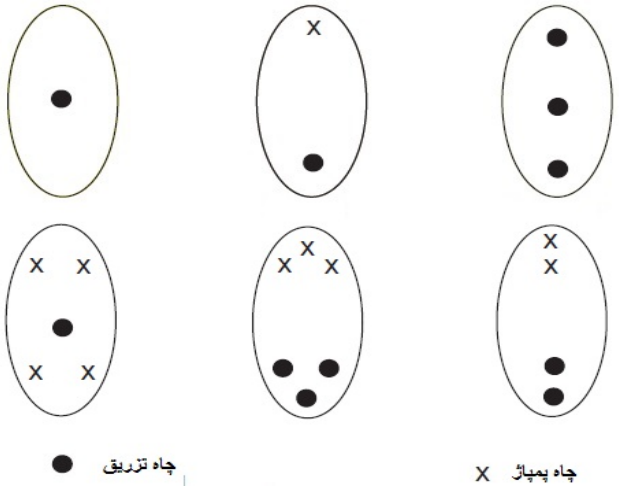
پاسخ سیستم آب و خاک برای بهبود کارایی عملیات پمپاژ استفاده شود. عناصر عملیاتی پمپاژ موثر می‌توانند شامل: ترکیب پمپاژ از مرکز آلودگی و کنترل توده آلودگی، احداث مرحله‌ای چاه‌های پمپاژ، درنظر گرفتن شعاع تاثیر چاه‌ها و پمپاژ پالسی یا نوسانی باشد. احداث مرحله‌ای چاه‌های پمپاژ اجازه می‌دهد داده‌های پایش شده عملیات پمپاژ در مکانیابی احداث چاه‌های بعدی مورد استفاده قرارگیرد. درنظر گرفتن شعاع تاثیر چاه حالت و الگوهای مختلف پمپاژ و تزریق را به‌عنوان گزینه‌های پیش‌رو در اختیار قرار می دهد و الگوهای پمپاژ در کاهش افت سطح ایستایی تاثیر به‌سزایی دارد. در شکل ۳ انواع معمول الگوهای پمپاژ / تزریق نشان داده شده است (Satkin and Bedient, 1988).

۳-۳-۱- پمپاژ پالسی

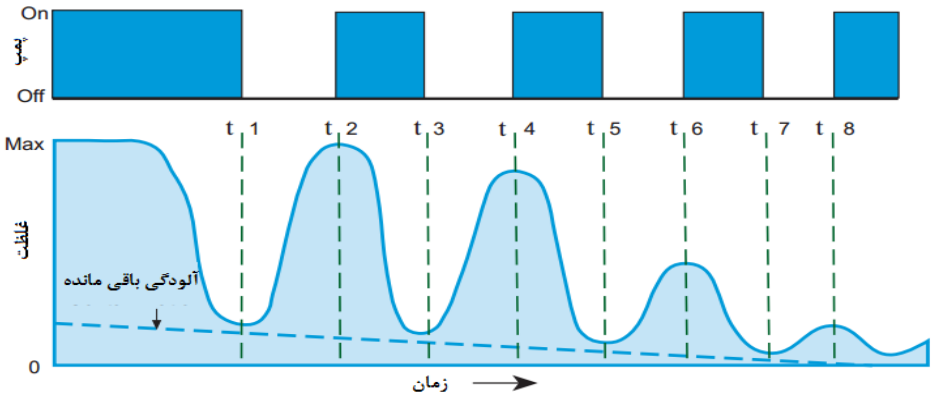
روش پمپاژ پالسی دارای توان بالقوه برای افزایش نسبت پمپاژ آلودگی به حجم آب است. در طی مرحله خاموشی پمپ، غلظت آلاینده‌ها به‌علت انتشار، پخشیدگی و تجزیه و انحلال در آب به آرامی افزایش می‌یابد. در هنگام پمپاژ، آب زیرزمینی با غلظت بالایی از آلاینده‌ها استخراج می‌شود. نکته مهم در طی این عملیات این است که باید از اهداف مهار هیدرولیکی در طی دوره خاموشی پمپ، اطمینان حاصل شود. مفهوم پمپاژ پالسی را می‌توان به‌صورت شکل ۴ نشان داد و تاثیر آن بر عملیات پمپاژ موثر در شکل ۵ نشان داده شده است و مطابق آن در صورت استفاده از پیک‌های ثابت پمپاژ، حذف آلودگی از محل حدود ۱۰۰ سال زمان نیاز دارد. انجام مدلسازی و پمپاژ موثر می‌تواند زمان مورد نیاز پاکسازی سایت را تا حدود ۵۰ سال کاهش دهد (Cohen et al., 1994).

۳-۳-۲- پیش‌بینی فرایند تاخیر و مشکلات بازگشت آلودگی

پس از عملیات پمپاژ در سایت‌های آلوده پدیده بازگشت آلودگی به مقدار کمتر از غلظت اولیه به‌طور معمول اتفاق می‌افتد. این بازگشت بعد از توقف پمپاژ در یک مدت زمان کوتاه به‌میزان قابل‌توجهی سریع است و این افزایش در یک غلظت مشخصی که بستگی به شرایط متعددی دارد، به ثبات می‌رسد و متاثر از اختلاف سرعت حرکت جریان در حالت پمپاژ و بدون پمپاژ است. این اختلاف سرعت در واقع در زمان تماس آب با آلودگی در این دو حالت موجب تغییر غلظت‌های آلودگی در حالت پمپاژ و پس از پمپاژ می‌شود (شکل ۶). این پدیده دو مشکل عمده برای عملیات پمپاژ و تصفیه ایجاد می‌کند. اول این‌که مدت زمان عملیات فرایند تصفیه را طولانی می‌کند. به‌طور نظری در حالت بدون بازگشت آلودگی، با پمپاژ و اعمال تصفیه، توده آلاینده نیز در طول عملیات پمپاژ و تصفیه حذف و پاکسازی می‌شود. اما در اغلب موارد به‌دلیل فرایند تاخیر که



شکل ۳- انواع معمول الگوی چاه پمپاژ / تزریق

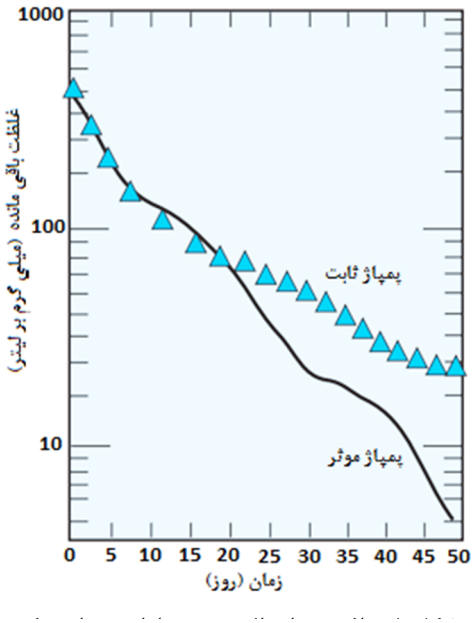


شکل ۴- مفهوم پمپاژ پالسی

منجر به برگشت آلودگی پس از عملیات پمپاژ می‌شود، به‌طور قابل‌توجهی زمان پمپاژ و تصفیه را برای دستیابی به اهداف پالایش و از بین بردن آلودگی آب زیرزمینی ممکن است برای چندین دهه افزایش دهد. دومین مشکل برگشت آلودگی این است که پس از عملیات پمپاژ و تصفیه بازگشت آلودگی ممکن است در غلظتی بالاتر از استانداردهای تصفیه به ثبات برسد و با افزایش زمان و هزینه تصفیه، توجیه به‌کارگیری از روش پمپاژ و تصفیه را با تردید مواجه سازد (Gorelick et al., 1993).

۳-۴- تصفیه آب زیرزمینی آلوده

تصفیه به‌منظور کاهش غلظت آلودگی محلول در آب زیرزمینی به اندازه از قبل تعیین شده و یا به اندازه‌ای که کیفیت آب با استانداردهای بهداشتی مطابقت داشته باشد انجام می‌گیرد. روش تصفیه نیز بستگی به نوع آلاینده و تحلیل هزینه ها دارد. ساده‌ترین شاخص بررسی موفقیت تصفیه آب زیرزمینی، اندازگیری ترکیبات آلی فرار پاکسازی شده‌است که توسط غلظت‌های ورودی به سیستم و خروجی از تصفیه اندازه‌گیری می‌شود. در پژوهش Cohen et al. (1994) عملکرد سیستم در اثر پدیده بازگشت آلودگی پس از سال اول کاهش یافت و میزان حذف در سال‌های بعد روند کاهشی کندی به‌خود گرفت. اما آلودگی در یک سطح معین ثابت ماند. با توجه به این شرایط ادامه روند پمپاژ و تصفیه برای مقدار آلودگی باقی‌مانده ممکن است سال‌ها به‌طول انجامد. در این شرایط کاربرد یک روش دیگر پالایش برای تکمیل پمپاژ و تصفیه می‌تواند موثر و توجیه‌پذیر باشد.

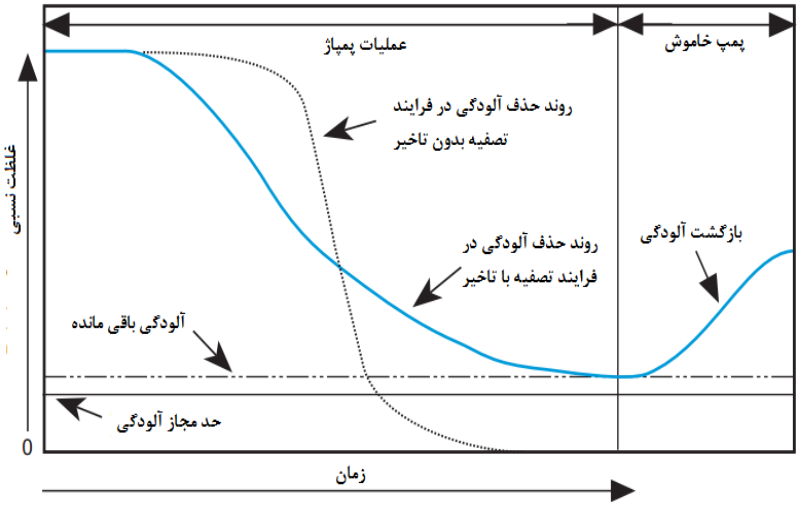


شکل ۵- تاثیر پمپاژ پالسی بر عملیات پمپاژ موثر

سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا تکنولوژی های تکامل یافته تصفیه فاضلاب های صنعتی برای تصفیه عملیاتی توده های آلاینده آب زیرزمینی را تشریح کرده است. این روش‌ها به دو دسته اصلی روش‌های بیولوژیکی و فیزیکی-شیمیایی تقسیم می‌شوند. در روش‌های تصفیه بیولوژیکی از میکروارگانیسم‌ها برای از بین بردن ترکیبات آلی استفاده می شود. این روش ها برای تصفیه آب های زیرزمینی آلوده به ترکیبات آلی کاربرد دارند. بهترین روش های تصفیه بیولوژیکی شامل: سیستم‌های لجن فعال، راکتورهای پیوسته متوالی، دیسک های بیولوژیکی دوار (بیو راکتورهای لایه ثابت) (RBC) و راکتورهای بیولوژیکی غشایی (MBR) است Mackay (and Cherry, 1989). روش‌های تصفیه فیزیکی- شیمیایی یا ترکیبی از روش‌های فیزیکی و شیمیایی می‌تواند برای حذف آلاینده‌ها از آب زیرزمینی استفاده شود. از پرکاربردترین آن‌ها می‌توان روش: کربن فعال، تبادل یون، اسمز معکوس، ترسیب شیمیایی فلزات، اکسیداسیون شیمیایی، فیلتراسیون، اکسیداسیون تابش اشعه فرابنفش (UV) و فنآوری های پیشرفته مانند روش های الکتروشیمیایی را نام برد. کاربرد فنآوری‌های مختلف تصفیه آب زیرزمینی آلوده شده توسط هر یک از دسته‌های اصلی آلودگی‌های آلی و غیرآلی در جدول ۱ خلاصه شده است (U.S. EPA, 1991).

۳-۵- پایش، نظارت و مدیریت پویا

طراحی یک سیستم پایش برای اندازه گیری اثربخشی سیستم پمپاژ و تصفیه برای دستیابی به اهداف پاکسازی آبخوان از آلودگی ضروری است. نظارت بر بازسازی آبخوان عمدتا شامل اندازه گیری غلظت آلودگی در چاه های پمپاژ و مشاهده‌ای برای تعیین میزان و اثربخشی فرایند حذف آلودگی است. نظارت بر پاکسازی آبخوان از آلودگی شامل سه عنصر است. اول: نمونه‌برداری به‌منظور بررسی پیشرفت عملیات پاک‌سازی آبخوان، که پارامترهای



شکل ۶- تغییرات غلظت در مدت زمان پمپاژ و واکنش تاخیر و برگشت آلودگی

جدول ۱- فناوری‌های کاربردی در تصفیه آب زیرزمینی آلوده (U.S. EPA., 1991)

نوع آلاینده	روش تصفیه																	
	خنثی سازی	اختلاط سریع	منعقد سازی	اشعه UV	اکسیداسیون	احیا	تقطیر	هوادهی	استخراج بخار	کربن فعال	تجزیه	ته نشینی	شناورسازی	جداسازی	تبادل یون	فیلتراسیون	الکتروشیمیای
فلزات سنگین	–	*	*	–	–	+	–	–	+	*	*	–	*	*	*	–	*
کروم	–	*	–	–	–	*	–	–	+	*	–	–	+	*	–	–	*
آرسنیک	–	+	*	+	+	–	–	–	+	–	+	–	*	*	*	+	+
جیوه	–	*	*	–	–	*	–	–	*	–	+	–	+	*	*	–	–
سیانید	–	–	–	*	*	–	–	–	–	*	–	–	*	*	–	+	+
مواد خورنده	*	*	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ترکیبات آلی فرار	–	–	–	+	*	–	*	*	*	–	–	–	+	+	–	+	–
کتون‌ها	–	–	–	+	*	–	*	*	–	–	–	–	–	–	–	*	–
عناصر نیمه فرار	–	+	+	*	*	–	*	–	*	+	+	+	*	*	–	*	–
آفت کش‌ها	–	+	+	*	*	–	*	–	*	+	+	+	*	*	*	+	–
پلی‌کلرو بی فنیل	–	*	*	*	*	–	*	–	*	*	*	*	*	*	*	+	–
دی‌اکسین‌ها	–	*	*	*	+	–	*	+	*	*	*	*	*	*	*	+	–
روغن و گریس	–	*	*	–	–	–	*	–	–	*	*	*	*	*	+	+	–

* اجرایی، – غیرقابل اجرا، + دارای پتانسیل اجر

مورد تجزیه و تحلیل آن شامل مواد شیمیایی خطرناک، مواد شیمیایی مانند آهن که با احیا شدن ته‌نشین می‌شود و مواد شیمیایی دیگری مانند اکسیژن محلول، دی اکسیدکربن که در وقوع فرایندهای تجزیه زیستی تاثیرگزارند است. مشخصات این نمونه‌ها برای دستیابی به عملیات پمپاژ بهینه موثر است. دوم: نمونه برداری دوره‌ای و تجزیه شیمیایی نمونه برداری‌های بخش جامد آبخوان در منطقه آلودگی به‌منظور اندازه گیری کاهش مقادیر آلاینده‌های غیر محلول. سوم: نمونه برداری منظم و تجزیه و تحلیل برای ارزیابی عملکرد سیستم تصفیه مانند تغییرات شیمیایی و غلظت آلودگی محلول که ممکن است بر عملکرد تصفیه تاثیرگزار باشند (Feldman and Campbell, 1994).

برای موثر بودن عملیات پمپاژ و تصفیه پس از عملیات تصفیه، منطقه باید به‌صورت پویا مدیریت شود. به‌عنوان مثال: اطلاعات جمع آوری شده در حین حفاری و احداث عملیات چاه های پمپاژ، اطلاعات به‌دست آمده در حین پمپاژ و ردیابی تغییرات آب در چاه های پایش و غلظت آلودگی در چاه‌های مشاهده‌ای می تواند تصویر واقعی تر بخشی از آبخوان منطقه موردنظر را نشان دهد. مدیریت پویای منطقه پمپاژ براساس اطلاعات جامع‌تر می‌تواند از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی نیز موثر واقع شود. به‌طور کلی‌تر، پایش و جمع آوری اطلاعات اضافی در مورد منطقه پمپاژ و تصفیه به اپراتورها اجازه می‌دهد تصمیمات آگاهانه در مورد استفاده کارآمد از منابع و تجهیزات تصفیه را اتخاذ کنند. به‌طور خاص، این روش مدیریت پویا با دخالت دادن مشاهدات و تجربیات در هر مرحله و تاثیر دادن آموخته‌ها در ادامه فرایند پمپاژ و تصفیه باعث موفقیت بیشتر سیستم پمپاژ و تصفیه می‌شود و در نهایت زمان لازم برای دستیابی به اهداف پاک‌سازی ناحیه آلوده را به حداقل می رساند.

یک مولفه کلیدی از رویکرد مدیریت پویا، طراحی موثر و عملیاتی سیستم پمپاژ و تصفیه است و برای دستیابی به این منظور همواره دو اصل باید مورد توجه قرار گیرد. تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده، مدلسازی و بهینه‌سازی برای مکان‌یابی مناسب چاه پمپاژ و دوم، حفر و احداث چاه‌های پمپاژ و پایش، به طوری که اطلاعات حاصل از بهره‌برداری چاه‌های اولیه، در تصمیم‌گیری در مورد احداث چاه‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرد (Ross et al., 2003).

۳-۶- ارزیابی موفقیت به‌سازی آبخوان

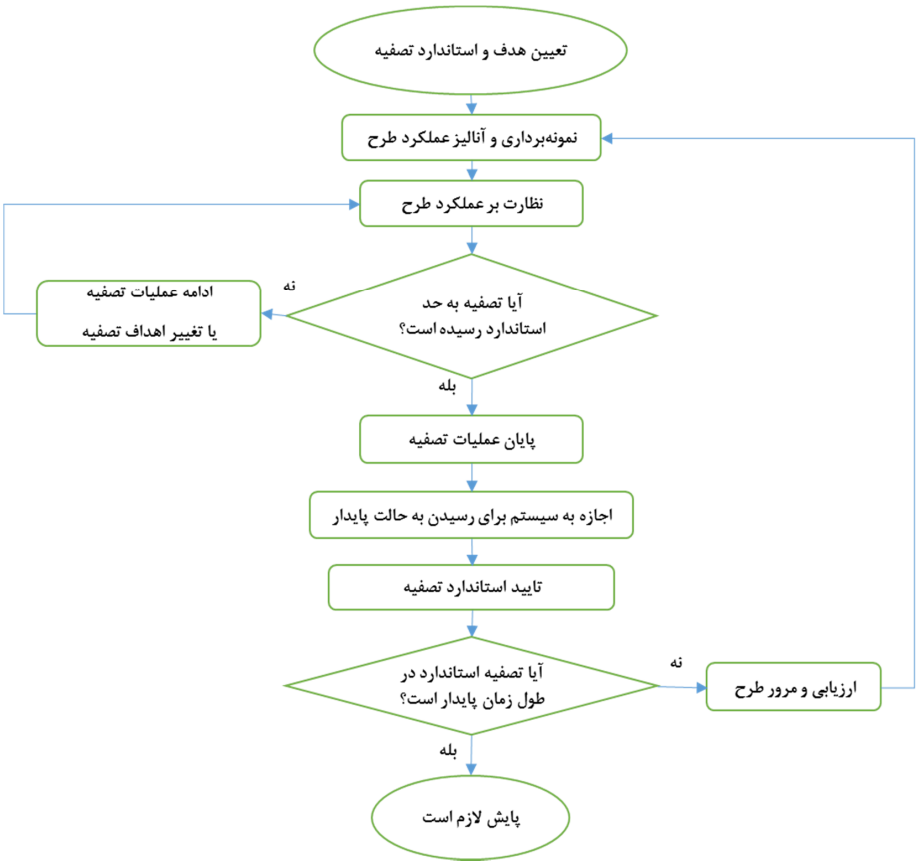
موفقیت عملیاتی روش پمپاژ و تصفیه زمانی حاصل می‌شود که کیفیت آب به یک استاندارد از پیش تعیین شده برسد و پایدار بماند. شکل ۷ روش تعیین موفقیت و یا اتمام سیستم پمپاژ و تصفیه را به‌صورت فلوچارت بیان می دارد (Cohen et al., 1994).

۳-۷- ارتقای سیستم‌های پمپاژ و تصفیه

هرچند که جایگزین کردن سایر روش‌های پالایش به‌جای روش پمپاژ و تصفیه بدون عملیات پمپاژ و تصفیه وجود ندارد، اما ایجاد تغییر در سیستم پمپاژ و تصفیه همراه با پیشرفت تکنولوژی موجب افزایش سرعت در این روش شود. انواع عمده تغییرات عبارتند از: جایگزینی چاه‌های پمپاژ عمودی با ترانشه و زهکش در شرایط مطلوب (به‌عنوان مثال عمق آلودگی کم باشد)، استفاده از چاه های افقی یا ترانشه ها برای جایگزینی یا تکمیل چاه‌های عمودی، هم‌چنین استفاده از چاه‌های افقی یا شیب دار، استفاده از روش های ژئوفیزیکی سطحی برای شناسایی دقیق و سریع مناطق آلوده، استفاده از روش های شیمیایی پیشرفته تصفیه که سرعت عمل تصفیه را افزایش می دهد، در بهبود و ارتقای روش پمپاژ و تصفیه موثر است.

۴- راه‌کارهای پیشنهادی برای کاربرد موفق روش پمپاژ و تصفیه در ایران

این روش در ایران در محل فعالیت پالایشگاه فراورده‌های نفتی، محل ورود زهاب‌های کشاورزی به آبخوان، محل دفن مواد زائد جامد، محل فعالیت معادن و سایر منابع آلودگی که به‌صورت نقطه‌ای به منابع آب زیرزمینی نفوذ و به سایر نقاط آبخوان منتقل و منتشر می شوند کاربرد بیشتری دارد. هرچند که



شکل ۷- فلوچارت ارزیابی سیستم پمپاژ و تصفیه

اتخاذ تدابیر مدیریتی و اجرایی برای جلوگیری از ورود این آلودگی‌ها به منابع آب زیرزمینی توصیه موکد می‌شود، اما همواره با توسعه مناطق شهری و گسترش فعالیت‌های مختلف صنایع و معادن و پالایشگاه‌ها پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان‌های کشور افزایش یافته و بسیاری از آبخوان‌ها را در معرض آلودگی قرار داده و استفاده از روش‌های موفق پالایش را اجتناب‌ناپذیر نموده است. مهم‌ترین مواردی که می‌تواند در اجرای موفق پروژه‌های پمپاژ و تصفیه در ایران موثر واقع شود شامل مواردی چون ورود تکنولوژی‌های پیشرفته این روش به داخل کشور، استفاده از تجربیات موفق سایر نقاط جهان، به‌کارگیری رهنمودهای سازمان حفاظت محیط زیست و توسعه دهندگان این روش، به‌کارگیری نیروی متخصص، استفاده از دانش و تکنیک‌های به‌روز پیشرفته و روش‌های بهینه‌سازی به‌همراه به‌کارگیری فناوری‌های جانبی موثر بر افزایش راندمان پمپاژ و تصفیه است. پایش مستمر منبع آلاینده و محیط آبخوان آلوده شده در تعیین اثربخشی پمپاژ و تصفیه و به‌کارگیری تمهیدات مدیریتی می‌تواند در اجرای موفق این پروژه‌ها موثر واقع شود. برای کاهش هزینه‌های این روش در کشور می‌توان هزینه پمپاژ را از طریق مکان‌یابی مناسب چاه های پمپاژ از طریق شبیه‌سازی‌های کامپیوتری و تحقیقات میدانی کاهش داد. هم‌چنین می توان با شناسایی الگوهای بهینه پمپاژ و تزریق، حجم عملیات پمپاژ و هزینه نهایی را کاهش داد. درصورت امکان می توان بخشی از آب پمپاژ و تصفیه شده را در محل مورد استفاده قرار داد و حجم و تعداد چاه‌های تزریق را کاهش داد. از طرف دیگر می توان هزینه تصفیه را با استفاده از روش‌های بیولوژیکی تصفیه و استفاده از جاذب‌های طبیعی خاص هر منطقه کاهش داد. علاوه‌بر راه کارهای مهندسی به کارگیری تدابیر و سیاست‌هایی چون موظف نمودن تامین بخشی از هزینه‌های پمپاژ و تصفیه از سوی ارگان مربوطه به‌عنوان عامل ایجاد آلودگی، گامی موثر جهت کاهش منبع آلودگی در آینده و تامین بخشی از هزینه های این روش در حال حاضر محسوب می‌شود. از طرف دیگر با اعطای تسهیلات و وام‌های با بهره پایین به شرکت‌ها و مجریان این طرح‌ها می توان هزینه عملیاتی پروژه های پمپاژ و تصفیه را تامین نمود.

۶- نتیجه گیری

پمپاژ و تصفیه یک روش موثر برای کنترل و حذف آلودگی در احیای آبخوان‌های آلوده به انواع آلاینده‌های آلی و غیرآلی با اجرای در محل است. موفقیت این سیستم به‌دلیل بزرگ بودن ابعاد و پیچیدگی های محیط آبخوان بستگی به استفاده از ابزار و راه کارهای درست برای درک دقیق مسئله در محیط واقعی دارد. اگرچه عملیات پمپاژ یک فرایند مجزا و مستقل از عملیات تصفیه است، اما هر دو باید هماهنگ و متناسب یکدیگر باشند و به‌صورت یک سیستم هماهنگ برای دستیابی به اهداف پروژه با درنظر گرفتن هزینه و زمان عمل کنند. تعیین نوع آلاینده و محدوده آلودگی از طریق نمونه‌برداری با ابزارهای نوین، مهار هیدرولیکی مناسب برای جلوگیری از گسترش توده آلوده، شبیه سازی کامپیوتری، عملیات پمپاژ با بیشترین حجم استخراج آلودگی نسبت به آب از طریق پمپاژ پالسی و یا پمپاژ با درنظر گرفتن شعاع تاثیر چاه ها، پایش و مدیریت پویای منطقه از طریق ابزار و روش‌های مناسب و استفاده از دانش و تجربیات حاصل در مراحل بعدی عملیات، به‌کارگیری روش مناسب تصفیه و ارزیابی کلی عملیات مذکور تحت یک مدیریت واحد در کاهش هزینه‌ها و مدت زمان اجرای طرح در موفقیت روش پمپاژ و تصفیه برای رسیدن به اهداف احیای آبخوان موثر است. بنابراین با استفاده از دانش موجود و تجربیات اجرایی روش پمپاژ و تصفیه در سایت‌های آلوده کشور می توان از توسعه آلودگی در سراسر آبخوان جلوگیری به‌عمل آورد و به‌دنبال آن محدوده کاربرد آب را افزایش و هزینه های تصفیه در محل را کاهش داد.

۷- پی‌نوشت ها

1 - Bioremediation
2- Pump and Treat Method
3- Phytoremediation
4- Soil Vapor Extraction
5- Methyl Tert Butyl Ether
6- Finite Element Method
7- Firefly Algorithm
8- Genetic Algorithm
9- Simulating Anealing
10- Dynamic Programming
11- Non Linear Programming
12- Artificial Neural Network

۸- مراجع

اسدی شیرین، گ.، غلامعلی فرد، م.، (۱۳۹۴)، "تطبیق ضوابط و ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی محل دفن پسماند

قائم‌شهر با استفاده از ماتریس Leopold وRIAM"، *مجله پژوهش در بهداشت محیط*، ۱(۳)، ۱۹۳-۲۰۶.
پاکروان، ش.، صائب، ک.، (۱۳۹۴)، "بررسی انواع آلایندههای نفتی ناشی از عملیات پالایشگاه نفت و پتروشیمی اصفهان در منابع آب زیرزمینی"، *هفتمین کنفرانس ملی و نمایشگاه تخصصی محیط زیست*، تهران، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران.
جلالی، م.، سامانی، ن.، و رضائی، م.، (۱۳۸۸)، "پایش نفت و آلودگی آب در پالایشگاه تهران"، *اولین کنفرانس بین المللی مدیریت منابع آب، شاهرود*، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
خدادادی، م.، صمدی، م.، رحمانی، ا. ر.، ملکی، ر.، الهرسانی، ا، و شهیدی، ر.، (۱۳۸۶)، "تعیین میزان آفتکشهای ارگانوفسفره و کربامات در منابع آب آشامیدنی همدان در سال ۱۳۸۶"، *مجله سلامت محیط زیست*، ۲(۴)، ۲۵۰-۲۵۷.
خلیجیان، ا.، سبحان اردکانی، س.، و چراغی، م.، (۱۳۹۳)، "بررسی دیازینون در منابع آب زیرزمینی دشت همدان در بهار ۱۳۹۳"، *مجله پژوهش در بهداشت محیط*، ۲(۳)، ۲۰۳۱-۲۱۱.
صفوی، ح. ر.، سوخک لاری، ک.، و تائبی، ا.، (۱۳۸۴)، "شبیه سازی روش‌های پمپاژ-تصفیه و هوادهی در احیای محلی آب‌های زیرزمینی آلوده"، *مجله آب و فاضلاب*، ۵۶، ۳۰-۳۹.
کاکائی، ک.، ریاحی بختیاری، ا.، و غلامعلی فرد، م.، (۱۳۸۷)، "ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌وسیله فلزات سنگین حاصل از شیرابه محل دفن زباله‌های همدان و توصیه های پوشش مناسب"، *مجله پژوهش در بهداشت محیط*، ۲(۳)، ۲۲۱-۲۲۷.
گرگانی، ش.، بافکار، ع.، و فاطمی، ا.، (۱۳۹۵)، "ارزیابی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی با شاخص دراستیک، (مطالعه موردی: دشت ماهیدشت کرمانشاه)"، *مجله سلامت و محیط زیست*، ۹(۴)، ۵۲۷-۵۳۶.
ناصری، ح.، مدبری، ر.، و فلسفی، س.، (۱۳۹۱)، "آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از آلودگی‌های نفتی در منطقه ری (جنوب تهران)"، *مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی*، ۲۱(۸۱)، ۱۱-۲۲.
Almasri, M.N., and Kaluarachchi, J.J., (2005), "Modular neural networks to predict the nitrate distribution in ground water using the onground nitrogen loading and recharge data", *Journal of Environmental Modeling and Software*, 20(7), 851-871.
Bau, D.A., and Mayer, A.S., (2006), "Stochastic management of pump and treat strategies using surrogate functions", *Journal of Advances in Water Resources*, 29(12), 1901-1917.
Bear, J., Beljin, M.S., and Ross, R.R., (1992), "Fundamentals of ground-water modeling", *Ground Water Issue*, EPA/540/S-92/005. R.S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK, 11 pp.
Blandford, T.N., and Huyakorn, P.S., (1991), WHPA: "Modular semi-analytical mle from EPA center for subsurface modeling support, Ada, OK. Version 1.0 was released in 1990, [Four modules: MWCAP, RESSQC, GPTRAC, MONTEC; most current disk version is 2.1].
Bortone, I., Chianese, S., Di Nardo, A., Di Natale, M., Erto, A., and Musmarra, D., (2013), "A Comparison between pump & treat technique and permeable reactive barriers for the remediation of groundwater contaminated by chlorinated organi compounds", *Chemical Engineering Transaction,* 32(1), 31-36.
Bradbury, K.R., Muldoon, M.A., Zaporozec, A., and Levy, J., (1991), "Delineation of wellhead protection areas in fractured rocks", EPA/ 570/9-91-009. Office of Water, Washington, DC, 144 p.
Chau, T.S., (1988), "Analysis of sustained ground-water withdrawals by the combined simulation-optimization approach", *Journal of Ground Water*, 26(4), 454-463.
Cheng Chang, L., Jay Chu, H., and Tsai Hsiao, CH., (2006), "Optimal planning of a dynamic pump-treat-inject groundwater remediation system", *Journal of Hydrology,* 342, 295-304.
Chul Park, Y., Min Jeong, J., Il Eom, S., and Pyoung Jeong, U., (2011), "Optimal management design of a pump and treat system at the industrial complex in Wonju, Korea", *Journal of Geosciences,* 15(2), 207-223.
Cohen, R.M., Vincent, A.H., Mercer, J.W., Faust, C.R., and Spalding, C.P., (1994), "Methods for monitoring pump-and-treat performance", EPA/600/R-94/123. R.S. *Kerr Environmental Research Laboratory,* Ada, OK, 102 pp.
Doty, C.B., and Travis, C.C., (1991), "The effectiveness of groundwater pumping as a restoration technology", Knoxville: University of Tennessee, Waste Management Research and Education Institute.
Endres, K.L., (2004), "Optimal design of pump and treat remediation systems: treatment modeling, source modeling and time as a decision variable", Dissertation, Michigan Technological University.
EPA, (2000), "Superfund reform strategy, implementation memorandum: Optimization of fund-lead ground water pump treat (P&T) systems", OSWER Directive 9283.1-13, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C.
EPA, (2002), "Elements for effective management

firefly algorithm", *Engineering Optimization,* 47(1), 1-17.
Knox, R.C., Canter, L.W., Kincannon, D.F., Stover, E.L., and Ward, C.H., (1984), "State-of-the art of aquifer restoration", EPA, 1984; 600/2-84/182 a & b (NTIS PB85-181071 and PB85-181089).
Ko, N.Y., and Lee, K.K., (2010), "Information effect on remediation design of contaminated aquifers using the pump and treat method", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,* 24(5), 649-660.
Lu, H.W., Huang, G.H., and Zeng, G.M., (2008), "An inexact two-stage fuzzy-stochastic programming model for water resources man- agement", *Water Resources Management,* 22(8), 991-1016.
Mackay, D., and Cherry, J.A., (1989), "Groundwater contamination: Pump-and-treat remediation", *Environmental Science and Technology,* 23(6), 630-636.
Kazemzadeh, M.J., Daneshmand, F., Ahmadfard, M., Adamowski, J., and Martel, R., (2015), "Optimal groundwater remediation design of pump and treat systems via a simulation–optimization approach and firefly algorithm", *Engineering Optimization,* 47(1), 1-17.
Mulligan, C.N., Yong, R.N., and Gibbs, B.F., (2001), "Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: An evaluation", *Journal of Engineering Geology*, 60(4), 193-207.
NRC, (2013), "Alternatives for Managing the Nation's Complex Contaminated Groundwater Sites", National Academy of Sciences, Washington, D.C.
Polemo, M., and Casano, D., (2008), "Climate change, drought and ground water availability in southern Italy", *Geological Society,* 288(10), 39-51.
Raymond, R.L., Jamison, V.W., and Hudson, J.O., (1977), "Beneficial stimulation of bacterial activity in groundwater containing petroleum hydrocarbons", *American Institute of Chemical Engineers Symposium Series,* 73(166), 390-404.
Rivett, M.O., Chapman, S.W., Allen-King, R.M., Feenstra, S., and Cherry, J.A., (2006), "Pumpand-treat remediation of chlorinated solvent contamination at a controlled field experiment site", *Environmental Science and Technology*, 40(21), 6770-6781.
Rogers, L.L., Dowla, R.U., and Johnson, V.M., (1995), "Optimal field-scale groundwater remediation using Neural Networks and Genetic Algorithm", *Journal of Environmental Science and Technology*, 29(5), 1145-1155.
Ros, K., Kincheloe, C., Baldinger, E., and Nikaidoh, of operating pump and treat systems", EPA/542/R-02/009, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C.
EPA, (2007), "Optimization strategies for long-term ground water remedies (with particular emphasis on pump and treat systems)", EPA/542/R-07/007, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
EPA, (2008), "A systematic approach for evaluation of capture zones at pump and treat systems", EPA/600/R-08/003, U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio.
EPA, (2011), "Groundwater road map: Recommended process for restoring contaminated groundwater at superfund sites", OSWER 9283.1-34, U.S. Environmental Protection Agency, *Washington,* D.C.
EPA, (2014), "Groundwater remedy completion strategy", OSWER 9200.2-144, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C.
Feldman, P.R., and Campbell, D.J. (1994), "Evaluating the technical impracticality of ground-water ccleanup", *Journal of Ground Water Management,* 18, 595-608.
Gorelick, S.M., Freeze, R.A., Donohue, D., and Keely, J.F., (1993), *Groundwater contamination: Optimal capture and containment*, Lewis Publishers: Boca Raton, FL, 416 pp.
Haitjema, H.M., Wittman, J., Kelson, V., and Bauch, N., (1994), "WhAEM: Program documentation for the wellhead analytic element model", EPA/600/R-94/210, 120 pp.
He, L., Huang, G.H., and Lu, H.W., (2009), "A coupled simulation-optimization approach for groundwater remediation design under uncertainty: An application to a petroleum-contaminated site", *Environmental Pollution,* 157(8-9), 2485–2492.
Heron, G., Bierschenk, J., Swift, R., Watson, R., and Kominek, M., (2016), "Thermal DNAPL source zone treatment impact on a CVOC plume", *Journal of Groundwater Monitoring and Remediation,* 36(1), 26-37.
Huang, Y.F., Wang, G.Q., Huang, G.H., Xiao, H.N., and Chakma, A., (2007), "IPCS: An integrated process control system for enhanced in-situ bioremediation", *Environmental Pollution,* 151(3), 460-469.
Kazemzadeh, M., Daneshmand, F., Ahmadfard, M., Adamowski, J., and Martel, R., (2015), "Optimal groundwater remediation design of pump and treat systems via a simulation–optimization approach and

L.,)2003(, "Improving nationwide effectiveness of pump-and-treat remedies requires sustained and focused action to realize benefits", Office of Inspector General, Catalyst for Improving the Environment, United States Environmental Protection Agency Washington, D.C., 20460.

EPA, U., (2003), "Improving nationwide effectiveness of pump-and-treat remedies requires sustained and focused action to realize benefits report", EPA Office of Inspector General, Memorandum Report, 11 p.

Sale, T., and Newell, C., (2011). "A guide for selecting remedies for subsurface releases of chlorinated solvents", ESTCP ER-200530, Environmental Technology Security Certification Program, Alexandria, Virginia. Available at: https://www.serdpestcp.org/content/download/10883/137620/file/ER-200530- DG.pdf.

Satkin, R.L., and Bedient, P.B., (1988), "Effectiveness of various aquifer restoration schemes under variable hydrogeologic conditions", *Ground Water,* 26(4), 488-498.

Thomson, N.R., and Johnson, R.L., (2000), "Air distribution during in site air sparging: An overview of mathematical modeling", *Journal of Hazardous Materials*, 72(2-3), 265-282.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), (1991), "Handbook: Stabilization technologies for RCRA corrective actions", EPA/625/6-91/ 026. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH, 62 p.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), (1995), Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation Office, Soil Vapor Extraction (SVE), "Enhancement technology resource guide", Washington, D.C. 20460, October.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), (1996), "Ground-water and leachate treatment systems", EPA/625/R-94/005. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH, 119 pp.

U.S. EPA, (2008), "A systematic approach for evaluation of capture zones at pump and treat systems", U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-08/003, Washington, United States of America.

United States Environmental Protection Agency (USEPA), (2001), "A citizen's guide to pump and treat", Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC.

USACE, (2000), "Operation and maintenance of extraction and injection wells at HTRW sites", EP 1110-1-27, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

Voudrias, E.A., (2001), "Pump and treat remediation of groundwatr contaminated by hazardous waste: Can it really be achievd", *International Journal Global Nest,* 3(1), 1-10.

Zheng, C., (2009), "Recent developments and future directions for MT3DMS and related transport codes", *Journal of Groundwater,* 47(2), 620-625.