

خلاصه تحقیق انجام شده

بهینه‌سازی غیرقطعی چندهدفه شبکه پایش آب زیرزمینی برای تشخیص مشخصات نشت از منابع

آلودگی نفتی: مطالعه موردی، بخشی از پالایشگاه تهران

سازمان مجری: معاونت پژوهشی دانشگاه تهران

پژوهشگران: دکتر محمدرضا بازرگان لاری، دکتر رضا کراچیان

مقدمه

بررسی اطلاعات حاصل از سیستم‌های پایش کیفی و برخی اندازه‌گیری‌های پراکنده انجام شده در مورد وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی کشور نشان دهنده وجود برخی از منابع آلوده کننده است که به علت عدم تشخیص به موقع، منابع آب زیرزمینی را به شدت آلوده کرده‌اند. به عنوان مثال می‌توان به پالایشگاه تهران اشاره نمود که موجب نشت مقادیر قابل توجهی از ترکیبات نفتی به آبخوان تهران شده است به طوری که در مواقعی حتی قنات‌های منطقه جنوب پالایشگاه آتش گرفته‌اند. برای حل این مشکل لازم است در هنگام طراحی این تأسیسات، یک سیستم پایش کیفی نیز برای تشخیص به موقع نشت آلاینده‌ها از این منابع احتمالی آلودگی، طراحی و سپس اجرا گردد. با توجه به اهمیت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در مسأله پایش نشت آلودگی، در این طرح پژوهشی، به ارائه یک مدل غیرقطعی برای بهینه‌سازی مکانیابی ایستگاههای پایش کیفی آب زیرزمینی با اهداف حداکثرسازی قابلیت اطمینان تشخیص نشت آلاینده از یک منبع محتمل آلودگی، حداقل‌سازی هزینه‌های سیستم پایش و حداقل‌سازی سطح آلوده شده در هنگام تشخیص آلودگی پرداخته شده است. الگوریتم پیشنهادی در این طرح تحقیقاتی، از تلفیق مدل‌های بهینه‌سازی چند هدفه¹ NSGA-II یک مدل تک‌هدفه بر پایه تئوری تأسف² و مدل‌های شبیه‌سازی MODFLOW و MT3D تشکیل شده است. مهمترین سؤالی که در این طرح تحقیقاتی مطرح است این است که آیا بر پایه نتایج حاصل از سیستم پایش می‌توان به صورت احتمالاتی محل و میزان نشت آلودگی را مشخص کرد؟ پردازش اطلاعات حاصل از شبکه‌های پایش کمی - کیفی شبکه پایش طراحی شده بر اساس اهداف و قیود فوق، می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی را برای مدیریت بهتر این سامانه‌ها در اختیار مدیران قرار دهد که این کار نیز به کمک ماشین‌های بردار پشتیبان³ (SVMs) انجام شده است. کارایی مدل پیشنهادی با استفاده از اطلاعات موجود از آب زیرزمینی در بخشی از محدوده پالایشگاه تهران ارزیابی شده است.

تحقیقات انجام شده قبلی و منطقه مورد مطالعه

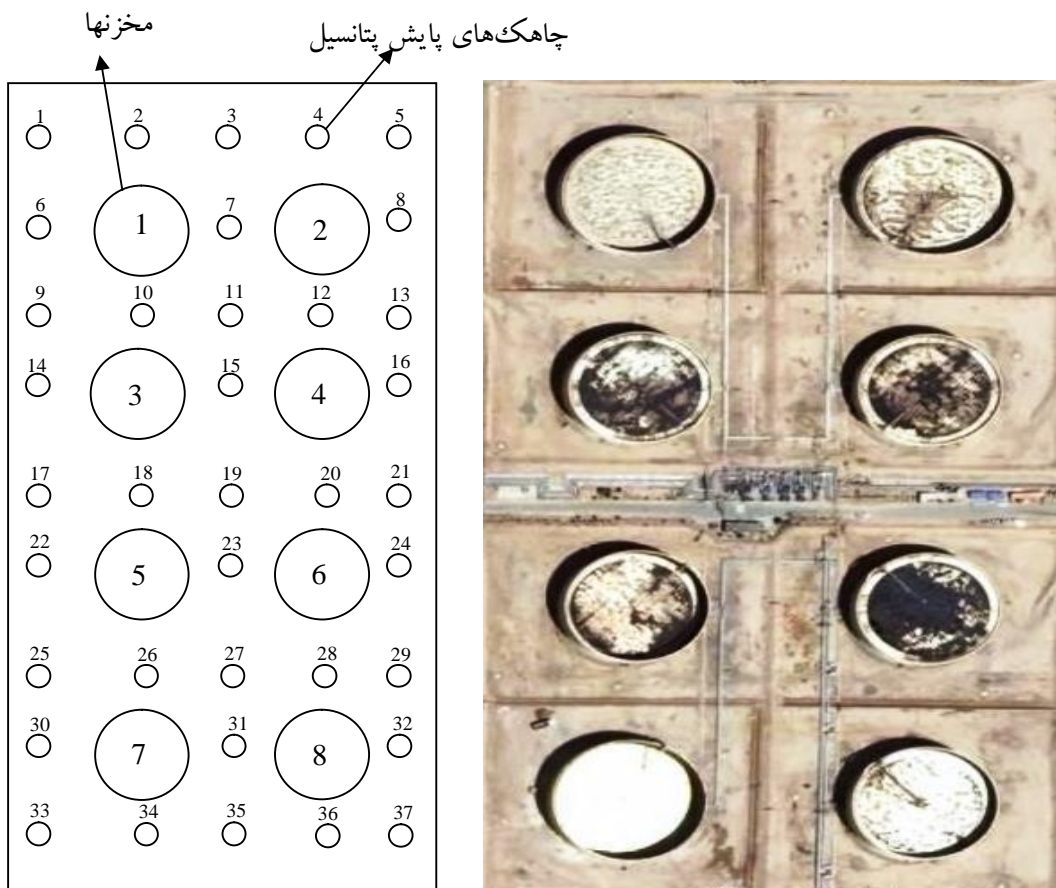
آلودگی نفتی در محدوده پالایشگاه تهران به دهه‌های گذشته مربوط می‌شود. بررسی آلودگی این منطقه در سال 1367 با نمونه‌برداری از چاه‌های کاتدی موجود در پالایشگاه و انجام آزمایش تقطیر و تعیین درصد برشهای نفتی و در سال 1377 با نمونه‌برداری از چاه‌های کاتدی، چاه‌های آب و میله چاه‌های قنات‌های موجود در منطقه صورت گرفته است. بر اساس پیشنهادیه مصوب، محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، بخشی از پالایشگاه تهران و شامل مخازن بخش جنوب

¹ Non-dominated Sorting Genetic Algorithms-II (NSGA-II)

² Regret-based Theory

³ Support Vector Machines (SVMs)

شرقی پالایشگاه تهران می‌باشد که با استفاده از اطلاعات آبخوان تهران مورد بررسی قرار گرفته‌است. از آنجا که هدف این تحقیق بررسی کیفی آبخوان بر پایه روش جدید پیشنهادی در محدوده پالایشگاه تهران می‌باشد، اطلاعات پایه مورد نیاز را می‌توان اطلاعات اقلیمی و هواشناسی، برداشت‌ها و مصارف، ژئوتکنیکی، کیفیت آب و منابع آلاینده تقسیم‌بندی نمود. بر پایه تحقیقات انجام شده قبلی و با توجه به جنبه‌های کاربردی نتایج حاصل، آلاینده‌ای که در این تحقیق مورد تحلیل قرار گرفته است، هیدروکربن‌های نفتی کل (TPHs) می‌باشد که شامل مجموع کلیه آلاینده‌های هیدروکربنی است. ترکیبات TPHs به هنگام تنفس یا در صورت استفاده از آب یا مواد غذایی آلوده و همچنین، به هنگام تماس با خاک آلوده، ممکن است وارد بدن انسان شده، از طریق جریان خون در سراسر بدن پخش شود. با توجه به گستردگی ترکیبات TPHs، هنوز اطلاعات کافی در خصوص اثرات و عوارض آن بر انسان موجود نمی‌باشد. هدف اصلی از متدولوژی پیشنهادی، طراحی سیستم‌های پایش جدید برای تشخیص نشت و تعیین مشخصات منبع آلودگی است و از اطلاعات موجود از آلودگی آب زیرزمینی در منطقه پالایشگاه تهران تنها برای کالیبره کردن مدل استفاده می‌شود.



شکل ۱: موقعیت و محل قرار گرفتن مخازن فرآورده‌های نفتی و چاهک‌های پتانسیل در بخش جنوب غربی پالایشگاه تهران

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، قسمتی از پالایشگاه تهران می‌باشد که در جنوب شرقی پالایشگاه واقع است و شامل 8 مخزن نفت خام می‌باشد. این منطقه دارای 500 متر عرض و یک کیلومتر طول می‌باشد و در مدل شبیه‌سازی آب زیرزمینی با سلول‌های 20 متر در 20 متر با تعداد 50 عدد ردیف و 25 عدد ستون مدل‌سازی شده است.

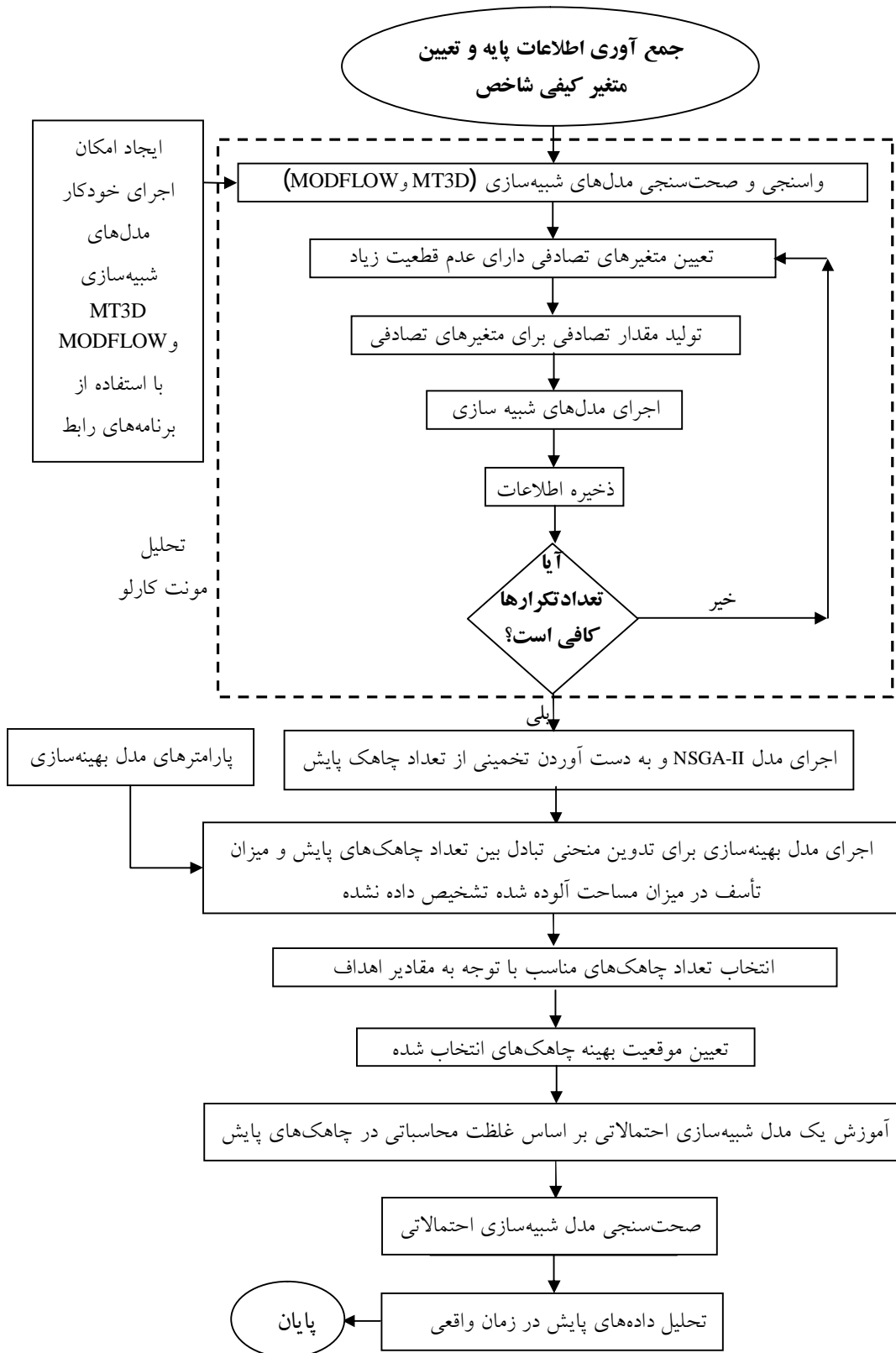
در تحقیق حاضر، ابتدا مبانی مدل‌های شبیه‌سازی و روابط حاکم بر شبیه‌سازی کیفی آبخوان‌ها شرح داده شده و سپس جزئیات مدل‌سازی کمی و کیفی آبخوان تهران در محدوده مورد مطالعه ارائه گردیده است. با توجه به تجربه موفق موجود در استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی MODFLOW و MT3D در تحقیقات گذشته، در این تحقیق از این نرم‌افزارها استفاده گردید. این مدل‌ها بر اساس اطلاعات کمی و کیفی موجود از آب زیرزمینی در بخشی از پالایشگاه تهران کالیبره شدند.

همان‌طور که در قرارداد و شرح خدمات این طرح اشاره شده است، هدف این طرح پژوهشی، ارائه یک مدل غیرقطعی برای بهینه‌سازی مکان‌یابی ایستگاه‌های پایش کیفی آب زیرزمینی برای تعیین مشخصات یک منبع آلاینده نامشخص می‌باشد. در تدوین این ساختار اهداف زیر می‌توانند مورد توجه قرار گیرند:

- کمینه نمودن تعداد چاهک‌های پایش و به تبع آن کمینه نمودن هزینه‌های سیستم پایش
 - کمینه‌سازی میزان تأسّف در حداکثرسازی مساحت آلوده شده تشخیص داده نشده در یک دوره پایش با انتخاب بهترین محل چاهک‌های پایش نهایی و همچنین مقادیر بهینه متغیرهای دارای عدم قطعیت زیاد
- پس از اعمال توابع هدف فوق، ممکن است به ازای یک تعداد چاهک مورد نیاز، ترکیب‌های مختلفی از محل قرارگیری چاهک‌ها، میزان تأسّف یکسانی را به دست دهد. به همین دلیل، ترکیبی از محل قرارگیری چاهک‌ها انتخاب می‌شود که مقادیر بهتری برای سایر توابع هدف داشته باشند که این توابع هدف در زیر آمده است: (1) ترکیبات چاهک‌های پایش نهایی بایستی به نحوی باشد که هر دو تای آنها در یک منطقه قرار نگیرند، (2) ترکیبات چاهک‌های پایش نهایی بایستی به نحوی باشد که بیشترین فاصله را نسبت به یکدیگر داشته باشند.

ساختار مدل پیشنهادی

در شکل 2 فلوچارت مدل پیشنهادی ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، ابتدا باید مدل‌های شبیه‌سازی کمی و کیفی MODFLOW و MT3D برای یک متغیر کیفی شاخص کالیبره و صحت‌سنجی شوند. سپس، ورودی‌های مدل شبیه‌سازی که دارای عدم قطعیت زیادی هستند، شناسایی می‌شوند و برای هر یک، یک بازه تغییرات و تابع توزیع چگالی احتمال مناسب انتخاب و بر اساس آن اعداد تصادفی تولید می‌شود. به ازای این مقادیر تصادفی تحلیل مونت کارلو اجرا شده و بر اساس آن یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II اجرا می‌شود و منحنی تعامل بین اهداف مختلف که در اینجا حداقل کردن هزینه‌های سیستم پایش و حداکثر کردن میزان تشخیص نشت است، به دست می‌آید. بر این اساس می‌توان تخمینی از تعداد چاهک پایش مورد نیاز برای انجام تئوری تأسّف را فراهم آورد. در ادامه به هر یک از ترکیباتی که می‌توان از این متغیرهای تصادفی مهم ایجاد کرد، سناریو اطلاق می‌شود. به ازای هر کدام از این سناریوها، مدل‌های شبیه‌سازی کمی و کیفی آبخوان اجرا شده و توزیع غلظت در کل آبخوان به دست می‌آید. پس از آن، سلول‌های تشخیص داده نشده به ازای تمامی حالاتی که از ترکیبات چاه‌های پایش می‌تواند رخ دهد، برای اولین سناریو محاسبه می‌شود و محل ترکیباتی از چاهک‌های پایش که کمترین تعداد سلول تشخیص داده نشده را دارند، تعیین می‌شوند. در اینحالت، ممکن است نتایج به چند ترکیب مختلف از تعداد چاهک‌های پایش منتج شود که در اینحالت چاهک‌های پایش پتانسیلی را به عنوان چاهک‌های پایش نهایی انتخاب می‌کنیم که علاوه بر داشتن بیشترین فاصله از یکدیگر، هیچ‌گاه دو تای آنها در یک منطقه قرار نگیرند.



شکل 2: ساختار الگوریتم پیشنهادی

حال میانگین تأسّف بین تعداد سلولهای تشخیص داده نشده در سناریوی اول و سایر سناریوها بر اساس چاهکهای پایش به دست آمده از سناریوی اول محاسبه می‌شود. مراحل فوق برای تمامی سناریوها انجام شده و حداقل تأسّف بین آنها به دست می‌آید. بر این اساس، علاوه بر بدست آمدن، محل چاهک‌های پایش نهایی، مقادیر مطلوب برای متغیرهای دارای عدم قطعیت زیاد به دست می‌آید. در این ساختار برای نخستین بار، از تئوری تأسّف⁴ برای انتخاب چاهکهای پایش برتر استفاده می‌شود. بر اساس این تئوری، چاهکهای پایش باید بر اساس مقادیری از متغیرهای دارای عدم قطعیت طراحی شوند که اگر مقادیر این متغیرها تغییر کند، حداقل میزان تأسّف در تغییر تابع هدف مدل حاصل شود. در ساختار پیشنهادی، میزان تأسّف در میزان مساحت آلوده شده تشخیص داده نشده در یک دوره پایش، به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود و با اجرای متعدد مدل به ازای مقادیر مختلف تعداد کل چاهکهای پایش مورد نیاز، منحنی تعامل⁵ بین تعداد چاهکهای پایش و میزان تأسّف ترسیم می‌گردد. با استفاده از این منحنی می‌توان بر اساس یک میزان تأسّف قابل قبول توسط تصمیم‌گیرنده، تعداد چاهک پایش مورد نیاز و مکان استقرار بهینه آنها را تعیین نمود. در صورتی که به ازای یک تعداد چاهک مورد نیاز، ترکیب‌های مختلفی از محل قرارگیری چاهکها، میزان تأسّف یکسانی را به دست دهد، ترکیبی از محل قرارگیری چاهکها انتخاب می‌شود که مقادیر توابع هدف دیگر بهتری داشته باشند.

در این تحقیق، همچنین روشی برای تحلیل داده‌های حاصل از سیستم پایش با استفاده مدل‌های شبیه‌سازی احتمالاتی ارائه می‌شود. بر اساس نتایج مدل‌های شبیه‌سازی احتمالاتی آموزش داده شده مانند شبکه‌های بیزی یا ماشین‌های بردار پشتیبان نیز می‌توان محل و میزان نشت آلودگی را به صورت احتمالاتی مشخص کرد.

با بررسی‌های صورت گرفته بر روی پارامترهای فوق در محدوده مورد مطالعه، نتایج بدین نحو حاصل شدند که غلظت نشت آلاینده از مخزن، مقدار نشت از مخزن، ضریب هدایت هیدرولیکی و ضریب پراکنش افقی نسبت به سایر پارامترها، بیشترین تأثیر را در تغییرات توزیع کیفی آلاینده شاخص در آبخوان ایفا می‌کردند. سایر پارامترهای ذکر شده به دلیل اینکه در توزیع غلظت در آبخوان نقش بارزی را ندارند، در ادامه در مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.

نتایج

در این تحقیق برای تحلیل داده‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی و شناسایی مشخصات منبع آلودگی، از مدل‌های هوشمند پیش‌بینی احتمالاتی استفاده می‌شود. برای در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در اطلاعات جمع‌آوری شده، شرایط کمی و کیفی آبخوان به صورت غیرقطعی و به کمک روش مونت کارلو شبیه‌سازی می‌گردد. برای این منظور برای پارامترهایی که در نظر است، عدم قطعیت در مورد آنها اعمال شود، تابع توزیع چگالی احتمال مناسب انتخاب می‌شود و با تولید اعداد تصادفی و اجرای مدل شبیه‌سازی برای سناریوهای مختلف، وضعیت توزیع آلودگی در آب زیرزمینی بررسی می‌شود. در این پژوهش، پارامترهایی که به صورت غیرقطعی برای شبیه‌سازی کیفی آبخوان در نظر گرفته شده‌اند، عبارتند از: (1) شماره منبع آلاینده، (2) مقدار نشت از منبع آلاینده، (3) غلظت آلودگی خروجی، (4) ضریب هدایت هیدرولیکی و (5) ضریب پراکنش افقی. از این منابع آلاینده. به ازای این متغیرهای تصادفی، تحلیل مونت کارلو اجرا شده و توزیع مکانی و زمانی متغیر شاخص کیفی در آبخوان به دست می‌آید.

⁴ Regret Theory

⁵ Trade-off

با استفاده از برنامه فرترن تلفیق شده با مدل‌های MT3D و MODFLOW، بر اساس داده‌های تصادفی تولید شده برای شماره مخزن، مقدار نشت و میزان غلظت ماده آلاینده، مدل شبیه‌سازی 5000 بار اجرا گردید و میزان غلظت در هر سلول آبخوان برای هر یک از این 5000 بار اجرا به دست آمده است. تابع توزیع در نظر گرفته شده برای تولید اعداد تصادفی برای مقدار نشت و غلظت TPH نرمال و برای محل نشت، ضریب هدایت هیدرولیکی و ضریب پراکنش افقی، تابع توزیع یکنواخت بوده است.

در هر بار مدلسازی آبخوان، به ازای توزیع‌های فوق، پنج عدد تصادفی تولید و با شبیه‌سازی کمی و کیفی آبخوان، توزیع غلظت آلاینده در محدوده مورد مطالعه بدست می‌آید. مشخصات این متغیرهای تصادفی در جدول 6-1 ارائه شده است. بازه تغییرات و مشخصات آماری مقدار نشت و غلظت TPH بر اساس اطلاعات ارائه شده در مقالات مشابه و گزارش‌های فنی موجود در مورد آلودگی نفتی پالایشگاه تهران، تخمین زده شده‌اند.

جدول ۱: مشخصات آماری فرض شده برای متغیرهای تصادفی در تحلیل مونت کارلو

متغیر	مقدار نشت (m ³ /m.day)	غلظت TPH × 10 ⁹ (mg/ m ³)	شماره مخزن محل نشت	ضریب هدایت هیدرولیکی	ضریب پراکنش افقی
مشخصات آماری	با توزیع نرمال، با میانگین 7 و انحراف معیار 0/67	با توزیع نرمال، با میانگین 0/85 و انحراف معیار 0/05	با توزیع یکنواخت بین 1 تا 8	با توزیع یکنواخت بین 2 تا 10	با توزیع یکنواخت بین 6 تا 14

در این پژوهش، با توجه به دوره‌های زمانی مرسوم در نمونه برداری کیفی آب زیرزمینی، طول دوره شبیه‌سازی کمی و کیفی آبخوان نیز 15 روز و گام‌های زمانی شبیه‌سازی روزانه در نظر گرفته شده است.

در مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II استفاده شده در این پژوهش، توابع هدف حداقل‌سازی تعداد چاهک‌های پایش و حداقل‌سازی معکوس احتمال تشخیص نشت می‌باشند. هدف از اجرای این مدل بهینه‌سازی در این قسمت از الگوریتم پیشنهادی، به دست آوردن تخمینی از تعداد چاهک پایش مورد نیاز می‌باشد. متغیرهای تصمیم نیز نشان‌دهنده وجود یا عدم وجود ایستگاه پایش در محل‌هایی هستند که قابلیت ایجاد چاهک در آنها وجود دارد (چاهک‌های پتانسیل). بنابراین، متغیرهای تصمیم از نوع باینری و تعداد آن‌ها (تعداد ژن‌ها) برابر با تعداد چاهک‌های پایش پتانسیل (37 عدد) است، می‌باشند. تعداد نسل‌ها نیز 200 عدد انتخاب شده است.

زمان اجرای مدل بهینه‌سازی چندهدفه بر روی منطقه مورد مطالعه در حدود 16 دقیقه می‌باشد. مدل بهینه‌سازی-NSGA II، منحنی تعامل میان تعداد چاهک پایش و عکس احتمال تشخیص نشت را مطابق شکل زیر به دست می‌دهد. مطابق این شکل، انتخاب 3 یا 4 چاهک پایش مطلوب به نظر می‌رسد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، با داشتن 3 چاهک پایش در مکان‌های بهینه آنها، می‌توان با احتمال زیاد (بیش از 80 درصد) نشت احتمالی را در یک بازه زمانی 15 روزه تشخیص داد. بر اساس نتایج مدل بهینه‌سازی، در صورت انتخاب 3 چاهک، بهترین چاهک‌ها، چاهک‌های شماره 7، 15 و 28 و در صورت انتخاب 4 چاهک، بهترین چاهک‌ها، چاهک‌های شماره 7، 15، 26 و 28 می‌باشند. در ارزیابی محل چاهک‌های پایش لازم است به این نکته نیز توجه نمود که در صورت وجود نشت از یک مخزن، امکان نشت محدود آلاینده به سمت بالادست (خلاف جهت جریان آب زیرزمینی) نیز وجود خواهد داشت. زمان یک اجرای مدل شبیه‌سازی 3 ثانیه می‌باشد و زمان کل انجام تحلیل مونت کارلو با استفاده از رایانه پنتیوم 4 در حدود 140 دقیقه می‌باشد.



شکل 3: منحنی تعامل محاسبه شده توسط مدل NSGA-II در الگوریتم پیشنهادی

ابتدا بر اساس آنالیز حساسیتی که بر روی پارامترهای ورودی مدل‌های MODFLOW و MT3D صورت گرفته است و پارامترهای "غلظت نشت آلاینده از مخزن، مقدار نشت از مخزن، ضریب هدایت هیدرولیکی و ضریب پراکنش افقی" و همچنین محل نشت، که نسبت به سایر پارامترها، بیشترین تأثیر را در تغییرات توزیع کیفی آلاینده شاخص در آبخوان ایفا می‌کردند، 5000 سناریو تولید می‌شود. بر اساس این سناریوها و تخمینی اولیه از تعداد چاهک‌های پایش که با استفاده از مدل بهینه‌سازی NSGA-II برآورد شده است، مدل بهینه‌سازی بر پایه تئوری تأسف توسعه داده شد که حاصل آن در جدول زیر ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد چاهک پایش، تأسف در تشخیص تعداد سلولهای تشخیص داده نشده در هنگام بروز آلودگی کاهش می‌یابد.

جدول ۲ حداقل مقدار متوسط تأسف در تشخیص تعداد سلولهای تشخیص داده نشده در هنگام بروز آلودگی

تعداد چاهک پایش پیشنهادی	بهترین محل	حداقل مقدار متوسط تأسف
۱	۱۵	۰/۴۷۰
۲	۷ و ۳۳	۰/۴۰۷
۳	۱۸، ۲۸ و ۳۴	۰/۳۸۷

به کمک جدول بدست آمده در مرحله قبل و با مشخص شدن محل چاهک‌های پایش می‌توان شماره مخزنی که نشت از آن حادث شده را با دقت قابل قبولی در زمان واقعی پیش‌بینی کرد. غلظت آستانه تشخیص نشت در این پژوهش در حدود 0/1 کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده است. در استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی احتمالاتی، همانگونه که در فصل ابزار کارها در گزارش مرحله دوم اشاره شد، لازم است که مدل‌ها آموزش داده شوند. نحوه آموزش مدل‌های شبیه‌سازی احتمالاتی به این صورت است که ابتدا درصدی از داده‌ها برای آموزش مدل‌ها استفاده می‌شود. سپس با استفاده از داده‌های باقیمانده که در آموزش مدل‌ها استفاده نشده است، به صحت‌سنجی مدل‌های شبیه‌سازی احتمالاتی پرداخته می‌شود.

مدل PSVM تهیه شده در این پژوهش، دارای یک خروجی احتمالاتی گسسته با هشت کلاس (مخازن نفت) و تعداد ویژگی ورودی متغیر (مقادیر استاندارد شده غلظت در چاهک‌های پایش بسته به تعداد چاهک پایش) می‌باشد. انتخاب کرنل برای PSVM به حجم داده‌های آموزشی و ابعاد بردار ویژگی بستگی دارد. به عبارت دیگر، باید با توجه به این پارامترها، تابع کرنلی را انتخاب نمود که توانایی آموزش برای ورودی‌های مسئله را داشته باشد. علاوه بر این، از آنجا که در برخی از کاربردها، قابلیت تعمیم طبقه‌بندی‌کننده از اهمیت به‌سزایی برخوردار است، باید قابلیت تعمیم PSVM‌های

مختلف را نیز در نظر گرفت. در عمل چهار نوع کرنل خطی، کرنل چندجمله‌ای، کرنل تانژانت هیپربولیک و کرنل گوسی (RBF) بکار گرفته می‌شوند. در جدول زیر نمونه‌ای از نتایج دقت حاصل از کرنل‌ها برای یک ورودی و خروجی یکسان آمده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، کرنل گوسی و چندجمله‌ای دارای بهترین نتایج صحت‌سنجی است که بررسی‌های بیشتر صورت گرفته نشان می‌دهد که جوابهای این دو نوع کرنل در این پژوهش بسیار به هم نزدیک هستند و تفاوت چندانی در انتخاب نوع کرنل در تخمین مشخصات منبع آلاینده وجود ندارد.

جدول ۳: نمونه‌ای از نتایج دقت صحت‌سنجی بر اساس کرنل‌های مختلف به ازای یک ورودی و خروجی یکسان

نام کرنل	خطی	چندجمله‌ای	تانژانت هیپربولیک	گوسی
نتایج صحت‌سنجی به درصد	62/56	75/04	21/84	75/04

در این پژوهش، نتایج صحت‌سنجی مدل PSVM آموزش داده شده به تفکیک تعداد چاهک پایش مختلف در جدول زیر ارائه شده است، به بیشترین احتمال به دست آمده عدد یک و به سایر احتمالات صفر تعلق داده شده است و بر این اساس دقت تشخیص هر منبع آلاینده به صورت نسبت تعداد دفعاتی که محل نشت آلاینده به درستی تشخیص داده شده است به کل دفعات تعیین می‌گردد.

جدول ۴: میزان دقت ماشین بردار پشتیبان احتمالاتی در تخمین احتمالاتی شماره مخزن محل نشت

تعداد چاهک‌های پایش	یک چاهک	دو چاهک	سه چاهک
دقت ماشین بردار پشتیبان احتمالاتی به درصد	37/52	50/08	75/04

جمع‌بندی نهایی

در این تحقیق، ساختار جدیدی برای مکان‌یابی چاه‌های پایش مخصوص تعیین مشخصات منبع آلودگی در منابع آب زیرزمینی ارائه شد. در این ساختار، از قابلیت‌های مدل‌های بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه، مدل‌های عددی شبیه‌سازی کمیت و کیفیت آبخوان و ماشین‌های بردار پشتیبان بهره گرفته شد. همچنین، برای نخستین بار از تئوری تأسف برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مهم موجود در سیستم استفاده شد. برای ارزیابی کارایی ساختار پیشنهادی، مدل‌های شبیه‌سازی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی، با استفاده از اطلاعات موجود از آبخوان تهران در محدوده پالایشگاه تهران کالیبره شدند و سپس از مدل‌های شبیه‌سازی و تئوری تأسف برای مکان‌یابی چاهک‌های پایش تعیین مشخصات منبع آلودگی استفاده شد. نتایج، نشان‌دهنده کارایی بسیار خوب و کاربردی بودن متدولوژی پیشنهادی در تعیین مشخصات منبع نشت در منابع آب زیرزمینی است.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی معاونت فنی و پژوهش‌های شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران (دفتر امور پژوهشی و پشتیبانی علمی) انجام گرفته است که بدین وسیله از حمایت‌های بعمل آمده تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع و مراجع

برخی از مهمتری مراجع مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از:

- Afshar, A., and Amiri, H. (2010). A min-max regret approach to unbalanced bidding in construction, KSCE JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING, Volume 14, Number 5, 653-661, DOI: 10.1007/s12205-010-0972-0.
- Bashi-Azghadi, S.N., Kerachian, R., Bazargan-Lari, M.R., and Solouki, K. (2010). Characterizing an unknown pollution source in groundwater resources systems using PSVM and PNN. Expert Systems with Applications, 37, 7154–7161.
- Singh, R.M., and Datta, B. (2006). Identification of groundwater pollution sources using GA-based linked simulation optimization model. Journal of Hydrologic Engineering, 11(2), 101–109.
- Meyer, P.D., and Brill, E.D. Jr. (1988). A method for locating wells in a groundwater monitoring network under conditions of uncertainty. Water Resources Research, 24(8), 1277–1282.
- Solouki, K., Bazargan-Lari, M. R., and Kerachian, R. (2009). An optimization model for groundwater pollution source identification: A case study. Proceedings of Thailand: An International Perspective on Environmental and Water Resources Conference, ASCE-EWRI, January 5-7, Bangkok, Thailand.

مقدمه به زبان انگلیسی

In this investigation, a new methodology is presented based on the Regret Theory in order to identify an unknown pollution source and minimize undetected polluted area in a groundwater system. The methodology incorporates an optimization model and groundwater quantity and quality simulators. The objectives of the stochastic optimization model are to minimize the monitoring cost (i.e., the number of monitoring wells) and to minimize undetected polluted area. The Regret Theory is used to incorporate the uncertainties due to input parameters of the simulation models and the regret in identifying the undetected polluted area is minimized. Performance and applicability of the proposed methodology are illustrated by applying it to the Tehran refinery in the southern part of Tehran, Tehran, Iran.