Iranian Journal of
Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

مروری بر تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها به‌عنوان فرآیندی در مقابل تنش‌های وارد بر آب‌های زیرزمینی

زهره رامک [1*] نجات زیدعلی نژاد [2]

۱. دکتری مهندسی منابع آب، کارشناس منابع آب شرکت آب منطقه‌ای لرستان

۲. دکتری هیدروژئولوژی، کارشناس حفاظت و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی شرکت آب منطقه‌ای لرستان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳

نوع مقاله: مروری

چکیده

علی‌رغم ظرفیت بالای آب‌های زیرزمینی در مقابل تنش‌هایی مانند تغییر اقلیم، رشد سریع جمعیت و نیاز بیش‌تر به منابع آب، به‌خصوص در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، بهره‌برداری بی‌رویه از این منابع ارزشمند موجب بر هم خوردن تعادل طبیعی آبخوان‌ها، بیلان منفی آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق کشور و ایجاد مشکلات بسیاری شده است. در چنین مناطقی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی می‌تواند به‌عنوان راهکاری در جهت تعادل آبخوان و احیای این منابع ارزشمند به کار گرفته شود. در این مطالعه، پس از بیان روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در زمینه احیای این منابع، طرح‌های تغذیه مصنوعی انجام‌شده، با تأکید بر تحقیقات داخل کشور، بررسی‌شده است. مرور تحقیقات نشان می‌دهد تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در کشور عمدتاً به روش پخش سیلاب انجام‌شده است که در بیش‌تر موارد، به‌عنوان فرآیندی مؤثر جهت به تعادل رساندن آبخوان‌ها عمل می‌کند و با توجه به کارایی بالا و هزینه نسبتاً پایین نسبت به سایر روش‌ها، می‌تواند نقش قابل‌توجهی جهت رسیدن به مدیریت پایدار منابع آب کشور داشته باشد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد نوع آبخوان، شرایط هیدروژئولوژیکی، جنس سازندهای زمین‌شناسی، شیب منطقه و شرایط اقتصادی مهم‌ترین عوامل در انتخاب روش تغذیه می‌باشند. هم‌چنین نتایج لزوم مطالعات جامع و کامل برای انتخاب محل و روش تغذیه مصنوعی جهت رسیدن به نتایج مطلوب و کارایی موفق طرح را نشان می‌دهد. علاوه بر آن پدیده انسداد و کاهش سرعت نفوذ به‌عنوان مهم‌ترین مشکلات موجود در اجرای این طرح‌ها شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، تغذیه مصنوعی، پخش سیلاب، حوضچه تغذیه.

مقدمه

بهره‌برداری بی‌رویه از مخازن آب زیرزمینی و روی آوردن به احداث چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان و گسترش روزافزون آن‌ها موجب تغییرات شدیدی در نظام بهره‌برداری از منابع آب شده است. این موضوع منجر به خسارات گوناگونی مانند پایین رفتن سطح آب زیرزمینی (Campos-Gaytan et al., 2014; Qian et al., 2006) خالی شدن بخش‌هایی از مخازن آبی، منفی شدن بیلان آب دشت‌ها، کاهش آبدهی چاه‌ها، نشست زمین (Galloway et al., 2011; Zhang et al.2014) ، تهاجم جبهه‌های آب‌شور ساحلی (Vandenbohede et al., 2009) و کاهش کیفیت آب زیرزمینی (Kruawal et al., 2005; Zhai et al., 2013) شده است. از طرف دیگر، علاوه بر کمبود نزولات جوی، نزول بارش‌هایی با شدت نسبتاً زیاد در مدت‌زمان بسیار کم از دیگر ویژگی‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است که منجر به وقوع سیلاب‌های شدید می‌شود. ازآنجایی‌که این سیلاب‌ها معمولاً در فصل مرطوب (غیر زراعی) اتفاق می‌افتند، بدون استفاده از دسترس خارج و حتی موجب بروز خسارات جانی و مالی می‌شوند. ازآنجاکه کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود، وقوع جریان‌های سیلابی و افت شدید سطح آب

[1*] نویسنده مسئول: زهره رامک Email:z_ramak@yahoo.com

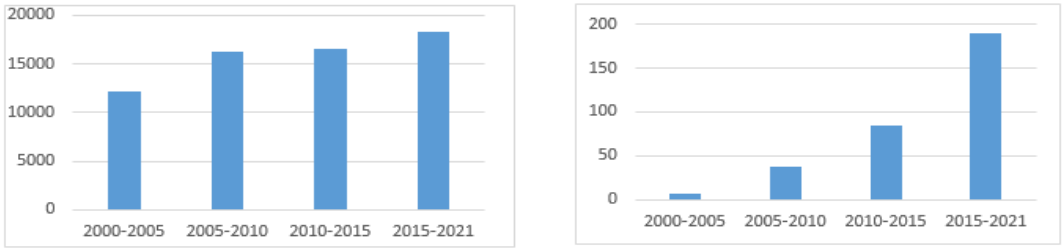
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

زیرزمینی در بسیاری از آبخوان‌های کشور موجب شده است که مطالعه و اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی با استفاده از جریان‌های سیلابی و رودخانه‌های فصلی، به‌خصوص در خلال دهه‌های اخیر، بیش‌ازپیش به‌عنوان یک چالش اساسی موردتوجه مدیران و برنامه‌ریزان آب کشور قرار گیرد (بصیرپور و همکاران، ۱۳۹۵). درواقع، این طرح‌ها در برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع آبی موجود و تعادل آبخوان‌ها، از اولویت ویژه‌ای برخوردار هستند (Zhang et al.,2014).

اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی به‌منظور ایجاد و حفظ توسعه پایدار، کنترل و مهار سیلاب‌ها و ذخیره آب مازاد آن‌ها، استفاده از پتانسیل مخازن زیرزمینی جهت ذخیره آب مازاد در فصل غیر زراعی، حفاظت کمی و کیفی از منابع آب زیرزمینی، به تعادل رساندن وضعیت هیدرولوژیکی آبخوان‌ها در دشت‌های با بیلان منفی، جلوگیری از هجوم آب‌شور در آبخوان‌های ساحلی، حذف آلودگی‌های میکروبی و باکتریولوژیک در اثر جذب و تبادل یونی در محیط‌های متخلخل، جلوگیری از پدیده فرونشست زمین و حفظ انرژی زمین‌گرمایی[۱] انجام می‌شود (رحمانی و فرخی، ۱۳۹۴).

اهمیت انجام مطالعه تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی روزبه‌روز در حال افزایش است. جستجوی تغذیه مصنوعی آبخوان در موتور جستجوگر گوگل اسکولار نشان‌دهنده افزایش تعداد مطالعات انجام‌شده در این خصوص نه‌تنها در سطح جهان بلکه در کشور است. بااین‌وجود، در کشور در مقایسه با جهان تعداد مطالعات بسیار کمی در زمینه تغذیه مصنوعی آبخوان انجام‌شده است (شکل۱). به‌علاوه، با توجه به شناخت نویسندگان، بیش‌تر مطالعات تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در کشور، شامل مکان‌یابی طرح‌های تغذیه مصنوعی می‌باشند و تاکنون مطالعه‌ای در زمینه مرور و بررسی طرح‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی کشور انجام‌نشده است. لذا با توجه به اهمیت این موضوع به‌عنوان راه‌حلی در جهت احیا و تعادل‌بخشی این مخازن و وجود خلأ در این زمینه مطالعاتی، در این تحقیق پس از معرفی روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی، صرف‌نظر از موضوع مکان‌یابی که خارج از حیطه تحقیق است، ابزار موردنیاز برای روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی آبخوان، و مزایا و معایب (مشکلات) هر روش بررسی و مطالعات صورت گرفته در این خصوص مرور و ارزیابی خواهند شد.



(الف) (ب)

شکل (۱): تعداد مطالعات انجام‌شده در الف) کشور و ب) جهان در خصوص تغذیه مصنوعی آبخوان در موتور جستجوگر گوگل اسکولار

روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی

به‌طورکلی روش‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به چهار دسته مستقیم، غیرمستقیم یا واداری، احداث سد زیرزمینی و مجازی دسته‌بندی می‌شوند (دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، ۱۳۹۰).

تغذیه مصنوعی به روش مستقیم

[۱] انرژی زمین گرمایی(Geothermal) بعنوان یک منبع انرژی پاک و تجدیدپذیر با منشا درونی زمین می‌باشد. در یک سیستم زمین گرمایی حرارت ذخیره شده در سنگ‌ها و مواد مذاب اعماق زمین بواسطه یک سیال حامل به سطح زمین منتقل می شود .این سیال عمدتاً نزولات جوی می‌باشد که پس از نفوذ به اعماق زمین و مجاورت با سنگ‌های داغ حرارت آنها را جذب نموده و در اثر کاهش چگالی مجدداً به طرف سطح زمین صعود می‌نماید و موجب پیدایش مظاهر حرارتی مختلفی از قبیل چشمه‌های آب گرم، آبفشان‌ها و گل فشان‌ها در نقاط مختلف سطح زمین می‌گردد (گلستانی‌فر و همکاران، ۱۳۹۱)

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

درروش مستقیم، منابع آب سطحی از فاصله دور یا نزدیک منتقل می‌شوند تا در محل مناسب، لایه آبدار زیرزمینی را تغذیه کنند. این فرآیند شامل روش‌های سطحی (روش حوضچه تغذیه ، روش پخش سیلاب ، تغذیه از طریق نهر یا جوی ، بندهای تأخیری، آبیاری، استفاده از معادن شن و ماسه، سدهای تغذیه‌ای، استفاده از گودال‌ها و حفره‌های طبیعی) و زیرسطحی (روش چاه‌های تزریق، حفر گوراب یا گودال، و زهکشی معکوس یا گالری‌های زیرسطحی) می-باشد (رحمانی و فرخی، ۱۳۹۴ ؛ محمودیان شوشتری، ۱۳۹۴؛ وزارت نیرو، ۱۳۹۳) .

درروش حوضچه تغذیه، ابتدا استخری با ساخت بند یا خاک‌ریز و یا خاک‌برداری ایجاد می‌شود، سپس آب به داخل استخر مزبور برای تغذیه آب‌های زیرزمینی هدایت می‌شود. در این حالت ممکن است یک استخر نسبتاً بزرگ و یا چندین استخر به‌هم‌پیوسته وجود داشته باشد و آب از طریق یک نهر از رودخانه منحرف و وارد استخر اول، یعنی استخر رسوب‌گیر، شود. در استخر مزبور قسمت عمده رسوب به دلیل کاهش سریع سرعت جریان آب ته‌نشین می-شود. زمانی که ارتفاع آب در استخر رسوب‌گیر از حد معینی بیش‌تر شود، آب وارد استخرهای بعدی، که در پایین-دست قرار دارند، می‌شود (ارفع و همکاران، ۱۳۹۵). درروش پخش سیلاب ابتدا با ساختن یک دهانه آبگیر یا بند کوچک تورسنگی در مسیر رودخانه، آب به کانال آب‌رسانی منحرف می‌شود، سپس روی نواحی تقریباً مسطح و یکنواخت از قسمت بالادست منطقه به‌طرف پایین‌دست بـا سرعت کم پخش می‌شود. در تغذیه مصنوعی از طریق نهر یا جوی، آب به داخل نهرهایی با عمق کم و در کنار یکدیگر، هدایت می‌شود. نهرها با توجه به شیب، شکل و جنس زمین به‌صورت موازی در جهت شیب، با زاویه نسبت به آن و یا عمود بر جهت شیب زمین‌ساخته می‌شوند. نهرهای بلند و باریک برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی مناسب هستند، ولی برای تغذیه به تعداد زیادی نهر، که به‌موازات هم احداث می‌شوند، نیاز است (ناظم سادات و بارانی، ۱۳۹۴). فن و دانش پخش سیلاب علاوه بر تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی، در عرصه‌های مشخص برای مقاصد چندمنظوره شامل زراعت سیلابی، تولید چوب و ایجاد محیط‌های سبز، اصلاح خاک، احیای مراتع مورداستفاده قرار می‌گیرد (رهبر و همکاران، ۱۳۹۳).

در تغذیه مصنوعی به روش بندهای تأخیری در بستر رودخانه، با احداث بندهای کوتاه گابیونی یا سنگریزه‌ای در بسیاری از رودخانه‌های فصلی و یا ایجاد بندهای اصلاحی در آبراهه‌های با شیب ملایم، می‌توان به نفوذ آب به زیرزمین کمک کرد. بسترهای نفوذپذیر باضخامت کافی در رودخانه‌های فصلی و آبراهه‌های با عرض زیاد، محل مناسبی برای استفاده از این روش می‌باشند (Ringleb et al., 2016). تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به روش آبیاری در مواقعی که در اراضی کشاورزی کشت صورت نمی‌گیرد، به‌خصوص در فصل زمستان، با استفاده از شبکه آبیاری موجود، که نیازی به‌صرف هزینه برای آماده‌سازی آن نیست، صورت می‌گیرد. این روش برای بالا آوردن سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی و کاهش هزینه‌های پمپاژ در مناطقی که به دلیل پمپاژ زیاد، آب فراوانی از آبخوان تخلیه می‌شود، مناسب است. در بسیاری از موارد معادن شن و ماسه به‌صورت محل‌های متروکه وجود دارند که می‌توانند محل مناسبی برای تغذیه مصنوعی آبخوان در نظر گرفته شوند. در چنین مواردی با احداث بند و کانال انتقال می‌توان بخشی از سیلاب رودخانه یا مسیل مجاور را به این محل منتقل کرد.

استفاده از سدهای تغذیه‌ای روش دیگر تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی است. سدهای تغذیه‌ای را می‌توان به‌عنوان یک حوضچه بزرگ تلقی کرد. به‌طوری‌که از مخزن آن برای مهار و ذخیره سیلاب و از محدوده مخزن و پی سد برای نفوذ استفاده کرد. این سدها در محل‌های خاص که لایه‌های آبرفت عمیق وجود دارند، احداث می‌شوند. پی این سدها عموماً فاقد لایه آب‌بند است. در اجرای این سیستم باید حتی‌الامکان از ورود رسوبات به داخل مخزن سد جلوگیری کرد زیرا با ورود رسوبات به مخزن نرخ تغذیه آب‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد و سد بیش‌تر نقش ذخیره پیدا می‌کند (Ringleb et al., 2016؛ رحمانی و فرخی، ۱۳۹۴). در بسیاری از مناطق گودال‌ها و حفره‌های طبیعی ناشی از عواملی مانند تکتونیک فعال منطقه وجود دارد که می‌توان با انحراف آب‌های سطحی و سیلاب در آن‌ها به تغذیه آب‌های زیرزمینی کمک کرد. به‌منظور جلوگیری از رسوب‌گذاری گودال‌ها و حفره‌های طبیعی، معمولاً از حوضچه‌های رسوب‌گیر قبل از ورود آب به آن‌ها استفاده می‌شود.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

ازجمله روش‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به‌صورت زیرسطحی استفاده از چاه‌های تزریق می‌باشد. کم بودن نفوذپذیری لایه‌های سطحی خاک، وجود لایه‌های غیرقابل نفوذ یا کم نفوذ در بالای آبخوان، ارزش اقتصادی زمین، نبود زمین با ویژگی‌های هیدروژئولوژی مناسب و عمیق بودن سطح ایستابی ازجمله عواملی هستند که باعث به کار بردن روش مزبور می‌شوند. تغذیه مصنوعی از طریق چاه‌های تزریق تنها روش تغذیه مصنوعی آبخوان‌های محبوس است. به‌علاوه، به کمک این روش می‌توان باعث ایجاد فشار آب شیرین روی جبهه آب‌شور شد و از پیشروی آب‌شور جلوگیری کرد (Taheri tizro et al., 2011؛ Zhai et al.,2013). در تغذیه مصنوعی به طریق حفر گودال یا گوراب با حفر یک گودال در داخل آبرفت‌های دانه‌درشت نظیر شن که دارای نرخ نفوذ بالایی هستند، آبخوان تغذیه می‌شود. در صورت وجود لایه‌های غیرقابل نفوذ سطحی از قبیل لایه‌های رسی با حفر گودال می‌توان به لایه تراوای زیرین رسید. از نکات منفی این روش، بالا بودن هزینه حفاری و گودبرداری، کاهش تراوایی گودال براثر رسوب‌گذاری رسوبات دانه‌ریز و صرف هزینه برای افزایش تراوایی کف گودال‌ها است (Taheri tizro et al., 2011؛Ringleb et al., 2016). روش دیگر تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به روش زیرسطحی استفاده از زهکش معکوس یا گالری‌های زیرسطحی می‌باشد. این سیستم با توجه به عدم اشغال اراضی سطحی و هم‌چنین حذف تبخیر حائز اهمیت است. در این روش قطر و طول گالری‌های زیرسطحی به عواملی مانند حجم بارش، قابلیت هدایت هیدرولیکی آبخوان و عمق سطح ایستابی بستگی دارند (Jha et al., 2007).

تغذیه مصنوعی به روش غیرمستقیم یا وادارای

درروش غیرمستقیم یا وادارای، با حفر چاه‌های بهره‌برداری در نزدیکی یک منبع آب سطحی نظیر رودخانه یا دریاچه و آبکشی از آن، شیب هیدرولیکی آب‌های زیرزمینی تغییر می‌کند و درنتیجه تغذیه القایی از منبع سطحی به سمت آبخوان صورت می‌گیرد. حجم آب تغذیه‌شده در این روش به عوامل مختلفی ازجمله نرخ پمپاژ از چاه بهره-برداری، قابلیت انتقال آبخوان، فاصله از رودخانه یا دریاچه و جهت حرکت طبیعی آب زیرزمینی بستگی دارد (وزارت نیرو، ۱۳۹۳).

تغذیه مصنوعی به روش احداث سد زیرزمینی

یکی دیگر از روش‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی استفاده از سدهای زیرزمینی است (Parimalarenganayaki, 2021). در تغذیه آبخوان با استفاده از احداث سدهای زیرزمینی با ایجاد یک ترانشه عرضی در بستر رودخانه تا عمق مناسب و احداث بند از جنس مصالح با نفوذپذیری کم در آن، لایه‌ای به‌صورت تقریباً غیرقابل نفوذ به وجود می‌آید. درواقع سدهای زیرزمینی مانعی هستند که در مسیر جریان آب زیرزمینی در یک‌لایه آبدار قرار داده می‌شوند و وضعیت جریان را به‌گونه‌ای تغییر می‌دهند که سبب ذخیره آب زیرزمینی شوند. بدنه اصلی آن‌ها را پرده یا دیواره نفوذناپذیر تشکیل می‌دهد (طیاری و شمسایی، ۱۳۸۵). هدف از احداث چنین بندهایی جلوگیری از خروج سریع آب از بستر رودخانه‌های فصلی و موقتی و دادن فرصت کافی برای نفوذ بیش‌تر آب به آبخوان می‌باشد. از مزایای این روش کاهش تبخیر از سطح آزاد آب، عدم رسوب‌گذاری مواد ریزدانه و کور شدگی آبخوان، کاهش آلودگی آب و امکان بهره‌برداری از آب به‌صورت مستقیم در پایین‌دست و یا حفر چاه موقتی در آن، نبود خسارت مخزن، پایداری بالای سازه، عدم وجود تهدید برای ساکنین و ابنیه پایین‌دست سد می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۹۳؛ لاله زاری و طباطبایی، ۱۳۹۲؛ Qian et al., 2006).

علی‌رغم اینکه مطالعات نسبتاً مناسبی بر روی سدهای تغذیه‌ای انجام‌شده است (Hashemi et al., 2013؛ Dong et al., 2014) مطالعات نسبتاً اندکی در مورد سدهای زیرزمینی به‌عنوان یک روش تغذیه مصنوعی انجام‌شده است.

بررسی مکان‌یابی سد زیرزمینی، نقش آن بر منابع آب زیرزمینی، و کارایی آن ازجمله موضوعات موردتوجه پژوهشگران مدیریت منابع آب است. احداث سدهای زیرزمینی به‌خصوص در مناطق با بحران آب یک راهکار بسیار مؤثر در زمینه مدیریت منابع آب زیرزمینی به‌حساب می‌آید و به‌عنوان روشی نوین در بهره‌برداری از منابع آبی مدنظر است. سدهای زیرزمینی نیاز به ذخیره سطحی ندارند و تغییر کاربری اراضی و اکوسیستم را سبب نمی‌شوند (رضایی و همکاران، ۱۳۹۹). درنتیجه، احداث سد زیرزمینی در مناطقی که پتانسیل اجرای آن وجود دارد حائز اهمیت بالایی

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

است. عوامل متعددی ازجمله دبی، ارتفاع سد، سطح ایستابی اولیه، هدایت هیدرولیکی، ضخامت سد، و شیب کف لایه آبدار، می‌توانند بر ارتفاع آب سد زیرزمینی تأثیرگذار باشند (طیاری و شمسایی، ۱۳۸۵).

در دهه‌های اخیر، ذخیره زیرسطحی از طریق مخازن زیرسطحی مصنوعی به‌عنوان یک استراتژی بسیار مؤثر برای افزایش ذخیره آب در نظر گرفته‌شده‌اند (Hanson & Nilsson, 2010؛ Nishigaki et al., 2004). مخزن زیرسطحی مصنوعی درواقع یک سیستم تنظیم، تأمین، و ذخیره آب است که از آبخوان طبیعی به‌عنوان یک فضای ذخیره آب استفاده می‌کند (Sun et al., 2019). یک مخزن زیرسطحی مصنوعی شامل تأسیسات تغذیه مصنوعی، یک سد زیرسطحی، و تأسیسات استخراج آب زیرزمینی است (Du et al., 2007؛ Li, 2007). آب سطحی مازاد از طریق تغذیه مصنوعی وارد آبخوان می‌شود و سپس به دلیل وجود سد زیرسطحی جریان آب زیرزمینی آن متوقف می‌شود تا ذخیره آب زیرزمینی برای استفاده‌های بعدی افزایش یابد. یک مخزن زیرسطحی مصنوعی مزیت‌های عدم هدر رفت آب به دلیل تبخیر، عدم سیلتی شدن، آسیب‌پذیری کم‌تر نسبت به آلودگی، عدم خطر شکست سد، عدم غوطه‌ور شدن زمین، و استقرار مجدد را نسبت به سدهای سطحی دارند (Liu et al., 2001؛ NWP, 2007؛ Apaydin, 2009؛ Eslamian, 2014؛ Goldsmith & Hildyard, 1984). علیرغم اینکه در بیش‌تر مطالعات بر جنبه‌های مثبت مخازن زیرسطحی مصنوعی اشاره‌شده است (Du et al., 2002؛ Kaleris and Ziogas, 2013؛ Li et al., 2006؛ Abarca et al., 2006 ؛ Sun (Sugio et al.,1987؛ Yilmaz, 2003؛Deng, 2010 و همکاران جنبه‌های منفی این سدها را در نظر گرفتند و بیان کردند برهم زدن الگوی جریان آب زیرزمینی، قطع جریان آب زیرزمینی به پایین‌دست آبخوان، و تجمع نیترات در آب ذخیره‌شده در پشت سد زیرسطحی ازجمله مسائل مربوط به مخزن زیرسطحی وانگ (Wanghe) در چین هستند.

تغذیه مصنوعی به روش مجازی

در تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به روش مجازی هیچ‌گونه تأسیسات و سازه‌ای به‌عنوان طرح تغذیه مصنوعی اجرا نمی‌شود بلکه در چارچوب طرح‌های تعادل‌بخشی آبخوان‌ها و با استفاده از راهکارهای مدیریتی، حجم برداشت از آبخوان کاهش می‌یابد. خرید چاه از مالکین و انسداد چاه‌های در حال بهره‌برداری ازجمله فعالیت‌هایی هستند که می‌توان به‌عنوان تغذیه مصنوعی به روش مجازی در نظر گرفت. روش مجازی ضمن تعادل‌بخشی آبخوان، هزینه‌های مطالعه و اجرای طرح تغذیه مصنوعی و نگه‌داری آن را نیز در برندارد (Ringleb et al., 2016 ؛ وزارت نیرو، ۱۳۹۳).

مروری بر مطالعات انجام‌شده تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی

تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به شکل امروزی از اوایل قرن ۱۹ میلادی در اروپا معمول بود و ابتدا در اسکاتلند، فرانسه و سپس در انگلستان، آلمان، سوئد و هلند به کار گرفته شد. در خارج از قاره اروپا نیز کشورهایی مانند فلسطین و ایالات‌متحده آمریکا، ازجمله کشورهای پیشگام در انجام تغذیه مصنوعی می‌باشند. اولین طرح‌های تغذیه مصنوعی در ایران به شکل متداول امروزی از سال ۱۳۴۹ با انجام مطالعات طرح تغذیه مصنوعی در دشت ورامین آغاز شد و متعاقب آن مطالعات مربوط به طرح‌های تغذیه مصنوعی دشت قزوین، گرمسار، تبریز، گرگان و جهرم انجام گرفت. در ادامه، به مطالعات انجام‌شده در این خصوص، با تأکید بر مطالعات داخل کشور، پرداخته می‌شود.

بررسی طرح‌های تغذیه مصنوعی انجام‌شده در داخل کشور

موسوی و همکاران (۱۳۷۷) در بررسی صحرائی و آزمایشگاهی تغییرات سرعت نفوذ آب در خاک در اثر مواد معلق موجود در آب در طرح‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی رامشه و کهرویه در استان اصفهان، با در نظر گرفتن غلظت و دانه‌بندی مواد معلق نشان دادند تنها در طی پنج ماه اول بهره‌برداری سرعت نفوذ آب از دو متر به نیم متر برای طرح رامشه و از ۱/۵ متر به حدود یک متر برای طرح کهرویه کاهش‌یافته است. هم‌چنین این مطالعه نشان داد علی‌رغم اینکه غلظت مواد معلق موجود در آب تأثیر زیادی در بروز پدیده انسداد و درنتیجه کاهش سرعت نفوذ دارد، دانه‌بندی مواد معلق تأثیر چندانی روی پدیده انسداد ندارد. مطالعات انجام‌شده توسط آب منطقه‌ای اصفهان حاکی از اثربخش بودن این طرح بر وضعیت آبخوان (به لحاظ کمی و کیفی)، محیط‌زیست (ایجاد زیستگاه جانوری جدید) و نیز تغذیه مناطق پایین‌دست می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۹۰).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

عرب‌خدری و حکیم‌خانی (۱۳۸۲) در پژوهشی به تأثیر و نقش بندسارها در سیل‌گیری و تغذیه آبخوان و بالطبع آبدهی قنوات در استان خراسان پرداختند. نتیجه تحقیق آن‌ها نشان داد که بندسارها به‌عنوان کشتزارهای سیلابی علاوه بر تولید محصولات زراعی، در تغذیه آبخوان‌ها و جلوگیری از فرسایش مؤثر بوده و در این روش مشکلاتی مانند کاهش نفوذپذیری و کور شدن حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در اثر رسوب‌گذاری گزارش نشده است.

تابش و جواهری (۱۳۸۲) اثر غلظت مواد معلق در آب، جنس پوشش سطح خاک حوضچه و عمق لایروبی بعد از رسوب‌گذاری را در میزان نفوذپذیری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی بررسی کردند. در این مطالعه، چهار غلظت متفاوت مواد معلق در آب و سه نوع مختلف پوشش خاک در ۱۶ حوضچه شامل رسوبات آبرفتی اطراف رودخانه کن، واقع در شمال باختر تهران، مورد آزمایش نفوذ قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، فیلتر شن دانه‌بندی‌شده در مرحله آبگیری حوضچه‌ها کم‌ترین افت نفوذ را نشان داد. آزمایش نفوذ بر روی لایه رسوبی نشان داد استفاده از فیلتر شن دانه‌بندی‌شده و ضایعات پنبه باعث تراوش بیش‌تر آب می‌شود. هم‌چنین پوشش کمپوست (کود آلی بازیافتی) بهترین نتیجه را در احیاء نفوذپذیری خاک پس از لایروبی داشت.

تأثیر گسترش سیلاب بر تغذیه آبخوان دشت سهرین-قره‌چریان زنجان توسط بیات موحد و همکاران (۱۳۸۴) نشان داد با توجه به درشت‌دانه بودن رسوبات آبرفتی، دشت زنجان پتانسیل مناسبی جهت طرح تغذیه مصنوعی دارد. در این مطالعه تأثیر حجم سیلاب پخش‌شده بر تغییرات دبی یک‌رشته قنات واقع در عرصه پخش بررسی و با قنات شاهد مقایسه شد. نتایج بیانگر تأثیر قابل‌توجه پخش سیلاب بر قنات عرصه پخش بود. به‌علاوه، تأثیر پخش سیلاب بر تغییرات سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای موجود در حریم و پایین‌دست عرصه پخش نشان داد سطح آب‌های زیرزمینی مربوط به آن‌ها چندان تحت تأثیر خشکسالی قرار نگرفته است. این در حالی است که در چاه‌های مشاهده‌ای افت سطح آب زیرزمینی مشاهده گردید. علاوه بر آن آب منطقه‌ای زنجان تأثیر طرح را بر کمیت و کیفیت آبخوان و نیز ایجاد زیستگاه جدید جانوری اثربخش و مثبت اعلام نمود (وزارت نیرو، ۱۳۹۰).

ارزیابی تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی دشت موسیان، واقع در استان ایلام، و نیز پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی در دشت مذکور طی سال‌های آتی، توسط فضل اولی و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از مدل عددی سه‌بعدی آب زیرزمینی MODFLOW انجام گردید. شبیه‌سازی آبخوان موسیان تا سال ۱۴۰۰ نشان داد باوجود انجام عملیات پخش سیلاب طی سال‌های آتی، آبخوان همچنان با افت سطح ایستابی مواجه خواهد بود. هم‌چنین آنالیز حساسیت مدل نشان داد عامل تغذیه، مؤثرترین عامل در نوسانات سطح ایستابی در دشت موردمطالعه است.

در تحقیقی دیگر تأثیر تغذیه مصنوعی بر آبخوان دشت آبدان بوشهر توسط کلانتری و رحمانی (۱۳۷۸) بررسی و سطح آب زیرزمینی و غلظت عناصر اصلی در قبل و بعد از آبگیری حوضچه‌های تغذیه اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری سطح ایستابی بعد از انجام عملیات تغذیه آبخوان، افزایش غیریکنواخت سطح آب را در منطقه نشان داد و تفاوت ارتفاع سطح ایستابی قبل و بعد از آبگیری حوضچه‌های تغذیه نزدیک به دو متر اندازه‌گیری شد. نتایج اندازه‌گیری غلظت عناصر نشان داد تغذیه مصنوعی برخلاف انتظار به‌طور غیرمستقیم موجب افزایش غلظت عناصر آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه شده است . بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد مطالعات پایه این طرح با دقت انجام‌نشده است و به علت وجود رسوبات تبخیری حاصل از گنبدهای نمکی منطقه جاشک و انحلال نمک در مسیر جریان تغذیه در زیر آبرفت، املاح آب زیرزمینی افزایش‌یافته است و درنهایت، نفوذپذیری خاک در اثر رسوب در جریان سیلاب‌های رودخانه کاهش‌یافته و مشکلات زیادی را برای منطقه به وجود آورده است. بااین‌حال اجرای طرح باعث افزایش پوشش گیاهی گردیده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۰).

در تحقیق بنی حبیب و همکاران (۱۳۸۹) راندمان سامانه‌های تغذیه مصنوعی رودخانه امام‌زاده عبدالله سمنان با در نظر گرفتن جریان سیلابی رودخانه‌های فصلی و با استفاده از آب نگارهای سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف و نیز مدل HEC-RAS ارزیابی گردید. نتایج بیانگر بازدهی مناسب حوضچه‌های تغذیه در تغذیه مصنوعی آبخوان می‌باشد، به‌طوری‌که می‌تواند حدود ۸۱ درصد سیلاب‌های مازاد را برای تغذیه مصنوعی استفاده نماید.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

در تحقیقی دیگر اثرات اجرای تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان دشت گوهر کوه واقع در جنوب باختر زاهدان، با استفاده از مدل ریاضی جهت شبیه‌سازی نوسانات آب در آینده توسط رضایی و سرگزی (۱۳۸۹) بررسی شد. نتایج نشان داد بهترین محل برای اعمال تغذیه مصنوعی بخش‌های شمالی آبخوان است، و واکنش آبخوان به تغذیه مصنوعی مثبت پیش‌بینی شد (رضایی و همکاران،۱۳۹۹). همچنین بررسی‌های انجام‌شده توسط آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، تأثیر طرح را بر کمیت و کیفیت آبخوان و نیز تأثیر بر گونه‌های جانوری مثبت اعلام کرد (ناظم سادات و بارانی، ۱۳۹۴).

طائی سمیرمی و همکاران (۱۳۹۱) اثرات تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی بر توزیع زمانی و مکانی خشکسالی-های هیدروژئولوژیک دشت گربایگان واقع در استان فارس را با استفاده از شاخص حالت پیزومتریک مورد تحلیل قراردادند. نتایج مطالعه نشان داد سامانه پخش سیلاب در کاهش افت ناشی از خشکسالی‌ها تنها در سال‌های اولیه مؤثر بوده است و در سال‌های بعد گستره واقع در پایین‌دست پروژه پخش سیلاب به‌تدریج متحمل خشکسالی‌های هیدروژئولوژیکی شدیدی شده است.

چوپانی و حسین‌پور (۱۳۹۳) به مطالعه چاه‌های نزو به‌عنوان سیستم سنتی تغذیه آب‌های زیرزمینی در استان هرمزگان پرداختند. چاه‌های نزو در حقیقت بخشی از سیستم مدیریت سیلاب هستند که به‌صورت مجموعه‌ای از بندها، تیر بندها، سازه‌های کنترل فرسایش و چاه‌های تغذیه‌ای، سرریز اصلی یا عل، کانال آب‌رسان، سرریز تقسیم آب و دریچه‌های کنترل می‌باشند و قدمت این سازه‌ها در استان هرمزگان بیش از صدها سال است. این مطالعه ضمن معرفی کامل چاه‌های نزو، نشان می‌دهد که استفاده از الگوهای بومی و تلفیق آن بادانش امروزی می‌تواند در حفظ منابع آب ساکنان مناطق کم آب مؤثر باشد.

در طرحی دیگر، جلیلی و همکاران (۱۳۹۳) از کانال‌های زهکشی موجود به‌منظور تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی دشت سراب نیلوفر استان کرمانشاه استفاده کردند. تخلیه و افت سطح آب زیرزمینی آبخوان در دو دهه اخیر باعث شد از زهکش‌های بدون استفاده، این بار برای تغذیه مصنوعی استفاده شود. درواقع، هدف از طرح استفاده از حجم آب خروجی چشمه نیلوفر در طی چهار ماه فصل غیر آبیاری جهت کاهش نرخ افت سطح آبخوان بود. نتایج پژوهش نشان داد حدود ۶۵ درصد از کانال‌های زهکشی موجود در منطقه پتانسیل تغذیه دارند.

بررسی اثرات احداث سد مجن بر آبخوان‌های پایین‌دست دشت بسطام توسط هدایت‌پور و نیکنام (۱۳۹۴) نشان داد حجم تغذیه آبخوان دشت مجن از رودخانه داستان در شرایط قبل و بعد از تغذیه مصنوعی به ترتیب ۱/۰۷۶ و ۱/۱۳۱ میلیون مترمکعب می‌باشد و علت افزایش تغذیه، تنظیم آب در محل سد است که به‌تدریج آبخوان را تغذیه می‌کند.

تأثیر پروژه تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در دشت آبرفتی سفیددشت-فرادنبه، استان چهارمحال و بختیاری با روش تغذیه از رودخانه، باضخامت رسوبات حدود ۲۵ تا ۱۱۰ متر با در نظر گرفتن سناریوهای مدیریتی مختلف با استفاده از مدل آب زیرزمینی MODFLOW توسط علیمحمدی (۱۳۹۴) مطالعه شد. نتایج نشان داد با در نظر گرفتن شرایط نرمال، زمان اجرای طرح برای دوره میان‌مدت (۱۵ ساله) و بلندمدت (۳۰ ساله) به ترتیب حدود ۱۰/۷۵ و ۱۹/۵ متر سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های میانی دشت افزایش می‌یابد. آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری تأثیر این طرح را بر کیفیت آب آبخوان مطالعه و تأثیر آن را مثبت اعلام نمود درحالی‌که اثر این طرح روی محیط‌زیست فاقد تغییرات چشمگیر ارزیابی‌شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۰).

ارفع و همکاران (۱۳۹۵) عملکرد حوضچه‌های تغذیه آبخوان دشت شاندیز جهت تغذیه مصنوعی آب‌های حاصل از سیلاب را با اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی پیزومترها در شرایط قبل و بعد از چندین سیلاب بررسی کردند. جنس رسوبات در محل حوضچه‌ها لوم ماسه‌ای (Sandy loam) بود و هدایت هیدرولیکی نیز حدود هشت متر در روز محاسبه شد. نتایج تحقیق نشان داد این حوضچه‌ها نقش مؤثری در کنترل سیلاب و تغذیه آب‌های زیرزمینی دشت مذکور دارند. درواقع، این حوضچه‌ها حدود ۷۴ درصد حجم آب سیلاب را به آبخوان منتقل می‌کنند که این رقم بیانگر توانایی بالای حوضچه‌های مذکور و موفقیت بالای روش مورداستفاده است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

ارزیابی طرح‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در استان اصفهان توسط بصیرپور و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد علی‌رغم اینکه طرح‌های اجراشده ازنظر اجرا و عملکرد وضعیت نسبتاً مناسبی دارند و ازنظر مکان‌یابی نیز در مکان‌های مناسبی احداث‌شده‌اند، در مورد نحوه نگهداری و بهره‌برداری از آن‌ها تمهیدات لازم در نظر گرفته نشده است.

اثرات زیست‌محیطی طرح‌های تغذیه مصنوعی با استفاده از چهار حوضچه تغذیه در دشت لاور در استان بوشهر با استفاده از روش ماتریس ICOLD و با در نظر گرفتن اثرات فیزیکی، بیولوژیکی، و اجتماعی-فرهنگی طرح، توسط عطایی و قاسمی (۱۳۹۶) ارزیابی شد. نتایج نشان داد پیامدهای واردشده طرح بر کل محیط‌زیست مثبت (با امتیاز مثبت ۹۴) بوده است.

در مطالعه‌ای دیگر، کاردان‌مقدم و همکاران (۱۳۹۶) اثر تغذیه مصنوعی را بر تعادل‌بخشی آبخوان شوراب سیوجان واقع در محدوده مطالعاتی بیرجند با استفاده از شاخص‌های پایداری، یعنی اعتمادپذیری، آسیب‌پذیری و مطلوبیت، با تکیه بر برنامه احیا و تعادل بخشی آبخوان ارزیابی کردند. در این تحقیق شبیه‌سازی با استفاده از مدل آب زیرزمینی MODFLOW تا افق ۱۴۰۴ و در شرایط نرمال اقلیمی با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف برداشت آب انجام گرفت. نتایج نشان داد اجرای طرح تغذیه مصنوعی توانسته است بین ۲۱ تا ۲۵ درصد مقدار شاخص پایداری سیستم را افزایش دهد.

در تحقیق دیگر تأثیر شبکه پخش سیلاب، با مساحت حدود ۸۴۰ هکتار، در منطقه سرچاهان استان هرمزگان بر تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از راهکار حجم کنترلی توسط مصطفائی و همکاران (۱۳۹۶) بررسی شد. در این تحقیق، پس از بررسی آب‌نمود چاه‌ها، آب نگار بارش و حجم سیلاب‌های واردشده به سیستم، تأثیر پخش سیلاب در تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با اندازه‌گیری تراز آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای ارزیابی شد. نتایج بیانگر افزایش تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای موجود بعد از سیل گیری‌های اولیه بود. به‌علاوه، تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده کنترل با روند تغذیه- برداشت منطبق است، و بارش‌های بیش از ۶۰ میلی‌متر یا بارش‌های متوالی با مقادیر زیاد می‌توانند در دشت گهکم-سعادت‌آباد به تغذیه در عرصه پخش سیلاب منجر شوند. بااین‌وجود، پروژه پخش سیلاب سرچاهان نتوانسته است در تغذیه آب‌های زیرزمینی نقش چندان مؤثری داشته باشد.

دهقانی و همکاران (۱۳۹۷) چارچوبی را جهت ارزیابی عملکرد سامانه تغذیه مصنوعی در تغذیه آبخوان و مدیریت سیلاب بر مبنای چند شاخص کمی، ازجمله راندمان تغذیه و نرخ تسکین سیلاب، ارائه دادند. با استفاده از میانگین شاخص‌های موردنظر مشخص شد طرح تغذیه مصنوعی امام‌زاده عبدالله سرخه در برخورد با رخدادهایی با فراوانی وقوع بیش از ۲۰ درصد عملکرد مناسبی دارد.

فاضل پور عقدایی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی تأثیر پخش سیلاب میانکوه مهریز استان یزد را بر آبدهی قنات-های پایین‌دست بررسی کردند. برای این منظور آمار دبی قنات‌ها از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲ جمع‌آوری و شاخص دبی استانداردشده محاسبه گردید. هم‌چنین میزان حجم سیلاب ورودی به آبخوان و آمار بارندگی منطقه جهت محاسبه شاخص بارش استانداردشده در نظر گرفته شد. در این مطالعه، تأثیر پروژه حدود ۲۸ درصد زیاد، ۲۹ درصد متوسط، و ۴۳ درصد خیلی کم ارزیابی شد.

مسلمی و همکاران (۱۳۹۷) با تهیه نقشه‌های هم هدایت الکتریکی با استفاده از نرم‌افزار Surfer، تأثیر پخش سیلاب بر شوری آب زیرزمینی را برای آبخوان دهندر، هشتبندی (استان هرمزگان)، بررسی کردند. نتایج بیانگر کاهش هدایت الکتریکی چاه‌های مجاور طرح تغذیه مصنوعی بعد از پخش سیلاب نسبت به قبل از پخش سیلاب هستند. این در حالی است که در چاه‌های دورتر از محل اجرای طرح، هدایت الکتریکی نه‌تنها کاهش نیافته بلکه در مواردی تا حدودی نیز افزایش‌یافته است.

در تحقیقی توسط فاریابی (۱۳۹۸) از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب زیرزمینی جهت ارزیابی اثربخشی پروژه-های تغذیه مصنوعی در حوضچه تغذیه آردو، برازجان، استفاده شد. نتایج نشان داد الگوی تغذیه در اطراف حوضچه تغذیه نامتقارن و از سمت حوضچه به‌طرف شمال‌باختر گسترده است. ازنظر زمانی نیز بیش‌ترین تغذیه مربوط به ماه‌های

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

بهمن و اسفند تشخیص داده شد. درنهایت، نقش حوضچه تغذیه در تغذیه آب زیرزمینی حدود ۵۰ درصد تخمین زده شد.

مسلمی و همکاران (۱۳۹۸) اثر طرح سد خاکی بر سطح آب زیرزمینی دشت لاور فین را با استفاده از روش‌های میدانی و آماری بررسی کردند. در این تحقیق از داده‌های ارتفاع سطح آب زیرزمینی، سطح ایستابی در چاه‌های پیزومتری دشت و میزان بارش منطقه برای دوره آماری ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۴ استفاده شد. نتایج نشان داد با توجه به خشکسالی‌های اخیر و افزایش میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی، احداث سد خاکی لاور بر تراز آب آبخوان تأثیر مثبت داشته است. بااین‌وجود، تمام افت آب زیرزمینی ناشی از برداشت‌ها جبران نشده است.

در طرحی اجرایی، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی گستره گرگ‌دره، واقع در شاهرود، با احداث شش حوضچه تغذیه در یک میدان وسیع در امتداد مخروط‌افکنه رودخانه گرگ‌دره انجام شد. تغذیه مصنوعی به مدت یک سال انجام شد، و در سال بعد در اثر مشکلات به وجود آمده متوقف شد. عدم موفقیت این طرح مربوط به مطالعات زمین‌شناسی منطقه است. وجود شیل‌های ژوراسیک بالادست، در ارتفاعات شمال منطقه، و استخراج زغال‌سنگ از این رسوبات و عدم توجه به محل تخلیه آن، موجب شده است حجم زیادی از رسوبات ریزدانه یا باطله معدن در مسیر رودخانه رها و بعد از طی مسیر طولانی توسط سیلاب‌ها مستقیماً وارد حوضچه‌های تغذیه مصنوعی شود. به همین ترتیب، در اثر پر شدن بستر حوضچه تغذیه از رسوبات ریزدانه و عدم برداشت رسوب در سال‌های بعد، نفوذپذیری محل تغذیه در خصوص طرح تغذیه مصنوعی بلوبند در منطقه بندرعباس و آب گرم فسا کاهش‌یافته است و طرح‌های مزبور غیرقابل استفاده‌شده‌اند.

طرح تغذیه مصنوعی منطقه آبدان بوشهر باهدف جلوگیری از کاهش حجم مخزن آبخوان منطقه و با استفاده از حوضچه‌های تغذیه مصنوعی انجام‌شده است. در مطالعات پایه این طرح به زمین‌شناسی منطقه توجه نشده و رسوبات تبخیری (گنبدهای نمکی) موجود در لایه‌های زیرین آبرفت موجب گردیده که آب نفوذ یافته با املاح شور کننده برخورد و در اثر انحلال، اثرات نامطلوبی در کیفیت آبخوان به وجود آورده است (گزارش ارزیابی پروژه تغذیه مصنوعی جاشک، ۱۳۷۷).

رضایی و پشگائی (۱۳۹۶) اثر احداث آب‌بندان (Water reservoir) را بر تراز آب زیرزمینی در حوزه آبریز گرگان‌رود در استان گلستان با در نظر گرفتن چاه‌های مشاهده‌ای مجاوری که ارتفاع تراز آب زیرزمینی در آن‌ها پایین‌تر از تراز آب در آب‌بندان بود بررسی کردند. آب‌بندان‌ها اثر مثبت خود را برافزایش تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای به‌وضوح نشان دادند. درواقع، آب‌بندان‌ها تا فاصله حدود ۸/۳ کیلومتر بر تراز آب زیرزمینی اثر مثبت داشتند که باعث بالا آمدن تراز آب زیرزمینی تا حدود ۱۸۴ سانتی‌متر در سال شدند.

Mohammadzadeh- Habili و Khalili (2020) سدهای تغذیه مصنوعی میمند و تنگ‌ریز در جنوب ایران، و بهبود ظرفیت تغذیه آب زیرزمینی آن‌ها را بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند ایجاد سدهای تغذیه‌ای در عرض بسترهای آبرفتی با نفوذپذیری بالای رودخانه‌ها تکنیکی مهم برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی است. بیش از ۹۰ درصد ظرفیت سد تغذیه تنگ‌ریز به‌طور مصنوعی با گودبرداری دو گودال جانبی عمودی در پشت سد ایجادشده است. در خلال سنگین‌ترین وقایع بارش نسبت حجم رواناب ورودی به ظرفیت مخزن برای سدهای میمند و تنگ‌ریز به ترتیب برابر با ۱/۴۳ و ۱۶/۵۹ بوده است. درواقع، درحالی‌که سد میمند در طی این وقایع سرریز داشته است، سد تنگ‌ریز رواناب گودال‌ها را با سرعت‌بالا به داخل زمین نفوذ داده است. آن‌ها با شبیه‌سازی نفوذ بالای مشاهده‌شده در سد تنگ‌ریز با استفاده از مدل‌سازی عددی و مشاهدات صحرایی و آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند که تراوش عمودی سدهای تغذیه‌ای اساساً با رسوب‌گذاری یک لایه سیلتی با نفوذپذیری کم بر روی کف مخزن کنترل می‌شود. بااین‌وجود، به دلیل رسوب‌گذاری ناچیز، تراوش افقی از طریق گودال‌های جانبی عمودی تحت تأثیر سیلتی شدن قرار نمی‌گیرد. درنتیجه، می‌توان با گودبرداری گودال‌های جانبی عمودی درون مخزن سدهای تغذیه، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی را افزایش داد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

تطابق مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی با مخروط‌افکنه‌ها در منطقه گتوند با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی توسط اصغری‌پور و همکاران (۱۳۹۳) مطالعه شد. در این تحقیق، مخروط‌افکنه‌ها به‌عنوان مناطق با تخلخل زیاد از جنبه تشکیل و تغذیه طبیعی آبخوان‌ها بیان شدند. نتایج مطالعه نشان دادند مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با سطح مخروط‌افکنه‌ها به میزان ۵۸ درصد، با سطح دشت به میزان ۲۲ درصد، و با سطح پدیمنتی به میزان ۱۳ درصد هم‌پوشانی دارند.

در مطالعه‌ای دیگر مناطق مستعد تغذیه مصنوعی در حوضه رومشگان استان لرستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی توسط انتظاری و غلامی (۱۳۹۳) بررسی گردید. نتایج تحقیق نشان داد بخش‌های باختری و خاوری آبخوان به دلیل مساعد بودن شرایط، ازجمله سنگ‌شناسی (آهک و کنگلومرا)، شیب کم و بارش، مناطق مستعدی جهت تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی هستند.

لاله‌زاری و همکاران (۱۳۹۳) با در نظر گرفتن فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه شهرکرد به‌عنوان منبع تغذیه و با مدل‌سازی جریان و انتقال آلاینده از طریق MODFLOW و MT3D فرآیند تغذیه مصنوعی را ازنظر کمی و کیفی شبیه‌سازی کردند. نتایج تحقیق نشان داد قسمت‌های میانی و جنوبی دشت که رسوبات ازنظر دانه‌بندی بافت درشت-تری دارند منطقه تغذیه مناسب‌تری خواهند بود. همچنین مطالعه نشان داد علی‌رغم افزایش سطح آب زیرزمینی، غلظت نیترات تا حدود ۱۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد.

مکان‌یابی حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در حوضه بوشکان توسط نسیمی و زارع (۱۳۹۴) با در نظر گرفتن بارش، شیب، نفوذپذیری سطحی، زمین‌شناسی، هدایت الکتریکی آبخوان، عمق سطح ایستابی، قابلیت انتقال آبخوان و کاربری زمین با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و نرم‌افزار GMS نشان داد حدود ۷۵ درصد اراضی برای تغذیه مصنوعی نامناسب و ۲۵ درصد اراضی نسبتاً مناسب، مناسب و بسیار مناسب هستند. در ضمن، در این حوضه تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در آبرفت مناسب‌تر از کارست تشخیص داده شد.

در پژوهشی دیگر، مکان‌یابی چاه‌های تغذیه جهت تغذیه مصنوعی و بهبود کیفیت آب برای آبخوان دشت بیرجند با استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب توسط حسن‌پور و خزیمه‌نژاد (۱۳۹۷) انجام شد. در این تحقیق، از سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش ANP و نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد. در این پژوهش راهکاری ارائه گردید که ضمن تغذیه مناطقی از آبخوان که کیفیت نامناسبی دارد، کیفیت آب را نیز افزایش دهد. این امر سبب می‌شود آب آبخوان برای مصرف کشاورزی مناسب شود و درنتیجه، منابع باکیفیت بالاتر را برای مصارف شرب و بهداشتی حفظ کند.

ارزیابی سناریوهای تغذیه مصنوعی به کمک پخش سیلاب، در راستای مدیریت یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت ورامین توسط دهقانی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل WEAP انجام گرفت. نتایج نشان داد درصورت تداوم وضعیت موجود، در ۲۰ سال آتی تأمین آب در بخش‌های کشاورزی و صنعت با مشکل مواجه خواهد شد. بااین‌وجود، در صورت تغذیه مصنوعی آبخوان به روش پخش سیلاب به میزان ۳۳ میلیون مترمکعب سالیانه توسط هرز آب‌های سطحی می‌توان وضع را تا حدودی بهبود بخشید. هرچند که همچنان کمبود آب در بخش‌های مربوطه پیش‌بینی می‌شود.

احمدی و همکاران (۱۳۹۹) دشت بیضا در استان فارس را جهت انتخاب بهترین نقطه احداث سد زیرزمینی موردمطالعه قراردادند. در این تحقیق در ابتدا با استفاده از شش لایه اطلاعاتی از داده‌های ماهواره لندست ۸، شامل کاربری اراضی، لیتولوژی، شیب، توپوگرافی، تراکم آبراهه‌ها و تراکم خطواره‌ها، شرایط احداث سد زیرزمینی بررسی شد. هر لایه در زیرلایه‌هایی کلاس‌بندی شد. سپس، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به هرکدام از لایه‌ها، وزن مناسب اختصاص یافت و با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار ArcMap نقشه تلفیقی نهایی به دست آمد. این نقشه بیانگر نقاط مناسب و نامناسب پهنه دشت بیضا به‌منظور احداث سد زیرزمینی بود. درنهایت، با در نظر گرفتن نقشه نهایی و وضعیت بالادست و محل اجرای محور سد، سه‌نقطه به‌منظور احداث سد زیرزمینی پیشنهاد شد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

در پژوهشی، اثر تغذیه مصنوعی به روش حفر گودال بر آبخوان بهار واقع در بخش جنوبی ایران توسط Taheri tizro و همکاران (۲۰۱۱) موردمطالعه قرار گرفت. در این پژوهش، از یک مدل سه‌بعدی جهت بررسی پاسخ آبخوان به تغذیه مصنوعی استفاده گردید. در این طرح، آب رودخانه و حدود ۲/۷ میلیون مترمکعب آب جهت تغذیه آبخوان در نظر گرفته شد. نتایج نشان دادند تأثیر شعاعی تغذیه حدود چهار متر و مساحت تحت تأثیر تغذیه حدود ۴۰ کیلومترمربع می‌باشد.

Hashemi و همکاران (۲۰۱۳) سهم سیستم پخش سیلاب و رودخانه را در تغذیه آبخوان قره‌بایگان واقع در جنوب باختر شیراز تخمین زدند. نتایج نشان داد که در یک سال نرمال بدون رخداد وقایع حدی، سیستم پخش سیلاب سهم اصلی (حدود ۸۰ درصد) را در تغذیه آبخوان دارد. درحالی‌که رودخانه فصلی فقط حدود ۲۰ درصد در تغذیه آبخوان سهم دارد.

Hashemi (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به بررسی نقش سیستم پخش سیلاب در تعادل و تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد سیستم پخش سیلاب می‌تواند از چندصدهزار مترمکعب تا ۴/۵ میلیون مترمکعب آب را به سفره آب زیرزمینی تزریق کند، و یک راهکار کارآمد برای افزایش منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد.

لاله زاری و همکاران (۱۳۹۳) امکان‌سنجی اجرای طرح تغذیه مصنوعی با استفاده از فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه شهرکرد را با استفاده از مدل MODFLOW و MT3D موردبررسی قراردادند. نتایج تحقیق نشان داد تزریق آب در این منطقه تا بیش از ۶ کیلومتر در افزایش سطح ایستابی تأثیر خواهد داشت. این مقدار تغذیه در حالی است که غلظت نیترات حدود ۱۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد .

لاله‌زاری و طباطبایی (۱۳۹۲) تأثیر احداث سد زیرزمینی را بر آبخوان شهرکرد با استفاده از نرم‌افزار PMWIN و ArcGIS بررسی کردند. نتایج نشان داد که احداث سد زیرزمینی باعث افزایش سطح آب زیرزمینی در آبخوان شده است. به‌علاوه، درحالی‌که توزیع نیترات در منطقه نسبت به حالت قبل از احداث سد زیرزمینی تغییر زیادی نداشته است، امکان بالا رفتن غلظت سایر آلاینده‌های شیمیایی به دلیل مجاورت با تصفیه‌خانه شهرکرد و چاه‌های فاضلاب خانگی محتمل پیش‌بینی شد.

شیخی‌پور و همکاران (۱۳۹۷) اثربخشی سناریوهای احیای آبخوان شهرکرد را با در نظر گرفتن شاخص‌های پایداری و بهره‌برداری منابع آب با استفاده از مدل عددی MODFLOW بررسی کردند. آبخوان شهرکرد دارای وضعیت بسیار نامناسب و بهره‌برداری بیش‌ازحد می‌باشد. در این تحقیق سناریوهای کاهش برداشت آب زیرزمینی، ساخت سد زیرزمینی و تغذیه مصنوعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد سناریوی کاهش برداشت آب زیرزمینی به میزان ۱۰ درصد بهترین سناریو برای مدیریت آبخوان است.

رضایی و همکاران (۱۳۹۹) احداث سد زیرزمینی را بر روی آبخوان ایوانکی با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف مدیریتی و نرم‌افزار FEFLOW بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد در صورت کاهش ۲۰ درصدی بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی همراه با احداث سد زیرزمینی می‌توان نه‌تنها از افت سطح آب زیرزمینی جلوگیری کرد بلکه باعث افزایش آن شد.

Karamouz و همکاران (۲۰۲۱) یک روش تحقیق برای ارزیابی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی را در زیر حوضه قروه دهگلان در استان کردستان توسعه دادند. این روش شامل انتخاب مکان تغذیه مصنوعی، استفاده از ابزار کریجینگ، مدل‌های عددی و داده‌های طولانی‌مدت عرضه و تقاضا می‌باشد. در این راستا، نقشه‌های تغییرات مکانی پارامترهای تأثیرگذار با استفاده از تکنیک کرجینگ و روش منطق فازی و نیز توابع تحلیلی GIS برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی تهیه شدند. پس‌ازآن جهت تخمین چگونگی تغییر تعادل آب منطقه به‌وسیله تغذیه مصنوعی آبخوان، مدل هیدرولوژیکی SWAT با یک مدل دوبعدی تفاضل محدود آب زیرزمینی لینک گردید. بر اساس نتایج مدل SWAT مقدار نفوذ از ۱۰۱ میلی‌متر به ۱۴۶ میلی‌متر تغییریافته است. همچنین برای ارزیابی پایداری منابع آب از شاخص PSUI (Planning for Sustainable Index) برای تأثیر تغذیه مصنوعی استفاده گردید. این شاخص در طی

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

دوره ۲۷ ساله بدون تغییر در برداشت آب، از ۰,۱۱ به ۰,۱۷ افزایش‌یافته است. نتایج تحقیق نشان داد که با به‌کارگیری تغذیه مصنوعی نرخ کاهش تراز آب زیرزمینی به‌طورجدی کاهش‌یافته است. اگرچه جهت جلوگیری از تخلیه آب‌های زیرزمینی، تغذیه مصنوعی باید به همراه کاهش ۵۰ درصدی برداشت‌ها صورت پذیرد.

بررسی طرح‌های تغذیه مصنوعی انجام‌شده در خارج از کشور

در منطقه اوکلاهاماسیتی امریکا طرح تغذیه مصنوعی(۱۹۹۶-۱۹۹۴) به روش چاه‌های تغذیه‌ای باهدف افزایش ذخیره مخزن انجام شد. نتیجه تحقیق افزایش کیفیت آب آبخوان به دلیل کاهش املاح را نشان داد (Osborn et al.,1997).

طرح دیگر تغذیه مصنوعی آبخوان در منطقه اورلاندو کشور امریکا به روش پخش سیلاب باهدف افزایش ذخیره مخزن انجام و به دلیل استفاده از رسوبات دانه‌درشت و مدیریت صحیح بهره‌برداری نتیجه طرح بسیار اثربخش ارزیابی گردید (National Academy Press Washington, 1994).

تغذیه مصنوعی منطقه لانگ ایلند- نیویورک به روش پخش سیلاب در سطوح آبگیر باهدف کاهش افت تراز آبخوان و کنترل سیلاب و جلوگیری از پیشروی آب‌شور انجام گردید و طرح مذکور موفق ارزیابی شد.

تغذیه مصنوعی منطقه دورتموند آلمان (۱۹۳۵) به روش پخش سیلاب (حوضچه‌های نفوذ) باهدف افزایش ذخیره مخزن و بهبود کیفیت آب انجام گردید. ارزیابی طرح نشان از ناموفق بودن طرح به دلیل انسداد مجاری نفوذ آب به مخزن به دلیل استفاده از آب‌های گل‌آلود رودخانه را دارد.

طرح تغذیه مصنوعی اجراشده در منطقه دونزر- موندراگون در کشور فرانسه (۱۹۵۲) با روش گودال‌های نفوذ و باهدف افزایش سطح آب در آبخوان به دلیل وجود رسوبات ریزدانه و کاهش نفوذ ناموفق ارزیابی شد.

عملیات تغذیه مصنوعی منطقه ایوا در کشور امریکا (۱۹۱۴) با روش حوضچه نفوذ و باهدف افزایش ذخیره مخزن و پالایش طبیعی آب به دلیل جمع‌آوری رسوبات کف حوضچه‌های نفوذ در پایان هرسال، موفق ارزیابی‌شده است (ناظم سادات و بارانی، ۱۳۹۴).

عملیات تغذیه مصنوعی منطقه ایوان پی در کشور فرانسه با روش حوضچه نفوذ و باهدف افزایش آبدهی چاه‌ها با عدم موفقیت مواجه گردید. دلیل این موضوع کورشدگی منافذ خاک به دلیل تجمع جلبک در مسیر نفوذ تشخیص داده‌شده است.

پروژه عملیاتی تغذیه مصنوعی منطقه مهسانا-قوجارات (۱۹۸۳) در کشور هندوستان به روش چاه تغذیه و نیز پخش سیلاب باهدف پیشگیری از نفوذ آب‌شور موفق ارزیابی گردید.

طرح تغذیه مصنوعی منطقه کوایمباکور – تامیل نادو (۱۹۸۸-۱۹۸۹) در کشور هندوستان به روش چاله نفوذ به دلیل کمبود بارش و سایر منابع آب و نیز محل نامناسب چاله‌ها موفق ارزیابی نگردید (Guide on artificial recharge to ground water,2000).

SHi و همکاران (۲۰۱۶) از چاه تزریق جهت تغذیه مصنوعی آبخوان شانگهای در چین استفاده کردند. نتایج تحقیق با استفاده از بررسی داده‌های ثبت‌شده نشان داد تغذیه مصنوعی نه‌تنها برای بالا آمدن تراز آب زیرزمینی اثربخش است، بلکه باعث بهبود کیفیت آب زیرزمینی و نمک‌زدایی شده است.

در مطالعه دیگر تأثیر تغذیه مصنوعی چاه‌های تغذیه در شهر کربلا واقع در جنوب عراق توسط Ibtisam و همکاران (۲۰۱۷) شبیه‌سازی شد. در این تحقیق از رودخانه‌های الرشیدیا و رزازا به‌عنوان منبع تغذیه استفاده شد. همچنین از مدل GMS برای شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی جهت بررسی تأثیر طرح مذکور استفاده شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد در صورت عدم تغذیه آبخوان، بعد از یک سال بهره‌برداری از ۷۵ چاه بهره‌برداری، متوسط کاهش سطح آب زیرزمینی در حدود ده متر خواهد بود. در گام بعد مدل‌سازی آبخوان با در نظر گرفتن ۳۰ حلقه چاه تغذیه صورت پذیرفت. نتایج مدل‌سازی افزایش ۲۰ متری سطح آب زیرزمینی را بعد از یک سال بهره‌برداری با نرخ ۱۰۰۰ مترمکعب بر روز از هر چاه نشان داد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

Sun و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر احداث سد زیرزمینی وانگ در چین را بر میزان جریان آب زیرزمینی و کیفیت آن موردبررسی قراردادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که احداث این سد علاوه بر بهبود جریان آب زیرزمینی، باعث بهبود منابع آب ازنظر کیفیت و جذب مواد معدنی نیز شده است.

Jarraya و همکاران (۲۰۲۰a) در مطالعه‌ای دریافتند تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به‌وسیله فاضلاب تصفیه‌شده در کشور تونس به‌عنوان یک‌راه حل فنی مناسب جهت مواجه با بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌ها و نیز پیش روی آب‌شور دریاها در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق اثرات تغذیه مصنوعی به روش استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در طول بازه زمانی ۶ ساله در محل Korba-El Mida موردتحقیق قرارگرفته شده است. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد تغذیه مصنوعی اثری بر سطح آب زیرزمینی نداشته است. درحالی‌که کیفیت آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه به‌طورجدی بهبودیافته و با کاهش شوری مواجه شده است. نتایج نشان می‌دهد وجود پدیده انسداد و گرفتگی منفذهای خاک مانع از افزایش تراز آب زیرزمینی شده است. همچنین آنالیز اطلاعات نشان می‌دهد که مدیریت روش بکار رفته و نیز شرایط محلی تأثیر بسزایی در حصول نتایج خواهند داشت..

Jarraya و همکاران (۲۰۲۰b) در تحقیق دیگر شوری فاضلاب مورداستفاده در طرح تغذیه مصنوعی منطقه آبخوان Kobra در تونس را موردمطالعه قراردادند. در این تحقیق جریان آب زیرزمینی و انتقال مواد محلول به‌وسیله مدل‌های MODFLOW و MT3DMS شبیه‌سازی گردیدند و اثر تغذیه مصنوعی بر کیفیت آب آبخوان مطالعه گردید. نتایج تحقیق اجرای تغذیه مصنوعی را بر کمیت و کیفیت آبخوان، مؤثر ارزیابی کرد.

Thiyagarajan و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی تأثیر طرح تغذیه مصنوعی Thondamuthur block واقع در هندوستان را بررسی کردند. در این منطقه تغذیه آبخوان به‌وسیله احداث سد و نیز چاه تغذیه صورت گرفته بود. نتیجه تحقیق بهبود چشمگیر کیفیت آب آبخوان را نشان داد و بیشترین تغییر کیفیت آب آبخوان در پایین‌دست سازه اجراشده جهت تغذیه مصنوعی مشاهده گردید. همچنین در این تحقیق توصیه به اجرای سازه‌های تغذیه مصنوعی دیگر در محل منطقه موردمطالعه شد.

با توجه به کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌های کشور اسرائیل تحت تأثیر برداشت بی‌رویه و تغییر اقلیم، دولت اسرائیل تصمیم به شیرین سازی آب دریا نمود تا بدین‌وسیله از این منبع به‌عنوان یک منبع دسترسی به آب جهت کاهش برداشت از آب زیرزمینی و کمک به تعادل بخشی آبخوان‌های این کشور نماید. همچنین تصمیم گرفته شد در مواقعی که تقاضای آب کم است از آب شیرین شده باکیفیت بالای دریا به مدت چند ساعت یا چند روز از طریق چاه تزریق، تغذیه مصنوعی آبخوان صورت پذیرد و بعدها در زمان‌هایی که تقاضا جهت آب زیاد است از آب آبخوان برداشت شود (Guttman, 2020). در این راستا، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها با تکنیک‌های مختلف انجام‌شده است که متداول‌ترین روش، تغذیه مصنوعی از طریق چاه تزریق و نیز حوضچه‌های نفوذ می‌باشد. مهم‌ترین نتیجه این اقدامات این است که تغذیه مصنوعی به روش چاه تزریق افت سطح آب آبخوان را تا حد زیادی در طول تزریق جبران کرده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در تغذیه مصنوعی مناسب آبخوان، روش چاه تزریق و حوضچه‌های نفوذ باید به‌صورت ترکیبی مورداستفاده قرار گیرند.

Ibn Ali و همکاران (2017) روشی تحلیلی را برای تخمین تغذیه مصنوعی با پایش سطح آب پیزومترها و با در نظر گرفتن فاکتورهای کنترل‌کننده تغذیه مصنوعی در خصوص یک سد در تونس بررسی کردند. درواقع، نرخ جریان در کف رودخانه در چهار ایستگاه پایش تحلیل شد. نتایج نشان داد که سرعت متوسط تراوش بین ۰/۰۴۳ و ۰/۱۲۷ متر در روز است. به‌علاوه، ضریب تطابق پیرسون نشان داد که شاخص تراوش، گرادیان رودخانه، ضخامت زون غیراشباع، تعداد حوضچه‌های نفوذ، هندسه رودخانه، و نرخ جریان آب فاکتورهای اصلی تعیین‌کننده تراوش هستند. به‌علاوه، تعداد حوضچه‌های نفوذ و هندسه رودخانه مهم‌ترین فاکتورها در این خصوص شناخته شدند.

تغذیه آب‌های زیرزمینی در زمین‌های مزروعی کالیفرنیا با استفاده از مخازن آب، باعث افزایش سطح آب آبخوان گردید (Gailey et al. 2019). درواقع، در این مطالعه بیان شد زمین‌های زراعی خصوصی به‌طور متناوب برای تغذیه آب

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

زیرزمینی از مالکین خصوصی آن‌ها اجاره‌شده‌اند. با این روش تغذیه آب‌های زیرزمینی با حجم وسیعی انجام‌شده است. به‌هرحال، عواملی مانند تغییرپذیری، در دسترس بودن آب برای تغذیه، تغییرات نرخ تغذیه و کم بودن مناطق با نرخ تراوش بالا برای تغذیه و فرار آب از سیستم آب زیرزمینی به آب سطحی و زیرحوضه‌های مجاور از محدودیت‌های موجود هستند.

Arya و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه‌های ژئولوژی، شیب، کاربری اراضی، ژئومورفولوژی، نوع خاک و... را برای منطقه حوضه رودخانه Vattamalaikarai تهیه و مکان‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی را انتخاب کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد بیشتر از ۵۰ درصد مناطق حوضه آبریز پتانسیل ضعیف تا متوسط جهت اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی دارند. در این تحقیق سه محل مناسب جهت ساخت سد، چهار مکان جهت اجرای حوضچه نفوذ، چهار مکان جهت اجرای گودال نفوذ به‌منظور افزایش تراز آب آبخوان منطقه توصیه گردید.

Khan و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اقدام به شناسایی مکان‌های مناسب برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی در حوضه آبریز Yamuna واقع در هندوستان نمودند. در این تحقیق ۲۶ درصد مناطق حوضه آبریز ازنظر شرایط آب زیرزمینی دارای شرایط وخیم ارزیابی شد و اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی در این مناطق حیاتی گزارش گردید.

Jiang و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی اقدام به انجام تغذیه مصنوعی چشمه Baotu به‌عنوان معروف‌ترین چشمه چین و ارزیابی تأثیر آن نمودند که در سال‌های اخیر بخصوص در فصول خشک با کاهش شدید سطح آب مواجه شده است. تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی منطقه از طریق رودخانه Yufu انجام‌شده است. برای این منظور یک مدل عددی سه‌بعدی برای شبیه‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی ساخته‌شده است. مدل با استفاده از تراز هیدرولیکی چاه‌های مشاهده‌ای کالیبره گردید. نتایج تحقیق نشان داد تغذیه مصنوعی روشی مؤثر در مناطقی است که تحت تأثیر استفاده-های کشاورزی و صنعتی سطح آب زیرزمینی با کاهش جدی مواجه شده است. در منطقه موردمطالعه پاسخ تراز آب زیرزمینی به تغذیه مصنوعی در بخش غربی رودخانه یوفو به دلیل شرایط هیدرولوژیکی متفاوت، مناسب‌تر از قسمت شرقی ارزیابی گردید. همچنین چشمه‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی نسبت به تغذیه مصنوعی نشان دادند. برای مثال افزایش تراز آب در چشمه‌های Heihu و Baotu ۴ و ۶ سانتی‌متر بوده است. درحالی‌که تراز آب سایر چشمه‌ها کاهش یافت که نشان می‌دهد جهت تعیین مکان تغذیه مصنوعی، خصوصیات هیدروژئولوژی بیشتری باید موردمطالعه قرار گیرد.

Kim و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی به ارزیابی تأثیر تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در مناطق Shingok village Hongsung-gun, South Korea, که با کمبود آب مواجه بودند پرداختند. نتایج نشان داد بر اساس ارزیابی عرضه و تقاضای ماهانه با روش بودجه آب، عرضه آب کاملاً به چاه‌های آب زیرزمینی وابسته بوده که در ماه می با شروع کشت برنج سطح این چاه‌ها افت جدی داشته است. با توجه به اینکه رودخانه در ماه‌های دسامبر تا ژوئن منبع تغذیه کافی برای آبخوان منطقه بشمار می‌آید، رودخانه برای منبع تغذیه مصنوعی در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن نفوذپذیری لایه‌ها، یک چاه تزریق که از طریق آن آب بتواند به‌طور مستقیم به داخل زمین نفوذ پیدا کند پیشنهاد گردید. همچنین یک گودال به‌عنوان سیستم کمکی برای بهبود اثرگذاری فرآیند تزریق در سطح منطقه پیشنهاد شد.

Anand و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی یک روش عملی جهت استحصال آب توصیه نمودند. در این تحقیق مجموعه داده‌های ماهواره‌ای و نیز قدیمی برای به دست آوردن اطلاعات در منطقه موردمطالعه مورد پردازش قرار گرفتند. در این تحقیق جهت تخصیص میانگین هندسی و وزن نرمالیزه شده، روش سلسله مراتبی AHP و نیز سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS مورداستفاده قرار گرفت و مکان‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی شناسایی شد و این مکان‌ها به چهار دسته (بسیار مناسب، مناسب، متوسط و ضعیف) تقسیم‌بندی شدند. همچنین بر اساس مطالعاتی که در محیط GIS انجام گردید نواحی مناسب جهت اجرای سازه‌هایی باهدف تغذیه مصنوعی مثل سدهای کوچک،

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

حوضچه‌های نفوذ، شیارها و گودال‌ها شناسایی شد و بر این اساس ۳۶ سازه جهت این کار در نظر گرفته شد. نتایج تحقیق نشان داد این سازه‌ها دسترسی به آب موردنیاز جهت کشاورزی و مصارف خانگی را در منطقه افزایش خواهند داد. همچنین نتایج حاکی از مفید بودن ابزار GIS در تعیین محل تغذیه مصنوعی می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی به‌منظور توسعه پایدار و حفاظت کمی و کیفی از منابع آب زیرزمینی، کاهش یا زدودن آلودگی‌ها از این منابع و درنهایت کمک به مدیریت مطلوب و بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی در یک منطقه انجام می‌شود. این اقدام بدون شناخت رفتار منابع آب زیرزمینی در ارتباط با طرح‌های تغذیه مصنوعی و همچنین تغییرات کمی و کیفی آن در طول زمان میسر نمی‌باشد و لازم است روش‌های مناسب بر اساس پیش‌بینی و نتایج حاصل از رفتار سنجی (پایش) صورت گیرد، در غیر این صورت طرح ممکن است با شکست مواجه شود (موسوی و همکاران، ۱۳۷۷؛ بصیرپور و همکاران، ۱۳۹۵).

اصولاً در ارزیابی فنی یک طرح تغذیه مصنوعی یک سؤال اساسی مطرح می‌شود، و آن این است که تغذیه مصنوعی به چه منظوری انجام می‌شود و از آب تغذیه‌شده چه استفاده‌هایی خواهد شد (جلیلی و همکاران، ۱۳۹۳). پس‌ازآن می‌توان شرایط منطقه و مبانی طراحی را برای دست‌یابی به این اهداف بررسی کرد. اگر هدف، افزایش ذخیره آب‌های زیرزمینی است باید منطقه ازنظر زمین‌شناسی کاملاً مطالعه شود و وجود یک مخزن زیرزمینی مناسب تأیید شود. هم‌چنین آب‌های تغذیه‌شده و آب زیرزمینی موجود ازنظر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و حتی بیولوژیکی باید به‌گونه‌ای باشند که فعل‌وانفعالات شیمیایی نامناسب ایجاد نشود (اصغری پور و همکاران، ۱۳۹۳؛ انتظاری و غلامی، ۱۳۹۳؛ رحمانی، ۱۳۷۸؛ گزارش ارزیابی پروژه تغذیه مصنوعی جاشک، ۱۳۷۷).

معمولاً مهم‌ترین مشکلی که در تأسیسات تغذیه به وجود می‌آید، ناشی از کاهش نفوذپذیری و درنهایت کور شدگی بستر تغذیه است. همچنین هنگام بارندگی‌های شدید و جاری شدن سیل، ممکن است به بناهای حفاظتی و سیل بندها خسارت‌های شدیدی وارد شود و چون پیش‌بینی این حوادث مقدور نیست، عملیات نگهداری از سیل بندها باید پس از وقوع سیلاب انجام شود تا حداکثر پیشگیری از خسارت در زمان بارندگی‌های شدید سیلاب‌های آینده به عمل آید (کلانتری و رحمانی، ۱۳۷۸).

در شرایطی که سفره آب زیرزمینی آزاد، عمق آب زیرزمینی کم، نفوذپذیری خاک سطحی مناسب، شیب زمین ملایم (بین دو تا سه درصد)، و در محل موردنظر گسل وجود نداشته باشد بهتر است از روش پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی آبخوان استفاده شود. از طرف دیگر، در صورت وجود شیب زیاد، استفاده از نهرهای تغذیه مناسب به نظر می‌رسد. درواقع در بررسی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی بایستی عوامل مختلفی ازجمله شیب، کیفیت آب، زمین‌شناسی، ضخامت رسوبات، کاربری اراضی، زمین‌ریخت‌شناسی، تراکم زهکشی، نوع آبخوان و خصوصیات هیدروژئولوژیکی آن را با جزئیات مطالعه و بررسی کرد (زیدعلی نژاد، ۱۳۹۱؛ ناصری و همکاران، ۱۳۹۵؛ باقری دادوکلایی و همکاران، ۱۳۹۶؛ زیدعلی نژاد، ۱۳۹۹؛ Zeydalinejad et al., 2020 (a,b,c)).

از مزایای روش حوضچه تغذیه می‌توان به‌سادگی طراحی و ساخت، سهولت حفاظت و نگهداری و بازدهی بالا اشاره کرد. هم‌چنین در تأسیسات دارای چند استخر، هر استخر در حین تغذیه آب نقش رسوب‌گیر برای استخر بعدی را ایفا می‌کند و در صورت خرابی و یا تعمیر یک اســتخر، عملیات تغذیه می‌تواند در استخرهای دیگر انجام شود. مطالعه حوضچه‌های تغذیه نشان‌دهنده کارایی بالا و ارزان بودن روش موردنظر در مقایسه با روش‌های دیگر تغذیه مصنوعی، مانند استفاده از چاه‌های تزریق به‌خصوص در کشورهایی مانند ایران، است. به‌علاوه، این حوضچه‌ها می‌توانند سیلاب را نیز کنترل کنند. در تغذیه مصنوعی با استفاده از حوضچه تغذیه، پس از جدا شدن مواد معلق آب در مخازن ته‌نشینی، می‌توان با افزودن مواد لخته‌کننده یا منعقدکننده کارایی پالایش مکانیکی آب را افزایش داد. برای جلوگیری از تجمع دانه‌های رس که سبب بسته شدن منافذ آن و کاهش هدایت هیدرولیکی می‌شود، می‌توان از نمک‌های کلسیم و

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

منیزیم برای ایجاد لخته‌های پایدار استفاده کرد. به همین ترتیب افزودن مواد آلی به خاک مانند خاک‌اره، یونجه، و غوزه پنبه سبب افزایش فعالیت میکروبیولوژیکی می‌شود. هم‌چنین سلول‌های میکروبیولوژیکی و جسم جامد مواد آلی، کشش ذرات به‌سوی یکدیگر را افزایش می‌دهند و سبب تجمع آن‌ها می‌شوند. سپس، پوشش کم‌وبیش پایداری در اطراف ذرات بزرگ‌تر به وجود می‌آید، و در اثر پخش دوباره آب روی این سطح، منافذ بزرگ‌تری ایجاد می‌شوند. درنتیجه، نرخ نفوذ آب افزایش می‌یابد (ارفع و همکاران، ۱۳۹۵؛ تابش و جواهری، ۱۳۸۲؛ وزارت نیرو، ۱۳۹۳؛ دفتر مهندسی آب و آبفا، ۱۳۹۰).

تغذیه مصنوعی به روش استفاده از حوضچه تغذیه معایبی نیز دارد. نسبتاً بالا بودن هزینه نگهداری، و کاهش نفوذپذیری کف استخرها در حالتی که آب تغذیه حاوی ذرات معلق ریزدانه است ازجمله این معایب هستند. به‌علاوه، این روش نیاز به مساحت زیاد دارد و در مناطق با نفوذپذیری سطحی کم، بازدهی آن پایین است. درنهایت، در اراضی شور، به دلیل خاک‌شویی ممکن است تخریب کیفیت لایه‌های زیرین و حتی آب زیرزمینی را سبب شود (دفتر مهندسی آب و آبفا، ۱۳۹۰).

همچنین نتایج تحقیق نشان داد یکی از چالش‌های مربوط به تغذیه مصنوعی به روش چاه‌های تزریق، کورشدگی اسکرین چاه‌ها می‌باشد. برای پیشگیری از کورشدگی چاه‌های تزریق می‌توان از پیستون زدن یا پمپاژ استفاده کرد. برای این کار، باید چنان عمل کرد که در تمام مدت پمپاژ، هوا به لایه آبدار وارد شود. در مواردی که پمپاژ پیوسته لازم باشد، پمپ به‌طور دائم در چاه نصب می‌شود. در این حالت، تغذیه از فضای میان لوله پمپ و جدار چاه یا از راه لوله آبکشی پمپ با نصب دریچه‌های یک‌طرفه برای جلوگیری از برگشت آب انجام می‌شود. مدت پمپاژ برای رفع گرفتگی به مشخصات زمین و آب تغذیه بستگی دارد که ممکن است از چند ساعت تا چند روز و با تواتر مختلف انجام شود. هم‌چنین استفاده از هگزامتافسفات‌سدیم و اسیدها برای از بین بردن چسبندگی ذرات کلوئیدی، و نیز کلرزنی برای از بین بردن باکتری‌های آهن‌خوار توصیه می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۹۳؛ دفتر مهندسی آب و آبفا ، ۱۳۹۰).

تغذیه مصنوعی به روش واداری بیش‌تر در مواردی به کار می‌رود که آب رودخانه و یـا دریاچه تمیز نباشد. درواقع بـا استفاده از این روش از خاصیت خودپالایی زمین استفاده و آب موردنظر تصفیه و قابل‌استفاده می‌شود. در این روش بایستی منبع تغذیه دائمی در محل باشد و کف و دیواره‌های آن نفوذپذیری مناسب داشته باشند (دفتر مهندسی آب و آبفا ، ۱۳۹۰).

بایستی توجه کرد گاهی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با چالش‌هایی همراه است. علی‌رغم اینکه تغذیه مصنوعی می‌تواند از فرونشست زمین جلوگیری کند، گاهی خود باعث فرونشست می‌شود. تفاوت کیفیت و هیدروژئوشیمی آب تغذیه‌ای با آب آبخوان، عدم رعایت خصوصیات هیدرولیک چاه‌های تغذیه، و ایجاد جریان آشفته و جابجایی رسوبات ریزدانه باعث فرونشست زمین براثر استخرهای تغذیه مصنوعی جنوب نیروگاه همدان شده است. درنتیجه، مطالعات زمین‌شناسی قبل از اجرای هرگونه طرح تغذیه مصنوعی بسیار حائز اهمیت است (خورسندی، ۱۳۹۸). به‌علاوه، یکی از اهداف تغذیه مصنوعی، همان‌گونه که ذکر شد حذف آلودگی‌های میکروبی و باکتریولوژیک است. بااین‌وجود، به دلیل استفاده از آب سطحی، تغذیه مصنوعی خود ممکن است باعث ایجاد آلودگی‌های میکروبی و باکتریولوژیک آب‌های زیرزمینی شود (لاله زاری و همکاران، ۱۳۹۳).

لازم به ذکر است دلیل عدم موفقیت برخی از طرح‌های تغذیه مصنوعی مانند طرح تغذیه مصنوعی منطقه آبدان بوشهر، منطقه گرگ‌دره شاهرود و نیز منطقه بلوبند بندرعباس را می‌توان فقدان مدیریت مناسب در مراحل اجرا و بهره‌برداری از طرح‌های تغذیه مصنوعی، عدم هماهنگی لازم بین متولیان و مصرف‌کنندگان آب و کنترل‌کنندگان آثار و پیامدهای ناشی از اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی، و عدم توجه به اثرات زیست‌محیطی ناشی از اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی در مقایسه باسیاست‌های کلان تأمین آب دانست (رحمانی، ۱۳۷۸؛ گزارش ارزیابی پروژه تغذیه مصنوعی جاشک، ۱۳۷۷؛ دفتر مهندسی آب و آبفا، ۱۳۹۰). درنهایت، توصیه می‌شود روش‌های دیگر تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی مانند روش مجازی، در راستای تعادل‌بخشی آبخوان‌ها و همچنین روش احداث سد زیرزمینی، به دلیل کاهش تبخیر آب و عدم گرفتگی منافذ و کارایی بالا بیشتر مورداستفاده قرار گیرد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

منابع

۱. احمدی، م.، الف. وکیلی، ر. رجب پور، غ. سعیدی‌فر و م. محمدی‌راد (۱۳۹۹). پهنه‌بندی مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی در دشت بیضا با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست۸، فصلنامه علمی برنامه‌ریزی منطقه-ای، ۱۰ (۳۷) : ۱۷۸-۱۶۵.

۲. ارفع، ع.، س. خداشناس و الف. مساعدی (۱۳۹۵). بررسی عملکرد سیستم اجراشده پخش سیلاب شاندیز در تغذیه مصنوعی و کنترل سیلاب، پانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، ۲۴ و ۲۵ آذر،۷-۱.

۳. اصغری‌پوردشت‌بزرگ، ن.، م.ر. ثروتی، س. شایان و پ. کردوانی (۱۳۹۳). بررسی تطابق مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی و مخروط‌افکنه‌ها در منطقه گتوند با استفاده از روش AHP. نشریه علمی ژئومورفولوژی کاربردی ایران، ۲(۳) : ۳۱-۱۴.

۴. انتظاری، م. و م. غلامی (۱۳۹۳). پتانسیل‌یابی مناطق مناسب جهت تغذیه آب‌های زیرزمینی در حوضه رومشگان. دو فصلنامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران، (۴)۲: ۴۳-۳۱.

۵. باقری‌دادوکلایی، ا.، ج. محمدولی‌سامانی و ج. سروریان (۱۳۹۶). تعیین بهترین مکان برای اجرای طرح حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از دو روش بولین و AHP. مهندسی و مدیریت ساخت، (۱)۲ : ۱۶-۱۲.

۶. بصیرپور، ع.، م. حاجیان نژاد و م. بکی (۱۳۹۵). ارزیابی طرح‌های تغذیه مصنوعی اجراشده در اصفهان، سامانه‌های سطوح آبگیر، (۴)۳ : ۶۰-۵۱.

۷. بنی‌حبیب، م. ا.، ا. عابدعلم‌دوست و م. ر. نیکو (۱۳۸۹). بررسی راندمان سامانه تغذیه مصنوعی در آبراهه‌های فصلی و بهینه‌سازی ابعاد اصلی آن (مطالعه موردی: سامانه‌های رودخانه امامزاده عبدالله. سمنان). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، (۱۲)۴ : ۱۸-۱۱.

۸. بیات‌موحد، ف.، ق. مجتهدی و م. ج. مهدیان (۱۳۸۴). تأثیر گسترش سیلاب بر تغذیه آبخوان دشت سهرین-قره-چریان زنجان. نشریه علوم خاک و آب. (۲)۱۹: ۳۰۰-۲۹۱.

۹. تابش، م. و ر. جواهری (۱۳۸۲). بررسی اثرات متقابل غلظت مواد معلق در آب و نوع پوشش خاک بر میزان نفوذپذیری حوضچه‌های نفوذ (در طرح‌های تغذیه مصنوعی)، نشریه دانشکده فنی، (۲)۳۷: ۱۹۷-۱۸۹.

۱۰. جلیلی، ج.، خ. جلیلی، ه. حصادی و م. حدیدی (۱۳۹۳). تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی از طریق کانال-های زهکش سطحی با استفاده از روش AHP، نشریه علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران- (۲۴)۸ : ۳۶-۲۹.

۱۱. چوپانی، س. و ا. حسین‌پور (۱۳۹۳). چاه‌های نزو (Nezoo) سیستم سنتی تغذیه آب‌های زیرزمینی در استان هرمزگان. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، (۴)۲ :۲۲-۹.

۱۲. حسن‌پور، م. و ح. خزیمه‌نژاد (۱۳۹۷). مکان‌یابی چاه‌های تغذیه جهت تغذیه مصنوعی و بهبود کیفیت آبخوان دشت بیرجند با استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب. پژوهش در بهداشت محیط، (۳)۴: ۲۲۶-۲۱۵.

۱۳. خورسندی آقائی، ا. (۱۳۹۸). بررسی فرونشست زمین, مطالعه موردی: فرونشست زمین استخرهای تغذیه مصنوعی جنوب نیروگاه همدان, شمال غرب ایران. مهندسی منابع آب, ۱۲(۴۲), ۱۷-۲۶.

۱۴. دهقانی، ع.، م. ا. بنی‌حبیب و س. جوادی (۱۳۹۷). چارچوبی برای ارزیابی عملکرد سامانه تغذیه مصنوعی در تغذیه آبخوان‌ها و مدیریت سیلاب مناطق خشک. مهندسی و مدیریت آبخیز، (۴)۱۰: ۵۵۱-۵۳۷.

۱۵. دهقانی، ب.، م. فراهانی و ب. امین نژاد (۱۳۹۸). ارزیابی سناریوهای تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب در راستای مدیریت یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدلWEAP (مطالعه موردی:دشت ورامین). تحقیقات منابع آب ایران، (۴)۱۵ : ۲۵۸-۲۴۲.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

۱۶. رحمانی، م. و م. فرخی (۱۳۹۴). تغذیه آب‌های زیرزمینی و آبخوان‌های کم‌عمق قنوات با استحصال آب باران، چهارمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر، مشهد، ۲۸ و ۲۹ بهمن.
۱۷. رحمانی، ح.، (۱۳۷۸). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "ارزیابی طرح تغذیه مصنوعی جاشک – آبـدان استان بوشهر"، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۸. رضایی، ح. و ع. پشگائی (۱۳۹۶) ارزیابی اثر احداث آب‌بندان بر تراز آب زیرزمینی، مطالعه موردی: حوزه آبریز گرگان‌رود استان گلستان. هیدروژئولوژی، (۱)۲: ۵۷-۴۵.
۱۹. رضایی، س.، س. جوادی و ح. کاردان‌مقدم (۱۳۹۹). ارزیابی راه‌کارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد اجزای محدود در شبیه‌سازی عددی. هیدروژئولوژی، (۲)۵: ۴۲-۳۲.
۲۰. رضایی، م.، و ا، سرگزی (۱۳۸۹). بررسی اثرات اجرای تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان دشت گوهرکوه. نشریه علوم زمین، (۷۶) ۱۹: ۱۰۶-۹۹.
۲۱. رهبر، غ.، ح. مصباح و م. عظیمی (۱۳۹۳). مروری بر روش‌های سنتی بهره‌برداری از سیلاب با بنای سطوح آبگیر کوچک در استان فارس. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۲ (۱) :۲۷-۳۶
۲۲. زیدعلی‌نژاد، ن. (۱۳۹۱). پتانسیل آب زیرزمینی در کارست سوسن، شمال ایذه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲۳. زیدعلی‌نژاد، ن. (۱۳۹۹). اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی گستره لالی، استان خوزستان. رساله دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲۴. شیخی‌پور، ب.، س. جوادی و م. ا. بنی‌حبیب (۱۳۹۷). ارزیابی اثربخشی سناریوهای احیای آبخوان توسط شاخص‌های پایداری و بهره‌برداری منابع آب، مطالعه موردی: آبخوان شهرکرد. آب‌وخاک، (۲)۳۲، ۲۸۱-۲۶۷.
۲۵. طائی سمیرمی، م.، ا. فاتحی مرج و خ. میرنیا (۱۳۹۱). بررسی اثرات تغذیه مصنوعی بر توزیع زمانی و مکانی خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک با استفاده از شاخص حالت پیزومتریک (مطالعه موردی، دشت گربایگان، استان فارس)، تحقیقات منابع آب، سال هشتم، شماره۱، ۸۹-۸۶.
۲۶. طیاری، ا. و ا. شمسایی (۱۳۸۵). تحلیل عوامل مؤثر بر ارتفاع آب در سدهای زیرزمینی و ارائه روشی برای تخمین آن. مجله دانش نوین کشاورزی، (۳)۲، ۱۰۱-۸۷.
۲۷. عطایی، پ. و س. کریم‌قاسمی (۱۳۹۶). ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح‌های تغذیه مصنوعی دشت لاور در استان بوشهر. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، (۴)۱۹: ۵۴۴-۵۳۱.
۲۸. علی‌محمدی، ر. (۱۳۹۴) احیا قسمتی از دشت با اجرای پروژه تغذیه مصنوعی (مطالعه موردی دشت سفیددشت-فرادنبه). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، (۳۱)۹: ۴۰-۳۱.
۲۹. عرب‌خدری، م. و ش. حکیم‌خانی (۱۳۸۲). بررسی رابطه دو فن‌آوری باستانی بیابان‌زدایی: بندسار و قنات. تحقیقات جغرافیایی، ۶۹، ۶۱-۴۹.
۳۰. فاریابی، م. (۱۳۹۸). استفاده از پارامترهای فیزیک‌وشیمیایی آب زیرزمینی جهت ارزیابی اثربخشی پروژه‌های تغذیه مصنوعی در مناطق خشک: مطالعه موردی: حوضچه تغذیه آردو، برازجان. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، (۱)۷: ۲۲۲-۲۰۵.
۳۱. فاضل پور عقدایی، م.، ح. ملکی نژاد، م. اختصاصی و ج. برخورداری (۱۳۹۷). بررسی تأثیر پخش سیلاب بر آبدهی قنوات با استفاده از شاخص دبی استانداردشده (مطالعه موردی : قنوات منطقه میانکوه مهریز)، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، (۱۷)۹: ۲۴۵-۲۳۵.
۳۲. فضلی اولی، ر.، ف. شریفی و ع. بهنیا (۱۳۸۵). بررسی تأثیر پخش سیلاب در تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی دشت موسیان(استان ایلام)، مجله منابع طبیعی ایران، (۱) ۵۹: ۷۴-۵۷.
۳۳. کاردان مقدم، ح.، م. بنی‌حبیب و س. جوادی (۱۳۹۶). ارزیابی اثر تغذیه مصنوعی بر تعادل‌بخشی آبخوان با استفاده از شاخص پایداری، اکو هیدرولوژی، (۴)۴: ۱۲۵۳-۱۲۴۱.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

۳۴. کلانتری، ن. و ح. رحمانی (۱۳۷۸). تأثیر کمی و کیفی طرح تغذیه مصنوعی جاشک - آبدان روی آب زیرزمینی دشت آبدان خورموج استان بوشهر، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز.

۳۵. گلستانی فر، ح.، م. شجاعی، س. پرستار، ع. درگاهی و ن. برازجانی (۱۳۹۱). بررسی اثرات زیست‌محیطی نیروگاه زمین‌گرمایی، دومین کنفرانس ملی بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر، ۲۵ آبان، ۱-۷.

۳۶. لاله‌زاری، ر.، س. ح. طباطبایی، م. خیاط‌خلقی، ن. ا. یارعلی و ع. صبا (۱۳۹۳). بررسی سناریوهای تغذیه مصنوعی با فاضلاب تصفیه‌شده بر کمیت و کیفیت آبخوان شهرکرد، محیط‌شناسی، (۱)۴۰: ۲۳۶-۲۲۱.

۳۷. لاله‌زاری، ر. و س. ح. طباطبائی (۱۳۹۲). شبیه‌سازی تأثیر احداث سد زیرزمینی روی ذخیره آبخوان و پراکنش نیترات در دشت شهرکرد. مجله علوم آب‌وخاک، (۶۵) ۱۷، ۳۸-۲۵.

۳۸. محمودیان شوشتری، م. (۱۳۹۴). هیدرولیک آب‌های زیرزمینی، انتشارات دانشگاه شهید چمران، ویرایش دوم، چاپ اول، صفحه ۵۰.

۳۹. مسلمی، ح.، چوپانی، س و ع، آبکار(۱۳۹۷) تأثیر پخش سیلاب بر شوری آب زیرزمینی (موردمطالعه: پخش سیلاب دهندر، هشتبندی- استان هرمزگان). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، (۴۱)۱۲: ۲۲-۱۳.

۴۰. مسلمی، ح.، ر. مهدی نجف‌آبادی و ر. پرنده فاروجی (۱۳۹۸). اثربخشی سدهای آبخیزداری بر سطح آب زیرزمینی (سد خاکی لاور) ،مجله علمی ترویجی سامانه‌های سطوح آبگیر، (۲۱)۷: ۵۶-۴۵.

۴۱. مصطفائی، ا.، و. مرادنیا و م. گودرزی (۱۳۹۶). ارزیابی نقش طرح پخش سیلاب سرچاهان-هرمزگان در تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی. اکو هیدرولوژی، (۳)۴: ۷۶۱-۷۴۹.

۴۲. موسوی، س. ف.، ع. بصیرپور و ب. مصطفی‌زاده (۱۳۷۷). بررسی صحرائی و آزمایشگاهی تغییرات سرعت نفوذ آب به خاک در اثر مواد معلق موجود در آب در طرح‌های تغذیه مصنوعی. مجله علوم کشاورزی ایران، (۱)۲۹: ۹۶-۸۷.

۴۳. ناصری، ح. ر.، ن. زیدعلی‌نژاد و ف. علیجانی (۱۳۹۵). خصوصیات هیدروژئوالکتریک سازندهای آسماری و ایلام-سروک در ناودیس سوسن شمال ایذه، (۳۷)۱۰: ۹۲-۷۷.

۴۴. ناظم سادات، م. و غ. بارانی (۱۳۹۴). کنترل آب‌های سطحی و پخش سیلاب به‌منظور تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در کشاورزی و محیط‌زیست، کوالالامپور، مالزی، ۲۴ آذرماه.

۴۵. نسیمی، ع. و م. زارع (۱۳۹۴). مکان‌یابی حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در حوضه آبخیز بوشکان براساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی. دانش آب‌وخاک، (۱)۲۵: ۱۴۱-۱۲۵.

۴۶. هدایت‌پور، ا. و ع. ا. نیکنام (۱۳۹۴). بررسی اثرات احداث سد مجن بر آبخوان‌های پایین‌دست و دشت بسطام، کنفرانس و نمایشگاه مهندسی آب، دانشگاه شهید بهشتی.

۴۷. وزارت نیرو (۱۳۹۳). راهنمای بررسی اثرات اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی بر وضعیت آبخوان. نشریه شماره ۱۵۶-ن، ۳۰-۲۰.

۴۸. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا (۱۳۹۰). مبانی زیست‌محیطی طراحی برای طرح‌های تغذیه مصنوعی، نشریه شماره۵۷۴، صفحه ۴۰.

۴۹. گزارش ارزیابی پروژه تغذیه مصنوعی جاشک – آبدان واقع در استان بوشهر -دانشگاه شهید چمران اهواز شهریور (۱۳۷۷).

50. Abarca E., Vázquez-Suñé E., Ramírez J. C., Capino B., Gámez D. and Batlle F. *(2006). Optimal design of measures to correct seawater intrusion.* Water Resources Research, *42:W09415*.
51. Arya S., Subramani T. and Karunanidhi D. *(2020). Delineation of groundwater potential zones and recommendation of artificial recharge structures for augmentation of groundwater resources in Vattamalaikarai Basin, South India*. Environ Earth Sci, *79, 102*.
52. Anand B., Karunanidhi D. and Subramani T. *(2021). Promoting artificial recharge to enhance groundwater potential in the lower Bhavani River basin of South India using geospatial techniques*, Environ Sci Pollut Res Int, *28(15):18437-18456*.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

53. Apaydin A. M. *(2009). Groundwater dam: an alternative model for semi-arid regions of Turkey to store and save groundwater.* Environmental Earth Sciences, *59: 339-345.*
54. Campos-Gaytan J. R. Kretzschmar T. and Herrera-Oliva C. S. *(2014). Future groundwater extraction scenarios for an aquifer in a semiarid environment: case study of Guadalupe Valley Aquifer, Baja California, Northwest Mexico*. Environmental monitoring and assessment, *186(11):7961-85*.
55. Deng M. J. (2010*). Kariz wells in arid land and mountain-front depressed ground reservoir*. Advances in Water Sciences, *21: 748-756*. (In Chinese with English abstract).
56. Dong S., Liu B., Liu H., Wang S. and Wang L. *(2014). Impacts of groundwater recharge from rubber dams on the hydrogeological environment in Luoyang Basin, China*. Scientific World Journal, *2014:183457*.
57. Du H. X., Chang G. C., Zhang Q. S. and Zhuang Y. G. *(2002). Preliminary study on utilizing groundwater storage.* Advances in Water Sciences, *13: 618-622*. (In Chinese with English abstract).
58. Du S. H., Su X. S. and Zhang W. J. *(2007). Effective storage rates analysis of groundwater reservoir with surplus local and transferred water used in Shijiazhuang city, China.* Water and Environment Journal, *27:157-169*.
59. Eslamian S. *(2014). Handbook of Engineering Hydrology: Environmental Hydrology and Water Management.* Boca Raton, FL: CRC Press.
60. Gailey R. M., Fogg G. E., Lund J. R. and Medellin-Azuara J. *(2019). Maximizing on-farm groundwater recharge with surface reservoir releases: a planning approach and case study in California, USA.* Hydrogeology Journal, *27: 1183-1206.*
61. Galloway D.L. and Burbey T.J. *(2011). Review: regional land subsidence accompanying groundwater extraction,* Hydrogeology Journal, *19(8): 1459-1486.*
62. Goldsmith E. and Hildyard N. *(1984). The Social and Environmental Effects of Large Dams.* San Francisco, CA, USA: Sierra Club Books.
63. Guttman J. *(2020). Pumping and injection of surplus desalinated seawater as part of the new management of the groundwater resources in Israel*. Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater, *9(3): 47-50.*
64. Guide on artificial recharge to ground water, General ground water board, Ministry of water resources, New Delhi, May 2000.
65. Hanson G. and Nilsson A. *(2010). Groundwater dams for rural-water supplies in developing countries.* Ground Water, *24: 497-506*.
66. Hashemi H., Berndtsson R., Kompani-Zare M. and Persson M. *(2013). Natural vs. artificial groundwater recharge, quantification through inverse modeling,* Hydrology and Earth System Sciences, 17: 637-650. https://doi.org/10.5194/hess-*17-637-2013.*
67. Hashemi H. *(2015). Artificial recharge by floodwater spreading estimated by water balances and groundwater modeling arid Iran*, journal of hydrology science, *60(2): 336-350.*
68. Ibtisam R., Karim A. and Mahdi Abd A. *(2017). Artificial Recharge of Groundwater by Injection Wells,* International Journal of Scientific Engineering and Technology Research, *6(31): 6193-6196.*
69. Ibn Ali Z., Triki I., Lajili-Ghezal L. and Zairi M. *(2017). A method to estimate aquifer artificial recharge from a hill dam in Tunisia.* Journal of Arid Land, *9: 244-255.*
70. Jarraya-Horriche F., Benabdallah S. and Ayadi M. *(2020 a). Groundwater monitoring for assessing artificial recharge in the Mediterranean coastal aquifer of Korba (Northeastern Tunisia),* Environ Monit Assess, *192(7): 442.*
71. Jarraya Horriche F. and Benabdallah S. *(2020 b). Assessing Aquifer Water Level and Salinity for a Managed Artificial Recharge Site Using Reclaimed Water*, Water, *12(2), 341.*
72. Jha M., Chowdhury A., Chowdary V. and Peiffer S. *(2007). Groundwater Management and Development by Integrated Remote Sensing and Geographic Information Systems: Prospects and Constraints,* Eater Resources Management *21(2):427-467.*
73. Jiang A., Liu Y. and Yi S. *(2021). Impact of artificial recharge on groundwater and springs: Jinan, China, case study.* Arab J Geosci, *14, 111.*
74. Kaleris V. and Ziogas A. I. *(2013). The effect of cutoff walls on saltwater intrusion and groundwater extraction in coastal aquifers.* Journal of Hydrology, *476: 370-383.*
75. Karamouz M., Teymoori J. and Olyaei M.A. *(2021). A Spatial Non-Stationary Based Site Selection of Artificial Groundwater Recharge: a Case Study for Semi-Arid Regions,* Water Resour Manage, *35, 963–978.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

76. Khan A., Govil H., Kumar A. and Gaurav Kumar T. *(2020). Identification of artificial groundwater recharge sites in parts of Yamuna River basin India based on Remote Sensing and Geographical Information System*, Groundwater for Sustainable Development, *11,1*.
77. Kim G. B., Hwang C. I. and Choi M. R. *(2021). Assessment of the need and potential for groundwater artificial recharge based on the water supply, water demand, and aquifer properties in a water shortage region of South Korea*, Environ Earth Sci, *80, 115.*
78. Kruawal K., Sacher F., Werner A., Müller J. and Knepper T. P. *(2005). Chemical water quality in Thailand and its impacts on the drinking water production in Thailand*, Science of the Total Environment, *340(1):57-70*.
79. Mohammadzadeh-Habili J. and Khalili D. *(2020). Assessment of artificial recharge dams and improvement of their groundwater-recharge capacity*. Journal of Hydrologic Engineering, *25(5): 04020011*.
80. National Academy Press Washington D.C. *(1994). Ground Water Recharge Using Waters of Impaired Quality, Commission on Geosciences, Environment, and Resources*.
81. Nishigaki M., Kankam-Yeboah K. and Komatsu M. *(2004). Underground dam technology in some parts of the world.* Journal of Groundwater Hydrology, *46: 113-130.*
82. NWP (Netherlands Water Partnership) *(2007). Smart Water Harvesting Solutions: Examples of Innovative Low-Cost Technologies for Rain, Fog, Runoff Water and Groundwater.* Amsterdam, Netherlands: Kit.
83. Liu C., Yu J. and Eloise K. *(2001). Groundwater exploitation and its impact on the environment in the north China plain.* Water International, *26: 265-272*.
84. Li S. J., Li Y. and Zhou X. *(2006). Using underground reservoir storage and storage function to build emergency standby groundwater source.* Groundwater, *28: 41-43.* (In Chinese with English abstract)
85. Li Y. G. *(2007). Groundwater Reservoir Construction Research*. Beijing, China: China Environmental Science Press. (In Chinese)
86. Osborn N.L., Eckenstein E. and Fabian R. S. *(1997). Demonstration and evaluation of artificial recharge to the Blaine aquifer in southwestern Oklahoma.* Oklahoma Water Resources Board Technical Report *97-5S, page22*.
87. Parimalarenganayaki S. *(2021). Managed aquifer recharge in the gulf countries: a review and selection criteria.* Arabian Journal of Science and Engineering, *46: 1-15.*
88. Qian J., Zhan H., Wu Y., Li F. and Wang J. *(2006). Fractured-karst spring-flow protections: a case study in Jinan, China*. Hydrogeology Journal, *14(7):1192*.
89. Ringleb J., Sallwey J. and Stefan C. *(2016). Assessment of Managed Aquifer Recharge through Modeling—A Review*, Water, *8, 579.*
90. Yilmaz M. *(2003). Control of groundwater by underground dams.* The Middle East Technical University: Master Thesis.
91. SHi X., Jiang S., Xu H., Jiang F., Zhongfa He and Wu J. *(2016). The effects of artificial recharge of groundwater on controlling land subsidence and its influence on groundwater quality and aquifer energy storage in Shanghai, China*, Environ Earth Sci, *75:195*.
92. Sugio S., Nakada K. and Urish D. W. *(1987). Subsurface seawater intrusion barrier analysis*. Journal of Hydraulic Engineering, *6: 77-779.*
93. Sun Y. Xu S. G., Kang P. and Wang T. X. *(2019). Impacts of Artificial Underground Reservoir on Groundwater Environment in the Reservoir and Downstream Area*, International journal of environmental research and public health, *16(11): 1921*.
94. Taheri tizro A., Voudouris K.S. and Akbari k. *(2011). Simulation of a groundwater artificial recharge in a semi-arid region of iran*, irrig and drain. *60: 393–403*.
95. Thiyagarajan G., Valliammai A., Raviraj A. and Panneerselvam S. *(2020). Effectiveness of artificial recharge structures in enhancing groundwater quality*, International Journal of Chemical Studies, *8(1): 2589-2592.*
96. Vandenbohede A., Van Houtte E. and Lebbe L. (2009). Sustainable groundwater extraction in coastal areas: a Belgian example. Environmental geology, 57(4):735-47.
97. Zhai Y., Wang J., Huan H., Zhou J. and Wei W. *(2013). Characterizing the groundwater renewability and evolution of the strongly exploited aquifers of the North China Plain by major ions and environmental tracers*, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, *296(3):1263-74.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]

98. Zhang W., Gao L., Jiao X., Yu J., Su X. and Du S. *(2014). Occurrence assessment of earth fissure based on genetic algorithms and artificial neural networks in Su-Xi-Chang land subsidence area,* China. Geosciences Journal, *18(4):485-93.*
99. Zeydalinejad N., Nassery H. R., Alijani F. and Shakiba A. *(2020c). Forecasting the resilience of Bibitarkhoun karst spring, southwest Iran to the future climate change*. Modeling Earth Systems and Environment, *6, 2359-2375.*
100. Zeydalinejad N., Nassery H. R., Shakiba A. and Alijani F. *(2020a). The evaluations of NEX-GDDP and Marksim downscaled datasets over Lali region, southwest Iran*. Journal of the Earth and Space Physics, *46(4):213-230.*
101. Zeydalinejad N., Nassery H. R., Shakiba A. and Alijani F. *(2020b). Prediction of the karstic spring flow rates under climate change by climatic variables based on the artificial neural network: a case study of Iran.* Environmental Monitoring and Assessment, *192(6): 375.*

A Review on the Artificial Recharge of the Aquifers as a Process against Groundwater Stresses

Zohreh Ramak*[1], Negat Zeidali Nezhad[2]
1- Ph.D. in water resources, water resources expert, Regional Water Company of Lorestan
2- Ph.D. in hydrology, conservation and exploitation of groundwater expert, Regional Water Company of Lorestan
Received: 2021/04
Accepted: 2021/06

Abstract

Despite the high capacity of groundwater resources in confronting different stresses such as climate change, rapid population growth, and greater need for water resources, especially in arid and semi-arid countries such as Iran, the over-exploitation of these valuable resources have caused a negative balance of groundwater, upset the natural balance of aquifers, and created many problems in many parts of the country. In arid and semi-arid areas, artificial groundwater recharge can be used to balance the aquifer and restore groundwater resources. In the current study, after conducting a review on the artificial groundwater recharge methods as one of the effective ways to restore the aquifers, the artificial recharge schemes were examined with emphasis on national research projects. The literature review demonstrated that the artificial groundwater recharge schemes are primarily conducted by the floodwater spreading method in the country, which in most cases, acts as an effective process to balance aquifers. This approach may play a significant role in achieving sustainable water management in Iran due to the highest efficiency and lowest cost. The results showed that the type of aquifer, hydrogeological conditions, the type of geological formation, the slope of the region, and the economic conditions are the most important factors in selecting the artificial groundwater recharge method. The results also indicated that comprehensive studies are crucial to select the location and method of artificial groundwater recharge to achieve the desired results and successful efficiency of the project. Finally, the obstruction and therefore, the decrease of the infiltration rate were identified as the main problems in the implementation of the artificial groundwater recharge projects.

Keywords: Groundwater, Artificial recharge, Flood spreading, Recharge pond.

[1] * Corresponding Author Email: z_ramak@yahoo.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.4.8]