



روش های پایدار تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی

پوهنځی الف شاه احسان عضو کادر علمی دپارتمنت سیول پوهنځی انجیری پوهنتون جامی هرات

Sustainable Methods of Artificial Groundwater Recharge

Abstract

Artificial recharge of groundwater is considered one of the most effective strategies for water resource management and combating water scarcity, particularly in arid and semi-arid regions. In recent years, due to decreased precipitation and excessive extraction of groundwater, the water table in these regions has significantly declined. Recharging aquifers through various artificial recharge methods has gained considerable importance as a practical solution to this issue. This study investigates both direct and indirect methods of artificial groundwater recharge. Direct methods include techniques such as infiltration basins, recharge wells, percolation tanks, and recharge canals, which purposefully transfer water into subsurface layers. Due to their high efficiency and ability to be precisely controlled, these methods are suitable for areas with urgent needs for aquifer replenishment. In contrast, indirect methods involve approaches such as streambed modification, earthen dams, vegetative cover, subsurface barriers, and reverse drainage systems, which utilize natural processes to enhance water infiltration. These methods are generally more cost-effective and environmentally compatible, making them suitable for long-term and large-scale recharge projects. This research is a review article based on the analysis of previous studies conducted in this field. It compares and evaluates various recharge techniques. The findings indicate that the selection of an appropriate artificial recharge method depends on the hydrogeological conditions of the region, available resources, and planning objectives. Moreover, integrating both direct and indirect methods within a comprehensive water management framework can enhance the efficiency and sustainability of groundwater resources. Finally, the study emphasizes the importance of accurate evaluation, protection of water quality, and community participation in the successful implementation of artificial recharge projects

Keywords: sustainability, Artificial recharge, direct methods, indirect methods, water resource management,



چکیده

تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی یکی از راهکارهای مؤثر در مدیریت منابع آب و مقابله با کمبود آن به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در سال‌های اخیر به دلیل کاهش بارندگی‌ها و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی سطح آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نهایت افت نموده. تغذیه آبخوان‌ها از طریق روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمین به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این تحقیق به بررسی روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی پرداخته شده است. روش‌های مستقیم شامل تکنیک‌هایی مانند حوضچه‌های نفوذ، چاه‌های تغذیه، سدهای نفوذپذیر و کانال‌های تغذیه می‌باشد که آب را به‌صورت هدفمند به لایه‌های زیرزمینی منتقل می‌کنند. این روش‌ها به دلیل کارایی بالا و امکان کنترل دقیق، مناسب مناطق با نیاز فوری به تغذیه آبخوان‌ها هستند. در مقابل، روش‌های غیرمستقیم شامل اصلاح بستر رودخانه‌ها، سدهای خاکی، پوشش گیاهی، موانع زیرسطحی و سیستم‌های زهکشی معکوس است که از فرآیندهای طبیعی برای افزایش نفوذ آب استفاده می‌کنند. این روش‌ها به دلیل هزینه کمتر و سازگاری بهتر با محیط‌زیست، در پروژه‌های بلندمدت و گسترده‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تحقیق از نوع مقاله مروری است و بر اساس تحلیل و بررسی نتایج مطالعات پیشین انجام شده در این حوزه، به مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که انتخاب روش مناسب تغذیه مصنوعی به شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه، منابع موجود، و اهداف برنامه‌ریزی وابسته است. علاوه بر این، ترکیب روش‌های مستقیم و غیرمستقیم در چارچوب یک برنامه مدیریت یکپارچه می‌تواند به افزایش بهره‌وری و پایداری منابع آب زیرزمینی کمک کند. در نهایت، تحقیق بر اهمیت ارزیابی دقیق، حفاظت از کیفیت آب، و مشارکت جوامع محلی در اجرای موفقیت‌آمیز این پروژه‌ها تأکید می‌کند.

واژگان کلیدی: پایداری، تغذیه مصنوعی، روش‌های مستقیم، روش‌های غیرمستقیم، مدیریت منابع آب

۱. مقدمه

آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تامین آب شیرین در جهان به شمار می‌رود. رشد جمعیت و افزایش تقاضای بشر به منابع آب، باعث شده است که توجه و نیاز به منابع آب‌های زیرزمینی بیشتر شود که در صورت برداشت بی‌رویه و مدیریت غیر اصولی و استفاده‌ای بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد. گسترش صنایع و نیاز بشر به آب برای تامین غذای بشر، سبب شده است که آب‌های زیرزمینی به عنوان منبعی تجدیدشونده بیش از پیش مورد توجه قرار گیرند (کوثر، ۱۳۸۴). افزایش تقاضا برای آب، مستلزم استفاده کارآمدتر از آب است (Sinha Ray TP406) ادامه‌ای بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی با سرعتی بیشتر از تجدید، باعث کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در دراز مدت می‌شود که منجر به استخراج نهایی آب‌های زیرزمینی می‌شود (CGWB 2007). آب زیرزمینی از مهمترین منابع آب است و تغذیه مصنوعی آن، یکی از فنون مهم مدیریتی است. (یوسفی راد، م. ص. صفایی، ر و بخشایی، م. ۱۳۸۷). هرگونه



تأسیساتی که آب را به یک سفره آب زیرزمینی اضافه میکند، تغذیه مصنوعی میگویند. هدف تغذیه مصنوعی، احیاء آبهای زیرزمینی است (همتی نژاد، ح. ۱۳۷۶). تغذیه مصنوعی مفهومی جدید است و از زمانی که لزوم اداره کردن مجموعه منابع آب در چهار چوب حوضه های بزرگ طبیعی آشکار شد این مفهوم نیز به وجود آمد ولی با این وجود قدمت تغذیه مصنوعی به زمانهای بسیار کهن میرسد (ژان بیز، لوسین بورگه و ژاک لوموان ۱۳۶۹). فرآیند تغذیه به خودی خود مصنوعی نیست، آنچه مصنوعی است در دسترس بودن آب در یک مکان و زمان خاص است (CGWB 2007). متأسفانه بهره‌برداری از منابع آب‌زیرزمینی به دلیل اطمینان و صرفه اقتصادی آن، توسعه یافته است، این در حالی است که در اقصی نقاط کشور به امر تغذیه مصنوعی آبخوانها اهمیت داده نشده و فقط رسیدن به سود کوتاه مدت، بدون سرمایه گذاری در جهت توسعه و پایداری منابع، مورد توجه قرار گرفته است. از روشهای تقویت سفره آب‌زیرزمینی استفاده از روشهای مختلف تغذیه مصنوعی نظیر پخش سیلاب، حوضچه های تغذیه، گودالهای تغذیه، تغذیه واداری، سدهای زیرزمینی و... است. (Bouwer, H.2002)

هدف از تغذیه مصنوعی آب های زیرزمینی کاهش، توقف و یا حتی معکوس کردن سطوح کاهشی آب زیرزمینی است. آب ذخیره شده در مخازن سطحی در معرض تبخیر و آلودگی است که ممکن است با ذخیره سازی زیرزمینی از آن جلوگیری شود. در بیشتر شرایط پروژه های تغذیه مصنوعی نه تنها به عنوان عامل مکانیسم حفاظت از آب عمل می کند، بلکه بر غلبه بر مشکلات مرتبط با اضافه برداشت کمک میکند. (UNESCO. 2006) به طور کلی اهداف یک پروژه تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی میتواند شامل جبران کمبود آب در آبخوانها، پس زدن آب شور در سفره‌های آب زیرزمینی، بهبود کیفیت آب، استفاده تلفیقی از آبهای سطحی و زیرزمینی، تغذیه جهت کاهش هزینه های پمپاژ در چاههای عمیق، تغذیه جهت تقلیل خطرات وقوع زلزله به ویژه در نواحی گسل خورده، تصفیه فاضلاب ها و کاهش مقدار تبخیر باشد. در دنیا طرحهای مختلف آبخوانداری و تغذیه مصنوعی با روشهای گوناگون و استفاده از مجموعه‌ای از بندهای انحرافی و رسوبگیر، کانالهای ذخیره و حوضچه های تغذیه به منظور استحصال منابع آب و تقویت منابع آب زیرزمینی اجرا شده است. تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به عنوان راهکاری مؤثر در مدیریت پایداری منابع آب، در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است بنابراین در این مطالعه سعی شده است انواع روشهای تغذیه آبهای زیرزمینی معرفی و مقایسه شود. این تحقیق از نوع مقاله مروری است و بر اساس تحلیل و بررسی نتایج مطالعات پیشین انجام شده در این حوزه، به مقایسه و



ارزیابی روش های مختلف پرداخته است. در ادامه، نتایج چندین تحقیق مرتبط در این زمینه ارائه می شود:

۱-۱. معرفی روش های تغذیه مصنوعی آبخوان ها

در مقاله ای که در هفدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران منتشر شده است، روش های مختلف تغذیه مصنوعی از جمله پخش سیلاب، حوضچه های تغذیه، تغذیه واداری و سدهای تغذیه معرفی شده اند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که روش پخش سیلاب در اراضی با توپوگرافی یکنواخت و مسطح و روش جوی و شیار در مکان های با توپوگرافی نامنظم قابل اجرا هستند. همچنین، حوضچه های تغذیه به موازات مسیر جریان با هدف افزایش زمان توقف آب برای تغذیه ساخته می شوند. (مهدی سلیمانی مطلق وطیبه سپه وند)

۲-۱. مروری بر روش های تغذیه مصنوعی و مکان یابی آن ها

این مطالعه به بررسی روش های مختلف تغذیه مصنوعی، اهداف آن و پارامترهای مؤثر در مکان یابی تغذیه مصنوعی پرداخته است. نتایج نشان داد که تغذیه مصنوعی می تواند به جبران کاهش منابع آب زیرزمینی کمک کند. (Bouwer, 2002) انتخاب مکان مناسب برای اجرای این روش ها از اهمیت بالایی برخوردار است و عواملی چون شرایط هیدروژئولوژیکی، نوع آبخوان و جنس سازندهای زمین شناسی باید در نظر گرفته شوند. (Scanlon et al., 2010; Zhang & Shao, 2017) همچنین، ارزیابی دقیق وضعیت منابع آب و وضعیت اقتصادی منطقه می تواند بر انتخاب بهترین روش ها و مکان ها تأثیرگذار باشد. (UNESCO, 2006).

۳-۱. اهمیت تغذیه مصنوعی در دشت ایرانشهر

در تحقیقی که در دهمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار ارائه شده است، به بررسی اهمیت تغذیه مصنوعی آبخوان دشت ایرانشهر پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد که استفاده از سازه های مناسب برای بهره برداری از رواناب های سطحی می تواند به بهبود وضعیت منابع آبی و کاهش اثرات خشکسالی کمک کند. (صابره خرد ناروئی، محمد نهتانی وحسام عرب).

۴-۱. مکانیابی تغذیه مصنوعی با استفاده از GIS :

در مطالعه ای که در مجله «سامانه های سطوح آگیر باران» منتشر شده است، با استفاده از سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش های تصمیم گیری چندمعیاره، مکان های مناسب برای تغذیه مصنوعی در دشت بیرجند شناسایی شده اند. نتایج نشان می دهد که حدود ۱۴۲ کیلومتر مربع از



مساحت محدوده مورد مطالعه برای تغذیه مصنوعی بسیار مناسب است. (احسان کرباسچی، علی شهیدی، سمیرا منصوری، زینب کریم زاده مطلق وامیر بسکابادی) مجله علمی سامانه های سطوح آگیرباران دوره ۳ جلد- ۱ صفحات ۳۷-۴۸).

۵-۱. مکان یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی با روش Fuzzy AHP در استان تهران

در این مطالعه، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy AHP)، مناطقی در استان تهران برای تغذیه مصنوعی شناسایی شدند. نتایج نشان داد که ۶۲٪ از مساحت کل منطقه برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی بسیار مناسب و ۱۵٫۷۵٪ مناسب است (رامین پاپی، سعید حمزه ومسعود سلیمانی).

۶-۱. تأثیر تغذیه مصنوعی با پساب فاضلاب بر انتقال املاح و آلاینده های بیولوژیکی

تحقیقی با شبیه سازی شرایط حوضچه های تغذیه مصنوعی نشان داد که استفاده از پساب تصفیه شده می تواند به کاهش میزان ازت انتقال یافته به عمق خاک کمک کند (Bouwer, 2002) همچنین، میزان حذف کلیفرم و کلیفرم مدفوعی در تمامی راهبردها بسیار بالا بود و درصد حذفی مابین ۹۷ تا ۹۹ درصد به دست آمد (Scanlon et al., 2010) این یافته ها نشان می دهند که استفاده از پساب فاضلاب به عنوان یک منبع آب در تغذیه مصنوعی می تواند در بهبود کیفیت آب زیرزمینی و کاهش آلودگی های بیولوژیکی مؤثر باشد (Zhang & Shao, 2017; UNESCO, 2006).

۷-۱. تأثیرات اکوسیستم های کشاورزی آبی

کیفیت آب خاک و آب زیرزمینی در دشت های جنوبی تگزاس» نوشته (اسکانلون، ریدی و گیتس ۲۰۱۰) به بررسی تأثیرات آبیاری بر کیفیت آب خاک و آب های زیرزمینی در دشت های جنوبی تگزاس می پردازد. این مطالعه نشان می دهد که آبیاری می تواند تأثیرات قابل توجهی بر کیفیت آب های زیرزمینی داشته باشد و بر اهمیت مدیریت پایدار منابع آب تأکید می کند.

۸-۱. استراتژی هایی برای تغذیه پایدار آب های زیرزمینی تحت سناریو های تغییر اقلیم

نوشته (ژانگ و شائو ۲۰۱۷) به بررسی راهکارهای مؤثر برای تغذیه پایدار آب های زیرزمینی در مواجهه با تغییرات اقلیمی می پردازد. این مطالعه نشان می دهد که تغییرات در الگوهای بارش و افزایش تبخیر و تعرق ناشی از تغییرات اقلیمی می تواند به کاهش تغذیه طبیعی آب های زیرزمینی منجر شود. برای مقابله با این چالش ها، استراتژی هایی مانند مدیریت یکپارچه منابع آب، استفاده از



فناوری‌های کارآمد آبیاری، و اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها پیشنهاد شده است. این راهکارها می‌توانند به حفظ و بهبود منابع آب زیرزمینی در شرایط تغییرات اقلیمی کمک کنند. بعد از بررسی و مرور مقالات فوق نتایج نشان می‌دهد که تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها یک راهکار مؤثر برای مدیریت پایدار منابع آب، مقابله با کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش اثرات خشکسالی است. انتخاب روش و مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی به ویژگی‌های هیدروژیولوژیکی و اقتصادی منطقه بستگی دارد. به کارگیری GIS و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند به شناسایی مکان‌های بهینه برای اجرای این راهکار کمک کند.

۲. مواد و روش کار

این پژوهش به روش مروری و کتابخانه‌ای انجام شده است و هدف آن بررسی روش‌های پایدار تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی از طریق مرور مقالات، مطالعات علمی، گزارش‌های فنی و استانداردهای بین‌المللی است. اطلاعات و داده‌ها از کتب و مقالات معتبر علمی گردآوری شده است. طوریکه در ابتدا کتب و مقالات مرتبط به عنوان جمع آوری و مطالعه گردیده سپس مباحث از آن برداشت و با در نظر داشت تسلسل در بدنه مقاله قرار گرفته است. سرانجام اطلاعات و داده‌ها تحلیل و نتایج آن در اخیر مختصر صورت گرفته است.

۱-۲ روش‌های تغذیه

تغذیه آب‌های زیرزمینی (Groundwater Recharge)

تغذیه آب‌های زیرزمینی فرآیندی است که در آن آب از سطح زمین به سمت لایه‌های زیرزمینی حرکت می‌کند. این فرآیند معمولاً در ناحیه (vadose zone) بخشی از زمین که بین سطح زمین و سطح ایستابی قرار دارد - و اغلب در زیر ریشه‌های گیاهان اتفاق می‌افتد (Freeze & Cherry, 1979). این ناحیه نقشی کلیدی در انتقال آب به سفره‌های زیرزمینی ایفا می‌کند و تغذیه را به عنوان یکی از منابع اصلی آب‌دهی به آبخوان‌ها فراهم می‌سازد. تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌تواند به دو صورت انجام گیرد:

تغذیه طبیعی که در چارچوب چرخه هیدرولوژیکی، به صورت نفوذ نزولات جوی، رواناب سطحی یا جریان‌های سطحی به درون زمین اتفاق می‌افتد.

تغذیه مصنوعی که توسط انسان و با هدف مدیریت منابع آب انجام می‌شود؛ در این روش، آب باران، رواناب، یا حتی فاضلاب تصفیه‌شده به درون زمین هدایت می‌شود تا منابع زیرزمینی تقویت شوند (Bouwer, 2002; Dillon, 2005).

به‌طور کلی، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به دو دسته روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود که هر کدام با توجه به شرایط محیطی، زمین‌شناسی و نوع آبخوان کاربرد خاص خود را دارند (Raju et al., 2006).

۲ روش‌های مستقیم

روش‌های مستقیم تغذیه مصنوعی شامل تکنیک‌هایی هستند که در آن‌ها آب به‌طور مستقیم به آبخوان تزریق یا هدایت می‌شود. این روش‌ها معمولاً در مناطقی به‌کار می‌روند که دارای خاک با نفوذپذیری بالا، عمق کم تا سطح آب زیرزمینی، و یا دسترسی آسان به آبخوان هستند (Bouwer, 2002).

انتخاب روش مناسب بستگی به شرایط هیدروژئولوژیکی (مانند جنس لایه‌ها، عمق سطح ایستابی) و اقلیمی (مانند میزان بارندگی یا خشکی منطقه) دارد. (Dillon, 2005) چنانچه این روش‌ها به‌درستی طراحی و اجرا شوند، می‌توانند نقش قابل‌توجهی در مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی، کاهش افت سطح آب و بهبود کیفیت آن ایفا کنند. (Maliva, 2014) در ادامه، هر یک از روش‌های مستقیم تغذیه، به همراه کاربردها، مزایا و معایب آن‌ها معرفی خواهد شد.

۱-۲- تزریق مستقیم از طریق چاه‌ها (Injection Wells)

✓ توضیح: در این روش، آب به‌طور مستقیم از طریق چاه‌های عمیق به لایه‌های زیرزمینی تزریق می‌شود.

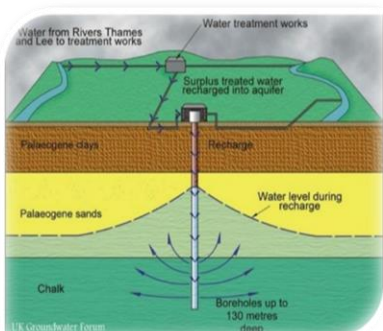
✓ کاربرد:

- مناسب برای مناطقی که دسترسی به سفره‌های عمیق دارند.
- برای احیای آبخوان‌های تخلیه‌شده.

✓ مزایا:

- کنترل بهتر بر جریان و مکان تغذیه.
- مناسب برای مناطقی با لایه‌های بالایی غیرنفوذپذیر.

✓ معایب:



تصویر (۱) Bouwer, H. 2002

• هزینه بالای حفاری و نگهداری چاه‌ها.

• نیاز به تصفیه آب قبل از تزریق. (Bouwer, H. 2002).

۲-۲-۲. حوضچه‌های نفوذ (Recharge Basins)

✓ توضیح: حوضچه‌های سطحی طراحی شده‌اند تا آب را به آرامی در خاک نفوذ دهند و به سفره‌های زیرزمینی برسانند.

✓ کاربرد:

• مناسب برای مناطق با خاک‌های نفوذپذیر.

• استفاده از رواناب‌های سطحی، آب رودخانه یا سیلاب‌ها.

✓ مزایا:

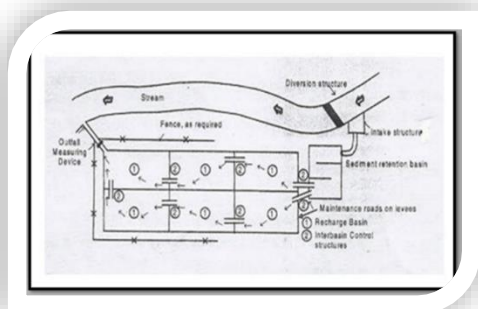
• هزینه پایین‌تر نسبت به چاه‌های تزریقی.

• استفاده از منابع مختلف آب (بارندگی، رودخانه).

✓ معایب:

• نیاز به زمین وسیع.

• امکان مسدود شدن حوضچه‌ها به دلیل رسوبات



تصویر (۲) Patel & Shah, 2008

(Kazemi, G. A., Lehr, J. H., & Peralta, R. C. 2006)

۳-۲-۲. سدهای زیرزمینی (Subsurface Dams)

✓ توضیح: ساخت سدهای زیرزمینی برای جلوگیری از خروج آب زیرزمینی و افزایش ذخیره در سفره‌ها.

✓ کاربرد:

• برای مناطق خشک و نیمه‌خشک.

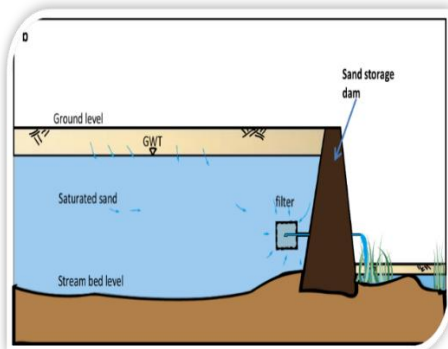
• مناسب برای سفره‌هایی با جریان کم.

✓ مزایا:

• جلوگیری از اتلاف آب به صورت رواناب.

• حفظ کیفیت آب زیرزمینی.

✓ معایب:



تصویر (۳) semanticscholar

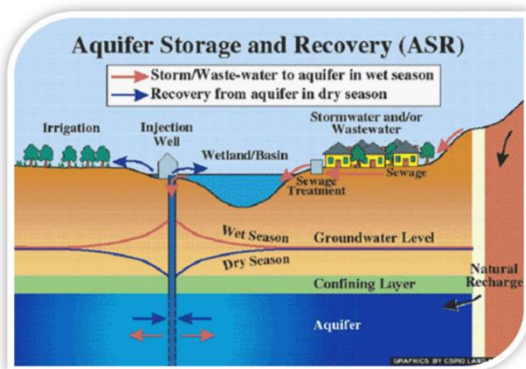
- هزینه ساخت و طراحی بالا.

نیاز به مطالعات دقیق هیدروژئولوژی. (Boisson, A., Villesseche, D., & Perrin, J. 2014).

۲-۴. چاه‌های تغذیه - بازیافت (Aquifer Storage and Recovery - ASR)

✓ توضیح: آب در فصول مرطوب یا زمان‌های اضافی ذخیره و در زمان‌های نیاز از طریق همان چاه‌ها بازیافت می‌شود.

✓ کاربرد:



تصویر (۴) Pyne, R. D. 2005

- مناطق شهری و صنعتی.
- استفاده در مدیریت آب شرب و کشاورزی.
- ✓ مزایا:
- مدیریت هم‌زمان تغذیه و برداشت.
- کاهش نیاز به مخازن سطحی.
- ✓ معایب:
- نیاز به تکنولوژی پیشرفته.
- خطر آلودگی آبخوان (Pyne, R. D. 2005).

۲-۵. نفوذ در کانال‌های طبیعی و رودخانه‌ها (River or Stream Augmentation)

✓ توضیح: آب از طریق کانال‌ها یا رودخانه‌ها هدایت شده و به‌طور طبیعی به لایه‌های زیرزمینی نفوذ می‌کند.



✓ کاربرد:

- استفاده در مدیریت سیلاب‌ها.
- تقویت منابع آب زیرزمینی در طول رودخانه‌ها.
- ✓ مزایا:
- هزینه کم برای ساخت و نگهداری.
- استفاده از جریان طبیعی آب.
- ✓ معایب:

تصویر (۵). کانال قوش تپه sputnik.af

- نیاز به رودخانه یا کانال با نفوذپذیری بالا.
- کنترل کم بر میزان تغذیه (Todd, D. K., & Mays, L. W. 2005)

۲-۲-۶. تغذیه مصنوعی در سازه‌های نفوذپذیر (Infiltration Galleries)

✓ توضیح: سازه‌های زیرسطحی با هدف نفوذ آب به لایه‌های زیرزمینی طراحی می‌شوند.

✓ کاربرد:

- مناطق با محدودیت زمین برای ساخت حوضچه‌های بزرگ.



✓ مزایا:

- کنترل مستقیم بر جریان آب.

- کاهش تبخیر آب.

✓ معایب:

- پیچیدگی در طراحی و ساخت.

- هزینه بالای ساخت.

تصویر (۶) Grist.org

(Todd, D. K., & Mays, L. W. 2005).

۲-۲-۷. تغذیه از طریق کف دریاچه‌ها یا تالاب‌های مصنوعی (Artificial Lakes or Wetlands)

✓ توضیح: ایجاد دریاچه‌ها یا تالاب‌های مصنوعی برای نفوذ طبیعی آب به لایه‌های زیرزمینی.

✓ کاربرد:

- مدیریت منابع آب سطحی.

- تقویت سفره‌های کم‌عمق.

✓ مزایا:

- ایجاد فضای طبیعی و زیستگاه برای

گونه‌های جانوری.

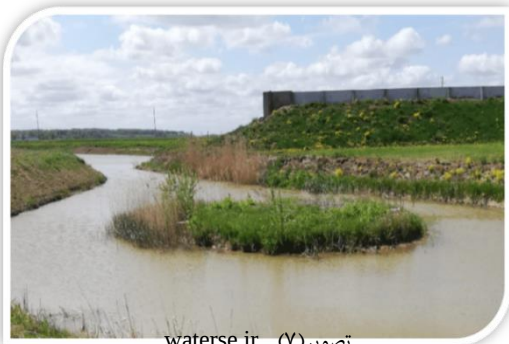
- تغذیه پایدار سفره‌های نزدیک به سطح.

✓ معایب:

- خطر آلودگی منابع آب.

- تبخیر بالا در مناطق گرمسیری

(Acreman, M., & Fisher, J. 2004)



تصویر (۷) waterse.ir

۲-۳-۲- روش‌های غیرمستقیم

روش‌های غیر مستقیم تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی شامل تکنیک‌هایی است که آب را به طور غیرمستقیم وارد لایه‌های زیرزمینی می‌کنند. این روش‌ها بیشتر به تغییرات محیطی و فرآیندهای طبیعی وابسته هستند و معمولاً در مناطقی استفاده می‌شوند که سفره‌های آب زیرزمینی یا خاک نفوذپذیر در دسترس نباشند. روش‌های غیرمستقیم تغذیه مصنوعی بیشتر به استفاده از فرآیندهای طبیعی یا ایجاد تغییرات محیطی برای بهبود نفوذ آب به سفره‌های زیرزمینی متکی هستند. انتخاب روش مناسب بستگی به شرایط منطقه‌ای (هیدرولوژی، زمین‌شناسی و اقلیم) دارد. در ادامه به مهم‌ترین روش‌های غیر مستقیم تغذیه، کاربرد ها، مزایا و معایب آن می‌پردازیم. (Bouwer, 2002; Dillon, 2005)

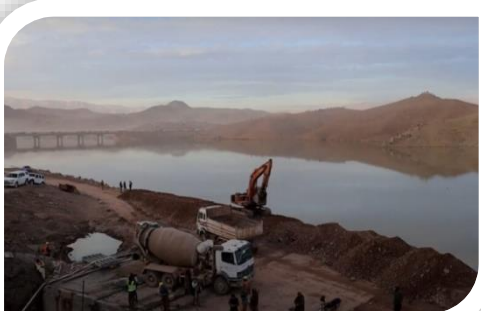
۲-۳-۱. کنترل و ذخیره‌سازی رواناب‌های سطحی (Surface Runoff Control)

✓ توضیح: استفاده از سدها، مخازن یا سازه‌های ذخیره‌سازی برای کاهش رواناب سطحی و تقویت

تغذیه طبیعی آبخوان‌ها.

✓ کاربرد:

- جلوگیری از سیلاب.
- نفوذ تدریجی رواناب به لایه‌های زیرزمینی
- ✓ مزایا:
- کنترل سیلاب و کاهش فرسایش خاک.
- استفاده پایدار از رواناب.



تصویر (۸) (سدپاشدن هرات) social media

✓ معایب:

- نیاز به فضای وسیع برای ساخت سازه‌ها.
- تبخیر آب ذخیره‌شده در مناطق گرمسیری (Scanlon, B. R., Healy, R. W., & Cook, P. G., 2002)

۲-۳-۳. استفاده از سدهای خاکی (Percolation Tanks or Earthen Dams)

✓ توضیح: سدهای کوچک خاکی که آب را برای نفوذ به لایه‌های زیرین ذخیره می‌کنند.

✓ کاربرد:

• تقویت آبخوان‌ها در مناطق نیمه‌خشک.

• جمع‌آوری رواناب در مناطق کشاورزی.

✓ مزایا:

• هزینه ساخت پایین.

• ذخیره آب برای تغذیه تدریجی.

✓ معایب:

• احتمال مسدود شدن به دلیل رسوبات.

• محدودیت در ذخیره‌سازی حجم زیاد آب. (Gale, I. N. 2005)

۲-۳-۴. جنگل‌کاری و کاشت پوشش گیاهی (Forestation and Vegetative Measures)

✓ توضیح: افزایش نفوذ آب به زیرزمین از طریق کاشت درختان و پوشش گیاهی در مناطق

حساس.

✓ کاربرد:

• جلوگیری از رواناب سریع.

• افزایش تغذیه طبیعی سفره‌ها.

✓ مزایا:

• کاهش فرسایش خاک.

• بهبود اکوسیستم منطقه.

✓ معایب:

• زمان‌بر بودن تأثیرگذاری.

• نیاز به نگهداری مداوم پوشش گیاهی (Sharda, V. N., & Sikka, A. K. 2009)

۲-۳-۵. موانع زیرسطحی (Subsurface Barriers)

✓ توضیح: ساخت موانع زیرزمینی برای جلوگیری از خروج آب

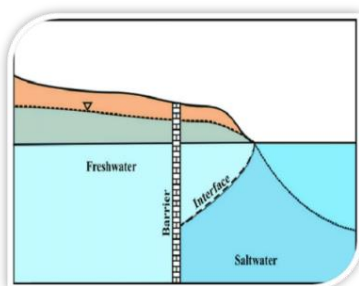
زیرزمینی و افزایش ذخیره آن.

✓ کاربرد:

• مدیریت سفره‌های کم‌عمق.



تصویر (۱۰) SNN.IR



- جلوگیری از هدررفت آب زیرزمینی به مناطق غیرقابل دسترس.

✓مزایا:

تصویر (۱۱) researchgate

- حفظ کیفیت آب زیرزمینی.

- هزینه نسبتاً کم نسبت به سدهای سطحی.

✓معایب:

- محدودیت در استفاده برای آبخوان‌های عمیق.

- نیاز به مطالعات دقیق هیدروژئولوژی (Sakthivadivel, R. 2007).

۲-۳-۶. اصلاح خاک‌های نفوذناپذیر (Soil Modification)

✓توضیح: اصلاح یا شکستن لایه‌های نفوذناپذیر

خاک (مانند رس) برای افزایش نفوذ

آب.

✓کاربرد:

- مناطق با خاک‌های غیرقابل نفوذ.

✓مزایا:

- افزایش سرعت تغذیه آبخوان‌ها.

✓معایب:

- نیاز به تجهیزات و هزینه بالا.

- خطر تغییرات غیرقابل بازگشت در اکوسیستم خاک. (Dillon, P. 2005)

۲-۳-۷. استفاده از سیستم‌های زهکشی معکوس (Reverse Drainage Systems)

✓توضیح: استفاده از سیستم‌های زهکشی برای هدایت آب به سمت آبخوان‌ها به جای تخلیه.

✓کاربرد:

- مناطق کشاورزی.

✓مزایا:

- کاهش هدررفت آب.

- مدیریت هم‌زمان تغذیه و رواناب.

✓معایب:



تصویر (۱۲). موتور جستجوی قطره



- پیچیدگی در طراحی و اجرا. (Pyne, R. D. 2005).

۳-۸. کنترول فرسایش و استفاده از بندهای کوچک (Check Dams and Gully Plugs)

✓ توضیح: ساخت بندهای کوچک در مسیر جریان‌های سطحی برای کاهش سرعت جریان و تقویت نفوذ آب.

✓ کاربرد:

- تقویت سفره‌ها در مناطق کوهستانی و شیب‌دار.

✓ مزایا:

- کاهش رواناب و سیلاب‌های محلی.

- احیای منابع آب زیرزمینی.

✓ معایب:

- محدودیت در ذخیره حجم زیاد آب. (Singh, G., & Panda, R. K. 2012).

۳. یافته‌های تحقیق

۳-۱. مقایسه کلی روش‌های مستقیم و غیرمستقیم

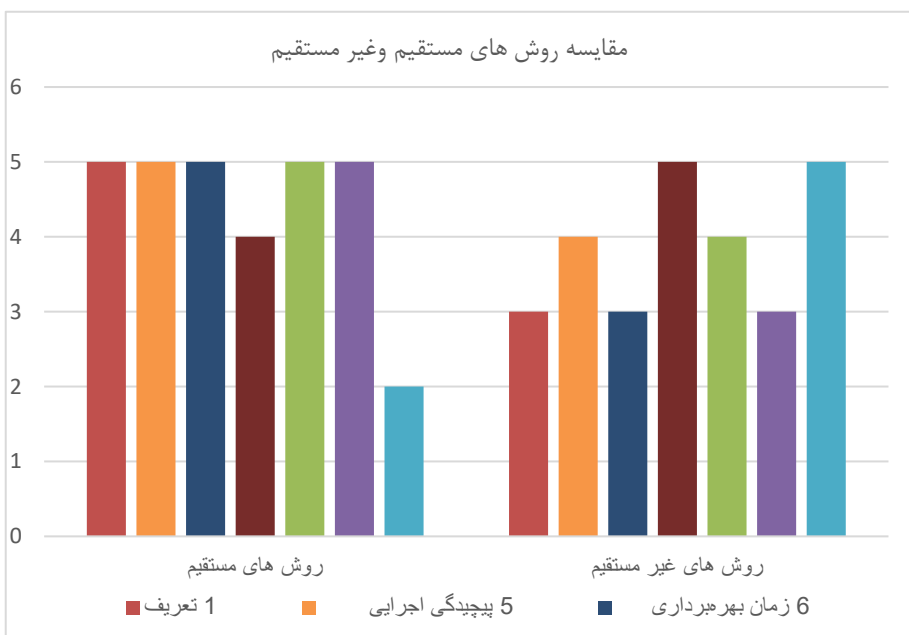
روش‌های مستقیم برای مناطقی با تقاضای فوری و کنترل دقیق مناسب‌تر می‌باشند، درحالی‌که روش‌های غیرمستقیم برای مناطق گسترده‌تر و شرایطی که تأثیرات بلندمدت مدنظر است، کاربرد بیشتری دارند. ترکیب این روش‌ها در چارچوب یک برنامه مدیریت یکپارچه منابع آب می‌تواند بهترین نتایج را برای حفظ و بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی به همراه داشته باشد.

جدول (۱) مقایسه‌ای بین روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی

شماره	معیار	روش‌های مستقیم	روش‌های غیر مستقیم	ملاحظات
۱	تعریف	انتقال مستقیم آب به سفره‌های زیرزمینی با استفاده از حوضچه‌ها، چاه‌ها و سدها	استفاده از فرآیندهای طبیعی مانند اصلاح بستر رودخانه‌ها و سدهای زیرسطحی	
۲	هزینه	بالا (نیاز به زیرساخت‌ها و نگهداری)	پایین‌تر به دلیل استفاده از فرآیندهای طبیعی	

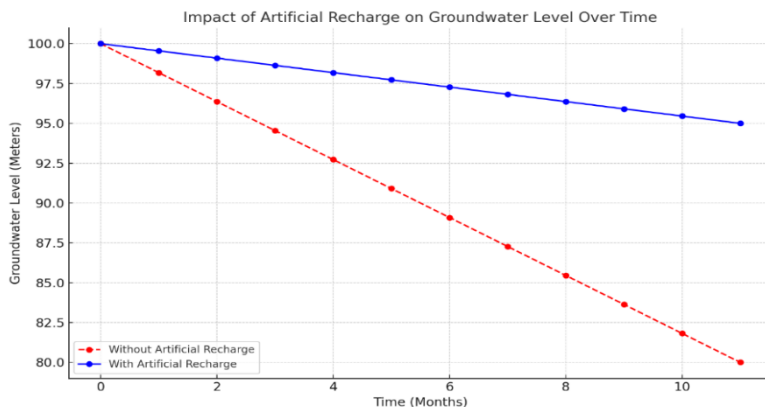


۳	کارایی (نرخ تغذیه)	بالا (قابل کنترل و هدفمند)	(وابسته به شرایط طبیعی منطقه)	متوسط
۴	اثر زیست محیطی	ممکن است با تغییر زیست بوم های طبیعی همراه باشد	سازگارتر با محیط زیست	
۵	پیچیدگی اجرایی	نیاز به فناوری و تجهیزات پیشرفته	ساده تر و مقرون به صرفه تر	
۶	زمان بهره برداری	کوتاه مدت	بلند مدت	
۷	نگهداری و تعمیرات	نیازمند تعمیرات دوره ای و پیچیده	نگهداری ساده تر	



گراف (۱) مقایسه روش های مستقیم و غیر مستقیم از لحاظ هزینه، کارایی، پیچیدگی اجرایی، اثرات زیست محیطی و نگهداری.

افزایش بازده سلول های خورشیدی: تحقیق در مورد روش های لایه نشانی و بهینه سازی شرایط فرآیندی می تواند بهبود قابل توجهی در بازده تبدیل انرژی سلول های خورشیدی ایجاد کند. این امر می تواند به کاهش هزینه های تولید و افزایش کاربرد سلول های خورشیدی در مقیاس وسیع کمک کند.



گراف (۲) تاثیر تغذیه مصنوعی بر سطح آبهای زیرزمینی در بازه زمانی ۱۰ ساله Bouwer, H. 2002

۴- بحث و نتیجه گیری

۴-۱. چالش‌های تغذیه مصنوعی به روش‌های مستقیم

تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به روش‌های مستقیم چالش‌هایی دارد که باید در نظر گرفته شوند. این چالش‌ها شامل مسائل فنی، زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است.

❖ هزینه‌های بالا

✓ روش‌های مستقیم به زیرساخت‌های پیشرفته مانند چاه‌های تزریقی، حوضچه‌های نفوذ، یا سدهای سطحی نیاز دارند.

✓ هزینه بالای ساخت، بهره‌برداری و نگهداری ممکن است برای مناطق با منابع محدود، چالش بزرگی باشد.

❖ پیچیدگی فنی

✓ نیاز به تجهیزات پیشرفته، متخصصان فنی، و فناوری‌های مدرن.

✓ طراحی و اجرای پروژه‌ها باید به گونه‌ای باشد که نشت یا اتلاف آب به حداقل برسد.

❖ تأثیرات زیست‌محیطی

✓ ممکن است اکوسیستم‌های طبیعی منطقه (مانند تالاب‌ها یا زیستگاه‌های حیوانی) تحت تأثیر قرار بگیرند.

✓ تغییر در جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌تواند باعث شور شدن خاک یا کاهش کیفیت آب شود.



❖ : منابع محدود آب

✓ در اقلیم خشک افغانستان، آب سطحی کافی برای تغذیه مستقیم ممکن است در تمام فصول در دسترس نباشد.

✓ کاهش منابع آب موجود ممکن است به کاهش اولویت این روش منجر شود.

❖ : نگهداری و تعمیرات

✓ نگهداری منظم و پیچیده تجهیزات مانند چاه‌های تزریقی و حوضچه‌ها نیازمند هزینه و نیروی انسانی ماهر است.

✓ خرابی یا نقص فنی می‌تواند موجب کاهش کارایی روش شود.

❖ : آلودگی آب زیرزمینی

✓ اگر کیفیت آب تزریقی کنترل نشود، ممکن است باعث آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی شود.

✓ استفاده از آب آلوده یا غیر تصفیه‌شده می‌تواند خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی ایجاد کند.

❖ : پذیرش اجتماعی

✓ عدم آگاهی یا اعتماد جامعه محلی نسبت به این روش‌ها می‌تواند مانع اجرای موفقیت‌آمیز پروژه‌ها شود.

✓ نیاز به مشاوره و همکاری با جوامع محلی برای رفع نگرانی‌ها و جلب حمایت.

برای غلبه بر این چالش‌ها، ارزیابی دقیق فنی و اقتصادی، اجرای برنامه‌های آموزشی برای جوامع محلی، و تدوین طرح‌های پایدار و کم‌هزینه ضروری است. به علاوه، ترکیب روش‌های مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند برخی از این چالش‌ها را کاهش دهد.

۲-۴. چالش‌های تغذیه مصنوعی به روش‌های غیرمستقیم

تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به روش‌های غیرمستقیم نیز با چالش‌هایی مواجه است که به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند افغانستان اهمیت بیشتری دارند.

❖ : وابستگی به شرایط طبیعی

✓ روش‌های غیرمستقیم به شدت به فرآیندهای طبیعی مانند نفوذپذیری خاک، شیب زمین، و بارندگی وابسته‌اند.



- ✓ در مناطقی با خاک نفوذناپذیر (مانند خاک‌های رسی) یا بارش ناکافی، این روش‌ها کارایی کمتری دارند.
- ❖ زمان بر بودن
- ✓ این روش‌ها به زمان بیشتری برای تأثیرگذاری نیاز دارند، زیرا فرآیند تغذیه به تدریج و به‌طور طبیعی انجام می‌شود.
- ✓ برای مناطقی که نیاز فوری به تغذیه منابع آب زیرزمینی دارند، این روش‌ها گزینه مناسبی نیستند.
- ❖ پیچیدگی در طراحی
- ✓ طراحی مناسب برای اصلاح بستر رودخانه‌ها، احداث سدهای زیرسطحی یا دیگر اقدامات طبیعی به مطالعات دقیق زمین‌شناسی و هیدرولوژی نیاز دارد.
- ✓ انتخاب مکان مناسب برای پیاده‌سازی این روش‌ها چالش‌برانگیز است.
- ❖ : کارایی پایین در مناطق خشک
- ✓ در مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، کمبود بارش و منابع آب سطحی می‌تواند منجر به کاهش نرخ تغذیه شود.
- ✓ فقدان منابع آبی کافی، تأثیر این روش‌ها را محدود می‌کند.
- ❖ عدم کنترل دقیق
- ✓ برخلاف روش‌های مستقیم، در روش‌های غیرمستقیم نمی‌توان میزان و سرعت تغذیه را به دقت کنترل کرد.
- ✓ تغییرات اقلیمی، مانند دوره‌های خشکسالی، ممکن است اثرگذاری این روش‌ها را مختل کند.
- ❖ رسوب‌گذاری و کاهش کارایی
- ✓ تجمع رسوبات در بستر رودخانه‌ها یا مناطق نفوذ می‌تواند نفوذپذیری خاک را کاهش داده و عملکرد این روش‌ها را محدود کند.
- ✓ نیاز به نگهداری منظم برای جلوگیری از انسداد بستر وجود دارد.
- ❖ : تأثیرات اجتماعی و فرهنگی
- ✓ ممکن است جوامع محلی آگاهی کافی از فواید و اهداف این روش‌ها نداشته باشند.



✓ بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آبی مرتبط می‌تواند تنش‌های اجتماعی یا تعارضات محلی ایجاد کند.

❖ دشواری در ارزیابی عملکرد

✓ ارزیابی دقیق کارایی روش‌های غیرمستقیم دشوار است، زیرا نتایج تغذیه معمولاً در بلندمدت مشخص می‌شود.

✓ اندازه‌گیری و مانیتورینگ نتایج به تجهیزات و زمان بیشتری نیاز دارد.

روش‌های غیرمستقیم تغذیه مصنوعی می‌توانند در مناطقی با منابع محدود و هزینه‌های پایین مناسب باشند، اما کارایی آن‌ها به شدت وابسته به شرایط طبیعی و طراحی صحیح است. برای غلبه بر این چالش‌ها، مطالعات محلی، آموزش جوامع، و ترکیب این روش‌ها با روش‌های مستقیم توصیه می‌شود.

۳-۴. تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی یکی از ابزارهای مهم و کارآمد برای مدیریت پایدار منابع آب در مناطق مختلف جهان، به‌ویژه در مناطقی با کمبود منابع آب و تغییرات اقلیمی است. این روش‌ها، با هدف افزایش ذخایر آب زیرزمینی، بهبود کیفیت آب، و تضمین تأمین آب برای مصارف شرب، زراعت، و صنعتی طراحی و اجرا می‌شوند. در این تحقیق، دو گروه اصلی روش‌های تغذیه مصنوعی، مستقیم و غیرمستقیم، مورد بررسی قرار گرفتند. روش‌های مستقیم به‌صورت هدفمند و طراحی‌شده آب را مستقیماً به آبخوان‌ها وارد می‌کنند. این روش‌ها شامل حوضچه‌های نفوذ، چاه‌های تغذیه، سدهای نفوذپذیر و کانال‌های تغذیه هستند. این تکنیک‌ها به دلیل کارایی بالا در انتقال حجم زیاد آب و کنترل فرآیند تغذیه، معمولاً در پروژه‌های بزرگ و مناطق شهری و صنعتی استفاده می‌شوند. از مزایای روس می‌توان به سرعت و دقت بالا در تغذیه و امکان کنترل کیفیت آب اشاره کرد. هزینه بالا، ساخت و نگهداری و نیاز به ارزیابی‌های هایدروژیولوژیکی نیز به عنوان یک چالش در این روش می‌تواند باشد. روش‌های غیرمستقیم بر استفاده از فرآیندهای طبیعی و تغییرات محیطی برای تقویت نفوذ آب به لایه‌های زیرزمینی متمرکز هستند. این روش‌ها شامل اصلاح بستر رودخانه‌ها، ساخت سدهای خاکی، استفاده از پوشش گیاهی، موانع زیرسطحی، و سیستم‌های زهکشی معکوس می‌باشند. هزینه‌های کمتر ساخت و سازگاری با محیط زیست از جمله مزایای این روش می‌باشد. زمان بر بودن تاثیر گزاری و نیاز به نگهداری مداوم نیز از جمله چالش‌های این روش خواهند بود.

۵. پیشنهادات

- انتخاب روش مناسب بر اساس شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی منطقه باید صورت گیرد.



- تحقیقات بیشتر و جامع تری در این مورد باید انجام شود.
- اثرات بلند مدت طرح باید مورد بررسی قرار گیرد.
- انجام ارزیابی‌های محیط زیستی (EIA) قبل از اجرای طرح‌ها برای جلوگیری از اثرات منفی بر اکوسیستم‌های محلی
- برای بهبود عملکرد حوضچه‌ها از مواد طبیعی نفوذ پذیر استفاده شود.
- جهت جلوگیری از نشت و تبخیر آب از روش‌های نوین مدیریت آب استفاده گردد.
- دوره‌های آموزشی و آگاهی دهی برای کشاورزان در قسمت اهمیت طرح‌های تغذیه ارائه گردد.
- از مدل مشارکتی دولت، بخش خصوصی، وجوامع محلی برای اجرای طرح تغذیه استفاده گردد.
- تشویق جوامع محلی به مشارکت در اجرا و نگهداری از طرح‌های تغذیه
- برای استفاده از آب باران که روی خانه‌ها می‌بارد و تزریق آن به آب‌های زیرزمینی، می‌توان از روش‌های مختلفی بهره برد که هم مدیریت آب باران را بهبود بخشد و هم به تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها کمک کند. که باعث
- کاهش هدررفت آب باران و جلوگیری از رواناب شهری
- افزایش سطح آب زیرزمینی و مقابله با خشکسالی
- کاهش احتمال سیلاب‌های ناگهانی در شهرها

۶. فهرست منابع

1. Acreman, M., & Fisher, J. (2004). Wetlands and water storage: Functions for sustainable development. *Hydrological Sciences Journal*, 49(2), 223-237.
2. Ahmad, S., & Wasiq, M. (2004). *Water resource development in Northern Afghanistan and its implications for Amu Darya Basin*. World Bank.
3. Artificial Recharge by Sinha Ray. Available from: https://www.samsamwater.com/library/TP40_6_Artificial_recharge.pdf
4. Beaumont, P. (1989). The Qanat: A traditional water supply system in arid and semi-arid regions. *The Environmentalist*, 9(3), 211-217. <https://doi.org/10.1007/BF01901769>
5. Bouwer, H. (2002). Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 121-142. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0182-4>
6. Boisson, A., Villesseche, D., & Perrin, J. (2014). Subsurface dams: An efficient tool for water management in semi-arid areas. *Journal of Hydrology*, 519(10), 1220-1231.
7. Central Ground Water Board (CGWB). 2007. Manual on Artificial Recharge of Groundwater. Ministry of Water Resources, Government of India, Farida-bad.
8. Dash, S. K., & Hunt, J. C. R. (2007). Variability of climate change in India. *Current Science*, 93(6), 782-788



9. Dillon, P. (2005). Future management of aquifer recharge. *Hydrogeology Journal*, 13(1), 313-316. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0413-6>
10. Ghassemi, F., Jakeman, A. J., & Nix, H. A. (1995). *Salinization of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies*. UNSW Press.
11. Gale, I. N. (2005). Strategies for managed aquifer recharge (MAR) in semi-arid areas. *UNESCO IHP-VI Series on Groundwater*, 2, 1-16.
12. Kazemi, G. A., Lehr, J. H., & Peralta, R. C. (2006). *Groundwater age*. Wiley-Interscience.
13. Maliva, R., & Missimer, T. M. (2012). *Arid lands water evaluation and management*. Springer.
14. Mohammad Farid Masoom. Artificial Recharge of Groundwater as a Management Tool for the Kabul Basin, Afghanistan
15. Pyne, R. D. (2005). *Aquifer storage recovery: A guide to groundwater recharge through wells*. CRC Press.
16. Qureshi, A. S., & Ashraf, M. (2019). Strategies for sustainable groundwater management in Afghanistan. *Water International*, 44(5), 611-628. <https://doi.org/10.1080/02508060.2019.1615550>
17. Sakthivadivel, R. (2007). Subsurface dams for water storage and groundwater recharge. *IWMI Technical Paper Series*.
18. Scanlon, B. R., Reedy, R. C., & Gates, J. B. (2010). Effects of irrigated agroecosystems: Water resources. *Water Resources Research*, 46(6).
19. Scanlon, B. R., Healy, R. W., & Cook, P. G. (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 18-39.
20. Scanlon, B. R., Reedy, R. C., & Gates, J. B. (2010). Effects of irrigated agroecosystems: Water resources. *Water Resources Research*, 46(6).
21. Singh, G., & Panda, R. K. (2012). Effectiveness of gully plugging structures for soil and water conservation. *Land Degradation & Development*, 23(3), 213-222.
22. Sharma, S. K., & Tjandraatmadja, G. (1997). Sustainable water resources management for arid regions. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123(2), 110- [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1997\)123:2\(110\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1997)123:2(110))
23. Sharda, V. N., & Sikka, A. K. (2009). Participatory watershed management programmes for sustainable development. *Agricultural Water Management*, 96(11), 1509-1520.
24. Todd, D. K., & Mays, L. W. (2005). *Groundwater Hydrology*. John Wiley & Sons
25. UNESCO. (2006). *Recharge systems for protecting and enhancing groundwater resources*. International Hydrological Programme, UNESCO Publishing.
26. Zhang, Y., & Shao, M. A. (2017). Strategies for sustainable groundwater recharge under changing climate scenarios. *Water Resources Management*, 31(12), 3643-3658.

۲۷. ژان بیز، لوسین بورگه و ژاک لوموان ۱۳۶۹. تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، ترجمه جلال

حیدر پور، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۲۲۶ص

۲۸. کوثر، س. ۱۳۸۴ توسعه پایدار به سمت حاشیه مسیر سبز. مجله علوم کوهستان ۲(۳): ۲۳۳-۲۴۳ ..



۲۹. همتی نژاد، ح. ۱۳۷۶ استفاده از مدل‌های آبریززمینی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۸۴ ص
۳۰. مکان یابی مدیریت تغذیه اکویفر در شهر کابل، افغانستان، با استفاده از تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاری و سیستم معلومات جغرافیایی <https://link.springer.com/journal/10040>
۳۱. یوسفی راد، م.، صفایی، ر و بخشایی، م. ۱۳۸۷ محاسبه حجم آبرفت آبخوان. استفاده از جی ای اس (مطالعه موردی دشت کومیجان اراک).
۳۲. همایش ژئوماتیک ۸۷ و چهارمین همایش یکسان سازی نام‌های جغرافیایی. سازمان نقشه برداری کشور.