تغذيه مصنوعي در بستر رودخانه‌هاي مناطق شهري (مطالعه موردي رودخانه كرج)

جواد مظفري*[۱]، محمدحسين اميد[۲] و حسن رحيمي[۳]
[۱] دانشجوي كارشناسي ارشد گروه مهندسي آبياري و آباداني، دانشگاه تهران، ايران
[۲و۳] اعضاء هيئت علمي گروه مهندسي آبياري و آباداني، دانشگاه تهران، ايران

(تاريخ دريافت: ۸۳/۸/۱۶، تاريخ تصويب: ۸۴/۵/۱۵)

چكيده

آمارها در دشت كرج حكايت از افت شديد سطح آب زيرزميني و بيلان منفي سفره آب زيرزميني دارد. اين موضوع در دراز مدت ممكن است سبب كاهش كيفيت منابع آب، افزايش هزينه‌هاي برداشت و از بين رفتن مخازن زيرزميني در اثر نشست زمين شود و از اين رو بايد است راه حلي براي اين مشكل يافته شود. در اين مقاله، امكان تغذيه مصنوعي در بستر رودخانه كرج در حدفاصل بند بيلقان تا معادن شن و ماسه در نزديكي سرحد آباد، براي افزايش تغذيه سفره‌های آب زيرزميني، مورد بررسي قرار گرفته است. بدين منظور با استفاده از آمار ۳۰ ساله از چاهك‌هاي پيزومتري حفر شده در دشت مورد بررسي، مشخص شد كه سطح آب زيرزميني در سال هاي اخير افت شديدی داشته است. براي توجيه وجود حجم كافي آب براي تغذيه در بستر رودخانه، آمار سال هاي ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۲ مورد بررسي قرار گرفت و مشخص شد كه به طور ميانگين سالانه بيش از ۹۲ ميليون متر مكعب آب از ناحيه مورد نظر مي‌گذرد. براي تعيين نفوذ پذيري سطحي بستر رودخانه، دو حوضچه آزمايشي نفوذ احداث شد. بر اساس نتايج آزمايش هاي انجام شده، پس از يک دوره سه هفته‌اي، نفوذي بيش از ۱۰۳ ليتر در ثانيه در هكتار اندازه‌گيري شد. با توجه به مساحت ۱۵۰ هكتاري بستر موجود، روزانه بيش از ۱/۳ ميليون متر مكعب قابليت نفوذ و تغذيه وجود دارد. براي تعيين امكان انتقال آب سطحي به آب‌هاي زيرزميني، مقاطع زمين شناسي و لايه بندي خاك مورد بررسي قرار گرفت و با توجه به نبود لايه‌هاي رسي با نفوذ كم و همچنين قابليت انتقال بيش از ۲۰۰۰ متر مربع در روز سهولت پيوستن آب سطحي به آب‌هاي زيرزميني تاييد شد. در نهايت براي طراحي بندهاي عرضي، دو روش شيب تعادل و رونديابي مورد بررسي قرار گرفت. نتايج نشان داد فرسايش ناچيزي در شرايط طراحي مورد نظر رخ مي‌دهد و بنابراين روش دوم به عنوان روشي مناسب انتخاب شد. از اين رو از روش رونديابي و نرم افزار HEC-RAS براي تعيين مكان و ارتفاع بندها استفاده شد.

واژه‌هاي كليدي: آستانه حركت رسوبات، بستر رودخانه، بندهاي عرضي، تغذيه مصنوعي، رونديابي سيلاب و نفوذپذيري

نويسنده مسئول: تلفن: ۰۲۱-۳۳۷۰۱۷۰۳ فاكس: E-mail: Javad_370@yahoo.com

مقدمه

توسعه روزافزون بهره‌برداري از منابع آب زيرزميني، سبب افت سطح آب‌هاي زيرزميني شده است و ادامه اين روند پيامدهاي ناگواري را به همراه دارد. پايان يافتن ذخاير آب، كاهش كيفيت منابع، افزايش هزينه‌هاي برداشت، از بين رفتن مخازن زيرزميني در اثر نشست زمين و پيشروي آب شور درياها، برخي از آثار مخرب استفاده بي رويه از منابع آب زيرزميني است. تنها عامل كاهش منابع آب زيرزميني ، برداشت بي رويه از آن نيست. در مواردي كاهش تغذيه طبيعي در حوضه‌هاي آبخيز، در نتيجه از بين رفتن پوشش گياهي،گسترش شهرها بر روي مخروط افكنه‌ها از عوامل تشديدكننده كاهش منابع آب هستند.

آمارها در دشت كرج حكايت از افت شديد سطح آب زيرزميني (بيش از ۳۰ متر) بر اثر برداشت‌هاي بي رويه، در سال هاي اخير دارد كه ممكن است سبب نابودي سفره شود. تغذيه كننده اصلي سفره آب زيرزميني اين دشت، رودخانه كرج است كه در حال حاضر آب آن با احداث سد كرج ،بيشتر به مصرف شرب مردم تهران مي‌رسد. اين موضوع موجب خشك شدن رودخانه در پايين دست بند بيلقان در بيشتر مواقع سال و كاهش دبي رودخانه در اين ناحيه، در فصل هاى بارندگي شده و در نتيجه تا حد زيادي از ورود آب به سفره كاسته شده است. منبع ديگر تغذيه طبيعي سفره كرج ، رواناب موجود روي مخروط افكنه كرج در فصل‌هاى بارندگي است كه با افزايش ساخت و سازها بر روي اين مخروط افكنه، تغذيه سفره از اين راه نيز كاهش چشمگيرى يافته است.

تغذيه مصنوعي يكي از راه‌هاي توسعه و احياي منابع آب‌هاي زيرزميني است اين كار با استفاده ازروش هاى مختلفي قابل اجرست. پخش سيلاب، تغذيه در بستر رودخانه، تغذيه با چاه، روش نهرهاي موازي و تغذيه مصنوعي حوضچه‌اي از جمله‌اين روش‌ها محسوب مي‌شوند. هزينه‌هاي سنگين برداشت آب به صورت سطحي و تبخير زياد از مخازن سطحي از يك سو و وجود دشت‌هاي آبرفتي گسترده كه داراي مخازن زيرزميني مستعد تغذيه مصنوعي هستند، از سوي ديگر، توجه به استفاده از تغذيه مصنوعي رابه عنوان راه حلى مناسب براي احياى منابع آب زيرزميني در ايران مطرح ساخته است.

تاكنون در زمينه آب‌هاي زيرزميني و تغذيه مصنوعي پژوهش هاى زيادي انجام شده است. در سال ١٨٥٦ اصول اساسي حركت آب در خاك، توسط دارسي[1] (٢٣) بيان شد. دوپويي[2] (١١) در سال ١٨٦٣، فرمول جريان پايدار آب به طرف چاه را عنوان كرد. ثبت جريان‌هاي رودخانه‌اي براي تعيين مقدار تغذيه مخازن آب زيرزميني توسط مندل‌هال[3] (٣) در سال ١٩٠٥ بيان شد. روش‌هاي برآورد تخليه و تغذيه آب‌هاي زيرزميني در سال ١٩٢٤ توسط اسميت[4] ابداع شد. نشست زمين در اثر بهره‌برداري بي رويه از منابع آب زيرزميني توسط تولمن[5] (٢٥) مورد بررسي شد. در قرن اخير،كوپر و رورابوغ[6](٢١) جريان آب‌هاي زيرزميني و چگونگي ذخيره سازي آب را در شرايط وقوع سيلاب در رودخانه‌هاي سطحي مورد تجزيه و تحليل قرار دادند. با افزايش تقاضا براي آب، مسئله تغذيه مصنوعي از سال ۱۹۶۰ به طور جدي مورد توجه قرار گرفت. تغييرات سفره آب زيرزميني و گنبد پيزومتري ناشي از تغذيه از حوضچه‌هاي تغذيه مصنوعي با استفاده از فرضيات دوپويي توسط گلور[7](۳) بيان شد. ديويد تاد[8] (۲۴) روش‌هاي مختلف تغذيه مصنوعي و نحوه اندازه‌گيري خيز سطح ايستابي را در نقاط تغذيه بررسي كرد. در سال ۱۹۷۹ ريچارد[9] (۱۹) معادله‌اي را براي بيان حركت آب در محيط

۱- Darcy

۲- Dupait

۳- Smith

۴- Men den hall(1905)

۵- Tolman (1920)

۶- Coper & Rorabaugh (1935)

۷- Glover (1961)

۸- D. Todd

۹- Richards

متخلخل در شرايط غير اشباع ارائه كرد. الهاسمن[1] (۱۳) شرايط نفوذ از حوضچه‌هاي تغذيه مصنوعي را بيان كرد و نحوه حركت آب از حوضچه به سطح سفره آب آزاد را مورد بررسی قرار داد. پدرسون[2] (۱۷) در سال ۱۹۹۶، در مورد حداقل ضخامت مورد نياز ناحيه غير اشباع براي تغذيه، تحقيقاتي را انجام داد. آكان[3] (۶) نيز در سال ۱۹۹۶ بيان كرد كه در بعضي مواقع، فرض خطي در نظر گرفتن معادلات گنبد پيزومتري براي حل تحليلي، ممكن است نادرست باشد و بهتر است معادلات از روش‌هاي عددي و به صورت غير خطي حل شوند. فيليپ[4] (۲۰) در سال ۲۰۰۰، نقش جريان اشباع در تغذيه مصنوعي را بيان كرد. لاكومب[5] (۱۶) در سال ۲۰۰۲ تاثيرهای تزريق طولاني مدت آب‌هاي سطحي بر سفره آب زيرزميني را بيان كرد. كوك[6] (۱۴) در سال ۲۰۰۲ روشي را براي تخمين مقدار تغذيه به سفره ارائه داد. در سال ۱۹۵۵ در كاليفرنيا طرح تغذيه مصنوعي با احداث دو حوضچه آغاز شد و تا سال ۱۹۷۵ در كاليفرنيا به تنهايي ٢٧٦ پروژه مورد بهره‌برداري قرار گرفت (۱۵). در كشور ما نيز كه استفاده از آب‌هاي زيرزميني سابقه دوهزار ساله دارد، اولين طرح‌هاي تغذيه مصنوعي به شكل امروزي از سال ١٣٤٩ با انجام پژوهش هاي طرح تغذيه مصنوعي دشت ورامين آغاز شد (۳) به دنبال آن طي۳۰ سال گذشته طرح هاي تغذيه مصنوعي مختلفي درسطح كشور به اجرا در آمده كه داراي دامنه وسيعي از موفقيت يا عدم موفقيت بوده‌اند.

علاوه بر حوضچه‌هاي نفوذ، استفاده از بستر رودخانه‌ها روش ديگري براي تغذيه مصنوعي مي‌باشد كه به دو روش اصلاح بستر با احداث بندهاي عرضي و روش سدهاي تغذيه‌اي تقسيم مي‌شود. در روش اول، در فواصل مناسب در طول رودخانه و به‌صورت پياپي بندهايي احداث مي‌شود. اين بندها با كاهش شيب سطح آب، موجب كاهش سرعت آن می شوند و ضمن پخش سيلاب در بستر رودخانه، سطح و مقدار نفوذ را افزايش مي‌دهند. در روش دوم، يك سد در مكان مناسبي از رودخانه كه شكل دره، مناسب بوده و مخزن بزرگي داشته باشد، ساخته مي‌شود. مخزن اين سد اين قابليت را دارد كه با ذخيره حجم زيادی از سيلاب در سطحي وسيع، موجب نفوذ آب از راه بستر به سفره آب زيرزميني شود.

رودخانه دريان در شرق دامغان نمونه‌اي از تغذيه مصنوعي در بستر رودخانه است. هدف از اجراي پروژه ياد شده، تقويت سفره دشت دامغان و جلوگيري از خروج سيلاب‌هاي رودخانه بوده است. مشخصه اصلي طرح، افزايش سطح نفوذ و افزايش زمان خروج سيلاب از رودخانه و از مزاياي آن كاهش سيلاب و خسارت ناشي از آن در پايين دست است. از مهم ترين ويژگيهاي طرح، سادگي اجرا و نگهداري، حداقل بودن هزينه‌هاي اجرايي، افزايش تغذيه به روش طبيعي در بستر رودخانه‌و استفاده از امكانات، مصالح و نيروهاي محلي است. احداث سازه‌ها در اين روش با ايجاد يك سطح ثابت در بستر آبراهه مانع فرسايش بيشتر بستر مي شود و با ايجاد بستر جديد با مقطع عريض تر، جريان آب گسترش می يابد و رسوبات وارد شده به آبراهه به مقدار زيادي كاهش پيدا می كند. همچنين سطح مناسبي براي نفوذ آب و تغذيه مصنوعي به وجود مي‌آيد.

روش مزبور داراي مزاياي زير است كه كاربرد آن را اقتصادي تر مي‌كند (۳):

- رودخانه‌ها داراي نفوذ پذيري زيادي در محل مخروط افكنه‌ها هستند؛
- جريان رودخانه در سيلاب‌هاي بزرگ تر، سبب انتقال مواد ريزدانه به پايين دست مي‌شود، بنابراين از كورشدن سطح نفوذ جلوگيري خواهد شد؛
- براي ايجاد تأسيسات تغذيه مصنوعي اراضي جديد اشغال نمي‌شود؛

۱- L.Hausman
۲- Pederson
۳- Osman akan
۴- Philips Dupait
۵- Lacombe
۶- Cook

– داراي مزيت زيست محيطي است و موجب افزايش رشد گياهان در مسير رودخانه‌ها مي شود؛

– هزينه‌هاي اين روش در مقايسه با ساير روش‌هاي تغذيه مصنوعي كمتر است.

به طور كلي براي احيای سفره از روش‌هاي تغذيه مصنوعي به عنوان راهكاري مناسب مي‌توان استفاده كرد كه در اين بين تغذيه سفره از راه بستر رودخانه به دليل كمتر بودن معضلات و هزينه‌ها نسبت به روش‌هاي ديگر،در صورت وجود بستر مناسب رودخانه داراي برتري است.

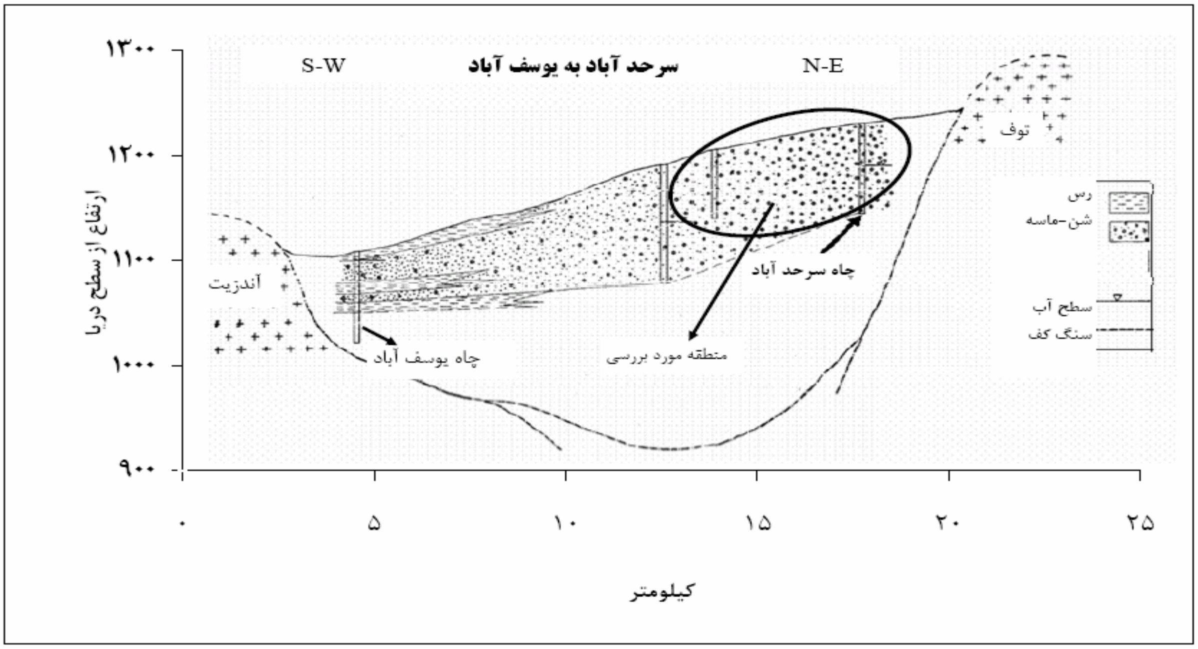
همان‌طور كه اشاره شد، افزايش استفاده از آب‌هاي زيرزميني و كاهش تغذيه طبيعي سفره آب زيرزميني كرج سبب ايجاد بيلان منفي سفره شده است. يكي از راه‌هاي مناسب جبران برداشت‌هاي مازاد از سفره، كنترل سيلاب رودخانه كرج و تزريق به داخل سفره است. در سال هاي اخير حتي با وجود كاهش آب موجود در بستر رودخانه درپايين دست بند بيلقان، سالانه حجم زيادی آب از اين ناحيه رودخانه عبور می كند و مقداري از آن توسط اهالي اطراف رودخانه استفاده می شده و بقيه آن از دشت خارج می شود و به هدر مي‌رود. به دليل اينكه آب سطحي استفاده شده توسط پايين دست از نظر زماني و مكاني محدوديت دارد، با تزريق آن به سفره، علاوه بر ايجاد تعادل در سفره، مي‌توان در زمان‌هاي مورد نياز و در مكان‌هاي دورتر از اطراف رودخانه به صورت برنامه ريزي شده از آن استفاده كرد. با توجه به عريض بودن رودخانه درحد فاصل بند بيلقان تا سرحدآباد، با اصلاح مسير رودخانه در اين ناحيه، كاهش سرعت آب و پخش سيلاب در سطح بستر، مي‌توان نقش تغذيه كنندگي در اين بخش از رودخانه را افزايش داد و آب را وارد سفره كرد. در كل هدف از اين تحقيق بررسي امكان تغذيه مصنوعي در بستر رودخانه كرج در حد فاصل بند بيلقان تا سرحد آباد است.

معرفي منطقه

در تحقيق حاضر با توجه به مساحت زياد بستر رودخانه كرج، استفاده از بستر براي تغذيه مصنوعي، به عنوان راه حل مناسبي براي جبران افت سطح آب زيرزميني انتخاب شد. وجود معادن شن و ماسه در بستر رودخانه نيز مزيت ديگري براي تغذيه مصنوعي در منطقه مورد بررسی تلقي مي شود. در اين بررسي، روش‌هاي ديگر تغذيه مصنوعي از جمله روش حوضچه‌اي، پخش سيلاب و...، به دليل نياز به اراضي، در مقايسه با تغذيه مصنوعي در بستر رودخانه كه كم هزينه تر است، مورد تاييد قرار نگرفت.

مقاطع زمين شناسي و لايه بندي خاك

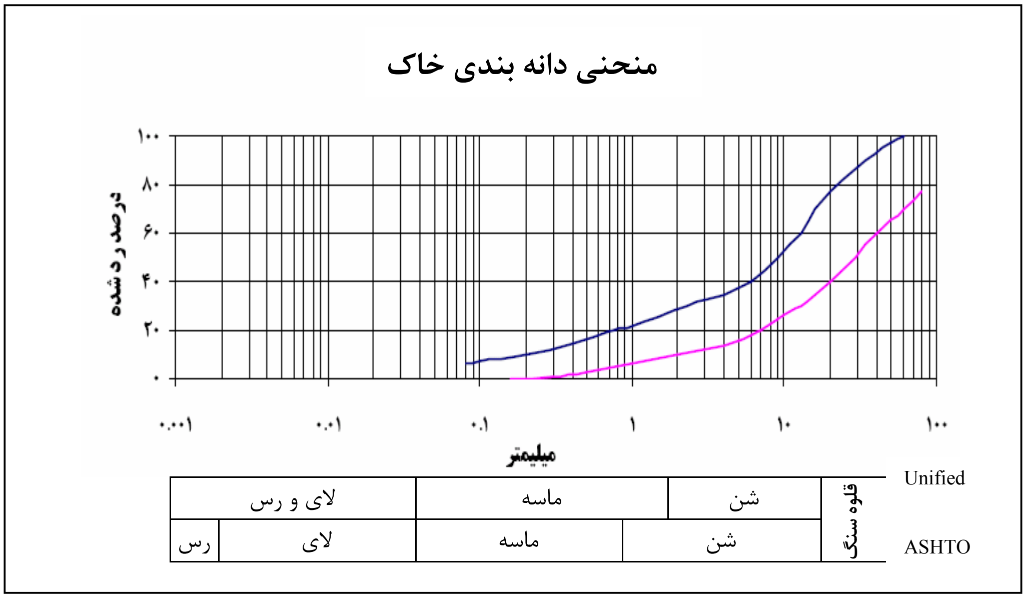
شكل ۱ مقطع زمين شناسي تيپ را در سرحدآباد كرج نشان مي‌دهد. اين محدوده كه پايين ترين ناحيه مورد بررسي در تحقيق حاضر است. كاملا آبرفتي است و هيچگونه لايه نفوذ ناپذير تا عمق ۱۸۰ متري ندارد و در فاصله سطح زمين و عمق آب كه در حدود ۸۰ متر است، لايه رسي يا لايه ای با نفوذ پذيري كم مشاهده نمي‌شود. با توجه به شرايط زمين‌شناسي دشت كرج، با حركت به سمت شمال دشت، لايه‌هاي آبرفتي، درشت دانه تر مي‌شود، از اين رو مي‌توان نتيجه گرفت كه در نواحي بالاتر از سرحدآباد نيز هيچ‌گونه لايه كم نفوذي در عمق وجود ندارد و شرايط نفوذپذيري بهبود مي‌يابد. از سرحد آباد به سمت نواحي جنوبي دشت (يوسف آباد)، كم كم خاک‌هاي ريزدانه و رسي آشكار مي‌شوند كه‌اين مناطق جزو محدوده مورد بررسي نيستند. همچنين بر اساس اندازه‌گيري هاي به عمل آمده در چاه‌هاي موجود در منطقه، قابليت انتقال T، در ناحيه مورد بررسي از دشت كرج بين ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر مربع در روز و حداكثر ضخامت سفره ۳۰۰ متر ثبت شده است (۵).



شكل ١- وضعيت زمين شناسي در پايين ترين قسمت منطقه مورد بررسي در سرحد آباد(۵)

علاوه بر مقطع زمين‌شناسي ياد شده، پروفيل دو چاه نيز بررسي شد. چاه اول در منطقه كلاك (جنب رودخانه) قرار داشت كه تا عمق ۷۵ متري از قلوه سنگ ريز و تا ۲۰۰ متري از قلوه سنگ ريز و درشت و از ۲۰۰ متر به پايين از كنگلومرا تشكيل شده است. چاه دوم جنب پل مترو كه تا ۲۰۰ متري از قلوه سنگ ريز و درشت بدون هيچ لايه رسي و كم نفوذ و لايه‌هاي پايين تر از كنگلومرا تشكيل يافته است. بدين ترتيب ملاحظه مي‌شود كه در منطقه مورد بررسي در حد فاصل بين محدوده بيلقان تا معادن شن و ماسه، هيچ گونه لايه رسي وجود ندارد و اين منطقه به طور كامل آبرفتي و داراي يك سفره آزاد است.

شكل (۲) محدوده منحني دانه بندي مصالح بستر رودخانه كرج را در قسمت مورد بررسی از آبگير بيلقان تا معادن شن و ماسه نشان مي‌دهد. منحني ياد شده، وضعيت دانه بندي تا عمق چهار متري بستر رودخانه را نشان مي‌دهد كه از ماسه، شن و قلوه سنگ تشكيل يافته است.



شكل ۲- منحني دانه بندي مصالح بستر رودخانه كرج را در محدوده مورد مطالعه(۲)

وضعيت آب‌هاي زير زميني

تعيين ارتباط آب سطحي با آب‌هاي زير زميني

ممكن است در صورت وجود يك لايه با نفوذ پذيري بسيار كم، آب نفوذي از بستر به آب‌هاي زيرزميني نرسد و به صورت آب زير سطحي در پايين دست رودخانه، ظهور يابد. براي بررسي اين مسئله راه‌حل‌هاي زير وجود دارد:

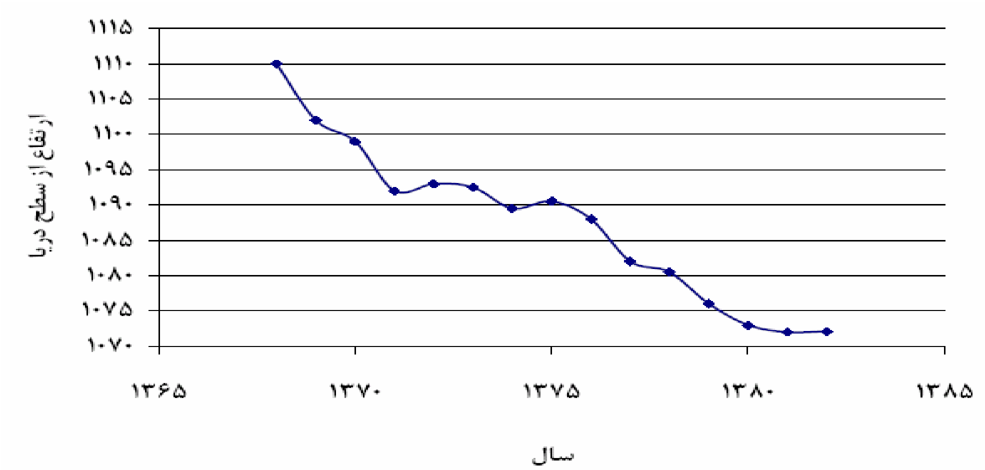
الف- بررسي لايه بندي خاك تا سطح آب‌هاي زير زميني: اگر لايه بندي مناسب و تشكيلات درشت دانه باشد، مسئله حركت آب به سمت آب‌هاي زيرزميني تاحد زيادي حل مي شود؛

ب- با بررسي نوسان های سطح آب چاهك‌هاي پيزومتري نزديك رودخانه، مي‌توان به پيوستگي آب‌هاي سطحي و زيرزميني پي برد؛

ج- با حفر يك چاه آزمايشي در كنار حوضچه آزمايشي علاوه بر ثبت لايه‌هاي خاك، مي‌توان نوسان های سطح آب زيرزميني در قسمت حوضچه آزمايشي را مورد بررسي قرار داد.

وضعيت آب زيرزميني در محدوده موردبررسی

بررسي آمار چاهك‌هاي پيزومتري موجود در محدوده مورد بررسی نشان دهنده افت زياد سطح آب زيرزميني است. چاهك يوسف آباد، افت سطح آب را ۳۷متر طي ۱۵ سال نشان مي‌دهد كه تغييرات آن در سال هاي اخير در شكل ۳ نشان داده شده است. چاهك پيزومتري رزكان نو، افت سطح آب را ۲۷/۵ متر در ١٤ سال و چاهك شمال قلعه فرامرز، افت سطح آب را ۵۵ متر در ۱۸ سال نشان مي‌دهند. آمار چاهك‌هاي پيزومتري و تعداد زيادي از چاه‌هاي موجود در منطقه، نشانه افت سطح آب به مقدار بيش از ۳۰ متر در ۳۰ سال اخير است كه‌اين خود نشان از برداشت زياد از آب زيرزميني در سال هاي اخير دارد اين مسئله با خشكسالي و كمبود آب‌هاي سطحي و در نتيجه كاهش تغذيه طبيعي آب‌هاي زيرزميني همراه شده و موجب افت سطح آب‌هاي زيرزميني شده‌است.



شكل ٣- نمودار تغييرات سطح آب چاهك يوسف آباد كرج

وضعيت آب‌هاي سطحي

تعيين حجم آب قابل تغذيه

براي توجيه منطقي بودن سرمايه‌گذاري روي حجم آب موجود در ناحيه مورد بررسی از حوضه رودخانه كرج،بايد حجم سيلاب ها به طور متوسط در سال هاي گذشته تعيين شود. براي اين كار بايد حجم آب عبوري از ناحيه بيلقان در سال هاي گذشته مورد بررسي قرار گيرد. در اين تحقيق آمار مربوط به سال هاي ١٣٧١ تا١٣٨٢ در جدول ١ آورده شده است.

جدول ١- حجم آب خارج شده از بند بيلقان به سمت پايين دست در سال هاي مورد بررسي (ميليون متر مكعب)

تاريخ	۱۳۷۱	۱۳۷۲	۱۳۷۳	۱۳۷۴	۱۳۷۵	۱۳۷۶	۱۳۷۷	۱۳۷۸	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲
حجم	۱۹۱/۴	۵۳/۵	۱۵۵/۵	۱۱۶/۲	۱۴۲/۹	۷/۰۳	۷۴/۶۰	۱۲/۲۲	۵/۲۹	۱/۰۹	۶۳/۴۹	۱۱۸/۸

نتايج جدول ١ نشان مي‌دهد كه حجم آب قابل تغذيه از فروردين ١٣٧١ تا خرداد ١٣٨٢ بيش از يک ميليارد متر مكعب و با ميانگين ٩٢/٤ ميليون متر مكعب در سال است. همچنين سال هاي ١٣٧١تا ١٣٧٥، سال هاي پر آبي بوده و ميانگين آبدهي در اين سال ها ١١٠ ميليون متر مكعب بوده است. از سال ١٣٧٦ يك دوره كم‌آبي شروع شده كه تا سال ١٣٨١ ادامه داشته است.

تعيين دبي تغذيه

براي تعيين دبي تغذيه، از دبي رودخانه در ماه‌هاي پرآب استفاده شد كه خلاصه آن در جدول ٢ درج شده است.

جدول ٢- تعيين دبي تغذيه(متر مكعب بر ثانيه)

سال	۱۳۷۱	۱۳۷۳	۱۳۷٤	۱۳۷۵	۱۳۸۲
ميانگين	۱۹	۲۱	۱۷/۵	۱۷/۲	۲۱
ماه‌هاي پرآب	ارديبهشت، خرداد، تير	ارديبهشت ،خرداد	ارديبهشت ، خرداد	فروردين، ارديبهشت، خرداد	فروردين، ارديبهشت،خرداد

دبي ميانگين ماه‌هاي پرآب ذكر شده در جدول ٢، برابر١٩/٢ متر مكعب بر ثانيه است.

روش تحقيق

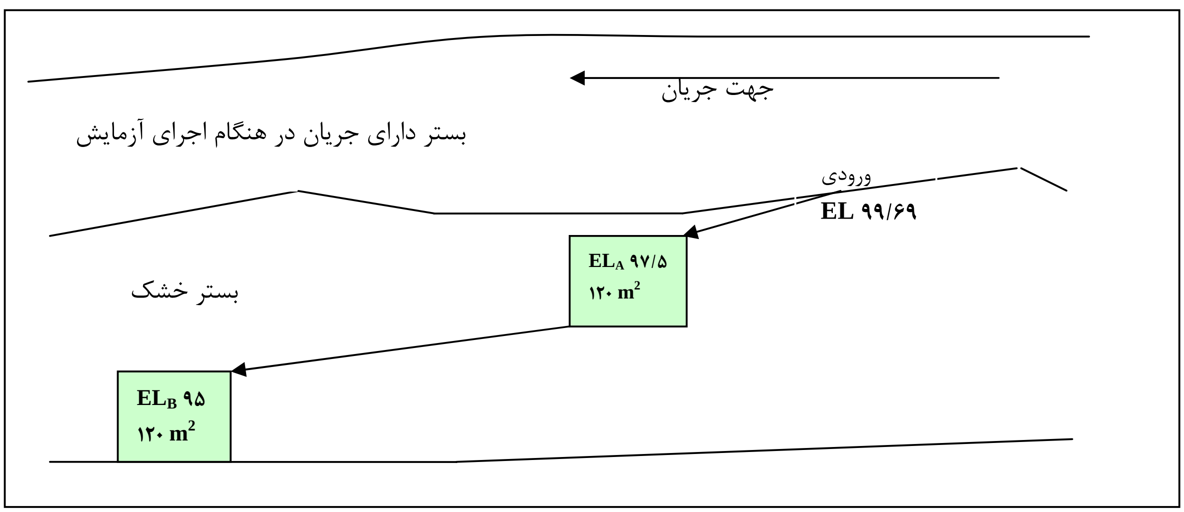
روش‌هاي تعيين نفوذ پذيري

در تغذيه آب‌هاي زيرزميني به روش سطحي، نفوذپذيري عامل بسيار مهمي به شمار مي‌رود، زيرا هرچه بزرگ تر باشد، هزينه تأسيسات تغذيه مصنوعي كاهش مي‌يابد. بنابراين براي تعيين نوع تأسيسات تغذيه به روش سطحي ابتدا بايد اين عامل را بررسي كرد.

روش‌هاي تعيين مقدار نفوذ به چهار گروه استفاده اطلاعات خاك شناسي، آزمايش نمونه‌هاي دست نخورده، حلقه‌هاي نفوذ سنج و استخرهاي آزمايشي تقسيم مي‌شوند. به دلايل زير بهترين روش براي سنجش نفوذپذيري استفاده از استخرهاي آزمايشي است:

- تعيين مستقيم نفوذ در صحرا، نتايج بسيار دقيق تري را نسبت به روش‌هاي آزمايشگاهي ارائه مي‌دهد؛
- از آنجا كه سطح نفوذ وسيع و ناهم روند بودن لايه‌هاي خاك بر مقدار نفوذ تأثير خواهد گذاشت، در روش حلقه‌هاي نفوذ به علت سطح نفوذ كوچك، تاثير لايه‌هاي زيرين ناديده گرفته مي‌شود.
- با برقراري جريان آب در حوضچه طي چند روز متوالي، مي‌توان شرايط طبيعي از جمله كاهش نفوذ سطحي خاك (با ته نشيني مواد معلق) و اشباع شدن لايه‌هاي زيرين را برقراركرد و برآورد دقيقي از نفوذ به دست آورد، در حالي كه در آزمايش حلقه‌هاي نفوذ، زمان آزمايش بسيار كوتاه است و شرايط طبيعي از جمله اشباع لايه‌هاي زيرين برقرار نخواهد شد.

در اين تحقيق براي تعيين مقدار نفوذپذيري بستر رودخانه، در انتهاي پارك چمران كرج، در ساحل چپ رودخانه و در وسط بستر، دو حوضچه، هركدام به ابعاد ١٢٠ متر مربع احداث شد. حوضچه A در وسط رودخانه و حوضچه B در ساحل چپ، در بستر سيلابي رودخانه ساخته شد. شكل هاي ۴ تا ۶ اين حوضچه‌ها را نشان مي‌دهند.



شكل ۴- موقعيت حوضچه‌هاي نفوذ در بستر رودخانه

شكل ۵- نمايي از حوضچه وسط بستر رودخانه شكل ۶- نمايي از حوضچه واقع در بستر سيلابي

روش اندازه‌گيري نفوذ، به صورت ثبت تغييرات سطح آب در واحد زمان بود. در هنگام اندازه‌گيري،آب ورودي از رودخانه به حوضچه‌ها قطع شده و تغييرات سطح آب در هر حوضچه به طور جداگانه اندازه‌گيري شد.

تعيين ارتفاع و مكان‌بندهاي عرضي

براي تعيين ارتفاع بندها و مكان استقرار آنها، دو روش شيب تعادل و رونديابي مدنظر قرار گرفت كه در زير تشريح مي‌شوند.

تعيين مكان‌بندها با روش شيب تعادل

براي تعيين شيب تعادل ابتدا بايد به‌اين نكته توجه كرد كه‌آيا در بستر اصلاح شده‌اي كه بعد از ساخت بندها حاصل خواهد شد، حركت رسوبات وموضوع آستانه حركت براي رسوبات وجود خواهد داشت؟

براي تعيين آستانه حركت رسوبات در رودخانه و مقدار رسوبات انتقالي به پشت بندها بايد از دبي با احتمال رخداد زياد در طول دوره پرآبي استفاده كرد، زيرا دبي‌هاي بيشتر از آن كه به ندرت اتفاق مي‌افتند، تأثير زيادي بر فرسايش و رسوبگذاري نخواهند داشت و قبل از اينكه موثر واقع شوند، پايان مي‌يابند. براي تعيين دبي لازم براي آستانه حركت، چند سال پر آبي تعيين و دبي ميانگين انتخاب و سپس براي بررسي آستانه حركت از نمودار شيلدز (۲۲) استفاده شد.

براي استفاده از نمودار شيلدز، مي‌توان از فرمول‌هاي ون راين كه از ساده سازي اين نمودار استخراج شده، به شرح زير استفاده كرد. ون راين[1] با استفاده از پارامتر D_*، امكان برآورد آستانه حركت را با دياگرام شيلدز[2] و بدون استفاده از سعي و خطا فراهم كرد (۱ و۵).

$$D_* = \left[\frac{g(S_s - 1)}{\upsilon^2} \right]^{1/3} d_{50} \qquad (۲)$$

در رابطه ياد شده، d_{50} قطر متوسط ذره، υ ويسكوزيته آب و S_s جرم مخصوص ذرات است. عدد بدون بعد شيلدز نيز با رابطه زير بيان مي‌شود:

$$\theta_{cr} = \frac{\tau_{cr}}{\rho g(S_s - 1)d_{50}} \qquad (۳)$$

كه درآن: τ_{cr}، تنش برشي بحراني يا تنش برشي مربوط به آستانه حركت است.

براي تعيين وجود آستانه حركت، مراحل زير دنبال مي‌شود:

-با كمك قطر متوسط ذرات، تنش برشي بحراني تعيين مي شود. ($d_{50} \rightarrow D_* \rightarrow \theta_{cr} \rightarrow \tau_{cr}$)؛

-با استفاده از فرمول مانينگ، عمق تعيين مي شود؛

-چنانچه $\tau_{cr} > \tau$ باشد، آغاز حركت براي ذرات وجود نخواهد داشت و بستر در حالت پايدار است؛

-پس از تعيين شيب تعادل بستر، با شيب جديد، رونديابي انجام شده و پروفيل سطح آب تعيين مي شود تا در مكان‌هايي كه امكان بيرون‌زدن آب از حريم بستر وجود دارد، تمهيدات لازم انديشيده شود.

تعيين مكان‌بندها با روش رونديابي هيدروليكي

در حالتي كه بستر رودخانه در حالت پايدار و حركت رسوبات ناچيز است، نمي‌توان از روش شيب تعادل استفاده كرد در اين حالت بايد با احداث بندهاي فرضي در مكان‌هاي مختلف، با ارتفاع‌هاي مختلف و با تعيين پروفيل سطح آب با روند يابي هيدروليكي، موقعيت مناسبي براي مكان‌بندها تعيين كرد. براي انجام اين كار در تحقيق حاضر از نرم افزار HEC-RAS استفاده شد. در اين نرم افزار پس از تعيين مقاطع عرضي و دبي مربوط به رونديابي و همچنين تعيين مشخصات سازه‌هاي در تقاطع با رودخانه، مي‌توان با طراحي بندهاي فرضي در مقاطع مختلف، با ارتفاع‌هاي متفاوت و با رونديابي و تعيين پروفيل سطح آب، بهترين نقاط را براي احداث بندها و بهترين ارتفاع را براي هر يك از آنها به دست آورد.

۱- Van Rijn

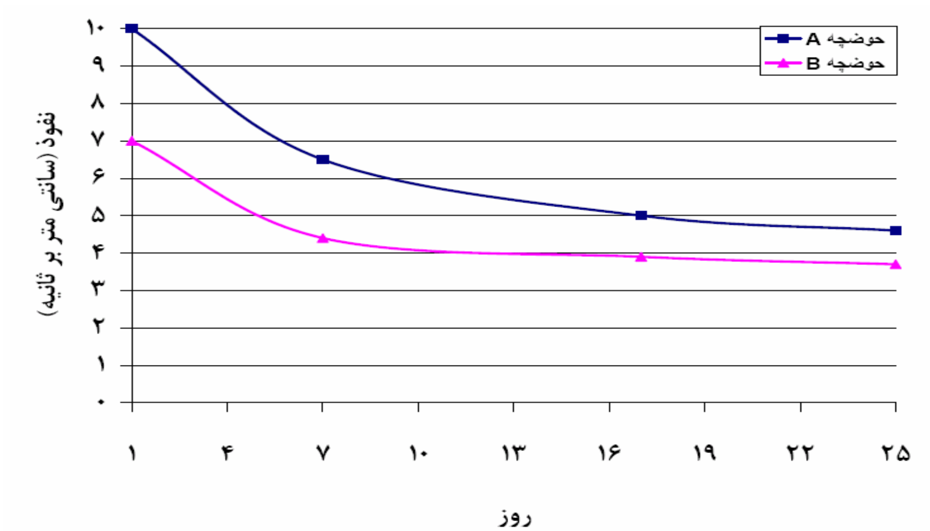
۲- Shields

نتايج

همان‌طور كه در مقدمه اشاره شد، هدف از تحقيق حاضر بررسي امكان تغذيه مصنوعي دشت كرج از راه بستر رودخانه است. تعيين نفوذپذيري بستر، مقدار آبدهي رودخانه، ارتفاع بندها و مكان آنها جزو مجهولات اصلي اين تحقيق هستند كه نتايج به دست آمده در اين زمينه در ادامه ارائه شده است.

نفوذپذيري بستر رودخانه

همان‌طور كه اشاره شد، آزمايش هاي مربوط به تعيين مقدار نفوذ در دو حوضچه در فاصله زماني سيزدهم خرداد تا هفتم تيرماه ١٣٨٣ انجام شد. در اين مدت مقدار نفوذ سطحي از ١٠ سانتيمتر در ساعت به ٤/٦ سانتيمتر در ساعت در وسط رودخانه (حوضچهA) و از هفت سانتيمتر) در ساعت به ٣/٧ سانتي متر در ساعت (حوضچه B) در بستر سيلابي كاهش يافت. كاهش مقدار نفوذپذيري در طول زمان به دليل رسوبگذاري كف حوضچه‌هاست. بر اين اساس مقدار نفوذپذيري متوسط برابر ٣/٧ سانتيمتر بر ساعت (١٠٣ ليتر در هكتار در ثانيه) در نظر گرفته مي‌شود كه با توجه به طول ٥ كيلومتري رودخانه در ناحيه مورد نظر و عرض متوسط ٣٠٠ متر، مقدار نفوذ روزانه در حدود ٨٨٠ ،٣٣٤، ١ مترمكعب برآورد مي‌شود. شكل ٧ تغييرات مقدار نفوذ در حوضچه‌هاي آزمايشي را نشان مي‌دهد.



شكل ٧- نمودار تغييرات نشت در حوضچه‌ها

تعيين ارتفاع و مكان بندهاي عرضي

روش شيب تعادل و محاسبه آستانه حركت

در اين روش با تعيين شيب پايدار رودخانه با دبي ميانگين و مقايسه آن با شيب فعلي، ارتفاع بندها تعيين مي شود. شيب تعادل شيبي است كه رودخانه با فرسايش و رسوبگذاري(در دبي مشخص) به آن شيب نزديك مي‌شود و پروفيل طولي پس از رسيدن به شيب مورد نظر، ثابت مي‌ماند. براي استفاده از روش ياد شده ابتدا بايد مشخص شود كه آيا اصولا حركت ذرات وجود دارد يا اينكه رودخانه به حالت پايدار رسيده است. بدين منظور ابتدا آستانه حركت ذرات بررسي مي‌شود. براي تعيين آستانه حركت ذرات، از دبي طراحي (١٩/٢ متر مكعب بر ثانيه)، عرض متوسط (٣٠٠ متر) و شيب متوسط رودخانه كه در حدود ٠/٩ درصد است، استفاده شد. براي تعيين ضريب زبري مانينگ، از جدول چاو[1] استفاده شد(٧)كه براي بستر شن و قلوه سنگي همراه با مقدار كمي تخته سنگ، زبري را بين ٠/٠٣ تا ٠/٠٥ نشان مي‌دهد. با توجه به داده‌هاي ياد شده τ_{cr} به شرح زير محاسبه مي‌شود:

١- Chow

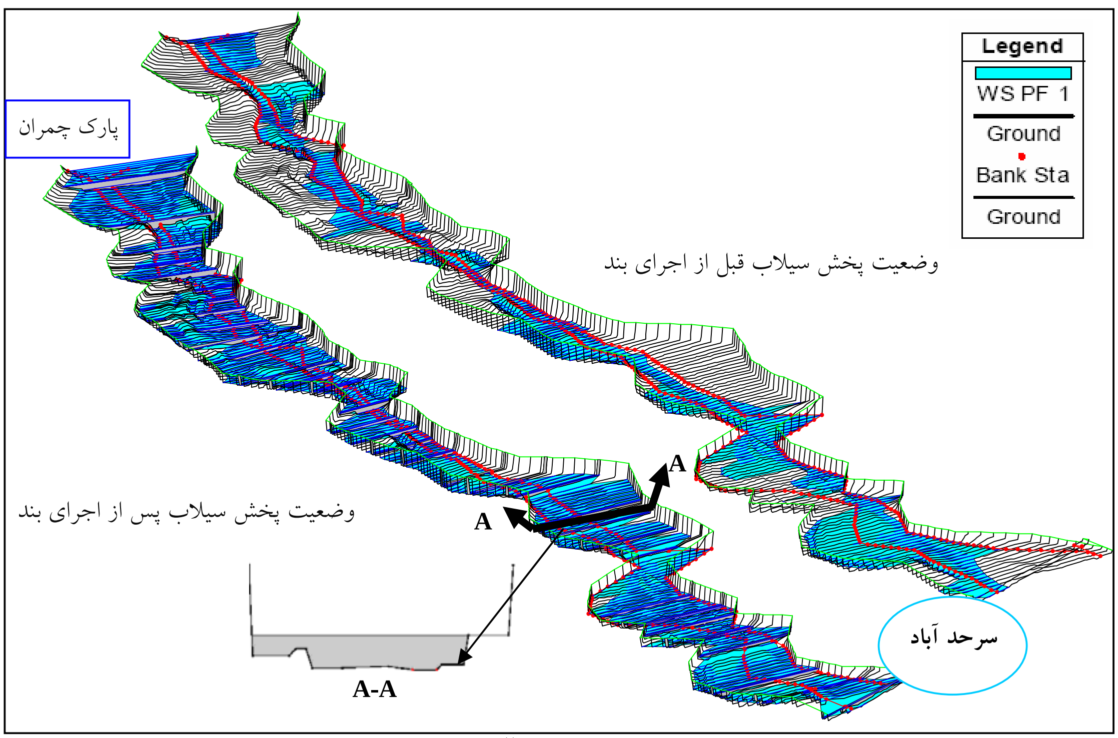
جدول ۳- وضعيت تنش برشي در رودخانه نسبت به تنش برشي بحراني

$Q(m^3/s)$	B(m)	n	d_{50} (mm)	s	y(m)	τ (kg/m^2)	D_*	θ_{cr}	τ_{cr} (kg/m^2)
۱۹/۲	۳۰۰	۰/۰۴	۱۹	۰/۰۰۹	۰/۱۱۴	۱/۰۳	۴۸۲	۰/۰۵۵	۱/۷۱

همان‌طور كه محاسبات نشان مي‌دهد، با پخش سيلاب در كل عرض رودخانه و كاهش عمق، تنش برشي از تنش برشي بحراني بسيار كمتر مي‌شود ($\tau_{cr} > \tau$) و حركت ذرات وجود نخواهد داشت ،از اين رو از روش شيب تعادل كه فرسايش لازمه استفاده از آن است، نمي‌توان استفاده كرد.

روش رونديابي و تعيين پروفيل سطح آب

با توجه به‌اين مسئله كه رودخانه به حالت تعادل رسيده است و در صورت پخش سيلاب و اجراي بندهاي گابيوني حركت رسوبات وجود نخواهد داشت و يا در صورت وجود، ناچيز است، از روش رونديابي براي تعيين مكان‌بندها استفاده و ارتفاع آنها با كمك نرم افزار HEC-RAS تعيين شد. در اين محاسبات دبي طراحي، ۱۹/۲ متر مكعب بر ثانيه در نظر گرفته شده است. نتايج تعيين وضعيت پخش آب با نرم افزار ياد شده، در دو حالت قبل و پس از اجراي بندهاي گابيوني در شكل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور كه در شكل زير مشاهده مي‌شود، قبل ازاجراي بند، آب، قسمت هايي از بستر را فرانگرفته بود،اما پس از اجراي بند تمام بستر رودخانه تحت نفوذ آب قرار گرفت و نفوذ به طور قابل ملاحظه‌اي افزايش يافت.



شكل ۸- وضعيت پخش آب

شايان ياد آوری است كه با توجه به نفوذپذيري لايـه‌هـاي خاك در اين ناحيه، دبي قابل نفوذ و قابل تغذيـه در ناحيـه ١٥٠ هكتاري مورد بررسي١٥/٤ متر مكعب بر ثانيه اسـت، بدين معني كه در حالت برقراري دبي١٩/٢ متر مكعـب بـر ثانيه در حدود ٤ متر مكعب آب بـه پـايين دسـت منتقـل مي‌شود. پس از تعيين ارتفاع و مكان‌بندها با دبي ميانگين، روندیابي براي دبـي بـا دوره بازگشـت ٢٥ سـاله (٢٠٠متـر مكعب بر ثانيه) انجام شد تا عبور آب از بستر بررسي شود و در صورت گذر آب از حريم رودخانه، ارتفاع بنـدها كـاهش يابد نتيجه اين بررسي نيز نشان داد كه با دبـي ٢٠٠ متـر مكعب بر ثانيه نيز آب از بستر رودخانه بيرون نمي‌رود.

بحث

بر اساس مجموعه بررسي‌هاي انجام شده در اين تحقيق نتايج زير حاصل مي‌شود:

١- در سال هاي ١٣٤٣ - ١٣٣٤ ،حقابه روستاي واقع در دشت كرج ١٦٠ ميليون متر مكعب بوده است كه تحويل آن مستلزم جريان ٣٢٥ ميليون متر مكعب آب در رودخانه كرج بوده و در واقع ١٦٥ ميليون متر مكعب آب در رودخانه كرج صرف تغذيه زمين مى شده و مقداري نيز تبخير مي‌شده است. اين مقدار تغذيه از بستر رودخانه، نشان‌دهنده نفوذ پذيري مناسب بستر است؛

٢- با توجه به ضخامت بيش از ٣٠٠ متر لايه‌هاي آبرفتي، ضريب انتقال هيدروليكي دست كم ٦/٧ متر در روز است كه بيش از هفت برابر نفوذ پذيري سطحي (٠/٩ متر در روز) است، بنابراين لايه‌هاي خاک مى توانند آب را به سطح آب زيرزميني برسانند.

٣- در پروژه‌هاي تغذيه مصنوعي، به طور معمول مساحت قابل تغذيه حداكثر به ٢٠ تا٣٠ هكتار مي‌رسد. در ناحيه مورد بررسي از رودخانه كرج با طول پنج كيلومتر، مساحت بيش از ١٥٠ هكتار به صورت بالقوه براي تغذيه مصنوعي وجود دارد. علاوه بر مساحت ياد شده معادن شن و ماسه، در پايين دست ناحيه مورد بررسي وجود دارد كه قابليت ذخيره و تغذيه حجم زيادي از آب را داراست. بدين ترتيب طرح ياد شده در قياس با طرح هاي تغذيه انجام شده بسيار بزرگ تر است و با توجه به عدم نياز به خريد اين زمين‌ها، مي‌توان يكي از بزرگ ترين طرح‌هاي تغذيه مصنوعي در كشور را با كمترين هزينه طراحي كرد.

۴- سالانه بيش از ٩٠ ميليون متر مكعب آب براي تغذيه وجود دارد كه روزانه بيش از ١،٣٣٢،٠٠٠ متر مكعب آن قابليت نفوذ دارد. در طرح‌هاي تغذيه مصنوعي در ايران بيشترين مقدار تغذيه براي طرح تغذيه مصنوعي در معادن شن و ماسه و رودخانه‌هاي فصلي مربوط به دشت قزوين است كه حداكثر سالانه آن ٥٠ ميليون متر مكعب است و در بقيه طرح‌ها، تغذيه‌اي كمتر از ١٥ ميليون متر مكعب در سال وجود دارد. بنابراين در مقايسه با طرح‌هاي ديگراز نظر حجم آب و مساحت موجود براي انجام تغذيه، طرحي قابل توجيه است؛

۵- نفوذپذيري در ابتداي آزمايش ها بيش از ٢٧٠ ليتر در ثانيه در هكتار بود كه با كاهش زيادي مواجه شد. علل اين كاهش عبارتند از رشد جلبك‌ها، وجود مواد معلق و رسوب يك لايه سطحي گل و لاي و همچنين نفوذ مواد معلق در عمق و گرفتگي خلل و فرج خاك. آزمايش ها در زمينه تغذيه مصنوعي نشان مي‌دهد كه در بستر رودخانه به دليل وجود آب روان، عوامل كاهش نفوذ مانند رشد جلبك‌ها وجود ندارد و همچنين با شست وشوي مواد ريزدانه در سيلاب‌هاي بزرگ تر از گرفتگي خلل و فرج جلوگيري مى شود(۴) ، در نتيجه نفوذپذيري در دراز مدت بيشتر از حوضچه‌ها خواهد بود.

منابع

١- حيدر پور، ج. ١٣٦٩. تغذيه مصنوعي سفره‌هاي آب زير زميني، ترجمه، نشر دانشگاهي تهران، تهران، ص۴۶٠.
٢- دز آب. ١٣٨٠. مطالعات طرح ساماندهي رودخانه كرج، انتشارات مشاور دز آب. ص٢٣٠.

۳- سرزعيم، م. ص. ۱۳۷۴. مطالعه و ارزيابي طرح‌هاي تغذيه مصنوعي آب‌هاي زير زميني ايران، پايان نامه، دانشگاه تربيت مدرس.ص.۱۵۰.

٤- عطار زاده، ع. ا. ۱۳۵۳. تغذيه مصنوعي سفره آب‌هاي زير زميني، انتشارات گلشن، تهران،ص۱۱۵.

۵- وزارت نيرو. ١٣٤٥. گزارش آب‌هاي زير زميني منطقه كرج – شهريار،ص۳۲۲.

6- ASCE. 1961. Ground Water Basin Management. Prepared by the Committee on Ground Water of the Irrigation and Drainage Division, 119-126(11).

7- Akan, o. 1996. Generalized Groundwater Mound Solution. Proceeding of an International Symposium, Helsinki, Finland.271-282.

8- Boniface, E.S. 1959. Some Experiment in Artificial Recharge in the lower lee volley. Proc of the inst. of cir.Eng.dec. vol. 59 (14).pap no 6394.

9- Chow, v.t. 1950. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York.

10- Grade, R.J. and Ranga Raju. K.G. 2000. Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problem. 3rd edition, John Wiley Sons. New Delhi.

11- Haitjema, H.M. 1987.Comparing a three-dimensional and a Dupuit-Forchheimer solution for a circular recharge area in a confined aquifer. J, Hydro, Vol. 91, 87-101.

12- Harr. M.E. 1975. Groundwater and Seepage, McGraw-Hill Book co, New York.

13- Hausman, L. and Albertson, T.N. 1982. Artificial Recharge of Ground water.

14- Healy, R.W., and Cook, P.G., 2002. Using ground-water levels to estimate recharge. Hydrogeol. J., 10: 91-109.

15- Hultquist, R., R. Sakaji, and T. Asano, 1991. Proposed California Regulations for Groundwater Recharge with Reclaimed Municipal Wastewater, Environmental Engineering, Proc. Specialty Conference, American Society of Civil Engineers, NY, pp. 759-764.

16- Lacombe. 2002. Hydrologic effects of long-term injection of surface water into the Kirkwood-Cohansey aquifer in Cape May County, New Jersy.

17- Pederson, Morten and Kim Dahlstrom.1996. Proceeding of an InternationalSymposium, Helsinki, Finland.19-26.

18- Pefty, John. 1994. Ground Water Research. Oklahoma.

19- Richards, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. Physics. Vol. 1. 318–333.

20- Phillips, Steve.2000. Role of saturated flow in Artificial Recharge. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 97-4024, 30 p.

21- Rorabaugh, M.I., 1964. Estimating changes in bank storage and groundwater contributions to stream flow. International Association of Scientific Hydrology, Wallingford, U.K. Vol. 63. 432–441.

22- Shields, A. 1936. Application of Similarity Principles and Turbulence Research to Bed-Load Movement. California Inst. Of Tech., Pasadena.

23- Taylor, R.L and Brown, C.B. 1967. Darcy Flow Solutions with a Free Surface. ASCE. Vol. 93(9):231-239.

24- Todd, D.K., 1980. Ground Water Hydrology, John Wiley, New York. Vol.235.

25- Tolman, D. 1937. Ground water, McGraw-Hill. Inc, New York, 320 pp.

Artificial Recharge on the River Beds in Urban Areas (Case Study: Karaj River)

J. Mozafari[*1], M. H. Omid[2] and H. Rahimi[3]
[1] Grad. St., University of Tehran, I. R. Iran
[2,3] Faculty members, University of Tehran, I. R. Iran
(Received 6 November 2004, Accepted 6 August 2005)

Abstract

Facts show that the level of groundwater has notably dropped in the Karaj River basin in recent ears. In the long term, this drop may ultimately reduce the quality of water resources and increase eh cost of waster extraction and cause the depletion of groundwater resources as the result of land settlement. Therefore, a solution to this problem should be found. This research examines the possibility of artificial recharge of the river in an area between Bilaghan diversion dam and grain mines near Sarhadabad in order to increase enhance the aquifer. Based on the facts and figures collected through piezometry wells over the last 30 years, it was concluded that the lever of groundwater has extremely lowered in recent years. In order to establish the existence of sufficient water for recharge, records of the years 1992-2003 were reviewed. The records show the flow of the river at the desired point is 92 million cubic meters per year. To determine the surface infiltration rate of the river bed, two representative infiltration pools were dug. The pools recorded water infiltration with a rate of 103 L/s.ha in a three-week period. Regarding the 150-hectare area of the river basin, above 1.3 million cubic meters of water may be depleted through infiltration and the same amount may be substituted through recharging. To examine the possibility of transmitting surface water to the aquifer, geological sections and texture of the underground soil layers have been evaluated, and regarding the absence of a clay layer with low penetrability and also because of the possibility of transmitting more than 2,000 cubic meters of water per day the feasibility of introducing surface water to groundwater resources was approved. To design the type of retarding structures on the river bed, two methods – balance slope and sediment movement threshold – have been compared. Since the results showed that inappreciable erosion occurs in the design conditions, therefore, the second method was selected as the appropriate alternative. Flood routing, using HEC-RAS computer software were used to design location and height of the retarding dams.

Key words: Artificial Recharge, Flood Routing, Infiltration, Retarding Check Dam, Riverbed, Threshold Sediment Movement

* Corresponding author: Tel: 021-33701703 , Fax: E-mail: Javad_370@yahoo.com