تغذیه مصنوعی آبهای زیر زمینی

دکتر سیروس چاه‌کوتاهی

درنقاطی‌که‌منابع آبهای زیرزمینی کفاف بهره‌برداری فعلی یا آتی رانمی‌دهد ، می‌توان با تزریق مصنوعی آبهای سطحی‌به زمین برای متعادل نمودن بهره‌برداری آبهای زیرزمینی اقدام نمود . برعکس تصفیه دوباره‌ٔآب مصرف‌شده که چندان‌خوش‌آیند مصرف کنندگان نیست ، تغذیه‌مصنوعی‌آب‌زیرزمینی از نظرروانی و مصرف آب بسیار جالب بوده‌ودرسالهای اخیر در سایرکشورها مورد استقبال قرار گرفته است .

تاسیسات تغذیه مصنوعی درآلمان وسوئیس برای‌اولین‌بار دراوائل قرن بیستم شروع‌شدومدتی‌راکد ماند و در سالهای اخیر توسعه یافته است . درایالات متحده آمریکا حدود ۲۵ سال‌است که اقدام گردیده و باین موضوع اهمیت زیاد داده‌اند .

درناحیه کرواس (فرانسه) باتزریق ۱۰ میلیون مترمکعب در سال آب رودخانه‌سن‌که‌معادل ۲۸٪ حجم کلی آب استخراج شده بود باعث اعتبار تأسیسات حفاری وچاههای بهره‌برداری

گردید. درشرف‌العقب (مراکش) با تزریق یک میلیون متر معکب آب درسال درشکافهای آهک باخرج مبلغی معادل۵میلیون‌درهم (معادل۵/۵ میلیون فرانک فرانسه) [1] باعث شد که‌ازاحداث سد پرخرج و از لحاظ فنی بسیار مشکل خودداری شود.

در لاهه (هلند) باتزریق۱۹تا۳۲میلیون مترمعکب درسال آب رودخانه در شن‌های ساحلی با تأسیساتی بمبلغ ۸ میلیون فلورن (۱۲میلیون فرانک فرانسه)از ایجاد ایستگاههای پمپاژ و حفاری نزدیک رودخانه رن Rhin ویک لوله کشی بطول ۴۵ کیلومتر بمبلغ ۲۰۰ میلیون فلورن جلوگیری شد.

درولاندرن (هلند) بارمضاعف مصنوعی سفره‌آب توانست ظرفیت آنرا از ۲ به ۴ میلیون مترمکعب در سال اضافه نماید و همچنین‌درناحیه واسنار (هلند) باایجادتأسیسات‌تزریق‌سالیانه ۷ میلیون متر مکعب آب تزریق‌گردید و توانست در هر مترمکعب آب ۵% فلورن (۷۶ر۰ فرانک‌فرانسه) صرفه‌جوئی شود وقیمت یک مترمکعب آب فقط ۱ر۰ فلورن (۲۵ر۱ ریال) گردید.

درزمینه‌سوتاوداکوتای‌شمالی‌آمریکا ایجاد تأسیسات ۲۰۰ هزار دلاری توانست ۱۵ هزارمترمکعب‌در روز (۵میلیون‌مترمکعب درسال) آب را تزریق نموده و ازیک لوله‌کشی بطول ۵۰ میل به مبلغ ۱۲ میلیون دلارجلوگیری شد.

در ریوبراوو کالیفرنیا تأسیسات ۲۵۳ هزار دلاری باعث تزریق ۵۵ میلیون مترمکعب درسال که معادل ۴۶% مقدار آب پمپاژ شده بوده گردید وبالاخره در تهران دراثر تزریق آبهای مصرف شده درچاههای منازل‌و ساختمانهامقادیر معتنابهی آب زمینی تزریق می‌شود. چنانچه اگر مصرف آب تهران طبق آمار فقط ۵۰% آن‌به‌زمین‌تزریق‌شود هریک m^3/sec ۴/۲۱متر مکعب در ثانیه یا ۱۳۲ میلیون مترمکعب آب در سال‌به‌زیرزمین تغذیه مصنوعی میشود که چنانچه فرض شودخروجی‌نداشته‌باشد می‌تواند درمخزنی معادل ۱۱/۵ کیلومتر مربع وسعت به ارتفاع یک‌مترآب‌ذخیره‌نماید. درعرض چندین سال تزریق باعث‌تغییر شیب ئیدرولیک آب زیرزمینی و بالا آمدن سفرهٔ آب زیرزمینی در قسمتهای پائین دشت شهر تهران که طبقات رسی با قابلیت نفوذکم‌قراردارد‌شده‌است. استخراج این آبها منبع عایدی‌مهمی برای دشتهای جنوبی تهران و ایجاد فضای سبزشهرخواهدشد. بطورکلی دراکثر شهرهای ایران بعلت کمی آب تغذیه مصنوعی‌و جلوگیری از تبخیرو اتلاف آب باید مورد مطالعه قرارگیرد.

بغیرازاهدافی‌که‌فوقا اشاره شد که غالبا برای برقرارنمودن یک‌سفره‌پس انداز و متعادل‌نمودن‌بهره‌برداری‌بایک‌دبی‌متناسب وامکان استفادهٔ‌بیشتر از منابع آب‌است، اهداف فرعی دیگری مانند تصفیهٔ‌طبیعی‌آبها ـ دورریختن‌آب‌خنک‌کننده‌ها ـ جلوگیری هیدورلیک برعلیه نمک یا آلودگی ـ تقلیل سیلابها ـ آزمایش‌و تجزیه و بالاخره دور ریختن آبهای صنعتی منظور می‌شود که‌در کشورایران مخصوصا" بعلت کمی آب اهداف قبلی‌بیشترموردنظر است.

روشهای تغذیه مصنوعی

تأسیسات‌تغذیهٔ‌مصنوعی‌رامی‌توان بطرق مختلفی احداث نمود که بدو دسته عمده تقسیم می‌شوند:

۱ـ وسائل‌و روشهای‌مخصوص نفوذ (حوضچه‌ها ـ استخرها و انهار)

۲ـ وسائل و روشهای تزریق (حفاریها و چاهها)

ماخذ از

Bulletin du Burreau de recherches geologiques et Mimers 2em serie sec III Hydrogeologie 1971

بدست‌آمده‌وقیمتها برمبنای‌فرانک‌فرانسه‌دراوت ۱۹۷۰ تبدیل‌شده که‌درهمین‌موقع یک‌فرانک‌فرانسه‌معادل ۱۶ ریال بوده است.

ممکن است عمل نفوذ و تزریق تواما" همراه باشند وعلاوه براستخرهاوانهار حفاریها و چاهها نیز احداث شده باشند ودر بعضی موارد تزریق همراه زه‌کشی و یاتزریق مستقیم در شکاف احجار آهکی یا ماسه سنگی باشد.

اغلب حفاریها وعملیات نفوذ برای بهره‌برداری در سفره‌های اراضی آبرفتی است و قبل از اقدام باید وضع زمین شناسی و ئیدروژئولوژی و مقدار قابلیت نفوذ (K) وترانس‌میسیوتیه (T) زمین آزمایش شود. بهره‌برداری از مخازن زیرزمینی که بطور مصنوعی تغذیه شده‌اند عملا" دراکثر موارد توسط حفاری و نفوذ انجام می‌یابد و بهره‌برداری توسط زه‌کشی کمتر صورت می‌گیرد و زه‌کشی و انهار بیشتر برای اهداف فرعی دیگر فوق‌الذکر انجام میگیرد.

فاصله محل تغذیه و بهره‌برداری توسط پمپاژ ممکن است یا از همان چاههای تزریق آب استخراج شود که ضمنا" باشستشوی چاه‌تزریق نیزهمراه است یا در فاصله‌های ۱۰ تا ۳۰۰ متری محل تغذیه مصنوعی بهره‌برداری شود و انتقال آب به‌نقاط دوردست بعلت اتلاف آب‌تزریق‌شده معمول نیست. بهره‌برداری‌ازآبهای نفوذیافته‌بایدحتی‌المقدورهمزمان با تغذیهٔ مصنوعی‌انجام‌یابد تا از اتلاف آب جلوگیری و ذخیره آبهای زیرزمینی طبیعی کمتر تقلیل یابد.

۱ ـ مشخصات نفوذ توسط استخرها وانهار

استخرهاوحوضچه‌هابتمام اشکال مورد مصرف قرارمیگیرد. ترجیح‌مشخصی‌که‌دراروپابرای حوضچه‌هاداده‌می‌شود استخرهای دراز و کم‌عمق هستند که در حدود ۵۰ متر از یکدیگر قراردارند وبطور متناوب کار می‌کنند که بتوانند درمواقع خشک شدن‌یکی‌از آنهاراتمیز نمود. همچنین‌ازگودیهای شن‌های ساحلی نیزمیتوان برای تأسیسات مخصوصی استفاده نمود.

دیواره‌های‌استخرهای‌خاکی‌است و گاهی لبه‌های استخرها را با بتون‌می‌پوشانند. بطورکلی‌درحوضچه‌هائی‌که از سفره آب زیرزمینی‌خیلی‌کم‌فاصله‌دارندنفوذ کمتر است. وسعت تأسیسات ساخته شده بادرنظرگرفتن سطح کل حوضچه‌ها بسیار متغیراست و از ۰/۱۵ تا ۳۲۰ هکتار تغییر میکند وحجم نفوذ سالیانه‌از۱۵ هزارمترمکعب تا ۱۸۰ میلیون مترمکعب درسال است. حجم‌نفوذ سالیانه نسبت مستقیمی به وسعت تأسیسات دارد.

برای‌نفوذ بیشتر آب باید کف استخر زه‌کشی باشن درشت و قلوه سنگ بضخامت۰/۵تا۲ متر برقرارنمود. ارتفاع موردقبول آب در استخرها درحدود ۲/۵ متراست.

طرزعمل و چگونگی نفوذ دراستخرها:

سرعت‌ظاهری‌نفوذ و قابلیت‌نفوذ سفره آبده در استخرها پدیده پیچیده‌ای‌است. وقتی محیط‌اشباع نیست گرادیان نفوذ معادل‌یک‌می‌شود و وقتی که آب در داخل حوضچه‌ها باقی بماند وزمینهای زیرحوضچه اشباع‌شده‌باشد گرادیان کم و بسیارتقلیل می‌یابد (چنددرصدیادرهزار) مقدار ابتدائی نفوذ همیشه‌خیلی بیشتراز متوسط نفوذ است.

بنابه‌آزمایشات انجام شده بطور تقریب دراستخرها معیار سرعت‌ظاهری نفوذدرحدود $۰/۳-۹\times۱۰^{-۵}$ متر درثانیه (یا۷/۸ تا ۰/۲۶ متر در روز) است. این‌سرعت‌ضربدر سطح‌مفیداستخر، حجم سالیانه نفوذ را مشخص میکند و می‌تواند برحسب،مترمکعب در روز دریک متر مربع و یا مترمکعب درسال درهکتارسطح‌استخر باشد.

جدول‌زیرمقادیرمختلف‌نفوذ (K) را درزمینهای مختلف و سرعت ظاهری نفوذ بدست آمده را مشخص میکند.

جنس زمین		سرعت ظاهری متوسط نفوذ	
		10^{-5} متردرثانیه	متردر روز
شن‌ها	(متردرثانیه $K=10^{-4}$)	۰/۳۱	۰/۲۷
آبرفت	(متردرثانیه $K=10^{-3}$)	۱/۷۵	۱/۵۱
آبرفتهای خیلی درشت (متردر ثانیه $K=10^{-2}$)		۹/۷	۸/۳۵

حجم سالیانه نفوذ به نسبت سطح حوضچه‌ها با محاسبات آماری از روی ۴۸ گروه تأسیسات تغذیه مصنوعی بطریق نفوذی در استخرها برابر جدول زیر بدست‌آمده است:

جدول حجم سالیانه نفوذ به نسبت سطح کلی استخرها

حجم قابل نفوذ در سال به میلیون متر مکعب برای سطحی معادل زیر		قابلیت نفوذ بین 10^{-3} و 10^{-4} متر در ثانیه			قابلیت نفوذ بین 10^{-3} و 5×10^{-3} متر در ثانیه		
		حداقل مطلق	متوسط	حداکثر مطلق	حداقل مطلق	متوسط	حداکثر مطلق
۱	هکتار	۰/۳	۲	۱۳	۱	۵	۲۴
۱۰	"	۲	۱۴	۹۲	۵	۲۵	۱۳۰
۱۰۰	"	۱۵	۹۸	۶۴۵	۲۶	۱۳۶	۷۰۰

پراکندگی زیادی که اطراف ارزشهای متوسط مشاهده می شود دراصل نتیجهٔ اینست که ازیکطرف عوامل زیادی مانند شکل و چگونگی نفوذ استخرها وسرعت بسته شدن منافذ و یا وجود و یا عدم صافی وغیره بحساب نیامده وازطرف دیگر بعلت گروه‌بندی است که از تأسیسات مختلف تغذیه‌مصنوعی با قابلیت نفوذهای متفاوت برای بدست آوردن نمونه‌ها شده‌است.

بطورکلی می‌توان قبول کردکه تأسیسات تغذیه مصنوعی در استخرها احتمال نفوذ دادن حجمی معادل سالیانه در حدود میلیونها متر مکعب را دارد.

نگهداری و تصفیه قبلی و بسته‌شدن منافذ:

بسته‌شدن منافذ بستگی دارد به‌نگهداری و مواظبت حوضچه‌ها و سرعت نفوذ با گل آلوده بودن آب تنزل میکند. برای احتراز ازانسداد منافذ به نسبت گل‌آلوده بودن آن ممکن است قبل از واردکردن استخرآب بدون تصفیه یا پس از ایجاد یک‌لبریزساده یاتصفیه‌ابتدائی و یاتصفیه شیمیائی یامنعقد کننده‌ها و غیره‌آب را به استخر نفوذ داخل کرد.

منشاء غیرقابل نفوذ شدن استخرها یابعلت ته‌نشست مواد معلق‌است یاتوسط آبگلهاو نباتات ویارسوبات کاربوناته‌وآهن‌دار و مواد آلی است.

بطورکلی اکثرمدت کار نگهداری بمصرف خاکبرداری بعداز خشک‌شدن استخروبرداشتن سله‌هاوقتی به‌ضخامت ۱ تا ۲ سانتیمتر می‌رسد میشود. ولی برای تجدید طبقات صافی قابل نفوذ شن‌و ماسه زمان کارکمتری لازم دارد.

ازلحاظ اقتصادی هزینهٔ نگهداری بطور متوسط به نسبت نفوذ آب خاک بدون تصفیه قبلی بمیزان یک میلیون مترمکعب درهکتار در سال درحدود ۸۰ روز درسال کار کارگر لازم است و چنانچه‌اجرت یک کارگر ۳۰۰ ریال باشدمعادل ۲۴۰۰۰ ریال برای یک میلیون مترمکعب درهکتار است.

باید درنظر داشت که درتمام استخرهایک‌زمان‌کارنمی‌شود و بطورمتناوب باید تمیز شود.

برای آبهای نفوذ یافته بعدازیک لبریزساده بطور متوسط

۴۵روز کاردر سال‌برای یک‌میلیون مترمکعب آب نفوذی درهکتار درسال و برای نفوذ آب تصفیه شده مقدماتی ۲۲ روز می‌باشد و اگرآب‌کاملا" تصفیه شده باشد فقط ۱۰ روز کار درسال برای‌نفوذ یک میلیون مترمکعب درهکتار درسال لازم‌است .

درمورد بهبود کیفیت آب در مدت زمان توقف آب در استخرها و عبورازصافی کف بجز در اراضی شکافدار و نواحی کارستیک وسفره‌های بسیار کم‌عمق عمل ضدعفونی‌لزوم چندانی نداشته و در زیرزمین بخوبی تصفیه میشود .

مقدار نفوذ بستگی مستقیمی به قابلیت نفوذ زمین داشته وبهترین‌محل برای احداث به تأسیسات‌تغذیه‌مصنوعی‌در دامنهٔ ارتفاعات است .

۲ ـ تزریق توسط چاهها

دربیشترموارد برای تغذیهٔ‌مصنوعی آب به‌زیرزمین ازحفر چاهها به‌تنهائی یاهمراه با استخرها استفاده می‌کنند . چاهها رادرطبقات قابل نفوذ آلوویال حفر می‌نمایند و دراغلب موارد که قابلیت نفوذ طبقات سطحی کم است باحفرچاه گمانه طبقه شن درشت با قابلیت نفوذ کافی رایافته و عمل تزریق را درآن انجام می‌دهند . همچنین‌درطبقات‌آهکی پس ازحفاری‌و برخورد به‌شکافهای موجود بین احجار آهک تزریق را ازمجرای‌چاه‌انجام می‌دهند .

مقدارآب تزریقی توسط‌چاهها بسیار متغیراست و از چند لیتر درثانیه تایک مترمکعب درثانیه‌وبیشتر در احجار شکاف‌دار انجام می‌یابد ولی آنچه در زمینهای آبرفتی معمول است بطور متوسط در حدود ۲۰ لیتر در ثانیه برای چاههای تزریق می‌توان تخمین‌زد .

بنا به مطالعات اسرائیلی‌ها (۲) بطور کلی می‌توان اینطور تخمین زدکه عمل تزریق‌درحدمطلوب‌موقعی‌خواهدشد که "دبی مخصوص‌ابتدائی‌تزریق به میزان $\frac{۲}{۳}$ دبی مخصوص بدست‌آمده توسط پمپاژ برسد" .

مقدار تزریق ابتدائی همیشه خیلی بیشتراز مقدارتزریق متوسط است و علت آن انسداد منافذ در طول زمان است که بنا به‌تجربیات انجام شده‌می‌توان قبول کردکه تقریبا" مقدارمتوسط تزریق معادل نصف مقدار آب تزریق ابتدائی است .

بطورکلی مقدارتزریق ارتباط مستقیمی به‌قابلیت نفوذ زمین درروحلهٔ اول و ثانیا" به ارتفاع ستون آب درچاه که ایجادفشار می‌نماید وثالثا" بقطرو محیط استوانه چاه دارد . برای اینکه نفوذ داخل‌چاه بخوبی انجام یابد باید قابلیت نفوذ دراثر مواد معلق آب‌ازبین‌نرود و برای‌این منظور باید آب را حتی‌المقدور توسط لبریز ساده یاتصفیه ساده و یانسبتا" کامل به داخل چاه تزریق نموده و چاه را شستشو داد .

چنانچه‌چاهها خوب‌نگهداری شوند وتصفیه تقریبا"کاملی ازمواد معلق بعمل آید حتی تا ۱۰ سال احتیاج به شستشوندارد ولی بطور متوسط برای شستشوی چاهها یکسال یاهرشش‌ماه یکبار و یا یک هفته بسته به مقدار مواد معلق موجود در آب و درجهٔ قابلیت نفوذ زمین باید انجام پذیرد .

برای ازبین بردن‌انسدادمنافذو تخلیهٔ چاه‌می‌توان‌توسط تلمبه‌های‌پیستونی‌که‌ممکن‌است موقت یا بطور دائم در چاه‌بماند و یامکش یا پمپاژ یاخراش دادن دیواره‌های چاه و دربعضی‌موارد **تعویض کرپین چاه و بالاخره اسیدیفیکاسیون و عملیات شیمیائی** عمل نمود .

---

2. Aberbach (S. M) et Sellinger(A) Riview of artificial ground water recharge in Coastal Plain of Israel 1967 .

برآورد اقتصادی

بطور کلی هزینهٔ تأسیسات و عملیات با تصفیه قبلی سه برابرهزینهٔ تأسیسات بدون تصفیه است ولی باوجود این عملیات تزریق باتصفیه قبلی اقتصادی‌تر و مقرون به‌صرفه بیشتر از تزریق بدون تصفیه بعلت ازدیادو هزینه‌های تخلیه و نگهداری واستهلاک می‌شود .

درهرحال لازم است قبلا" میزان برگشت سرمایه برقیمت یک مترمکعب آب استحصالی رامحاسبه نمود .

هزینهٔ یک‌متر مکعب آب با تصفیه قبلی درحدود ۰/۲۵ فرانک فرانسه (قیمت برمبنای فرانک درسال ۱۹۷۰ معادل ۱۶ ریال است) . باید درنظر داشت که قسمت عمدهٔ هزینهٔ تأسیسات و آب مصروف ارزش زمین تأسیسات بوده است .

بهرحال مسلما" هزینهٔ نفوذ یک مترمکعب آب درآبهائی که قبلا" تصفیه نشده است به نسبت آلودگی آب و کمی قابلیت نفوذ زمین در طول زمان بسرعت ازدیادمی‌یابد و برعکس هزینه متوسط نفوذ درآبهای تصفیه شده باهمان قابلیت نفوذ دیرتر ازدیاد می‌یابد .

تأسیسات پرخرج تأسیساتی بوده‌اند که فقط از استخرها و زه‌کش‌ها استفاده کرده و ضمنا" عملیات تصفیه لبریز وتصفیه نسبتا" کاملی را انجام داده‌اند و ارزانترین تأسیسات نسبی تاسیساتی هستند که شامل استخروچاههای تزریق بوده وعملیات تصفیه بسیارشدیدنبوده وبیک لبریز ساده وگاهی همراه با انعقاد همراه بوده است .

همچنین بنابه محاسبات انجام شده هزینهٔ تاسیسات حفاری و تزریق یک‌متر مکعب آب بدون تصفیه قریب $\frac{1}{3}$ ارزانتر از تاسیسات استخر و زه‌کشی می‌شود ولی هزینهٔ نگهداری آن به سرعت افزایش می‌یابد .

نتیجه اینکه عملیات تصفیه ساده قبل از نفوذ در روی یک متر مکعب آب تغذیه مصنوعی ارزان‌تر ازبدون تصفیه قبلی خواهد شد که درهرحال برای جلوگیری از انسداد منافذ بایدتصفیه قبلی انجام یابد .

بطور خلاصه

قیمت تزریق یک مترمکعب آب تصفیه شده توسط چاهها تقریبا" مساوی قیمت تزریق یک مترمکعب آب تصفیه نشده توسط استخرها تمام می‌شود ،ولی نسبت خرج تاسیسات بدون تصفیه بازمان به‌مقدارتزریق سالیانه ، بسرعت نسبت به تاسیسات تزریق توسط چاهها با تصفیه مقدماتی ازدیاد می‌یابد .

درخاتمه تذکر داده میشود که وزارت نیرو که اجرای اصل دهم انقلاب یعنی ملی شدن منابع آب را بعهده دارد مکلف است دراین مساله دقت و اقدام بیشتری معمول دارد و از افراد و موسسات ذیصلاح و علاقه‌مند و باحسن‌نیت دعوت نماید و باید درنظر داشت که مخازن آبهای زیرزمینی بهترین تنظیم کنندهٔ آبهای مصرفی هستند ودراکثرنقاط قدرت تنظیم کننده ونگهداری آنها بیشتراز مخازن سدهای ذخیره‌ای است و مقدار تبخیرآن نیز بمراتب کمتر است .