



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

## 10660-NWWCE

# بررسی آزمایشگاهی روش‌های تصفیه فیزیکی آب در محل آبرگیری از منابع سطحی و انتخاب روش بهینه

علیرضا کرام‌نیا<sup>۱\*</sup>، بهزاد قربانی<sup>۲</sup>، تورج احمدپور سامانی<sup>۳</sup>، غلامرضا بابایی دهکردی<sup>۴</sup>

۱- مدیرعامل شرکت مهندسی مشاور ژرف آب تدبیر

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

۳- مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب روستایی چهارمحال و بختیاری

۴- معاون مهندسی و توسعه شرکت آب و فاضلاب روستایی چهارمحال و بختیاری

Ali\_Ekramnia@yahoo.com

### خلاصه

هدف از این پژوهش، تحلیل و بررسی آزمایشگاهی استفاده از ژئوتکتایل و فیلتر شنی در آبرگیرهای زیرسطحی به منظور تصفیه فیزیکی آب‌های سطحی می‌باشد. سیستم آبرگیر شامل لوله پی وی سی مشبک بود که به صورت افقی در امتداد کانال آزمایشگاهی قرار گرفت. جدار خارجی لوله آبرگیر در آزمایش‌های مختلف، مجهز به سه نوع لایه ژئوتکتایل R350، R500 و R800 شد و فیلتر شنی با ضخامت متوسط ۲۰ سانتیمتر به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها برای رسوبات با چهار غلظت ورودی صفر، ۱۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در ۱۸۰ حالت انجام شد. نتایج نشان داد که متوسط راندمان عملکرد فیلتر شنی برابر ۸۲/۴ درصد می‌باشد، لیکن راندمان عملکرد فیلتر ژئوتکتایل R350، R500 و R800 به ترتیب ۹۵/۲، ۹۹/۴ و ۱۰۰ درصد می‌باشد. بنابراین فیلتر ژئوتکتایل سبک تا سنگین نسبت به فیلتر شنی به ترتیب دارای ۱۶ درصد، ۲۱ درصد و ۲۲ درصد افزایش راندمان عملکرد بوده است. معادله عمومی استفاده از ژئوتکتایل به منظور تصفیه فیزیکی آب محاسبه و ارائه گردید. میزان انسداد روزانه در لایه‌های ژئوتکتایل به طور متوسط ۲/۱۶ درصد مشاهده شد.

کلمات کلیدی: آبرگیر زیرسطحی، فیلتر، ژئوتکتایل، غلظت رسوبات، تصفیه فیزیکی.

### ۱. مقدمه

یکی از اهداف عمده در طرح‌های آبرگیری و تأسیسات انحراف آب علاوه بر تامین دبی مناسب جریان، تضمین کیفیت آب منحرف شده می‌باشد، به طوری که کیفیت آب منحرف شده از میانگین کیفیت رودخانه پایین‌تر نباشد. از جمله روش‌های رسوب‌زدایی در انواع آبرگیری از رودخانه‌ها به جز آبرگیری زیرسطحی می‌توان به سازه‌های منحرف کننده جریان تحتانی پر رسوب، سازه‌های جداکننده لایه‌های فوقانی و تحتانی جریان، حوضچه‌های ترسیب طولی، تونل رسوب‌گیر، حوضچه ترسیب گردابی و لوله رسوب‌گیر گردابی اشاره نمود. لیکن در روش آبرگیری زیرسطحی از فیلتر به عنوان رسوب‌گیر استفاده می‌شود. ژئوتکتایل‌ها پوشش‌های عموماً نفوذپذیری باشند که از الیاف مصنوعی به دست آمده‌اند و این الیاف از مشتقات نفت خام نظیر پلی استر، پلی اتیلن، پلی پروپیلن و بعضی از مواقع از فایبرگلاس ساخته می‌شوند. گفتنی است که ساخت این منسوجات از مواد طبیعی به دلیل فسادپذیر بودن آن‌ها امکان‌پذیر نیست. ژئوتکتایل‌ها می‌توانند به صورت بافته شده (wovens) و یا بافته نشده (non-wovens) باشند. ژئوتکتایل بر اساس مقدار وزن در واحد سطح از حدود ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم بر متر مربع با نام تجاری R100 تا R1000 با نفوذپذیری ۰/۳۲ تا ۰/۲ سانتیمتر بر ثانیه و قطر منافذ ۲۵۰ تا ۷۰ میکرون در بازار شناخته می‌شوند [۱ و ۳].

فناحی و هازپرا [۴] هیدرولیک جریان نفوذی لوله‌های سوراخ‌دار در زیر لایه خاک و پوشش شنی مستغرق را با استفاده از بررسی هیدرولیک خطوط جریان بین منبع و مقصد (Sink & source) مورد آزمایش قرار داده و نشان دادند با استفاده از نفوذپذیری لایه‌های خاک، اصطکاک لوله‌های سوراخ‌دار و بقیه فاکتورهای مورد نظر، معادلات عمومی توصیف هیدرولیک لوله‌های سوراخ‌دار به دست می‌آید. شایان ذکر است که پیش بینی مطالعات فناحی و هازپرا با نتایج قبلی تجربی استفاده از لوله سوراخ‌دار بدون استفاده از پوشش شنی و لایه‌های خاک مطابقت دارد [۴]. بر اساس تحقیقاتی که در سال‌های گذشته توسط محققین مختلف انجام شده، توصیه می‌شود برای جلوگیری از بسته شدن دهانه آبگیر توسط رسوبات، در عمل از دو برابر طولی که از محاسبات هیدرولیکی به دست می‌آید، برای طول آبگیر استفاده شود [۵]. همچنین برای غلظت رسوبات بر روی شبکه آشغال‌گیر، شیب بهینه بین ۲۰ تا ۳۰٪ می‌باشد [۶]. رجبی و ایزدی [۷] در بررسی آبگیرهای کفی نشان دادند که از جمله مشکلات عمده کف‌های مشبک، گرفتگی آن‌ها توسط رسوب درشت‌دانه و یا ورود رسوب ریزدانه به آبگیر از میان میله‌های آبگیر می‌باشد. لذا ایشان مشخص نمودند که تحت شرایط متفاوت هیدرولیکی و رسوب، آورد رسوب در شیب ۳۰ درجه حداقل می‌باشد. منزوی [۸] با آزمایش بر روی آبگیرهای کفی و تهیه مدل عددی با دقت و همگرایی مطلوب، به این نتیجه رسید که روش آبگیری از کف بهترین گزینه برای آبگیری از رودخانه‌های کوهستانی می‌باشد. اگرچه در مورد آبگیری با استفاده از صفحات مشبک کارهای تحقیقاتی زیادی انجام شده، ولی برای آبگیری زیر سطحی به روش استفاده از ژئوتکستایل مطالعاتی انجام نگرفته است. لذا در این پژوهش، آبگیری زیرسطحی با استفاده از فیلتر ژئوتکستایل مطالعه می‌شود. در صورت عملکرد مطلوب این روش می‌توان آن را جایگزین آبگیری با استفاده از صفحات مشبک و فیلتر شنی نمود. به طوری که در شرایط مختلف هیدرولیکی رودخانه کمترین میزان عبور رسوب در امر آبگیری ایجاد شود. نتایج به صورت نمودار و جدول ارائه و مورد بحث و بررسی قرار گرفت. همچنین معادله‌ای برای آبگیری زیرسطحی با استفاده از ژئوتکستایل بسته به ضخامت ژئوتکستایل‌ها با استفاده از آنالیز ابعادی ارائه شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در کانال آزمایشگاه مکانیک خاک گروه مهندسی آب دانشگاه شهرکرد انجام گردید. این کانال از نوع مستطیلی با جداره‌های فایبرگلاس بود تا امکان مشاهده کلیه مراحل آزمایش‌ها پدید آید و تنها یک وجه و کف کانال از جنس فلزی (گالوانیزه) بود. ارتفاع کانال ۱/۲ متر، عرض کانال ۰/۶ متر و طول آن ۵/۵ متر و شیب کف آن در طول کانال معادل صفر بود. به منظور انجام آزمایش‌ها، جدار فایبرگلاس یک وجه عرضی کانال با یک صفحه فلزی گالوانیزه که محل خروج لوله آبگیر و سرریزها به صورت دقیق بر روی آن تعبیه شده بود، جایگزین و آب‌بند گردید. همچنین کف کانال توسط یک لایه ژئوممبران و چسب به طور کامل آب‌بند گردید. در محل خروج لوله آبگیر یک سوراخ دایره‌ای به قطر ۹ سانتیمتر در فاصله‌ی ۲۳/۵ سانتیمتر از کف کانال در نظر گرفته شد. به منظور کنترل سطح آب کانال در هر آزمایش، ۴ لوله سرریز به قطر ۵ سانتیمتر با امکان انسداد در ارتفاع ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ متری بالاتر از محور وسط لوله آبگیر پیش‌بینی شد. به طوری که جهت بالا بردن سطح آب در کانال و انجام آزمایش مرحله‌ی بعد، سرریز پایینی با بستن درپوش مسدود می‌گردید. بنابراین امکان افزایش ارتفاع سطح آب در کانال به میزان ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ متر بالاتر از لوله‌ی آبگیر پدید آمد. کانال فاقد مخزن ذخیره‌ی جانبی بود و به منظور گردش آب در حین آزمایش و استفاده مجدد از آب‌های خروجی کانال (آب سرریز و خروجی آبگیر) یک باب مخزن ۵۰۰ لیتری پلاستیکی روباز در زیر نقاط خروجی قرار داده شد تا آب خروجی توسط پمپ کف کش و شیلنگ مجدداً به داخل کانال برگردد.

در این پژوهش سیستم آبگیر شامل یک لوله پی وی سی (PVC) با قطر خارجی ۹۰ میلی‌متر (قطر داخلی ۸۵ میلی‌متر) و طول ۴ متر بود که ۳ متر آن توسط سوراخ‌های مدور به قطر ۵ میلی‌متر و فواصل ۲/۵ سانتیمتر از یکدیگر به صورت مثلثی در طول و عرض لوله مشبک شد. لوله به صورت افقی در امتداد طولی کانال (در جهت جریان) قرار گرفت. در این صورت مجموع مساحت باز روی لوله آبگیر (A) برابر با ۰/۰۲۶ متر مربع محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری فشار داخلی لوله آبگیر تعداد ۱۶ پیزومتر به فاصله ۲۰ سانتیمتر از یکدیگر در زیر لوله‌ی آبگیر قرار گرفت و لوله‌ها پس از گذر از جدار طولی کانال، بر روی سطح خارجی کانال به صورت قائم نصب شدند. میزان دبی خروجی لوله آبگیر توسط شیر کروی مدرج انتهایی لوله در سه حالت (۱/۳، ۲/۳ و کاملاً باز) تنظیم و توسط ظرف مدرج پلاستیکی با حجم ۳۰ لیتر اندازه‌گیری شد. همچنین برای ثابت نگه داشتن ارتفاع سطح آب کانال در خارج لوله از سرریزهای انتهایی کانال استفاده شد.

## کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

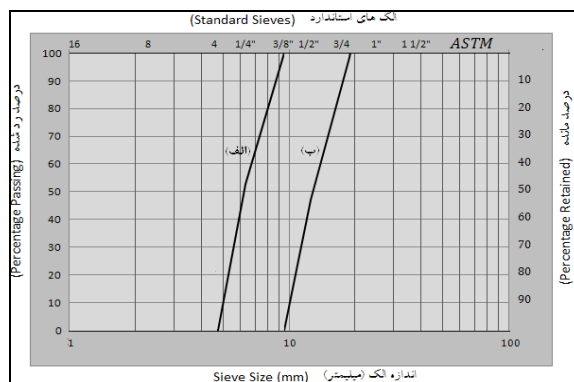
دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

به منظور بررسی آزمایشگاهی فرآیند تصفیه فیزیکی آب توسط ژئوتکتایل در آبگیر زیرسطحی، علاوه بر سوراخ‌های محیطی، جدار خارجی لوله آبگیر مجهز به پوشش ژئوتکتایل گردید. بدین منظور با توجه به طیف تولید ژئوتکتایل در ضخامت‌ها و وزن‌های مختلف از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم به ازای هر متر مربع (R100-R1000) و همچنین مشخصات فنی استاندارد ارائه شده از سوی تولیدکنندگان، در این پژوهش از سه نوع لایه ژئوتکتایل R500، R350 و R800 (سبک، متوسط و سنگین) به شرح جدول (۱) استفاده گردید. علاوه بر استفاده از لایه ژئوتکتایل به عنوان فیلتر، در این پژوهش از فیلتر شنی نیز به صورت جداگانه استفاده شد تا عملکرد این دو نوع فیلتر در شرایط یکسان نسبت به یکدیگر مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که اندازه ذرات انتخابی مواد محیط متخلخل (فیلتر شنی) نقش موثری بر میزان جریان نفوذی و رسوب‌گیری دارند و با توجه به اینکه شرایط آزمایشگاهی بایستی مشابه با شرایط آبگیری در محیط واقعی در بستر رودخانه باشد، اندازه متوسط ذرات ( $d_{50}$ ) از سنگ‌های رودخانه‌ای انتخاب و برای تهیه آن از روش دانه‌بندی توسط الک‌های استاندارد ASTM استفاده شد (شکل ۱).

جدول ۱- مشخصات لایه‌های ژئوتکتایل

R800	R500	R350	واحد	علامت اختصاری	نوع ژئوتکتایل
۸۰۰	۵۰۰	۳۵۰	gr/m <sup>2</sup>	w	وزن واحد
۴/۵	۳/۵	۲/۴	mm	h	ضخامت
۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۲۱	mm	AOS	اندازه ظاهری (مؤثر) منافذ
۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۲۳	cm/s	k	نفوذپذیری
۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	mm	D90	D90 رسوبات
۱/۳۸	۲/۳۱	۳/۲۳	-	Rs	نسبت اندازه ذرات
۰/۰۲۰	۰/۰۴۳	۰/۰۸۸	-	Rd	نسبت ابعاد استاندارد



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی فیلتر شنی الف- شن متوسط ب- شن درشت

به منظور انجام آزمایش‌های مربوط به فیلتر شنی، از سه لایه شن متوسط، درشت و متوسط به ضخامت کل ۲۰ سانتیمتر بر روی لوله‌ی آبگیر و یک لایه شن متوسط در اطراف و زیر لوله آبگیر به ضخامت ۲۹ سانتیمتر استفاده شد. در جدول (۲) مشخصات فیزیکی فیلتر شنی ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی سنگدانه‌های فیلتر شنی

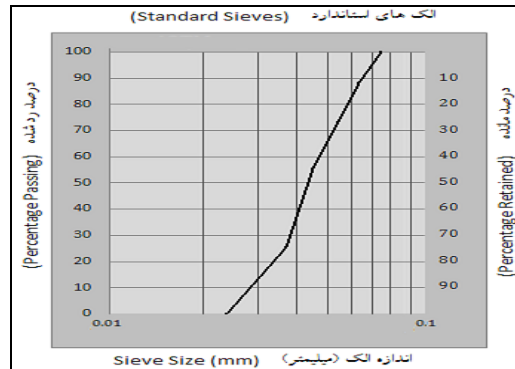
موقعیت لایه	نوع سنگدانه	ضخامت لایه (cm)	حدود اندازه ذرات (mm)	قطر متوسط ذرات (mm)	چگالی ( $\rho$ ) (gr/cm <sup>3</sup> )	$(C_u)$ ضریب یکنواختی	(n) تخلخل	$(\sigma)$ انحراف معیار
لایه بالایی	شن متوسط	۵	۴/۷۵-۹/۵	۵/۵۰	۱/۴۸	۱/۳۴	۰/۴۷	۰/۸۰
لایه میانی	شن درشت	۱۰	۹/۵-۱۹	۱۱/۰۹	۱/۴۷	۱/۵۰	۰/۴۳	۱/۵۰
لایه تحتانی	شن متوسط	۵	۴/۷۵-۹/۵	۵/۵۰	۱/۴۸	۱/۳۴	۰/۴۷	۰/۸۰
اطراف و زیر لوله	شن متوسط	۹+۲۰=۲۹	۴/۷۵-۹/۵	۵/۵۰	۱/۴۸	۱/۳۴	۰/۴۷	۰/۸۰

## کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

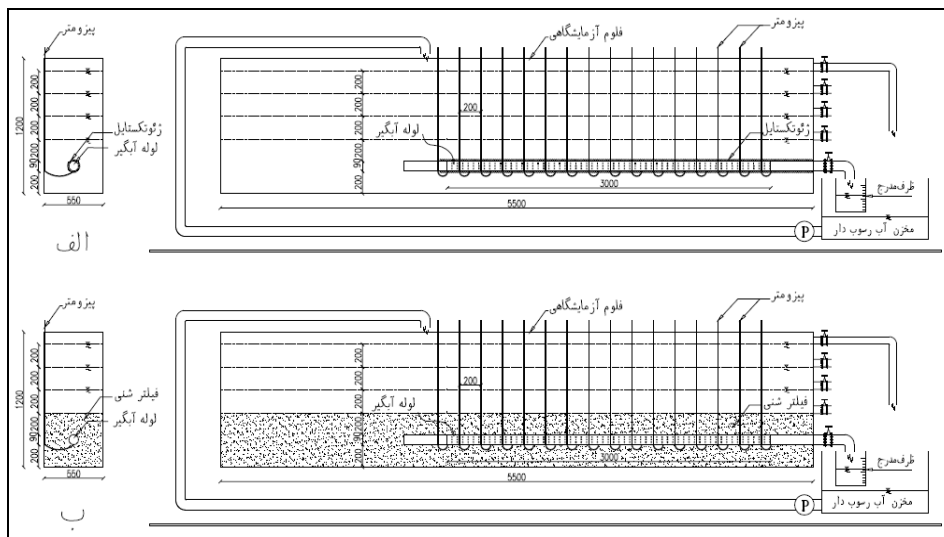
۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

به منظور بررسی میزان تصفیه فیزیکی آب توسط ژئوتکتایل (و فیلتر شنی) در آبیگری زیرسطحی، نیاز به استفاده از رسوبات می باشد. اندازه رسوبات بایستی کوچکتر از اندازه ظاهری (مؤثر) منافذ ژئوتکتایل در نظر گرفته شود تا میزان تله اندازی رسوبات توسط ژئوتکتایل به درستی اندازه گیری شود. لذا با توجه به حداقل اندازه ظاهری منافذ ژئوتکتایل های مورد استفاده در تحقیق (۰/۰۹ میلی متر)، ذرات عبور کرده از الک ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی متر) که شامل ذرات لای و رس با  $d_{90}$  معادل ۰/۰۶۵ میلی متر می باشد، به عنوان رسوب در آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفت. منحنی دانه بندی رسوبات در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲ - منحنی دانه بندی رسوبات

نظر به اینکه در بررسی عملکرد ژئوتکتایل به عنوان فیلتر، غلظت رسوبات قبل و بعد از عبور از ژئوتکتایل بایستی اندازه گیری شود، رسوبات به آب کانال آزمایشگاهی افزوده شد. همچنین با توجه به اینکه غلظت رسوبات رودخانه ای در حالت عادی حدود ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بوده و در حالت سیلابی به ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر و حتی بالاتر از آن می رسد، آزمایش ها برای سه غلظت ۱۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر انجام شد. بدین منظور با محاسبه حجم آب درون کانال، وزن رسوبات جهت ایجاد غلظت مناسب آب ورودی به ژئوتکتایل برای هر آزمایش محاسبه و قبل از شروع هر آزمایش به صورت یکنواخت به آب کانال اضافه شد. در شکل (۳) نمای کلی مدل آزمایشگاهی ارائه شده است.



شکل ۳ - نمای کلی مدل آزمایشگاهی الف- فیلتر ژئوتکتایل ب- فیلتر شنی

### ۳. بحث و نتیجه گیری

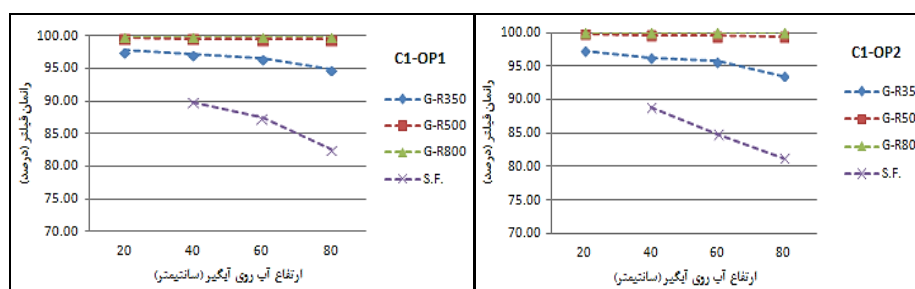
مقایسه و تحلیل نتایج در شرایط حضور و عدم حضور ژئوتکستایل و لایه شنی به عنوان فیلتر و عوامل تاثیر گذار بر دبی و غلظت رسوبات خروجی آبگیر شامل ارتفاع آب روی آبگیر، میزان غلظت رسوبات ورودی، میزان بازشدگی شیر خروجی (و زمان) و همچنین عوامل مؤثر بر ارتفاع پیژومتری آب درون لوله آبگیر در طول لوله مورد بررسی قرار گرفت.

#### ۳.۱ تعیین تاثیر ارتفاع آب روی آبگیر بر راندمان عملکرد فیلتر

راندمان عملکرد فیلتر  $\eta = (1 - \frac{C_{out}}{C_{in}}) * 100$  از این جهت اهمیت دارد که میزان تصفیه فیزیکی آب توسط فیلتر مشخص می شود. در صورتیکه فیلتر

دارای راندمان بالایی باشد، فیلتر دارای قابلیت خوبی در تصفیه فیزیکی آب و کاهش غلظت رسوبات آب دارد. بالعکس چنانچه فیلتر دارای راندمان پایینی باشد، کاهش غلظت رسوبات توسط فیلتر به خوبی انجام نشده و فیلتر برای تصفیه فیزیکی آب مناسب نمی باشد. به منظور بررسی تاثیر ارتفاع آب روی آبگیر بر راندمان فیلتر، برای هر لایه ژئوتکستایل تعداد ۴۸ آزمایش و برای فیلتر شنی تعداد ۳۶ آزمایش و در مجموع تعداد ۱۸۰ آزمایش انجام شد. در شکل ۴ تاثیر ارتفاع آب روی آبگیر بر راندمان عملکرد فیلتر نشان داده شده است. برای هر لایه ژئوتکستایل در یک غلظت خاص، با افزایش ارتفاع آب، راندمان فیلتر کمتر می شود که علت آن را می توان به دلیل افزایش سرعت حرکت آب و رسوب به سمت آبگیر و ژئوتکستایل و تجمع بیشتر رسوبات بر روی ژئوتکستایل و در نتیجه افزایش نرخ عبور از ژئوتکستایل دانست. به طور مثال در غلظت ۵۰۰۰ میلی گرم بر لیتر برای لایه ژئوتکستایل R350 و بازشدگی شیر خروجی به طور کامل، با افزایش ارتفاع آب روی آبگیر از ۲۰ به ۸۰ سانتیمتر، راندمان از ۹۶/۲۷ درصد به ۹۲/۲۰ درصد کاهش یافت.

حداکثر راندمان فیلتر شنی ۸۹/۸۸ درصد بود که با افزایش غلظت و ارتفاع آب روی آبگیر، تا ۷۵/۰۷ درصد کاهش یافت. لیکن راندمان عملکرد لایه های ژئوتکستایل به عنوان فیلتر جهت تصفیه فیزیکی آب و کاهش غلظت رسوبات، بسیار بهتر از فیلتر شنی بود و راندمان عملکرد در کلیه موارد بیشتر از ۹۲ درصد مشاهده شد. راندمان عملکرد ژئوتکستایل R350 از ۹۷/۷۶ درصد تا ۹۲/۲۰ درصد، راندمان عملکرد ژئوتکستایل R500 از ۹۹/۷۶ درصد تا ۹۸/۹۳ درصد و راندمان عملکرد ژئوتکستایل R800 همواره ۱۰۰ درصد بود. با عنایت به موارد فوق، لایه ژئوتکستایل R500 تا ۹۹ درصد قابلیت تصفیه فیزیکی آب و کاهش و حذف رسوبات معلق در آب را دارد. لیکن با استفاده از لایه ژئوتکستایل R800، عملکرد این لایه به عنوان فیلتر، تصفیه فیزیکی آب را با ۱۰۰ درصد اطمینان تضمین می نماید.

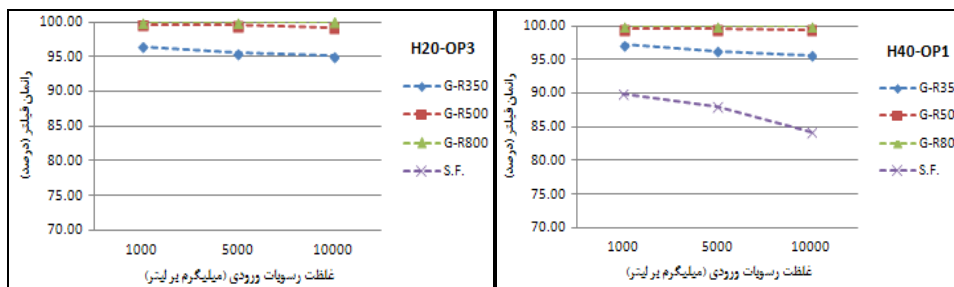


شکل ۴- تاثیر ارتفاع آب روی آبگیر بر راندمان فیلتر

#### ۳.۲ تعیین تاثیر غلظت بر راندمان عملکرد فیلتر

همان گونه که در شکل (۵) مشاهده می شود، برای لایه های ژئوتکستایل، با افزایش غلظت، راندمان عملکرد فیلتر کاهش می یابد و سیر نزولی را طی می نماید. در بین لایه های ژئوتکستایل، شیب کاهش راندمان برای لایه ژئوتکستایل R350 بیشتر از بقیه بود، لیکن شیب کاهش راندمان فیلتر شنی از ژئوتکستایل R350 نیز بیشتر بود و با افزایش غلظت رسوبات، راندمان عملکرد فیلتر شنی از ۹۲ درصد به ۷۵ درصد کاهش یافت. برای هر لایه

ژئوتکستایل در یک ارتفاع آب خاص روی آبنگیر، با افزایش غلظت رسوبات، راندمان عملکرد فیلتر کمتر می شود که علت آن را می توان به دلیل تجمع بیشتر رسوبات بر روی ژئوتکستایل و در نتیجه افزایش نرخ عبور از ژئوتکستایل دانست. به طور مثال برای لایه ژئوتکستایل R350 در ارتفاع آب ۶۰ سانتیمتر روی آبنگیر و بازشدگی شیر خروجی به طور کامل، با افزایش غلظت از ۱۰۰۰ به ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر، راندمان عملکرد فیلتر از ۹۴/۰۶ درصد به ۹۳/۳۰ درصد کاهش یافت. در آزمایش ها برای ارتفاع ۸۰ سانتیمتر، راندمان عملکرد فیلتر با افزایش غلظت تقریباً ثابت بود. به طور مثال برای لایه ژئوتکستایل R350 در ارتفاع آب ۸۰ سانتیمتر روی آبنگیر و بازشدگی شیر خروجی به طور کامل، با افزایش غلظت از ۱۰۰۰ به ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر، راندمان عملکرد فیلتر در حدود ۹۲/۵ درصد تقریباً ثابت بود.



شکل ۵- تاثیر غلظت رسوبات آب بر راندمان فیلتر

### ۳.۳ تعیین تاثیر زمان بر راندمان عملکرد فیلتر (انسداد فیلتر)

با افزایش زمان، انسداد فیلتر افزایش می یابد که این امر ناشی از افزایش تجمع رسوبات بر روی لایه فیلتر و انسداد و گرفتگی منافذ فیلتر در طول زمان می باشد. میزان انسداد روزانه در لایه های ژئوتکستایل R350، R500 و R800 به ترتیب معادل ۱/۵، ۲/۲۵ و ۲/۷۴ درصد و به طور متوسط ۲/۱۶ درصد به صورت روزانه مشاهده شد. لذا مدت زمان انسداد ۵۰ درصدی فیلتر ژئوتکستایل حدود ۲۳ روز مشاهده گردید که با توجه به هزینه ناچیز لایه های ژئوتکستایل، بایستی نسبت به تعویض فیلتر پس از زمان انسداد به میزان ۵۰ درصد اقدام نمود. البته امکان شستشوی لایه ژئوتکستایل و استفاده مجدد به عنوان فیلتر نیز وجود دارد.

### ۳.۳ آنالیز ابعادی و استخراج روابط حاکم

تاکنون نتایج آزمایشگاهی به دست آمده به صورت ترسیمی و در قالب نمودار مورد بررسی قرار گرفت و تاثیر هریک از متغیرهای موجود بر دبی خروجی و راندمان عملکرد فیلتر مطالعه شد. لیکن در این بخش به منظور بررسی توام عوامل مؤثر بر دبی خروجی، با استفاده از نرم افزار Excel مابین متغیرهای موجود رگرسیون چند متغیره گرفته شد. با صرف نظر کردن از اثرات مربوط به کشش سطحی و تراکم پذیری مایع، قانون فیزیکی حاکم بر جریان خروجی آبنگیر زیر سطحی با فیلتر ژئوتکستایل، شکل زیر را به خود می گیرد:

$$Q = F(K, A, AOS, d_{90}, H, h, \rho, C_{in}, C_{out}, v, D, \mu, t) \quad (1)$$

در رابطه فوق  $Q$  دبی خروجی لوله آبنگیر،  $K$  ضریب نفوذپذیری محیط متخلخل (لایه ژئوتکستایل)،  $A$  سطح آبنگیر (مجموع سطح سوراخ های لوله آبنگیر مشبک)،  $AOS$  اندازه ظاهری (مؤثر) منافذ ژئوتکستایل که با  $O_{95}$  نیز نمایش داده می شود،  $d_{90}$  اندازه ذره های از رسوبات ورودی که ۹۰ درصد ذرات دیگر از آن کوچک ترند،  $H$  عمق جریان بالادست،  $h$  ضخامت لایه ژئوتکستایل،  $\rho$  چگالی آب،  $C_{in}$  غلظت رسوبات ورودی،  $C_{out}$  غلظت رسوبات خروجی،  $v$  سرعت جریان در لوله آبنگیر،  $D$  قطر لوله آبنگیر،  $\mu$  لزجت دینامیکی آب و  $t$  زمان آزمایش می باشد. در این رابطه

$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$  معادل عدد رینولدز درون لوله آبگیر و  $\eta = (1 - \frac{C_{out}}{C_{in}}) * 100$  معادل راندمان عملکرد فیلتر می‌باشد. با توجه به روند خطی انسداد

فیلتر در طول زمان آزمایش، پارامتر  $t$  از رابطه فوق حذف شده (عامل زمان در رابطه نهایی ارائه می‌شود) و رابطه ۱ به صورت رابطه ۲ در می‌آید.

$$Q = F(K, A, AOS, d_{90}, H, h, \eta, Re) \quad (2)$$

با توجه به توضیحات فوق در این پژوهش ۹ پارامتر مؤثر وجود دارد و چون پارامترها دارای سه بعد مستقل جرم (M)، زمان (T) و طول (L) می‌باشند، لذا طبق تئوری باکینگهام، ۶ پارامتر بدون بعد به دست می‌آید که در آزمایش‌ها بایستی اندازه‌گیری شود. لذا رابطه ۲ به صورت رابطه ۳ در خواهد آمد.

$$\frac{Q}{KA} = F\left(\frac{AOS}{h}, \frac{AOS}{d_{90}}, \frac{H}{h}, \eta, Re\right) \quad (3)$$

با عنایت به روابط تعریف شده قبلی، عبارت  $\frac{AOS}{d_{90}}$  معادل نسبت اندازه ذرات  $R_s$  و عبارت  $\frac{AOS}{h}$  معادل نسبت ابعاد استاندارد فیلتر ژئوتکستایل می‌باشد. بر این اساس رابطه ۳ به صورت رابطه ۴ در خواهد آمد.

$$\frac{Q}{KA} = F\left(R_d, R_s, \frac{H}{h}, \eta, Re\right) \quad (4)$$

بنابراین رابطه نمایی دبی خروجی آب رسوبدار در آبگیری زیرسطحی به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\frac{Q}{KA} = \alpha * (R_d)^1 * (R_s)^2 * \left(\frac{H}{h}\right)^3 * (\eta)^4 * (Re)^5 \quad (5)$$

با گرفتن از طرفین رابطه ۵ و رگرسیون خطی چند متغیره در نرم افزار Excel، رابطه ۶ به دست می‌آید.

$$\frac{Q}{KA} = 0.317 (R_d)^{1.088} (R_s)^{-2.06} \left(\frac{H}{h}\right)^{1.15E-16} (\eta)^{-3.4E-15} (Re)^1 \quad (6)$$

در رابطه ۶ توان پارامترهای بی‌بعد  $\frac{H}{h}$  و  $\eta$  بسیار ناچیز و قابل حذف می‌باشد. بر این اساس رابطه نهایی دبی خروجی آب رسوبدار در آبگیری زیرسطحی به صورت رابطه ۷ بیان می‌شود.

$$Q = 0.317 K A R_e \left(\frac{R_d}{d}\right)^{1.088} \left(\frac{R_s}{s}\right)^{-2.06} \quad (7)$$

با ورود پارامتر  $t$  (زمان بر حسب روز از ابتدای نصب فیلتر)، تأثیر انسداد فیلتر ناشی از تجمع رسوبات در طول زمان نیز اضافه می‌شود و رابطه نهایی دبی خروجی آب رسوبدار در آبگیری زیرسطحی در طول زمان به صورت رابطه ۸ بیان می‌شود.

$$Q_t = 0.317 K A R_e \left(\frac{R_d}{d}\right)^{1.088} \left(\frac{R_s}{s}\right)^{-2.06} (1 - 0.0216t) \quad (t \leq 46) \quad (8)$$

به منظور بررسی همبستگی و همگنی داده‌ها و صحت و کارایی رابطه ۷، پارامترهای  $r^2$ ،  $MSE$  (میانگین مجموع خطا) و  $F$  (آزمون کارایی مدل) محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۳).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_r) \quad (9)$$

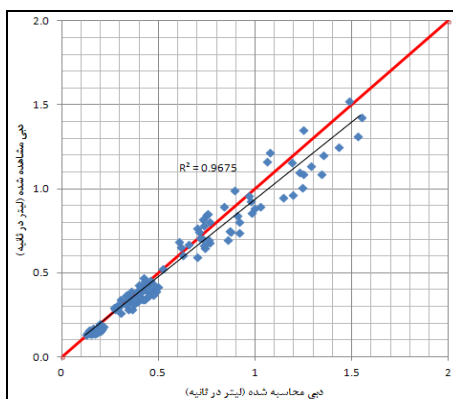


در رابطه فوق،  $n$  تعداد مشاهدات،  $Q_0$  دبی مشاهده شده و  $Q_r$  دبی محاسبه شده می باشد.

جدول ۳- پارامترهای تبیین همبستگی و دقت نتایج

پارامتر	$r^2$	MSE	F
مقدار	۰/۹۷۴	-۰/۰۲۴	۱۳۲۴/۱۴

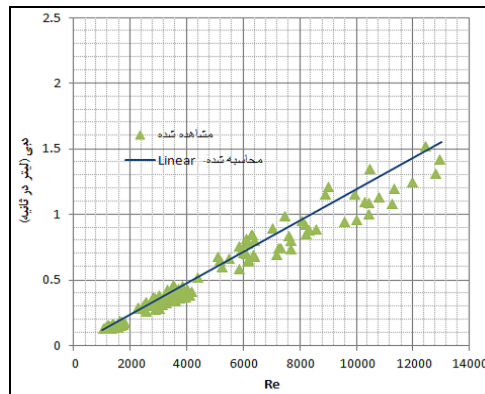
همان گونه که در جدول ۳ نیز مشاهده می شود، بالا بودن  $r^2$  نشان دهنده همبستگی خوب نتایج تحقیق می باشد. مقدار ایده آل برای MSE (میانگین مجموع خطا) صفر می باشد که نشان دهنده مدلی بدون خطا است و هر چه به صفر نزدیک تر شود، نشان دهنده دقت مدل است. برای مدل فوق مقدار MSE مطابق جدول ۳ به صفر نزدیک است که نشان دهنده دقت بالای مدل می باشد. همچنین مقدار F (آزمون کارایی مدل) برای مدل ۱۳۲۴/۱۴ محاسبه شده که نشان دهنده کارایی قابل قبول مدل می باشد. شکل (۶) دبی خروجی مشاهده شده را در برابر دبی محاسبه شده با استفاده از رابطه ۷ نمایش می دهد. همان طور که شکل نشان می دهد داده ها در اطراف خطی با شیب ۴۵ درجه پراکنده شده اند. با عنایت به شکل (۶) داده ها با همبستگی مناسبی  $r^2 = 0.9675$  حول خط ۴۵ درجه قرار گرفتند که بیانگر تخمین صحیح مدل می باشد.



شکل ۶- دبی مشاهده شده نسبت به دبی محاسبه شده آب رسوبدار با استفاده از ژئوتکستایل

به منظور بررسی دقت پارامترهای موجود در رابطه ۷، مشخصات ژئوتکستایل های مختلف از R200 تا R1000 شامل پارامترهای  $(k, AOS, h)$  به صورت عدد ثابت و عدد رینولدز به صورت متغیر (در محدوده اعداد رینولدز مشاهده شده در آزمایش ها) وارد رابطه ۷ شد، مقدار دبی (آبگذری) آبیگر محاسبه گردید و سپس نمودار دبی محاسباتی نسبت به اعداد رینولدز ترسیم شد (تابع نمایی شکل ۷). نمودار دبی مشاهده شده نسبت به اعداد رینولدز مشاهده ای نیز ترسیم شد. همچنین مقایسه شیب منحنی محاسباتی و همبستگی اعداد دبی محاسباتی و مشاهداتی نسبت به عدد رینولدز در شکل ۷، حاکی از دقت زیاد پارامترهای مدل و تاثیر زیاد عدد رینولدز بر دبی آبیگر زیرسطحی می باشد.





شکل ۷- دبی محاسباتی و مشاهده شده نسبت به عدد رینولدز

#### ۴. نتیجه گیری

راندمان عملکرد لایه های ژئوتکستایل به عنوان فیلتر جهت تصفیه فیزیکی آب و کاهش غلظت رسوبات، بسیار بهتر از فیلتر شنی بود و راندمان عملکرد در کلیه موارد بیشتر از ۹۲ درصد مشاهده شد. راندمان عملکرد ژئوتکستایل R350 از ۹۷/۷۶ درصد تا ۹۲/۲۰ درصد، راندمان عملکرد ژئوتکستایل R500 از ۹۹/۷۶ درصد تا ۹۸/۹۳ درصد و راندمان عملکرد ژئوتکستایل R800 همواره ۱۰۰ درصد بود. حداکثر راندمان فیلتر شنی ۸۹/۸۸ درصد مشاهده شد که با افزایش غلظت و ارتفاع آب روی آبگیر، تا ۷۵/۰۷ درصد کاهش یافت. لایه ژئوتکستایل R500 تا ۹۹ درصد قابلیت تصفیه فیزیکی آب و کاهش و حذف رسوبات معلق در آب را دارد. لیکن با استفاده از لایه ژئوتکستایل R800، عملکرد این لایه به عنوان فیلتر، تصفیه فیزیکی آب را با ۱۰۰ درصد اطمینان تضمین می نماید. میزان انسداد روزانه در لایه های ژئوتکستایل به طور متوسط ۲/۱۶ درصد مشاهده شد.

#### ۵. مراجع

۱. رحیمی، ح. قبادی نیا، م. احمدی، ح. (۱۳۸۳)، کاربرد مواد ژئوسنتتیک به عنوان زهکش زیر پوشش کانال ها، کارگاه سیستم زهکشی زیر پوشش کانال ها.
۲. کلهری، ک. صدری، ف. (۱۳۷۹)، کاربری ژئوتکستایل به عنوان فیلتر در سدهای خاکی، چهارمین کنفرانس سد سازی، تهران.
۳. کورش وحید، ف. (۱۳۸۷). "بررسی آزمایشگاهی خصوصیات هیدرولیکی آبگیر کفی با محیط متخلخل"، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد.
4. Fatahi, R. and Haszpra, O., (2004). Analysis of perforated-pipe water collector systems. International Association of Hydraulic Engineering and Research, Journal of Hydraulic Research, 42 (1), pp. 89–96.
5. Barton, M.H. and Buchberger, S.G., (2007). Effect of media grain shape on particle straining during filtration. Journal of Environmental Engineering, ASCE133(2), 211-219.
6. Bhatia, S.K. and Suits, D., (1996). Geotextile Filters and Prefabricated Drainage Geocomposites. American Society for Testing and Methods, STP 1281, PA, USA.
۷. رجیبی، ح. ایزدی، ف. (۱۳۹۰)، اصول مکانیک سیالات و هیدرولیک، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد. صص ۵۷۸.
۸. منزوی، م. (۱۳۸۵)، (چاپ چهاردهم)، آبرسانی شهری. دانشگاه تهران. صص ۳۷۷.