

## ارزیابی عملکرد فیلترهای ساخته شده از منسوجات BC, PET و PP در حذف آلاینده‌های نفتی از آب

محمد جمالی جزه<sup>۱</sup>، محمد شایان‌نژاد<sup>۱\*</sup> و سیدمهدی حجازی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲)

### چکیده

منابع آبی در بسیاری از مناطق جهان محدود است و گاهی همین منابع محدود نیز با سهل‌انگاری روبه‌آلودگی و زوال می‌رود. یکی از عوامل آلوده کننده آب، نفت و مشتقات آن است. جذب نفت با استفاده از منسوجات یکی از راه‌های رایج برای جداسازی نفت از آب است. در این پژوهش یک فیلتر جداکننده، به‌وسیله سه نوع از انواع منسوجات فنی با خواص گوناگون برای آزمایش‌ها ساخته شد. آزمایش‌ها با استفاده از سه غلظت متفاوت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی نفت انجام شد. سه نوع منسوج BC (Bicomponent), PET (Polyethylene Terephthalate) و PP (Polypropylene) در حضور زهکش‌های افقی و عمودی مورد بررسی قرار گرفت. منسوج PET و PP به‌ترتیب از الیافی از جنس پلی‌استر و پلی‌پروپیلن تهیه شده‌اند و منسوج BC یک منسوج دوجزئی از هر دو لیف پلی‌استر و پلی‌پروپیلن است، که برای اولین بار استفاده شد. جریان از میان منسوجات یک جریان آشفته بود. که با استفاده از روابط جریان غیرداری و روش بهینه‌سازی، ضرایب مربوط به جریان محاسبه شد. در این پژوهش ارتباط میان این ضرایب و درصد جذب نفت توسط منسوج بررسی شد. نتایج نشان داد که در غلظت‌های کم نفت، جذب نفت با مقدار تخلخل منسوجات و ضرایب جریان آشفته نسبت معکوس داشت، اما در غلظت‌های بیشتر اثر این عوامل کمتر شده و به‌جای آن، اثر میزان غلظت نفت و توانایی ذاتی الیاف منسوج در جذب بیشتر است. منسوج PET و PP با حضور زهکش افقی با مقدار جذب به‌ترتیب ۹۵ و ۹۱ درصدی بهترین عملکرد را داشتند.

واژه‌های کلیدی: نفت، جذب، منسوجات نفاخته، ضرایب هیدرولیکی جریان غیرداری، فیلتر جداسازی.

۱. گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲. گروه مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: shayannejad@iut.ac.ir

## مقدمه

جذب بازدهی بالایی دارد، مقرون به صرفه بوده و اجرای آن به آسانی امکان پذیر است. جذب مورد استفاده را نیز می توان طی یک فرایند جذبی مناسبی دوباره احیا کرد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است (۱۱).

یک جذب مناسب برای جذب مواد نفتی از روی آب، جذبی است که میزان جذب نفت آن بیشتر از جذب آب باشد. یعنی جذب آبگریز باشد (۱۰ و ۲۲). و پس از جدا کردن آن از آب آلوده به نفت، میزان رهایش نفت پایینی داشته باشد. به طور کلی هر چقدر خواص آبگریزی و نفت دوستی یک جذب بیشتر باشد، میزان جذب نفت توسط آن جذب بیشتر خواهد بود (۱۱).

جاذب ها به شکل غوطه ور، متصل به زنجیر و به شکل دیواره جذب استفاده می شوند. استفاده از مواد جاذب به شکل غوطه ور چندان معمول نیست (۸). در روش دیگر جاذب ها با استفاده از زنجیر به هم متصل شده و در روی سطح آب با کمک قایق کشیده می شود. استفاده از جاذب های به شکل دیواره نیز از روش های پر کاربرد و متداول است که جاذب عمود بر جریان قرار گرفته و نفت را جذب می کند (۲۳). جریان سیال عبوری از میان برخی از جاذب های از جنس منسوجات، یک جریان آشفته است. بنابراین ویژگی های جریان آشفته روی میزان جذب بایستی بررسی شود. برای تشخیص آرام یا آشفته بودن جریان از عدد بی بعد رینولدز استفاده می شود. هنگامی که عدد رینولدز کمتر یا برابر با یک شود، جریان آرام بوده و قانون داری صادق است و زمانی که عدد رینولدز به بیشتر از ۱۰ می رسد، جریان آشفته خواهد بود که در این حالت دیگر رابطه داری کاربرد ندارد (۷). به همین دلیل پژوهشگران روابط متعددی را برای توصیف جریان آشفته در محیط های متخلخل ارائه کرده اند. روابط مورد استفاده برای جریان آشفته به طور کلی به دو دسته تقسیم می شوند (۱۷):

۱. روابط بین عدد رینولدز (Re) و ضریب اصطکاک (f) و ۲.

روابط بین سرعت (V) و گرادیان هیدرولیکی (i)

روابط بین عدد رینولدز و ضریب اصطکاک به دو شکل

امروزه مسئله آب این مایه حیات یکی از مهم ترین مسائل جهان شده است، که هرچه به سمت جلو و آینده حرکت می کنیم بر اثر عواملی چون: افزایش جمعیت، استفاده نادرست و بیش از اندازه از آب، تغییرات اقلیمی و غیره بر مشکلات و ارزش آن روز به روز می افزاید. منابع آبی در بسیاری از مناطق جهان محدود است و گاهی همین منابع محدود نیز با سهل انگاری روبه آلودگی و زوال می رود. شرایط هیدرولوژیکی جهان به گونه ای است که سهم آب شیرین موجود برای جوامع انسانی به هیچ وجه تناسبی با جمعیت یا وسعت سرزمین نداشته است. بسیاری از مشکلات در اثر نشت نفت اغلب در زمان استخراج نفت، حمل و جابه جایی آن و همچنین ذخیره کردن آن رخ می دهد. ریختن نفت در آب سبب نگرانی های زیادی می شود: اینکه باعث از بین رفتن حجم بسیاری زیادی از نفت به عنوان یکی از مهم ترین منابع انرژی جهان می شود و همچنین سبب آلودگی حجم زیادی از آب این مایه حیات برای ادامه زندگی و تخریب محیط زیست می شود (۷).

روش های مختلفی از جمله سوزاندن در محل، استفاده از مواد پراکنده ساز، روش های زیستی، استفاده از کمربندهای شناور و کف گیرها و همچنین استفاده از مواد جاذب برای از بین بردن و پاکسازی نفت از آب استفاده می شود (۶، ۱۹، ۲۷). بسیاری از روش های پاکسازی علاوه بر پاکسازی نامناسب دارای مضرات زیادی هستند و به همین دلیل بسته به شرایط محیطی بایستی روش مناسبی انتخاب شود ولی در حالت کلی استفاده از جاذب ها و فرایند جذب به دلایل ارزان بودن، در دسترس بودن و سادگی کار محبوبیت بیشتری دارد (۴ و ۲۶). استفاده از الیاف طبیعی مانند: پنبه (۵)، خاکستر پوسته برنج (۱۲ و ۲۱)، پشم (۱۶)، مخلوط بقایای برگ و خاک اره (۱ و ۲)، فیبر کف (۱۵) و الیاف مصنوعی مانند: پلی پروپیلن (۱۳ و ۲۴)، پلی استر (۲۲) و پلی استایرن (۱۴)، پودر تایلر (۱۳)، پشم شیشه (۹) و پلی اتیلن (۲۰) به عنوان ماده ای برای حذف نفت از آب تاکنون توسط محققین مختلف مورد پژوهش و بررسی قرار گرفته است. فرایند

نفتی پالایشگاه‌های اصفهان تهیه شد که گرانشی و چگالی آن توسط شرکت فروشنده گزارش شد که بر این اساس میانگین چگالی نفت خام در ۲۰ درجه سانتی‌گراد ۸۳۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب و میانگین گرانشی آن ۱۸/۷ میلی پاسکال ثانیه است. برای فیلتر ابتدا بایستی بدنه آن ساخته شود و سپس منسوجات درون آن قرار گیرد. برای ساخت بدنه فیلتر از صفحاتی با نام تجاری کارتن‌پلاست استفاده شد این صفحات از جنس پلی‌اتیلن با چگالی کم هستند. که در برابر آب و نفت از مقاومت خوبی برخوردار هستند. این صفحات در ضخامت های مختلفی در بازار وجود دارند که صفحات استفاده شده در این پژوهش در ضخامت ۳ میلی‌متر هستند. از خصوصیات مهم این ورقه‌ها، برش راحت و بدون استفاده از ابزار خاص و برش تنها با قیچی و تیغ است که با وجود این خصوصیت از استحکام خوبی برای بدنه نیز برخوردار است.

منسوجات استفاده شده در این پژوهش سه نوع منسوج فنی هستند که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است. همچنین در این پژوهش در هر دو بخش آزمایشات، از خاک استفاده شد. بافت این خاک از روش هیدرومتری تعیین شد که درصد ذرات تشکیل دهنده آن شامل ۹۰ درصد شن، ۶ درصد رس و ۴ درصد سیلت بود. که خاک در این پژوهش به دو دلیل: ایجاد فرصت مناسب برای جذب و همچنین امکان برقراری بارهای مختلف روی محیط متخلخل و اندازه‌گیری مقادیر مختلف بار نسبت به زمان که بدون حضور خاک به‌طور عملی امکان‌پذیر نبود زیرا سرعت حرکت و افت سطح آب شدید بود.

### تعیین خواص فیزیکی منسوجات

#### اندازه‌گیری ضخامت

ضخامت پارچه بسته به نوع الیاف، نوع و نمره نخ، طرح و ساختمان پارچه متفاوت است. ضخامت از ویژگی‌های فیزیکی پارچه است که بیانگر حجیم بودن، گرمی، سنگینی یا سفتی پارچه بوده و اطلاعاتی در خصوص مصرف انواع پارچه ارائه می‌دهد (۱۹). برای اندازه‌گیری ضخامت پارچه طبق استاندارد

توانی و کسری به‌صورت زیر ارائه شده‌اند (۱۷):

$$f = aRe^b \quad (1)$$

$$f = \frac{a'}{Re} + b' \quad (2)$$

ضرایب این روابط به خصوصیات محیط متخلخل (نظیر اندازه اجزا، تخلخل و ...) و سیال مورد نظر بستگی دارد.

روابط بین سرعت و گرادیان هیدرولیکی نیز به دو شکل

توانی و درجه دوم به‌صورت زیر هستند:

$$i = mv^N \quad (3)$$

$$i = Av + Bv^2 \quad (4)$$

که در روابط بالا،  $m$ : ثابت تجربی است که به‌وسیله خصوصیات سیال و محیط متخلخل تعیین می‌شود و  $N$ : توان مربوط به آشفتگی است که مقداری بین ۱ برای جریان ورقه‌ای تا ۲ برای جریان آشفته کامل دارد.  $A$  و  $B$  ثابت‌های تجربی هستند که به ویژگی‌های سیال و محیط متخلخل بستگی دارند (۳ و ۱۷).

در این پژوهش یک فیلتر جداکننده، به‌وسیله سه نوع از انواع منسوجات فنی با خواص گوناگون برای آزمایش‌ها ساخته شد. آزمایش‌ها با استفاده از سه غلظت متفاوت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد نفت انجام شد. در این پژوهش سه نوع منسوج BC (Bicomponent)، PET (Polyethylene Terephthalate) و PP (Polypropylene) در حضور زهکش‌های افقی و عمودی مورد بررسی قرار گرفت. جریان از میان منسوجات یک جریان آشفته است. همچنین اهداف این پژوهش به شرح زیر است:

۱. مقایسه میزان عملکرد جذب نفت توسط سه جاذب مختلف.
۲. استفاده از سه حالت مختلف دستگاه فیلتر و مقایسه عملکرد هر سه.
۳. بررسی ارتباط ضرایب جریان غیرداریسی با میزان نفت.

### مواد و روش‌ها

#### مواد آزمایش

در این تحقیق نفت خام از شرکت نفت و پخش فرآورده‌های

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی منسوجات

شماره	کد منسوج	جنس منسوج	نوع منسوج	ضخامت منسوجات (mm)	چگالی منسوجات ( $\frac{g}{cm^3}$ )	چگالی الیاف ( $\frac{g}{cm^3}$ )	تخلخل (درصد)
۱	BC	پلی استر و پلی پروپیلن	بی بافت سوزنی شده	۳۰	۰/۰۱۸	۱/۱۴۵	۹۸
۲	PET	پلی استر	بی بافت سوزنی شده	۲/۰۴	۰/۱۴۷	۱/۳۸	۸۹
۳	PP	پلی پروپیلن	بی بافت سوزنی شده	۲/۰۱	۰/۱۴۹	۰/۹۱	۷۷

## محاسبه تخلخل منسوجات

برای محاسبه تخلخل منسوجات استفاده شده در جداسازی نفت از آب، ابتدا وزن نمونه‌ها با ترازو محاسبه می‌شود (در قسمت ب) سپس میانگین وزن به دست آمده تقسیم به چگالی الیاف (چگالی واقعی) می‌شود در رابطه ۵ نحوه محاسبه حجم واقعی نشان داده شده است. سپس حجم ظاهری با استفاده از رابطه ۶ از حاصل ضرب میانگین ضخامت منسوج در سطح مقطع (که مقدار ۸×۸ سانتی متر است) به دست می‌آید. و در نهایت تخلخل منسوج مورد نظر از رابطه ۶ محاسبه می‌شود (جدول ۱).

$$V_a = \frac{m}{\rho} \quad (6)$$

$$V_e = t \times A \quad (7)$$

$$n = \frac{V_e - V_a}{V_e} \times 100 \quad (8)$$

$V_a$  حجم واقعی منسوجات،  $m$  جرم منسوج،  $\rho$  چگالی (واقعی) الیاف،  $V_e$  حجم ظاهری منسوجات،  $t$  ضخامت منسوج،  $A$  سطح مقطع و  $n$  تخلخل است. همچنین به منظور تصدیق میزان تخلخل منسوجات از نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) عکسبرداری شد (شکل ۱).

در شکل ۱-الف)، FE-SEM مربوط به منسوج BC است که در آن مشاهده شد که دو نوع الیاف با ظرافت‌های متفاوت وجود دارد که الیاف باریک‌تر، از جنس پلی پروپیلن و الیاف ضخیم‌تر از جنس پلی استر است و استفاده از دو نوع لیف

ASTM D5729 از دستگاه ضخامت‌سنج استفاده شد (۱۹). این دستگاه از دو صفحه صاف تشکیل شده است که پارچه در بین این دو صفحه قرار می‌گیرد و با قرار دادن وزنه روی پایه دستگاه، فشاری در حدود (۲ کیلو پاسکال) ۰/۲۸ Psi به پارچه وارد شد که عدد نشان داده شده توسط عقربه‌های ضخامت‌سنج، میزان ضخامت پارچه را نشان می‌دهد (جدول ۱).

## اندازه‌گیری چگالی سطحی

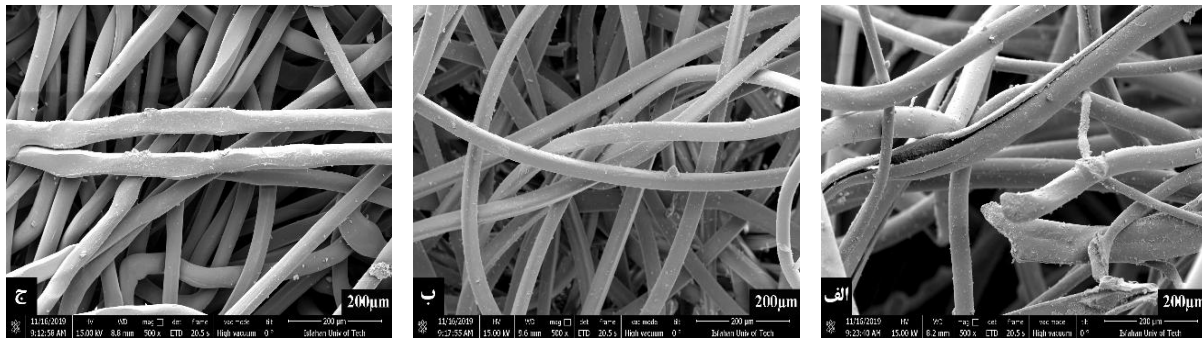
برای انجام این آزمایش بر اساس استاندارد ابتدا ۱۰ نمونه از هر پارچه با ابعاد ۸ × ۸ سانتی متر مربع تهیه شده و توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد. در پایان میانگین وزنه نمونه‌ها به عنوان نتیجه نهایی گزارش شد (جدول ۱).

## چگالی منسوجات

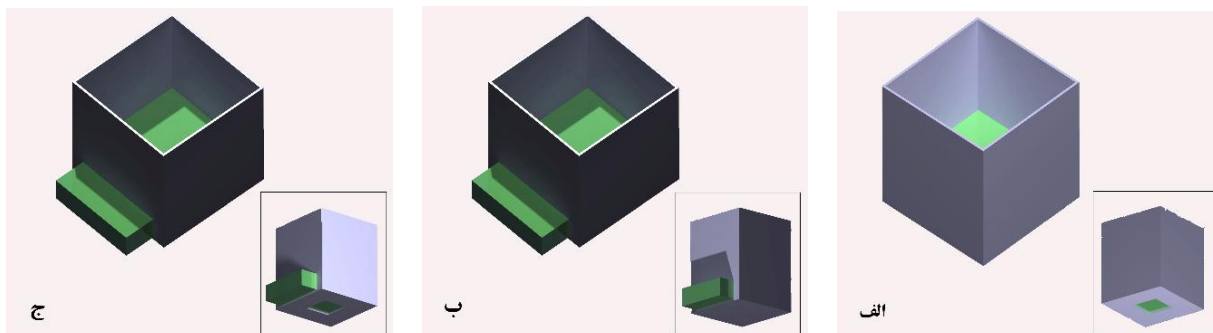
محاسبه چگالی منسوجات از طریق فرمول بالا امکان‌پذیر است، که ۱۰ نمونه با ابعاد ۸ × ۸ وزن شد که با داشتن ضخامت مربوطه هر کدام از نمونه‌ها در قسمت الف در همین بخش و قرار دادن در فرمول (۵) چگالی مربوطه محاسبه شد که به صورت میانگین گزارش شد (جدول ۱):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

اطلاعات چگالی الیاف نیز از طریق شرکت سازنده گرفته شد (جدول ۱).



شکل ۱. تصاویر FE-SEM مربوط به: الف) منسوج BC، ب) منسوج PET و ج) منسوج PP



شکل ۲. شکل نمادین فیلترهای ساخته شده: الف) با زهکش عمودی، ب) با زهکش افقی و ج) با هر دو زهکش عمودی و افقی

اصلی است:

۱. جداره خارجی: که به شکل مکعب مستطیل با ابعاد  $(10 \times 10 \times 20 \text{ cm})$  و از جنس ورقه پلی اتیلن شفاف با چگالی کم ساخته شد.

۲. جاذب: که پیش تر معرفی شدند و با ابعاد  $(10 \times 10 \times 2 \text{ cm})$  در کف مکعب مستطیل ساخته شده با پلی اتیلن قرار گرفت و کنارهای آن نیز با چسب آکواریوم، درزبندی شد.

شکل نمادین نمونه فیلترهای ساخته شده در شکل ۲ نشان داده شده است. نمونه های فیلتر در سه حالت، دارای زهکش عمودی، دارای زهکش افقی و همچنین ترکیب هر دو حالت قبلی یعنی فیلتر با هر دو زهکش عمودی و افقی ساخته شدند. که هدف از ساخت فیلتر با خروجی های مختلف، بررسی و آزمایش عملکرد بهترین زهکش برای جذب نفت و جداسازی بهتر آب است.

متفاوت در ساخت این منسوج را به خوبی نشان داده است. همچنین شکستگی الیاف حین فرایند تولید مشاهده شد و همچنین نقاط برجسته و ریز روی الیاف نقاط اتصال ذوبی است. در شکل ۲- ب FE-SEM مربوط به منسوج PET است، که مشاهده شد که تقریباً همه الیاف سازنده دارای قطر یکسان و استوانه ای شکل است. و در شکل ۳- ج FE-SEM مربوط به منسوج PP است، که مشاهده شد که تقریباً همه قطر الیاف سازنده یکسان و مکعبی شکل است. با مقایسه هر سه تصویر، مشاهده شد که منسوج BC دارای بیشترین تخلخل است و سپس تخلخل منسوج PET بیشتر از منسوج PP است که نتایج محاسباتی در جدول ۱ را تصدیق کرد.

### ساخت فیلترهای جذب

نمونه های فیلتری ساخته شده در این پژوهش شامل دو قسمت

جدول ۲. مشخصات مخلوط آب و نفت استفاده شده در این پژوهش

شماره	کد غلظت	حجم آب (ml)	حجم نفت (ml)	حجم کل (ml)
۱	C10	۹۰	۱۰	۱۰۰
۲	C20	۸۰	۲۰	۱۰۰
۳	C30	۷۰	۳۰	۱۰۰

### آزمایش جداسازی نفت از آب

این آزمایش در سه غلظت مختلف نفت مطابق جدول ۲ انجام شد:

برای ساخت این مخلوط، از یک استوانه مدرج ۲۰۰ میلی لیتری استفاده شد. به طور مثال برای آزمایش با حجم ۹۰ میلی لیتر آب به علاوه ۱۰ میلی لیتر نفت مراحل زیر انجام شد:

ابتدا وزن استوانه خالی ۲۰۰ میلی لیتری اندازه گیری و یادداشت شد. سپس مقدار ۹۰ میلی لیتر آب درون استوانه ریخته شده و وزن آب و ظرف با ترازو اندازه گیری و ثبت شد. در مرحله بعدی، مقدار ۱۰ میلی لیتر نفت خام به آب اضافه شد و مجدد ظرف حاوی آب و نفت وزن گیری شد (دلیل اندازه گیری وزن ظرف خالی، ظرف حاوی آب و ظرف حاوی مخلوط آب و نفت این است که چون مقداری از نفت خام به بدنه استوانه مدرج می چسبد و برای کاهش خطا و دقت در میزان حجم ورودی مخلوط به داخل فیلتر این امر انجام می شود که حجم دقیق آب و نفت ورودی از طریق رابطه ۴ و با داشتن وزن و چگالی هم آب و هم نفت به دست می آید).

پس از آماده شدن مخلوط آب و نفت، از بالا به داخل فیلتر ساخته شده با منسوج ریخته شد و در مدت زمان ۱۵ دقیقه میزان آب و نفت خروجی از زهکش فیلتر اندازه گیری و ثبت شد. سپس مجدد استوانه ۲۰۰ میلی لیتری وزن شد (چون مقداری نفت به ظرف چسبیده است وزن آن از حالت ظرف خالی در ابتدا بیشتر است) و ثبت شد و در مراحل بعد ابتدا آب به اندازه ۹۰ میلی لیتر ریخته و وزن شد و بعد از آن نفت به مقدار ۱۰ میلی متر اضافه شد و وزن گیری مجدد تکرار شد، سپس مخلوط به درون فیلتر ریخته شد و حجم آب و نفت

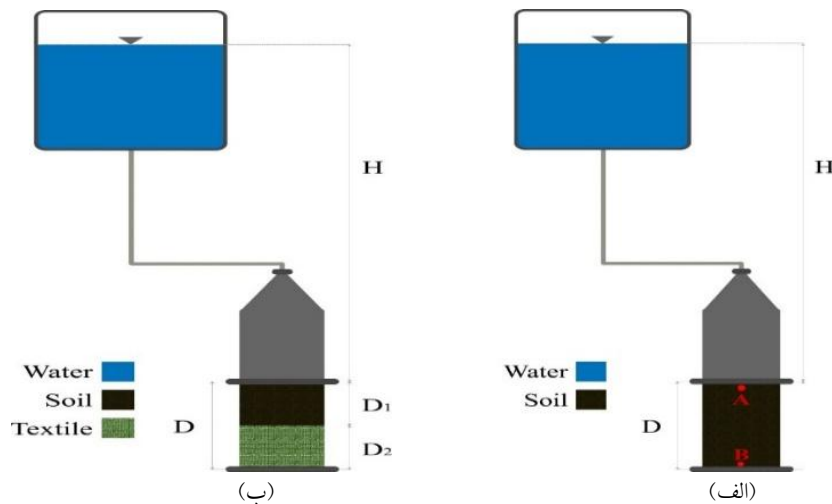
خروجی به مدت ۱۵ دقیقه ثبت شد. این مراحل مجدد ۳۰ بار (بسته به اشباع شدن جاذب) تکرار شد. همچنین آزمایش برای سایر غلظت ها نیز مشابه قسمت های گفته شده انجام شد. آزمایش فیلتراسیون نفت از آب با فیلتر ساخته شده از منسوج و خاک و فیلتر ساخته شده با خاک نیز مشابه مراحل گفته شده در بالا انجام شد و نتایج آن ثبت شد.

### تعیین ضرایب جریان آشفته از میان منسوجات

در این قسمت ضرایب معادله ۱ برای انواع مختلف منسوجات با اندازه گیری های زیر به دست آمد.

### الف) دستگاه اندازه گیری نفوذ پذیری

برای انجام این آزمایش نیاز به دستگاهی بود که علاوه بر آب بند بودن بتوان در بارهای هیدرولیکی مختلف، میزان نفوذپذیری پوشش مورد نظر را بررسی کرد، به همین دلیل از دستگاه اندازه گیری نفوذ استفاده شد. این دستگاه شامل سه قسمت اصلی: ۱. ستون فلزی به قطر ۱۲ سانتی متر و طول ۷۰ سانتی متر که ابتدای آن به شکل مخروطی است، ۲. یک ستون به قطر ۱۱ سانتی متر و طول ۲۰ سانتی متر که کف آن یک صفحه سوراخ دار جوش داده شده است و با اتصال فلنج به ستون بالایی وصل می شود، ۳. مخزن آب. مخزن مایع با لوله ای که دارای شیر قطع و وصل هست به سر مخروطی ستون متصل شده است. ارتفاع این مخزن ۵۹ سانتی متر و قطر ۳۲ سانتی متر است. این مخزن در ارتفاع ۱۹۴ سانتی متری از از صفحه سوراخ دار یا همان خروجی دستگاه واقع شده است. برای تعادل، ستون بزرگ بر روی یک پایه آهنی با اتصال جوش متصل شده است.



شکل ۳. الف) نمادین دستگاه اندازه‌گیری نفوذ در حالت استفاده فقط با خاک و ب) نمادین دستگاه اندازه‌گیری نفوذ در حالت استفاده از منسوج و خاک

### ج) محاسبه دبی

برای محاسبه دبی برای یک نوع پوشش شکل ۳- الف از ترکیب معادله ۱ و معادله دارسی ویسباخ استفاده می‌شود. این معادله به صورت زیر است (۷ و ۱۸):

$$Q_c = A\alpha \left(1 + \frac{H}{D}\right)^\beta \quad (9)$$

$Q_c$  دبی محاسباتی،  $A$  سطح مقطع،  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایب جریان عبوری،  $H$  ارتفاع از سطح آب درون مخزن تا ابتدای مخزن خاک و  $D$  ارتفاع مخزن خاک است.

به طور مشابه دبی عبوری از دو لایه شامل جاذب و خاک که مطابق شکل ۳- ب روی هم قرار گرفته و جریان عمود بر آنها عبور می‌کند به صورت زیر محاسبه می‌شود (۷ و ۱۸):

$$Q_c = A.\alpha \left( \frac{1}{D} \left( \left( \frac{Q}{A.\alpha_1} \right)^{\frac{1}{\beta_1}} D_1 + \left( \frac{Q}{A.\alpha_2} \right)^{\frac{1}{\beta_2}} D_2 \right) \right)^\beta \quad (10)$$

در رابطه ۱۰،  $Q_c$  و  $Q$  به ترتیب دبی محاسباتی و دبی مشاهداتی در دو رابطه بالا،  $\alpha_1$  و  $\beta_1$  ضرایب جریان عبوری از خاک،  $\alpha_2$  و  $\beta_2$  ضرایب جریان عبوری از منسوجات و  $D_1$  و  $D_2$  به ترتیب ارتفاع خاک و منسوجات درون مخزن است برای تعیین ضرایب، بایستی مقادیر مختلف دبی به ازای بارهای مختلف اندازه‌گیری کرد. این کار یک بار برای شن و

برای آب‌بند بودن بین دو ستون دو واشر PVC روی ستون بالا و پایین نصب شده است و محلی برای قرار دادن نمونه جاذب داخل ستون فلزی سوراخ‌دار تعبیه شده است.

### ب) آزمایش نفوذپذیری و اندازه‌گیری دبی

ابتدا از پوشش جاذب با قطر ۱۱ سانتی‌متر به اندازه ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از ستون فلزی بریده شد و در داخل ستون فلزی گذاشته شد. ۱۰ سانتی‌متری مابقی با خاک استفاده شده در این پژوهش پر شد و ستون فلزی با واشر مخصوص آب بندی و در جای خود با پیچ و مهره محکم بسته شد. شیر خروجی مخزن در حالت بسته قرار گرفته و مخزن از آب پر شد. و شیر خروجی باز شده و صبر می‌کنیم تا جریان خروجی ثابت شود یا به عبارتی مواد داخل ستون به حالت اشباع در بیایند. سپس مجدد مخزن پر شده و در زمان‌های مختلف میزان دبی خروجی را اندازه‌گیری و ثبت شد. این دبی برای حالت ترکیبی از خاک و جاذب است. حال تمام ارتفاع مخزن یعنی ۲۰ سانتی‌متر آن را از خاک پر می‌کنیم و بعد از اشباع کردن خاک، میزان دبی خروجی در بارهای مختلف اندازه‌گیری می‌شود. دبی به دست آمده در این قسمت، دبی مشاهداتی برای خاک است.

جدول ۳. نتایج مربوط به اندازه‌گیری ضرایب جریان

شماره	کد جاذب	ضریب $\alpha$	ضریب $\beta$
۱	PP	۰/۰۱۲	۰/۷۹۱
۲	PET	۰/۰۱۲	۰/۸۹۴
۳	BC	۰/۰۱۷	۰/۵۹۱

های آن ترسیم می‌شود. عمدتاً در حالت استفاده از منسوج به همراه خاک نسبت به استفاده از منسوج بدون خاک شدت جذب و مقدار جذب نفت بیشتر می‌شود. همچنین علاوه بر نوع جاذب، نوع زهکش (عمودی، افقی، عمودی + افقی) استفاده شده در هر فیلتر نیز برای هر نمودار ثابت در نظر گرفته شد.

#### الف. فیلتر با زهکش عمودی

با توجه به شکل‌های ۴-الف و ۵-الف که برای منسوج BC است، مشاهده شد که با افزایش غلظت نفت از ۱۰ درصد به دو مقدار ۲۰ و ۳۰ درصد میزان جذب تجمعی نفت نیز تقریباً دو و سه برابر می‌شود اما شدت جذب در غلظت ۲۰ درصد بیشترین مقدار را دارد. مقدار شدت جذب در غلظت ۲۰ درصد برای منسوج BC به ترتیب برای استفاده بدون خاک و با خاک برابر ۳۰/۶۴ و ۳۵/۵۹ میلی‌لیتر در ساعت است. در ۶۰ دقیقه ابتدایی، جذب نفت با سرعت بیشتری انجام شد. در شکل‌های ۴-ب و ۵-ب که برای منسوج PET است، مشاهده شد که با افزایش غلظت نفت از ۱۰ درصد به دو مقدار ۲۰ و ۳۰ درصد میزان جذب تجمعی نفت نیز تقریباً به ترتیب دو و سه برابر شد اما شدت جذب نفت برای منسوج PET در غلظت ۳۰ درصد بیشترین مقدار را دارد. میزان شدت جذب نفت برای منسوج PET در غلظت ۳۰ درصد برای استفاده بدون خاک و به همراه خاک به ترتیب برابر مقادیر ۶۱/۴۸ و ۶۸/۹۵ میلی‌لیتر در ساعت است. میزان جذب نفت در ۶۰ دقیقه ابتدایی با سرعت بیشتری انجام شد. در شکل‌های ۴-ج و ۵-ج که برای منسوج PP است، مشاهده شد که با دو و سه برابر کردن غلظت، میزان

یک بار دیگر برای ترکیب شن و جاذب انجام شد. سپس با استفاده از ضرایب به دست آمده از این دو مرحله ضرایب مربوط به جاذب به دست می‌آید زیرا به علت افت سریع سیال از جاذب نمی‌توان از لحاظ اجرایی ضرایب آن را به دست آورد. که ابتدا ضرایب شن ( $\alpha_1$  و  $\beta_1$ ) را با قرار دادن در رابطه RMSE تابع هدف به روش بهینه‌سازی به دست آمد (۷ و ۱۸). با توجه به شکل، اندیس ۱ مربوط به شن است. سپس به طور مشابه این کار برای داده‌های استخراج شده از ترکیب جاذب و شن انجام شد یعنی دو پارامتر  $\alpha$  و  $\beta$  بر اساس رابطه ۱۰ از طریق بهینه‌سازی محاسبه شد و در نهایت با جایگذاری مقادیر  $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2$  و  $\beta_2$  در رابطه ۱۰ و با استفاده از داده‌های حاصل از دبی مشاهداتی در حالت ترکیبی ضرایب  $\alpha_2$  و  $\beta_2$  به دست می‌آید.

#### نتایج و بحث

##### ۱. ضرایب جریان عبوری از میان منسوجات و خاک

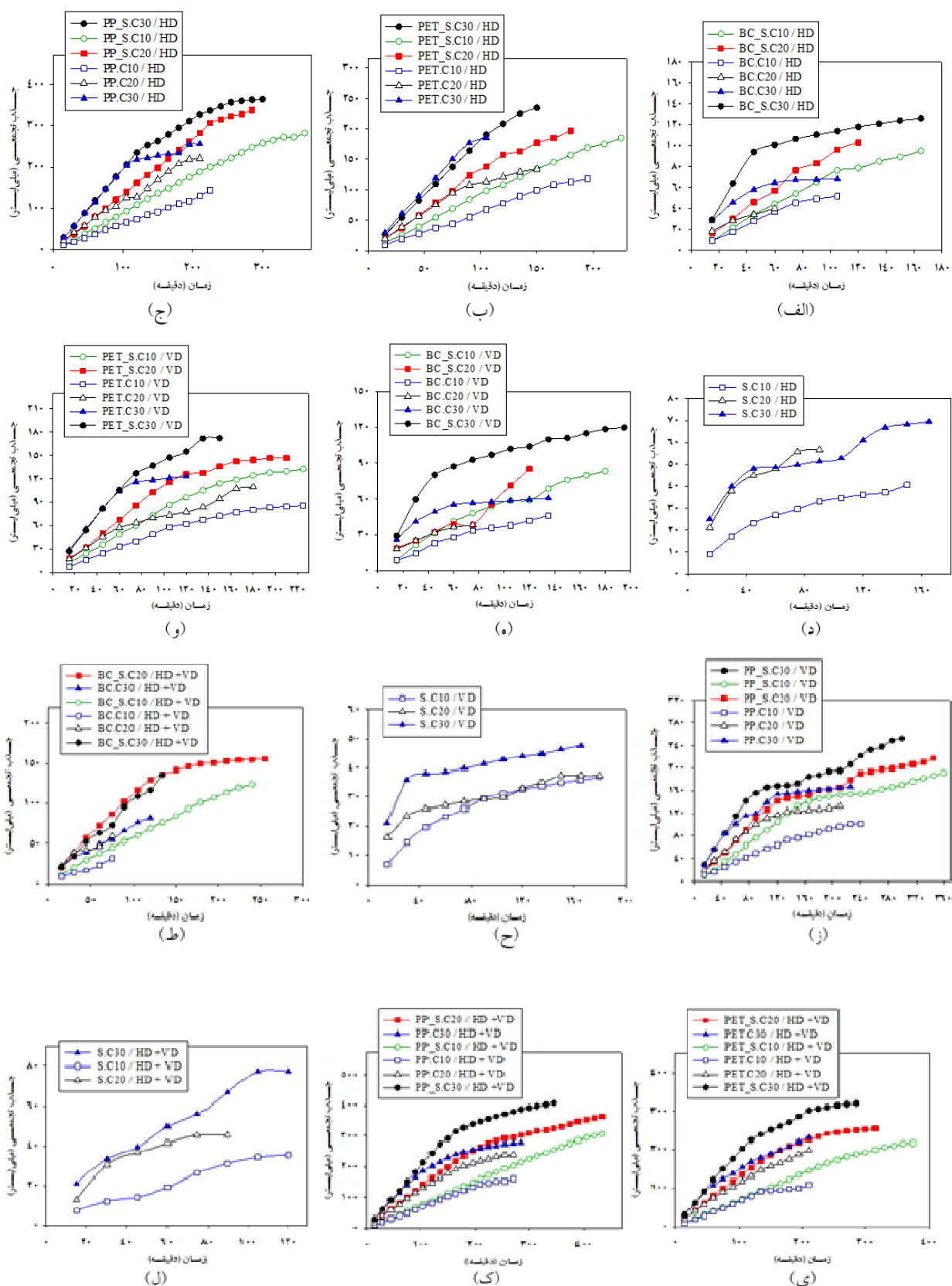
در این قسمت ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  مربوط به شن، حالت ترکیبی شن و منسوجات و همچنین منسوجات بدون شن محاسبه شد که در جدول ۳ آورده شده است. مشاهده شد که جریان عبوری از میان این محیط‌ها، جریانی آشفته است.

##### ۲. مقایسه میزان جذب تجمعی نفت در غلظت‌های مختلف

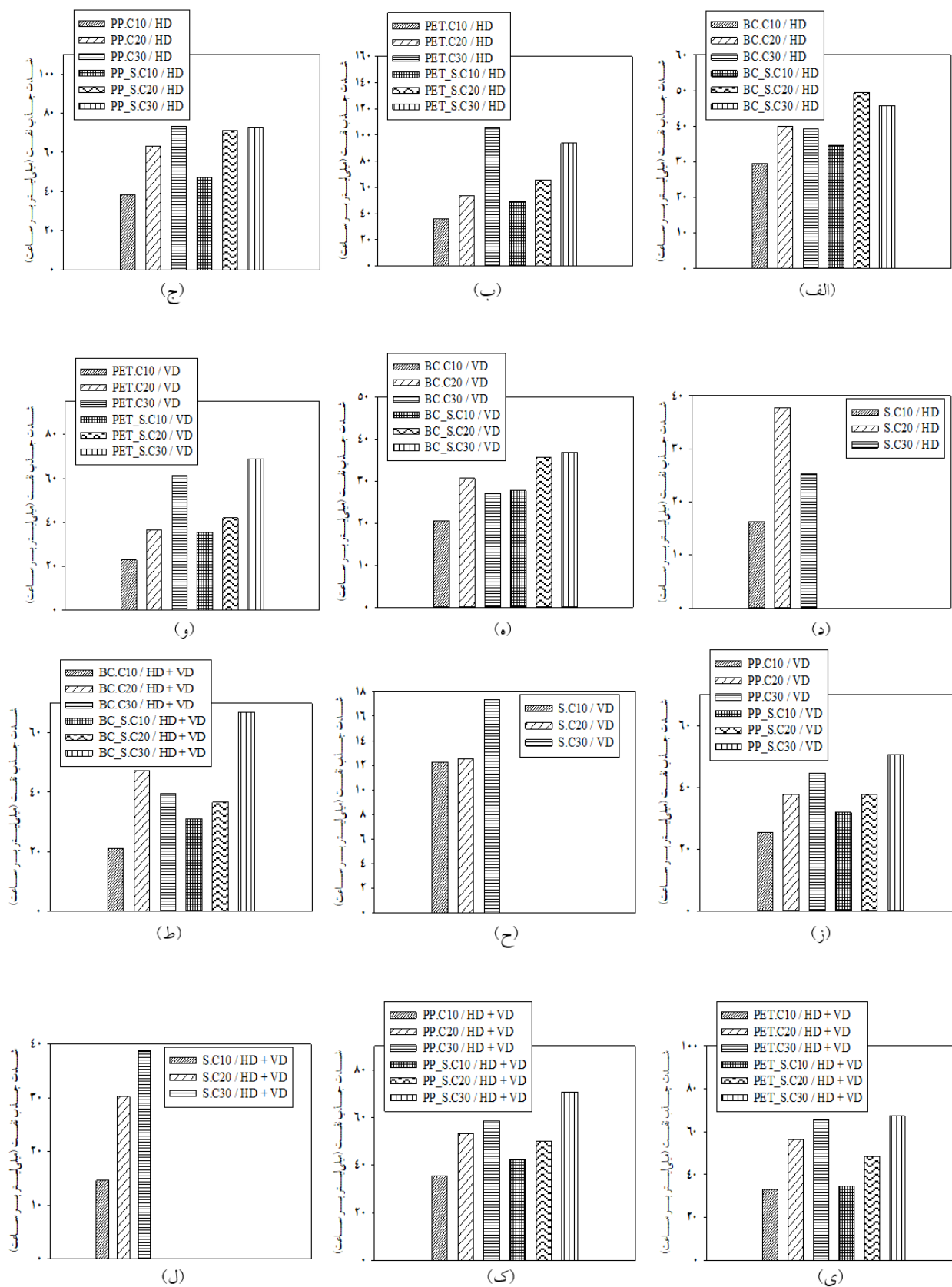
###### نفت

در این قسمت میزان جذب تجمعی نفت نسبت به زمان و همچنین شدت جذب نفت توسط جاذب‌های مختلف بررسی می‌شود. در این حالت برای هر منسوج چه به حالت استفاده بدون خاک یا استفاده به همراه لایه خاک یک نمودار از داده





شکل ۴. تغییرات جذب تجمع نفت نسبت به زمان



شکل ۵. شدت جذب نفت نسبت به زمان

افزایش مقدار جذب به همان نسبت می‌شود. بیشترین مقدار شدت جذب برای منسوج PP در غلظت ۳۰ درصد نفت است که مقادیر آن برای منسوج بدون خاک و با خاک به ترتیب برابر ۷۳/۰۸ و ۷۲/۸ میلی لیتر در ساعت است. در زمان ۹۰ دقیقه ابتدایی آزمایش مشاهده شد که استفاده از خاک در دو غلظت ۲۰ و ۳۰ درصد در مقدار جذب تأثیری ندارد. از شکل‌های ۴-ح و ۵-ح که برای خاک است، نتیجه شد که در ۹۰ دقیقه ابتدایی آزمایش افزایش غلظت نفت از ۱۰ به ۲۰ درصد در مقدار جذب نفت تأثیر زیادی دارد ولی تغییر غلظت از ۲۰ به ۳۰ درصد در مقدار جذب اثر کمتری دارد. بیشترین مقدار شدت جذب نفت مربوط به غلظت ۲۰ درصد نفت با مقدار ۳۷/۷۴ میلی لیتر در ساعت است.

#### ج. فیلتر با زهکش عمودی و افقی

در شکل‌های ۴-ط و ۵-ط که برای منسوج BC است، مشاهده شد که تغییر غلظت نفت از ۲۰ به ۳۰ درصد تأثیر کمی بر مقدار جذب نفت دارد. حداکثر میزان شدت جذب برای غلظت ۲۰ درصد با مقدار ۴۷/۲۳ میلی لیتر بر ساعت است. از شکل‌های ۴-ی و ۵-ی که برای منسوج PET است، نتیجه شد که با افزایش غلظت نفت از مقدار ۱۰ درصد به دو مقدار ۲۰ و ۳۰ درصد، مقدار جذب تجمعی نفت نیز تقریباً دو و سه برابر می‌شود. سرعت جذب نفت در ۱۲۰ دقیقه ابتدایی آزمایش زیاد شده و سپس کمتر می‌شود. حداکثر مقدار شدت جذب مربوط به غلظت ۳۰ درصد نفت است که مقادیر آن برای استفاده از منسوج بدون خاک و به همراه خاک به ترتیب برابر مقادیر ۶۵/۹۰ و ۶۷/۲۷ میلی لیتر بر ساعت است. در شکل‌های ۴-ک و ۵-ک که برای منسوج PP است، مشاهده شد که تغییر غلظت تأثیر زیادی بر مقدار جذب نفت دارد. بیشترین مقدار جذب تجمعی نفت مربوط به غلظت ۳۰ درصد نفت است که مقادیر آن برای استفاده از منسوج بدون خاک و به همراه خاک به ترتیب برابر مقادیر ۵۸/۵۳ و ۷۰/۷۸ میلی لیتر بر ساعت است. در شکل‌های ۴-ل و ۵-ل که برای خاک است، مشاهده شد

جذب تجمعی نفت نیز تقریباً به ترتیب دو و سه برابر شد. اما شدت جذب نفت برای منسوج PP در غلظت ۳۰ درصد بیشترین مقدار را دارد. مقدار شدت جذب نفت برای منسوج PP در دو حالت استفاده بدون خاک و با خاک در غلظت ۳۰ درصد به ترتیب دو مقدار ۴۴/۵۸ و ۵۰/۶۴ میلی لیتر در ساعت است. میزان جذب نفت در ۶۰ دقیقه ابتدایی با سرعت بیشتری انجام شد. جذب نفت در شروع آزمایش تقریباً در هر غلظت برای منسوج با خاک و بدون خاک مقدار یکسانی دارد. با توجه به شکل‌های ۴-د و ۵-د که برای خاک است، با تغییر غلظت نفت از مقدار ۱۰ درصد به مقدار ۲۰ درصد، در زمان ۷۵ دقیقه ابتدایی آزمایش مقدار جذب تجمعی نیز حدوداً دو برابر می‌شود ولی پس از این زمان مقدار جذب تجمعی نفت و همچنین شدت جذب نفت با تغییر کم و تقریباً یکسان شد اما شدت جذب نفت در غلظت ۳۰ درصد با مقدار ۱۷/۳۱ میلی لیتر در ساعت بیشترین مقدار را دارد.

#### ب. فیلتر با زهکش افقی

در شکل‌های ۴-ه و ۵-ه که برای منسوج BC است، مشاهده شد که تقریباً با تغییر غلظت نفت از ۱۰ درصد به ۲۰ و ۳۰ درصد تأثیر زیادی بر جذب نفت نداشته و میزان جذب نفت نسبت به همان مقدار دو برابر و سه برابر نشد اما شدت جذب در غلظت ۲۰ بیشترین مقدار را دارد. مقدار شدت جذب در غلظت ۲۰ درصد برای منسوج BC در دو حالت استفاده بدون خاک و به همراه خاک به ترتیب دو مقدار ۳۹/۹۹ و ۴۹/۳۶ میلی لیتر در ساعت است. از شکل‌های ۴-و و ۵-و که برای منسوج PET است، نتیجه شد که جذب تجمعی نفت در دو غلظت ۲۰ و ۳۰ درصد به ترتیب دو و سه برابر (تقریباً) جذب نفت در غلظت ۱۰ درصد است و در غلظت ۳۰ درصد حداکثر شدت جذب اتفاق می‌افتد که مقادیر آن برای استفاده بدون خاک و به همراه خاک به ترتیب برابر ۱۰۵/۹۷ و ۹۳/۹۰ میلی لیتر در ساعت است. در شکل‌های ۴-ز و ۵-ز که برای منسوج PP است، مشاهده شد که افزایش غلظت تأثیر بسزایی در

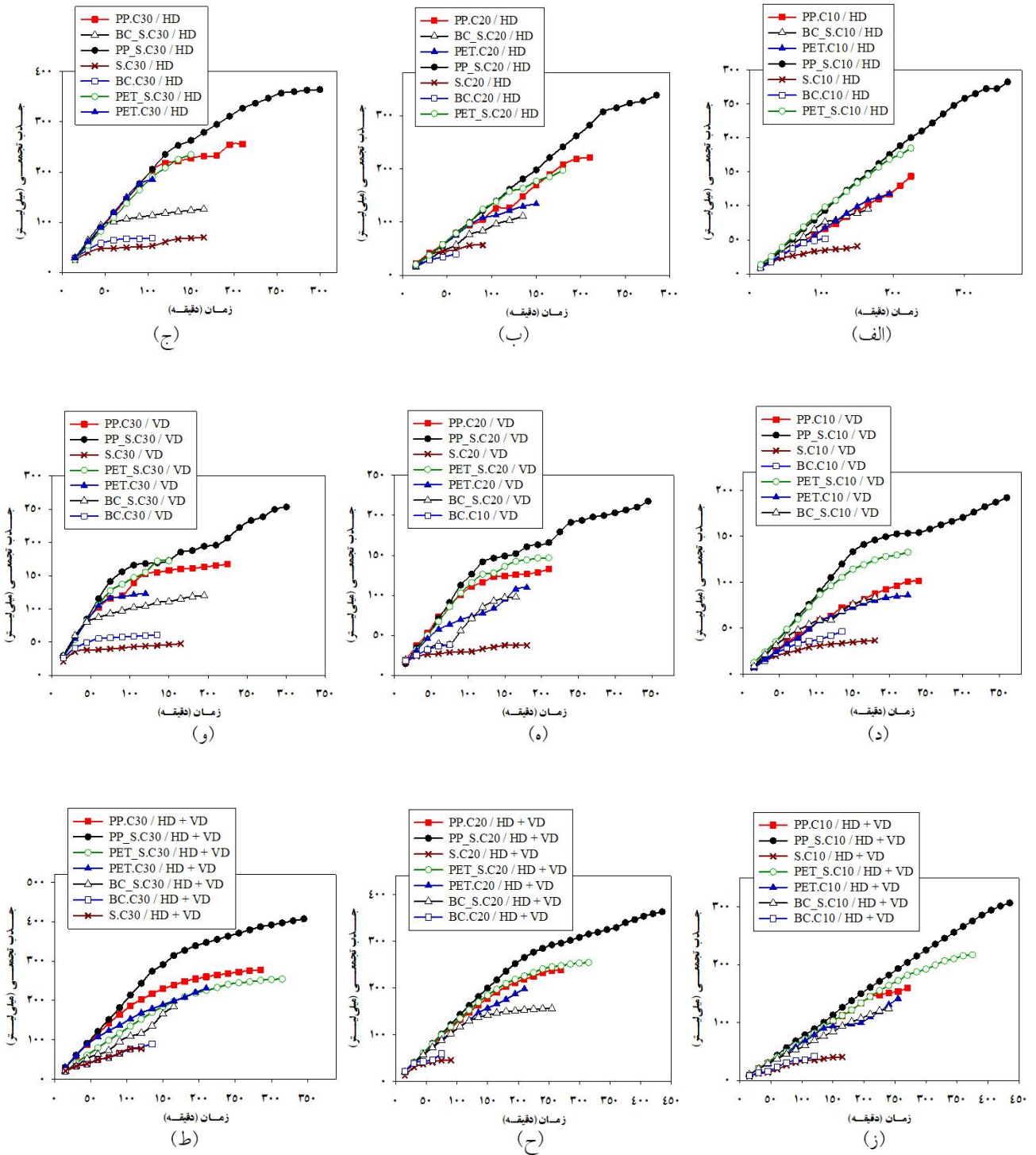
PET عملکرد بهتری داشت که جذب تجمعی نفت برای منسوج PP مقدار ۱۴۳/۵۴ میلی لیتر است و بیشترین شدت جذب نفت برای منسوج PP با مقدار ۳۸/۲۸ میلی لیتر بر ساعت است. از شکل های ۶- و ۷- ه که در غلظت ۲۰ درصد نفت برای فیلتر با زهکش افقی است نتیجه شد که در زمان ۱۲۰ دقیقه ابتدایی آزمایش مقدار جذب تجمعی نفت در دو منسوج PET و PP دارای مقادیر یکسان است و پس از این زمان مقدار جذب تجمعی نفت را داشت که مقدار آن برابر ۲۲۱/۰۶ میلی لیتر است. شدت جذب در منسوج PP بیشترین مقدار را داشت که مقدار آن برابر ۶۳/۱۶ میلی لیتر بر ساعت است. در شکل های ۶- و ۷- و که مربوط به غلظت ۳۰ درصد نفت و فیلتر با زهکش افقی است مشاهده شد که بیشترین مقدار جذب تجمعی نفت برای منسوج PP و کمترین مقدار برای منسوج BC است که مقادیر آن به ترتیب برابر ۲۵۵/۸۰ و ۶۸/۵۱ میلی لیتر است. بیشترین مقدار شدت جذب نفت برای منسوج PET و کمترین مقدار برای BC است که اعداد آن به ترتیب برابر ۱۰۵/۹۷ و ۳۹/۱۵ میلی لیتر بر ساعت است.

در شکل های ۶- ز و ۷- ز که برای غلظت ۱۰ درصد نفت و فیلتر با هر دو زهکش عمودی و افقی است نتیجه شد که جذب تجمعی نفت در فیلترهای استفاده شده از دو منسوج PP و PET تا زمان ۱۵۰ دقیقه ابتدایی دارای مقادیر یکسان است و پس از این زمان فیلتر استفاده شده از PP بیشترین جذب را دارد که مقدار آن برابر ۱۵۹/۹۷ میلی لیتر است. حداکثر میزان شدت جذب نفت مربوط به PP با مقدار ۳۴/۵۶ میلی لیتر بر ساعت است. در شکل های ۶- ح و ۷- ح که مربوط به به غلظت ۲۰ درصد نفت و فیلتر با هر دو زهکش عمودی و افقی است مشاهده شد که فیلتر استفاده شده از PP بیشترین مقدار جذب تجمعی نفت و فیلتر استفاده شده از BC کمترین مقدار جذب نفت را دارد که مقادیر آن به ترتیب برابر ۲۳۸/۸۶ و ۵۹/۰۳ میلی لیتر است. شدت جذب نفت در منسوج PET بیشترین مقدار است که مقدار آن برابر ۵۶/۵۶ میلی لیتر بر

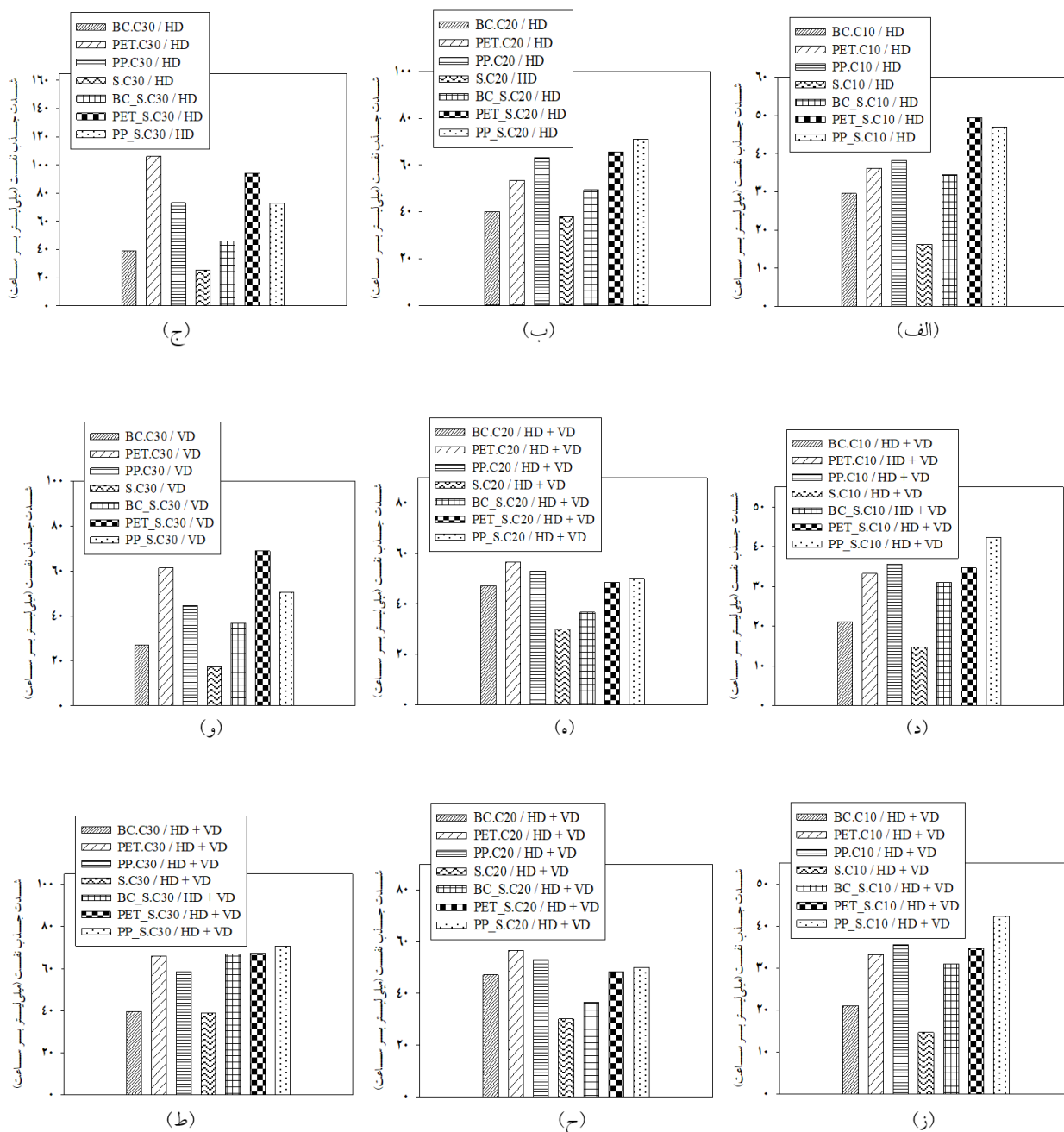
که حداکثر شدت جذب نفت برای خاک در غلظت ۳۰ درصد نفت با مقدار ۳۸/۸۲ میلی لیتر بر ساعت است.

### ۳. مقایسه میزان جذب تجمعی نفت در جاذب های مختلف در غلظت های یکسان

در شکل های ۶- الف و ۷- الف که مربوط به غلظت ۱۰ درصد نفت و فیلتر با زهکش عمودی است مشاهده شد که در ۱۵۰ دقیقه ابتدایی آزمایش جذب نفت با سرعت بیشتری انجام شده است. بیشترین مقدار جذب تجمعی و شدت جذب نفت مربوط به منسوج PP است که مقادیر آن به ترتیب برابر ۱۰۱/۴۷ میلی لیتر و ۲۵/۳۷ میلی لیتر بر ساعت است و کمترین مقدار جذب تجمعی و شدت جذب نفت مربوط به منسوج BC است که مقادیر آن به ترتیب برابر ۴۶/۳۳ میلی لیتر و ۲۰/۵۹ میلی لیتر بر ساعت است. از شکل های ۶- ب و ۷- ب که مربوط به غلظت ۲۰ درصد نفت و فیلتر با زهکش عمودی هستند نتیجه شد که بیشترین مقدار جذب تجمعی برای منسوج PP است و منسوج BC عملکرد خوبی در جذب نفت ندارد. که مقادیر آن به ترتیب برابر ۱۳۲/۶۷ و ۳۸/۳ میلی لیتر است. شدت جذب در منسوج PP بیشترین مقدار و منسوج BC کمترین شدت جذب را داشت که مقادیر آن به ترتیب ۳۷/۹۰ و ۳۰/۶۴ میلی لیتر بر ساعت است. با توجه به شکل های ۶- ج و ۷- ج که مربوط به آزمایش با غلظت ۳۰ درصد نفت و فیلتر با زهکش عمودی است مشاهده شد که بیشترین مقدار جذب تجمعی مربوط به منسوج PP و بیشترین مقدار شدت جذب نفت مربوط به منسوج PET است که مقادیر آن به ترتیب برابر ۱۶۷/۲ میلی لیتر و ۶۱/۴۸ میلی لیتر بر ساعت است. کمترین مقدار جذب تجمعی و شدت جذب نفت مربوط به منسوج BC است که مقادیر آن به ترتیب برابر ۶۰/۷ میلی لیتر و ۲۶/۹۸ میلی لیتر بر ساعت است. شکل های ۶- د و ۷- د که در غلظت ۱۰ درصد نفت برای فیلتر با زهکش افقی است مشاهده شد که میزان جذب نفت در ۹۰ دقیقه ابتدایی آزمایش برای هر سه منسوج تقریباً یکسان است و پس از این زمان منسوج PP با اختلاف کمی نسبت به



شکل ۶. تغییرات جذب تجمعی نفت نسبت به زمان



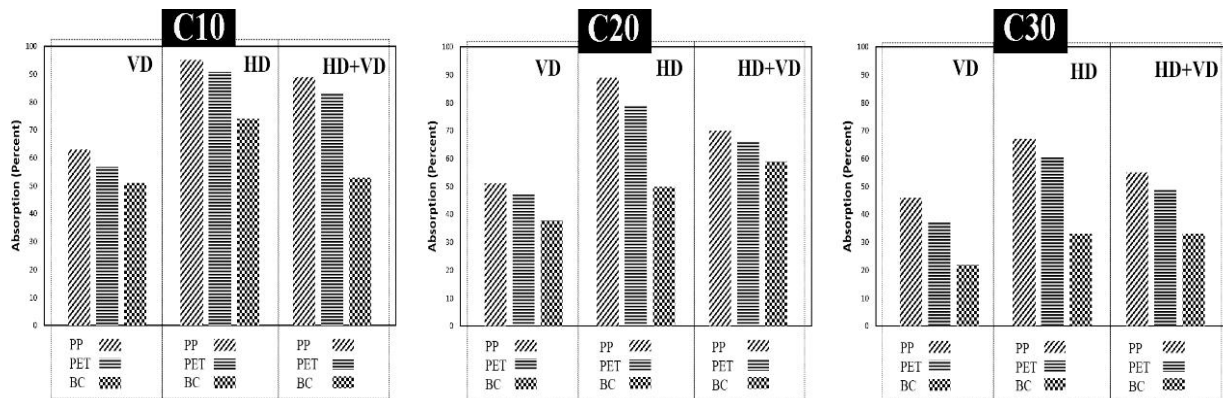
شکل ۷. شدت جذب نفت نسبت به زمان

۴. مقدار درصد جذب نفت توسط هر منسوج و ارتباط آن با

#### خصوصیات منسوج و جریان

از شکل ۸ که مقادیر مربوط به درصد جذب نفت برای هر منسوج در آزمایش‌های با سه غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد نفت ورودی و سه فیلتر مختلف با زهکش‌های عمودی، افقی و عمودی + افقی است نتیجه شد که در هر غلظت و در هر فیلتر

ساعت است. در شکل‌های ۶-ط و ۷-ط که برای غلظت ۳۰ درصد نفت و فیلتر با هر دو خروجی عمودی و افقی است مشاهده شد که بیشترین میزان جذب تجمعی مربوط به منسوج PP با مقدار ۲۷۸/۰۴ میلی‌لیتر است. شدت جذب در منسوج PET با مقدار ۶۵/۹۰ میلی‌لیتر بر ساعت بیشترین مقدار را دارد.



شکل ۸. مقدار درصد جذب نفت برای غلظت های مختلف نفت

غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد نفت، سه فیلتر مختلف با زهکش های عمودی، افقی و عمودی + افقی و با سه جاذب مختلف BC, PET و PP است و همچنین جدول های ۱ و ۳ که مربوط به میزان تخلخل و ضرایب جریان آشفته است نتیجه گیری شد که در غلظت های کم نفت، مقدار شدت جذب ارتباط معکوس با تخلخل و ضرایب جریان آشفته دارد که تأثیر این ضرایب بر سرعت جریان است. یعنی هرچه تخلخل و سرعت جریان بیشتر باشد، شدت جذب کمتر است. اما در غلظت های بیشتر اثر این عوامل کمتر شده و به جای آن توانایی ذاتی الیاف و غلظت در جذب افزایش می یابد. همچنین فیلتر با دارا بودن زهکش افقی بهترین عملکرد در شدت جذب نفت را داشت.

### نتیجه گیری

در این پژوهش فرایند پاکسازی آب آلوده به آلاینده های نفتی توسط منسوجات مختلف که این منسوجات شامل BC, PET و PP بود مورد بررسی قرار گرفت. دو منسوج PET و PP به ترتیب از جنس پلی استر و پلی پروپیلن و منسوج BC از دو لایه یکی به جنس پلی استر و دیگری به جنس پلی پروپیلن انتخاب شد. فیلترهای ابداعی، فیلترهایی به صورت جعبه از جنس کارتن پلاست برای جذب نفت توسط منسوج های گفته شده بود که همچنین با سه حالت خروجی عمودی، خروجی افقی و خروجی همزمان عمودی و افقی ساخته شد. تمامی

به صورت جداگانه مشاهده شد که منسوج PP بیشترین درصد جذب نفت را داشت. در هر سه غلظت مشاهده شد که در فیلتر با زهکش افقی بیشترین درصد جذب اتفاق افتاده است و سپس فیلتر با دارا بودن هر دو زهکشی عمودی و افقی قرار داشت. مشاهده شد که با افزایش درصد غلظت نفت ورودی، عملکرد منسوجات در جذب نفت کاهش می یابد و بیشترین درصد جذب نفت در غلظت ۱۰ درصد است و فیلتر با منسوج PP و سپس فیلتر با منسوج PET با زهکش افقی در غلظت ۱۰ درصد نفت ورودی، به عبارتی دو فیلتر با کد NW.PP.C10/VD و NW.PET.C10/VD بهترین عملکرد در جداسازی و جذب نفت داشتند که مقادیر درصد جذب آن به ترتیب برابر ۹۵ و ۹۱ درصد است. با استفاده از نتایج گفته شده و جدول های ۱ و ۳ که مربوط به میزان تخلخل و ضرایب جریان آشفته است نتیجه می شود که مقدار درصد جذب نفت با میزان تخلخل و همچنین ضرایب جریان آشفته که تأثیر این ضرایب روی سرعت جریان است رابطه معکوس داشته است که با افزایش میزان تخلخل و ضرایب جریان آشفته، درصد جذب نفت و عملکرد منسوج در جداسازی نفت کاهش یافته است.

### ۵. ارتباط میان شدت جذب نفت با ویژگی های منسوجات و جریان

با توجه به جدول ۴ که مربوط به مقدار جذب نفت در سه

جدول ۴. نتایج مربوط به اندازه‌گیری شدت جذب نفت

شماره	کد جاذب	کد فیلتر	شدت جذب نفت $\left(\frac{\text{ml}}{\text{h}}\right)$ برای غلظت ۱۰ درصد	شدت جذب نفت $\left(\frac{\text{ml}}{\text{h}}\right)$ برای غلظت ۲۰ درصد	شدت جذب نفت $\left(\frac{\text{ml}}{\text{h}}\right)$ برای غلظت ۳۰ درصد
۱	PP	HD	۲۵/۴	۳۷/۹	۶۱/۵
۲	PET	HD	۲۲/۹	۳۶/۵	۴۴/۶
۳	BC	HD	۲۰/۶	۳۰/۶	۲۷
۱	PP	VD	۳۸/۳	۶۳/۲	۱۰۶
۲	PET	VD	۳۶/۲	۵۳/۶	۷۳/۱
۳	BC	VD	۲۹/۶	۴۰	۳۹/۱
۱	PP	HD + VD	۳۵/۵	۵۶/۶	۶۵/۹
۲	PET	HD + VD	۳۳/۲	۵۳/۱	۵۸/۵
۳	BC	HD + VD	۲۱	۴۷/۲	۳۹/۶

صدیقی و حجازی در سال ۲۰۱۵ همخوانی داشت (۱۹) و همچنین فیلتر با خروجی افقی بهترین عملکرد در مقدار درصد جذب نفت و شدت جذب نفت را نسبت به دو حالت دیگر فیلتر با خروجی عمودی و فیلتر با دارا بودن هر دو خروجی افقی و عمودی داشت. در غلظت‌های کم شدت جذب نفت نسبت معکوس با میزان تخلخل و ضرایب جریان آشفته داشت، اما در غلظت‌های زیاد اثر این عوامل کمتر شده و به‌جای آن توانایی ذاتی الیاف در جذب بیشتر است. منسوج PP و PET به ترتیب با کدهای NW.PP.C10/VD و NW.PET.C10/VD با مقدار جذب به ترتیب ۹۵ و ۹۱ درصدی بهترین عملکرد را در میان تمامی آزمایش‌ها داشتند. از این فیلترها می‌توان در عمل در تصفیه پساب صنایع مختلف از جمله صنایع فولاد و پالایشگاه‌ها استفاده کرد که علاوه بر راندمان بالا از صرفه اقتصادی بسیار خوبی نیز برخوردار است.

آزمایش‌ها در سه غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد نفت انجام شد. همچنین با عبور جریان آب در بارهای آبی مختلف از منسوجات و با استفاده از فرایند بهینه‌سازی ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  مربوط به جریان محاسبه شد. جریان عبوری از نوع آشفته تشخیص داده شد و ارتباط این ضرایب با جذب نفت بررسی شد. که مشاهده شد که درصد جذب نفت در تمامی فیلترهای استفاده شده از منسوجات بدون خاک یا به‌همراه خاک با ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  مربوط به جریان عبوری از میان منسوجات ارتباط عکس داشت به‌گونه‌ای که هر چه این ضرایب بیشتر شد چون سرعت افزایش یافت جذب نفت کاهش یافت همچنین مقدار درصد جذب نفت با تخلخل منسوجات رابطه عکس داشت. در این پژوهش بیشترین درصد جذب نفت در تمامی آزمایش‌ها مربوط به منسوج PP بود و منسوج دو جزئی BC کمترین درصد جذب نفت را داشت که این نتایج با نتایج

#### منابع مورد استفاده

1. Annunciato, T. R., T. Sydenstricker and S. C. Amic. 2005. Experimental investigation of various vegetable fibers as sorbent materials for oil spills. *Marine Pollution Bulletin* 50(11): 1340-1346.
2. Banerjee, S. S., M. V. Joshi and R. V. Jayaram. 2006. Treatment of oil spill by sorption technique using fatty acid grafted sawdust. *Chemosphere* 64(6): 1026-1031.



3. Bari, R. and D. Hansen. 2002. Application of gradually-varied flow algorithms to simulate buried streams. *Journal of Hydraulic Research* 40(6): 673-683.
4. Brandão, P. C., T. C. Souza, C. A. Ferreira, C. E. Hori and L. L. Romanielo. 2010. Removal of petroleum hydrocarbons from aqueous solution using sugarcane bagasse as adsorbent. *Journal of Hazardous Materials* 175(1-3): 1106-1112.
5. Deschamps, G., H. Caruel, M. E. Borredon, C. Bonnin and C. Vignoles. 2003. Oil removal from water by selective sorption on hydrophobic cotton fibers. 1. Study of sorption properties and comparison with other cotton fiber-based sorbents. *Environmental Science and Technology* 37(5): 1013-1015.
6. Gupta, R. K., G. J. Dunderdale, M. W. England and A. Hozumi. 2017. Oil/water separation techniques: a review of recent progresses and future direction. *Journal of Materials Chemistry A* 5(31): 16025-16058.
7. Jamali Jezeh, M. 2020. Hydraulics evaluation of non-Darcy flow through different textiles for petroleum pollutants absorption from water resources. Master Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, I.R. Iran.
8. Ji, H., W. Xie, W. Liu, X. Liu and D. Zhao. 2020. Sorption of dispersed petroleum hydrocarbons by activated charcoals: Effects of oil dispersants. *Environmental Pollution* 256: 113416.
9. Kang, H., B. Zhao and L. Li. 2019 Durable superhydrophobic glass wool @polydopamine @PDMS for highly efficient oil/water separation. *Journal of Colloid and Interface Science* 544(15): 257-265.
10. Karan, C. P., R. Rengasamy and D. Das. 2011. Oil spill cleanup by structured fibre assembly. *Indian Journal Fibere and Textile Resarch* 51(11) :802-813.
11. Kim, M., S. H. Yoon, E. Choi and B. Gil. 2008. Comparison of the adsorbent performance between rice hull ash and rice hull silica gel according to their structural differences. *LWT-Food Science and Technology* 41(4): 701-706.
12. Kumagai, S., Y. Noguchi, Y. Kurimoto and K. Takeda. 2007. Oil adsorbent produced by the carbonization of rice husks. *Waste Management* 27(4): 554-561.
13. Lin, C., Y. J. Hong and A. H. Hu. 2010. Using a composite material containing waste tire powder and polypropylene fiber cut end to recover spilled oil. *Waste Management* 30(2): 263-267.
14. Lin, J., Y. Shang, B. Ding, J. Yang, J. Yu and S. S. Al-Dayab. 2012. Nanoporous polystyrene fibers for oil spill cleanup. *Marine Pollution Bulletin* 64(2): 347-352.
15. Pasila, A. 2004. A biological oil adsorption filter. *Marine Pollution Bulletin* 49(11-12): 1006-1012.
16. Radetic, M., V. Ilic, D. Radojevic, D. Jovic and P. Jovancic. 2008. Efficiency of recycled wool-based nonwoven material for the removal of oils from water. *Chemosphere* 70(3): 525-530.
17. Samani, H. M. V, J. M. V. Samani and M. Shaiannejad. 2003. Reservoir routing using steady and unsteady flow through rockfill dams. *Journal of Hydraulic Engineering* 129(6): 448-454.
18. Samani, H. M. V, J. M. V. Samani and M. Shaiannejad. 2004. Reservoir routing with outflow through rockfill dams. *Journal of Hydraulic Research* 42(4): 435-439.
19. Seddighi, M. and S. M. Hejazi. 2015. Water-oil separation performance of technical textiles used for marine pollution disasters. *Marine Pollution Bulletin* 96: 286-293.
20. Singh, A. K. and J. K. Singh. 2019. An efficient use of waste PE for hydrophobic surface coating and its application on cotton fibers for oil-water separator. *Progress in Organic Coatings* 131(9) 301-310.
21. Vlaev, L., P. Petkov, A. Dimitrov and S. Genieva. 2011. Cleanup of water polluted with crude oil or diesel fuel using rice husks ash. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 42(6): 957-964.
22. Wang, J. and G. Geng. 2016. Simple and eco-friendly fabrication of superhydrophobic textile for oil/water separation. *Environmental Technology* 37(13) : 1591-1596.
23. Wang, S., W. Qin and Y. Dai. 2012. Separation of oil phase from dilute oil/water emulsion in confined space apparatus. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 20(2): 239-245.
24. Wei, Q. F., R. R. Mather, A. F. Fotheringham and R. D. yang. 2003. Evaluation of nonwoven polypropylene oil sorbents in marine oil-spill recovery. *Marine Pollution Bulletin* 46(6): 780-783.
25. Wu, L., J. Zhang, B. Li and A. Wang. 2014. Mechanical- and oil-durable superhydrophobic polyester materials for selective oil absorption and oil/water separation. *Journal of Colloid and Interface Science* 413: 112-117.
26. Zhou, X., Z. Zhang, X. Xu, X. Men and X. Zhu. 2013. Facile fabrication of superhydrophobic sponge with selective absorption and collection of oil from water. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 52(27): 9411-9416.
27. Zhu, H., S. Qiu, W. Jiang, D. Wu and C. Zhang. 2011. Evaluation of electrospun polyvinyl chloride/polystyrene fibers as sorbent materials for oil spill cleanup. *Environmental Science and Technology* 45(10): 4527-4531.

## Evaluation the Performance of Filters Made of BC, PET and PP Textiles in Removing Oil Contaminants from Water

M. Jamali Jezeh<sup>1</sup>, M. Shayannejad<sup>1\*</sup> and S. M. Hejazi<sup>2</sup>

(Received: July 08-2020; Accepted: September 23-2018)

### Abstract

Water resources are limited in many areas of the world; sometimes, even these limited resources are negligently contaminated. One of the polluting factors of water is oil and its derivatives. Oil absorption using textiles is one of the common ways to separate oil from water. In this study, we used three types of textiles with different properties in order to make the filter. The experiments were performed using three different concentrations of 10, 20 and 30% oil. In this study, three types of BC, PET and PP textiles in the presence of horizontal and vertical drainages were investigated. The PET and PP textiles were made of nonwoven polyester and polypropylene fibers, respectively, and the BC textile was a two-component nonwoven textile of both polyester and polypropylene fibers that was used for the first time. Flow through the textiles was turbulent. Coefficients of flow were calculated using non-Darcy flow relations and the optimization method. The results showed that at low oil concentrations, the oil absorption had an inverse relation with the porosity and turbulent flow coefficients, but at higher concentrations, the effect of these agents was less; instead, the effect of the concentration and the intrinsic ability of the non-woven fibers was greater. The best performance was related to PP and PET with the horizontal drainage that had 95 and 91 absorption rates, respectively.

**Keywords:** Oil, Adsorption, Nonwoven textiles, Hydraulic Coefficients of non Darcy flow, Isolation filter.

1- Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2- Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

\*: Corresponding author, Email: shayannejad@iut.ac.ir