

Effect of Woven Fabric Structure on the Water Filtration Efficiency

Farideh Hajiani^{1*}, Hssan Salimi², Ali-Asghar Asgharian Jeddi², Hassan Rahimzadeh³,
and Hooshang Nosraty²

1. Department of Textile and Clothing Design, Faculty of Applied Arts, University of Art,
P.O. Box 655-11155, Tehran, Iran

2. Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, P.O. Box 15875-4413, Tehran, Iran

3. Department of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology, P.O. Box 15875-4413,
Tehran, Iran

Received: 29 June 2021, Accepted: 13 October 2021

Abstract

Water, as a necessary liquid for life and an essential source of industries, must be used and recycled in a regular cycle. Water filtration is a special area that is being developed by relevant experts. In many areas of activity, the most critical goal is to increase the separation and filtration efficiency. The efficiency of an effective filtration system chiefly depends on the selection of a suitable porous filter. Woven fabrics are utilized as filters in liquid filtration. In this research, a water filtration unit was carefully designed and assembled to evaluate woven polyester fabric's filtration efficiency in a standard procedure. The particle size distribution in water was between 100-140 μm . The woven polyester fabrics, that were differed in weft density and weave, were produced by a projectile weaving machine. The samples were used as filters on both sides of the back and face of the fabric. After the separation process, the filtered water turbidity and the filtration efficiency for each sample were evaluated. Statistical analysis of the results showed that there was a significant difference in filtration efficiency when using low-density fabric samples on both sides of the back and face of the fabric. The water filtration efficiency when using the backside of the samples is higher than that when using the face side. In fabric filters with different weave structures and densities, it was detected that the filtration efficiency is not significantly the same. Finally, according to the ultimate performance of fabric filters in the filtration process, the samples were classified.

Keywords: filter, woven fabric, weft density, weave structure, filtration efficiency

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: f.hajiani@art.ac.ir

اثر ساختار پارچه تارپودی بر بازده صافش آب

فریده حاجیانی^{۱*}، حسن سلیمی^۲، علی اصغر اصغریان جدی^۳، حسن رحیمزاده^۲، هوشنگ نصرتی^۲

۱- تهران، دانشگاه هنر، دانشکده هنرهای کاربردی، صندوق پستی ۱۱۱۵۵-۶۵۵

۲- تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۱۷۵

۳- تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی مکانیک، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۱۷۵

دریافت: ۱۴۰۰/۴/۸، پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۱

چکیده

مشخص شد، بازده صافش تفاوت معناداری دارد. در نهایت، نمونه‌ها با توجه به عملکرد نهایی صافی‌های پارچه‌ای در فرایند صافش، طبقه‌بندی شدند.

واژه‌های کلیدی: صافی، پارچه تارپودی، تراکم پودی، طرح بافت، بازده صافش

۱ مقدمه

با توجه به گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی، بیش از ۸۵۰ میلیون نفر به آب سالم دسترسی ندارند [۱]. آب آلوده سالانه در مرگ و میر حدود ۱۵ میلیون کودک نقش دارد. یونسکو تخمین زده است که در سال ۲۰۵۰، ۲ میلیارد تا ۷ میلیارد نفر با کمبود آب مواجه خواهند بود [۲]. بنابراین، آب به‌عنوان اصلی‌ترین مایع حیات و منبع مورد نیاز بسیاری از صنایع، باید در چرخه منظمی استفاده و بازیابی شود. نیاز و دغدغه تأمین آب در کشورهای کم‌آب و همچنین ابتلا به بیماری‌های گوناگون در کشورهایی که بهداشت و سلامت کافی آب شرب را ندارند، همگان را به توسعه روش‌های بهینه برای بازیابی آب تشویق می‌کند [۳، ۴]. جداسازی و صافش به‌عنوان بخش ویژه‌ای است که متخصصان آب و فاضلاب و

آب به‌عنوان مایع لازم برای زندگی و منبع ضروری برای صنایع باید در چرخه منظمی استفاده و بازیابی شود. صافش آب، بخش ویژه‌ای است که متخصصان در حال توسعه آن هستند. در بسیاری از زمینه‌های صافش، مهم‌ترین هدف افزایش مقدار جداسازی و کارایی آن است. کارایی سامانه صافش موفق تا حدود زیادی به انتخاب یک صافی متخلخل مناسب مربوط است. پارچه‌های تارپودی به‌عنوان صافی در صافش مایع کاربرد دارند. در این پژوهش، سامانه صافش آب برای بررسی بازده صافش صافی‌های پارچه‌ای در یک فرایند استاندارد، طراحی و ساخته شد. توزیع اندازه ذرات در آب، $100 \mu\text{m}$ تا $140 \mu\text{m}$ بود. نمونه‌های پارچه تارپودی از جنس پلی‌استر، با طرح‌های بافت و تراکم متفاوت به‌وسیله ماشین بافندگی پروژکتایل تولید و در هر دو سمت پشت و روی پارچه به‌عنوان صافی استفاده شدند. پس از فرایند جداسازی، کدورت آب صاف‌شده به‌عنوان بازده صافش برای هر نمونه ارزیابی شد. تحلیل آماری نتایج نشان داد، در بازده صافش هنگام استفاده از دو سمت رو و پشت نمونه‌های پارچه با تراکم‌های کم، تفاوت معناداری وجود دارد. بازده صافش آب هنگام استفاده از سمت پشت پارچه‌ها بیش از روی آن‌هاست. در صافی‌های پارچه‌ای با ساختار بافت و تراکم‌های پودی متفاوت

بازدهی ممکن از آن‌ها به دست آید.

جداسازی ذرات در صافی تحت تأثیر پنج عامل اصلی قرار می‌گیرد:

- ۱- اندازه محیط صافش: اندازه صافی برای جداسازی جریان و کانال‌های عبور را تعیین می‌کند.
- ۲- سرعت صافش: مساحت سطح در دسترس یک صافی، هنگام فرایند صافش و عبور سیال است. نسبت سرعت جریان سیال به واحد سطح صافی بیان‌کننده سرعت صافش است.
- ۳- قطر مؤثر ذرات یا توزیع ابعاد ذرات: قطر مؤثر ذرات و توزیع آن بر سازوکار جداسازی ذرات، مساحت سطح در دسترس و تخلخل اثرگذار است که مدت کارایی صافی را تعیین می‌کنند.
- ۴- سرعت جریان: نشانگر سرعت جریان سیال عبوری از صافی در مدت زمان صافش است و
- ۵- مقدار ذراتی که پشت صافی باقی می‌مانند.

با جداسازی ذرات جامد به وسیله صافی، مؤلفه‌های سطحی صافی کاهش می‌یابند و کانال‌های جریان سیال تغییر می‌کنند [۱۸]. در طراحی یک سامانه صافش ایده‌آل، خواص فیزیکی و شیمیایی ذرات و سیال، سرعت جریان، تنش‌های پاک‌سازی و صافش، ساختار صافی، طراحی مسیرهای عبور، نسبت زمان کار به زمان تمیزکاری، نسبت جریان سیال به مساحت صافی، فضا و هزینه‌های لازم و روش پاک‌سازی اهمیت دارند [۱۹]. محیط صافش، قلب هر واحد صافش است و هرگونه تغییری در آن، به خروجی متفاوتی منجر می‌شود.

کارایی سامانه صافش موفق تا حدود زیادی به انتخاب محیط متخلخل مناسب بازمی‌گردد. انواع صافی‌ها برحسب فیزیک محیط شامل صافی‌های لیفی، غشاهای متخلخل، مواد موئین و بسترهای دانه‌ای (مانند شن) هستند [۱۵]. صافش با صافی‌های لیفی از روش‌های اصلی برای حذف ذرات در محدوده گسترده‌ای از ابعاد است. صافی‌های لیفی نسبتاً ارزان بوده و کار با آن‌ها بسیار ساده است، بنابراین پربازده‌ترین صافی‌ها برای جمع‌آوری ذرات به‌شمار می‌آیند [۲۰]. یکی از انواع صافی‌های لیفی، صافی پارچه‌ای و در میان آن‌ها صافی پارچه‌ای تارپودی است [۴،۹،۲۱،۲۲].

صافی‌های پارچه‌ای بخش اساسی از فرایندهای بی‌شمار صنعتی هستند که به خالص‌سازی مواد و صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید، انرژی و ایجاد محیطی تمیز کمک می‌کنند. تا اوایل سال ۱۹۵۰، منسوجات استفاده‌شده در صافش براساس پارچه‌های بافته‌شده از پنبه، پشم و الیاف شیشه بود. با توجه به پیشرفت علم پلیمر و بهبود منسوجات فنی طی سال‌ها، پارچه‌های پلیمری نیز به‌عنوان غشا

محیط زیست در حال توسعه آن هستند. مهم‌ترین هدف در بسیاری از زمینه‌های صافش و جداسازی، ایجاد تعادل مناسب میان مقدار جداسازی آلاینده‌ها و بازده صافش است [۵،۶]. در واقع در یک صافی مناسب، باید به هر دو جنبه جداسازی بهتر آلاینده‌ها و سرعت جریان مناسب در صافش توجه شود. اگر صافی آلاینده‌ها را به‌خوبی جدا کند، اما سرعت جریان در آن به‌شدت کاهش یابد و گذردهی سیال کم باشد یا برعکس سرعت جریان در آن زیاد باشد، اما جداسازی مناسب انجام نگیرد، این صافی مناسب نیست. کار اصلی محیط صافی به حداکثر رساندن قابلیت جمع‌آوری و استخراج ذرات معلق است، به‌طوری که با حداقل مقدار افت انرژی جریان سیال نیز همراه باشد [۵]. در صافش غشایی، فرایند جداسازی فیزیکی مورد توجه است و بیشتر صنایعی که با فراوری مایعات سرو کار دارند، مانند صنایع پتروشیمی، تصفیه آب، الکل‌سازی، غذایی و آشامیدنی از غشا در فرایندهای صافش استفاده می‌کنند. غشا قابلیت حذف مواد ناخواسته از مایع مدنظر یا مایع ناخواسته از مواد مدنظر را دارد. چنین فناوری به‌طور گسترده در تصفیه آب و فاضلاب، فراوری مواد غذایی و جداسازی دارو استفاده می‌شود و هیچ تغییری در مواد جداشده به‌وجود نمی‌آید [۷،۸]. در صافش غشایی، نیرویی موجب عبور سیال از صافی می‌شود که کار صافش را انجام می‌دهد. این نیروها شامل اختلاف‌های فشار، پتانسیل شیمیایی و پتانسیل الکتریکی هستند [۹،۱۰]. غشاها معمولاً از پارچه‌های تهیه‌شده از الیاف [۹]، سرامیک [۱۱] و مواد پلیمری یا فلزی [۱۲] ساخته می‌شوند. همچنین می‌توان غشاها را برای بهبود عملکرد اصلاح کرد، به‌گونه‌ای که به‌عنوان مثال رسوب روی غشا کاهش یابد [۱۳] یا حذف آلاینده‌هایی خاص به‌وسیله غشا افزایش یابد [۱۴].

در حال حاضر، پژوهش‌ها در زمینه جداسازی و صافش به چند صورت انجام می‌شود. از روند مقالات بررسی‌شده، بخشی از این پژوهش‌ها را به حوزه مهندسی مواد و مهندسی شیمی و توسعه و ساخت محیط‌های صافی بهتر به‌عنوان قلب صافش، بخشی را به طراحی و ساخت سامانه‌های صافی‌های جدید و بخش دیگری را به بهینه‌سازی سامانه‌های صافش می‌توان نسبت داد [۴،۱۵،۱۶]. با توجه به اینکه آب هر منطقه از سراسر دنیا دارای کیفیت ویژه همان منطقه بوده، تنوع در محصولات صافش بسیار زیاد است. با توجه به پیشرفت‌های سال‌های اخیر، مهم‌ترین مسئله در بخش پژوهش، افزایش بازدهی سامانه‌های صافش است [۱۷]. از آنجا که محیط‌های صافش نمی‌توانند به تنهایی کیفیت مطلوب را ایجاد کنند، باید مجموعه‌ای از فرایندها در کنار هم قرار گیرند و بهینه‌ترین

جنس پارچه‌ای که باید برای فرایند صافش انتخاب شود، به خواص گرمایی و شیمیایی ماده صاف‌شونده بستگی دارد. الیاف طبیعی مانند پنبه، می‌تواند محیط بسیار کارآمدی برای صافش ایجاد کند، اما از نظر طول عمر برای استفاده در مقایسه با الیاف مصنوعی محدود است. خواص الیاف مصنوعی مانند استحکام، دوام، هزینه و غیره باعث می‌شوند که این الیاف به‌عنوان پرمصرف‌ترین مواد در فرایند صافش شناخته شوند [۲۲]. الیاف مصرفی در صافش شامل نایلون، پلی‌استر، پلی‌پروپیلن، آکریلیک، آرامید و پلی‌تترافلوئورواتیلن، شیشه و پلی‌فنیلن سولفید (PPS) هستند که پلی‌استر پرکاربردترین آن‌هاست (تقریباً ۷۰٪ کل مواد) [۴،۳۱،۳۲]. پلی‌استر به‌خاطر استحکام و مقاومت گرمایی زیاد (در ۱۵۰ °C) و قیمت کم، کاربرد بسیار زیادی در صافش سیالات دارد. عیب پلی‌استر در کاربردهای صافش، مقاومت اندک آن نسبت به بازها، اسیدها و محیط بخار است. پارچه‌های شکل‌دهنده در کاغذسازی برای استخراج آب و مواد شیمیایی از محلول آبکی، پارچه‌های تارپودی از نخ‌های چندرشته‌ای پلی‌استری هستند که درصدی از الیاف نایلون برای افزایش مقاومت سایشی در آن‌ها استفاده می‌شود. پلی‌پروپیلن نیز به‌علت مقاومت زیاد در برابر اسیدها، بازها و سایش در صافی‌های صنعتی کاربرد فراوانی دارد. همچنین، ارزانی و قابلیت فراوری آسان، از عوامل مهم استفاده از این صافی هستند [۳۲].

در مطالعه‌ای، با به‌کاربردن صافی‌های پارچه‌ای در صافش آب نشان داده شده است، پارچه پلی‌استر قابلیت جداسازی بیش از ۹۹٪ ناخالصی‌های آب، شامل باکتری‌ها و مواد جامد در مراحل ابتدایی صافش با جریان پایدار را دارد. در حالی که با استفاده از صافی‌های پارچه‌ای از جنس پلی‌پروپیلن، بیش از ۷۰٪ ناخالصی‌ها، پس از گذشت زمان درخور توجهی جداسازی شده است [۴].

عمده‌ترین طرح‌های بافتی که برای پارچه‌های تارپودی در صافش استفاده می‌شود، شامل بافت‌های تافته، پاناما، سرژه و ساتین است [۴،۵]. پارچه‌های حلقوی تارپودی در صافش ذرات درشت استفاده می‌شوند [۳۳]. همچنین در پژوهشی، از پارچه‌های سه‌بعدی در فرایند صافش آب استفاده شده است [۳۴]. در عمده پژوهش‌های یادشده که از پارچه تارپودی به‌عنوان صافی استفاده شده است، به بررسی اثر ساختار این پارچه‌ها بر افزایش بازده و کیفیت آب در فرایند صافش توجه نشده و معمولاً یک یا دو نمونه پارچه با مشخصات و طرح بافت مشخص آزمایش شده است [۴،۵،۲۱،۲۲]. همچنین تاکنون در مطالعات انجام‌شده، اثر استفاده پارچه از دو سمت (رو و پشت) بررسی نشده است.

در این پژوهش، با هدف بررسی اثر ساختار پارچه تارپودی

استفاده شدند. به‌طور کلی، انواع مختلفی از پارچه‌های صافی وجود دارند که در دو گروه دسته‌بندی می‌شوند. گروه اول، پارچه‌های نبافته و گروه دوم پارچه‌های بافته‌شده هستند [۴،۲۳].

استفاده از صافی نبافته در فرایند صافش دارای مزایایی شامل هزینه کمتر، کاربرد گسترده، بهبود مقاومت در برابر گرما، بهبود جداسازی کیک، افت فشار کمتر با بازده ثابت است [۲۴]. از سوی دیگر، صافی پارچه‌ای تارپودی به‌دلیل برآورد آسان توزیع اندازه منافذ، ساخت آسان برای دستیابی به بازده مورد انتظار صافش و تمیزکردن راحت صافی اشباع‌شده، در مصارف مورد توجه است [۱۶]. یک صافی پارچه‌ای تارپودی می‌تواند با اندازه خاص ذرات مدنظر برای جداسازی و بازده لازم برای فرایند صافش سازگار شود. در واقع با استفاده از تغییر پارامترهای بافت و خواص نخ یک صافی پارچه‌ای، می‌توان به‌راحتی با صرفه‌جویی در هزینه، بهترین نتایج لازم و مناسب را برای صنایع مختلف به‌دست آورد [۴،۹].

به‌دلیل ساختار پیچیده و ضخامت منسوجات، به‌ویژه پارچه‌های تارپودی، این مواد برای صافش مناسب هستند [۲۵].

مقاومت یک صافی پارچه‌ای ممکن است با افزایش تاب و چگالی نخ‌ها و همچنین تراکم تارپودی و پودی افزایش یابد. همچنین، هندسه پارچه و نفوذپذیری پارچه نیز در صافش نقش مهمی دارند [۲۶]. سه سازوکار اصلی صافش عبارت از جداسازی‌های سطحی، عمقی و کیک‌ی است [۲۷]. در جداسازی سطحی، ذرات بزرگ‌تر از حفره‌ها هستند و به‌آسانی از عبور آن‌ها جلوگیری می‌شود. ذرات کوچک‌تر از قطر حفره‌ها از محیط متخلخل عبور می‌کنند و جدا نمی‌شوند. این نوع جداسازی با لایه‌هایی مانند پارچه‌های توری، پارچه‌های تارپودی، غشاها و صفحه‌های مشبک انجام می‌شود که حفره‌های یکنواخت دارند [۲۷،۲۸]. عبور سیال از یک محیط متخلخل همراه با جداسازی سطحی، در بسیاری از فرایندها مطلوب است. چنین فرایندی در سوانگاری، تبادل یون و کاربردهای مختلف مهندسی از جمله مهندسی نفت (در جداسازی محلول‌های فعال سطحی و مسائل ذخیره‌سازی) استفاده می‌شود. همچنین از این فرایند، برای بازیابی و پاک‌سازی آب به‌منظور تهیه آب شرب و آبیاری و تبدیل آب شور به آب شیرین استفاده می‌شود. در برخی از دیگر کاربردها ذراتی که صاف می‌شوند، می‌توانند نمک‌های محلول، یون‌های فلزی، شکر، ذرات کلوئیدی، ویروس‌ها، دوده تنباکو، رنگ‌دانه‌های رنگی، باکتری، غبار زغال، خون، آرد آسیاب‌شده و سایر موارد باشند [۲۹،۳۰].

صافی‌های پارچه‌ای تارپودی را می‌توان به سه گروه پارچه با نخ‌های تک‌رشته‌ای، چندرشته‌ای و الیاف کوتاه تقسیم کرد [۴].

نمونه‌های بافت اضافه شدند. در تمام پارچه‌ها، نخ تار و پود استفاده شده یکسان بود. هر دو نخ تار و پود، نخ‌های چندرشته‌ای ۷۵ فیلامنتی و تکسچره شده با ظرافت ۱۵۰ den هستند. در جدول ۱، ساختار بافت پارچه‌های مختلف و تصویر آن‌ها با تراکم پودی ۲۰ برای مقایسه نشان داده شده است. سمت رو و پشت بافت‌های سرژ، ساتین و ریب در جدول ۲ آمده است.

ضخامت نمونه‌های پارچه براساس استاندارد ASTM D 1777-96 (2007) به وسیله دستگاه Shirley با دقت دو رقم اندازه‌گیری شد [۳۵]. روش انجام آزمون بدین ترتیب است که پارچه روی سطح صاف دستگاه قرار می‌گیرد، سپس به وسیله صفحه فشارنده طبق استاندارد یادشده، فشاری برابر با 1 ± 0.1 kPa به آن وارد و ضخامت پارچه پس از 30 ± 5 s اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری برای هر نمونه، در ۱۰ نقطه از منسوج انجام شد و میانگین نتایج به دست آمد. همچنین پیش از صافش، نمونه‌ها وزن شدند و میانگین وزن سطحی هر پارچه به دست آمد. با استفاده از معادله (۱) چگالی جرمی نمونه نیز محاسبه شد [۳۶]:

$$\rho = \frac{M}{d} \quad (1)$$

در این معادله، ρ چگالی جرمی برحسب g/cm^3 ، M وزن نمونه برحسب g/cm^2 و d ضخامت نمونه برحسب cm است.

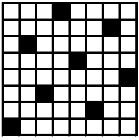
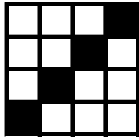
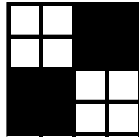
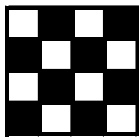
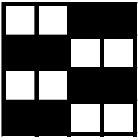
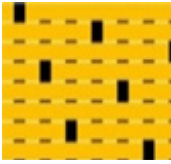
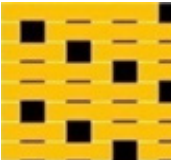
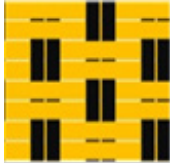
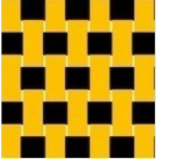
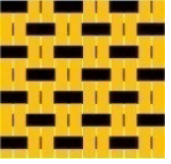

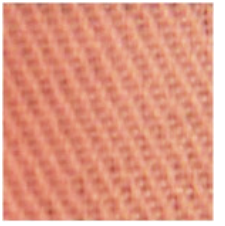
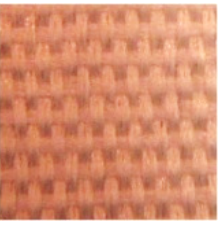
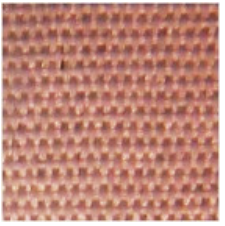

بر بازده صافش آب نمونه‌هایی از پارچه‌های تارپودی از جنس پلی‌استر با تراکم‌های پودی متفاوت و طرح‌های بافت مختلف در دو سمت پشت و رو در یک سامانه صافش آب آزمایش شده‌اند. یک سامانه صافش برای بررسی بازده صافش نمونه‌های پارچه در فرایندی استاندارد، طراحی و ساخته شده است. کیفیت آب و مقدار کدورت آن، نتایج افت فشار، سرعت جریان خروجی و مقدار گذردهی آب نمونه‌های صافی پارچه‌ای در مدت زمان صافش ارزیابی شده است. در نهایت نمونه‌های پارچه، براساس عملکرد و بازده صافش طبقه‌بندی شده‌اند.

۲ تجربی

۱-۲ بافت و مشخصات پارچه صافی

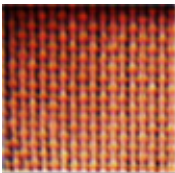
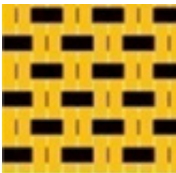


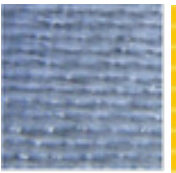


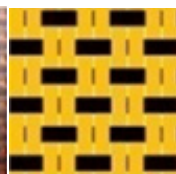
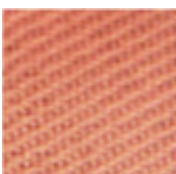
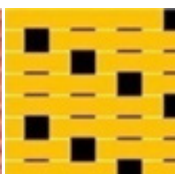
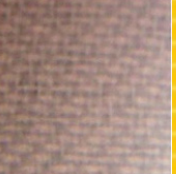
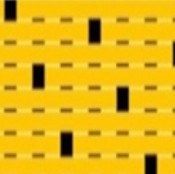
پارچه‌های تارپودی از نخ پلی‌استر، با ماشین بافندگی پروژکتایل P7300 تولید شدند. نمونه‌ها در سه نوع تراکم پودی (اسمی) مختلف ۲۰، ۲۳ و ۲۶ cm بافته شدند. تراکم تار برای تمام پارچه‌ها ثابت و به اندازه ۴۸ warps/cm بود. همچنین، طرح‌های بافت مختلف تافته، سرژ و پاناما برای صافی‌های پارچه‌ای در سه تراکم پودی مدنظر بافته شدند. دو نمونه بافت ساتین و ریب در تراکم پودی ۲۰ برای مقایسه تفاوت پشت و روی پارچه در عملکرد صافش به

جدول ۱- طرح و تصاویر پارچه‌ها در تراکم ۲۰ پودی.

				
ساتین ۸*	سرژ ۱/۳	پاناما	تافته	ریب
				
				

* بافت ساتین ۸، ساتین با یک نخ تار شناور بوده که از زیر ۷ پود عبور کرده است.

جدول ۲- سمت رو و پشت درباره سه پارچه ساتین، سرژ و ریب.

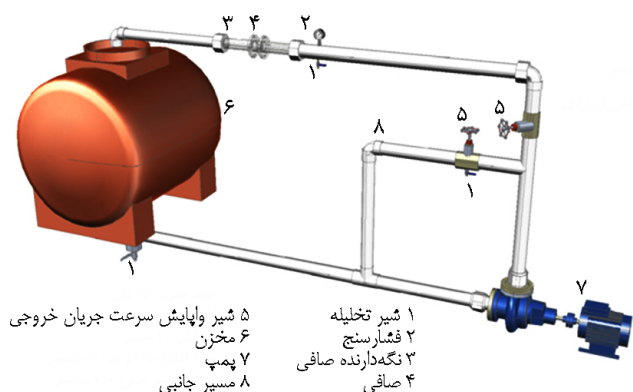
					
ریب پشت پارچه	ریب پشت پارچه	سرژ ۱/۳ پشت پارچه	سرژ ۱/۳ پشت پارچه	ساتین ۸ پشت پارچه	ساتین ۸ پشت پارچه
					
ریب روی پارچه	ریب روی پارچه	سرژ ۱/۳ روی پارچه	سرژ ۱/۳ روی پارچه	ساتین ۸ روی پارچه	ساتین ۸ روی پارچه

۲- طراحی و نصب دستگاه صافش

در طراحی و نصب دستگاه صافش مدنظر برای آزمون صافی‌ها (شکل ۱)، اندازه‌گیری مقدار جداسازی ذرات، افت فشار صافی و سرعت جریان خروجی از صافی، سهولت در تعویض نمونه، امکان تغییر مسیر و باز و بسته‌کردن جریان، رؤیت منطقه صافش و استقرار انواع صافی و اعمال شرایط مکانیکی همچون کشش یکسان به پارچه‌ها و دقت مناسب اندازه‌گیری مدنظر قرار گرفته است. [۳۳،۳۷]. در این پژوهش، از روش استاندارد ASTM F 795-88 (1993) برای تعیین کارایی یک محیط صافش با استفاده از آزمایش تک‌مرحله‌ای با عبور مایع با سرعت ثابت، استفاده شد [۳۸]. در ساخت دستگاه صافی مدنظر برای آزمایش صافی‌ها، اندازه‌گیری مقدار جداسازی ذرات، افت فشار صافی و سرعت جریان خروجی

از صافی، آسانی در تعویض نمونه، امکان تغییر مسیر و باز و بسته‌کردن جریان، امکان رؤیت منطقه صافش و استقرار انواع صافی، اعمال شرایط مکانیکی همچون کشش یکسان به پارچه‌ها و دقت مناسب اندازه‌گیری مدنظر قرار گرفته است.

تجهیزات و ملزومات اصلی طبق استاندارد به شرح زیر است: اجزای دستگاه شامل محفظه، پمپ، محیط صافی و قالب آن، جریان‌سنج، خنک‌کن، فشارسنج، مسیر جانبی و همزن است. محلول ذرات دارای غلظت ثابت و خواص مشخصی است. همچنین، قالب صافی نباید موجب تغییر در نوع جریان و سد کردن ذرات و ته‌نشینی آن‌ها پیش از رسیدن به صافی شود. خواص مایع و ذرات و ترکیب آن‌ها باید مشخص باشد. از مهم‌ترین اجزای آزمون، مایع استفاده شده است. در این پژوهش، یک فرایند صافش معمول در تصفیه آب یا فرایندهای پیش‌تصفیه آب در نظر گرفته می‌شود که می‌توان ذرات مختلف معدنی یا ذرات ریز شنی با ابعاد بیش از $100 \mu\text{m}$ را تصفیه کرد. بنابراین، ابعاد ذرات در محدوده $100 \mu\text{m}$ تا $140 \mu\text{m}$ انتخاب شد. برای یک صافی ثابت، تغییر مایع و ابعاد ذرات درون آن می‌تواند نتایج را کاملاً تغییر دهد [۳۷]. تغییرات دما و pH آب نیز می‌توانند بر تغییر نتایج اثرگذار باشند. طراحی دستگاه صافش مستلزم توجه به پارامترهای اثرگذار بر نتایج است. مهم‌ترین مؤلفه، ایجاد جریان ورقه‌ای در جریان عبوری است. جریان به کمک یک پمپ آب با دور 1450 rpm/min ایجاد می‌شود. محفظه به کاررفته در صافش باید از ظرفیت کافی برای انتقال آب در کل مسیر جریان برخوردار باشد. ورود سیال از صافی به محفظه از بالا و خروج سیال از قسمت زیرین محفظه است. در بخش زیرین محفظه، شیری برای تخلیه و تعویض آب تعبیه می‌شود. برای ایجاد



۵ شیر واپایش سرعت جریان خروجی
۶ مخزن
۷ پمپ
۸ مسیر جانبی

۱ شیر تخلیه
۲ فشارسنج
۳ نگه‌دارنده صافی
۴ صافی

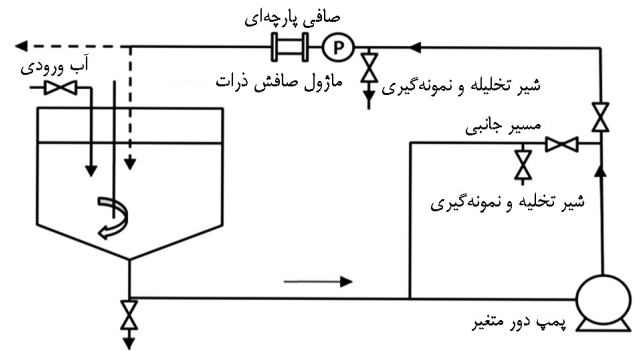
شکل ۱- دستگاه صافش (حجم مخزن ۱۵۰ L، قطر داخلی لوله مسیر اصلی ۴۰ mm، قطر صافی ۴۰ mm، دور پمپ 1450 rpm ، ارتفاع مایع بالاسری ۸۰۰ cm و کل طول مسیر اصلی ۷۱۰ cm است).

شرب، درون زمین، سطحی و شور و ضایعاتی استفاده می‌شود. این روش براساس مقایسه شدت‌های نور پخش‌شده از نمونه در شرایط تعریف‌شده و پخش‌شده از محلول استاندارد است. هرچه شدت نور پخش‌شده بیشتر باشد، کدورت بیشتر است. وقتی زاویه اندازه‌گیری تابش بازگشتی از نمونه، نسبت به نور ورودی 90° باشد، واحد ابرناکی کدورت (nephelometric turbidity unit, NTU) استفاده می‌شود. در این پژوهش، کدورت به‌عنوان یکی از ویژگی‌های کیفی آب براساس استاندارد ASTM D 1889-00 بررسی شد [۳۹]. در ابتدا مایع با غلظت 3 g/L از ذرات (کدورت 125 NTU) در محفظه وارد شد. در نمونه‌گیری‌های انجام‌گرفته از آب محتوی ذرات درون محفظه، اختلاف میان کدورت آب در زمان‌های مختلف بیش از 6% نبود. مقدار کدورت آب در محل قرارگیری صافی به‌دلیل نشست ذرات ثابت، ولی متفاوت با مقدار درون محفظه بود. ته‌نشینی ذرات در مسیر 6 m تا پیش از صافی باعث کاهش حدود 40% از مقدار کدورت شد. حین آزمون هر صافی، نمونه‌هایی از مایع پیش و پس از صافی تهیه و کیفیت آب ورودی و خروجی اندازه‌گیری شد. نمونه آب در شیشه شست‌وشویافته با آب مقطر قرار گرفت و با دستگاه کدورت‌سنج مدل HACH TL23 (NTU 0-4000) آزمایش شد. در انجام آزمون‌ها، کدورت آب در محل، پیش از صافی برابر 77 NTU و با تغییرات از میانگین کمتر از 1% مشاهده شد.

۳ نتایج و بحث

۳-۱ بررسی ضخامت صافی‌های پارچه‌ای

میانگین مقادیر ضخامت نمونه‌ها با بافت‌های مختلف تافته، پاناما و سرژه $1/3$ در تراکم‌های مختلف و بافت‌های ساتین ۸ و ریب در تراکم ۲۰ در جدول ۴ نشان داده شده است. در این پژوهش با



شکل ۲- نمایی از دستگاه صافش و نمودار جریان.

تعلیق یکنواخت ذرات وجود همزن الزامی است. بدین منظور، از پمپ کوچکی استفاده شده تا با چرخش جریان درون محفظه، وظیفه همزن را انجام دهد. نمایی از دستگاه صافش و نمودار جریان در شکل ۲ نشان داده شده است. در این پژوهش، مخلوطی از مایع و ذرات به محیط صافی تغذیه شد. هنگام خروج مایع صاف‌شده از صافی، افت فشار مشخصی ایجاد شد. در طول آزمون، تغییرات افت فشار در صافی ثبت شد. زمانی که افت فشار به حد بیشینه‌ای رسید و دیگر افزایش نیافت، آزمون متوقف شد. حین آزمون، نمونه‌هایی از مایع پیش و پس از صافی تهیه و کیفیت آب ورودی و خروجی با هم مقایسه شدند. درنهایت، میانگین کدورت آب به‌عنوان سنجش بازده صافش به‌دست آمد. گذردهی صافی براساس سرعت جریان و افت فشار نیز تعیین شد. طبق استاندارد ASTM F 795-88 (1993) به نسبت $Q/\Delta P$ گذردهی سیال اطلاق می‌شود. Q سرعت حجمی و ΔP افت فشار ناشی از صافی است [۳۸]. جدول ۳ شرایط انجام آزمون‌های نمونه‌های صافی را با دستگاه نشان می‌دهد.

۳-۲ آزمون کدورت‌سنجی

آزمون کدورت‌سنجی برای تعیین کدورت انواع آب‌ها شامل آب‌های

جدول ۳- شرایط آزمون صافش.

شرایط آزمون	دمای 25°C و رطوبت نسبی 40%
تعداد نمونه‌ها و نوع صافی	۱۱۰ نمونه شامل ۲۲ گروه ۵تایی، پارچه تارپودی پلی‌استر خالص در دو سمت پشت و رو، ۶ بافت پاناما، ۶ بافت تافته، ۶ بافت سرژه $1/3$ در تراکم‌های پودی ۲۰، ۲۳، ۲۶ و ۲ بافت ریب، ۲ بافت ساتین در تراکم پودی ۲۰
نوع مایع، دما، گرانیوی و چگالی	آب شرب شهری، 20°C ، 0.9998 g/cm^3 و 1 Pa.s
نوع و ابعاد انتخابی ذرات و غلظت ذرات در آب	ذرات ریز معدنی با ابعاد $100 \mu\text{m}$ تا $140 \mu\text{m}$ و $3\% \pm 0.2\%$

جدول ۴- ضخامت نمونه‌های پارچه در تراکم‌های پودی متفاوت.

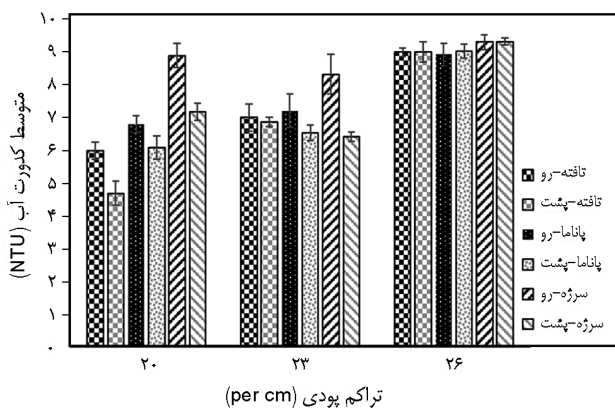
میانگین ضخامت (mm) (انحراف معیار)			طرح بافت
تراکم پودی ۲۰	تراکم پودی ۲۳	تراکم پودی ۲۶	
۰/۱۷ (۰/۰۱)	۰/۱۶ (۰/۰۱)	۰/۱۹ (۰/۰۱)	تافته
۰/۲۳ (۰/۰۱)	۰/۲۱ (۰/۰۱)	۰/۲۳ (۰/۰۱)	پاناما
۰/۲۴ (۰/۰۲)	۰/۲۴ (۰/۰۱)	۰/۲۳ (۰/۰۲)	سرژه ۱/۳
-	-	۰/۱۶ (۰/۰۱)	ریب
-	-	۰/۲۷ (۰/۰۲)	ساتین ۸

۲-۳ بررسی مقدار کدورت آب

شکل ۳ میانگین مقادیر کدورت آب را پس از صافش با استفاده از صافی‌های پارچه‌ای تارپودی در دو سمت پشت و رو، نشان می‌دهد. بررسی آماری نتایج نشان می‌دهد، با افزایش تراکم در هر سه بافت با طرح‌های تافته، پاناما و سرژه مقدار کدورت آب به‌طور معنادار افزایش یافته است. همچنین در تراکم‌های ۲۰ و ۲۳، مقادیر کدورت آب با تغییر طرح بافت به‌طور معنادار تفاوت کرده است. اما در بیشترین تراکم (۲۶) تفاوت معناداری از لحاظ آماری میان کدورت آب در طرح‌های مختلف بافت وجود ندارد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در کمترین تراکم پودی (۲۰)، صافی با بافت تافته در هر دو سمت پشت و رو نسبت به دو طرح دیگر مقادیر کدورت آب کمتری را نشان داده است. در تراکم ۲۳ نیز همین روند در سمت روی نمونه‌ها دیده می‌شود، در حالی که در سمت پشت پارچه‌ها در این تراکم صافی با بافت سرژه کمترین مقدار کدورت آب را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند، تغییر تراکم و

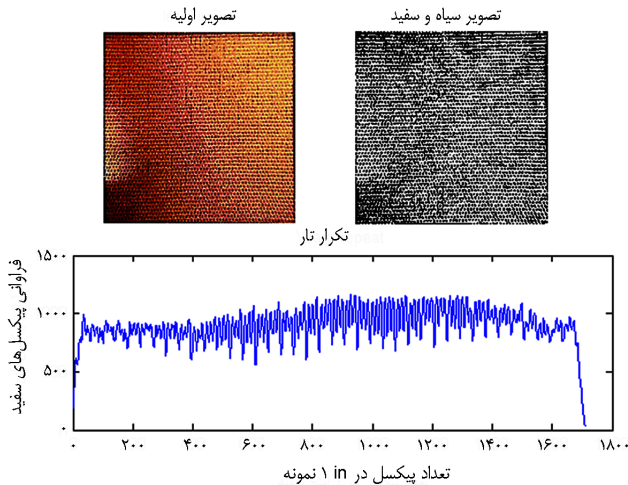
استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون‌های آماری و تحلیل واریانس، میانگین نتایج در سطح اطمینان ۹۵٪ بررسی شد. مشاهده شد، با تغییر تراکم پودی، تغییرات ضخامت در هر سه نمونه بافت در سطح اطمینان ۹۵٪ معنادار نبوده است. اما دیده می‌شود، در تراکم ثابت تارپودی و پودی، با تغییر طرح بافت ضخامت نمونه‌ها به‌طور معنادار از لحاظ آماری تغییر کرده است. ضخامت پارچه‌های تارپودی با توجه به نوسان زیاد و کم تارها در طرح‌های مختلف، متفاوت است. یکی از ملاک‌های مورد نیاز برای انتخاب صافی با عملکرد مناسب صافش، ضخامت کم نمونه صافی است. با توجه به معادله داریسی برای توضیح انتقال مایع در پارچه، زمانی که جریان مایع تنها در یک جهت عمود بر سطح محیط متخلخل (یک لایه پارچه) فرض شود، رابطه داریسی به‌صورت معادله زیر نوشته می‌شود:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{k \Delta P}{\mu L} \quad V(\text{m/s}) \quad (2)$$



شکل ۳- میانگین مقادیر کدورت آب با استفاده از پارچه‌های تارپودی در دو سمت پشت و رو.

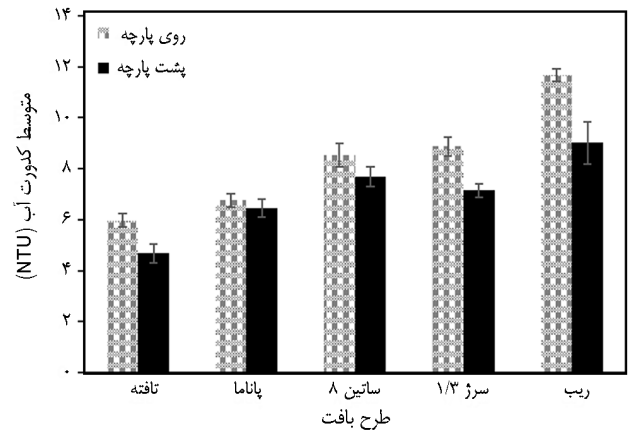
که در آن، V سرعت مایع (ms^{-1})، Q سرعت جریان مایع (m^3s^{-1})، A سطح مقطع (m^2)، k ضریب تراوایی یا نفوذپذیری (m^2)، μ گرانیوی مایع ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)، ΔP افت فشار یا نیروی پیشران (Pa) برای حرکت مایع و L طول لوله یا فاصله طی شده به‌وسیله مایع (m) است. در این حالت، منافذ پارچه به‌صورت لوله‌های مویین با طول L در راستای ضخامت پارچه فرض شده است. با توجه به معادله داریسی سرعت جریان Q با ضخامت پارچه ارتباط عکس دارد [۲۷، ۳۰]. در پژوهش Mncube [۴]، پارچه تارپودی با نخ پلی‌استر و بافت تافته با کمترین ضخامت در میان نمونه‌های مختلف صافی‌های پارچه‌ای تارپودی، بهترین عملکرد صافش را نشان داده است.



شکل ۵- تحلیل سطحی بافت تافته (با تراکم تار ۴۸ و تراکم پودی ۲۰) در جهت تار برای نمونه ۱ in.

روی نخ‌های تار در تراکم‌های کمتر در سمت روی پارچه بیشتر نمایان بوده و تا حدودی باعث تغییر ساختار نخ و فضای باز سطح شده است که در تصاویر بافت به خوبی رؤیت نمی‌شود.

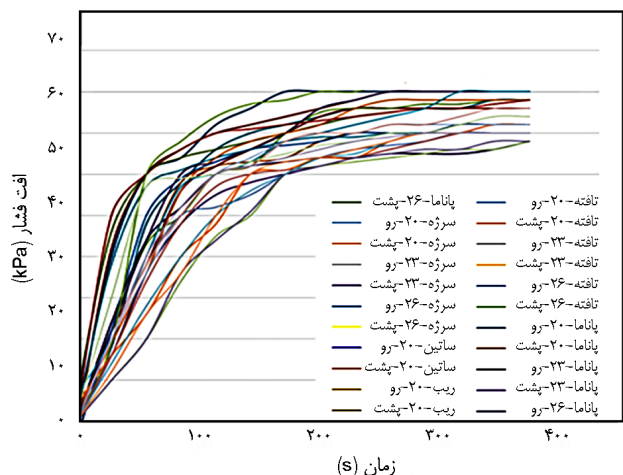
برای بررسی این موضوع، تحلیل تصاویر پارچه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Matlab R2007b انجام شد. به‌عنوان نمونه، نتایج تحلیل تصویر پارچه تافته با تراکم تار ۴۸ و تراکم پودی ۲۰ در شکل ۵ نشان داده شده است. نمودار رسم‌شده جمع مقادیر پیکسل‌های سفید است که در تصویر سیاه و سفید با مقدار یک پر شده‌اند. تعداد تکرارها در ۱ in پارچه در نظر گرفته شده است. نمودار برای تکرار تارها در ۱ in پارچه نشان می‌دهد، دو نوع پیک در نمودار مشاهده می‌شود. پیک کوچک، نشانگر تکرار نخ تار و پیک بزرگ، نمایانگر اثر شانه است که در تصویر بافت به خوبی رؤیت نمی‌شود. با توجه به شکل ۴، مشاهده می‌شود که با تغییر طرح و نوع بافت نمونه‌های صافی در تراکم پودی و تار یکسان، مقدار کدورت آب تغییر کرده است. با تغییر طرح بافت، بدیهی است که شکل و اندازه فضاهای باز هر ساختار تغییر کند. با در نظر گرفتن تغییرات چگالی جرمی پارچه‌ها (شکل ۶) می‌توان این تفاوت را توجیه کرد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پارچه ریب چگالی جرمی کمتری را نسبت به سایر نمونه‌ها داراست و پارچه تافته بیشترین چگالی جرمی را در بین نمونه‌ها دارد. افزایش چگالی جرمی یک صافی پارچه‌ای با مساحت ثابت، نشانگر کم شدن فضای خالی و تخلخل نمونه بوده و در نتیجه عملکرد صافش ذرات مناسب‌تر است و کدورت آب کمتری مشاهده می‌شود. در پژوهش‌های گذشته [۴] در مقایسه بین دو پارچه تار پودی از جنس پلی‌استر با طرح بافت‌های سرژه و تافته، نتایج مشابهی به دست آمده و صافی



شکل ۴- میانگین مقادیر کدورت آب با استفاده از پارچه‌های تار و پودی با طرح‌های متفاوت در سمت پشت و رو.

طرح بافت، از عوامل اثرگذار بر فضاهای پر و خالی و تعیین قطر هیدرولیک بهینه هستند. با افزایش تراکم پودی پارچه‌ها، روزنه‌های باز یا کانال‌های عبور تنگ‌تر شده و عدم پیوستگی مسیر عبور سیال بیشتر و سرعت جریان کمتری برای تراکم‌های بیشتر حاصل می‌شود. کیفیت آب با افزایش تراکم کمتر شده و افت فشار افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود، در تراکم‌های کمتر از ۲۰ و ۲۳ بین مقادیر کدورت آب زمان استفاده از دو سمت رو و پشت پارچه در هر ۳ نمونه بافت تفاوت معنادار وجود دارد. در حالی که پشت و روی نمونه‌ها در تراکم پیش از ۲۶ تقریباً رفتار یکسانی را در ارتباط با مقدار کدورت آب نشان داده‌اند.

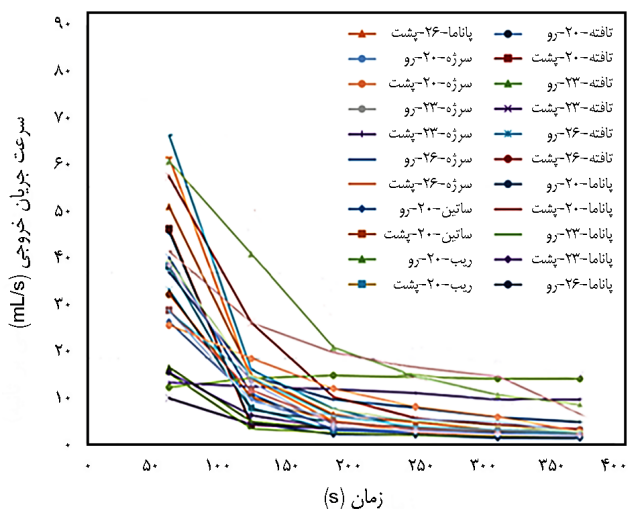
برای بررسی اثر نوع بافت و سمت رو و پشت بافت در تراکم کم، مقادیر کدورت آب دو نمونه صافی با بافت‌های ساتین ۸ و ریب با تراکم پودی ۲۰ در دو سمت رو و پشت نیز اندازه‌گیری شد. همان‌گونه که در شکل‌های ۳ و ۴ مشخص است، در تمام طرح‌های بافت در تراکم ۲۰ و ۲۳ سمت پشت پارچه کدورت آب کمتری را در فرایند صافش نشان داده و عملکرد بهتری داشته است. دلیل ممکن برای توجیه این موضوع می‌تواند به نوع صافش و تغییر میکروسکوپی فضاهای باز در سطح بازگردد. هر چه فضای باز سطح بیشتر باشد، موجب نفوذ و خروج راحت ذرات به ساختار پارچه می‌شود و در نتیجه کدورت افزایش می‌یابد [۴]. درباره دو بافت ساتین ۸ و سرژ ۱/۳ همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، نخ‌های شناور تار در سمت پشت پارچه فضای باز سطح را کمتر می‌کنند و به‌طور کلی سطح صافی افزایش یافته و در نتیجه کدورت آب کمتر شده است. درباره نمونه‌ها با بافت تافته و پاناما و ریب پشت و روی پارچه از لحاظ ظاهری شبیه به هم هستند. اما، می‌توان دلیل آن را این‌گونه بیان کرد که اثر شانه هنگام بافندگی



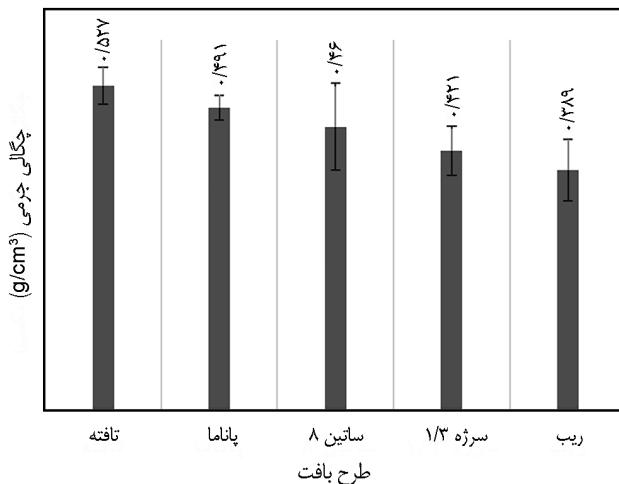
شکل ۸- نمودار افت فشار با استفاده از پشت و روی ۱۱ نوع پارچه تارپودی.

آزمون‌های پارچه‌های تارپودی همگی گویای آن است که رفتار این پارچه‌ها دارای محدوده کاری ویژه‌ای با افت فشار معین در سطح ثابت است [۴،۹،۲۲]. شکل ۸ نمودار افت فشار هنگام استفاده از پشت و روی ۱۱ نوع پارچه تارپودی را نشان می‌دهد. چنانچه دیده می‌شود، افت فشار هیچ یک از نمونه‌ها از ۶۰ kPa بیشتر نبوده است. همچنین مشاهده می‌شود، روند تغییرات افت فشار و سرعت جریان در فرایند صافش مایع، مشابه نتایج و نمودارهای پژوهش‌های پیشین (شکل ۷) [۴،۵] بوده و روند تغییرات نمودار افت فشار نمونه‌های مختلف در این پژوهش در مدت زمان حدود ۳۷۰ s تقریباً ثابت شده است.

نمودار تغییرات سرعت جریان نمونه‌های صافی پارچه‌ای در هر



شکل ۹- نمودار سرعت جریان هنگام استفاده از ۱۱ نوع پارچه در دو سمت.

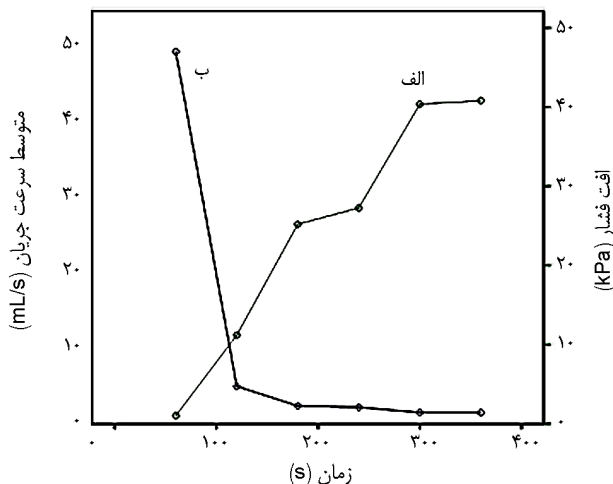


شکل ۶- متوسط چگالی جرمی پارچه‌های تارپودی با طرح‌های بافت مختلف در تراکم پودی ثابت ۲۰.

پارچه‌ای با طرح تافته با ضخامت کمتر و چگالی جرمی بیشتر، عملکرد صافش بهتری را نشان داده است.

۳-۳ بررسی مقدار گذردهی مایع

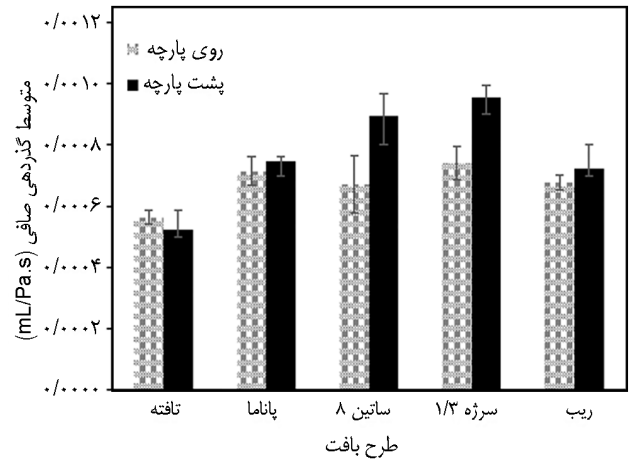
آزمون‌های انجام‌گرفته برای نمونه‌های صافی، رفتار پارچه‌های تارپودی مختلف را در بازده صافش نشان می‌دهند. قابل ذکر است، صرف‌نظر از نوع بافت و تراکم متفاوت، رفتار پارچه‌ها به شیوه‌ای نزدیک به هم تغییر می‌کنند. شکل ۷، نمایش حالت کلی نمودار افت فشار و سرعت جریان پشت و روی انواع پارچه تارپودی را نشان می‌دهد [۵]. نمودارهای الف و ب به ترتیب افت فشار برحسب kPa و تغییرات سرعت جریان را برحسب mLs^{-1} نشان می‌دهند.



شکل ۷- حالت کلی نمودار: (الف) افت فشار و (ب) سرعت جریان خروجی [۵].

گذردهی صافی برای سمت پشت و روی پارچه از لحاظ آماری تفاوت معناداری ندارند، اما برای دو پارچه با بافت سرژه و ساتین این تفاوت معنادار است. درباره بافت ساتین و سرژه می‌توان گفت، روی پارچه نخ‌های شناور بود با فاصله از هم در بافت قرار گرفته‌اند، در حالی که نخ‌های تار شناور در پشت پارچه با تراکم بیشتری در کنار هم قرار دارند. در نتیجه، سطح قابل دسترس در پشت پارچه برای صافش و عبور، بیش از روی پارچه است. تعداد نخ‌های تار در یک صفحه مشترک در پشت پارچه، بیش از پودهای شناور در رو نمایان هستند و در مجموع مقدار سطح نفوذ آب در پشت پارچه بیشتر بوده و افت فشار کمتر است. در مقایسه با طرح‌های مختلف بافت مشاهده می‌شود، بافت تافته با ساختار فشرده، کمترین مقدار گذردهی را دارد و در بافت‌های ریب، پاناما، ساتین و سرژه به ترتیب مقدار گذردهی افزایش یافته است. مشخص است، نوع طرح بافت و خواص ظاهری پارچه و مقدار سطح در دسترس پارامترهای اثرگذاری بر نحوه گذردهی صافی هستند.

شکل ۱۱ متوسط گذردهی نمونه‌های مختلف پارچه‌ها را با طرح‌های مختلف در ۳ تراکم پودی نشان می‌دهد. روند تغییرات در دو تراکم ۲۰ و ۲۶ پودی در دو نمودار مربوط به پشت و روی نمونه‌ها یکسان است. در تراکم ۲۰، مقدار گذردهی صافی به ترتیب برای بافت‌های تافته، پاناما و سرژه افزایش می‌یابد. در تراکم ۲۳ سمت روی نمونه‌های بافت تافته و سمت پشت نمونه‌های بافت سرژه، بیشترین گذردهی را دارند. در تراکم ۲۶، بافت پاناما بیشترین بافت سرژه کمترین گذردهی را نشان داده‌اند. با افزایش تراکم، روند یکنواختی در گذردهی نمونه‌ها مشاهده نشد و تغییرات مقدار

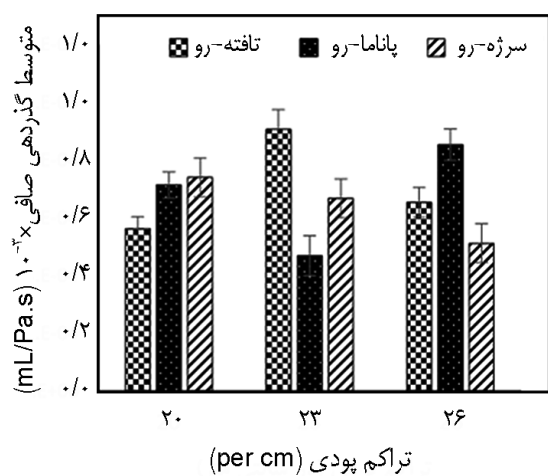
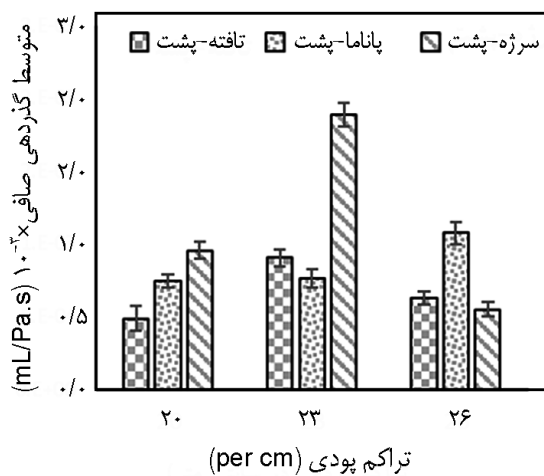


شکل ۱۰- میانگین مقادیر گذردهی نمونه‌های پارچه با طرح بافت‌های متفاوت در تراکم پودی ۲۰.

دو سمت پشت و رو نیز در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که روند کلی آن‌ها با گذشت زمان مشابه است. مانند نتایج مطالعات پیشین [۴،۵]، متوسط سرعت جریان با گذشت زمان روند کاهشی می‌یابد و با گذشت ۳۷۰ s سرعت جریان تقریباً برای تمام نمودارها ثابت می‌شود.

بر اساس استاندارد ASTM F 795-88 (1993)، نسبت $Q/\Delta P$ گذردهی سیال نامیده می‌شود [۳۸]. این پارامتر با توجه به مقادیر سرعت حجمی (Q) و افت فشار (ΔP) نمونه‌های صافی پارچه‌ای، محاسبه شد.

در شکل ۱۰ متوسط گذردهی آب در فرایند صافش با نمونه‌های پارچه‌ای دارای طرح‌های بافت مختلف در تراکم ثابت ۲۰ مقایسه شده است. برای پارچه‌های با طرح‌های تافته، پاناما و ریب، مقادیر



شکل ۱۱- میانگین مقادیر گذردهی نمونه‌های پارچه با طرح بافت‌های مختلف در ۳ تراکم پودی و در دو سمت.

می‌گیرد: اندازه محیط صافی، سرعت صافش، افت فشار جریان، قطر مؤثر ذرات یا توزیع ابعاد آن‌ها، سرعت جریان و مقدار ذراتی که پشت صافی باقی می‌مانند. اندازه صافی، کل مساحت موجود برای جداسازی جریان و ضخامت صافی، کانال‌های عبور را تعیین می‌کنند [۱۹]. با توجه به نتایج مطالعات، در این پژوهش می‌توان برای ارزیابی بازده صافش برای هر یک از ملاک‌های مدنظر، اهمیت یکسانی در نظر گرفت. بنابراین، براساس شرایط و دارا بودن برخی ملاک‌ها، نمونه‌های پارچه تارپودی با بازده صافش بهتر نیز طبقه‌بندی شدند.

در این پژوهش برای پارچه‌های آزمون‌شده، قطر الیاف و ابعاد ذرات ثابت است. هزینه تولید مدنظر نبود، زیرا پارچه‌ها از لحاظ شرایط تولید وضعیت تقریباً یکسانی داشتند. صافی سطح نمونه‌ها، مقدار ذرات جداشده و انعطاف پارچه‌ها نسبت به شرایط مختلف از پارامترهای مطالعه‌شده در این پژوهش نبوده‌اند. بنابراین ملاک‌های ۲ تا ۷ برای نمونه‌های پارچه، در نظر گرفته شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌های نمونه‌های مختلف پارچه برای هر ملاک،

آن نسبت به تراکم غیرخطی بود. تغییر تراکم به‌همراه تغییر موقعیت نخ‌ها و فشار بر سطح مقطع نخ‌ها در اثر طرح بافت، از عوامل اثرگذار بر تعیین قطر هیدرولیک بهینه هستند. با توجه به نتایج مقادیر بهینه تراکم، بافت‌های تافته تراکم ۲۳ در سمت رو، پاناما تراکم ۲۶ در سمت رو و سرژ تراکم ۲۳ در سمت پشت، دارای گذردهی بیشتری هستند.

۳-۴ ارزیابی نهایی نمونه‌های صافی

براساس نظریات مطالعه‌شده [۳۲، ۳۳، ۳۰، ۲۸، ۵]، ملاک‌هایی در ارزیابی پارچه‌های تارپودی برای انتخاب به‌عنوان صافی در عملکرد صافش تعیین شدند (جدول ۵). در طراحی یک سامانه صافش ایده‌آل، خواص فیزیکی و شیمیایی ذرات و سیال، سرعت جریان، ساختار صافی، طراحی مسیرهای عبوری، نسبت زمان کار به زمان تمیزشدن، نسبت جریان سیال به مساحت صافی، فضا و هزینه‌های مورد نیاز و روش پاک‌سازی اهمیت دارند [۱۸]. جداسازی ذرات در صافی تحت تأثیر پنج عامل اصلی قرار

جدول ۵- ملاک‌های ارزیابی پارچه در عملکرد صافش.

شماره	ملاک	توضیح
۱	قطر کم الیاف	قطر الیاف به‌طور مستقیم بر پارامترهای سطحی و حجمی اثر می‌گذارد. این پارامترها در صافی بسیار مهم هستند.
۲	ضخامت کم پارچه	هرچه ضخامت کمتر باشد، بهتر است. با توجه به معادله داری سرعت جریان Q با ضخامت پارچه ارتباط عکس دارد.
۳	کیفیت زیاد آب	هرچه کدروت آب کمتر باشد، کیفیت آن بیشتر و برای پارچه مناسب‌تر است.
۴	میانگین سرعت جریان خروجی اولیه	مقدار سرعت جریان زیاد در افت فشار یکسان، پارامتر مناسبی است.
۵	افت فشار نهایی	هرچه افت فشار نهایی کمتر باشد، بهتر است.
۶	افت فشار اولیه	هرچه افت فشار برای سرعت جریان مشخص کمتر باشد، بهتر است.
۷	ابعاد ذرات	هرچه محدوده ذرات جداشده ریزتر باشد، صافی مناسب‌تر است.
۸	هزینه تولید	هرچه هزینه‌های تولید کمتر باشد، بهتر است.
۹	صافی با سطح زیاد	سطح صافی مؤلفه‌ای است که در امر تمیزکردن صافی و شست‌وشوی آن مهم است.
۱۰	مقدار ذرات جداشده	هرچه ذرات جداشده بیشتر باشد، پارچه مناسب‌تر است.
۱۱	انعطاف به pHهای مختلف	انعطاف‌پذیری و سازگاری پارچه با pH مایع در شرایط مختلف، که ممکن است pH مایع در فرایندهای مختلف صافش متفاوت باشد، مفید و مناسب است.
۱۲	انعطاف به دماهای مختلف	انعطاف‌پذیری و سازگاری پارچه با دما در شرایط مختلف، که ممکن است دمای مایع در فرایندهای مختلف صافش متفاوت باشد، مفید و مناسب است.
۱۳	انعطاف به مواد باکتریایی و مواد شیمیایی	انعطاف‌پذیری و سازگاری پارچه با مواد در شرایط مختلف، که ممکن است مواد موجود در مایع در فرایندهای مختلف صافش متفاوت باشد، مفید و مناسب است.

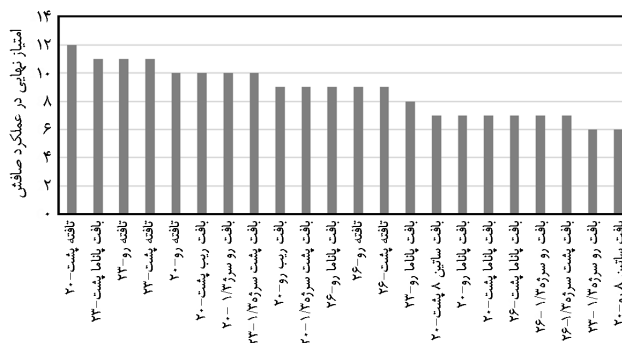
جدول ۶- محدوده ارزیابی هر ملاک در فرایند صافش.

محدوده ارزیابی هر ملاک				
ارزیابی	ضخامت پارچه (mm)	کیفیت آب، کدورت آب (NTU)	مقدار میانگین سرعت جریان خروجی اولیه (mL/s)	افت فشار نهایی (kPa)
ضعیف	۰/۲۵-۰/۲۸	۱۰/۰۰-۱۲/۰۹	۲۶/۰۱-۴۱/۰۰	۵۹-۶۱
متوسط	۰/۲۱-۰/۲۴	۷/۷۰-۹/۹۹	۴۱/۰۱-۵۶/۰۰	۵۷-۵۸
خوب	۰/۱۷-۰/۲۰	۵/۶۰-۷/۶۹	۵۶/۰۱-۷۱/۰۰	۵۴-۵۶
عالی	۰/۱۳-۰/۱۶	۳/۵۰-۵/۵۹	۷۱/۰۱-۸۶/۰۰	۵۱-۵۳

جدول ۷- ارزیابی نهایی نمونه‌های پارچه تار پودی با توجه به امتیاز درباره هر ملاک در فرایند صافش.

شماره	نوع پارچه و جهت-تراکم	مقدار میانگین سرعت جریان خروجی اولیه				عملکرد صافی
		امتیاز ملاک ۲	امتیاز ملاک ۳	امتیاز ملاک ۴	امتیاز ملاک ۵	
۱	بافت ساتین ۸ رو-۲۰	ضعیف (۱)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	ضعیف (۱)	۶
۲	بافت ساتین ۸ پشت-۲۰	ضعیف (۱)	خوب (۳)	متوسط (۲)	ضعیف (۱)	۷
۳	تافته رو-۲۰	خوب (۳)	خوب (۳)	ضعیف (۱)	خوب (۳)	۱۰
۴	تافته پشت-۲۰	خوب (۳)	عالی (۴)	متوسط (۲)	خوب (۳)	۱۲
۵	بافت ریب رو-۲۰	عالی (۴)	ضعیف (۱)	ضعیف (۱)	خوب (۳)	۹
۶	بافت ریب پشت-۲۰	عالی (۴)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	۱۰
۷	بافت پاناما رو-۲۰	متوسط (۲)	خوب (۳)	ضعیف (۱)	ضعیف (۱)	۷
۸	بافت پاناما پشت-۲۰	متوسط (۲)	خوب (۳)	ضعیف (۱)	ضعیف (۱)	۷
۹	بافت رو سرژه ۱/۳-۲۰	متوسط (۲)	متوسط (۲)	خوب (۳)	خوب (۳)	۱۰
۱۰	بافت پشت سرژه ۱/۳-۲۰	متوسط (۲)	خوب (۳)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	۹
۱۱	بافت پاناما رو-۲۳	متوسط (۲)	خوب (۳)	ضعیف (۱)	متوسط (۲)	۸
۱۲	بافت پاناما پشت-۲۳	متوسط (۲)	عالی (۴)	ضعیف (۱)	عالی (۴)	۱۱
۱۳	تافته رو-۲۳	عالی (۴)	خوب (۳)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	۱۱
۱۴	تافته پشت-۲۳	عالی (۴)	خوب (۳)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	۱۱
۱۵	بافت رو سرژه ۱/۳-۲۳	متوسط (۲)	متوسط (۲)	ضعیف (۱)	ضعیف (۱)	۶
۱۶	بافت پشت سرژه ۱/۳-۲۳	متوسط (۲)	عالی (۴)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	۱۰
۱۷	بافت پاناما رو-۲۶	متوسط (۲)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	خوب (۳)	۹
۱۸	بافت پاناما پشت-۲۶	متوسط (۲)	متوسط (۲)	ضعیف (۱)	متوسط (۲)	۷
۱۹	تافته رو-۲۶	خوب (۳)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	۹
۲۰	تافته پشت-۲۶	خوب (۳)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	متوسط (۲)	۹
۲۱	بافت رو سرژه ۱/۳-۲۶	متوسط (۲)	متوسط (۲)	ضعیف (۱)	متوسط (۲)	۷
۲۲	بافت پشت سرژه ۱/۳-۲۶	متوسط (۲)	متوسط (۲)	ضعیف (۱)	متوسط (۲)	۷

شدند. میانگین کدورت آب به‌عنوان سنجش بازدهی صافش برای هر نمونه و گذردهی صافی براساس سرعت جریان و افت فشار تعیین شد. نتایج نشان داد، با افزایش تراکم در هر سه بافت با طرح‌های تافته، پاناما و سرژه، مقدار کدورت آب به‌طور معنادار افزایش یافته و در تراکم‌های کم، مقدار آن با تغییر طرح بافت به‌طور معنادار تفاوت یافته است. به‌گونه‌ای که در تراکم ۲۰ پودی در هر دو سمت پارچه، بافت تافته کمترین مقدار کدورت آب و بافت ریب بیشترین مقدار کدورت آب را نشان دادند. بنابراین، تغییر تراکم و طرح بافت عوامل اثرگذاری بر فضاهای پر و خالی و تعیین قطر هیدرولیک بهینه صافی هستند که بر عملکرد نهایی صافی اثر می‌گذارند. همچنین مشاهده شد، در تراکم‌های کم پودی، میان مقادیر کدورت در دو سمت رو و پشت پارچه، در تمام نمونه‌های بافت تفاوت معنادار وجود دارد. به‌طور کلی، بازده صافش آب به‌هنگام استفاده از سمت پشت نمونه‌ها بیشتر است. بررسی نمودارهای افت فشار با زمان نشان داد، رفتار پارچه‌های تارپودی حین صافش دارای محدوده کاری ویژه با افت فشار معین در سطح ثابت است. نمودارهای سرعت جریان برحسب زمان نیز برای تمام نمونه‌ها، روند کاهش مشابهی را در هر دو سمت پشت و رو نشان دادند. همچنین، متوسط گذردهی نمونه‌های صافی محاسبه شد. نتایج نشان دادند، گذردهی پارچه‌های با طرح‌های تافته، پاناما و ریب سمت پشت و روی پارچه از لحاظ آماری تفاوت معناداری ندارند، اما این تفاوت در ۲ پارچه با بافت سرژه و ساتین با توجه به تغییرات سطح با تار و پود شناور، معنادار است. از طرفی با افزایش تراکم، روند یکنواختی در گذردهی نمونه‌ها مشاهده نشد و تغییرات آن نسبت به تراکم غیرخطی بود. با توجه به نتایج، مقادیر بهینه تراکم بافت تافته تراکم ۲۳ در سمت رو، بافت پاناما تراکم ۲۶ در سمت رو و بافت سرژه تراکم ۲۳ در سمت پشت، برای گذردهی بیشتر هستند. در این پژوهش، در ارزیابی نهایی پارچه‌ها با توجه به ملاک‌های مدنظر برای عملکرد بهینه صافش مشخص شد، بهترین نمونه‌ها به‌ترتیب پارچه تافته در سمت پشت با تراکم ۲۰، بافت پاناما در سمت پشت با تراکم ۲۳ و بافت تافته در هر دو سمت در تراکم ۲۳ هستند. بافت ساتین در سمت رو با تراکم ۲۰ و بافت سرژه ۱/۳ در سمت رو با تراکم ۲۳ ضعیف‌ترین عملکرد صافش را نشان دادند. تراکم‌های بهینه در پارچه‌های با طرح بافت تافته ۲۰، بافت پاناما ۲۳ و بافت سرژه ۲۰ و ۲۳ بودند.



شکل ۱۲- ارزیابی نهایی نمونه‌های پارچه آزمون‌شده با توجه به امتیازدهی ملاک‌های عملکرد صافش.

محدوده‌هایی برای هر یک از ارزیابی‌های ضعیف، متوسط، خوب و عالی در نظر گرفته شد (جدول ۶). برای هر ملاک به هر یک از نمونه‌ها براساس ارزیابی انجام‌شده، امتیاز اختصاص داده شد که نتایج آن در جدول ۷ نشان داده شده است. بیشترین امتیاز برای محدوده عالی، ۴ در نظر گرفته شده است. به‌عنوان مثال، در جدول ۵ برای ملاک کیفیت زیاد آب در فرایند صافش، بیشترین امتیاز ۴ برای نمونه‌ای در نظر گرفته شده است که متوسط کدورت آب اندازه‌گیری شده برای آن کم باشد و در محدوده در نظر گرفته شده (۳/۵۰-۵/۵۹ NTU) باشد.

در شکل ۱۲، نمونه‌های پارچه با توجه به تراکم، سمت رو و پشت و طرح بافت از لحاظ عملکرد نهایی صافش طبقه‌بندی شده‌اند که بهترین نمونه پارچه تافته در سمت پشت با تراکم ۲۰ بوده است. تراکم‌های بهینه در پارچه‌های با طرح بافت تافته ۲۰، طرح بافت پاناما ۲۳ و طرح بافت سرژه ۲۰ و ۲۳ بوده است.

۴ نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر ساختار تعدادی از پارچه‌های تارپودی بر بازده و عملکرد صافش بررسی شده است. نمونه‌های پارچه با طرح‌های متفاوت بافت ریب، ساتین، تافته، پاناما، سرژه ۱/۳ در تراکم‌های پودی متفاوت با دستگاه پروژکتایل بافته شدند. نتایج نشان داد، ضخامت نمونه‌ها با افزایش تراکم پودی، تفاوت معناداری ندارند، اما با تغییر طرح بافت، تغییرات ضخامت معنادار می‌شوند. یک دستگاه براساس استانداردهای لازم برای صافش آب، طراحی و نصب شد. نمونه‌ها در دو سمت پشت و رو آزمایش

مراجع

- [1] J. Hoslett, T.M. Massara, S. Malamis, D. Ahmad, I. Boogaert, E. Katsou, B. Ahmad, H. Ghazal, S. Simons, L. Wrobel, and H. Jouhar, "Surface water filtration using granular media and membranes: a review", *Sci. Total Environ.*, vol. 639, pp. 1268-1282, 2018.
- [2] R. Singh, *Hybrid Membrane Systems for Water Purification: Technology, Systems Design and Operations*, Elsevier, 2006, pp. 57-130.
- [3] L.K. Onda, J. Buglio, and J. Bartram, "Global access to safe water: accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 9, no. 3, pp. 880-894, 2012.
- [4] B.T. Mncube, "Basic mathematical modelling for polymer woven fabric performance suitable for low energy filtration systems", *Ph.D dissertation*, Dept. Chem. Eng., Durban University of Technology (DUT), Durban, South Africa, 2019.
- [5] A. Rushton, A.S. Ward, and R.G. Holdich, *Solid-Liquid Filtration and Separation Technology*, Wiley-VCH, 1996, pp. 33-152.
- [6] D. Alfa, S. Rathilal, V.L. Pillay, and M.N. Chollom, "Development and evaluation of small scale disinfection system", *J. Water Sanit. Hyg. Dev.*, vol. 6, no. 3, pp. 389-400, 2016.
- [7] K.W. Böddeker, *Liquid Transport in Membrane Filtration*, 2005, pp. 67-72.
- [8] Y. Chen and H. Kim, "Monte Carlo simulation of pore blocking and cake formation by interfacial interactions during membrane filtration", *Desalination*, vol. 233, no. 1, pp. 258-266, 2008.
- [9] M.N. Chollom, K. Pikwa, S. Rathilal, and V.L. Pillay, "Fouling mitigation on a woven fibre microfiltration membrane for the treatment of rawwater", *S. Afr. J. Chem. Eng.*, vol. 23, pp. 1-9, 2017.
- [10] E.O. Ezugbe and S. Rathilal, "Membrane technology for wastewater treatment: a review", *Membranes*, vol. 10, no. 89, pp. 2-28, 2020.
- [11] M. Mouiya, A. Abourriche, A. Bouazizi, A. Benhammou, Y.E. Hafiane, Y. Abouliatim, L. Nibou, M. Oumam, M. Ouammou, A. Smith, and H. Hannache "Flat ceramic microfiltration membrane based on natural clay and Moroccan phosphate for desalination and industrial wastewater treatment", *Desalination*, vol. 427, pp. 42-50, 2018.
- [12] M. Waszak and M. Gryta, "The ultrafiltration ceramic membrane used for broth separation in membrane bioreactor", *Chem. Eng. J.*, vol. 305, pp. 129-135, 2016.
- [13] K. Ko, Y. Yu, M.J. Kim, J. Kweon, and H. Chung, "Improvement in fouling resistance of silver-graphene oxide coated polyvinylidene fluoride membrane prepared by pressurized filtration", *Sep. Purif. Technol.*, vol. 194, pp. 161-169, 2018.
- [14] S. Chatterjee and S. De, "Adsorptive removal of arsenic from groundwater using chemically treated iron ore slime incorporated mixed matrix hollow fiber membrane", *Sep. Purif. Technol.*, vol. 179, pp. 357-368, 2017.
- [15] J. Hoslett, T.M. Massar, S. Malamis, D. Ahmad, I. van den Boogaert, E. Katsou, B. Ahmad, H. Ghazal, S. Simons, L. Wrobel, and H. Jouhar, "Surface water filtration using granular media and membranes: a review", *Sci. Total Environ.*, vol. 639, pp. 1268-1282, 2018.
- [16] F. Meng, S.R. Chae, A. Drews, M. Kraume, H.S. Shin, and F. Yang, "Review: recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material", *Water Res.*, vol. 43, no. 6, pp. 1489-1512, 2009.
- [17] F. Bi, H. Zhao, Z. Zhou, L. Zhang, H. Chen, and C. Gao, "Optimal design of nanofiltration system for surface water treatment", *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 24, no. 12, pp. 1674-1679, 2016.
- [18] M. Manouchehri and A. Kargari, "Water recovery from laundry wastewater by the cross flow microfiltration process: a strategy for water recycling in residential buildings", *J. Clean. Prod.*, vol. 168, pp. 227-238, 2017.
- [19] L. Svarovsky, *Solid-Liquid Separation*, 4th ed., Butterworth-Heinemann, 2000, pp. 286-290.
- [20] C.B. Song and H.S. Park, "Analytic solutions for filtration of polydisperse aerosols in fibrous filter", *Powder Technol.*, vol. 170, no. 2, pp. 64-70, 2006.
- [21] W.M. Zahid and S.A. El-Shafai, "Use of cloth-media filter for membrane bioreactor treating municipal wastewater", *Bioresource Technol.*, vol. 102, no. 3, pp. 2193-2198, 2011.
- [22] Q. Yang, Z.H. Liu, and X. Sheng, "Woven fabric bioreactor (WFBR) as the filter material for wastewater treatment", *Adv. Mater. Res.*, vol. 356-360, pp. 1613-1617, 2012.
- [23] V.K. Kothari, A. Das, and S. Singh, "Filtration behaviour of woven and nonwoven fabrics", *Indian J. Fibre Text. Res.*, vol. 32, no. 2, pp. 214-220, 2007.
- [24] M.D. Víctor-Ortega and H.C. Ratnaweera, "Double filtration as an effective system for removal of arsenate and arsenite from drinking water through reverse osmosis", *Process. Saf. Environ. Prot.*, vol. 111, pp. 399-408, 2017.
- [25] P.P. Sakpal, S.M. Landage, and A.I. Wasif, "Application

- nonwovens for water filtration”, *Int. J. Adv. Res. Manage. Soc. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 28-47, 2017.
- [26] K.L. Gandhi and W.S. Sondhelm, “Technical fabric structures: woven fabrics”, in *Handbook of Technical Textiles*, 2nd ed., vol. 1, A.R. Horrock and S.C. Anand Eds., Woodhead, 2016, pp. 63-106.
- [27] D.B. Purchas and K. Sutherland, *Handbook of Filter Media*, 2nd ed., Elsevier Science, 2001, pp. 1-80.
- [28] C.A. Mecha and V.L. Pillay, “Development and evaluation of woven fabric microfiltration membranes impregnated with silver nanoparticles for potable water treatment”, *J. Membr. Sci.*, vol. 458, pp. 149-156, 2014.
- [29] K.J. Hwang, C.Y. Liao, and K.L. Tung, “Effect of membrane pore size on the particle fouling in membrane filtration”, *Desalination*, vol. 234, no. 1-3, pp. 16-23, 2008.
- [30] I.M. Hutten, *Handbook of Non-Woven Filter Media*, Elsevier Science, 2007, pp. 291-324.
- [31] S. Adanur, *Wellington Sears Handbook of Industrial Textiles*, CRC, 1995, pp. 144-160.
- [32] T.H. Shah and A. Rawal, “Textiles in filtration”, in *Handbook of Technical Textiles*, 2nd ed., vol. 2, A.R. Horrock and S.C. Anand Eds., Woodhead, 2016, pp. 57-110.
- [33] M. Cheryan, *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*, CRC, 1998, pp. 30-40
- [34] F. Zhao, H. Chen, G. Xue, Q. Jiang, and Y. Qiu, “Three dimensional woven fabrics as filter media in membrane bioreactor for wastewater treatment”, *J. Mater. Sci.*, vol. 48, pp. 7869-7874, 2013.
- [35] ASTM, Standard Test Method for Thickness of Textile Materials, Annual Book of ASTM D1777-96 (2007), New York, 2008.
- [36] F. Hajiani, S.M. Hosseini, N. Ansari, and A.A.A. Jeddi, “The influence of water jet pressure settings on the structure and absorbency of spunlace nonwoven”, *Fiber. Polym.*, vol. 11, no. 5, pp. 798-804, 2010.
- [37] K. Scott, *Handbook of Industrial Membranes*, Elsevier Science, 1998, pp. 521-572.
- [38] ASTM, Standard Practice for Determining the Performance of a Filter Medium Employing a Single-Pass, Constant-Rate, Liquid Test (Withdrawn 2002), Annual Book of ASTM F795-88 (1993), vol. 11.04, New York, 2000.
- [39] ASTM, Standard Test Method for Turbidity of Water (Withdrawn 2007), Annual Book of ASTM D1889-00, vol. 11.01, New York, 2000.