

# فناوری‌های نانو در تصفیه آب خاکستری

سال انتشار: ۱۳۹۴

ویرایش نخست



فناوری نانو توانایی طراحی ساختارها را با دقت و ظرافت مولکولی - اتمی فراهم می‌آورد. این به معنای مهندسی دقیق یک ساختار در حد میلیاردیم متر یا همان نانومتر است. ساختارهایی که با این دقت تهیه می‌شوند، خصوصیات ویژه و منحصر به فردی از خود نشان می‌دهند. همچنین این اندازه ذرات (یا جزئیات ساختار)، خصوصیات بسیار خاصی را ایجاد می‌کند. انتظار می‌رود که تا سال ۲۰۵۰ میلادی، این فناوری بتواند چهره زندگی بشر را بطور کلی تغییر دهد. فناوری نانو در کنار فناوری زیستی و فناوری اطلاعات، موج دیگری از انقلاب صنعتی را در جهان رقم خواهد زد.

### آب خاکستری<sup>۱</sup>

آب خاکستری، مجموعه‌ای از پساب‌های ظرف‌شویی، دستشویی و حمام می‌باشد و می‌تواند با ایجاد سازوکاری جدید، برای مصارف مختلف خانه مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی استفاده از آب خاکستری در بخش‌های مختلف به شرح زیر مطرح است:



۱ شستشوی ماشین

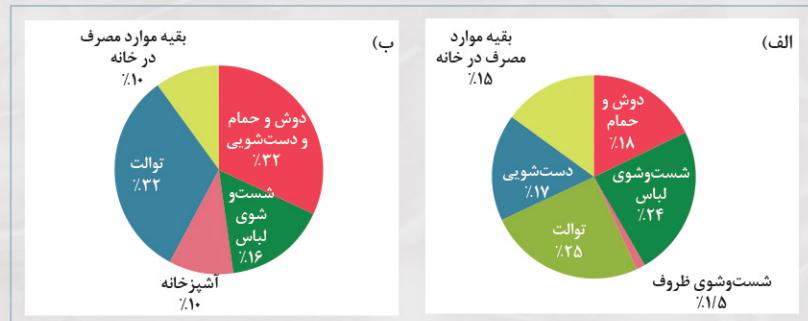
۲ شستشوی محوطه

۳ آبیاری فضای سبز و درختان

۴ آب مورد نیاز فلاش تانک‌های سرویس بهداشتی

آب خاکستری تفاوت‌های زیادی با فاضلاب توالتی دارد، زیرا فاضلاب توالتی را با نام گندآب‌ها (آب سیاه) می‌شناسند که حاوی فضولات انسانی هستند. آب

خاکستری دو نوع می‌باشد: آب خاکستری سبک که پساب لباسشویی و دوش را شامل می‌شود و آب خاکستری سنگین که معمولاً پساب‌های مانند ظرف‌شویی است. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، میزان مصرف آب و در تیجه آن میزان تولید آب خاکستری بسته به منطقه و سبک زندگی افراد متفاوت است. پس سیستم تصفیه آب خاکستری بر این اساس می‌بایستی طراحی گردد. استفاده مجدد از آب خاکستری، در واقع صرفه‌جویی در



شکل ۱. مقایسه میزان تولید آب خاکستری در مناطق مختلف (الف) موارد مصرف آب در یک خانوار در کالیفرنیا بدون در نظر گرفتن فضای سبز منزل [۱]. (ب) موارد مصرف آب در یک خانوار در اروپا [۲].

آب تصفیه شده است؛ چرا که بدون استفاده از آب شیرین، می‌توان نیازهای روزمره را مرتفع نمود. موفقیت یک سیستم استفاده مجدد از آب خاکستری، بستگی زیادی به تلاش‌های فردی برای نگهداری از آن دارد.

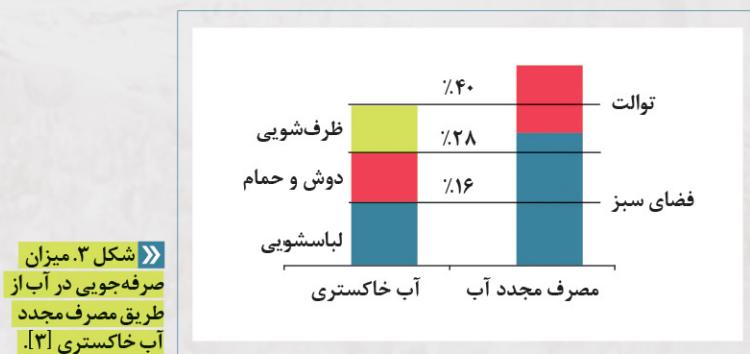
### مزایای استفاده مجدد از آب خاکستری

به طور کلی خانوارها در طول سال حجم زیادی آب را مصرف می‌کنند. میزان مصرف توسط تک خانوار در کالیفرنیا در بیرون خانه (جهت آبیاری فضای سبز خانه و شست و شوی ماشین) شامل ۳۸ درصد از کل آب مصرفی می‌باشد. از سوی دیگر چند خانوار (مجموعه مسکونی که از چند خانه مجزا تشکیل شده است) مصرف کمتری خارج از خانه خواهد داشت که حدود ۲۰ درصد را شامل می‌گردد (شکل ۲). به نظر می‌رسد که با تصفیه آب خاکستری و استفاده مجدد از آن، می‌توان نیاز آب مصرفی خارج از خانه را تامین نمود و تأثیر بسیار زیادی بر کاهش مصرف آب گذاشت.



شکل ۲. میزان مصرف آب توسط خانوار در داخل و خارج از منزل [۳]

یک بررسی در کالیفرنیا نشان می‌دهد که هر چه میزان استفاده از آب خاکستری افزایش یابد، آب شرب شهری بیشتری صرفه‌جویی می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص می‌باشد، در یک خانوار حجم زیادی از آب صرف فضای سبز و توالت می‌گردد که می‌توان بخش عده آن را از آب خاکستری تامین کرد. اگر تنها پساب لباسشویی مورد استفاده مجدد واقع گردد، حدود ۱۶ درصد صرفه‌جویی در آب خواهد شد (حدود ۷۹/۴ لیتر در



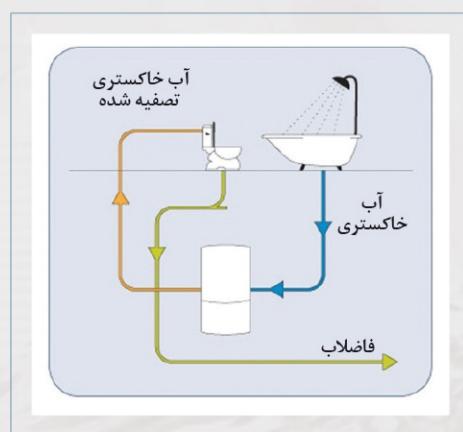
روز برای یک خانوار)، اگر پساب‌های لباس شویی و دوش مورد استفاده مجدد واقع گردد حدود ۲۸ درصد در مصرف آب شهری صرفه‌جویی می‌گردد (۱۴۰ لیتر در روز برای یک خانوار) و اگر تمامی آب خاکستری تولید شده مورد استفاده قرار گیرد، بالغ بر ۴۰ درصد در مصرف آب شرب شهری صرفه‌جویی می‌شود (۲۰۰/۶ لیتر در روز برای یک خانوار).

### استفاده از فناوری نانو جهت تصفیه آب خاکستری

آب خاکستری را به دلیل داشتن انواع شوینده‌ها، نمی‌توان مستقیماً مورد استفاده قرار داد و لازم است که با روشنی ساده و ارزان تصفیه گردد. دو نوع سیستم برای تصفیه آب خاکستری وجود دارد:

**۱ سیستم زیستی:** در سیستم زیستی از گیاهان و یا باکتری‌ها جهت تصفیه استفاده می‌شود که مهم‌ترین آنها تالاب‌های مصنوعی<sup>۵</sup> و بایوراکتورها<sup>۶</sup> می‌باشد.

**۲ سیستم مکانیکی:** در این سیستم‌ها از فیلترهای غشایی و یا شنی استفاده می‌شود و در مواردی جهت حذف آلودگی میکروبی موجود، از پرتودهی نور فرابنفش استفاده می‌شود (شکل ۴).



امروزه فناوری نانو جهت ارتقاء عملکرد سیستم‌های مکانیکی در تصفیه آب خاکستری مورد توجه واقع شده است. استفاده از فناوری نانو هزینه‌های را کاهش داده و طول عمر و کارایی سیستم تصفیه را افزایش می‌دهد.

فناوری‌های نانوی مورد استفاده عموماً شامل غشاء‌های نانوفیلتراسیون و یا نانوکاتالیزورها می‌شوند.

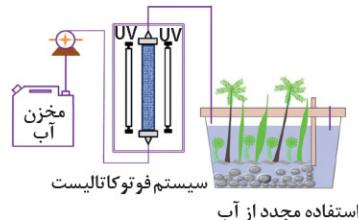
غشاء‌های نانوفیلتراسیون ظرفیت متوسطی برای حذف نمک‌های تک‌ظرفیتی داشته و همچنین قابلیت حذف موثر نمک‌ها، فلزات سنگین، رنگ، ویروس‌ها و باکتری‌ها و ترکیبات آلی زنجیره‌دار را از آب و فاضلاب دارا می‌باشند. بیشتر غشاء‌های نانوفیلتراسیون مورد استفاده در تصفیه آب خاکستری از نوع سرامیکی می‌باشد، چراکه پایداری و مقاومت زیادی نسبت به مواد شوینده و یا تغییرات pH دارد که در نتیجه آن زمان کار کرد غشاء طولانی

خواهد بود و نگهداری آن آسان می‌باشد (شکل ۵). این نوع از غشاء‌ها دسته‌ای از انواع غشاها مصنوعی هستند که از ترکیبات معدنی مانند آلمینا ( $Al_2O_3$ )، تیتانیا ( $TiO_2$ )، اکسیدهای زیرکونیوم ( $ZrO_2$ )، سیلیکا ( $SiO_2$ )، کربید سیلیکون (SiC) وغیره ساخته می‌شوند.



» شکل ۵. استفاده از غشاء  
نانوفیلتراسیون جهت تصفیه  
آب خاکستری [۵].

در برخی از سیستم‌ها از نانوکاتالیزورها و یا نانوفتوکاتالیست‌ها<sup>۷</sup> (فتوکاتالیست‌ها معمولاً اکسیدهای جامد نیمه‌رسانا هستند که با جذب فتون‌ها یک جفت الکترون-حرفره<sup>۸</sup> در آنها ایجاد می‌شود. این الکترون-حرفره می‌توانند با مولکول‌های موجود در سطح ذرات واکنش دهند) جهت تجزیه ترکیبات آلی موجود در آب خاکستری استفاده می‌شوند. فتوکاتالیست‌های مناسب زیادی وجود دارند، اما رایج‌ترین ماده موثر تیتانیم دی‌اکسید<sup>۹</sup> نانوبی است. نانوذرات بسیار موثر از مولکول‌های درشت موجود در فتوکاتالیست‌ها عمل می‌کنند. برای فعال‌سازی نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید، تابش پرتوی فرابنفش از نور خورشید یا منبع نور مصنوعی مورد نیاز است. نانوفتوکاتالیست‌ها می‌توانند با سیستم‌های تولید کننده نور فرابنفش ترکیب شوند تا فرایند کاتالیستی نانوذرات بهترین عملکرد را داشته باشد (شکل ۶).



» شکل ۶. استفاده از  
نانوذرات فوتوكاتالیستی  
در سیستم پرتودهی نور  
فرابنفش جهت کاهش  
آلودگی آب خاکستری [۶].

## شرکت‌های فعال خارجی در حوزه تصفیه آب خاکستری

امروزه به دلیل کمبود آب و بحران‌های زیست محیطی ناشی از تولید زیاد پساب، تولید و استفاده از سیستم‌های تصفیه آب خاکستری بسیار مورد توجه واقع شده است و بسیاری از شرکت‌ها محصولات مبتنی بر فناوری نانو را به بازار عرضه کرده‌اند. شرکت استرالیایی Nanotechnology Victoria یک شرکت فعال در زمینه تصفیه آب خاکستری با استفاده از فناوری نانو می‌باشد. این شرکت در یکی از پژوهش‌ها از سیستم غشاء‌های نانویی جهت پاک‌سازی آب خاکستری تولیدی در آکواریوم ملبورن<sup>۱</sup> در ابعاد گسترده استفاده نمود [۷ و ۸] (شکل ۷). آکواریوم‌های بزرگ به دلیل مصرف زیاد آب و آلوده شدن مدام آب در اثر فعالیت آبزیان، نیاز به تصفیه مدام آب خاکستری دارد.



شکل ۷. استفاده از غشاء نانویی جهت تصفیه آب خاکستری آکواریوم ملبورن.

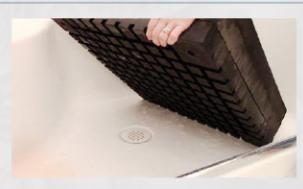
شرکت Nano Membrane Toilet که از سوی محققان دانشگاه Cranfield University تاسیس شده است، سیستمی را طراحی کرده که با کمک فناوری نانو و غشاء نانویی، آب توالت چندین بار قابل استفاده باشد و مصرف آب به شدت کاهش یابد (شکل ۸) [۵].



شکل ۸. توالت با قابلیت تصفیه مجدد آب با استفاده از فناوری نانو ساخت شرکت Nano Membrane Toilet

شرکت showerspring<sup>۲</sup> جهت تصفیه آب خاکستری، کف‌پوش مخصوص دوش حمام را طراحی و تولید کرده است که می‌تواند حجم زیادی از آب را تصفیه کند و شوینده‌ها را با آب کمتری به سمت فاضلاب هدایت کند. آب تصفیه شده جهت مصارف مختلف مانند فضای سبز قابل استفاده خواهد بود (شکل ۹) [۹].

» شکل ۹. کفپوش  
تصفیه پساب دوش



پروژه‌ای به نام Nanowat جهت مطالعه و تولید سیستم تصفیه آب خاکستری با استفاده از فناوری غشاء نانویی و فتوکاتالیستی با همکاری و سرمایه‌گذاری اتحادیه اروپا و ENPI CBC MED<sup>۱۱</sup> با بودجه بالغ بر ۱,۴۰۴,۰۰۰ یورو در حال اجرا می‌باشد (شکل ۱۰) [۱۰].

» شکل ۱۰. سیستم  
غشاء نانویی جهت تصفیه  
آب خاکستری (پروژه  
(Nanowat

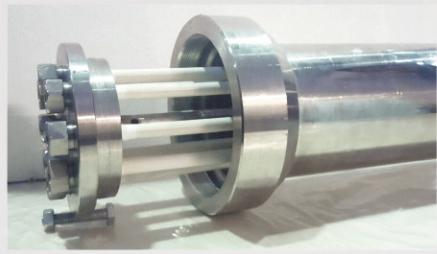


## شرکت‌های فعال ایرانی

در ایران نیز موفقیت‌های قابل توجهی در تولید غشاء‌های نانوفیلتر اسیون توسط شرکت‌های مختلف به دست آمده است. از جمله این شرکت‌ها می‌توان شرکت دانش‌پژوهان صنعت نانو را نام برد که به طور تخصصی دستگاه خانگی تصفیه آب خاکستری با استفاده از غشاها نانوساختار سرامیکی را به مرحله تولید رسانده است (شکل ۱۱). این نوع غشا با جداسازی بخش عمده مواد شوینده از آب خاکستری، منجر به ایجاد قابلیت استفاده مجدد از آب تصفیه شده می‌شوند، بطوریکه بیش از ۵۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی می‌گردد.

## جمع بندی

کمبود آب به خصوص در کشورهای خاورمیانه، هزینه بالای تصفیه آب شهری، آلودگی زیست محیطی ناشی از تولید پساب شهری، از جمله عواملی است که تصفیه آب خاکستری و استفاده مجدد آن را ضروری می‌کند. فناوری‌های نوین مانند فناوری نانو، این امکان را می‌دهد که با هزینه‌های پایین و بهره‌وری بالا، حجم زیادی از آب در متأذل، سازمان‌ها و ساختمان‌های تجاری صرف‌جویی گردد. این امر یکی از ملزمومات اصلی جهت ساخت ساختمان‌های نوین در زمان حال و آینده خواهد بود.



» شکل ۱۰. مازول غشاها  
نانوساختار سرامیکی ساخت  
شرکت دانش بیوهان صنعت نانو



## پی‌نوشت‌ها

۱ Grey water

۲ در ایالت کالیفرنیا بیشتر خانه‌ها دارای فضای سبز و باغچه‌های بزرگ می‌باشند.

۳ Biological systems

۴ Constructed wetlands

- ٦ Bioreactors
- ٧ Mechanical systems
- ٨ Nano photocatalyst
- ٩ Electron-hole pairs
- ١٠  $\text{TiO}_2$
- ١١ Melbourne Aquarium

۱۱ کشورهای حوزه دریای مدیترانه را شامل می‌گردد.

## مراجع

- ۱ California Department of Water Resources California Water Plan Update 2005, December 2005.
- ۲ [http://www.iridra.com/download/SWAMP\\_guidelines](http://www.iridra.com/download/SWAMP_guidelines)
- ۳ <http://www.environment.ucla.edu/reportcard/article4870.html>
- ۴ <http://cityofguelph.mindmixer.com/ideas/60282/i-would-install-a-grey-water-systems>.
- ۵ <http://www.nanomembranetoilet.org/>
- ۶ Photocatalytic Water Treatment by Titanium Dioxide: Recent Updates, M. A. Lazar, Catalysts 2012, 2(4), P:572-601.
- ۷ <http://www.ausnano.net/index.php?page=groups&group=5150>
- ۸ <http://clearwater.asn.au/resource-library/smart-water-fund-projects/recycling-water-and-reducing-salt-discharge-at-the-melbourne-aquarium.php>
- ۹ <http://www.showerspring.com/grey-water-irrigation/>
- ۱۰ <http://www.nanowat.eu/index.php/en/>

## مجموعه نرم افزارهای «نانو و صنعت»

مجموعه نرم افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌های صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان در اختیار غالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است.

تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری نانو در صنایع «نفت»، «خودرو»، «نساجی»، «ساخت و ساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: www.nanosun.ir - ۶۶۸۷۱۲۵۹



## از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- کاربرد فناوری نانو در خازن‌ها
- سلول‌های خورشیدی شفاف
- کاربردهای فناوری پلاسمای قوسی خزندۀ در صنایع
- نانوذرات مغناطیسی، تشخیص و درمان هدفمند بیماری‌ها
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات پزشکی و بهداشتی
- کاربرد نانومواد سلولز در فیلم‌های بسته‌بندی خوراکی
- کاربردهای نانوذرات نورتاب در بهبود سلول‌های خورشیدی
- نانوحسگرهای تشخیص و اندازه‌گیری گاز دی‌اکسید گوگرد
- راهکارهای مقابله با آلودگی هوا توسط فناوری نانو
- نانوحسگرهای تشخیص و اندازه‌گیری گاز دی‌اکسید کربن
- نانوحسگرهای تشخیص توالی دی‌ان‌ای و ژن‌های معیوب
- نانوذرات و دارورسانی به چشم
- کاربرد منسوجات نانوفناورانه در وسایل نقلیه

■ درختسان: نانوحاملی در عرصه سلامت  
■ فناوری‌های نوین در استفاده از آب‌های تخریب شده به عنوان منبع آب مصرفی صنایع مختلف  
■ مدخل هو-نانو الیاف

■ رنگ‌های محافظ در برابر امواج الکترومغناطیسی  
■ کاربرد فناوری نانو در رنگ‌ها و پوشش‌های آب‌گریز  
■ کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های آنتی‌فولینگ  
■ کاربرد نانونگه‌ها، نانوپوشش‌ها و سازه‌های ضدحریق در صنعت ساختمان  
■ کاربرد سامانه‌های رنگ‌سننجی مبتنی بر اسپکتروفتو

متري در صنایع رنگ  
■ نانوحسگرهای تشخیص تهدیدات بیولوژیکی  
■ نانوحسگرهای تشخیص سرطان  
■ کاربرد فناوری نانو در صنعت کفپوش‌های نساجی  
■ کاربرد فناوری نانو در صنعت ترازیستور و مدارهای مجتمع  
■ پوشش‌ها، کفپوش‌ها و سازه‌های مقاوم در برابر لغزش

■ بررسی و کاربرد نانوفوتوكاتالیست‌ها در حوزه‌های مختلف  
■ کاربرد فناوری نانو در روش فیلتراسیون اسمر مستقیم  
■ آزمایشگاه روی تراشه  
■ کاربرد نانولوله‌های کربنی در فلزات  
■ کاربردهای نانومواد سلولز در صنایع مختلف، حوزه کامپوزیت و پلیمر  
■ کاربرد نانوکاتالیست‌ها در بهبود عملکرد پبلهای سوختی

### ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

۰۲۱-۶۳۱۰۰

تلفن:

توسعه فناوری مهرویژن

طراحی و اجراء:

۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰

نامبر:

دادود قرايلو

نظرارت:

[www.nano.ir](http://www.nano.ir)

بايگاه اينترنتي:

report@nano.ir

۱۴۵۶۵-۳۴۴

صندوق پستي:

کارگزار ترويج صنعتی فناوری نانو در صنعت آب، حسگر و محیط‌زیست  
[water@nano.ir](mailto:water@nano.ir)