



به دست آوردن آب از هوا با نانوچندسازه بسپاری پلی اتیلن / تیتانیم دی اکساید

محمد جواد همتا ، فاطمه استواری* و محمد جغتایی

گروه حالت جامد، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، شهر یزد، استان یزد

چکیده: مشکل کمبود آب ناشی از بارندگی بسیار کم و همچنین، توزیع نامناسب آن، باعث به وجود آمدن مسائل اقتصادی و مشکلات کشاورزی شده است. همچنین، در این راستا منابع معمول تامین آب مانند چاه‌ها نیز به دلیل اضافه برداشت دچار عواقب جبران ناپذیر اقتصادی و اجتماعی شده‌اند. یکی از راه‌حل‌های موجود در دهه‌های اخیر استفاده از منابع موجود برای به دست آوردن آب مانند به دست آوردن آب‌های موجود در هوا است. در این پژوهش، به بررسی موضوع تامین آب از رطوبت هوا با لایه‌های بسپاری همراه با نانوذرات تیتانیم دی‌اکساید پرداخته‌ایم. بدین منظور، تاثیر مقدار غلظت‌های متفاوت نانوذرات تیتانیم‌دی‌اکساید بر مقدار به دست آوردن و جذب با لایه‌های مورد نظر در رطوبت ۹۰٪ و دمای ۱۵ و ۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، مقدار آب جمع‌آوری شده، بر حسب ساعت تا مدت ۵ ساعت اندازه‌گیری و با توجه به مشخصات لایه‌ها بررسی شد. نتایج نشان می‌دهند که به علت وجود دی‌اکساید، لایه‌های آماده سازی شده قابلیت جذب رطوبت هوا و تبدیل آن به قطرات آب قابل دسترس را دارا است. گرچه در دماهای پایین بازدهی لایه‌ها بدلیل چگالش سریع‌تر بخارات آب بالاتر است، نتایج نشان داده‌اند که تغییرات دما بر به دست آوردن آب با لایه‌هایی که دارای درصدهای متفاوت نانوذرات تیتانیم دی‌اکساید هستند تاثیر بسزایی دارد. بطوریکه در دمای ۵ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد بترتیب لایه حاوی غلظت بالاتر و پایین‌تر نانوذرات تیتانیم دی‌اکساید دارای بیشترین قدرت به دست آوردن آب هستند.

واژه‌های کلیدی: به دست آوردن آب، نانوچندسازه بسپاری، پلی اتیلن سبک، نانوذرات تیتانیم دی‌اکساید، ریزش آب، جذب آب.

*ostovari@yazd.ac.ir

دارد که به دلیل شرایط جوی تبدیل به باران، تگرگ و یا برف نمی‌شود اما می‌توان با کمک روش‌هایی آنها را از فاز بخار به مایع تبدیل یا به عبارتی بخار آب را به دست آوردن کرد. بسیاری از محققان برای تولید آب شیرین از روند تولید شبنم الهام گرفته‌اند. یکی از روش‌های برداشت آب از شبنم، استفاده از خنک‌کننده‌های تابشی است [۱-۴]. از آنجاکه آب شبنم قابل آشامیدن است، تراکم قطره‌ای بر بسترها موضوعی است که نقش مهمی در بسیاری از کاربردهای علمی مانند برداشت آب از فضای مرطوب دارد. دانشمندان زیادی در راستای به دست آوردن آب از

۱- مقدمه

بحران آب شیرین یکی از بزرگترین مشکلات برای نسل‌های امروز و فردای جهان است. اگرچه زمین به کره آبی مشهور است، اما بخش بسیار بزرگ آن آب شور و غیر قابل شرب است که در دریاها و اقیانوس‌ها قرار دارد و همچنین، تمام آب شیرین جهان به طور ساده قابل دسترس نیست و باید راهکارهای مناسب جهت دسترسی به آب شیرین غیر قابل دسترس سنجیده شود. یک قسمت از آب شیرین جهان به شکل بخارات در جو زمین وجود

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۵

مستان ۱۴۰۰ | شماره ۴ | سال هشتم

۹۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۵

DOR: 20.1001.1.24235628.1400.8.4.12.7



داشت تا در زمینه‌های متفاوت از جمله به دست آوردن آب از هوا و تمیزشوندگی استفاده کنند [۲۱-۲۳].

در این راستا بیشترین بهره‌وری مربوط به استفاده از چندسازه پلی اتیلین سبک (LDPE) و میکرومواد تیتانیوم دی‌اکساید (TiO_2) و سولفات باریم (BaSO_4) است. بررسی‌های شیمیایی بر آب جمع‌آوری شده از این لایه‌ها نشان داده است که آب به دست آوردن شده با وجود pH ضعیف اسیدی و غلظت جامد معلق بالا، قابل استفاده است. همچنین، بررسی شیمیایی و زیستی بر آب‌هایی از این نوع نشان داده است که غلظت یون‌های متوسط زیر مقادیر محدودیت‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO) است [۲۴-۲۸].

در ادامه پژوهش‌ها، بر تاثیر اندازه مواد بر مقدار به دست آوردن آب از هوا، در این پژوهش از روش غیرفعال و چندسازه BaSO_4 LDPE/ همرا با نانوذرات TiO_2 استفاده شده و تاثیر مقدار نانوذرات TiO_2 در بازدهی این لایه‌ها در رطوبت ۹۰ و در دو دمای متفاوت مورد بررسی قرار گرفت.

۲- بخش تجربی

مواد مصرفی: برای ساخت نانوجندسازه در این پژوهش از پلی اتیلین سبک شرکت پتروشیمی بندر امام (LDPE)، نانوذرات (TiO_2) (اندازه ذرات ۲۰ نانومتر از مرک، ۹۹٪)، BaSO_4 ، زایلین (Xylene) و سیکلوهگزان (Cyclohexane) استفاده شد.

دستگاه‌های مشخصه یابی: در ادامه نانوجندسازه ساخته شده با مقدارهای متفاوت از نانوذرات TiO_2 در رطوبت ۹۰ درجه با استفاده از آنالیز طیف‌سنجی فروسرخ (FT-IR، FT-IR، Equinex55)، زاویه سطح تماس، همچنین، سختی آب مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. همچنین، برای ایجاد و سنجش رطوبت و دما از دستگاه اتافک ابر ساخت ایران مدل MECHATERONIC استفاده گردید.

ساخت نانوجندسازه پلی اتیلن/نانوذرات تیتانیوم دی‌اکساید: برای ساخت لایه‌های نانوجندسازه‌ی مورد نظر ابتدا LDPE را در حلال غیر آلی زایلین و سیکلوهگزان ریخته و بر حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده تا محلولی یکدست به وجود آید. سپس،

هوا کار کرده‌اند و بدین منظور از دو روش فعال و غیر فعال استفاده کرده‌اند که بترتیب تفاوت آنها در مصرف یا عدم مصرف انرژی است. همچنین، این پژوهشگران به منظور بهینه سازی به دست آوردن آب مواد متفاوتی را بکار برده‌اند که در این میان بیشترین بازدهی را چندسازه‌های بسپاری داشته‌اند [۵-۷]. در بین چندسازه‌های بسپاری، استفاده از بسپار پلی اتیلن به علت ویژگی ویژه آن از جمله سبک و ارزان بودن بیشتر مورد توجه قرار گرفت [۸-۱۰]. مطالعات نشان می‌دهد تغییر فاز از بخار به مایع هنگامی رخ می‌دهد که دمای بخار به کمتر از دمای اشباع برسد و اغلب این تغییر در نزدیکی یک سطح جامد که دمای آن کمتر از دمای اشباع بخار است، اتفاق می‌افتد [۱۱]. آزمایش‌ها نشان داده‌اند که برخی سطوح بسپاری نسبت به سطوح صاف و صیقلی تابش بیشتر و در نتیجه دمای کمتری دارند و از اینرو کاندیدای مناسبی برای به دست آوردن آب از هوا هستند [۱۲-۱۴]. همچنین، نحوه چگالش بر روی سطوح نیز متفاوت بوده و به دو دسته چگالش فیلمی شکل و چگالش قطره مانند تقسیم می‌شود [۱۵]. چگالش فیلمی شکل بر سطوحی اتفاق می‌افتد که خاصیت خیس شوندگی و آب‌دوستی بالایی داشته باشند در صورتی که چگالش قطره مانند بر سطوح آب‌گریز یا ابرآب‌گریز به شکل قطراتی با اندازه‌هایی از مرتبه میکرومتری یا میلی‌متری ایجاد می‌شود. اغلب ترکیب این دو خاصیت جهت به دست آوردن آب از هوا استفاده می‌شود [۱۶-۲۰]. چالش‌های مهم در وضعیت جهانی آب به منظور تأمین آب آشامیدنی و کاهش آلودگی جهانی آب، باعث ورود فناوری‌های نوین در زمینه نانو شده است. نانومواد دارای ویژگی وابسته به اندازه منحصر به فرد در ارتباط با سطح ویژه سطح خاص خود (انحلال سریع، واکنش‌پذیری بالا، جذب قوی) و خاصیت ناپیوسته (مانند سوپر پارامغناطیس، رزونانس پلاسمون سطح موضعی و اثر محدودیت کوانتومی) هستند. محققان دریافته‌اند که یک پوشش نانومواد که می‌تواند آب را از هوا جذب و حتی تصفیه کند و ممکن است به ما این امکان را دهد تا آب را درجایی که به شکل مستقیم وجود ندارد برداشت کرده و قابل استفاده بسازیم [۲۱]. یکی از نانومواد در این زمینه تیتانیوم دی‌اکساید است. با توجه به ویژگی‌های این ماده از جمله خاصیت فوق آب‌دوستی و فوتوکاتالیستی پژوهشگران را بر این

BaSO₄ و نانوذرات TiO₂ با اندازه ۲۰ نانومتری در مقادیر متفاوت (جدول ۱) به آن افزوده شد. این مرحله، به مدت ۳۰ دقیقه و در دمای ثابت ۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. در نهایت ماده حاصل به منظور خشک شدن در آن به مدت ۲ ساعت قرار داده شد. در این پژوهش، از BaSO₄ به علت کمک به پخش شونده‌گی و پراکندگی بهتر نانوذرات TiO₂ استفاده شده است [۲۴-۲۸].

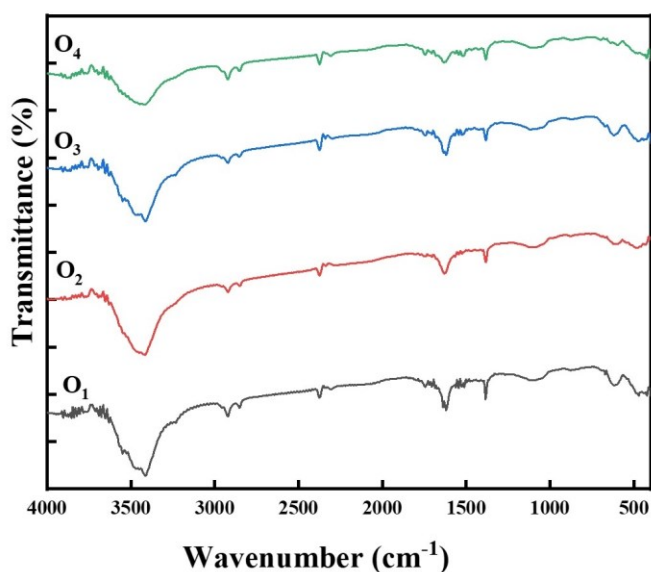
جدول ۱. مقدار جرم نانوذرات تیتانیوم اکساید (TiO₂) در هر نمونه برحسب درصد

| وزنی | | | | | |
|-------|----|---|---|---|---|
| نمونه | O | O | O | O | O |
| مقدار | ۲۰ | ۲ | ۵ | ۸ | ۰ |

برای بررسی کیفیت لایه‌های ساخته شده، از نمونه‌ها آنالیز FTIR و زاویه تماس گرفته شد. همچنین، مقدار جذب رطوبت و ریزش آب از سطح لایه‌ها در رطوبت نسبی ۹۰٪ و دمای ۱۵ و ۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، از آب جمع‌آوری شده نیز آزمون مقدار pH و سختی برای اطمینان از قابل شرب بودن آن گرفته شده است.

۳- نتایج و بحث

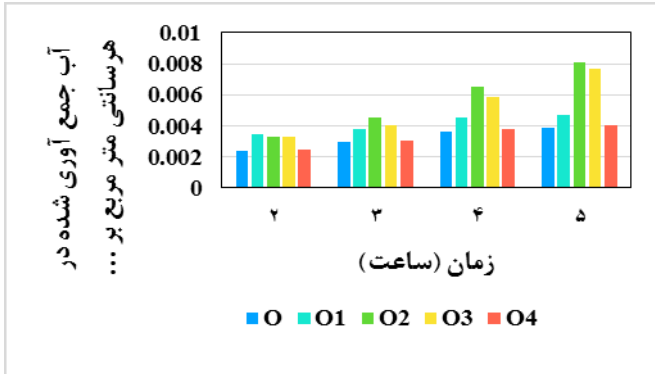
شکل ۱، آنالیز طیف‌سنجی فروسرخ (FTIR) نمونه‌های O₁، O₂، O₃ و O₄ را در گستره ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ cm⁻¹ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، نوار پهن موجود در تمام نمونه‌ها در گستره ۳۴۱۷-۳۴۱۴ cm⁻¹ مربوط به ارتعاش کششی OH است [۲۹]. نوارهای ظاهر شده در گستره‌ی ۱۳۸۱ cm⁻¹ و ۲۹۲۰ cm⁻¹ نیز مربوط به گروه عاملی CH₂ در ترکیب PE هستند [۳۰]. همچنین، ارتعاشات خمشی H₂O و OH-Ti در گستره‌ی ۱۶۲۴ و ۱۶۲۴ cm⁻¹ و ارتعاشات مربوط به پیوندهای Ti-O، Ti-O-Ti و O-Ti-O به ترتیب در گستره‌ی ۴۰۰-۶۰۰ cm⁻¹ و ۱۳۸۱ cm⁻¹، ۱۴۷۸ cm⁻¹ و ۱۶۱۷ cm⁻¹ مشاهده می‌شود [۲۹-۳۱]. از میان این لایه‌ها، نمونه O₂ و O₄ طبق شکل ۱ بترتیب دارای بیشترین و کمترین گروه‌های عاملی OH نسبت به بقیه نمونه‌ها هستند و از اینرو دارای خاصیت آبدوستی بالاتر و پایین‌تری هستند.



شکل ۱. طیف FTIR نمونه‌های O₁، O₂، O₃ و O₄

مقدار ترشوندگی سطح با استفاده از زاویه تماس سنجیده می‌شود. به هر مقدار که زاویه تماس کمتر/بیشتر باشد به معنای جاذبه قوی‌تر/کمتر بین مولکول‌های سطح و مایع نسبت به مولکول‌های مایع بوده و مقدار ترشوندگی جسم بیشتر/کمتر است. شکل ۲ مقدار تغییرات زاویه تماس قطره آبی به حجم ۱۳ μm را با سطح لایه‌های بدست آمده نسبت به زمان نشان می‌دهد. همانگونه که از این شکل مشخص است لایه‌های بدست آمده همگی آبدوست بوده و آبدوستی آنها با گذر زمان افزایش می‌یابد. همچنین، نمونه O₂ و O₄ در بین نمونه‌های حاوی نانوذرات TiO₂ در زمان ۳ دقیقه دارای کمترین و بیشترین زاویه یعنی دارای بیشترین و کمترین جذب هستند (شکل ۲). شکل‌های ۳، ۴ و ۵ مقدار آب جمع‌آوری شده در هر نمونه در واحد سطح در رطوبت ۹۰٪ در دمای ۱۵ و ۵ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که کاهش دما بطور کلی منجر به افزایش مقدار جذب آب در تمامی نمونه‌ها شده است اما روند این افزایش در نمونه‌های متفاوت به شکل متفاوتی است. نمونه O₂ و O₄ بترتیب بیشترین جذب را در دمای ۱۵ و ۵ درجه سانتی‌گراد دارا هستند.

قطرات چگالش یافته تحت تاثیر نیروی گرانش قرار گرفته و از سطح ریزش می‌کنند. انتخاب بهترین زاویه برای سطح با توجه به جهت وزش باد و دیگر کمیت‌های هواشناسی می‌تواند در جمع‌آوری آب موثر باشند [۳۲].



شکل ۴. مقدار آب جمع‌آوری شده در هر سانتی متر مربع بر میلی لیتر در رطوبت ۹۰٪ و دمای ۱۵ C° از ۲ تا ۵ ساعت

جدول ۲. وزن نمونه‌ها در رطوبت ۹۰٪

| نمونه | وزن اولیه | بعد از ۲ ساعت | بعد از ۳ ساعت | بعد از ۴ ساعت | بعد از ۵ ساعت |
|-------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| O | 4.101 | 4.101 | 4.101 | 4.101 | 4.101 |
| O1 | 4.204 | 4.204 | 4.204 | 4.204 | 4.204 |
| O2 | 4.471 | 4.471 | 4.471 | 4.471 | 4.471 |
| O3 | 5.919 | 5.919 | 5.919 | 5.919 | 5.919 |
| O4 | 5.703 | 5.703 | 5.703 | 5.703 | 5.703 |

جدول ۲، وزن نمونه‌ها در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و در رطوبت ۹۰٪ را نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود، وزن نمونه‌ها هیچ تغییری نکرده و هیچ رطوبتی را جذب نمی‌کند. در نهایت، مقدار pH آب‌های ریزش شده از لایه‌ها، مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج نشان داد که pH بدست آمده برای آب به دست آوردن شده از تمامی نمونه‌ها ۷ است. همچنین، مقدار سختی آب برای آنها بین ۱۹ تا ۲۴ بوده که در گستره آب قابل شرب است. در نتیجه حضور لایه‌ها در دو کمیت سختی و pH تاثیری نگذاشته است.



شکل ۲. تغییرات زاویه تماسی نسبت به زمان



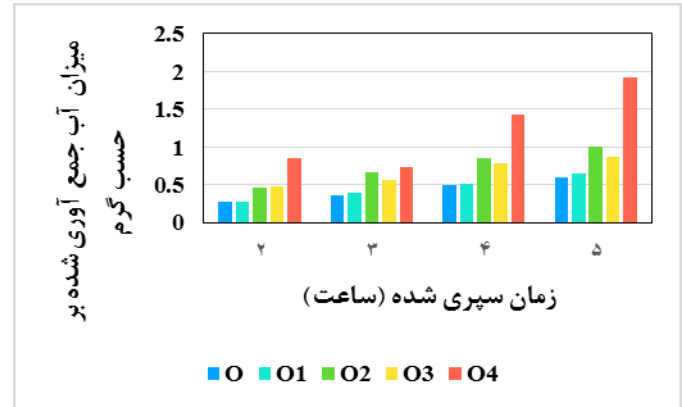
شکل ۳. مقدار آب جمع‌آوری شده در رطوبت ۹۰٪ و دمای ۱۵ C° از ۲ تا ۵ ساعت

کاهش مقدار نانوذرات TiO_2 در ساختار بسیار منجر به پخش شدگی بهتر می‌شود. در این میان گرچه تعداد جزیره‌های آبدوست در بین زمینه‌های آبریز بیشتر می‌شود ولی اندازه آن‌ها کاهش می‌یابد. از اینرو خصلت آبدوستی لایه‌ها در مقیاس میکروسکوپی افزایش می‌یابد. همچنین، تجمع مولکول‌های آب در سطح کوچک این جزیره‌ها منجر به بالاتر رفتن دمای اشباع و تشکیل قطرات کوچک بر سطح می‌شود. در عوض وجود درصد‌های خیلی بالاتری از نانوذرات TiO_2 همانند نمونه O4 منجر به بوجود آمدن جزیره‌های کمتر ولی پهن‌تر در میان سرزمین آبریز LDPE می‌شوند که در مقیاس میکروسکوپی به نسبت آبدوستی پایین‌تری ایجاد می‌کنند. همچنین، مولکول‌های بخار هوا هنگام جذب بر این جزیره‌ها گسترده شده و جهت رسیدن به نقطه اشباع به دماهای به نسبت پایین‌تری نیاز دارند. اما هنگام رسیدن به نقطه اشباع مولکول‌های بخار آب روی سطح پهن‌تر آنها بسرعت چگالش یافته و قطرات بزرگتر و در نتیجه ریزش بالاتری را ایجاد می‌کنند. از اینرو، نمونه O4 در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد بازدهی بالاتری برای به دست آوردن آب دارد.

پایین به علت چگالش بیشتر بخارات آب مقدار بیشتری آب به دست می‌آید.

مراجع

- [1] Rouessac, F. and Rouessac, A., Chemical analysis: modern instrumentation methods and techniques. John Wiley & Sons, 2013.
- [2] Malik, F.T., Clement, R.M., Gethin, D.T., Krawszik, W. and Parker, A.R., Nature's moisture harvesters: a comparative review. *Bioinspiration & biomimetics*, 9(3), 031002, 2014.
- [3] Bresci, E., Wake characterization downstream of a fog collector. *Atmospheric research*, 64(1-4), 217-225, 2002.
- [4] Mandal, R.B. ed., Water resource management. Concept Publishing Company, 2006.
- [5] Jacobs, A.F.G., Heusinkveld, B.G. and Berkowicz, S.M., Passive dew collection in a grassland area, The Netherlands. *Atmospheric Research*, 87(3-4), 377-385, 2008.
- [6] Reif, J.H. and Alhalabi, W., Solar-thermal powered desalination: Its significant challenges and potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 152-165, 2015.
- [7] Zhao, D., Aili, A., Zhai, Y., Xu, S., Tan, G., Yin, X. and Yang, R., Radiative sky cooling: Fundamental principles, materials, and applications. *Applied Physics Reviews*, 6(2), 021306, 2018.
- [8] Dai, X.; Sun, N.; Nielsen, S.O.; Stogin, B. B.; Wang, J.; Yang, S.; Wong, T.-S., Hydrophilic Directional Slippery Rough Surfaces for Water Harvesting. *Sci. Adv.* 4, 0919-0924, 2018.
- [9] Li, Chang, Yufang Liu, Chunlei Gao, Xin Li, Yan Xing, and Yongmei Zheng. "Fog harvesting of a bioinspired nano cone-decorated 3D fiber network." *ACS applied materials & interfaces* 11, 4, 4507-4513, 2019.
- [10] Jarimi, Hasila, Richard Powell, and Saffa Riffat. "Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 15, 253-276, 2020.
- [11] UÇAR, İ.O. and ERBİL, H.Y., Droplet condensation on polymer surfaces: A review. *Turkish Journal of Chemistry*, 37(4), 643-674, 2013.



شکل ۵. مقدار آب جمع آوری در رطوبت ۹۰٪ و دمای ۵°C از ۲ تا ۵ ساعت

نتایج بدست آمده در این پژوهش در مقایسه با مقالات مشابه [۲۴-۲۸] در این زمینه نشان می‌دهد که استفاده از نانوذرات TiO_2 در مقایسه با اندازه میکرومتری این ماده، به دلیل ویژگی بسیار ویژه نانوذرات از قبیل نسبت سطح به حجم بالا، منجر به بازدهی بالاتری در به دست آوردن آب می‌شود. همچنین به دلیل ویژگی فوق‌آب‌دوستی و فوتوکاتالیستی که رابطه تنگاتنگی باهم دارند باعث پدیده خودتمیز شونده‌گی شده و آلودگی‌های موجود در سطح را از بین برده و هزینه‌های موجود برای تصفیه آب را کاهش داد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش روش غیرفعال با استفاده از پلی‌اتیلن سبک و نانوذرات TiO_2 جهت به دست آوردن آب از هوا استفاده شده و تاثیر غلظت این نانوذرات در بازدهی لایه‌های ساخته شده در رطوبت ۹۰٪ و در دو دمای متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که لایه‌های آماده سازی شده رطوبت هوا را جذب کرده و به قطرات آب قابل شرب تبدیل می‌کنند. به دست آوردن آب در این لایه‌ها بکمک قسمت آب‌دوست ناشی از نانوذرات TiO_2 و قسمت آبگریز ناشی از پلی‌اتیلن ایجاد می‌شود. حضور همزمان این مواد در کنار هم باعث می‌شود بخار آب جمع‌آوری و به قطره تبدیل شود و از روی سطح لایه ریزش کند. با توجه به آزمایشات انجام شده می‌توان به این نتیجه رسید که مقدار کمتر ذرات نانومتر TiO_2 در دماهای بالاتر و در صد بالاتر آن در دماهای پایین‌تر کارایی بهتری دارند. همچنین، در دماهای

the remediation of petrochemical wastewater through Box-Behnken design method." *Desal Water Treat* 166,135-143, 2019.

[24] Peng, Qi, Li Jia, Yi Ding, Chao Dang, Liaofei Yin, and Xiao Yan. "Influence of groove orientation on dropwise condensation on hydrophobic and hierarchical super hydrophobic surfaces with microgroove arrays." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 112 104492, 2020.

[25] Xing, Yan, Weifeng Shang, Qianqian Wang, Shile Feng, Yongping Hou, and Yongmei Zheng. "Integrative bioinspired surface with wetttable patterns and gradient for enhancement of fog collection." *ACS applied materials & interfaces* 11, 11, 10951-10958, 2019.

[26] J. Xu, T. Li, J. Chao, S. Wu, T. Yan, W. Li, B. Cao and R. Wang, Efficient Solar-Driven Water Harvesting from Air with Metal-Organic Frameworks Modified by Hygroscopic Salt, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 59, 2-11, 2020.

[27] R. Li, Y. Shi, M. Wu, S. Hong and P. Wang, improving atmospheric water production yield: Enabling multiple water harvesting cycles with nano sorbent, *Nano Energy*, 67, 104255, 2020.

[28] Uddin, Md Nizam, Fenil J. Desai, Muhammad M. Rahman, and Ramazan Asmatulu. "A highly efficient fog harvester of electrospun permanent super hydrophobic-hydrophilic polymer nanocomposite fiber mats." *Nanoscale Advances* 2, 10, 4627-4638, 2020.

[29] Rostami, M., Hassani Joshaghani, A., Mazaheri, H., & Shokri, A. Photo-degradation of P-Nitro Toluene Using Modified Bentonite Based Nano-TiO₂ Photocatalyst in Aqueous Solution. *International Journal of Engineering*, 34(4), 756-762, 2021.

[30] Cincinelli, A., Scopetani, C., Chelazzi, D., Lombardini, E., Martellini, T., Katsoyiannis, A., Fossi, M.C. and Corsolini, S., Microplastic in the surface waters of the Ross Sea (Antarctica): occurrence, distribution and characterization by FTIR. *Chemosphere*, 175, 391-400, 2017.

[31] Babu, M.M., Prasad, P.S., Rao, P.V., Govindan, N.P., Singh, R.K., Kim, H.W. and Veeriah, N., Titanium incorporated Zinc-Phosphate bioactive glasses for bone tissue repair and regeneration: Impact of Ti⁴⁺ on physico-mechanical and in vitro bioactivity. *Ceramics International*, 45(17), 23715-23727, 2019.

[12] Nilsson, T., Initial experiments on dew collection in Sweden and Tanzania. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 40(1), 23-32, 1996.

[13] Eppelbaum, L., Kutasov, I. and Pilchin, A., *Applied geothermics*. Springer Berlin Heidelberg. 99-149, 2014.

[14] Zhao, D., Aili, A., Zhai, Y., Xu, S., Tan, G., Yin, X. and Yang, R., Radiative sky cooling: Fundamental principles, materials, and applications. *Applied Physics Reviews*, 6(2), 021306, 2019.

[15] Mishra, S., 2018. Warka water: Innovative water harvesting method from thin air.

[16] Khalil, B., Adamowski, J., Shabbir, A., Jang, C., Rojas, M., Reilly, K. and Ozga-Zielinski, B., A review: dew water collection from radiative passive collectors to recent developments of active collectors. *Sustainable Water Resources Management*, 2(1), 71-86, 2016.

[17] Tu, Y., Wang, R., Zhang, Y. and Wang, J., Progress and expectation of atmospheric water harvesting. *Joule*, 2(8), 1452-1475, 2018.

[18] Qi, H., Wei, T., Zhao, W., Zhu, B., Liu, G., Wang, P., Lin, Z., Wang, X., Li, X., Zhang, X. and Zhu, J., An Interfacial Solar Driven Atmospheric Water Generator Based on a Liquid Sorbent with Simultaneous Adsorption-Desorption. *Advanced Materials*, 31(43), 1903378, 2019.

[19] Zhou, M., Song, H., Xu, X., Shahsafi, A., Xia, Z., Ma, Z., Kats, M.A., Zhu, J., Ooi, B.S., Gan, Q. and Yu, Z., September. Accelerating vapor condensation with daytime radiative cooling. In *New Concepts in Solar and Thermal Radiation Conversion II International Society for Optics and Photonics*. 11121, 1112107, 2019.

[20] Mukhopadhyay, A., Cole, W.T. and Saykally, R.J., 2015. The water dimer I: Experimental characterization. *Chemical Physics Letters*, 633, 13-26, 2015.

[21] Shokri, Aref, and Kazem Mahanpoor. "Removal of Ortho-Toluidine from Industrial Wastewater by UV/TiO₂ Process." 213-223, 2016.

[22] Rostami, Mehdi, Hossein Mazaheri, Ali Hassani Joshaghani, and Aref Shokri. "Using Experimental Design to Optimize the Photo-degradation of P-Nitro Toluene by Nano-TiO₂ in Synthetic Wastewater." *International Journal of Engineering* 32, no.: 1074-1081, 2019.

[23] Shokri, Aref, Ahmad Bayat, and Kazem Mahanpoor. "Employing Fenton-like process for

[32] Beysens, D.. Estimating dew yield worldwide from a few meteo data. Atmospheric Research 167, 146–155, 2016.

Feasibility of Dew harvesting from air humidity by polyethylene / TiO₂ polymer nanocomposite

Mohammad Javad Hamta, Fatemeh Ostovari* , Mohammad Joghataei

Department of Physics, Faculty of Science, Yazd University, Yazd

Abstract:

The problem of water shortage due to very low rainfall and its improper distribution has caused economic and agricultural problems. In this regard, the usual sources of water supply, such as water wells, have suffered irreparable economic and social consequences due to over-harvesting. One of the solutions available in recent decades is the use of available resources in water harvesting such as the water harvesting in the air. In this research, we have investigated the issue of water supply from air humidity by polymer layers with titanium dioxide nanoparticles. For this purpose, the effect of different concentrations of titanium dioxide nanoparticles on the rate of water harvesting by the desired layers at 90% humidity and at the temperature 15 and 5 ° C was investigated. Also, the amount of water collected was measured in terms of hours for 5 hours and according to the characteristics of the layers were analyzed. The results showed that the prepared layers have the ability to absorb air moisture and convert it into available water droplets due to the presence of TiO₂ nanoparticles in the layers. Although the efficiency of the layers is higher at low temperatures due to the faster condensation of water vapor, the results show that temperature changes have a significant effect on dew harvesting of water by layers with different percentages of TiO₂ nanoparticles, as the layers containing higher and lower concentrations of TiO₂ nanoparticles have the highest power dew harvesting of water at temperatures of 5 and 15 ° C, respectively.

Keywords: Dew harvesting, polymer nanocomposite, polyethylene, Titanium Dioxide nanoparticles, Water spill, Water absorption.