

اندازه گیری غلظت گونه های فعال شیمیایی NO_2 , NO_3 , H_2O_2 , OH , O_3 در آب فعال شده با پلاسماحسین هدایتی¹، فرشاد صحبت زاده¹، سید رضا نبوی² و مائده قاسمی¹¹دانشگاه مازندران-دانشکده علوم پایه-گروه فیزیک اتمی و مولکولی²دانشگاه مازندران-دانشکده شیمی-گروه شیمی کاربردی*آدرس رایانامه نویسنده مسئول: Ho3ein.hedayati@gmail.com

کلید واژه: پلاسما، آب فعال شده با پلاسما

چکیده: آب فعال شده با پلاسمای سرد اتمسفری از حدود یک دهه پیش توسعه یافته و کاربرد های آن در بخش های مختلف از جمله کشاورزی، پزشکی و گندزدایی مورد توجه قرار گرفته است. در این کار تحقیقاتی با استفاده از دستگاه طیف سنج UV-VIS و استفاده از شناساگر های شیمیایی و منحنی های کالیبراسیون به اندازه گیری غلظت گونه های فعال شیمیایی القا شده توسط پلاسما در آب دیونیزه پرداخته ایم. گونه های اندازه گیری شده شامل NO_2 , NO_3 , H_2O_2 , OH , O_3 در فاز مایع می باشند. نتایج نشان می دهند که زمان پردازش نقش اساسی در کنترل غلظت گونه های فعال دارد. در این کار دیده شد که غلظت ازن، هیدروکسیل و هیدروژن پروکسید به صورت غیر خطی و نیتريت و نیترات به صورت خطی با زمان افزایش می یابد. این بررسی ها نشان می دهد شناخت هرچه بهتر شیمی آب فعال شده با پلاسما می تواند ما را در استفاده از این آب در زمینه های مختلف کمک کند.

Measurement of NO_2 , NO_3 , H_2O_2 , OH , O_3 concentrations in Plasma-Activated WaterHossein Hedayati¹, Farshad Sohbatzadeh¹, Seyed Reza Nabavi², Maede Ghasemi¹¹ Department of Atomic and Molecular Physics, Faculty Of Science, University of Mazandaran, Babolsar²Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Mazandaran, Babolsar*corresponding e-mail: Ho3ein.hedayati@gmail.com

Abstract

Plasma-activated water with atmospheric cold plasma has been developed more than a decade and its applications in various sectors such as agriculture, medicine and disinfectant have been considered. In this work, we examined the concentrations of chemical reactive species in deionized water using reagents, calibration curves and UV-VIS spectrometer. In this regard, the concentrations of NO_2 , NO_3 , H_2O_2 , OH and O_3 were measured in aqueous phase. The results showed that the treatment time has a crucial role in controlling the concentrations. It was seen that the concentration of ozone, hydroxyl, and hydrogen peroxide have nonlinear trend while nitrate and nitrite behave linearly. This study elucidated the chemical properties of the plasma-activated water in which enables us to employ it in various fields.

مقدمه

، پتانسیل اکسایش-کاهش، رسانایی و تشکیل گونه های واکنش پذیر اکسیژن و نیتروژن در آب می شود. در نتیجه آب فعال شده با پلاسما دارای ترکیب شیمیایی متفاوتی نسبت به آب است و گونه های موجود در این آب این امکان را می دهد تا از آن در زمینه های کشاورزی، پزشکی، صنایع غذایی، گند زدایی سطوح و غیره استفاده کرد. شناسایی و اندازه گیری گونه های شیمیایی در آب فعال شده با پلاسما می تواند درک ما از چگونگی انجام و تولید گونه های

کاربرد های آب فعال شده با فناوری پلاسما سرد اتمسفری در سال های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است، برهمکنش پلاسمای سرد اتمسفری و مایعات مانند آب می تواند خواص فیزیکی و شیمیایی آن را نسبت به آب معمولی تغییر دهد. تیمار آب با پلاسما که اصطلاحاً به آن آب فعال شده با پلاسما گفته می شود یک محیط اسیدی در فاز مایع ایجاد می کند که منجر به تغییر pH

این تخلیه با استفاده از یک منبع تغذیه با فرکانس 6.2 کیلوهرتز و توان تخلیه 4.2 وات انجام شده است. پس از تیمار 15 میلی لیتر آب با پلاسما غلظت برخی گونه ها با طول عمر بالا در زمان های مختلف تیمار اندازه گیری شده است. غلظت سه گونه پراکسید هیدروژن، یون نیتريت و نیترات بر اساس قانون بیر-لامبرت، به روش اسپکتروفتومتری و با استفاده از اسپکتروفتومتر UNICO اندازه گیری کردیم [4]. همچنین غلظت ازن موجود در آب پس از تخلیه را به روش تیتراسیون یدومتری اندازه گیری نمودیم [5]. علاوه بر این تغییرات کیفی غلظت رادیکال هیدروکسیل که به عنوان یک گونه با طول عمر نسبتا کوتاه در آب فعال شده با پلاسما است را در زمان های مختلف تیمار به طور غیر مستقیم از روش طیف سنجی فلورسانس و با استفاده سدیم هیدروکسید و ترفتالیک اسید بررسی کردیم و در نهایت تغییرات pH آب نسبت به زمان تیمار با پلاسما را بررسی نمودیم. [6].

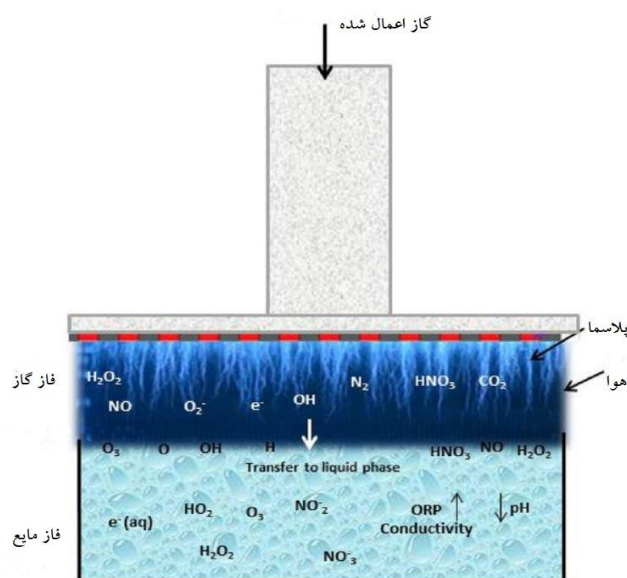
بحث

pH: با توجه به واکنش های بین گونه های شیمیایی پلاسما و آب و تشکیل اسید های قوی، pH آب به شدت کاهش می یابد. شکل 1 مقادیر pH آب پس از تیمار با پلاسما در زمان های مختلف با را نشان می دهد.

پراکسید هیدروژن

به عنوان یکی از گونه های واکنش پذیر اکسیژن در آب فعال شده با پلاسما است و نقش مهمی در خواص ضد میکروبی دارد. روش های شیمیایی جهت اندازه گیری پراکسید هیدروژن شامل اسپکتروفتومتری، تیتراسیون یدومتری، پرمنگنات و کیت سنجش آنزیم پراکسیداز است، نکته حائز اهمیت این است که غلظت پراکسید هیدروژن با گذشت زمان کاهش می یابد، به عنوان مثال تشکیل نیترات پس از واکنش بین نیتريت و پراکسید هیدروژن می تواند یکی از دلایل آن باشد [1]. مطابق اندازه گیری ها میزان غلظت پراکسید هیدروژن برای زمان های مختلف تیمار در شکل 3 ارائه شده است که نشان دهنده روند صعودی غلظت این گونه با افزایش زمان تیمار است.

واکنشی در فازهای گاز و مایع و نیز کاربرد های این آب را عمیق تر نماید. دو روش عمده برای تولید آب فعال شده با پلاسما وجود دارد، الف: شامل تماس جریان پلاسما و سطح مایع، ب: وارد کردن پلاسما به صورت مستقیم در آب، که گونه های شیمیایی تولید شده و واکنش های شیمیایی در این دو روش متفاوت است، همچنین بدیهی است در روند تولید آب فعال شده با پلاسما جدا از منابع پلاسما، زمان تیمار، گازهای مورد استفاده و فاصله بین مایع و پلاسما نقش مهمی دارند [1].



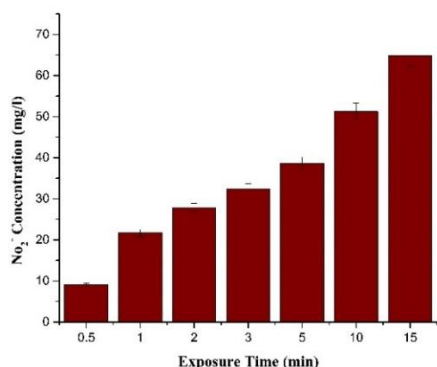
شکل 1: فعل و انفعالات پلاسما در فاز گازی با آب در فاز مایع در طی تولید آب فعال شده با پلاسما [2].

گونه های تولید شده توسط پلاسما در فاز گازی قرار دارند و سپس درون آب به شکل گونه های ثانویه مانند پراکسید هیدروژن، یون های نیترات و نیتريت، ازن، پروکسینیتريت، اکسید نیتريك و مواردی دیگر ظاهر شده و به واکنش های شیمیایی ادامه خواهند داد [3].

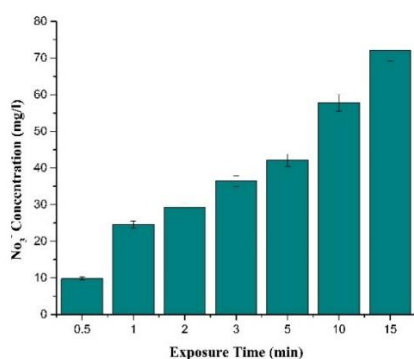
مواد و روش ها

در این پژوهش از یک ساختار تخلیه سد دی الکتریک به عنوان منبع تولید پلاسما استفاده شده است، این ساختار از نوار های آلومینیومی که به صورت لب به لب به دو طرف شیشه (الکتروده) چسبانده شده اند تشکیل شده و جهت جلوگیری از ایجاد کرونا و اتلاف توان الکتریکی یک سمت دی الکتریک را با عایق پوشاندیم.

تیمار را نشان می دهد که با افزایش زمان تیمار شاهد افزایش غلظت این دو گونه به صورت خطی هستیم.



شکل 4: غلظت یون نیتريت در زمان های مختلف تیمار



شکل 5: غلظت یون نیترات در زمان های مختلف تیمار

ازن

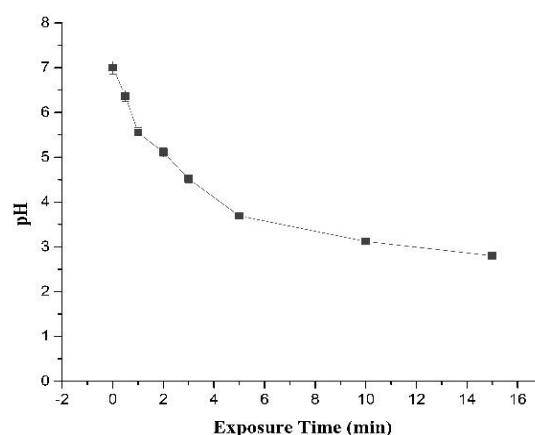
یکی از گونه های نسبتا پایدار آب فعال شده با پلاسما ازن است که به دلیل ویژگی های خاصی نظیر گند زدایی و تصفیه کنندگی آب مورد توجه است، عموما روش های غلظت سنجی ازن شامل تیتراسیون یدومتری و اسپکتروفتومتری است [5]. شکل 6 نشان دهنده روند افزایشی غلظت ازن موجود در آب به صورت نمایی می باشد.

رادیکال هیدروکسیل

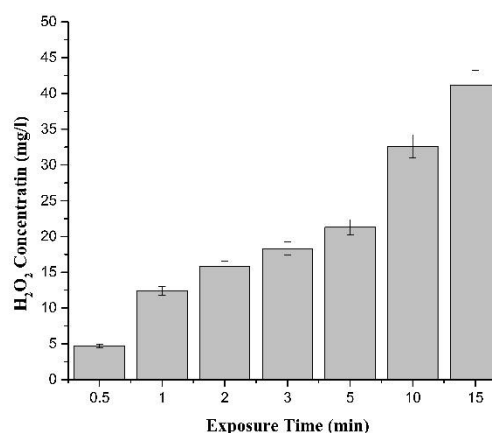
هیدروکسیل یکی از گونه های با طول عمر نسبتا کوتاه در آب فعال شده با پلاسما است که اندازه گیری غلظت آن به صورت مستقیم

یون های نیترات و نیتريت

شناسایی یون های نیتريت و نیترات در آب فعال شده با پلاسما دلایل اصلی برای تشکیل گونه های واکنش پذیر نیتروژن در آب است، بنا به گزارش شن و همکاران در سال 2016 یون های نیتريت و نیترات به عنوان گونه های ثانویه در آب تولید شده و نسبت به سایر گونه ها دارای طول عمر بالایی می باشند، البته همچون گونه های واکنش پذیر اکسیژن غلظت یون های نیترات و نیتريت نیز با گذشت زمان بعد از تیمار کاهش می یابد. در خصوص سنجش غلظت سنجی این یون ها روش های رنگ سنجی گریس و اسپکتروفتومتری بیشتر مورد توجه می باشد [3]. شکل 4 و 5 به ترتیب مقدار غلظت یون های نیتريت و نیترات در زمان های مختلف



شکل 2: تغییرات pH نسبت به زمان های مختلف تیمار



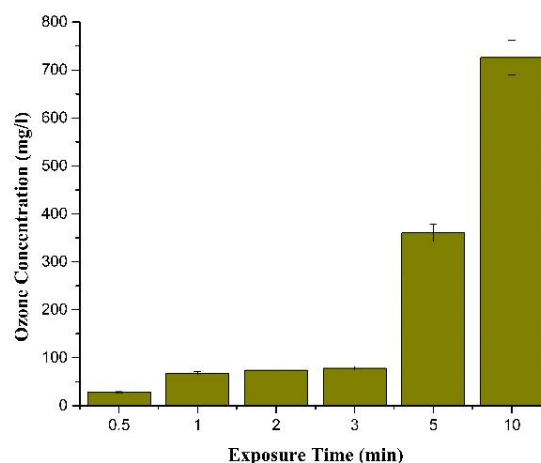
شکل 3: غلظت پراکسید هیدروژن در زمان های مختلف تیمار

های فعال شیمیایی NO_2 , NO_3 , H_2O_2 , OH , O_3 با استفاده از روش شناساگر های شیمیایی و طیف سنجی اندازه گیری نمودیم. نتایج نشان داد که زمان تیمار نقش اساسی در غلظت القا شده دارد و غلظت H_2O_2 , OH , O_3 با زمان تیمار غیر خطی است درحالیکه غلظت یون های نیتريت و نیترات رفتار خطی دارد.

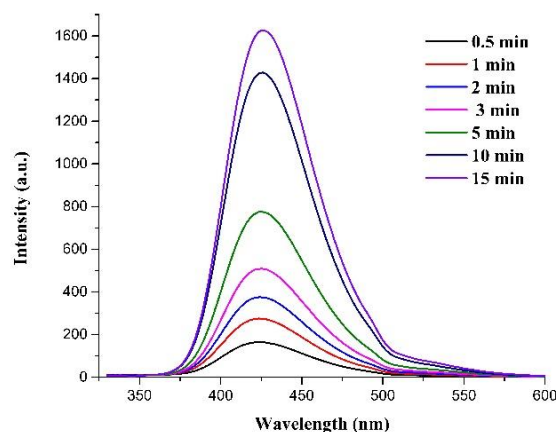
مرجع ها

- [1] Thirumdas, R., Kothakota, A., Annapure, U., Siliveru, K., Blundell, R., Gatt, R., & Valdramidis, V. P. (2018). Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture. *Trends in food science & technology*, 77, 21-31.
- [2] Zhao, Y. M., Patange, A., Sun, D. W., & Tiwari, B. (2020). Plasma-activated water: Physicochemical properties, microbial inactivation mechanisms, factors influencing antimicrobial effectiveness, and applications in the food industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3951-3979.
- [3] Shen, J., Tian, Y., Li, Y., Ma, R., Zhang, Q., Zhang, J., & Fang, J. (2016). Bactericidal effects against *S. aureus* and physicochemical properties of plasma activated water stored at different temperatures. *Scientific reports*, 6(1), 1-10.
- [4] Liu, Z., Zhou, C., Liu, D., He, T., Guo, L., Xu, D., & Kong, M. G. (2019). Quantifying the concentration and penetration depth of long-lived RONS in plasma-activated water by UV absorption spectroscopy. *AIP Advances*, 9(1), 015014.
- [5] Chasanah, U., Yulianto, E., Zain, A. Z., Sasmita, E., Restiwijaya, M., Kinandana, A. W., ... & Nur, M. (2019, February). Evaluation of Titration Method on Determination of Ozone Concentration Produced by Dielectric Barrier Discharge Plasma (DBDP) Technology. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1153, No. 1, p. 012086). IOP Publishing.
- [6] Baek, E. J., Joh, H. M., Kim, S. J., & Chung, T. H. (2016). Effects of the electrical parameters and gas flow rate on the generation of reactivspecies in liquids exposed to atmospheric pressure plasma jets. *Physics of Plasmas*, 23(7), 073515.

عملا ممکن نیست و از روش های دیگری مانند طیف سنجی فلوئورسانس استفاده می شود [6]. شکل 7 نشان دهنده این مطلب می باشد که با افزایش زمان تیمار آب با پلاسما غلظت هیدروکسیل نیز افزایش می یابد. این افزایش نیز رفتار غیر خطی دارد.



شکل 6: غلظت ازن در زمان های مختلف تیمار



شکل 5: تغییرات کیفی غلظت هیدروکسیل در زمان های مختلف تیمار

نتیجه گیری

آب فعال شده با پلاسمای سرد اتمسفری یک فناوری پرکاربرد است که توجه بسیاری را در شاخه های مختلف علوم و فناوری به خود جلب نموده است. در این کار تحقیقاتی pH و غلظت گونه