

کاربرد نانو ساختارها در استخراج فاز جامد

نفیسه سبزو^۱، طاهره روحانی بسطامی^{۱*}، مجید کریمی^۲، طاهره حیدری^۳

۱- دانشگاه مهندسی فناوری های نوین قوچان، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی شیمی قوچان، ایران

۲- پژوهشگاه مهندسی پلیمر و پتروشیمی ایران، گروه مهندسی پلیمریزاسیون تهران، ایران

۳- دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه شیمی، مشهد، ایران

چکیده

امروزه به علت افزایش جمعیت، رشد روز افزون صنایع غذایی، دارویی و نفتی، سطح آلودگی خاک، آب و هوا در وضعیت بحرانی قرار دارد. بنابراین، محققان به دنبال روش های جدید، آسان، ارزان قیمت و سریع برای تعیین، شناسایی و حذف آلاینده ها از نمونه های مختلف محیط زیستی می باشند. روش های تحلیلی زیادی برای این منظور پیشنهاد شده اند، ولی به علت آنکه مقدار این آلاینده ها در محیط زیست بسیار کم است، اغلب شناسایی کیفی و اندازه گیری کمی آنها را با مشکل رو به رو می کند. برای رفع این مشکل، به منظور پیش تغلیظ نمونه ها می توان از روش استخراج فاز جامد استفاده نمود. در این مقاله سعی بر آن است که عملکرد و تاثیر جاذب های نانو ساختار مانند نانو فایبر ها، نانو ساختار های کربنی و مغناطیسی بر استخراج فاز جامد مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

واژه های کلیدی: استخراج فاز جامد، جذب سطحی، نانو فایبر، نانوساختارهای کربنی، نانوساختارهای مغناطیسی

t.rohani@qiet.ac.ir : ایمیل نویسنده مسئول

۱-مقدمه

سلامت غذا به طور مستقیم با سلامت انسان در ارتباط است، بنابراین، صنایع غذایی به طور پیوسته کیفیت فرایند تولید و بسته بندی مواد غذایی را کنترل کرده و سعی دارند که میزان استفاده از افزودنی های غذایی را به حداقل برسانند. اما وجود آلاینده هایی مانند باکتری های سمی و آنتی بیوتیک ها در مواد غذایی، گریز ناپذیر است. همچنین، کیفیت آب آشامیدنی به علت وجود آلاینده های احتمالی در آن، که به طور مستقیم با بدن انسان در تماس قرار می گیرند، حائز اهمیت است. داروها و متابولیت آنها، ترکیبات معطر، لوازم آرایشی و بهداشتی، حلال ها، رنگ ها، آفت کش ها و... از منابع آلوده کننده آب ها می باشند[۱]. بنابراین، با توجه به اثرات مخرب آلاینده های موجود در محیط زیست، نیاز به روش های مناسب برای اندازه گیری این آلاینده ها در نمونه های مختلف بیولوژیکی و محیط زیستی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به طور کلی فرایند اندازه گیری شامل چندین مرحله ی: (۱) نمونه برداری (۲) پیش آماده سازی نمونه (۳) جداسازی و حذف مزاحمت ها است[۲]. هدف اصلی همه ی روش های شیمی تجزیه یافتن تکنیک ها، روش کارها و تجهیزات جدید به منظور بهبود حساسیت و انتخاب پذیری و سرعت عملکرد این روش ها است. این هدف نیازمند درک عمیق فرایند های شیمیایی و فیزیکی شیمیایی در تمام مراحل می باشد[۳]. به علت غلظت خیلی پایین آلاینده ها در نمونه های حقیقی مانند نمونه های

بیولوژیکی، غذایی و آب ها و نیز بافت پیچیده ی این نمونه ها، برای اندازه گیری آنها نیاز است که از روش های جداسازی و پیش تغلیظ استفاده گردد. جداسازی و پیش تغلیظ آلاینده های آلی و غیر آلی از نمونه های جامد و مایع عموماً با استفاده از روش های مختلفی مانند رسوب دهی، لخته سازی، فیلتراسیون، استخراج فاز جامد^۱ انجام می گیرد[۴]. در میان روش های ذکر شده استخراج فاز جامد (SPE) که در این روش از یک جاذب مناسب جهت پیش تغلیظ آنالیت (آلاینده مورد نظر در محلول) استفاده می گردد، بسیار مورد توجه است. از مزایای برجسته ی این روش می توان به فاکتور غنی سازی بالا، بازیابی مناسب، استفاده ی کم از حلال های آلی، جداسازی آسان و سریع، حساسیت زیاد، قیمت پایین و امکان کنترل اتوماتیک در کل فرایند اشاره نمود به ترتیبی که برای جداسازی و پیش تغلیظ طیف گسترده ای از مواد و عناصر از نمونه های پیچیده، مناسب می باشد[۲]. یک جاذب مناسب باید انتخاب پذیری، ظرفیت جذب سطحی و همچنین پایداری فیزیکی و شیمیایی بالا و امکان استفاده در طیف گسترده ای از pH را داشته باشد. اخیراً تولید و عرضه ی جاذب های متنوعی مانند کربن فعال، اکسید فلزات و رزین ها به عنوان فاز جامد افزایش یافته است[۵]. اما متأسفانه این جاذب ها به علت کم بودن نسبت سطح به حجم، عملکرد و بازدهی نسبتاً پایینی

^۱ Solid phase extraction(SPE)

۳- استخراج فاز جامد با استفاده از نانو ساختارها

نانو ساختارها، موادی هستند که حداقل یک بعد نانومتری دارند. از نانو ذرات می توان در زمینه های مختلف پزشکی، تصفیه آب، سیستم های دارو رسانی و سنسور های زیستی استفاده کرد [۴]. اکسید فلزاتی مانند TiO_2 ، Al_2O_3 ، ZrO_2 ، CeO_2 ، Fe_3O_4 و SiO_2 به علت خواص برجسته ی خود مثل مساحت سطحی، ظرفیت جذب، سرعت، بازدهی و پایداری شیمیایی، حرارتی و الکترونیکی بالا، وجود اتم های غیر اشباع و روش تولید نسبتاً آسان، برای حذف و پیش تغلیظ آلاینده های دارویی و غذایی، استفاده می شوند. این نانو ذرات همچنین به منظور افزایش انتخاب پذیری، مساحت سطحی و ظرفیت جذب، با مواد دیگر اصلاح می شوند [۱۱]. به عنوان مثال از نانو ذرات TiO_2 و ZnO برای پیش تغلیظ کارمابازپین [۱۲] و از نانو ذرات ZrO_2 برای شناسایی آفت کش ها در روغن های خوراکی استفاده شده است و با استفاده از این نانو ذرات حداقل ۰/۱ میکرو گرم آفت کش در یک میلی لیتر آب قابل اندازه گیری است [۱۳].

۴- استخراج فاز جامد با استفاده از نانو ساختار های کربنی

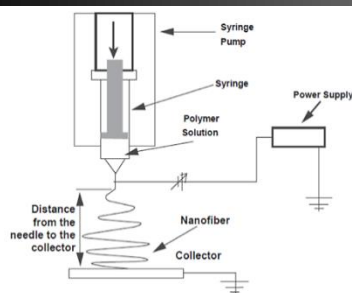
در میان نانو ساختار های کربنی موجود که به عنوان جاذب استخراج استفاده می شوند، فولرین ها، نانو لوله های کربنی و گرافن بیشتر مورد توجه هستند نانو ساختار های کربنی به اشکال مختلف به عنوان جاذب استخراج استفاده می شوند [۱۴]. فولرین ها اولین بار در سال ۱۹۸۶ تولید شدند و دو نوع اصلی آن C60 و C70 می باشد. از فولرین ها برای پیش تغلیظ نمونه های حاوی یون های فلزی استفاده شده است [۱۵]. به علت خواص منحصر- به فرد نانو لوله های کربنی مانند مساحت سطحی زیاد، ظرفیت جذب بالا، امکان اصلاح سطح آنها با گروه های عاملی به صورت کوالانسی و غیر کوالانسی و پایداری بالای فیزیکی و شیمیایی، به طور گسترده ای برای جداسازی و پیش تغلیظ داروها، یون های فلزی، آلاینده های آرایشی و بهداشتی مانند پارابن^۱ استفاده می شوند [۱۶]. نانو لوله های کربنی در مقایسه با کربن فعال و دیگر جاذب های کربنی تجاری ظرفیت جذب و انتخاب پذیری بالاتری دارند و برای پیش تغلیظ و جذب نمونه های آلوده در شرایط یکسان مقدار کمتری از نانو لوله های کربنی استفاده می شود [۱۷]. گرافن ها نوع جدیدی از نانو ساختارهای کربنی می باشند که اولین بار در سال ۲۰۰۴ معرفی شدند. این ترکیبات از یک لایه از اتم های کربن تشکیل شده اند و امکان جذب آلاینده بر هر دو سطح آن وجود دارد، در حالی که در نانولوله های کربنی و فولرین ها آلاینده ها تنها بر دیواره ی داخلی آنها جذب می شوند. پایداری حرارتی و مکانیکی، رسانایی حرارتی و مساحت سطحی (حدود ۲۶۳۰ متر مربع بر گرم)، بازدهی اقتصادی بالایی دارند و می توانند بعد از ۵۰ بار عملیات جذب و واجذب استفاده شوند [۲]. در ساخت نانولوله های کربنی از کاتالیست های فلزی استفاده می شود، بنابراین، نانولوله های کربنی شامل مقادیر زیادی از فلزات هستند، درحالی که گرافن ها از صفحات گرافیت بدون حضور کاتالیست های فلزی تولید می شوند، که امکان

دارند، بنابراین جاذب های نانوساختار که از سطح ویژه بالایی برخوردارند، عملکرد بهتری برای استخراج فاز جامد نشان می دهند. در سال های اخیر نانوفایبرهای پلیمری و نانوساختار های کربنی بسیار مورد توجه قرار گرفته اند [۱]. نانو مواد به علت خواص منحصر به فرد مانند مساحت سطحی زیاد، قابلیت عامل دار شدن آسان، بازدهی جذب بالا، امکان استفاده ی مجدد و سطح تطبیق پذیر با بسیاری از آلاینده ها به طور گسترده به عنوان جاذب به منظور حذف، جداسازی، پیش تغلیظ، خالص سازی نمونه های مختلف محیط زیستی استفاده می شوند. در این مقاله، عملکرد برخی از نانو جاذب ها که برای پیش تغلیظ داروها، آفت کش ها و رنگ ها از نمونه های غذایی، دارویی و آبی، استفاده می شوند را بررسی می نمایم.

۲- استخراج فاز جامد

استخراج فاز جامد یک روش آسان، سریع و انتخاب پذیر برای خالص سازی و آماده سازی نمونه ها قبل از اندازه گیری با اکثر روش های مرسوم شیمی تجزیه مانند کروماتوگرافی [۶]، اسپکتروسکوپی اتمی [۷] و... است. در روش استخراج فاز جامد به دلیل اندرکنش های فیزیکی یا شیمیایی بین آنالیت و جاذب، جذب سطحی انجام می پذیرد و آنالیت از فاز محلول که به آن فاز دهنده می گویند به وسیله ی ستون های جذب جدا می گردد. سپس جاذب به وسیله ی حلالی مناسب به منظور رفع آلودگی های احتمالی شسته شده و در مرحله بعد آنالیت جذب شده توسط مقدار کافی حلال واجذب مناسب، از سطح جاذب جدا می شود. در نهایت برای تعیین میزان آنالیت در این محلول گیرنده، که غلظت آنالیت در آن افزایش یافته است، از آشکارساز های مختلف می توان استفاده نمود [۸]. اولین بار در سال ۱۹۵۱ از بستر ی شامل ۱.۵ کیلوگرم کربن فعال برای حذف ترکیبات آلی استفاده شد [۹]. برای مقایسه ی بهتر میان روش های پیش تغلیظ و انتخاب بهترین جاذب، مجموعه ای از ارقام شایستگی مانند دامنه خطی، حد تشخیص، حد تعیین، انحراف استاندارد نسبی، فاکتور غنی سازی و درصد بازیابی تعریف شده است. در دانش استخراج فاز جامد، محققان به دنبال توسعه ی روش هایی برای پیش تغلیظ نمونه های آلوده بوده و هستند، به طوری که کمترین مقدار جاذب و حلال استفاده شوند [۱۰]. در پیش تغلیظ نمونه های آلوده همانطور که در مقدمه ذکر شد، نیاز است از جاذب هایی استفاده شود که مساحت سطحی زیاد داشته باشند تا در شرایط یکسان بتوانند مقدار بیشتری از آلاینده را بر سطح خود جذب کنند. با توجه به تکنولوژی نانو فناوری و گسترش آن در همه ی شاخه های دانش و ارئه موادی با مساحت سطحی زیاد و سطوح متخلخل، محققان از این مواد جدید به منظور پیش تغلیظ نمونه های آلوده، به صورت گسترده بهره می برند. در بخش های بعد به تشریح جاذب های جدید که می توانند برای پیش تغلیظ آنالیت مورد نظر در نمونه های آلوده استفاده شوند، پرداخته می شود.

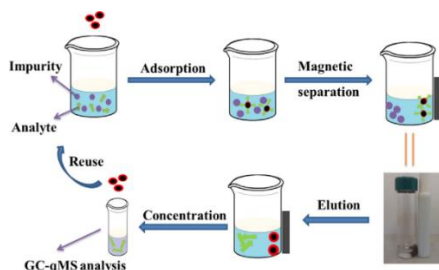
¹ Paraben



شکل ۱. اجزای اصلی دستگاه الکتروپرسی [۲۴].

۶- استخراج فاز جامد با استفاده از نانو ساختارهای مغناطیسی

جاذب های مورد استفاده در استخراج با فاز جامد در کارتریج ها، دیسک ها و صفحات چند دیواره قرار می گیرند. این تجهیزات بازدهی استخراج کم، افت فشار زیاد دارند، زمان بر هستند و برای فرآیند پیش تغلیظ مقدار جاذب زیادی لازم است، بنابراین، در سال های اخیر روش های دیگری برای استخراج با فاز جامد پیشنهاد شده است. در بین این روش ها، استخراج فاز جامد مغناطیسی که فاز جامد پراکنده پس از فرایند جذب یا واجذب توسط یک میدان مغناطیسی خارجی از فاز دهنده یا گیرنده جدا می شود، روش بسیار مناسب تری است. جاذب های مغناطیسی به محلول نمونه اضافه شده و آلاینده های مورد نظر بر سطح جاذب مغناطیسی جذب می شوند. آلاینده - جاذب مغناطیسی از محلول با استفاده از یک میدان مغناطیسی خارجی جدا شده و بعد از شستشو با حلال های مناسب، آلاینده بازیابی شده، آنالیز می شود (تصویر ۲) [۲۵]. از مزایای استخراج فاز جامد مغناطیسی می توان به انتقال جرم سریع، عدم نیاز به ستون های استخراج بر فاز جامد، عدم نیاز به سانتریفیوژ و تجهیزات پیچیده و گران قیمت، عدم نیاز به مراحل فیلتراسیون، جداسازی آسان و سریع آلاینده، اشاره نمود [۲]. به علت مزایای استفاده از استخراج بر فاز جامد مغناطیسی، محققان به دنبال روش هایی برای مغناطیسی نمودن نانوساختارهای مختلف که می توانند به عنوان فاز جاذب استفاده شوند، می باشند.



شکل ۲. تصویری از مراحل عملیاتی استخراج فاز جامد مغناطیسی [۲۵].

در میان نانو ساختارهایی که در بخش ۳ ذکر شد، نانو ذرات فریت مغناطیسی (Fe_3O_4) به شکل کلی MFe_2O_4 ($M^{2+}: Fe^{2+}, Co^{2+}, Cu^{2+}, \dots$) به طور گسترده برای اندازه گیری و حذف فلزات سنگین، ترکیبات دارویی، نمونه های بیولوژیکی، آنزیم ها و پروتئین

دستیابی به گرافن های خالص تر را ممکن می سازد [۱۶]. گرافن به طور گسترده برای پیش تغلیظ و شناسایی آفت کش ها و آلاینده های موجود در مواد غذایی و محصولات بهداشت فردی به کار می رود [۱۸]. مالاشیت سبز به عنوان داروی آنتی باکتریایی برای صنایع پرورش ماهی تجویز می گردد، زمان نیمه عمر آن در بافت ماهی ۶۷ ساعت و زمان نیمه عمر متابولیسم های آن بیش از این زمان است. به علت سمیت و خواص سرطان زایی این ماده در سال ۲۰۰۳ مصرف آن برای صنایع پرورش ماهی ممنوع شد. می توان برای اندازه گیری مقادیر کم مالاشیت سبز در بافت ماهی ها از گرافن به عنوان بستر جاذب استفاده نمود [۱۹]. یان و همکارانش، از ۳ میلی گرم گرافن برای اندازه گیری سولفونو آمید ها^۱ در شیر استفاده نمودند و با استفاده از این روش توانستند حداقل ۰/۰۰۴ میکرو گرم از سولفونو آمید ها را در ۱ گرم شیر اندازه گیری نمایند [۲۰].

۵- استخراج فاز جامد با استفاده از نانوفایبرهای پلیمری

فایبر ها به طور کلی رشته های باریکی هستند که نسبت طول به قطر بالایی دارند و از پلیمر های طبیعی و مصنوعی تولید می شوند. قطر فایبر ها معمولا بین ۵ تا ۵۰۰ میکرومتر است. همانطور که در بخش های قبل ذکر شد، تحقیقات به سمتی پیش می روند که پیش تغلیظ محلول های آلوده با کمترین مقدار جاذب و حلال حاصل شود. بنابراین، به طور گسترده از نانوفایبرهای پلیمری - به علت مساحت سطحی بالا به عنوان جاذب استفاده می شود، نانوفایبرها (با قطر های بین چند نانومتر تا چند میکرومتر) تخلخل و مساحت سطحی بسیار زیاد، اتم های غیر اشباع، استحکام و انعطاف پذیری بالایی دارند [۲۱]. در بین روش های موجود برای تولید نانوفایبرهای پلیمری، الکتروپرسی - به علت آسان بودن تکنولوژی، بازدهی اقتصادی بالا و کنترل مورفولوژی فایبر با استفاده از تغییر شرایط عملیاتی، محلولی و محیطی در زمان الکتروپرسی، بیشتر مورد توجه است. اولین بار در سال ۱۹۳۴، از تکنولوژی الکتروپرسی برای تولید فایبر ها استفاده گردید [۲۲]. در تصویر ۱ اجزای اصلی دستگاه الکتروپرسی ارائه شده است. ژانگ و همکارانش، از ۲/۵ میلی گرم نانوفایبر های نایلون ۶ با قطر میانگین بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر، برای پیش تغلیظ نوعی دارویی ضد سرطانی از نمونه های خون خرگوش به همراه تکنیک کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا استفاده نمودند، آنها با استفاده از این روش توانستند به حد تشخیص ۲ نانوگرم آلاینده در یک میلی لیتر خون دست یابند [۲۳].

¹ Yan

² Sulfonamide

³ Niping Zhang



سویی پیش می روند که از ستون های گران قیمت و پیچیده ی استخراج فاز جامد استفاده نشود. برای دست یابی به این منظور، از نانو ذرات مغناطیسی به طور گسترده می توان استفاده نمود. مشکل اصلی استفاده از نانو ذرات تجمع کردن و بازیابی سخت از محلول های آلوده می باشد، برای رفع این مشکل اغلب آنها را با محلول های پلیمری مخلوط و سپس الکترو رسی می کنند.

۸-منابع

- [1] Andrade-eiroa, A.; Leroy-cancellieri, V. Trends Anal. Chem 2015, 42, 1.
- [2] Zhang, B. T.; Zheng X. Anal. Chim. Acta 2013, 784, 1
- [3] Chigome, S.; Torto, N. Adv. Nanofibers, 2013.
- [4] Yamini, Y.; Tahmasebi, E. Trace Elem. Res 2012, 147, 378.
- [5] Patrolecco, L.; Ademollo, N. Microchem. J 2013, 107, 165.
- [6] Aboul-Enein, Y.; Gazi, Y. Univ. J 2011, 24, 679.
- [7] Shamsipur, M.; Fattahi, N. M. Talanta 2014, 130, 26.
- [8] K. Yamjal.; M. S. Nainar. Food Chem 2016, 192, 813.
- [9] Chigome, S.; Torto, N. Trends Anal. Chem 2012, 38, 21.
- [10] Plotka-Wasyłka, J.; Szczepanska, N. trends Anal. Chem 2016, 77, 23 .
- [11] Parham, H.; Rahbar, N. Biomed. Anal 2009, 50, 58.
- [12] Teixeira, S.; Gurke, R. Environ. Chem Eng 2016, 4, 287.
- [13] Tuzimski, T.; Rejczak, T. Food Chem 2016, 190, 71.
- [14] Shi, R.; Yan, L. J. Chromatogr 2015, 1375, 1.
- [15] Munoz, J.; Gallego, M. Chromatogr. A 2004, 1055, 185 .
- [16] Liu, Q.; Shi, J. J. Chromatogr 2011, 1218, 197.
- [17] Dahane, S.; Gil García, M. D. J. Chromatogr. A 2013, 1297, 17.
- [18] Guan, W.; Li, Z. J. Chromatogr. A 2013, 1286, 1.
- [19] Bergwerff, A. A.; Kuiper, R. V. Aquaculture 2004, 233, 55.
- [20] Yan, H.; Sun, N. Food Chem 2014, 158, 239.
- [21] Chen, L.; Liu, Z. Procedia Environ. Sci 2001, 8, 588.
- [22] Mirjalili, M.; Zohoori, S. J. Nanostructure Chem 2016, 1
- [23] Xu, Q.; Zhang, N. J. Chromatogr. B Anal 2010, 878, 2403
- [24] Neves, N. M.; Int. J. Nanomedicine 2007, 2, 433.
- [25] Qiao, Z.; Perestrelo, R. J. Chromatogr. A 2015, 1393, 18.
- [26] Davarpanah, M.; Ahmadvpour, A.; Bastami, T. R. J. Magn. Mater 2015, 375, 177 .
- [27] Bastami, T. R.; Entezari, M. H. Chem. Eng 2012, 210, 510 .
- [28] Bastami, T. R.; Entezari, M. H. Adv. Environ. Res 2015, 4, 69.
- [29] Han, Q.; Wang, Z. Talanta 2012, 101, 38.

ها استفاده می شوند [۲۶]. در این میان، نانو ذرات Fe_3O_4 به دلیل قابلیت جداسازی سریع و آسان به وسیله ی میدان مغناطیسی- خارجی (مغناطش بالا در حضور میدان مغناطیسی-) و ظرفیت جذب سطحی زیاد نسبت به سایر نانوذرات فریت مغناطیسی- بیشتر به کار می روند. به منظور بهبود خواص، افزایش پایداری در محیط های اسیدی، افزایش مساحت سطحی، کاهش اکسیداسیون و تجمع نانو ذرات Fe_3O_4 ، سطح این ذرات را با مواد آلی و غیر آلی مانند سیلیکا، پلیمرها، سیالات یونی، پروتئین ها و آنزیم ها اصلاح نموده اند، و از این نانو ذرات مغناطیسی- به طور گسترده برای حذف و یا استخراج فلزات سنگین مانند نقره و نیکل، آفت کش ها و آلاینده های رادیو اکتیو مانند اورانیل بهره می برند [۲۷]. به عنوان مثال، مینی و همکارانش برای حذف ویتامین ب ۱۲ از نانو ذرات Fe_3O_4 استفاده نمودند، به علت آنکه این آلاینده در محیط های قلیایی جذب بالایی نداشت، سطح نانو ذرات را با سدیم دو سیل سولفات اصلاح کردند. ، مینی با استفاده از پیش تغلیظ محلول ویتامین ب ۱۲، به حد تشخیص ۱ میکرو گرم ویتامین ب ۱۲ در یک لیتر محلول های دارویی دست یافت [۴]. یکی دیگر از نانوساختارهایی که با استفاده از نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده است، نانوساختارهای کربنی می باشد. نانو ساختارهای کربنی دو مشکل عمده دارند که عملکرد آنها را محدود می نماید: حلالیت کم در آب و بازیابی سخت آنها بعد از پراکنده شدن در نمونه مورد بررسی. اگر سطح نانوساختارهای کربنی به وسیله ی اتصال نانو ذرات مغناطیسی- اصلاح شود، این دو مشکل مرتفع می گردند [۲۸]. به علت آنکه قدرت پراکندگی گرافن در نمونه های آبی بسیار زیاد است، حتی با سانتریفوژ های سرعت بالا نمی توان آن را از نمونه های آبی جدا کرد. برای رفع این مشکل از گرافن مغناطیسی- می توان استفاده نمود. محققان از گرافن اکسید مغناطیسی- برای پیش تغلیظ و اندازه گیری هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک و دیگر آلاینده های موجود در محیط زیست استفاده نمودند [۲۹]. همانطور که ذکر شد، از نانو ذرات مغناطیسی به طور گسترده برای جداسازی، پیش تغلیظ و حذف آلاینده ها می توان استفاده نمود، اما امکان باقی ماندن و تجمع آنها در محلول ها وجود دارد و می توانند به عنوان آلاینده ی ثانویه عمل کنند. برای رفع این مشکل، جاذب های نانوساختار یا میکروساختار را بر پوشش های نانو فایبری قرار می دهند. از نانو فایبرهای پلیمری هم به صورت جداگانه و هم در ترکیب با نانوساختارها به طور گسترده در پیش تغلیظ نمونه های آلوده استفاده می شود [۳۰].

۷-نتیجه گیری

امروزه از روش استخراج فاز جامد برای پیش تغلیظ نمونه های آلوده، به منظور افزایش حساسیت اندازه گیری، استفاده می شود. محققان به دنبال روش های آسان، اقتصادی، زیست سازگار و دارای دقت بالا برای پیش تغلیظ نمونه ها می باشند. تحقیقات به