

فرآیندهای نوین در مهندسی مواد

ma.iaumajlesi.ac.ir

تهیه نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال و بررسی کارایی آن در جذب ویتامین B5 از محلول های آبی

مقاله پژوهشی

سیده غزاله هاشمی پور زواره^۱، فریبا تدین^{۲*}، روح الله کرمی اسبو^۳

۱- کارشناسی ارشد شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۲- دانشیار دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۳- استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، بخش تحقیقات بیماری های گیاهان، تهران، ایران.

* F_tadayon@iau-tnb.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۵	اسید پانتوتیک (B5) یکی از مهم ترین ویتامین ها برای زندگی انسان است که در بدن انسان نقش های متعددی از جمله ساخت سلول های خونی، فعالیت غدد فوق کلیه، مقابله با استرس و تولید انرژی را بر عهده دارد. از طرفی حضور این ویتامین برای رشد گیاهان و غذاسازی حائز اهمیت است، بنابراین جذب و اندازه گیری آن امروزه بیشتر از قبل مورد بررسی قرار می گیرد. امروزه استفاده از جاذب های مغناطیسی و به دنبال آن جداسازی مغناطیسی جهت جذب و جداسازی به دلیل سادگی، هزینه کم و سرعت بالا بسیار مورد توجه محققان است. مطالعه حاضر باهدف جذب و استخراج ویتامین B5 از محلول های آبی با استفاده از نانو کامپوزیت آهن / پوست پرتقال انجام گرفت. نانو ذرات سنتز شده به وسیله آنالیزهای SEM/EDX، FT-IR و XRD مشخصه یابی گردیدند. همچنین از مدل ایزوترمی لانگمویر و فروندلیچ و مدل های سینتیکی شبه درجه اول و شبه درجه دوم برای بیان نوع فرآیند استفاده گردید. متغیرهای مؤثر بر جذب از قبیل pH، مقدار دوز جاذب، زمان تماس و غلظت اولیه ویتامین B5 بررسی شدند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان جذب ویتامین B5 در غلظت ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر، میزان ۰/۱ گرم از جاذب، زمان تماس ۹۰ دقیقه و pH برابر ۶ است و روند جذب ویتامین B5 بر روی جاذب مغناطیسی از مدل لانگمویر (R ² = ۰/۹۸۹۹) تبعیت می نماید. سینتیک واکنش جذب با ضریب رگرسیون بالا (R ² = ۰/۹۹۹۹) توسط مدل شبه درجه اول تأیید شد.
کلید واژگان: ویتامین B5 نانو کامپوزیت مغناطیسی جذب سطحی پوست پرتقال	

Preparation of Magnetic Nano Composite Modified with Orange Peel for Adsorption of Vitamin B5 from Aqueous Solution

Seyed Ghazaleh Hashemipour Zavareh¹, Fariba Tadayon^{1*}, Rouhollah Karami-Osboo²

1- Department of Chemistry, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Plant Protection Research Institute, Tehran, Islamic Republic of Iran.

* F_tadayon@iau-tnb.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

DOR:

20.1001.1.24233226.1401.16.2.3.2

Keywords:

Vitamin B5

Magnetic Nano Composite

Adsorption

Orange Peel

Abstract

One of the most important vitamins for human life is pantothenic acid (B₅), because of its advantages such as production of blood cells, adrenal gland activity, stress management and energy production. The presence of this vitamin is important for plant growth and food production, because of its adsorption and determination were studied more than before. Magnetic Nano adsorbent has been attracted great attention in the field of separation due to the simplicity, low cost and high speed. In this paper, the magnetic Nano composite modified with orange peel for adsorption efficiency of vitamin B₅ from aqueous solution was synthesized. The Nano adsorbent structure was characterized using SEM-EDX, FTIR and XRD. The influence of adsorption parameters including pH, contact time, adsorbent dosage and initial concentration of B₅ onto Nano adsorbent were evaluated. The best sorption of B₅ via the Nano sorbent occurred at concentration of 300 mg L⁻¹, 0.1 g of Nano adsorbent, 90 min of contact time at an optimum pH of 6. The Langmuir isotherm model (R²= 0.9899) was found to be fit with the isotherms data. The best kinetic model fit for adsorption of B5 from Nano adsorbent was found with the pseudo-first-order model (R²=0.9999).

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Seyed Ghazaleh Hashemipour Zavareh, Fariba Tadayon, Rouhollah Karami-Osboo, Preparation of Magnetic Nano Composite Modified with Orange Peel for Adsorption of Vitamin B5 from Aqueous Solution, New Process in Material Engineering, 2022, 16(2), 27-37.

۱- مقدمه

ویتامین B₅ یا اسید پانتوتنیک یکی از ویتامین‌های گروه B و محلول در آب است و به مقدار کم در بدن انسان ذخیره می‌شود. این نوع ویتامین در بسیاری از مواد غذایی یافت می‌شود و وظایف مهمی را در بدن به عهده دارد. عمده‌ترین وظایف ویتامین B₅ در بدن انسان سنتز کلسترول و کاهش سطح تری‌گلیسرید، تشکیل هورمون‌های جنسی و هورمون‌های مرتبط با استرس (هورمون‌های غدد فوق کلیوی)، حفظ سلامت سیستم گوارش، تشکیل گلبول‌های قرمز، کمک به تجزیه کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها و تولید انرژی برای فعالیت‌های بدن است. همچنین می‌توان از جمله وظایف آن به موارد زیر اشاره نمود؛ تسریع در فرآیند درمان زخم‌های پوستی و سوختگی، کمک به تولید ویتامین D، منظم نمودن فعالیت قلب و کاهش خطر سکنه قلبی، کمک به رشد مو و جلوگیری از ریزش موها، درمان درد ناشی از رماتیسم مفصلی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی. ویتامین B₅ به‌عنوان ویتامینی محلول در آب، حضور گسترده‌ای در محلول‌های آبی از جمله آب آشامیدنی، سبزیجات، میوه‌جات، حبوبات، برنج و همچنین پساب‌های آبی کارخانجات دارویی و آرایشی بهداشتی دارد [۱-۲]. امروزه اندازه‌گیری، جذب و استخراج آن از انواع این آب‌ها مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است و برای بازگردانی این ویتامین تلاش می‌شود. اندازه‌گیری ویتامین B₅ در آب‌هایی که برای کشاورزی استفاده می‌شود می‌تواند راه‌های مناسب غنی‌سازی کشت را فراهم کند. همچنین جذب و استخراج آن از پساب‌های دارویی می‌تواند از هدر دادن آن جلوگیری کند [۳-۴].

نانو ذرات یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین انواع نانو مواد می‌باشد که ویژگی‌های منحصر به فردشان موجب کارایی‌های خاص آن‌ها نسبت به سایر نانو ساختارها می‌شود. این ذرات در شاخه‌های مختلف قابل کاربرد هستند. از نانو اکسید آهن که خاصیت مغناطیسی داشته باشند می‌توان از مگنتیت (Fe₃O₄) ماگمیت (Fe₂O₃γ) نام برد. اخیراً نانو ذرات مغناطیسی به سبب ارزان بودن، عدم سمیت،

مقاوم نبودن در برابر نفوذ داخلی، نسبت سطح به حجم بالا، کاربرد وسیعی در زمینه‌های زیست‌محیطی و پزشکی پیدا کرده است [۵-۹]. بیوجذب، جذب فیزیکی و شیمیایی توسط میکروارگانیسم‌های زنده (باکتری، قارچ، جلبک) و سایر مواد آلی (مانند سبوس برنج، پوست پرتقال، برگ و پوست درختان و ...) است. جذب زیستی، تکنولوژی نوینی است که بافت زیستی مرده و غیرفعال و یا زنده را برای حذف مواد از محلول آبی به کار می‌گیرد که در این تحقیق از پوست پرتقال به این منظور استفاده شد. پوست پرتقال غنی از پکتین و سایر پلی ساکاریدهاست، لذا وجود گروه‌های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل در آن مشخص می‌کند که پوست پرتقال می‌تواند به‌عنوان یک جاذب با پتانسیل بالا در فرایندهای جذب سطحی استفاده شود [۱۰-۱۱]. از این رو در این تحقیق از مگنتیت در جهت ساخت نانو کامپوزیت مغناطیسی اصلاح شده با پوست پرتقال استفاده شد تا از خاصیت مغناطیسی این ترکیب در جذب ویتامین B₅ استفاده شود.

کامپوزیت در مقیاس نانومتر را نانو کامپوزیت می‌نامند. نانو کامپوزیت‌ها از دو فاز ساختار بلوری با ابعاد نانو به‌عنوان ماتریس کامپوزیت و فاز دوم ذراتی در مقیاس نانو به‌عنوان تقویت‌کننده استحکام، مقاومت و هدایت الکتریکی تشکیل می‌شوند. نانو کامپوزیت‌ها بستری مناسب با نسبت سطح به حجمی بالا را فراهم می‌کنند تا آنالیت بیشتری را درون خود جای داده و سطح فعال واکنش را افزایش دهند. انواع نانو کامپوزیت‌ها امروزه سنتز می‌شوند که در استخراج، جذب و اندازه‌گیری مواد، کارایی بالاتری از خود نشان می‌دهند [۱۲-۱۴]. در این تحقیق تلاش شد به ساده‌ترین روش ممکن ویتامین را جذب و جداسازی کرد، لذا در ابتدا نانو مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال سنتز شد و پس از شناسایی آن با آنالیزهای آزمایشگاهی SEM/EDX, XRD, FTIR عملکرد این نانو کامپوزیت در حذف ویتامین B₅ از محلول‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه ایزوترم، سینتیک فرایند جذب و تأثیر

پارامترهای pH، غلظت اولیه، مقدار نانو جاذب و زمان تماس بررسی شد.

آزمایش‌ها pH محلول‌ها با استفاده از دستگاه pH متر مدل Hanna 211 اندازه‌گیری شد.

۲- مواد و روش انجام تحقیق

۲-۱- مواد

مطالعه حاضر یک مطالعه تجربی بوده که در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در این پژوهش از ویتامین B₅ (Pantothenic acid, ۲۱۹/۲۳g mol⁻¹) ساخت شرکت مرک، نمک نترات آهن (III) (۹۹٪)، سولفات آهن (II) هفت آبه (۹۹٪)، کلرید نیکل (II) پنج آبه (۹۹٪)، محلول آمونیاک (۲۵٪)، اتانل (۹۹٪)، اسید کلریدریک، استون و هیدروکسید سدیم، همگی از شرکت مرک استفاده شد. کلیه محلول‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر از آب دیونیزه با خلوص بالا تهیه شدند. محلول استاندارد ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر از ویتامین B₅، از طریق حل کردن مقدار معینی از ویتامین B₅ در آب بدون یون تهیه و با رقیق‌سازی پی‌درپی، محلول‌های استاندارد در دامنه موردنظر به‌طور روزانه تهیه گردیدند. غلظت‌های باقیمانده ویتامین B₅ به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتری در طول‌موج ۲۱۰ nm تعیین مقدار شدند.

۲-۲- ابزار شناسایی نانو ذرات

اندازه و مورفولوژی نانو ذرات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (SEM, SIGMA VP, ZEISS) مورد ارزیابی قرار گرفت. گروه‌های عاملی جاذب سنتز شده با استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه FT-IR با دستگاه Spectrum Two مدل PerkinElmer به روش استاندارد KBr در هوای خشک و در دمای محیط در گستره ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ cm⁻¹ مشخص شد. شناسایی فاز و ساختار کریستالی نانو ذرات به‌وسیله آنالیز پراش پرتو ایکس و با دستگاه (X-Ray diffractometer, X, Pert) مجهز به لامپ مس با تابش ویژه (K α : 1/5418 Å) تولید شده در ۴۰ Kv و ۳۰ mA انجام شد. جهت تعیین غلظت ویتامین B₅ اسپکتروفتومتر UV-Vis مدل SU-6100 ساخت شرکت Philler scientific مورد استفاده قرار گرفت. در همه‌ی

۲-۳- روش سنتز نانو جاذب مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال

در این پژوهش از ضایعات پوست پرتقال استفاده شد. این مواد ابتدا خرد شده و در دمای اتاق خشک و سپس برای به دست آوردن اندازه ذرات یکنواخت آسیاب و الک شدند. نانوکامپوزیت مغناطیسی طبق روش استفاده شده توسط گوپتا و نایاک^۱ در سال ۲۰۱۲ تهیه شد [۱۵]. جهت تهیه نانو ذرات مغناطیسی چند جزئی، ۸ گرم سولفات آهن (II) هفت آبه، ۳ گرم نترات آهن (III) و ۲ گرم کلرید نیکل به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت مخلوط گردید. ۱ گرم پودر پوست پرتقال در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به محلول نمک‌ها اضافه گردید. سپس درحالی‌که همزن با سرعت زیاد محلول فوق را به هم می‌زد، ۱۰ میلی‌لیتر محلول آمونیاک ۲۵ درصد قطره قطره به آن اضافه و pH محلول در محدوده‌ی ۱۰ تنظیم شد. رسوب حاصل پس از خشک شدن با قیف بوختر صاف گردید. رسوب چندین مرتبه با آب شستشو داده شد و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید.

۲-۴- اندازه‌گیری ویتامین B₅ به روش

اسپکتروفتومتری UV-Vis

ابتدا طول‌موج بیشینه جذب مربوط به ویتامین B₅ تعیین شده و سپس اندازه‌گیری‌های مربوط به ویتامین B₅ به روش اسپکتروفتومتری UV-Vis در آن طول‌موج انجام گرفت. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، محلول ویتامین B₅ دارای طول‌موج بیشینه در ۲۱۰ nm می‌باشد.

۲-۵- رسم منحنی کالیبراسیون

جهت رسم منحنی کالیبراسیون ابتدا محلول ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ویتامین B₅ آماده و سپس محلول‌هایی با غلظت ۳۵۰-۲۰ میلی‌گرم بر لیتر از محلول اولیه تهیه شدند. در ادامه مقدار مناسبی از هر محلول به سل جذبی یک سانتی‌متری

بر بازدهی جذب مورد بررسی قرار گرفت. کلیه آزمایش‌های جذب با سه بار تکرار انجام و میانگین مقادیر آن‌ها به صورت نتایج نهایی در محاسبات استفاده شد.

۲-۷- معادله‌های تعادل جذب

الف) مدل ایزوترم لانگمویر

این مدل نشان‌دهنده جذب تک لایه و یکنواخت جذب در تمام سطح جذب می‌باشد، که معادله خطی آن به صورت زیر است [۱۶]:

$$C_e/q_e = 1/K_L \cdot q_{\max} + C_e/q_{\max} \quad (۲)$$

در معادله (۲): C_e ، غلظت تعادلی ویتامین B₅ (mg L^{-1})، q_e مقدار ویتامین جذب شده در زمان تعادل (mg g^{-1})، K_L ثابت لانگمویر (L mg^{-1})، q_{\max} حداکثر ظرفیت جذب (mg g^{-1}) می‌باشد. پارامترهای q_{\max} و K_L به ترتیب از معکوس شیب خط و از تقسیم شیب به عرض از مبدأ در نمودار خطی C_e/q_e در مقابل C_e به دست می‌آید.

ب) مدل ایزوترم فروندلیچ

این مدل بر مبنای جذب چندلایه‌ای و ناهمگن ماده جذب‌شونده روی جذب بوده که معادله خطی آن به صورت زیر می‌باشد [۱۷]:

$$\ln q_e = 1/n \ln C_e + \ln k_f \quad (۳)$$

در این معادله نیز C_e و q_e همان پارامترهای ارائه شده در مدل لانگمویر و K_f و n ثابت‌های فروندلیچ هستند. "n" شاخص میزان مطلوبیت فرآیند جذب و K_f ظرفیت جذب جذب برحسب $(\text{mg/g (L/mg)}^{1/n})$ است. مقادیر پارامترهای n و K_f به ترتیب از طریق شیب و عرض از مبدأ نمودار خطی $\ln q_e$ در مقابل $\ln C_e$ تعیین می‌شوند.

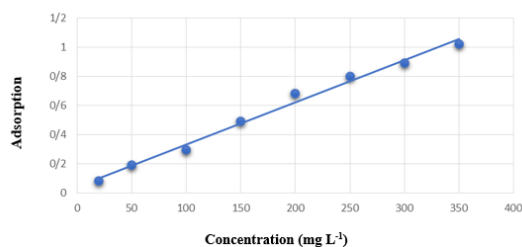
۲-۸- معادله‌های سینتیک جذب

به منظور مطالعه سینتیک جذب ویتامین B₅ بر روی نانو جذب مغناطیسی سنتز شده از معادله‌های سینتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم [۱۸-۱۹] استفاده شد. معادله

منتقل و در طول موج ۲۱۰ nm جذب محلول‌های مربوطه خوانده شدند. منحنی کالیبراسیون ویتامین B₅ در شکل (۱) ارائه شده است. برای محاسبه درصد و ظرفیت جذب در سیستم ناپیوسته به ترتیب از معادله‌های (۱) و (۲) استفاده گردید:

$$\% \text{ Sorption} = (C_0 - C_t) / C_0 \times 100 \quad (۱)$$

در این معادله‌ها C_0 و C_t به ترتیب غلظت اولیه و غلظت جذب نشده یا باقی مانده (mg L^{-1}) در لحظه t می‌باشند. Q ظرفیت جذب (mg g^{-1})، V و W نیز به ترتیب حجم محلول نمونه (L) و وزن جاذب (g) هستند.

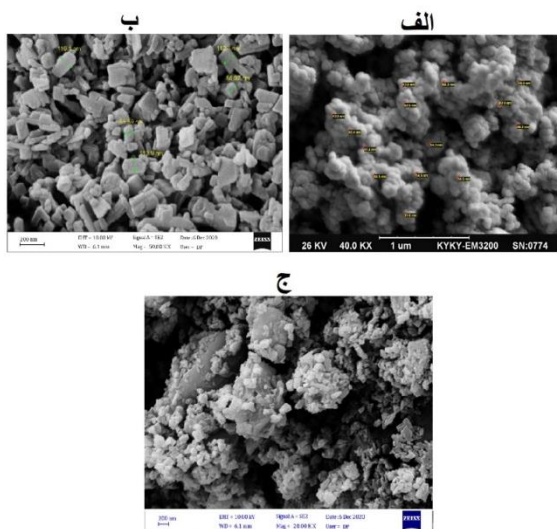


شکل (۱): منحنی کالیبراسیون ویتامین B₅ در طول موج ۲۱۰ nm

۲-۶- جذب در شرایط ناپیوسته

در آزمایش‌های مربوط به فرآیند جذب ویتامین B₅ ابتدا مقدار معینی از نانو جاذب به ارلن با حجم ۲۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ویتامین B₅ اضافه و برای مدت معینی توسط دستگاه شیکر با دور 300 rpm هم زده شد. پس از این مدت به کمک جداسازی مغناطیسی، جاذب از محلول جدا و غلظت‌های باقیمانده ویتامین B₅ موردسنجش قرار گرفت. لازم به ذکر است که در کلیه مراحل آزمایش از نمونه‌های با غلظت مشابه ویتامین B₅ اما بدون جاذب به عنوان نمونه‌های شاهد استفاده شد. به منظور بهینه‌سازی شرایط جذب و تعیین مقادیر بهینه فاکتورهای مؤثر بر فرآیند جذب، تأثیر هر یک از آن‌ها به صورت pH (۳-۸)، غلظت اولیه ویتامین (20-350) B₅ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار دوز جاذب (۰/۰۵-۰/۴ گرم) و زمان تماس (۱۸۰-۶۰ دقیقه) مورد مطالعه قرار گرفت. در هر مرحله از آزمایش‌ها با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامتر، تنها اثر یک متغیر

۸۵-۳۰ نانومتر دیده می شود که با ساختار چند جزئی آهن و نیکل، مطابقت دارند.



شکل (۲): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) برای الف) نانو ذرات مغناطیسی Fe_2O_4/Ni با بزرگ‌نمایی برابر 40.0 KX، ب) پوست پرتقال با بزرگ‌نمایی برابر 50.00 KX و ج) نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال با بزرگ‌نمایی برابر 20.00 KX.

۳-۲- الگوی پراش پرتوی ایکس (XRD)

روش پراش پرتو ایکس (XRD) از آن جهت که روش مستقیمی برای تعیین نوع فازها و ساختار بلورین مواد است، بسیار اهمیت دارد. الگوی پراش پرتو ایکس نانو ذرات مغناطیسی Fe_2O_4/Ni و نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال جهت تعیین ساختار آنها تهیه شد. با توجه به شکل (۳ الف)، طیف‌های مشخص شده در زاویه‌های 32° ، 38° ، 45° ، 60° و $65^\circ = 2\theta$ به ترتیب مربوط به صفحات بلوری (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۵۱۱) و (۴۴۰) مربوط به سنتز نانو ذرات مغناطیسی Fe_2O_4/Ni می‌باشند [۲۰]. نتایج حاصل از آنالیز XRD (شکل ۳ الف) نشان می‌دهد حداکثر پیک با توجه به استاندارد JCPDS Card No. 10 - 0325 مربوط به بلورهای مکعبی شکل ذرات Fe_2O_4 بوده است. در الگوی پراش پرتوی ایکس نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال که در شکل (۳ ب) آورده شده است، پیک جدیدی در مقایسه با الگوی XRD نانو ذرات مغناطیسی

خطی سینتیکی شبه درجه اول به صورت معادله (۴) بیان می‌شود:

$$\text{معادله (۴)} \quad \log(q_e - q_t) = \log q_e - k_1 t / 2.303$$

در معادله (۴)، q_e و q_t به ترتیب ظرفیت جذب ویتامین B_5 در زمان تعادل و زمان t ($mg \cdot g^{-1}$) و K_L ضریب سرعت (min^{-1}) می‌باشد. در معادله ۵ مقادیر q_e و K_L به ترتیب عرض از مبدأ و شیب نمودار خطی $\ln(q_e - q_t)$ در مقابل t می‌باشند. معادله خطی سینتیکی شبه درجه دوم نیز به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\text{معادله (۵)} \quad t/q_t = 1/K_2 q_e^2 + t/q_e$$

در معادله (۵)، K_2 ثابت واکنش شبه درجه دوم ($mg/g \cdot min$) می‌باشد که عرض از مبدأ نمودار خطی t/q_t در مقابل t می‌باشد.

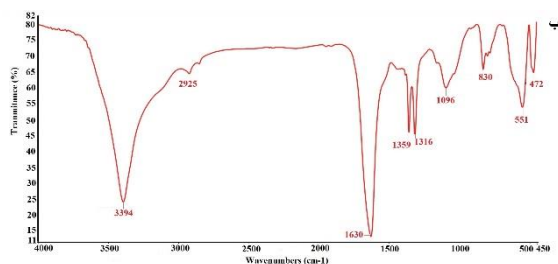
۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی ریخت‌شناسی سطح جاذب به کاررفته با استفاده از تصاویر میکروسکوپ

الکترونی روبشی (SEM)

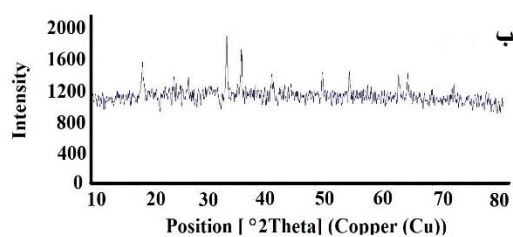
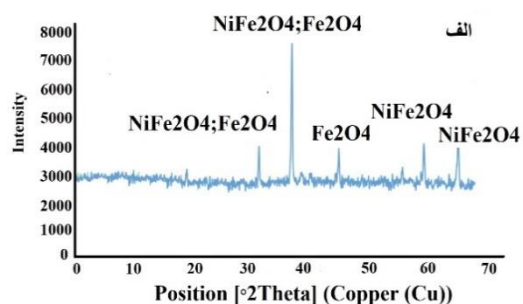
جهت بررسی ریخت‌شناسی، توزیع و اندازه نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال سنتز شده تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با بزرگ‌نمایی مختلف تهیه شد. همان‌طور که در شکل (۲ الف) مشاهده می‌شود نانو ذرات مغناطیسی Fe_2O_4/Ni کروی شکل بوده و ذرات آن دارای قطری معادل ۵۰ نانومتر می‌باشند. در شکل (۲ ب) ساختار متخلخل پوست پرتقال به خوبی نشان داده شده است که محل مناسبی برای قرارگیری ذرات آهن چند جزئی می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۲ ج) مشاهده می‌شود، نانو ذرات آهن، پوست پرتقال را احاطه کرده‌اند و روی آنها را پوشانده‌اند. در این اشکال به خوبی اندازه نانو ذرات آهن و نیکل، در محدوده‌ی

در عدد موج 1389 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی نامتقارن COO- است. پیک قوی مربوط به ارتعاش کششی Fe-O و تشکیل نانو ذرات اکسید آهن در محدوده cm^{-1} ۵۵۱ و در 1090 cm^{-1} پیک مربوط به گروه عامل C-O مشاهده می‌گردد. همچنین پیک 1630 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی C=C و اعداد موج بین 593 cm^{-1} تا 1000 نشان‌دهنده فلزات آهن و نیکل است.



شکل (۴): طیف FTIR برای (الف) نانوذره مغناطیسی $\text{Fe}_2\text{O}_4/\text{Ni}$ و (ب) نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال

$\text{Fe}_2\text{O}_4/\text{Ni}$ وجود ندارد. همچنین پیک خاصی مربوط به سایر فازهای اکسید آهن یا ناخالصی در الگوی XRD نانو ذرات آهن اکسید مشاهده نمی‌شود که نشان‌دهنده خلوص بالای این مواد است.



شکل (۳): الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) برای (الف) نانو ذرات مغناطیسی $\text{Fe}_2\text{O}_4/\text{Ni}$ و (ب) نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال

۳-۴- بررسی عوامل مؤثر در فرآیند جذب ویتامین B5 توسط نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال در سیستم ناپیوسته

۳-۴-۱- اثر غلظت اولیه

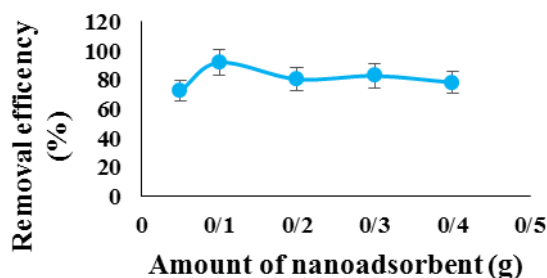
اثر تغییرات غلظت اولیه ویتامین B5 بر کارایی حذف آن در $\text{pH}=6$ و مقدار گرم $0/1$ گرم نانو جاذب در مدت زمان ۹۰ دقیقه در محدوده 20 mg L^{-1} تا 350 mg L^{-1} در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه ویتامین B5 کارایی حذف آن افزایش می‌یابد. بر اساس شکل (۵) مشخص گردید که با افزایش غلظت ویتامین B5 از 20 mg L^{-1} به 300 بعد از گذشت ۹۰ دقیقه کارایی حذف آن از ۶۷ به ۹۳ درصد افزایش یافته است. نتایج نشان

۳-۳- تحلیل طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)

شکل (۴ الف) طیف FTIR نانوذره مغناطیسی $\text{Fe}_2\text{O}_4/\text{Ni}$ را در محدوده $400\text{--}4000 \text{ cm}^{-1}$ نشان می‌دهد. در این تصویر باندهای 3430 و 1626 cm^{-1} به ترتیب به مدهای ارتعاشی کششی و خمشی H-O-H آب جذب سطحی شده روی نمونه اختصاص دارند. همچنین جذب‌های کششی پیوند Fe-O در ناحیه 560 cm^{-1} ظاهر شده است. پیک 1080 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی C=O می‌باشد. شکل (۴ ب) طیف FTIR نانو کامپوزیت مغناطیسی اصلاح شده با پوست پرتقال را نشان می‌دهد. پیک‌های مشاهده شده در عدد موج‌های 1631 و 3422 cm^{-1} مربوط به گروه عاملی OH و ارتعاشات کششی C=C می‌باشد. پیک دیگر

۳-۴-۳- اثر میزان جاذب

تأثیر مقدار جاذب در غلظت 300 mg L^{-1} ، $\text{pH}=6$ و زمان تماس ۹۰ دقیقه از محدوده ۰/۰۵ الی ۰/۴ گرم بررسی شد. نتایج به دست آمده در شکل (۷) نشان می‌دهند با افزایش گرم جاذب از ۰/۰۵ به ۰/۱ گرم درصد حذف ویتامین B₅ افزایش می‌یابد. همچنین در مقادیر بالای دوز نانو جاذب حالت انباشتگی پیش آمده و ذرات کوچک‌تر جاذب به هم چسبیده و به ذرات بزرگ‌تر تبدیل می‌شوند و در نتیجه، سطح مؤثر و تعداد سایت‌های فعال جذبی کاهش یافته و سبب می‌شود درصد بازده حذف ویتامین در مقادیر بالای جاذب نیز کاهش یابد. در ادامه مقادیر کمتر نانو جاذب نیز مورد بررسی قرار گرفت و داده‌ها حاکی از آن بود که مقادیر کم نانو جاذب منجر به کاهش سایت‌های فعال جذبی خواهند شد. بدین جهت در بررسی‌ها مقدار بهینه‌ی میزان نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال برای رسیدن به بالاترین میزان حذف ویتامین B₅ برابر با ۰/۱ گرم اعلام گردید.

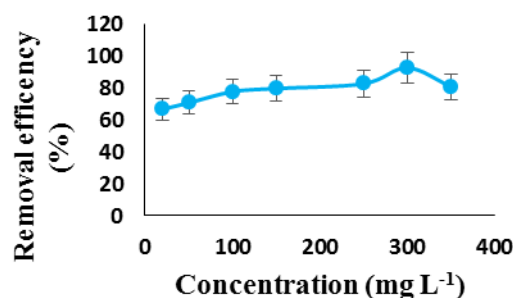


شکل (۷): تأثیر میزان جاذب بر جذب ویتامین B₅ توسط نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال بر حسب درصد حذف

۳-۴-۴- اثر زمان تماس

اثر زمان تماس بر جذب ویتامین B₅ توسط نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال در $\text{pH}=6$ ، در غلظت 300 mg L^{-1} در محدوده زمان تماس از ۶۰ الی ۱۸۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، در آزمایش‌های اولیه منحنی شیب تندی داشته و ظرفیت جذب ویتامین B₅ به سرعت افزایش یافته است. این حالت می‌تواند به دلیل وجود

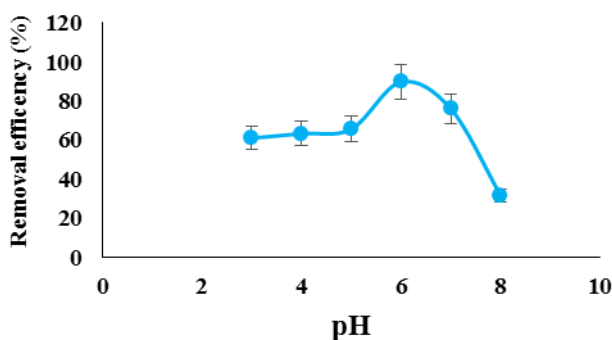
دادند که مقدار بهینه برای غلظت اولیه ویتامین B₅ برابر با 300 mg L^{-1} می‌باشد.



شکل (۵): تأثیر غلظت بر جذب ویتامین B₅ توسط نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال بر حسب درصد حذف

۳-۴-۲- اثر pH

یکی از عامل‌های مهم در فرایند جذب، pH اولیه محلول است. این عامل نقشی اساسی و مهمی در تعیین جایگاه‌های پیوندی موجود بر سطح جاذب دارد. به منظور مطالعه تأثیر این عامل بر فرآیند جذب محدوده pH 3 الی 8 بر روی ۰/۱ گرم مقدار جاذب و زمان تماس ۹۰ دقیقه با غلظت 300 mg L^{-1} از ویتامین B₅ مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج به دست آمده از اثر تغییر pH بر راندمان حذف ویتامین B₅ در شکل (۶) نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که کارایی حذف ویتامین B₅ از $\text{pH}=3$ تا $\text{pH}=6$ افزایش سپس کاهش می‌یابد. نتایج نشان دادند که مقدار بهینه برای $\text{pH}=6$ با راندمان ۸۹/۷۷٪ می‌باشد.



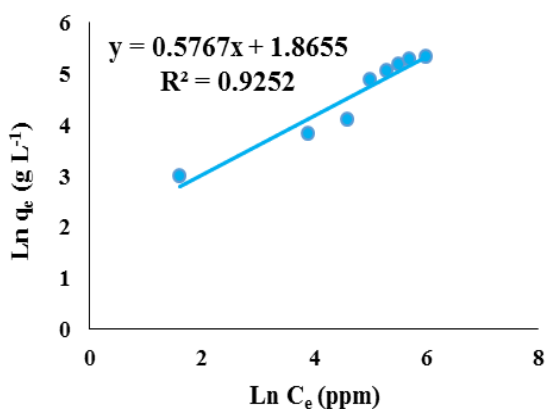
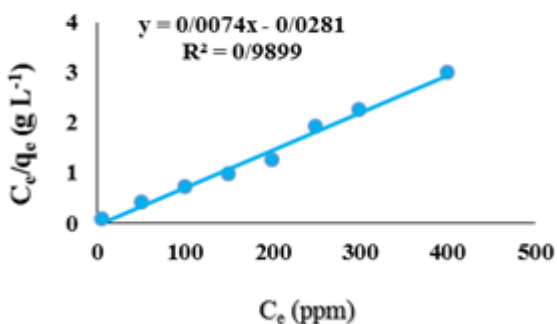
شکل (۶): تأثیر pH بر جذب ویتامین B₅ توسط نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال بر حسب درصد حذف

جدول (۱): مقادیر پارامترهای مدل‌های ایزوترم تعادلی فرایند جذب ویتامین B5 توسط نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال

فروندلیچ			لانگمویر		
$K_F(\text{mg/g(L/mg)}^{1/n})$	n	R^2	$Q_{\text{max}}(\text{mg g}^{-1})$	$K_1(\text{L mg}^{-1})$	R^2
۰/۱۶	۱/۵۴	۰/۹۲	۱۰/۷۴	۰/۱۵	۰/۹۸

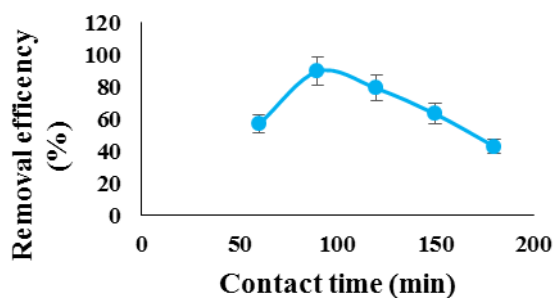
جدول (۲): مقادیر پارامترهای مدل‌های سینتیک فرایند جذب ویتامین B5 توسط نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال

شبه درجه دوم		شبه درجه اول	
$K_2(\text{g mg}^{-1}(\text{min}^{-1}))$	R^2	$K_1(\text{min}^{-1})$	R^2
۰/۰۵	۰/۹۷۹۳	۰/۰۴	۰/۹۹۹



شکل (۹): الف) ایزوترم خطی لانگمویر و ب) فروندلیچ برای جذب ویتامین B5 توسط نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال (غلظت اولیه $20-350 \text{ mg L}^{-1}$ ، مقدار جاذب $0/1$ گرم، زمان تماس 90 دقیقه و $\text{pH}=6$)

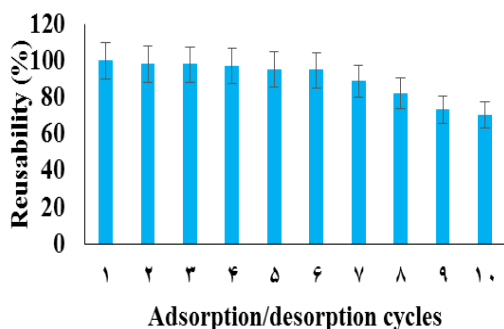
مکان‌های فعال زیاد در سطوح خارجی باشد. اما در ادامه، با افزایش زمان شیب به تدریج کند شده و در نهایت مقدار جذب بعد از زمان 90 دقیقه به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. مقدار بهینه برای تماس جاذب به مدت 90 دقیقه می‌باشد.



شکل (۸): تأثیر زمان تماس بر جذب ویتامین B5 توسط نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال بر حسب درصد حذف

۳-۵- بررسی ایزوترم و سینتیک فرایند جذب

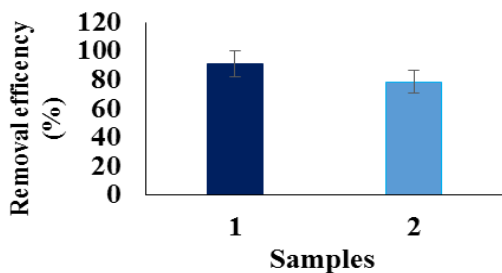
مقادیر محاسبه شده پارامترهای حاصل از ایزوترم‌های تعادلی فرایند جذب ویتامین B5 بر روی نانو جاذب مغناطیسی سنتز شده در جدول (۱) ارائه شده است. بر مبنای ضریب رگرسیون (R^2) به دست آمده، به طور واضح آشکار است که فرایند جذب ویتامین B5 توسط نانو جاذب مغناطیسی سنتز شده با همبستگی بسیار خوبی از مدل ایزوترم تعادلی لانگمویر پیروی می‌کند. در شکل (۹) الف و ب) نیز منحنی‌های خطی ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ ارائه شده است. مقادیر محاسبه شده پارامترهای سینتیک شبه درجه اول و دوم برای فرایند جذب ویتامین B5 بر روی نانو جاذب مغناطیسی سنتز شده در جدول (۲) ارائه شده است. با مقایسه مقادیر تعیین شده ضریب همبستگی (R^2) دو مدل، می‌توان نتیجه گرفت که فرایند فوق از مدل سینتیک شبه درجه اول پیروی می‌کند. شکل (۱۰) الف و ب) نیز منحنی‌های خطی مربوط به دو مدل سینتیک شبه درجه اول و دوم را برای فرایند جذب مطالعه شده، نشان می‌دهد.



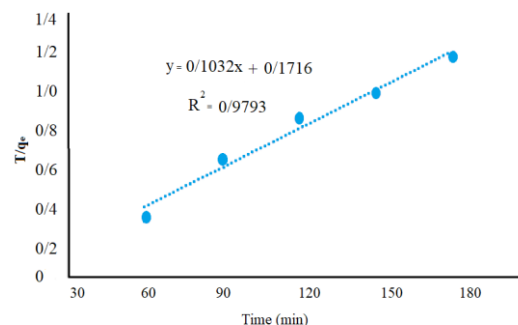
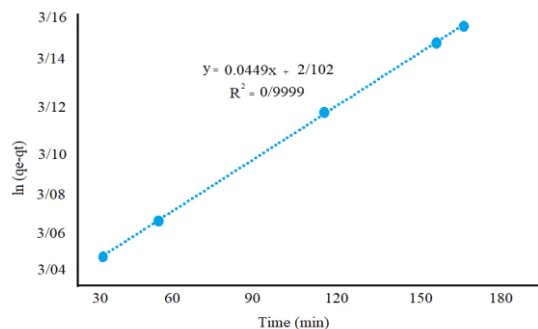
شکل (۱۱): قابلیت استفاده مجدد از نانوکامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال پس از ۱۰ مرتبه جذب /واجذب.

۳-۷- آنالیز نمونه حقیقی

به منظور بررسی کارایی نانو جاذب تهیه شده در جذب ویتامین B₅، از روش آلوده سازی (آب آشامیدنی و پساب کارخانه دارویی) استفاده شد. نمونه‌های تهیه شده ابتدا بدون افزودن ویتامین B₅ مورد آنالیز قرار گرفتند تا مقادیر ویتامین B₅ موجود در آن‌ها مشخص گردد. سپس به هر نمونه مقدار مشخصی ویتامین B₅ به صورت دستی اضافه و حذف در شرایط بهینه توسط نانوکامپوزیت مغناطیسی چندجزئی اصلاح شده با پوست پرتقال صورت گرفت. شکل (۱۲) کارایی حذف ویتامین B₅ توسط جاذب مورد مطالعه را نشان می‌دهد. درصد حذف ویتامین B₅ از آب آشامیدنی ۹۱/۳٪ و در پساب دارویی ۷۸/۸٪ است.



شکل (۱۲): آزمایش حذف ویتامین B₅ از نمونه‌های آب آشامیدنی (۱) و پساب دارویی (۲) توسط نانوکامپوزیت مغناطیسی چند جزئی شده با پوست پرتقال. شرایط آزمایش: غلظت ۳۰۰ mg L⁻¹، pH=۶، مقدار جاذب ۰/۱ گرم و زمان تماس ۹۰ دقیقه



شکل (۱۰): منحنی مدل‌های سینتیک (الف) شبه درجه اول و (ب) شبه درجه دوم برای فرایند جذب ویتامین B₅ توسط نانوکامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال (غلظت اولیه mg L⁻¹ ۳۰۰، مقدار جاذب ۰/۱ گرم، زمان تماس ۹۰-۶۰ دقیقه و pH=۶)

۳-۶- بررسی قابلیت استفاده مجدد از نانو جاذب

قابلیت استفاده مجدد از جاذب پارامتر مهم و تأثیرگذاری برای طراحی فرآیندهای جذب ارزان و مقرون به صرفه است. باهدف تأیید قابلیت استفاده مجدد نانو جاذب تهیه شده در این پژوهش، ۱۰ مرتبه آزمایش‌های جذب /واجذب به طور متوالی انجام گرفتند و نتایج حاصل در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. می‌توان مشاهده کرد که تغییرات قابل ملاحظه‌ای در ظرفیت جذب سطحی نانو جاذب پس از ۱۰ مرتبه جذب /واجذب متوالی رخ نداده است. این امر نشان می‌دهد که نانو جاذب از پایداری مکانیکی خوبی برخوردار است و می‌توان از آن چندین مرتبه بدون افت قابل توجه عملکرد و پایداری در جذب سطحی ویتامین B₅ استفاده کرد.

یا غنی‌سازی کودهای کشاورزی استفاده نمود. کاربرد آسان، پایداری مکانیکی و شیمیایی ایمن و سازگار بودن با محیط‌زیست، ارزانی و بازیابی مجدد نانو جاذب، آن را مناسب در جهت استفاده در صنایع مختلف می‌نماید.

۵- تشکر و قدردانی

مولفین مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال به‌منظور مساعدت در انجام پژوهش حاضر قدردانی می‌نمایند.

۶- منابع

[1] R. Mittermayr, A. Kalman, M. J. Trisconi & O. Heudi, "Determination of Vitamin B5 in a range of fortified food products by reversed-phase liquid chromatography-mass spectrometry with electrospray ionization", *Journal of Chromatography A*, vol. 1032, pp. 1-6, (2004).

[2] T. J. Hudson & R. J. Allen, "Determination of pantothenic acid in multivitamin pharmaceutical preparations by reverse-phase high-performance liquid chromatography", *Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 73, pp. 113-115, 1984.

[3] D. Wirkus, A. Jakubus, R. Owczuk, P. Tepnowski & M. Paszkiewicz, "Development and application of novelty pretreatment method for the concurrent quantitation of eleven water-soluble B vitamins in ultrafiltrates after renal replacement therapy", *Journal of Chromatography B*, vol. 1403, pp. 228-234, 2017.

[4] T. S. Hudson, S. Subramanian & R. J. Allen, "Determination of pantothenic acid, biotin, and vitamin B12 in nutritional products", *Association of Official Analytical Chemists*, vol. 67, pp. 994-998, 1984.

[5] M. Faraji, Y. Yamini & M. Rezaee, "Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Functionalization, Characterization, and Applications", *Iranian Chemical Society Journal*, vol. 1, pp. 1-37, 2010.

[۶] م. محمدعلیزاده هنجی، ا. قاسمی و ا. منشی، "تأثیر دمای سنتز بر ویژگی‌های نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن در روش هم‌رسوبی"، فصلنامه فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۶، شماره ۳، صفحه ۸۹-۷۷، ۱۳۹۱.

۳-۸- مقایسه نانو جاذب سنتز شده با سایر نانو جاذب‌ها

به‌منظور ارزیابی تأثیر نانو جاذب‌های مختلف بر جذب گروه‌های ویتامین B از محلول‌های آبی با استفاده از نانو جاذب‌های مختلف، نتایج این مطالعه با سایر داده‌های گزارش شده مقایسه شده است [۲۱-۲۳]. این مقایسه نشان می‌دهد که نانو کامپوزیت مغناطیسی سنتز شده به دلیل سطح ویژه بسیار بالا و نفوذپذیری زیاد، باعث جذب سریع ویتامین‌ها می‌شود. در نتیجه می‌توانند به‌عنوان جاذب مواد آلی و غیر آلی مورد استفاده قرار بگیرند. همچنین از پوست پرتقال به‌منظور ارتقای راندمان در جذب استفاده شده است.

جدول (۳): مقایسه نانو جاذب سنتز شده با سایر نانو جاذب‌ها بر جذب

گروه‌های ویتامین B				
مرجع	درصد حذف	ویتامین	مقدار گرم نانو جاذب	نانو جاذب
[۲۱]	۶۲	B ₁₂	۰/۱	Nano-composite polymer
[۲۲]	۶۸/۹	B ₁₂	۰/۱	CMK-1-PMMA
[۲۳]	۳۵	B ₁₂	۰/۱	MCM-48
نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی اصلاح شده با پوست پرتقال				
مطالعه حاضر	۹۱-۳ / ۷۸/۸	B ₅	۰/۱	

۴- نتیجه گیری

در این مقاله نانو کامپوزیت مغناطیسی چند جزئی / پوست پرتقال سنتز و عملکرد آن در حذف ویتامین B₅ از محیط آبی مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. آنالیزهای XRD، SEM/EDX و FTIR در شناسایی و مطالعه ساختار نانو کامپوزیت استفاده شد. اندازه نانو ذرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. همچنین متغیرهای pH، مقدار دوز نانو جاذب، غلظت اولیه و زمان تماس بهینه گردیدند. نانو کامپوزیت سنتز شده در شرایط بهینه شده دارای درصد بازیابی بالایی در اندازه‌گیری ویتامین B₅ دارد. بدین ترتیب از جاذب مورد نظر می‌توان در استخراج و جذب ویتامین B₅ از پساب‌های کارخانه‌های دارویی و مواد غذایی استفاده نمود و علاوه بر عدم آلودگی محیط‌زیست، به علت جذب اختصاصی این ویتامین از آن در چرخه مجدد تولید و

- [16] I. Langmuir, "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 40, pp. 1361-1403, 1918.
- [17] H. M. F. Freundlich, "Over the Adsorption in Solution", *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 57, pp. 385-471, 1906.
- [18] A. B. Albadarin, M. Charara, B. M. A. Tarboush, M. N. M. Ahmad, T. A. Kurniawan & N. Mu, "Mechanism analysis of tartrazine biosorption onto masau stone, a low cost byproduct from semi-arid regions". *Journal of Molecular Liquids*, vol. 242, pp. 478-483, 2017.
- [19] V. K. Gupta, S. Agarwal, A. K. Bharti, H. Sadegh, "Adsorption mechanism of functionalized multi-walled carbon nanotubes for advanced Cu (II) removal", *Journal of Molecular Liquids*, vol. 230, pp. 667-673, 2017.
- [20] T. Manohra Naidu & P. V. Lakshmi Narayana, "Synthesis and Characterization of Fe-TiO₂ and NiFe₂O₄ Nanoparticles and Its Thermal Properties", *Journal of Nanoscience and Technology*, vol. 5, pp. 769-772, 2019.
- [21] H. M. Awwad, A. M. Aljeboree, M. N. Al-Baiati & A. F. Alkaim, "Synthesis and Characterization of Nano-composite copolymer: Adsorption and Removal Studies of vitamin B₁₂ from Aqueous Solutions", 2021, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 790 012057
- [22] Z. Guo, G. Zhu, B. Gao, D. Zhang, G. Tian, Y. Chen, W. Zhang & S. Qiu, "Adsorption of vitamin B₁₂ on ordered mesoporous carbons coated with PMMA", *Carbon*, vol. 43, pp. 2344-2351, 2005.
- [23] C. Liu, S. Wang, Z. Rong, X. Wang, G. Gu & W. Sun, "Synthesis of structurally stable MCM-48 using mixed surfactants as co-template and adsorption of vitamin B₁₂ on the mesoporous MCM-48", *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 356, pp. 1246-1251, 2010.
- [7] S. Xue, Y. Xiao, G. Wang, J. Fan, K. Wan, Q. He, M. Gao & Z. Miao, "Adsorption of heavy metals in water by modifying Fe₃O₄ nanoparticles with oxidized humic acid", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 5, pp. 126333, 2021.
- [8] ش. طهماسبی، ر. ابراهیمی کهریزسنگی، ع. قاسمی و ا. قاسمی، "ارزیابی اثر جانثانی کاتیون روی بر جذب مایکروویو، خواص ساختاری و مغناطیسی فریت نیکل سنتز شده به روش سل-ژل"، فصلنامه فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۱۴، شماره ۳، صفحه ۵۰-۴۱، ۱۳۹۹.
- [9] E. Sadati Behbahani, K. Dashtian & M. Ghaedi, "Fe₃O₄-FeMoS₄: Promise magnetite LDH-based adsorbent for simultaneous removal of Pb (II), Cd (II), and Cu (II) heavy metal ions", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 410, pp. 124560, 2021.
- [10] S. Bano, S. Nazir, A. Nazir, S. Munir, T. Mahmood, M. Afzal, F. L. Ansari & K. Mazhar, "Microwave-assisted green synthesis of superparamagnetic nanoparticles using fruit peel extracts: surface engineering, T₂ relaxometry, and photodynamic treatment potential", *International Journal of Nanomedicine*, vol. 11, pp. 3833-3848, 2016.
- [11] Y. Yao, C. Xu, J. Qin, F. Wei, M. Rao & S. Wang, "Synthesis of Magnetic Cobalt Nanoparticles Anchored on Graphene Nanosheets and Catalytic Decomposition of Orange II", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 52, pp. 17341-17350, 2013.
- [12] K. Pielichowski & K. Pielichowska, "Chapter 11-Polymer Nanocomposites", *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 6, pp. 431-485, 2018.
- [13] S. Hooshmand Zaferani, "1 - Introduction of polymer-based nanocomposites", *Polymer-based Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*, pp. 1-15, 2018.
- [14] M. Ahmadzadeh Tofighy & T. Mohammadi, "5-Carbon nanotubes-polymer nanocomposite membranes for pervaporation", *Polymer Nanocomposite Membranes for Pervaporation*, pp. 105-133, 2020.
- [15] V. K. Gupta & A. Nayak, "Cadmium removal and recovery from aqueous solutions by novel adsorbents prepared from orange peel and Fe₂O₃ nanoparticles", *Chemical Engineering Journal*, vol. 180, pp. 81-90, 2012.

۷- پی نوشت

[1] Gupta & Nayak