

Investigation of the Ability of Synthesized Layered Double Hydroxide Ni/Al to Remove Tartrazine Dye

Ali Ahmadi Iranshahi, Ghazaleh Kouchakzadeh*

1- Department of Chemistry, Islamic Azad University, Khorramabad branch, P.O.Box: 536/68135, Khorramabad, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 02-03-2022

Accepted: 23-07-2022

Available online: 06-03-2023

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.4.6.4

Keywords:

Dye removal

Layered double hydroxide Ni/Al

Tartrazine dye

Pseudo-first-order kinetics

ABSTRACT

In this research, the first layered double hydroxide Ni/Al was synthesized by co-precipitation method, and then it was used to remove tartrazine dye from an aqueous solution. The synthesized adsorbent was characterized by X-ray diffraction and a scanning electron microscope. Initial concentration, contact time, pH, the dose of adsorbent and temperature were optimized in this adsorption process. The dye removal percentage and maximum adsorption capacity were 98 % and 3333.33 mg.g⁻¹, respectively. The results showed that the adsorption kinetics follow pseudo-first-order model. According to thermodynamic results, the process of dye removal by synthesized adsorbent is exothermic, spontaneous, and accompanied by decreasing irregularity. This research showed that layered double hydroxide Ni-Al could be an efficient adsorbent for tartrazine removal from an aqueous solution.

*Corresponding author: Gh.Kouchakzadeh@iau.ac.ir
gh_kouchakzadeh@yahoo.com





بررسی توانایی هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al سنتز شده در حذف تارترازین

علی احمدی ابرانشاهی^۱، غزاله کوچک‌زاده^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران، صندوق پستی: ۵۳۶/۶۸۱۳۵

۲- استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران، صندوق پستی: ۵۳۶/۶۸۱۳۵

چکیده

در این پژوهش نخست هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al به روش هم‌رسوبی سنتز شده و سپس به عنوان جاذب برای حذف رنگ تارترازین از محلول آبی استفاده شده است. مشخصه‌یابی جاذب سنتزی توسط پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام شد. در مطالعه فرآیند جذب سطحی بهینه‌سازی غلظت اولیه رنگ، زمان تماس، pH مقدار جاذب و دما انجام گرفت. مقدار درصد حذف رنگ در شرایط بهینه ۹۸ درصد و بیشینه ظرفیت جذب برابر 333.33 mg.g^{-1} بود. بررسی‌های سینتیکی جذب سطحی بیانگر همخوانی این فرآیند از سینتیک شبه مرتبه اول می‌باشد. مطالعات ترمودینامیکی این پژوهش نشان داد فرآیند حذف رنگ توسط جاذب سنتزی، گرماده و خودبه‌خودی بوده که همراه با کاهش بی‌نظمی است. داده‌های به‌دست آمده گویای این است که هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al می‌تواند جاذب کارآمدی برای حذف تارترازین از محلول آبی باشد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.4.6.4

واژه‌های کلیدی:

حذف رنگ

هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al

رنگ تارترازین

سینتیک شبه مرتبه اول

*Corresponding author: Gh.Kouchakzadeh@iau.ac.ir

gh_kouchakzadeh@yahoo.com



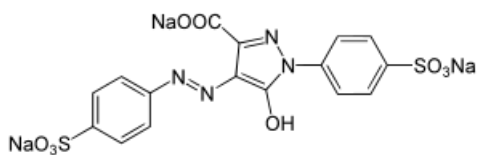
۱- مقدمه

یونی و جاذب جذب می‌کند [۳۴]. پژوهش‌های انجام شده نشان‌دهنده توانایی بالای هیدروکسیدهای دوگانه لایه‌ای برای جذب و حذف تارترازین از محلول آبی می‌باشند. کامپوزیت هیدروکسید دوگانه لایه‌ای منیزیم/ آلومینیم- دیاتومه قادر است در کمتر از ۳۰ دقیقه ظرفیت جذب تارترازین را به 555.6 mg.g^{-1} برساند [۳۵]. همچنین ظرفیت جذب هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Zn²⁺Al/Cl ظرف مدت ۶۰ دقیقه برای حذف رنگ تارترازین از محلول آبی به مقدار 282.48 mg.g^{-1} گزارش شد [۸]. از نانو کامپوزیت ZnAl-LDH/PVA نیز جهت حذف رنگ تارترازین استفاده شد که نتایج آن به خوبی از ایزوترم فروندلیش و سینتیک شبه درجه اول پیروی کرد [۳۸]. در پژوهش حاضر نخست نانو ماده هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al به روش هم‌رسوبی سنتز شد و در ادامه حذف رنگ تارترازین، که ساختار آن در شکل ۱ آمده است، در مجاورت این جاذب صورت گرفت. جاذب هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al توانایی بالایی برای جذب سطحی رنگ از محیط آبی دارد که در این پژوهش برای نخستین بار از این جاذب برای حذف رنگ تارترازین استفاده شده است. در این کار اثر pH، غلظت‌های متفاوت محلول رنگ، مقدار جاذب، اثر زمان تماس و دما به منظور بهینه کردن فرآیند حذف رنگ تارترازین مورد ارزیابی قرار گرفت. از طرفی مطابقت داده‌های حاصل از آزمایش با ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیش و روابط سینتیکی شبه مرتبه اول و دوم بررسی شد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد و دستگاه‌ها

در این پژوهش تمام مواد مصرفی بدون هیچ‌گونه خالص‌سازی و همان‌طور که تهیه شدند مورد استفاده قرار گرفتند. پودر رنگ تارترازین محصول شرکت سیگما آلدریج بود. نیترات آلومینیم نه‌آبه، نیترات نیکل (II) شش‌آبه، هیدروکسید سدیم، کربنات سدیم و دیگر مواد مورد نیاز محصول شرکت مرک بودند. دستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از: pH متر متروروم مدل ۸۲۷، دستگاه طیف‌سنجی UV-Vis شرکت Perkin Elmer مدل Lambda 25، ترازوی دیجیتال شرکت Sartorius مدل TE214S با دقت ۰.۰۰۰۱ و سانتیفریوژ Domel مدل Centric 150.



شکل ۱: ساختار مولکولی رنگ تارترازین.

Figure 1: Molecular structure of Tartrazine dye

تاریخچه استفاده از رنگ‌های غیرطبیعی در صنایع غذایی کشورهای صنعتی به حدود یک قرن می‌رسد [۳-۱]. ویژگی‌های رنگ‌های غیرطبیعی مانند جذابیت، تهیه آسان و ارزان بودن، موجب استفاده بیشتر آن‌ها نسبت به رنگ‌های طبیعی با منشا گیاهی شده است [۵-۴]. از میان رنگ‌های غیرطبیعی، تارترازین به عنوان یک رنگ منوآزو و آنیونی که به خوبی در آب حل می‌شود، به طور گسترده‌ای در غلظت بسیار کم برای تهیه داروها به ویژه پوشش کپسول‌های دارویی و شربت‌ها، همچنین به عنوان مواد افزودنی در صنایع نساجی، آرایشی-بهداشتی و صنایع غذایی کاربرد دارد [۹-۶]. این رنگ می‌تواند در غلظت زیاد خاصیت سمی داشته باشد [۶]، اثرات آن بر انسان در ایجاد اضطراب، افسردگی، میگرن، اختلالات بینایی، حمله آسم و کهمر گزارش شده است [۸-۱۱]. استفاده مداوم از رنگ‌های غیرطبیعی در مصارف غذایی، دارویی، بهداشتی و دیگر صنایع، موجب تولید فاضلاب حاوی این رنگ‌ها شده که تهدیدی جدی برای آلودگی آب و خاک می‌باشد [۱۴-۱۲]. چندین روش برای حذف تارترازین به منظور کاهش تاثیر آن بر محیط زیست گزارش شده است که عبارتند از: نانوفیلتراسیون [۱۶، ۱۵]، تجزیه نوری [۲۰-۱۷]، انعقاد الکتریکی [۲۶-۲۱] و جذب سطحی [۳۱-۲۷]. جذب سطحی روشی بسیار کارآمد، اقتصادی و ایمن برای حذف رنگ‌ها از فاضلاب می‌باشد [۳۲-۲۰]. برخی جاذب‌های متداول مورد استفاده در این زمینه کربن فعال، جاذب‌های گیاهی، زئولیت‌ها و هیدروکسیدهای دوگانه لایه‌ای هستند. در این میان هیدروکسیدهای دوگانه لایه‌ای به دلیل مساحت زیاد سطحشان، پایداری مکانیکی و شیمیایی، ارزانی، غیرسمی بودن و حذف انتخابی آلاینده‌ها از محیط‌های آبی توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است [۳۴، ۳۳]. هیدروکسیدهای دوگانه لایه‌ای دارای فرمول $[M_{1-x}M_x(OH)_2]^{x+} (A^{n-})_{x/n} \cdot mH_2O$ هستند که M_{3+x} و M_{2+1-x} به ترتیب کاتیون فلز دوظرفیتی و سه ظرفیتی، An- آنیون درون‌لایه‌ای و m تعداد مولکول‌های آب هستند. این دسته ترکیبات به روش‌های مختلفی از جمله هم‌رسوبی، هیدروترمال، آبکافت اوره و تبادل یونی تهیه می‌شوند [۳۵-۳۳]. هیدروکسیدهای دوگانه لایه‌ای سیستم‌های میزبان- مهمان متشکل از لایه‌های فلزی/ هیدروکسید، آنیون‌ها و مولکول‌های آب هستند، به طوری که در آن‌ها جایگزینی جزئی کاتیون‌های سه ظرفیتی و دوظرفیتی بار مثبت ورقه‌ای ایجاد می‌کند که توسط آنیون‌ها در فضاهای بین لایه‌ای جبران می‌شود [۳۴-۳۷]. فضای بین لایه‌ای زیاد و تعداد قابل توجهی از آنیون‌های قابل تعویض، این نوع هیدروکسیدها را برای کاربرد به عنوان مبدل‌های

1- Layer Double Hydroxide, LDH

۲-۲- سنتز جاذب

درصد حذف رنگ را داشتند به عنوان شرایط بهینه در ادامه کار استفاده شدند. تنظیم pH در محیط‌های مختلف اسیدی، خنثی و بازی به منظور مطالعه اثر pH، با تهیه بافر برایتون-رابینسون [۴۳] انجام شد. محلول رنگ در pH های مختلف ۱۱-۲ تهیه و در مجاورت جاذب قرار گرفت تا مقدار pH بهینه ارزیابی گردد. اثر مقدار جاذب بر مقدار حذف رنگ در حضور ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶ و میلی‌گرم بر لیتر جاذب تهیه شده در محلول‌های رنگ با شرایط بهینه پیشین حاصل شده بررسی شد. اثر دما بر مقدار تعادل جذب سطحی با در نظر گرفتن شرایط بهینه‌ی حاصل شده از پیش، در دماهای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد ارزیابی شد. از نتایج بهینه شدن برای محاسبات ترمودینامیک و سینتیک جذب سطحی رنگ استفاده شد.

۲-۴- ایزوترم‌های جذب سطحی

ایزوترم‌های جذب سطحی شامل روابط لانگمویر، فروندلیش و تمکین در شرایط بهینه جذب سطحی رنگ تارترازین در مجاورت ۰,۴ میلی-گرم بر لیتر جاذب هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al، (دما ۳۰ درجه سانتی‌گراد، pH=۷، زمان تماس ۶۰ دقیقه و ۲۵ میلی‌لیتر محلول)، مورد مطالعه قرار گرفتند. روابط ۳، ۴ و ۵ به ترتیب مربوط به ایزوترم‌های لانگمویر [۴۴]، فروندلیش [۴۵] و تمکین هستند [۳۲].

$$\frac{1}{q_e} = \left(\frac{1}{q_{max}K_L} \right) \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_{max}} \quad (3)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \left(\frac{1}{n} \right) \ln C_e \quad (4)$$

$$q_e = B \ln a_T + B \ln C_e \quad (5)$$

که مقدار جرم رنگ جذب شده در گرم جاذب مربوط به غلظت تعادلی، C_e غلظت تعادلی رنگ در محلول (ppm)، q_{max} بیشینه مقدار ظرفیت حذف رنگ ($mg \cdot g^{-1}$)، K_L ثابت تعادل جذب سطحی ($L \cdot mg^{-1}$)، K_F ثابت فروندلیش، n حساسیت جاذب، B ثابت وابسته به گرمای جذب سطحی و a_T ثابت پیوند تعادلی ایزوترم تمکین است [۴۴-۴۶]. رابطه ۳ از رسم نمودار $1/q_e$ بر حسب $1/C_e$ خط راستی با شیب $1/q_{max}K_L$ و عرض از مبدا $1/q_{max}$ حاصل می‌شود. با استفاده از رابطه ۴ می‌توان نمودار $\ln q_e$ بر حسب $\ln C_e$ را رسم نمود که خط راستی با شیب $1/n$ و عرض از مبدا $\ln K_L$ حاصل می‌شود. برای ارزیابی داده‌های آزمایش با رابطه تمکین نیز نمودار q_e بر حسب $\ln C_e$ رسم می‌شود.

۲-۵- سینتیک و ترمودینامیک جذب سطحی

در بخش ترمودینامیک تعیین مقادیر ΔG^0 ، ΔH^0 و ΔS^0 در فرآیند جذب سطحی نقش مهمی را در تخمین خودبه‌خودی بودن فرآیند، میزان بی‌نظمی و گرماگیر یا گرماده بودن جذب سطحی بازی

هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al به روش هم‌رسوبی با کنترل pH تهیه شد. به این منظور، محلول ۰,۰۳ مولار نیکل (II) نیترات شش آبه و محلول ۰,۰۱ مولار نیترات آلومینیم نه آبه توسط آب دو بار تقطیر تهیه شد [۳۹]. سپس به ۵۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر در حین هم‌زدن، محلول نیترات آلومینیم نه آبه اضافه شد، آن‌گاه قطره‌قطره مخلوطی از هیدروکسید سدیم ۰,۵ مولار و کربنات سدیم ۰,۲ مولار به آن اضافه شد تا pH به حدود ۷ رسد و رسوب هیدروکسید آلومینیم تشکیل گردد. در ادامه به ظرف واکنش، محلول نیکل (II) نیترات شش آبه اضافه و بار دیگر کنترل pH تا حدود ۷ با مخلوط هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم انجام گرفت. ماده حاصل به مدت یک ساعت در دمای آزمایشگاه پیر شد. تمام مراحل ذکر شده حین هم‌زدن با سرعت ۱۵۰ rpm انجام شد. محلول تهیه شده در حمام روغن تحت دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ ساعت رفلکس شد. رسوب به دست آمده پس از چند بار شستشو به مدت ۲۰ ساعت در آن با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. جهت صحت کار و تایید ساختار رسوب هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al، از نمونه طیف پراش پرتو ایکس گرفته شد.

۲-۳- آزمایشات جذب سطحی

طول موج بیشینه جذب رنگ تارترازین توسط دستگاه طیف‌سنج UV-Vis در ۴۳۰ نانومتر تعیین شد. محلول اصلی رنگ با غلظت ۱۰۰۰ ppm توسط آب دو بار تقطیر تهیه و غلظت‌های دیگر رنگ (۳۵۰، ۳۰۰، ۲۵۰، ۲۰۰) با رقیق کردن این محلول آماده شدند. درصد حذف رنگ ($R\%$) روی جاذب هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al و مقدار جرم رنگ جذب شده در گرم جاذب $(q_e, mg \cdot g^{-1})$ به ترتیب با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شود.

$$R\% = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m} V \quad (in \ mg \ g^{-1}) \quad (2)$$

در اینجا C_0 غلظت اولیه رنگ (ppm)، C_e غلظت تعادلی رنگ در محلول (ppm)، V حجم محلول بر حسب لیتر و m جرم جاذب بر حسب گرم است [۴۰-۴۲]. نخست به منظور تعیین بهینه زمان تماس و غلظت اولیه رنگ، مقدار ۰,۴ گرم بر لیتر از جاذب تهیه شده به ۲۵ میلی‌لیتر از محلول رنگ با غلظت‌های ۲۰۰-۴۰۰ ppm اضافه شد. ارلن‌های حاوی مواد در دمای محیط توسط دستگاه هم‌زن با سرعت ۱۵۰ rpm برای مدت ۶۰ دقیقه هم‌زده شدند و در فاصله‌های زمانی ۷ دقیقه از محلول نمونه برداشته شده، سانتریفیوژ گردیده و جذب آن‌ها توسط دستگاه طیف‌سنجی UV-Vis خوانده شد. درصد حذف رنگ توسط رابطه ۱ محاسبه و غلظت و زمانی که بیشترین

$$\frac{t}{q_t} = \frac{t}{q_e} + \frac{1}{k_2 q_e^2} \quad (10)$$

در این جا k_1 ثابت سرعت شبه درجه اول، k_2 ثابت سرعت شبه درجه دوم است و عبارت q_t مقدار جرم رنگ جذب شده در گرم جاذب در زمان مورد نظر t را نشان می‌دهد که با استفاده از رابطه ۲ به دست می‌آید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مشخصه‌یابی جاذب

الگوی پراش پرتو ایکس، XRD، برای جاذب سنتزی هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al در شکل ۲ نشان داده شده است. صفحات (۰۰۳)، (۰۰۶)، (۰۱۲)، (۰۱۵)، (۰۱۸) و (۰۲۱) و صفحات دوتایی (۱۱۰) و (۱۱۳) در محدوده $2\theta = 6^\circ - 60^\circ$ می‌تواند دلیلی بر تشکیل هیدروکسید دوگانه لایه‌ای باشد و با الگوی پراش پرتوی ایکس با شماره کارت JCPDS= 15-0087^۱ مطابقت داشته و در توافق با نتایج سایر پژوهش‌ها می‌باشد [۵۰-۵۱].

می‌کند. با استفاده از روابط ۸-۶ می‌توان این مقادیر را ارزیابی نمود.

$$\ln K_d = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT}, K_d = \frac{C_0 - C_e}{C_e} \quad (6)$$

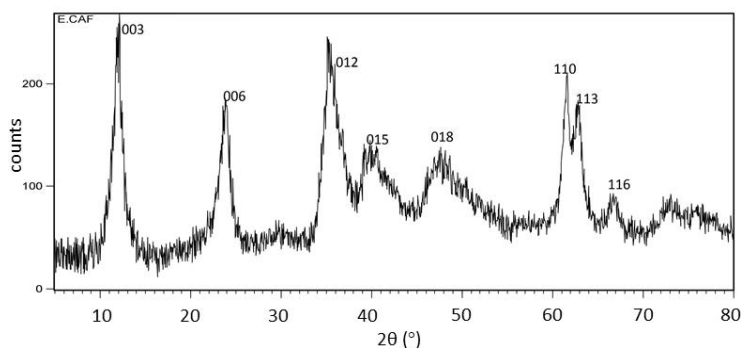
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (7)$$

$$\ln K_d = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT}, K_d = \frac{C_0 - C_e}{C_e} \quad (8)$$

در این جا R ثابت گازها، $8.314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$ ، C_0 غلظت ابتدایی رنگ در محلول (ppm) و K_d ضریب توزیع جذب سطحی است [۴۱-۴۰]. در فرآیند جذب سطحی با استفاده از مدل‌های سینتیکی شبه درجه اول و شبه درجه دوم که روابط آن‌ها به ترتیب در روابط ۹ و ۱۰ آمده است، به خوبی می‌توان مرتبه سینتیکی فرآیند و مقدار ثابت سرعت آن را ارزیابی کرد [۴۷-۴۹].

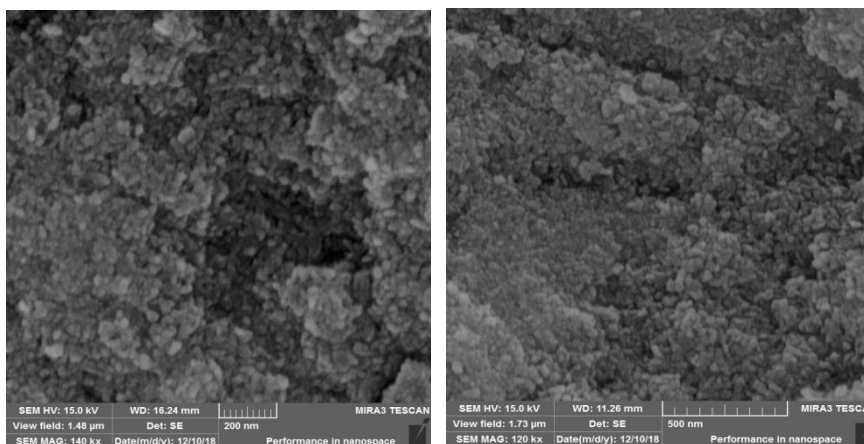
$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (9)$$

1- Joint Committee on Powder Diffraction Standards



شکل ۲: الگوی XRD هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al سنتز شده.

Figure 2: XRD pattern of synthesized Layered double hydroxide.



شکل ۳: تصاویر SEM هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al سنتز شده.

Figure 3: SEM images of synthesized Layered double hydroxide.

سطحی انتخاب شد.

۳-۳-۳ اثر pH

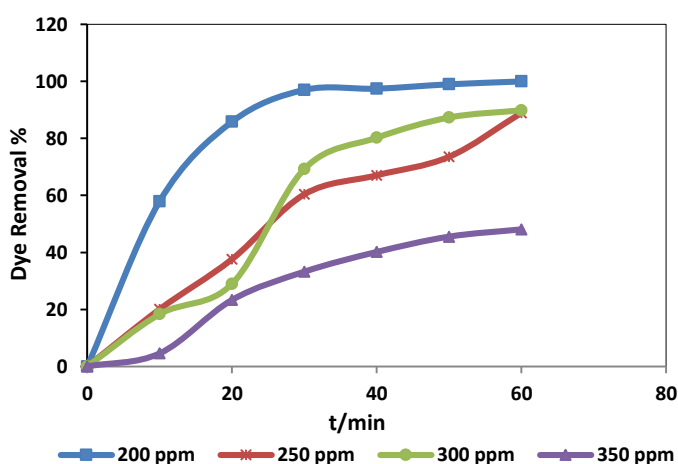
pH اولیه محلول می‌تواند عامل مهمی در فرآیند جذب سطحی باشد. اثر pH بر روی حذف رنگ تارترازین توسط هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al در pH های مختلف از ۲ تا ۱۱ در شکل ۵ آورده شده است. با افزایش pH تا نزدیک ۷ درصد حذف رنگ افزایش یافته، سپس تا حدود pH=۱۰ کاهش می‌باید و بعد از آن روند افزایشی دارد. تارترازین یک رنگ اسیدی است که ثابت تفکیک آن حدود ۳,۸۹ می‌باشد [۳۵]. بار مثبت سطح جاذب در pH های پایین موجب جذب موثر این رنگ اسیدی می‌شود.

شکل ۳ تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی، SEM، را نشان می‌دهد. در این شکل ماده سنتزی به دلیل آگلومره شدن به صورت توده‌های شبه کروی ظاهر شده است که ریخت‌شناسی آن شبیه گلسرخ ماسه‌ای^۱ است [۵۱].

۳-۳-۲ اثر غلظت اولیه و زمان تماس

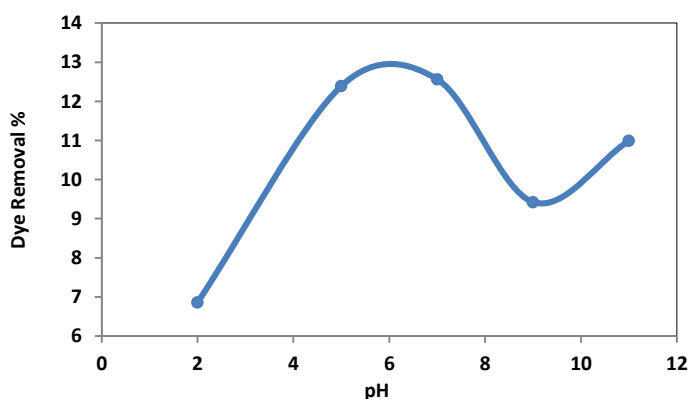
اثر غلظت اولیه و زمان تماس بر فرآیند حذف رنگ تارترازین نشان می‌دهد که با گذشت زمان درصد حذف رنگ از محلول آبی افزایش یافته است (شکل ۴). درصد حذف رنگ در دمای محیط در غلظت پایین‌تر ۲۰۰ ppm در مدت زمان ۴۰ دقیقه در حضور ۰,۴ میلی‌گرم بر لیتر از جاذب به حدود ۹۸ درصد رسیده و تقریباً ثابت شده است. با توجه به شکل ۴ غلظت ۲۰۰ ppm و زمان ۴۰ دقیقه به ترتیب به عنوان غلظت و زمان تماس بهینه جهت ادامه فرآیند بهینه‌سازی جذب

1- Sand-rose



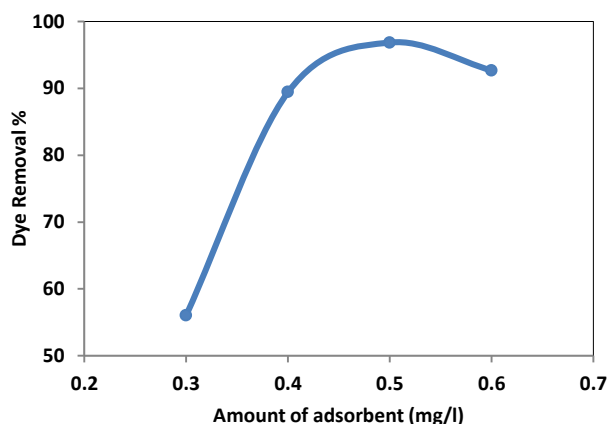
شکل ۴: نمودار حذف رنگ تارترازین توسط Ni/Al LDH با گذشت زمان در غلظت‌های متفاوت در دمای محیط

Figure 4: Plot of tartrazine dye removal by Ni-Al LDH versus time in different concentrations and room temperature.



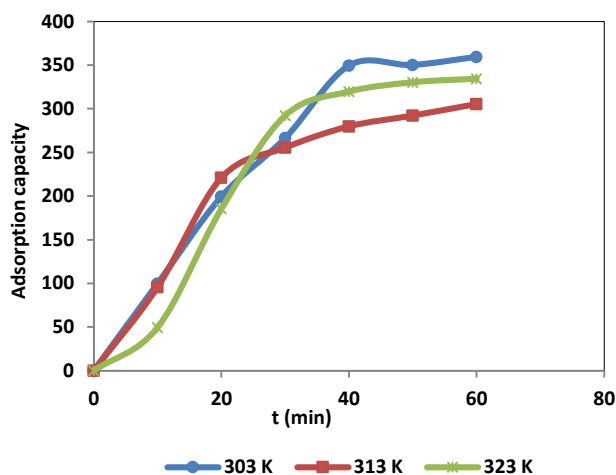
شکل ۵: نمودار درصد حذف رنگ تارترازین توسط Ni/Al LDH نسبت به pH در غلظت ۲۰۰ ppm.

Figure 5: Plot of tartrazine dye removal percentage by Ni-Al LDH versus pH in 200 ppm concentration.



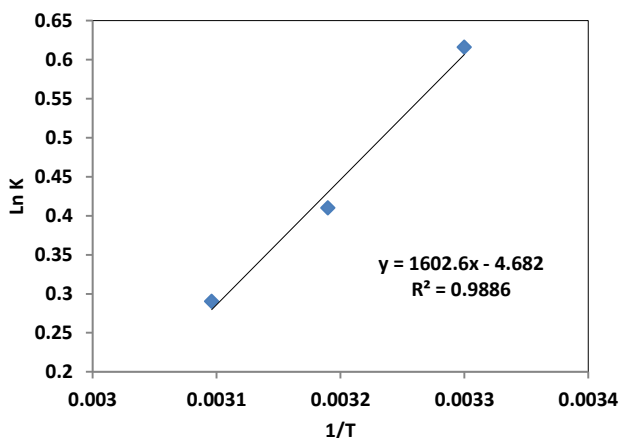
شکل ۶: نمودار درصد حذف رنگ تارترازین توسط Ni/Al LDH نسبت به مقدار جاذب در غلظت ۲۰۰ ppm.

Figure 6: Plot of tartrazine dye removal percentage by Ni-Al LDH versus amount of adsorbent in 200 ppm concentration.



شکل ۷: اثر دما بر میزان ظرفیت جذب سطحی رنگ تارترازین بر روی Ni/Al LDH در غلظت ۲۰۰ ppm.

Figure 7: Effect of temperature on the amount of tartrazine dye adsorption by Ni-Al LDH in 200 ppm concentration.



شکل ۸: نمودار LnK بر حسب 1/T برای جذب سطحی رنگ تارترازین بر روی Ni/Al LDH در غلظت ۲۰۰ ppm.

Figure 8: Plot of LnK versus 1/T for tartrazine dye adsorption by Ni-Al LDH in 200 ppm concentration.

کاهش حذف رنگ در pH بالای ۷ تا ۱۰ به دلیل رقابت یون‌های OH- اضافی و مولکول‌های رنگ در قرار گرفتن بر روی محل‌های فعال جاذب است [۶]. در pH بالای ۱۰ یون‌های رنگ در این رقابت پیروز شده و حذف تارترازین افزایش یافته است [۱۰]. در واقع مقدار حذف رنگ در pH های متفاوت به عواملی چون محل‌های فعال سطح، ساختار مولکول رنگ و بار سطح جاذب بستگی دارد [۳۵]. در این پژوهش با توجه به شکل ۵ درصد حذف رنگ در محیط‌هایی که با انواع بافر برایتون- رابینسون کنترل شده بود، بسیار پایین بود، در نتیجه برای آزمایشات بعدی محلول رنگ در محیط آبی تهیه شد.

۴-۴- اثر مقدار جاذب

مقدار جاذب می‌تواند نقش موثری در مقدار ظرفیت جذب رنگ از محلول آبی داشته باشد. بررسی اثر جاذب با توجه به شرایط بهینه حاصل انجام شد. با افزایش مقدار جاذب تا ۰.۵ میلی‌گرم در لیتر مقدار حذف رنگ افزایش یافته و سپس در مقدار ۰.۶ میلی‌گرم از جاذب کاهش می‌یابد (شکل ۶).

با توجه به شکل ۶ ظرفیت حذف رنگ با افزایش مقدار جاذب زیاد می‌شود که نشان می‌دهد مکان‌های فعال سطح به خوبی در دسترس مولکول‌های رنگ قرار گرفته‌اند [۳۲]، اما با افزایش بیشتر مقدار جاذب این احتمال وجود دارد که تجمع جاذب رخ دهد و مکان‌های قابل دسترس پنهان گردد، در نتیجه مقدار جذب رنگ کاهش می‌یابد [۵۲].

۴-۵- اثر دما و تعیین متغیرهای ترمودینامیکی

با توجه به شکل ۷ می‌توان دریافت با افزایش دما ظرفیت جذب رنگ تارترازین کاهش یافته است. این نتیجه می‌تواند به پیوند ضعیف بین مولکول‌های رنگ و سطح جاذب نسبت داده شود، به طوری که با افزایش دما انرژی جنبشی افزایش یافته و منجر به جداسدن برخی از مولکول‌های رنگ از سطح جاذب می‌شود [۶]. این پیوند ضعیف بیانگر جذب سطحی فیزیکی رنگ بر روی جاذب سنتزی است. در این پژوهش با بررسی اثر دما بر مقدار حذف رنگ تارترازین موجود در محلول آبی، مقادیر ترمودینامیکی مانند ΔG^0 ، ΔH^0 و ΔS^0 ارزیابی شد. با استفاده از روابط ۶-۸ مقادیر ترمودینامیکی برای غلظت ۲۰۰ ppm محلول رنگ با توجه به دماهای مختلف محاسبه شد. مطابق رابطه ۸ از رسم نمودار $\ln K_d$ بر حسب $1/T$ مقدار تغییر آنتالپی استاندارد از شیب نمودار و تغییر آنتروپی استاندارد از عرض از مبدا حاصل می‌شود. بر اساس رابطه به دست آمده از رسم نمودار در شکل ۸ متغیرهای ترمودینامیکی محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. مقدار تغییر انرژی آزاد گیبس استاندارد محاسبه شده بر اساس رابطه ۷ می‌باشد.

جدول ۱: متغیرهای ترمودینامیکی جذب سطحی رنگ تارترازین بر روی Ni/Al LDH در دماهای متفاوت و غلظت ۲۰۰ ppm.

Table 1: Thermodynamics parameters of tartrazine dye adsorption by Ni-Al LDH in different temperatures and 200 ppm concentration

T(K)	ΔG (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (J/mol)
303	-1.529		
313	-1.140	-13.32	-38.93
323	-0.751		

جاذب برای جذب مولکول‌های رنگ است. در جدول ۲ مقایسه جاذب سنتزی در این پژوهش و چند جاذب دیگر برای حذف رنگ تارترازین آورده شده است. این داده‌ها نشان می‌دهد هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al توانایی زیادی برای حذف تارترازین از محلول آبی دارد. در این پژوهش مقدار ثابت تعادل جذب، K_L ، برابر 3.54×10^{-4} به دست آمد. با استفاده از K_L و مقدار R_L ، که ضریبی بدون بعد است، می‌توان ایزوترم جذب لانگمویر را ارزیابی کرد (رابطه ۱۱).

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (11)$$

در اینجا C_0 غلظت اولیه رنگ (ppm) و K_L ثابت تعادل جذب سطحی ($L \cdot mg^{-1}$) است. ضریب R_L ماهیت جذب سطحی را نشان می‌دهد [۵۳].

مقدار ضریب R_L بین ۰ تا ۱ نشان‌دهنده مطلوب بودن ایزوترم جذب لانگمویر است و در صورتی که مقدار آن برابر ۱ باشد، ایزوترم لانگمویر برای توجیه فرآیند جذب سطحی مناسب نیست. داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد مقدار R_L برابر ۰.۹۳ بوده و تاییدی بر پیروی فرآیند جذب سطحی رنگ تارترازین از ایزوترم لانگمویر است.

با توجه به نتایج جدول ۱، منفی بودن ΔG^0 و ΔH^0 به ترتیب بیانگر خودبه‌خودی بودن فرآیند جذب سطحی و گرماده بودن آن است. علامت منفی ΔS^0 نشانگر کاهش بی‌نظمی در فرآیند حذف رنگ است. به عبارتی وقتی مولکول‌های رنگ بر روی مکان‌های فعال جاذب قرار می‌گیرند، بی‌نظمی نسبت به حالت ابتدایی قبل از جذب سطحی کمتر شده و درجه آزادی در سطح جاذب کاهش می‌یابد.

۳-۶- ایزوترم و سینتیک جذب سطحی

با در نظر گرفتن تعادل جذب سطحی و استفاده از معادلات ایزوترم جذب (۳-۵)، می‌توان بیشینه پوشش سطح جاذب را توسط مولکول‌های رنگ ارزیابی کرد. داده‌های آزمایش با معادلات ایزوترم-های لانگمویر، فروندلیش و تمکین مطابقت داده شد و مقدار ضریب همبستگی، R^2 ، به ترتیب برابر ۰.۹۲، ۰.۵۵ و ۰.۷۵ شد. این نتایج نشان داد جذب سطحی مولکول‌های رنگ بر روی جاذب سنتزی از ایزوترم لانگمویر پیروی می‌کند و این ایزوترم، بهتر از مدل‌های تمکین و فروندلیش است. بیشینه مقدار ظرفیت حذف رنگ حاصل از رابطه لانگمویر برابر $3333.33 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ بوده و بیانگر ظرفیت بالای

جدول ۲: مقایسه ظرفیت جذب برای حذف رنگ تارترازین در چند پژوهش.

Table 2: Comparison of adsorption capacity for tartrazine dye removal in several studies.

Adsorbent	Adsorption capacity ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	references
Zn ₂ Al/Cl LDH	282.48	8
chitosan/polyaniline	584.0	10
polystyrene/Fe ₃ O ₄	480.0	14
Ni-Al LDH	3333.33	This work

جدول ۳: متغیرهای ایزوترم جذب سطحی لانگمویر برای جذب سطحی رنگ تارترازین بر روی Ni/Al LDH در غلظت ۲۰۰ ppm.

Table 3: Parameters of Langmuir isotherm for tartrazine dye adsorption by Ni-Al LDH in 200 ppm concentration.

Isotherm	Parameters	results
Langmuir	q_m ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	3333.33
	K_L ($L \cdot \text{mg}^{-1}$)	3.54×10^{-4}
	R_L	0.93
	R^2	0.922

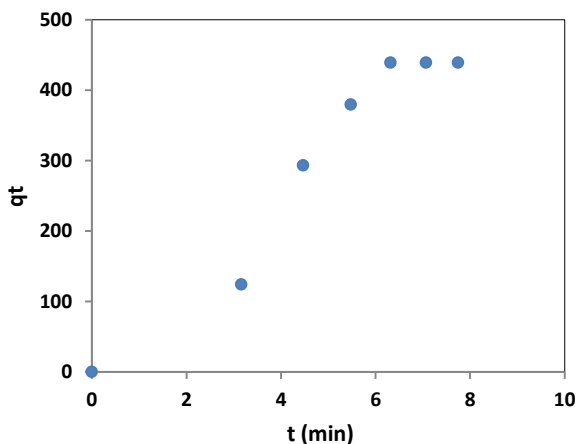
۳-۷- سازوکار احتمالی جذب سطحی

یکی از روش‌های بررسی سازوکار جذب سطحی مدل نفوذ درون ذره است. نفوذ درون ذره‌ای یک فرآیند انتقال است که شامل حرکت گونه‌ها از محلول توده‌ای به فاز جامد است. در این روش و بر اساس رابطه ۱۲ با رسم نمودار q_t بر حسب $t^{0.5}$ می‌توان مراحل جذب سطحی را پیش‌بینی کرد [۱۰].

$$q_t = k_{id}t^{0.5} + C \quad (12)$$

در این جا k_{id} و C به ترتیب ضریب نفوذ و ثابت نفوذ درون ذره‌ای هستند. C به طور مستقیم به ضخامت لایه مرزی وابسته است. مدل نفوذ درون ذره‌ای برای جذب سطحی رنگ تارترازین بر روی Ni-Al LDH در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

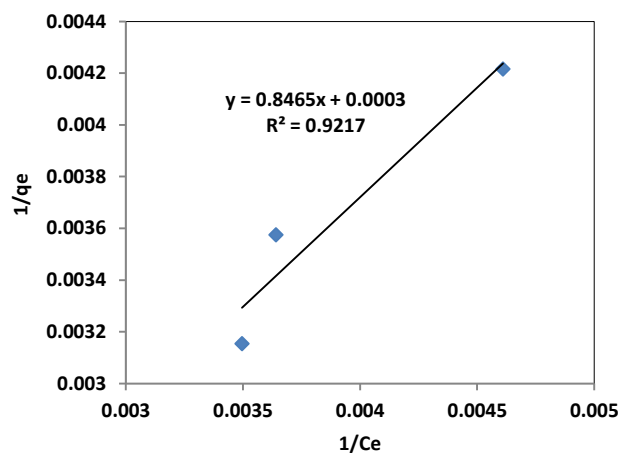
شیب تند ابتدایی در نمودار شکل ۱۱ نشان‌دهنده سرعت زیاد جذب سطحی رنگ در ۴۰ دقیقه نخست فرآیند است، سپس شیب نمودار به صفر می‌رسد که نشان از برقراری تعادل دارد و بیانگر این است که جذب سطحی توسط جذب بر روی سطح خارجی کنترل شده و در شروع جذب سطحی جاذب نقش اصلی در فرآیند جذب دارد [۴۰]. در مرحله ابتدایی که از ۰ تا ۴۰ دقیقه رخ می‌دهد رقابت کمی بین مولکول‌های رنگ برای قرارگیری بر روی جاذب وجود دارد، اما بعد از این زمان یعنی مرحله دوم تغییرات غلظت اندک بوده و تعادل جذب سطحی رخ داده است [۱۰]. همچنین می‌توان پیش‌بینی کرد در این فرآیند برهم‌کنش‌هایی بین گروه‌های عاملی موجود در رنگ تارترازین و هیدروکسید فلزی لایه‌ای و مولکول‌های آب صورت گرفته است [۳۵].



شکل ۱۱: نمودار مدل نفوذ درون ذره برای جذب سطحی رنگ تارترازین بر روی Ni/Al LDH در غلظت ۲۰۰ ppm

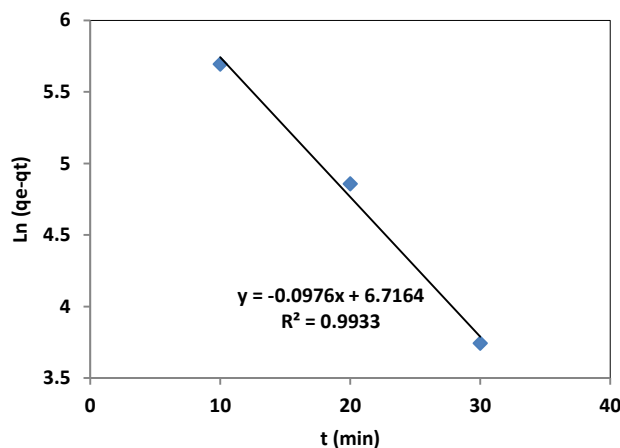
Figure 11: Plot of intra-particle diffusion model for tartrazine dye adsorption by Ni-Al LDH in 200 ppm concentration .

شکل ۹ نمودار $1/q_e$ بر حسب $1/C_e$ را برای ایزوترم لانگمویر نشان می‌دهد که داده‌های حاصل از این نمودار در جدول ۳ آورده شده است. برای تعیین سرعت فرآیند جذب سطحی از روابط سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم (روابط ۹ و ۱۰) استفاده شد. مقدار ضریب همبستگی، R^2 ، برای نمودار سینتیک شبه مرتبه اول برابر ۰,۹۹ به دست آمد و در مقایسه با کمیت مشابه آن در سینتیک مرتبه دوم ($R^2=0,94$) بیانگر تطابق بسیار خوب فرآیند جذب سطحی رنگ تارترازین با سینتیک شبه مرتبه اول است. براساس شکل ۱۰ مقدار ثابت سرعت شبه مرتبه اول که به طور مستقیم از شیب نمودار حاصل می‌شود برابر $0,0976 \text{ min}^{-1}$ است.



شکل ۹: نمودار ایزوترم لانگمویر جذب سطحی رنگ تارترازین بر روی Ni/Al LDH در غلظت ۲۰۰ ppm

Figure 9: Plot of Langmuir isotherm for tartrazine dye adsorption by Ni-Al LDH in 200 ppm concentration.



شکل ۱۰: نمودار سینتیک شبه مرتبه اول جذب سطحی رنگ تارترازین بر روی Ni/Al LDH در غلظت ۲۰۰ ppm

Figure 10: Plot of pseudo-first-order kinetics for tartrazine dye adsorption by Ni-Al LDH in 200 ppm concentration.

۴- نتیجه گیری

پس از زمان تماس ۴۰ دقیقه تایید می‌کند. داده‌های حاصل از این پژوهش نشان داد مقدار بسیار کم از این نوع هیدروکسید دوگانه لایه‌ای در دمای محیط قادر است رنگ تارترازین را به خوبی از محلول آبی حذف کند که می‌توان از آن به عنوان یک دستاورد نوین در تصفیه پساب صنایع غذایی، بهداشتی و غیره استفاده کرد.

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد به جهت پشتیبانی تجهیزات و امکانات سپاسگزاری می‌نمایند.

حذف رنگ تارترازین توسط هیدروکسید دوگانه لایه‌ای Ni/Al می‌تواند یک کاربرد جدید این نانو ماده سنتز شده باشد. نتایج حاصل از جذب سطحی رنگ تارترازین توسط Ni/Al LDH نشان داد شرایط بهینه حذف رنگ، غلظت اولیه ۲۰۰ ppm، زمان تماس ۴۰ دقیقه، pH=۷، مقدار جاذب برابر ۰.۵ گرم بر لیتر و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. حذف رنگ در این دما به خوبی انجام شده و فرآیندی خودبه‌خودی است. همچنین نتایج نشان داد فرآیند جذب سطحی رنگ تارترازین بر روی جاذب Ni/Al LDH از سینتیک مرتبه اول و ایزوترم لانگمویر پیروی می‌کند. ظرفیت جذب بالای حاصل از رابطه ایزوترم لانگمویر برابر $3333.33 \text{ mg.g}^{-1}$ محاسبه شد. مدل نفوذ درون ذره‌ای بیانگر نقش مهم جاذب در فرآیند بوده و به تعادل رسیدن جذب سطحی را

۵- مراجع

- M. A. I. Salem, M. I. Marzouk, H. M. Mashaly, Synthesis of pharmacological dyes and their application on synthetic fabrics. *Color. Technol.* 131(2015), 288-297.
- S. Kobylewski, M. F. Jacobson, Toxicology of food dyes. *Int. J. Occup. Environ. Health.* 18(2012), 220-246.
- Food Ingredients & Colors, International Food Information Council, June 29, 2010, Retrieved Feb 15 2012 (2010).
- T. Zou, P. He, A. Yassen, Zh. Li, Determination of seven synthetic dyes in animal feeds and meat by high performance liquid chromatography with diode array and tandem mass detectors. *Food Chem.* 138(2013), 1742-1748.
- M. Avazpour, F. Seifipour, J. Abdi, T. Nabavi, M. Zamanian-Azodi, Detection of dyes in confectionery products using thin-layer chromatography. *Iranian J Nutr Sci Food Technol.* 8(2013), 73-78.
- H. I. Albroomi, M. A. Elsayed, A. Baraka, M. A. Abdelmaged, Batch and fixed-bed adsorption of tartrazine azo-dye onto activated carbon prepared from apricot stones, *Appl. Water Sci.* 7(2017), 2063-2074.
- F. A. Dawodu, K. G. Akpomie, Evaluating the potential of a Nigerian soil as an adsorbent for tartrazine dye: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies, *Alex. Eng. J.* 55(2016), 3211-3218.
- H. Ouassif, E. M. Moujahid, R. Lahkale, R. Sadik, F. Z. Bouragba, E. mouloudi Sabbar, M. Diouri, Zinc-Aluminum layered double hydroxide: High efficient removal by adsorption of tartrazine dye from aqueous solution. *Surf. Interfaces.* 18(2020), 100401.
- C. Gallen, J. Pla, Allergie et intolérance aux additifs alimentaires. *Rev. Fr. Allergol.* 53(2013), 9-18.
- S. Sahnoun, M. Boutahala, C. Tiar, A. Kahoul, Adsorption of tartrazine from an aqueous solution by octadecyl trimethyl ammonium bromide-modified bentonite: Kinetics and isotherm modeling. *C. R. Chim.* 21(2018), 391-398.
- J. Zhang, P. Zhang, S. Zhang, Q. Zhou, Comparative study on the adsorption of tartrazine and indigo carmine onto maize cob carbon. *Sep. Sci. Technol.* 49(2014), 877-886.
- A. Parchebaf Jadid, S. Sadeghi, The removal of Tartrazine dye by modified alumina with sodium dodecyl sulfate from aqueous solutions: equilibrium and thermodynamic studies. *Food Hygiene.* 7(2017), 25-35.
- A. B. Albadarin, M. Charara, B. J. Abu Tarboush, M. N. M. Ahmad, T. A. Kurniawan, M. Naushad, G. M. Walker, C. Mangwandi, Mechanism analysis of tartrazine biosorption onto masau stones; a low cost by-product from semi-arid regions. *J. Mol. Liq.* 242(2017), 478-483.
- M. A. Ali, M. F. Mubarak, M. Keshawy, M. A. Zayed, M. Ataalla, Adsorption of Tartrazine anionic dye by novel fixed bed Core-Shell- polystyrene Divinylbenzene/Magnetite nanocomposite. *Alex. Eng. J.* 61(2022), 1335-1352.
- C. Aydiner, Y. Kaya, Z. Beril GÖnder, I. Vergili, Evaluation of membrane fouling and flux decline related with mass transport in nanofiltration of tartrazine solution. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 85(2010), 1229-1240.
- J. Y. Gan, W. C. Chong, L. C. Sim, C. H. Koo, Y. L. Pang, E. Mahmoudi, A. W. Mohammad, Novel carbon quantum dots/silver blended polysulfone membrane with improved properties and enhanced performance in tartrazine dye removal. *Membranes.* 10(2020), 175.
- M. Darwish, A. Mohammadi, N. Assi, Microwave-assisted polyol synthesis and characterization of pvp-capped cds nanoparticles for the photocatalytic degradation of tartrazine. *Mater. Res. Bull.* 74(2016), 387-396.
- P. Oancea, V. Meltzer, Kinetics of tartrazine photodegradation by UV/H₂O₂ in aqueous solution. *Chem. Pap.* 68(2014), 105-111.
- T. S. Jamil, S. E. A. Sharaf El-Deen, Removal of persistent tartrazine dye by photodegradation on TiO₂ nanoparticles enhanced by immobilized calcinated sewage sludge under visible light. *Sep. Sci. Technol.* 51(2016), 1744-1756.
- V. K. Gupta, R. Jain, A. Nayak, S. Agarwal, M. Shrivastava, Removal of the hazardous dye-Tartrazine by photodegradation on titanium dioxide surface. *Mater. Sci. Eng. C.* 31(2011), 1062-1067.
- N. Modirshahla, M. A. Behnajady, S. Kooshaiian, Investigation of the effect of different electrode connections on the removal efficiency of Tartrazine from aqueous solutions by electrocoagulation. *Dyes Pigm.* 74(2007), 249.

22. T. S. Anantha Singh, S. T. Ramesh, New trends in electrocoagulation for the removal of dyes from wastewater: A review. *Environ. Eng. Sci.* 30(2013), 333–349.
23. A. Thiam, M. Zhou, E. Brillas, I. Sirés, Two-step mineralization of Tartrazine solutions: Study of parameters and by-products during the coupling of electrocoagulation with electrochemical advanced oxidation processes. *Appl. Catal. B.* 150–151(2014), 116–125.
24. A. Thiam, M. Zhou, E. Brillas, I. Sirés, A first pre-pilot system for the combined treatment of dye pollutants by electrocoagulation/EAOPs. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 89(2014), 1136–1144.
25. N. Liu, Y. Wu, Removal of methylene blue by electrocoagulation: a study of the effect of operational parameters and mechanism. *Ionics.* 25(2019), 3953–3960.
26. H. Zhian, N. Noroozi Pesyan, Investigating changes in the physical and chemical effects of tartrazine dye remove on industrial wastewater by electrocoagulation method. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* 40(2021), 123–132.
27. A. Mittal, J. Mittal, L. Kurup, Adsorption isotherms, kinetics and column operations for the removal of hazardous dye, Tartrazine from aqueous solutions using waste materials—Bottom Ash and De-Oiled Soya, as adsorbents. *J. Hazard. Mate.* 136(2006), 567–578.
28. W. S. Wan Ngah, N. F. M. Ariff, M. A. K. M. Hanafiah Preparation, Characterization, and environmental application of crosslinked chitosan-coated bentonite for tartrazine adsorption from aqueous solutions, *Wat. Air Soil Poll.* 206(2010), 225–236.
29. R. K. Gautam, P. K. Gautam, S. Banerjee, V. Rawat, S. Soni, S. K. Sharma, M. C. Chattopadhyaya, Removal of tartrazine by activated carbon biosorbents of *Lantana camara*: Kinetics, equilibrium modeling and spectroscopic analysis. *J. Environ. Chem. Eng.* 3(2015), 79–88.
30. S. Banerjee, M. C. Chattopadhyaya, Adsorption characteristics for the removal of a toxic dye, tartrazine from aqueous solutions by a low cost agricultural by-product. *Arab. J. Chem.* 10(2017), S1629–S1638.
31. I. M. Reck, R. M. Paixão, R. Bergamasco, M. F. Vieira, A. M. S. Vieira, Removal of tartrazine from aqueous solutions using adsorbents based on activated carbon and *Moringa oleifera* seeds. *J. Clean. Prod.* 171(2018), 85–97.
32. M. E. Mahmoud, A. M. Abdelfattah, R. M. Tharwat, G. M. Nabil, Adsorption of negatively charged food tartrazine and sunset yellow dyes onto positively charged triethylenetetramine biochar: Optimization, kinetics and thermodynamic study. *J. Mol. Liq.* 318(2020), 114297.
33. B. Ali, B. Naceur, E. Abdelkader, E. Karima, Competitive adsorption of binary dye from aqueous solutions using calcined layered double hydroxides. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 100(2020), 1–20.
34. S. Mandal, S. Mayadevi, Adsorption of fluoride ions by Zn–Al layered double hydroxides. *Appl. Clay Sci.* 40(2008), 54–62.
35. M. Shamsayei, Y. Yamini, H. Asiabi, A novel diatomite supported layered double hydroxide as reusable adsorbent for efficient removal of acidic dyes, *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 100(2020), 1–17.
36. Y. Zhu, R. Zhu, Q. Chen, M. Laipan, J. Zhu, Y. Xi, H. He, Calcined Mg/Al layered double hydroxides as efficient adsorbents for polyhydroxy fullerenes. *Appl. Clay Sci.* 151(2018), 66–72.
37. A. Matei, R. Birjega, A. A. Vlad, B. Mitu, D. D. Baci, M. Dinescu, R. Zavoianu, Chapter 10 - LDH-interlayered nanostructures for biomedical and environmental applications, In V. Dinca & M. P. B. T.-F. N. I. for E. and B. A. Suche (Eds.). *Micro and Nano Technologies.* (2019), 259–28.
38. O. O. Balayeva, A. A. Azizov, M. B. Muradov, R. M. Alosmanov, Removal of tartrazine, ponceau 4R and patent blue V hazardous food dyes from aqueous solutions with ZnAl-LDH/PVA nanocomposite. *J. Dispers. Sci. Technol.* 42(2021), 1–14.
39. J. Das, B. S. Patra, N. Baliarsingh, K. M. Parida, Adsorption of phosphate by layered double hydroxides in aqueous solutions. *Appl. Clay Sci.* 32(2006), 252–260.
40. H. R. Pouretedal, N. Sadegh, Effective removal of Amoxicillin, Cephalexin, Tetracycline and Penicillin G from aqueous solutions using activated carbon nanoparticles prepared from vine wood. *J. Water Process. Eng.* 1(2014), 64–73.
41. S. Mondal, K. Aikat, G. Halder, Biosorptive uptake of ibuprofen by chemically modified *Parthenium hysterophorus* derived biochar: Equilibrium, kinetics, thermodynamics and modeling. *Ecol. Eng.* 92(2016), 158–172.
42. A. Dehno Khalaji, Removal of methyl green dye using nickel oxide nanoparticles. *J. Color Sci. Tech.* 15(2021), 71–77. [In Persian]
43. H. T. S. Britton, R. A. Robinson, CXCVIII.—Universal buffer solutions and the dissociation constant of veronal. *J. Chem. Soc. (Resumed).* 0: 1456–1462, 1931.
44. I. Langmuir, The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.* 40(1918), 1361–1403.
45. K. Walsh, S. Mayer, D. Rehmann, T. Hofmann, K. Glas, Equilibrium data and its analysis with the Freundlich model in the adsorption of arsenic (V) on granular ferric hydroxide. *Sep. Purif. Technol.* 243(2020), 116704.
46. A. O. Dada, Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubini--Radushkevich Isotherms Studies of equilibrium sorption of zn^{2+} unto phosphoric acid modified rice husk. *IOSR J. Appl. Chem.* 3(2012), 38–45.
47. M. Manjuladevi, R. Anitha, S. Manonmani, Kinetic study on adsorption of Cr(VI), Ni(II), Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions using activated carbon prepared from Cucumis melo peel. *Appl. Water Sci.* 8(2018), 36.
48. L. Largitte, R. Pasquier, A review of the kinetics adsorption models and their application to the adsorption of lead by an activated carbon. *Chem. Eng. Res. Des.* 109(2016), 495–504.
49. Z. karimi, A. Allahverdi, F. Oshani, Investigation on the removal of dyes from wastewater using alumina composite nano adsorbent. *J. Stud. Color Worl.* 10(2020), 41–59. [In Persian]
50. W. Yang, Z. Gao, J. Wang, J. Ma, M. Zhang, L. Liu, Solvothermal one-step synthesis of Ni–Al layered double hydroxide/carbon nanotube/reduced graphene oxide sheet ternary nanocomposite with ultrahigh capacitance for supercapacitors. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 5(2013), 5443–5454.
51. H. Abdolmohammad-Zadeh, Z. Rezvani, G. H. Sadeghi, E. Zorufi, Layered double hydroxides: a novel nano-sorbent for solid-phase extraction. *Anal. Chim. Acta.* 685(2011), 212–219.
52. O. M. Ezekoye, K. G. Akpomie, S. I. Eze, C. N. Chukwujindu, J. U. Ani, O. T. Ujam, Biosorptive interaction of alkaline modified Dialium guineense seed powders with

ciprofloxacin in contaminated solution: central composite, kinetics, isotherm, thermodynamics, and desorption. *Int. J. phytoremediation*. 22(2020), 1028–1037.

53. E. Cheikh S'Id, A. Kheribech, M. Degu, Z. Hatim, R.

Chourak, C. M'Bareck, Removal of methylene blue from water by polyacrylonitrile co sodium methallylsulfonate copolymer (AN69) and polysulfone (PSf) synthetic membranes. *Prog. Color Colorants Coat.* 14(2021),89-100.

How to cite this article:

A. Ahmadi Iranshahi, Gh. Kouchakzadeh, Investigation of the Ability of Synthesized Layered Double Hydroxide Ni/Al to Remove Tartrazine Dye. *J. Color Sci. Tech.* 16, 4(2023), 373-384.

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.4.6.4