

## کارآیی فرایند تبادل یونی در حذف نیترات از آب

### 1 - همدماهای تعادلی جذب نیترات توسط رزین Purolite A-400

سید علی موسوی<sup>1\*</sup>، حسین اسدی<sup>2</sup>، مریم اسفندبند<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 89/8/8 تاریخ پذیرش: 89/9/22

1- مربی، گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان

2-3- استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشگاه گیلان

\*مسئول مکاتبه: E-mail: [mousavi@guilan.ac.ir](mailto:mousavi@guilan.ac.ir)

#### چکیده

فرآیند تبادل یونی به علت سهولت اجرا، هزینه کم و کارآیی بالا یکی از مناسب‌ترین روش‌های بهبود کیفیت آب‌های آلوده به نیترات است. در تحقیق حاضر، همدماهای جذب نیترات با استفاده از رزین آنیونی Purolite A-400 در دو pH برابر 6/5 و 7/5 و در دو دمای 20 و 25 درجه سلسیوس، با هشت غلظت اولیه ی 5، 20، 40، 60، 80، 100، 150 و 200 میلی-گرم در لیتر نیترات بررسی شد. پارامترهای جذبی رزین با بهره‌گیری از چهار مدل همدمای جذب لانگمویر، فرنللیچ، ردلیچ-پترسون و سیپس مورد ارزیابی قرار گرفت. با در نظر گرفتن هم‌زمان دو معیار ضریب تبیین و آزمون آماری مربع کی، مدل لانگمویر و پس از آن مدل سیپس و ردلیچ - پترسون بهترین برازش را به داده‌های جذبی نشان دادند. برازش مدل فرنللیچ بر نتایج آزمایش با وجود ضریب تبیین بالا، به دلیل نتایج ضعیف آزمون مربع کی، مناسب تشخیص داده نشد. با توجه به نتایج مدل لانگمویر، می‌توان گفت که رزین Purolite A-400 برای جذب نیترات در دمای 25°C تمایل پیوندی بیشتری (به طور میانگین 30 درصد) نسبت به دمای 20°C دارد. همچنین جذب سطحی نیترات توسط رزین در pH برابر 6/5 نسبت به 7/5 به طور میانگین 25 درصد بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: ظرفیت جذب، غلظت تعادلی، لانگمویر، فرنللیچ، ردلیچ-پترسون، سیپس

## Ion Exchange Efficiency of Nitrate Removal from Water 1- Equilibrium Sorption Isotherms for Nitrate on Resin Purolite A-400

A Moussavi<sup>1\*</sup>, H Asadi<sup>2</sup> and M Esfandbod<sup>3</sup>

Received: 30 October 2010 Accepted: 13 December 2010

<sup>1</sup> Lecturer, Department of Water Engineering, University of Guilan, Iran

<sup>2,3</sup> Assistant Professor and Former MSc Student, Department of Soil Sciences, University of Guilan, Iran

\*Corresponding author: E-mail: [moussavi@guilan.ac.ir](mailto:moussavi@guilan.ac.ir)

### Abstract

In the current study, an anion exchange resin, Purolite A 400, was employed to investigate nitrate removal from aqueous solutions. For the adsorption isotherm study, 0.15 g of resin was contacted with 50 mL of NaNO<sub>3</sub> solution at the concentrations of 5, 20, 40, 60, 80, 100, 150, and 200 mg-NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> with two pHs of 6.5 and 7.5 at two equilibrium temperatures of 20 and 25 °C for 24 h with continuous shaking. Adsorption characteristics of the resin for nitrate were evaluated by modeling of adsorption isotherms using Langmuir, Freundlich, Redlich - Peterson and Sips models. Based on the statistics of Chi-square test and correlation coefficient, Langmuir equation showed the best fit to the data. Sips and Redlich-Peterson equations followed Langmuir model, respectively. Freundlich equation fitted poorly to the data, though its correlation coefficient was significant. Comparison and relations among the calibrated parameters of the models showed that Sips and Redlich-Peterson equations were similar to Langmuir equation. Based on the latter equation, Purolite A-400 revealed higher (average 30 percent) bonding energy at 25 °C than 20 °C. Adsorption capacity of the resin also was 25 percent higher at pH 6.5 than pH 7.5.

**Keywords:** Equilibrium adsorption, Equilibrium concentration, Langmuir, Freundlich, Redlich – Peterson, Sips

می‌دهد (باور 1989 و میزوتا و همکاران 2004). از آن-جایی که نیترات به عنوان مهم‌ترین شاخص آلودگی آب‌های زیرزمینی در نتیجه فعالیت‌های کشاورزی شناخته می‌شود، بررسی غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی کم عمق و آب‌های سطحی نیز ضروری است (لوگان و همکاران 1994).

تاکنون روش‌های گوناگونی برای کاهش و حذف یون نیترات از منابع آب آشامیدنی مورد استفاده قرار گرفته‌است که متداول‌ترین و جدیدترین این روش‌ها

### مقدمه

ترکیبات مختلف نیتروژن شامل آمونیاک، نیتريت و نیترات را می‌توان در اغلب موارد در آب شرب مشاهده نمود (اوزتورک و بکتاش 2004). در اثر مصرف آب آشامیدنی حاوی نیترات زیاد، در سیستم گوارشی نیتروزآمین تولید شده که عامل سرطان بوده و بعلاوه احتمال بروز بیماری‌هایی همچون متهموگلوبینمی<sup>1</sup> را به ویژه در اطفال و نوزادان افزایش

<sup>1</sup> Methemoglobinemia

محلول‌های آبی از معادله فرندلیچ (فرندلیچ 1906)، نیز به صورت گسترده برای توصیف فرایند جذب استفاده شده است. معادله ردلیچ - پترسون (ردلیچ و پترسون 1959)، اولین همدمای جذبی است که دارای سه پارامتر می‌باشد.

در این پژوهش کارایی حذف نیترات از آب در فرایند تبادل یونی با استفاده از رزین Purolite A-400 مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور داده‌های جذب سطحی نیترات در دو pH و دو دما به وسیله‌ی رزین Purolite A-400 با چهار همدمای جذب لانگمویر، فرندلیچ، ردلیچ - پترسون و سیپس مورد مقایسه قرار گرفت.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش از رزین Purolite A-400 استفاده شده است. رزین Purolite A-400 از دسته رزین‌های تبدالی آنیونی بازی قوی دسته I می‌باشد که دارای ظرفیت تبدالی بالا است. این نوع رزین دارای ساختمان گرانوله شفاف است و کارایی بسیار بالایی برای احیاء و بازیافت دارد. رزین Purolite A-400 نسبت به سایر رزین‌های گرانوله متداول، از پایداری فیزیکی قابل توجهی برخوردار است که این قابلیت موجب افزایش طول عمر رزین می‌گردد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رزین Purolite A-400 در جدول 1 آورده شده است.

قبل از استفاده از رزین، مقدار مورد نیاز از رزین با استفاده از آب مقطر یونزدایی شده‌ی گرم، جهت حذف آلودگی‌های احتمالی، شستشو داده شد. سپس در دمای 50 درجه سلسیوس خشک گردیده و با عبور دادن از الک، اطمینان حاصل شد که اندازه ذرات رزین مورد استفاده برابر مشخصات استاندارد آن (مطابق جدول 1) بین 0/3 تا 1/2 میلی‌متر است (چاپانی و همکاران 2007 و 2009).

عبارتند از: روش اسمز معکوس، روش دنیتریفیکاسیون بیولوژیکی، روش الکترودیالیز و روش تبادل یونی (ساماتیا و همکاران 2006). در بین روش‌های یادشده، فرآیند تبادل یونی به علت سهولت اجرا، هزینه کم، کارایی بالا و امکان بازیابی مجدد، مناسب‌ترین روش برای تصفیه و بهبود کیفیت آب‌های آلوده به نیترات می‌باشد (کلیفورد و لیو 1993، بائه و همکاران 2002 و بومیدینه و آشور 2004). فرآیند تبادل یونی جهت حذف نیترات شامل عبور آب از بستر رزین دارای قدرت تبادل آنیونی بالا است. در این شرایط، یون‌های نیترات جایگزین یون‌های کلراید می‌شوند و این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که ظرفیت تبدالی رزین اشباع گردد. رزین اشباع‌شده را می‌توان با استفاده از محلول غلیظ کلرید سدیم بازیابی کرد (کلیفورد و لیو 1993).

مطالعه واکنش‌های تعادلی همدمای جذب، امکان برآورد ظرفیت مواد برای جذب مولکول‌های متفاوت را برای محققان فراهم می‌نماید (ژو و همکاران 1996). همدمای جذب سطحی، جذب یا آزاد شدن گازها، یون‌ها و یا مولکول‌ها را به وسیله سطح جذب‌کننده در دما و pH ثابت به صورت کمی نشان می‌دهند و پارامترهای آن‌ها بیان‌گر خصوصیات جذب سطحی جاذب می‌باشد. همدمای جذب سطحی نشان‌دهنده مقدار جذب‌شونده توسط جاذب در غلظت‌های تعادلی متفاوت است (چاپانی و همکاران 2006). تحلیل نتایج آزمایش‌های همدمای جذب با هدف برآزش مدل‌های مختلف همدمای جذب، گامی مؤثر در تفسیر دقیق نتایج برای طراحی فرایندها و متعاقب آن افزودن به اطلاعات موجود در خصوص مکانیسم جذب است (هو 2004). باید توجه داشت که مطالعات تعادلی، حالت نهایی واکنش‌ها را نشان می‌دهند و نمی‌توانند سرعت واکنش‌ها را تفسیر کنند (شیدیگر و همکاران 1996).

از همدمای معروف در مطالعه فرایند جذب سطحی سیستم‌های جامد-مایع می‌توان به معادله لانگمویر (لانگمویر 1916)، اشاره کرد. در مطالعه جذب

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رزین Purolite A-400 †

ویژگی	توضیحات
نوع ساختار	پلی استرین گرانوله با اتصالات شبکه‌ای دی‌وینیل
گروه‌های عاملی	گروه‌های آمونیوم چهارتایی نوع (I)
ساختار فیزیکی	دانه‌های کروی
دامنه اندازه دانه (mm)	0/3-1/2
شکل یونی	Cl <sup>-</sup>
ظرفیت تبدلی کل حجمی در حالت مرطوب (eq l <sup>-1</sup> )	1/3
ظرفیت تبدلی کل وزنی در حالت خشک (eq kg <sup>-1</sup> )	3/7
ظرفیت جذب رطوبت در حالت اشباع با کلر (% حجمی)	48 – 54
حداکثر توان حرارتی (°C)	100
محدوده pH	0 – 13
چگالی ویژه در حالت مرطوب و اشباع با کلر	1/08

† بر مبنای اطلاعات گزارش شده از سوی سازنده، Purolite Int. Ltd.

گیری گردید. با توجه به داشتن هشت غلظت، دو pH، دو دمای تعادلی و دو تکرار، تعداد کل نمونه‌ها به 64 عدد رسید.

پس از انجام آزمایش‌ها و تعیین غلظت تعادلی نیترات در نمونه‌ها،  $C_e$  برحسب میلی‌گرم بر لیتر، مقدار تعادلی جذب،  $q_e$ ، برحسب میلی‌گرم نیترات در گرم رزین، از رابطه 1 تعیین گردید:

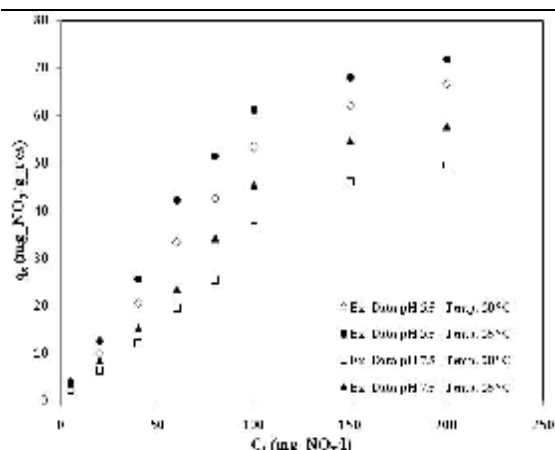
$$q_e = (C_0 - C_e) \frac{V}{m} \quad [1]$$

که در آن  $C_0$  غلظت اولیه‌ی نمونه‌ها (بر حسب میلی‌گرم در لیتر)،  $V$  حجم نمونه‌ها (بر حسب لیتر) و  $m$  جرم رزین خشک شده است.

اغلب به منظور برازش داده‌های جذب سطحی با همدمای جذب، از همبستگی خطی استفاده می‌شود که جهت تعیین پارامترهای مدل مورد بررسی نیز از حداقل مربعات خطا استفاده می‌شود. اما تبدیل‌های مورد استفاده جهت خطی‌کردن معادلات غیرخطی همدمای جذب، به شکل ضمنی و پنهان، ساختار خطای این معادلات را تغییر داده و همچنین ممکن است واریانس خطا را افزایش داده و فرضیات نرمال مربعات خطای استاندارد را نقض نماید (رتکوسکی 1990). در سال‌های

آزمایش‌ها با توجه به حداکثر دامنه تغییرات غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی، با استفاده از محلول استاندارد نیترات با هشت غلظت 5، 20، 40، 60، 80، 100، 150 و 200 میلی‌گرم در لیتر انجام شد. جهت تهیه محلول‌های استاندارد نیترات، از نیترات سدیم ( $\text{NaNO}_3$ ) استفاده گردید، این محلول‌ها در محلول زمینه 0/1 مولار کلرید سدیم ( $\text{NaCl}$ ) تهیه شد. جهت تنظیم pH و برای پایین آوردن pH، از محلول یک نرمال HCl و برای بالا بردن pH از محلول یک نرمال NaOH استفاده شد (چابانی و همکاران 2009).

جهت انجام هر آزمایش، 50 میلی‌لیتر محلول حاوی نیترات با غلظت‌های 5، 20، 40، 60، 80، 100، 150 و 200 میلی‌گرم بر لیتر، در دو pH برابر 6/5 و 7/5 و در دو دمای 20 و 25 درجه سلسیوس، در مجاورت 0/15 گرم رزین خشک (PuroliteA-400) به مدت 24 ساعت در انکوباتور شیک شد. دما و pHهای مورد بررسی با توجه به دامنه تغییرات طبیعی و معمول این دو ویژگی انتخاب شدند. بعد از این مدت، نمونه‌ها با کاغذ صافی صاف شد و غلظت نیترات تعادلی نمونه‌ها به روش بروسین و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (آن و فرانسون 1992) اندازه-



شکل 1- رابطه ظرفیت تعادلی جذب و غلظت اولیه نیترات.

مطابق شکل 1 در یک pH مشخص با افزایش دما، مقدار جذب نیترات افزایش می‌یابد. چابانی و همکاران (2007) و ارسلان اوغلو و همکاران (2005) نیز بیان کردند که با افزایش دما، حتی چند درجه کلون به دلیل افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی مقدار جذب نیترات بالا می‌رود. همچنین طبق شکل 1 می‌توان مشاهده نمود که در یک دمای ثابت، با افزایش pH مقدار جذب نیترات پایین آمده است. این فرآیند به آن علت است که با افزایش pH، رقابت یون‌های OH<sup>-</sup> با نیترات زیاد می‌شود و در نتیجه مقدار جذب نیترات کاهش می‌یابد. چابانی و همکاران (2007 و 2009) با رزین Amberlite IRA-400 به نتایج مشابهی در این زمینه رسیده‌اند.

#### هم‌دمای تعادلی جذب

##### همدمای لانگمویر

یکی از معروف‌ترین هم‌دمای تعادلی جذب، معادله لانگمویر است. مطابق مدل لانگمویر، یک ماده جذب‌شده مشخص، تنها در یک لایه مولکولی بر روی سطح جذب‌کننده باقی می‌ماند (چابانی و همکاران 2009). در همدمای جذب لانگمویر فرض می‌شود لایه جذبی شامل یک لایه‌ی ملکولی است و کلیه‌ی محل‌های

اخیر، روش‌های تحلیل خطای متعددی از جمله خطای مجموع مربعات، تابع خطای هیبرید، درصد انحراف معیار مارکوئارت، میانگین خطای نسبی و مجموع خطاهای مطلق، جهت برازش داده‌های جذب سطحی به معادلات همدمای جذب تعادلی مورد استفاده قرار گرفته است (هو و همکاران 2002 و آلن و همکاران 2003).

در پژوهش حاضر، داده‌های جذب سطحی نیترات روی رزین Purolite A-400 با معادله غیرخطی لانگمویر و دو فرم خطی شده آن، معادله غیر خطی فرن‌دلیچ و یک فرم خطی شده آن و همچنین معادلات غیر خطی ردلیچ-پترسون و سیپس مقایسه شدند. دقت برازش داده‌ها بر معادلات همدمای مورد مطالعه بر پایه ضریب تبیین ( $R^2$ ) و آزمون آماری مربع کی بررسی شد و ویژگی‌های رزین Purolite A-400 در ارتباط با حذف نیترات تفسیر گردید.

## نتایج و بحث

### بررسی اثر دما و pH بر ظرفیت تعادلی جذب

در شکل 1، مقادیر محاسبه شده ظرفیت تعادلی جذب،  $q_e$  برحسب میلی‌گرم نیترات جذب شده بر گرم رزین، در مقابل غلظت‌های اولیه نیترات،  $C_0$ ، برای دو دما و دو pH رسم شده است. مشاهده می‌شود که در ابتدا با افزایش غلظت‌های اولیه نیترات (100-5 میلی‌گرم نیترات بر لیتر) مقدار جذب به صورت خطی افزایش می‌یابد ولی در ادامه با افزایش بیشتر غلظت اولیه نیترات (200-100 میلی‌گرم نیترات بر لیتر) سرعت افزایش جذب، کاهش یافته و در نهایت به مقدار تقریباً ثابتی می‌رسد.

(چابانی و همکاران 2009). چهار فرم مختلف خطی شده از معادله لانگمویر ارائه شده است (هو 2006) که از بین آن‌ها دو معادله‌ی 3 و 4 به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (چابانی و همکاران 2009):

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{bq_0} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_0} \quad [3]$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bq_0} + \frac{1}{q_0} C_e \quad [4]$$

جذب، انرژی و انتالپی‌های جذب یکسانی اعمال می‌کنند. مدل همدمای لانگمویر با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$q_e = \frac{q_0 b C_e}{1 + b C_e} \quad [2]$$

که در آن  $q_e$  ظرفیت تعادلی جذب،  $C_e$  غلظت تعادلی و  $q_0$  و  $b$  پارامترهای مدل لانگمویر بوده و به ترتیب به حداکثر ظرفیت جذب و انرژی جذب مربوط می‌شوند. حداکثر ظرفیت جذب  $q_0$  توصیف کننده جذب تک لایه‌ای ماده جذب شده روی سطح جذب کننده و ثابت تعادلی جذب  $b$  نشان دهنده انتالپی فرایند جذب می‌باشد

جدول 2- پارامترهای مدل لانگمویر و اطلاعات آماری مربوط به برازش معادلات بر نتایج آزمایش.

حدود اطمینان (%)	$\chi^2$	$R^2$	b (ml/mg)	$q_0$ (mg-NO <sub>3</sub> /g-resin)	رابطه	مدل	دما (°C)	pH
99/5	0/939	0/9910	0/017	105/52	[2]	لانگمویر غیر خطی		
99/5	0/866	0/9999	0/014	117/65	[3]	لانگمویر خطی	20	
99/5	0/807	0/9762	0/015	111/11	[4]	لانگمویر خطی		6/5
97/5	1/532	0/9899	0/033	99/33	[2]	لانگمویر غیر خطی		
1/0	17/642	0/9881	0/076	60/61	[3]	لانگمویر خطی	25	
95/0	1/702	0/9761	0/035	96/15	[4]	لانگمویر خطی		
99/0	1/053	0/9895	0/024	72/35	[2]	لانگمویر غیر خطی		
97/5	1/653	0/9983	0/023	68/03	[3]	لانگمویر خطی	20	
99/5	0/879	0/9764	0/021	75/19	[4]	لانگمویر خطی		7/5
99/5	0/897	0/9911	0/023	87/85	[2]	لانگمویر غیر خطی		
99/0	1/077	0/9998	0/017	105/26	[3]	لانگمویر خطی	25	
99/5	0/737	0/9778	0/020	92/59	[4]	لانگمویر خطی		

جدول 2 نشان می‌دهد که در تمامی شرایط آزمایش و هر سه معادله مورد استفاده،  $R^2$  نشان‌دهنده دقت بالای برازش است. اما در شکل 2 مشاهده می‌شود که در برخی حالات، مدل مورد استفاده دارای برازش مناسب نبوده است و در نتیجه نمی‌توان تنها ملاک انتخاب هم-دمای مناسب را  $R^2$  بالا در نظر گرفت.

در این تحقیق جهت بررسی نکویی برازش، علاوه بر  $R^2$ ، آزمون آماری  $\chi^2$  نیز مد نظر قرار گرفته است.

با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی و ترسیم نمودار  $1/q_e$  در برابر  $1/C_e$  و نمودار  $C_e/q_e$  در برابر  $C_e$  و همچنین تحلیل رگرسیون غیرخطی برای هر یک از سه رابطه 2، 3 و 4 به طور جداگانه، پارامترهای مدل لانگمویر و اطلاعات آماری مربوطه استخراج و در جدول 2 درج گردیده است. در شکل 2 برازش نتایج آزمایش با فرم اصلی معادله لانگمویر و دو فرم خطی شده آن مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج مندرج در

نکته قابل توجه دیگر، خطایی است که در هنگام تبدیل معادله لانگمویر به فرم‌های خطی به وجود می‌آید. مقایسه نتایج برازش ارقام مشاهداتی آزمایش‌های فوق بر معادله اصلی لانگمویر و دو فرم خطی شده آن نشان می‌دهد که برازش معادله اصلی لانگمویر (رابطه 2)، در هیچ یک از شرایط آزمایش در محدوده اطمینان کمتر از 99 درصد قرار نداشته، در حالی که فرم خطی آن با رابطه 3 در محدوده اطمینان بیش از 1 درصد و فرم خطی مدل لانگمویر با رابطه 4 در محدوده اطمینان بیش از 95 درصد نیز قرار داشته‌اند.

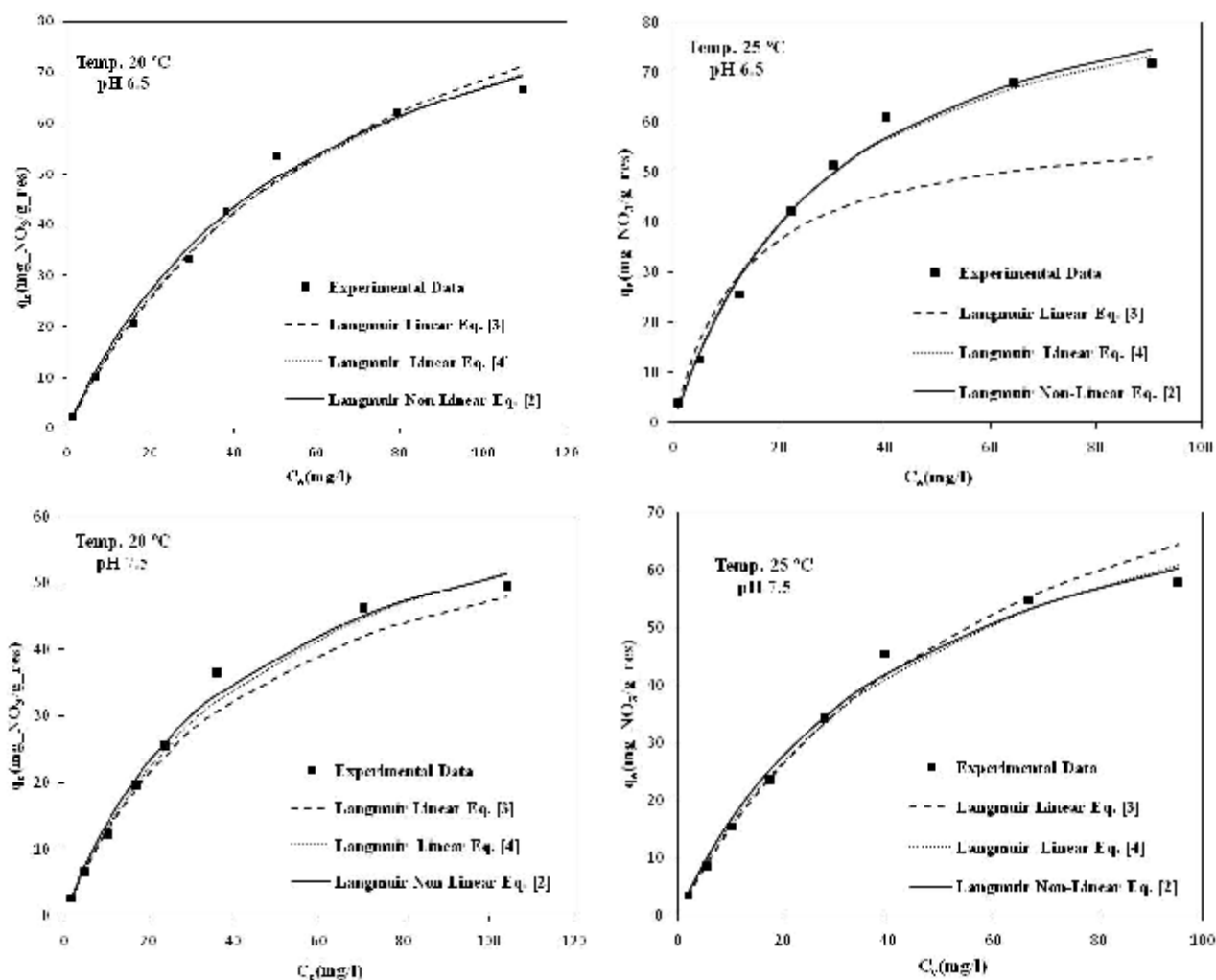
تیواری و همکاران (2007) و رامچاندرا و سوزا (1999) معتقدند که پارامتر  $b$  در همدمای جذب لانگمویر به عنوان نمایه‌ای برای توصیف انرژی پیوندی جذب سطحی می‌باشد و پارامتر  $q_0$  حداکثر جذب-سطحی یون‌ها بر روی سطوح جذب‌کننده را نشان می‌دهد. با توجه به ارقام پارامتر  $b$  مربوط به فرم اصلی معادله لانگمویر (رابطه 2)، می‌توان بیان کرد که رزین Purolite A-400 برای جذب نیترات در pH 6/5 و دمای  $20^\circ\text{C}$  دارای کمترین تمایل پیوندی بوده و در pH 6/5 و دمای  $25^\circ\text{C}$ ، بیشترین تمایل پیوندی را از خود نشان می‌دهد. محدوده پارامتر  $q_0$  همدمای جذب لانگمویر بین 105/52 - 72/35 میلی‌گرم نیترات در گرم رزین بوده است، یعنی حداکثر جذب سطحی نیترات بر به وسیله رزین در pH 7/5 و دمای  $20^\circ\text{C}$  دارای کمترین مقدار و در pH 6/5 و دمای  $20^\circ\text{C}$  دارای بیشترین مقدار است. با توجه به این که  $q_0$  نشان دهنده حداکثر مقدار یونی است که می‌تواند در واحد وزن ماده جذب‌کننده جذب شود، می‌توان گفت که رزین Purolite A-400 در pH 7/5 و دمای  $20^\circ\text{C}$  زودتر از سایر شرایط آزمایش به حداکثر جذب نیترات می‌رسد.

مقدار  $C^2$  با استفاده از رابطه 5 محاسبه شده و این مقدار محاسباتی ( $C_{cal}^2$ ) با مقادیر  $C^2$  جدول ( $C_{tab}^2$ )، که بر مبنای سطح معنی‌داری و درجه آزادی مشاهدات تعیین گردیده است، مقایسه می‌شود. در آزمون آماری  $\chi^2$  در صورت احراز شرط  $C_{cal}^2 < C_{tab}^2$  برازش در سطح معنی‌داری مورد نظر اعتبار خواهد داشت.

$$C^2 = \sum \frac{(q_{e,exp} - q_{e,cal})^2}{q_{e,exp}} \quad [5]$$

در رابطه فوق؛  $q_{e,exp}$  و  $q_{e,cal}$  به ترتیب مقادیر ظرفیت تعادلی جذب اندازه‌گیری شده و محاسباتی می‌باشد. در این تحقیق با توجه به تعداد نقاط اندازه‌گیری در هر آزمایش، درجه آزادی مشاهدات برابر 7 خواهد بود، بنابراین مقادیر  $C_{tab}^2$  به ازای سطوح معنی‌داری مختلف و درجه آزادی 7، در جدول 3 ارائه شده است. با مقایسه مقادیر محاسباتی  $\chi^2$  با ارقام مندرج در جدول 3، حدود اطمینان معادلات برازش داده شده تعیین و در ستون آخر جدول 2 درج گردیده است.

با توجه به مقادیر  $C^2$  محاسبه شده و میزان انطباق معادلات با نتایج آزمایش‌ها در شکل 2، می‌توان چنین استنباط کرد که استفاده از آزمون آماری  $C^2$  در کنار  $R^2$  در بررسی نتایج آزمایش همدمای جذب مفید بوده و از مشکلات استنتاج صرف بر مبنای  $R^2$  خواهد کاست. توجه به نتایج و نمودار مربوط به آزمایش همدمای جذب با pH برابر 6/5 و دمای 25 درجه سلسیوس، تأییدی بر استنباط فوق خواهد بود. در این آزمایش رابطه خطی 3 با ضریب تبیین  $R^2$  برابر با 0/988، که بسیار معنی‌دار است، بر نتایج مشاهداتی برازش داده شده است، در حالی که نمودار حاصل که در شکل 2 رسم شده است به وضوح از نتایج مشاهداتی فاصله گرفته است و مقدار  $\chi^2$  محاسباتی نیز این مسأله را تأیید می‌کند.



شکل 2- مقایسه برازش نتایج آزمایش با فرم اصلی معادله لانگمویر و دو فرم خطی شده آن.

جدول 3- توزیع  $C^2$  به ازای سطوح معنی‌داری مختلف و درجه آزادی هفت.

0/990	0/950	0/900	0/750	0/500	0/250	0/100	0/050	0/025	0/010	0/005	سطح معنی‌داری، $a$
18/475	14/067	12/017	9/040	6/346	4/255	2/833	2/167	1/690	1/239	0/989	$C^2$

است. این مدل توصیف کننده جذب برگشت پذیر بوده و به تشکیل یک لایه‌ی جذب محدود نشده است (نگ و همکاران 2002). از دیدگاه دونات و همکاران (2005) این مدل ناهمگنی سطوح جذب و نحوه توزیع محل‌های تبدالی فعال و انرژی آن‌ها را توصیف می‌کند. این معادله نقطه‌ای را برای اشباع شدن ماده جاذب پیش‌بینی نمی‌کند، و پوشش سطحی نامحدودی که از نظر ریاضی

### هم‌دمای فرن‌دلیچ

مدل جذب فرن‌دلیچ شکل دیگری از معادله لانگمویر برای جذب روی سطوح ناهمگن است. بر پایه این مدل مقدار جذب معادل مجموع جذب به وسیله کلیه محل‌های جذبی است که هر یک دارای انرژی جذبی مربوط به خود هستند. مدل جذب فرن‌دلیچ با افزودن فرض توزیع نمایی انرژی جذب به معادله لانگمویر به دست آمده



معادلات برازش داده شده در محدوده اطمینان کمتر از 50 درصد قرار دارند، که رضایت بخش نیست. فرم اصلی معادله فرندلیچ و فرم خطی شده آن مقایسه شده است. نتایج مندرج در

پارامتر  $k_f$  در معادله اصلی فرندلیچ، دارای محدوده 8/634 - 4/232 (برحسب میلی گرم نیتрат در گرم رزین) است. حد پایین این پارامتر مربوط به pH 7/5 و دمای 20°C بوده و حد بالای آن مربوط به pH 6/5 و دمای 25°C می باشد. بنابراین تمایل ایجاد پیوند و ظرفیت جذب سطحی نیترات بر روی رزین در pH 6/5 و دمای 25°C بیشتر است. پارامتر  $n$  معادله فرندلیچ دارای محدوده 2/036 - 1/736 است. حد پایین و بالای پارامتر  $n$  به ترتیب مربوط به pH 6/5 و دماهای 20°C و 25°C است. حد بالای این پارامتر مربوط به شرایطی است که رزین دارای بیشترین مقدار  $k_f$  نیز هست. به عبارتی می توان نتیجه گرفت که ظرفیت جذب سطحی نیترات و تمایل پیوندی رزین Purolite A-400 در pH 6/5 و دمای 25°C و شدت جذب رزین در pH 6/5 و دمای 20°C حداکثر بوده است.

محاسبه می شود نمایانگر جذب چند لایه ای بر روی سطوح تبدیلی است (دونات و همکاران 2005). معادله اصلی فرندلیچ به صورت زیر است:

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad [6]$$

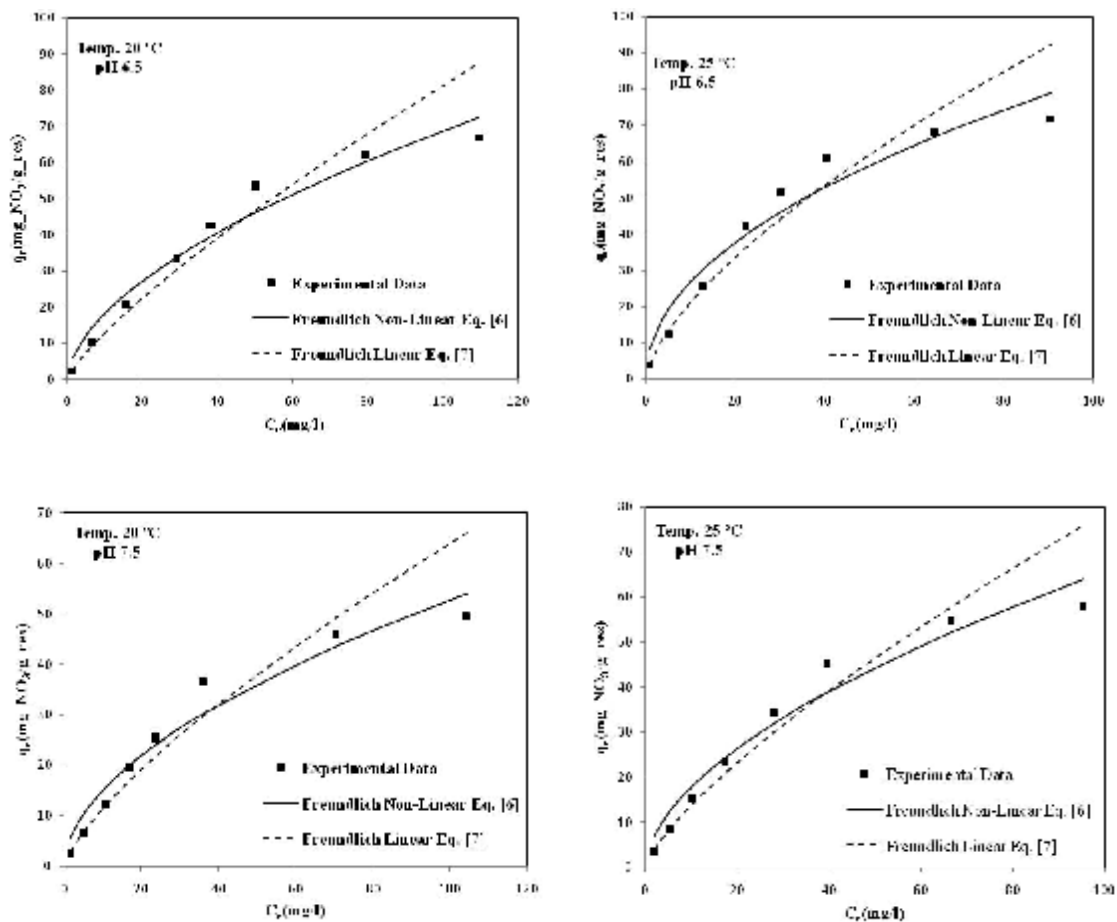
که در آن  $k_f$  پارامتری است که با ظرفیت جذب سطحی یا با تعداد لایه های قابل جذب ماده جاذب متناسب است و  $n$  پارامتری است که نشان دهنده میزان جذب می باشد. از نظر ساماتیا و همکاران (2006)  $k_f$  و  $n$  به ترتیب به ظرفیت جذب و شدت جذب مربوط می شوند. مقادیر  $n$  نزدیک به یک نشان دهنده فرایند جذب مطلوب خواهد بود (چابانی و همکاران 2009). شکل خطی معادله فرندلیچ به صورت زیر نوشته می شود:

$$\ln q_e = \ln k_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad [7]$$

با استفاده از تحلیل رگرسیون غیرخطی و همچنین تحلیل رگرسیون خطی و ترسیم نمودار  $\ln q_e$  در برابر  $\ln C_e$ ، برای هر یک از دو رابطه 6 و 7 به طور جداگانه، پارامترهای مدل فرندلیچ و اطلاعات آماری مربوطه محاسبه و در جدول 4 درج گردیده است. در شکل 3 نیز، برازش نتایج آزمایش با جدول 4 نشان می دهد در حالی که  $R^2$  ارقام بالا و معنی داری دارد، ولی مقادیر  $\chi^2$  محاسباتی ارقام بالایی داشته و نشان می دهد که

جدول 4- پارامترهای مدل فرندلیچ و اطلاعات آماری مربوط به برازش معادلات بر نتایج آزمایش.

حدود اطمینان (%)	$\chi^2$	$R^2$	n	$k_f$ (mg_NO <sub>3</sub> /g_resin)	رابطه	مدل	دما (°C)	pH
10	9/879	0/9645	1/736	4/847	[6]	فرندلیچ غیر خطی	20	6/5
25	8/880	0/9822	1/252	2/056	[7]	فرندلیچ خطی	25	
10	11/429	0/9492	2/036	8/634	[6]	فرندلیچ غیر خطی	25	7/5
10	9/161	0/9804	1/494	4/528	[7]	فرندلیچ خطی	20	
25	8/452	0/9532	1/825	4/232	[6]	فرندلیچ غیر خطی	20	7/5
25	8/058	0/9725	1/333	2/025	[7]	فرندلیچ خطی	25	
25	8/452	0/9579	1/768	4/852	[6]	فرندلیچ غیر خطی	25	7/5
25	7/736	0/9754	1/317	2/386	[7]	فرندلیچ خطی	25	



شکل 3- مقایسه برازش نتایج آزمایش با فرم اصلی معادله فرندلیچ و فرم خطی شده آن.

پترسون هستند، و  $(0 < b < 1)$ ، توان و نشان دهنده درجه ناهمگنی ماده جاذب است:

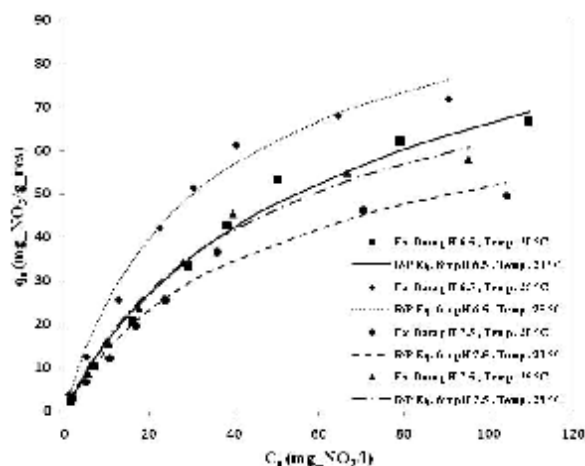
$$q_e = \frac{AC_e}{1 + BC_e^b} \quad [8]$$

در صورتی که پوشش سطحی خیلی کم باشد  $(b = 0)$ ، این معادله خطی شده و به قانون هنری تبدیل می‌شود. برای پوشش سطحی زیاد (به ازای  $A, B \gg 1$  و  $b < 1$ )، این معادله شبیه معادله فرندلیچ خواهد شد (واسنت کومار و همکاران 2008)، که در آن نسبت  $A/B$  و  $(1 - b)$  به ترتیب در ارتباط با  $k_f$  و  $n$  در معادله فرندلیچ خواهند بود (ژو و همکاران 1996). در شرایطی که  $b = 1$  باشد معادله ردلیچ - پترسون به معادله لانگمویر شباهت خواهد

اطلاعات آماری مندرج در جدول 4 و نمودارهای ترسیم شده در شکل 3 نشان می‌دهد که معادله فرندلیچ برازش خوبی بر نتایج آزمایش‌های جذب نیترات به وسیله رزین Purolite A-400 نداشته است، و این فرایند جذب را شاید نتوان چند لایه‌ای تلقی نمود. در حالی که برازش مناسب معادله لانگمویر بر نتایج آزمایش‌ها آن هم با حدود اطمینان بالا، تک لایه‌ای بودن این فرایند را محتمل‌تر می‌کند.

#### هم‌دمای ردلیچ - پترسون

مدل هم‌دمای ردلیچ - پترسون شامل سه پارامتر  $A$ ،  $B$  و  $b$  است.  $A$  و  $B$  ثابت‌های هم‌دمای ردلیچ -



شکل 4- برازش نتایج آزمایش‌ها بر فرم اصلی معادله ردلیچ - پترسون.

مقادیر  $A$  تا حدودی بزرگتر از یک هستند، اما مقادیر  $B$  بسیار کوچک بوده و بنابراین نمی‌توان این همدمای را شبیه به معادله فرندلیچ دانست. براین اساس می‌توان گفت که پوشش سطحی نیترات بر روی رزین چندان قابل ملاحظه نبوده است. در مقابل، مقادیر نزدیک به یک پارامتر  $b$  از یک سو و نزدیکی مقادیر  $B$  به مقادیر ثابت تعادلی جذب  $b$  در معادله لانگمویر، از سوی دیگر، نشان‌دهنده شباهت نسبی همدمای ردلیچ - پترسون به معادله لانگمویر در جذب نیترات به وسیله رزین Purolite A-400 است.

داشت (هو و همکاران 2002). در این حالت نسبت  $A/B$  از نظر عددی مساوی ظرفیت جذب تک لایه‌ای ( $q_0$ ) و  $B$  مساوی ثابت تعادلی جذب خواهد شد (چابانی و همکاران 2009). هر چند تعیین سه پارامتر معادله ردلیچ - پترسون با خطی کردن معادله کار ساده‌ای نیست، اما تا کنون با تکیه بر تکنیک سعی و خطا دو فرم خطی از این معادله جهت تعیین پارامترهای آن با استفاده از رگرسیون خطی ارائه شده است (وو و همکاران 2010). در یکی از این روش‌ها با تکنیک سعی و خطا و رگرسیون خطی، مقدار بهینه پارامتر  $A$  و در دیگری مقدار بهینه پارامتر  $b$  هر دو به ازای بیشترین مقدار  $R^2$  تعیین شده‌اند.

با استفاده از تحلیل رگرسیون غیرخطی سه پارامتر مدل ردلیچ - پترسون و اطلاعات آماری مربوطه محاسبه و در جدول 5 درج گردیده است. در شکل 4، برازش نتایج آزمایش‌ها بر مدل ردلیچ - پترسون ارائه شده است. مقادیر  $R^2$  بالا و مقادیر  $\chi^2$  محاسباتی پایین می‌باشند. معادلات برازش داده شده در سطوح اعتماد بالای 95 درصد قرار دارند (جدول 5)، که بسیار رضایت بخش است.

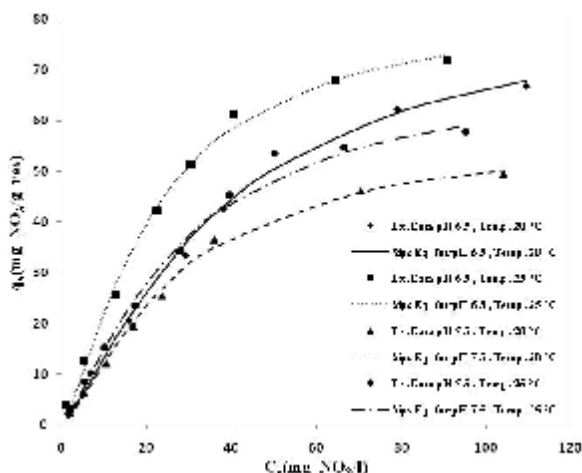
مقادیر پارامتر  $b$  مندرج در جدول 5، کمتر از یک بوده و می‌توان احتمال شباهت به همدمای فرندلیچ و در نتیجه پوشش سطحی قابل ملاحظه نیترات به وسیله رزین را بررسی کرد. با این وجود و هر چند که

جدول 5- پارامترهای مدل ردلیچ - پترسون و اطلاعات آماری مربوط به برازش معادله بر نتایج آزمایش.

حدود اطمینان (%)	$\chi^2$	$R^2$	$b$	$B$ (l/mg)	$A$ (l/g)	دما (°C)	pH
97/5	1/532	0/9865	0/849	0/044	2/136	20	6/5
95/0	1/817	0/9874	0/940	0/046	3/530	25	
95/0	1/810	0/9840	0/865	0/053	1/988	20	7/5
97/5	1/368	0/9885	0/918	0/038	2/219	25	

همدمای سیس

محاسباتی با مقادیر جدول 3 نشان می‌دهد که معادلات برازش داده شده به غیر از آزمایش pH 6/5 و دمای 25°C در سطوح اعتماد بالای 99 درصد قرار دارند. برازش مدل سیس بر نتایج آزمایش در pH 6/5 و دمای 25°C نیز در محدوده اطمینان بیش از 90 درصد قرار دارد که باز هم رضایت بخش است.



شکل 5- برازش نتایج آزمایش‌ها بر مدل همدمای سیس

مدل همدمای سیس را می‌توان ترکیبی از دو هم-دمای لانگمویر و فرنلیچ دانست که با رابطه زیر بیان شده است (پاپاگئورگیو و همکاران 2006):

$$q_e = \frac{q_0 (bC_e)^{1/n}}{1 + (bC_e)^{1/n}} \quad [9]$$

که در آن  $b$  ثابت تعادلی جذب سیس،  $1/n$  توان و شاخصی از ناهمگنی و  $q_0$  تعداد مکان‌های تبدالی فعال روی ماده جاذب است. مقادیر  $1/n \ll 1$  نشان دهنده ناهمگنی سطح ماده جاذب بوده در صورتی که مقادیر نزدیک به یک یا مساوی یک نشان‌دهنده همگنی سطوح فعال ماده جاذب است. در این حالت معادله سیس به معادله لانگمویر تبدیل می‌شود.

برازش معادله سیس بر نتایج آزمایش‌های جذب نیترات به وسیله رزین Purolite A-400 در شکل 5 و نتایج تحلیل رگرسیون غیرخطی جهت تعیین پارامترهای مدل سیس در جدول 6 ارائه شده است. نتایج مندرج در جدول 6 با مقادیر  $R^2$  بالا و مقادیر  $\chi^2$  محاسباتی پایین و نمودارهای شکل 5، نشان از برازش خوب معادله سیس بر نتایج آزمایش‌ها دارد. مقایسه مقادیر  $\chi^2$

جدول 6- پارامترهای مدل سیس و اطلاعات آماری مربوط به برازش معادله بر نتایج آزمایش.

حدود اطمینان (%)	$\chi^2$	$R^2$	$1/n$	$b$ (ml/mg)	$q_0$ (mg <sub>NO3</sub> /g <sub>resin</sub> )	دما (°C)	pH
99/0	1/192	0/9947	1/290	0/027	84/93	20	6/5
90/0	2/417	0/9949	1/320	0/047	83/66	25	
99/0	1/067	0/9963	1/381	0/038	57/72	20	7/5
99/5	0/758	0/9959	1/295	0/036	71/30	25	

مقدار پارامتر  $q_0$  برای جذب نیترات در pH 7/5 کمتر شده است. مقادیر پارامتر  $1/n$  در کلیه شرایط آزمایش بیش از یک است که نشان‌دهنده توزیع محل‌های تبدالی فعال روی سطوح همگن است. از طرفی، با توجه به ویژگی پارامتر  $1/n$  در همدمای سیس و مقادیر

مقادیر پارامتر  $q_0$  در معادله سیس نشان می‌دهد که حداکثر جذب سطحی (تعداد محل‌های تبدالی فعال روی رزین) برای جذب نیترات در pH 6/5 اتفاق می‌افتد. تعدادی از این محل‌های تبدالی فعال روی رزین در pH 7/5 توسط یون  $OH^-$  اشغال شده و در نتیجه

آزمون آماری  $\chi^2$  باشد، مدل لانگمویر با مقدار میانگین  $\chi^2$  برابر 1/105 به طور متوسط در محدوده اطمینان 99 درصد قرار داشته و مدل سیپس و ردلیچ - پترسون به ترتیب با مقادیر میانگین  $\chi^2$  برابر 1/357 و 1/632 بعد از آن در محدوده اطمینان 97/5 درصد واقع شده- اند. مدل فرندلیچ هم با مقدار میانگین  $\chi^2$  برابر 9/553 در محدوده اطمینان 10 درصد قرار دارد، که به رغم ضریب تبیین بالا، برازش این مدل رضایت بخش نیست. به این ترتیب با توجه به نمودارهای شکل 6 و با در نظر گرفتن هم زمان هر دو معیار  $R^2$  بالا و آزمون آماری  $\chi^2$ ، می توان مدل لانگمویر و پس از آن مدل سیپس و ردلیچ - پترسون را به عنوان بهترین مدل های همدمای برای توجیه رفتار رزین آنیونی Purolite A-400 جهت جذب نیترات از آب در نظر گرفت.

هر چند غیر از مدل فرندلیچ، سه مدل دیگر برازش خوبی بر نتایج آزمایش ها داشته اند اما با مقایسه مقادیر پارامترهای مدل های مذکور و با در نظر گرفتن ویژگی های هر یک از پارامترها و ارتباط بین این مدل ها می توان نشان داد که مقادیر پارامترهای محاسبه شده برای دو مدل ردلیچ - پترسون و سیپس این دو

تخمینی این پارامتر با مقایسه ارقام پارامترهای  $q_0$  و  $b$  در دو جدول 2 و 6 می توان از نزدیکی پارامترهای  $q_0$  و  $b$  در مدل سیپس و لانگمویر نتیجه گرفت که جذب نیترات به وسیله رزین آنیونی Purolite A-400 از نوع لانگمویر (یعنی تک لایه ای) است.

#### مقایسه همدمای تعادلی جذب

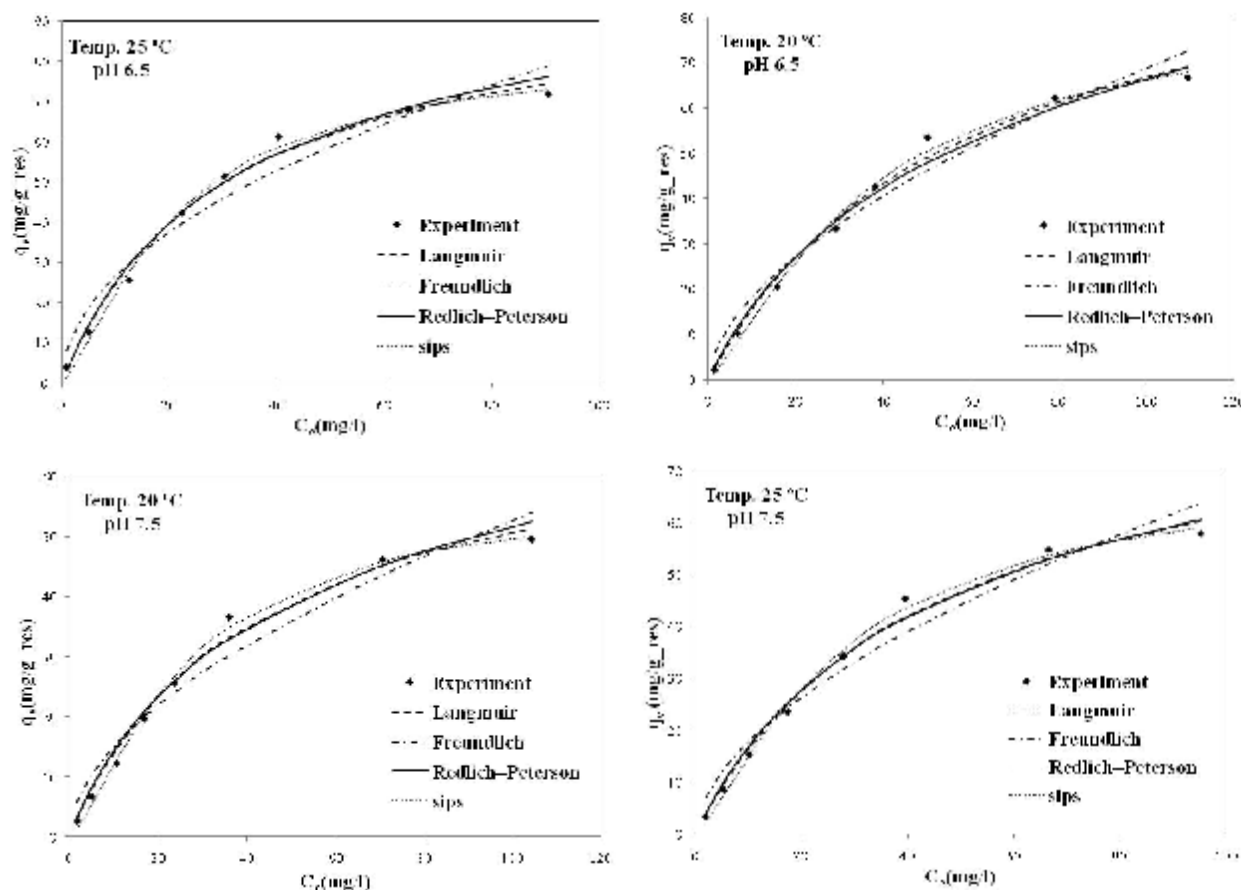
جهت ارزیابی و مقایسه نتایج برازش مدل های همدمای جذب مختلف بر نتایج آزمایش های جذب نیترات به وسیله رزین آنیونی Purolite A-400، مقادیر پارامترهای آماری مربوط به فرم اصلی چهار معادله ی مورد بررسی در جدول 7 ارائه شده است. همچنین در شکل 6 نمودار معادلات چهارگانه برازش داده شده بر نتایج آزمایش ها مقایسه شده است.

از بین مدل های همدمای مختلف، مدل سیپس دارای بیشترین مقدار میانگین  $R^2$  (0/9954) بوده و پس از آن به ترتیب مدل لانگمویر با میانگین ضریب تبیین 0/9904، ردلیچ - پترسون با ضریب تبیین 0/9866 و فرندلیچ با ضریب تبیین 0/9562 در رتبه های بعدی قرار داشته اند. در صورتی که مبنای قضاوت

جدول 7- پارامترهای آماری مربوط به برازش مدل های همدمای مختلف بر نتایج آزمایش.

pH	دما (°C)	مدل لانگمویر			مدل فرندلیچ			مدل ردلیچ - پترسون			مدل سیپس		
		حدود	$\chi^2$	$R^2$	حدود	$\chi^2$	$R^2$	حدود	$\chi^2$	$R^2$	اطمینان (%)	$\chi^2$	
6/5	20	99/5	0/939	0/9910	10	9/879	0/9645	97/5	1/532	0/9865	99/0	1/192	0/9947
	25	99/5	0/866	0/9999	25	8/880	0/9822	95/0	1/817	0/9874	90/0	2/417	0/9949
7/5	20	99/5	0/807	0/9762	10	11/429	0/9492	95/0	1/810	0/9840	99/0	1/067	0/9963
	25	97/5	1/532	0/9899	10	9/161	0/9804	97/5	1/368	0/9885	99/5	0/758	0/9959
میانگین		99/0†	1/105	0/9904	10/0†	9/553	0/9562	97/5†	1/632	0/9866	97/5†	1/357	0/9954

† حدود اطمینان به ازای میانگین  $\chi^2$



شکل 6- مقایسه مدل‌های هم‌دمای جذب مختلف با نتایج آزمایش‌ها.

در pH 7/5 به جای نیترات توسط یون OH<sup>-</sup> اشغال شده است. با توجه به نتایج سایر هم‌دمای می‌توان گفت که این محل‌های تبدالی فعال، روی سطح همگن توزیع شده و انرژی جذب یکسانی اعمال می‌کنند.

#### سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پروژه تحقیقاتی است که طی قرارداد شماره 100/10123 به سفارش شرکت آب و فاضلاب روستایی گیلان در پارک علم و فناوری گیلان توسط نویسندگان اجرا گردیده است.

مدل را به مدل لانگمویر شبیه کرده است. البته باید توجه داشت که بررسی هر یک از مدل‌ها می‌تواند به توجیه بهتر ویژگی‌های فرایند جذب کمک نماید.

از جنبه عملی، با توجه به نتایج هم‌دمای لانگمویر می‌توان گفت که رزین Purolite A-400 برای جذب نیترات در دمای 25°C تمایل پیوندی بیشتری (به طور متوسط حدود 30 درصد) نسبت به دمای 20°C، داشته است. همچنین حداکثر جذب سطحی نیترات بر روی رزین که متناسب با تعداد محل‌های تبدالی فعال روی رزین است در pH 6/5 نسبت به مقدار آن در pH 7/5 به طور متوسط 25 درصد بیشتر بوده است. به بیان دیگر، تعدادی از این محل‌های تبدالی فعال روی رزین

- Allen SJ, Gan Q, Matthews R and Johnson PA, 2003. Comparison of optimized isotherm models for basic dye adsorption by kudzu. *Bioresource Technology* 88: 143–152.
- Ann M and Franson H, 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 19th Edition. American Public Health Association.
- Arslanoglu FN, Kar F and Arslan N, 2005. Adsorption of dark coloured compounds from peach pulp by using powdered-activated carbon. *Journal of Food Engineering* 71: 156-163.
- Bae BU, Jung YH, Han WW and Shin HS, 2002. Improved brine recycling during nitrate removal using ion exchange. *Journal of Water Research* 36: 3330-3340
- Boumediene M and Achour D, 2004. Denitrification of the underground waters by specific resin exchange of ion. *Desalination* 168: 187-194.
- Bouwer H, 1989. Agricultural contamination: problems and solutions. *Water Environment and Technology* 1: 292–297.
- Chabani M, Amrane A and Bensmaili A, 2006. Kinetic modelling of the adsorption of nitrates by ion exchange resin. *Chemical Engineering Journal* 125: 111-117.
- Chabani M, Amrane A and Bensmaili A, 2007. Kinetics of nitrates adsorption on Amberlite IRA-400. *Desalination* 206: 560-567.
- Chabani M, Amrane A and Bensmaili A, 2009. Equilibrium sorption isotherms for nitrate on resin Amberlite IRA-400. *Journal of Hazardous Materials* 165: 27-33.
- Clifford DA and Liu X, 1993. Ion exchange for nitrate removal. *American Water Works Association* 85(4): 135-143.
- Donat R, Akdogan A, Erdem E and Cetisli H, 2005. Thermodynamics of  $Pb^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  adsorption onto natural bentonite from aqueous solutions. *Journal of Colloid and Interface Science* 286: 43–52.
- Freundlich HMF, 1906. Over the adsorption in solution. *Journal of Physical Chemistry* 57: 385-470.
- Ho YS, 2006. Isotherms for the sorption of lead onto peat: comparison of linear and non-linear methods. *Polish Journal of Environmental Studies* 15: 81–86.
- Ho YS, 2004. Selection of optimum sorption isotherm. *Carbon* 42: 2113–2130.
- Ho YS, Porter JF and McKay G, 2002. Equilibrium isotherm studies for the sorption of divalent metal ions onto peat: copper, nickel and lead single component systems. *Water, Air and Soil Pollution* 141: 1–33.
- Langmuir I, 1916. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. *Journal of the American Chemical Society* 38: 2221–2295

- Logan TJ, Eckert DJ and DG Beak, 1994. Tillage, crop and climatic effects on runoff and tile drainage losses of nitrate and 4 herbicides. *Soil and Tillage Research* 30: 75-103.
- Mizuta K, Matsumoto T, Hatate Y, Nishihara K and Nakanishi T, 2004. Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal. *Bioresource Technology* 95: 255-257.
- Ng JCY, Cheung WH and McKay G, 2002. Equilibrium studies of the sorption of Cu(II) ions onto chitosan. *Journal of Colloid and Interface Science* 255: 64-74.
- Öztürk N and Ennil Bektas T, 2004. Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials. *Journal of Hazardous Materials* 112: 155-162.
- Papageorgiou SK, Katsaros FK Kouvelos EP, Nolan, JW Deit HL and Kanellopoulos NK, 2006. Heavy metal sorption by calcium alginate beads from *Laminaria digitata*, *Journal of Hazardous Materials* 137: 1765-1772.
- Ramachandran V and Souza TJD, 1999. Adsorption of cadmium by Indian soils. *Water, Air and Soil Pollution* 111: 225-234.
- Ratkowsky DA, 1990. *Handbook of Nonlinear Regression Models*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Redlich O and Peterson DL, 1959. A useful adsorption isotherm. *Journal of Physical Chemistry* 63: 1024-1030
- Samatya S, Kabay N, Yuksel U, Arda M and Yuksel M, 2006. Removal of nitrate from aqueous solution by nitrate selective ion exchange resins. *Reactive and Functional polymers* 66: 1206-1214.
- Scheidegger AM, Fendorf M and Sparks DL, 1996. Mechanisms of nickel sorption on pyrophyllite: Macroscopic and microscopic approaches. *Soil Science Society of America Journal* 60: 1763-1772.
- Tiwari RP, Bala Ramudu P, Srivastava RK and Gupta MK, 2007. Sorption and desorption studies of metallic zinc on an alluvial soil. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering* 4: 139-146
- Vasanth Kumar K, Porkodi K and Rocha F, 2008. Comparison of various error functions in predicting the optimum isotherm by linear and non-linear regression analysis for the sorption of basic red 9 by activated carbon. *Journal of Hazardous Materials* 150: 158-165.
- Wu FC, Liu BL, Wu KT and Tseng RL, 2010. A new linear form analysis of Redlich-Peterson isotherm equation for the adsorptions of dyes. *Chemical Engineering Journal* 162: 21-27.
- Zhou ML, Martin G, Taha S and Sant'anna F, 1996. Adsorption isotherm comparison and modeling in liquid phase onto activated carbon. *Water Research* 32: 1109-1118.



## راهنمای تهیه و شرایط پذیرش مقاله

۱۱ برای عنوان جدولها و شکلها (پیرنگ)، اسامی نویسندگان مقاله، منابع مورد استفاده و واژه‌های کلیدی ۹ تا ۱۱ برای کلمه‌ها و اعداد داخل جدولها و شکلها. ۱۰ برای پاورقی ۲-۱-۳- کلیه حروف، کلمه‌ها و جمله‌های خارجی با قلم Times New Roman نوشته می‌شوند.

۲-۱-۴- هر نوع واژه خارجی در متن مقاله، به استثنای اسامی علمی، به فارسی نوشته شده و سپس با ذکر شماره‌های بدون پارانتز به زیرنویس ارجاع داده می‌شود. اسامی نویسندگان منابع خارجی در متن مقاله نیز به زبان فارسی و بدون زیرنویس درج می‌گردند.

۲-۱-۵- اسامی علمی در متن مقاله، چکیده‌های فارسی و انگلیسی، واژه‌های کلیدی و منابع مورد استفاده با حروف ایتالیک تایپ می‌شوند.

۲-۱-۶- عنوان جدولها در بالا و عنوان شکلها در زیر آنها بدون استفاده از پارانتز و بعد از شماره مسلسل و خط تیره نوشته شده و به نقطه ختم می‌گردد. عنوان جدولها و شکلها می‌بایست کامل و گویا باشد.

۲-۱-۷- به جای به کار بردن عنوان‌هایی مانند نمودار، تصویر، عکس، نقشه و... از واژه "شکل" استفاده می‌شود. در شکلها نام متغیرها و مقیاس آنها در هر دو محور افقی و عمودی قید گردیده و واحد اعداد در سیستم متریک ارایه و به زبان فارسی تایپ می‌شوند.

۲-۱-۸- جدولها بدون استفاده از خطهای عمودی رسم شده و خطهای افقی نیز فقط برای جدا کردن عنوانها، سرتیترها و سایر موارد ضروری به کار می‌روند. شکلها نیز بدون استفاده از چارچوب و زمینه تهیه می‌شوند.

۲-۱-۹- ارجاع به جدولها و شکلها در متن مقاله بدون درج پارانتز صورت می‌گیرد، مگر این که شماره آنها در آخر جمله و به همراه واژه جدول و شکل ذکر گردد. مثال:

- شکل ۲ رابطه خطی دو متغیر را نشان می‌دهد.

- رابطه دو متغیر خطی است (شکل ۲).

۲-۱-۱۰- شماره کلیه فرمولها (در صورت شماره دار بودن) در داخل کروشه درج می‌گردد.

مجله دانش آب و خاک (دانش کشاورزی) مقاله‌های علمی و پژوهشی در زمینه علوم وابسته به خاک و آب را با رعایت موارد زیر می‌پذیرد:

### ۱- شرایط پذیرش

۱-۱- مقاله‌ای برای چاپ پذیرفته می‌شود که متن آن عینا در هیچ مجله، مجموعه مقاله‌های همایش‌ها و نشریه‌های دیگر منتشر و یا همزمان برای چاپ ارسال نشده باشد.

۱-۲- ترتیب اسامی نگارندگان در یک صفحه جداگانه که به امضای آنان رسیده است، با مشخص کردن مسئول مکاتبه ضمیمه شود. مسئولیت مطالب مندرج در مقاله به عهده نگارندگان آن است.

۱-۳- هیات تحریریه با توجه به نظر داوران محترم حق رد، قبول و یا ویرایش مقاله را دارد.

۱-۴- اصل مقاله ارسال شده به دفتر مجله عودت داده نخواهد شد.

### ۲- نحوه نگارش و تدوین

#### ۲-۱-۲- موارد کلی

۲-۱-۱- مقاله در کاغذ A<sub>4</sub> و حد اکثر در ۱۰ صفحه به صورت دو ستونی با فاصله یک سانتی‌متر در بین دو ستون، فاصله سطور یک سانتی‌متر و حاشیه (از بالا ۳/۵، پایین ۲، طرف راست ۲/۵، طرف چپ ۱/۵ باشد) تورفتگی به فاصله پنج حرف در شروع پاراگرافها و به صورت فایل (Word 2003) تهیه گردد. همچنین لازم است فایل مقاله، مشخصات نویسندگان، جدولها و شکلها در یک فایل جداگانه ضمیمه شوند. مقاله از طریق پست الکترونیکی به آدرس زیر [asci\\_tu@tabrizu.ac.ir](mailto:asci_tu@tabrizu.ac.ir) ارسال گردد.

۲-۱-۲- مقاله با قلم Yagot تایپ شده و اندازه قلم به شرح زیر خواهد بود:

۱۴ برای عنوان مقاله (پیرنگ)

۱۲ برای عنوان‌های فرعی (پیرنگ) و متن مقاله

عنوان استفاده نمی‌شود. همچنین، به کار بردن کلماتی مانند "مطالعه" و "بررسی" در ابتدای عنوان توصیه نمی‌گردد.

۲-۲-۲- چکیده فارسی در یک پاراگراف تهیه شده و مجموعه-ای فشرده و گویا از مقاله با تاکید بر هدف‌ها، روش‌ها، نتایج پژوهش و جمع‌بندی است. چکیده حداکثر در ۲۵۰ کلمه تنظیم می‌شود. در این بخش از ارجاع به منابع، شماره شکل و جدول و یا زیرنویس اجتناب می‌شود. همچنین، بهتر است از معادله‌ها، فرمول‌ها و علامت‌های اختصاری (به جز علامت‌های استاندارد) در چکیده استفاده نگردد. در صورت عدم ذکر اسامی علمی و فرمول‌های شیمیایی در عنوان، می‌توان این موارد را در چکیده درج کرد.

۲-۲-۳- واژه‌های کلیدی حداکثر در هفت کلمه و به صورت الفبایی (ابتدا واژه‌های فارسی و سپس خارجی) بلافاصله بعد از چکیده فارسی نوشته می‌شوند.

۲-۲-۴- مقدمه شامل طرح موضوع پژوهش، سوابق کار و مرور منابع علمی مرتبط با موضوع پژوهش بوده و در آخر آن هدف از پژوهش عنوان می‌شود.

۲-۲-۵- مواد و روش‌ها می‌بایست به طور گویا در برگزیده ویژگی‌های محل اجرای آزمایش، شرح مواد، ابزار کار، روش‌های به کار رفته از جمله روش‌های آماری و طرح‌های آزمایشی باشند. در این بخش از توضیح روش‌هایی که در پژوهش موردنظر استفاده نشده است، خودداری می‌گردد. علاوه بر این، بهتر است از شرح کامل روش‌های متداول اجتناب و به ذکر منابع مورد استفاده و تغییرات انجام یافته در آنها اکتفا شود. روش کار نیز می‌بایست به حد کافی واضح و روشن باشد تا سایر پژوهشگران در صورت نیاز بتوانند آن را تکرار نمایند.

۲-۲-۶- نتایج و بحث مشتمل بر یافته‌های حاصل از پژوهش به صورت متن، جدول و شکل، بحث مستدل و نتیجه‌گیری کلی در آخر است. در این بخش از تکرار و یا ذکر مواد و روش‌های انجام یافته اجتناب گردد. شکل‌ها و جدول‌ها نباید همزمان دارای اطلاعات تکراری باشند. از شرح جزئیات جدول‌ها و شکل‌ها نیز خودداری شده و فقط به آوردن نکات مهم آنها اکتفا می‌گردد. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری بهتر است به صورت جدول یا شکل منعکس شده و اختلاف‌های معنی‌دار نیز با علامت‌های مناسب مشخص شوند.

۲-۱-۱۱- کلیه زیر نویس‌های خارجی با حرف بزرگ شروع می‌شوند.

۲-۱-۱۲- درج منابع در متن مقاله با روش نام و سال صورت می‌گیرد و مقاله‌های ارایه شده به مجله بر این اساس تنظیم می‌شوند. در این روش سال انتشار بعد از نام خانوادگی نویسندگان در داخل پارانتز می‌آید. اگر تعداد نویسندگان بیش از دو نفر باشد، ابتدا نام خانوادگی نویسنده اول و سپس عبارت "و همکاران" قید می‌شود. در صورتی که منبع مورد استفاده در پایان جمله و در داخل پارانتز آورده شود، نام خانوادگی نویسندگان بر حسب سال انتشار منبع (ابتدا منابع فارسی و سپس منابع خارجی) به فارسی نوشته می‌شود. تمام منابع مندرج در متن می‌بایست در بخش منابع مورد استفاده نیز درج شوند.

مثال:

- هال و دراکوپ (۱۹۷۵) با استفاده از روش مونت کارلو، هیدروگراف‌های جریان ورودی برای تحلیل عملکرد یک مخزن آبرسانی را ترسیم کردند.

- صنوبر کالیفرنایی از اندازه ژنوم متوسط، رشد سریع، سهولت نسبی دست و روزی و امکان دسترسی به دامنه‌ای از ابزارهای ژنتیکی برخوردار است (استتزر و برادشاو ۱۹۹۶ و توسکان و همکاران ۲۰۰۴)

- مرادی شهر بابک (۱۳۷۹) وراثت‌پذیری تداوم شیردهی در محدوده ۰/۱ تا ۰/۲ گزارش شده است (شانکز و همکاران ۱۹۸۱ و اسوالو ۱۹۹۵)

۲-۱-۱۳- برگ مشخصات مقاله شامل نام خانوادگی و نام نگارنده یا نگارندگان مقاله، مرتبه علمی، محل خدمت و نشانی آنها به هر دو زبان فارسی و انگلیسی به همراه شماره تلفن، به ویژه تلفن همراه، و آدرس پست الکترونیکی به دفتر مجله ارسال شود. در زیر عنوان مقاله از آوردن اسامی و مشخصات نگارندگان خودداری گردد.

۲-۲- ترتیب بخش‌های مختلف مقاله و نحوه تدوین آنها

۲-۲-۱- عنوان مقاله به صورت خلاصه، روان و گویای محتوی مقاله بوده و حداکثر در ۲۰ کلمه تنظیم می‌شود. آوردن اسامی علمی موجودات زنده در صورت داشتن نام عمومی ضروری نیست. از علامت‌های اختصاری و فرمول‌های شیمیایی نیز در

در منابع خارجی (و معادل آنها در منابع فارسی) از هم متمایز می‌گردند.

۲-۲-۸-۵- سال انتشار بلافاصله بعد از نام خانوادگی و نام نویسندگان ذکر می‌گردد. قبل از سال علامت ویرگول و بعد از آن نقطه درج می‌شود.

۲-۲-۸-۶- از جزوه درسی نمی‌توان به عنوان منبع استفاده کرد. ۲-۲-۸-۷- در مورد مقاله در مجله‌های علمی علاوه بر موارد پیش گفته، نام مجله، شماره جلد و صفحه اول و آخر مقاله، در مورد مقاله در همایش‌های علمی عنوان همایش، ماه برگزاری، محل برگزاری و شماره صفحه‌های اول و آخر مقاله و در مورد کتاب‌ها و تک‌نگاشت‌ها نام ناشر در آخر منبع مورد استفاده آورده می‌شود.

۲-۲-۸-۸- در منابع خارجی کلمه اول عناوین و اسامی نگارندگان و نیز تمامی کلمات مربوط به نام مجلات، عناوین همایشی و نام ناشرین و موسسات با حروف بزرگ شروع می‌شود.

۲-۲-۸-۹- استناد به منابع اینترنتی مورد پذیرش نیست.

**نمونه‌هایی از نحوه درج منابع در بخش منابع مورد استفاده:**  
**مقاله مندرج در مجله‌های علمی**

نام خانوادگی و مخفف نام نویسندگان، عنوان مقاله، نام مجله، شماره جلد و دامنه صفحه‌ها.

علوی صادقی ح و اسماعیلی م، ۱۳۸۵. بررسی نوسانات جمعیت کرم سیب *Laspeyresia pomonella* به منظور تعیین وقت مناسب مبارزه. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد سوم، شماره‌های ۱، ۲، ۳ و ۴. صفحه‌های ۸۳ تا ۱۱۲.

Schweizer LE, Nyquist WE, Santini JB and Kimes TM, 1986. Soybean cultivar mixtures in a narrow-row, noncultivable production system. Crop Science 26: 1043-1046.

**توضیح:** در منابع خارجی می‌توان نام مجله را به صورت مخفف و براساس استاندارد آن مجله ذکر کرد. با این حال، نام مجلات در یک مقاله فقط به یکی از دو صورت مخفف یا کامل نوشته می‌شود. مثال:

Plant Dis (Plant Disease)  
Agric Econ (Agricultural Economics)

بحث شامل تحلیل داده‌های آزمایش، ذکر علت‌ها و معلول‌ها و کاربردهای احتمالی در ابعاد نظری و عملی می‌باشد. علاوه بر این لازم است از یافته‌های دیگر پژوهشگران نیز در تحلیل نتایج و غنا بخشیدن به بحث استفاده شود. با وجود این، برای یک بحث مستدل تنها ذکر عبارت‌هایی مانند "مطابقت و عدم مطابقت یافته‌ها با نتایج دیگران" کافی نیست و اظهارنظر در مورد چگونگی این مشابته‌ها و تضادها می‌تواند به غنای بحث کمک نماید. بنابراین، هیات تحریریه از پذیرش مقاله‌هایی که فاقد ارجاع به منابع در این بخش هستند، معذور است.

**تبصره:** نتایج و بحث را می‌توان به حالت توأم و یا جداگانه تدوین کرد ولی در صورت جدا کردن این دو بخش، بحث نباید تکرار مجدد نتایج باشد، بلکه کلیات، مفاهیم و تحلیل نتایج ارایه شود.

۲-۲-۷- در بخش **سپاسگزاری** می‌توان از همکاری و مساعدت اشخاص حقیقی و حقوقی در انجام پژوهش سپاسگزاری نمود.

۲-۲-۸- **منابع مورد استفاده** شامل فهرستی از منابع فارسی در آغاز و سپس منابع خارجی بوده و به ترتیب حروف الفبا و بدون شماره گذاری تنظیم می‌شوند. نکات زیر در تدوین این بخش رعایت می‌گردد.

۲-۲-۸-۱- این بخش تنها دربرگیرنده منابع ارجاع شده در متن مقاله بوده و از آوردن منابعی که در متن به آنها اشاره نشده است خودداری می‌شود.

۲-۲-۸-۲- در کلیه منابع ابتدا نام خانوادگی و سپس مخفف نام نویسندگان آورده می‌شود. در یک منبع اسامی نویسندگان تا نفر ماقبل آخر توسط ویرگول و نفر آخر توسط حرف "و" از هم جدا می‌شود.

۲-۲-۸-۳- در بخش منابع اسامی کلیه نویسندگان هر منبع بدون ذکر عبارت "و همکاران" (*et al.* در منابع خارجی) درج می‌گردد.

۲-۲-۸-۴- در صورتی که از یک نویسنده چند منبع مورد استفاده قرار گیرد، ابتدا مقاله‌های منفرد و سپس مقاله‌های مشترک به ترتیب نام نویسندگان بعدی بر حسب حروف الفبا درج می‌شوند. اگر دو یا چند منبع از نویسندگان یکسانی برخوردار باشند، این منابع بر حسب سال انتشار از قدیم به جدید تنظیم می‌شوند و در صورت مشابه بودن سال انتشار، منابع مذکور با قرار دادن حروف a، b، c و ... در مقابل سال

### مقاله مندرج در مجموعه همایش ها

نام خانوادگی و مخفف نام نویسندگان، سال انتشار، عنوان مقاله، دامنه صفحه‌ها، نام همایش، موسسه (در صورت وجود) و شهر محل برگزاری.

شکوری ب، ۱۳۷۳. عوامل بیولوژیکی حاصلخیزی خاک‌های زراعی. صفحه‌های ۱۴۴ تا ۱۵۷. مقاله‌های کلیدی سومین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه تبریز، تبریز.

Habibi M, 1997. Calculating sediment discharge using a developed computer package. Pp. 854-864. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Rainwater Catchment Systems. Tehran, Iran.

### کتاب

- اگر کلیه فصل‌های یک کتاب مشترکا توسط یک یا چند نفر نوشته شود، ذکر منبع به ترتیب زیر است:

نام خانوادگی و مخفف نام نویسندگان، سال انتشار، عنوان کتاب، نام ناشر

هادی ف، ۱۳۶۹. آگروشیمی (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران.

Hay KM and Robert R, 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Leonard Hill, London.

- اگر فصل‌های یک کتاب، دارای نگارنده یا نگارندگان جداگانه ای بوده و کل کتاب توسط یک یا چند نفر هماهنگ کننده تدوین گردد، روش درج آن منبع به شرح زیر است:

نام خانوادگی و مخفف نام نویسندگان، سال انتشار، عنوان فصل، دامنه صفحه‌های فصل، نام خانوادگی و نام هماهنگ کنندگان کتاب، عنوان کتاب و نام ناشر

Knuiman MW and Laird NM, 1990. Parameter estimation in variance component models for binary response data. Pp. 177-189. In: Gianola D and Hammond K (eds). Advances in statistical methods for genetic improvement of livestock. Springer-Verlag.

### پایان نامه

نام خانوادگی و مخفف نام نویسنده، سال انتشار، عنوان پایان نامه، مقطع تحصیلی، نام دانشکده و دانشگاه

مقدم ع، ۱۳۷۳. تعیین درصد خودباروری و همبستگی صفات در ده رقم آفتابگردان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

### ثبت اختراع و اکتشاف (Patent)

Titcomb ST and Tuers AA, 1976. Reduced calorie bread and method of making same. USA Patent 3 979 323. Date issued: 7 September.

- در مورد منبعی که دارای نویسنده مشخص نیست به جای نام نویسنده از کلمه "بی نام" در منبع فارسی و از "Anonymous" در منبع خارجی استفاده می‌شود.

بی نام، ۱۳۷۱. آمار نامه کشاورزی ایران. اداره کل آمار و اطلاعات وزارت کشاورزی.

Anonymous, 1992. Maize in human nutrition. FAO Food and Nutrition Series, No. 25. FAO, Rome.

تذکر: از درج مقاله‌های ارایه شده به مجله‌های علمی ولی فاقد پذیرش، شماره جلد و محدوده شماره صفحه‌ها در قسمت منابع اجتناب شود. ارجاع به این نوع منابع در متن مقاله پس از ذکر نام صاحب اثر (یا منبع اطلاع) با قید عبارت "مکاتبه شخصی" در داخل پارانتز خواهد بود.

۲-۲-۹- چکیده انگلیسی در آخرین بخش مقاله می‌آید و ترجمه کاملی از چکیده فارسی است. نکات زیر در تهیه چکیده انگلیسی رعایت می‌شوند.

۲-۲-۹-۱- کلیه اصول ذکر شده برای چکیده فارسی در مورد چکیده انگلیسی نیز لحاظ می‌شود.

۲-۲-۹-۲- در عنوان مقاله حرف اول کلیه کلمه‌ها به استثنای حروف ربط، با حرف بزرگ نوشته می‌شود.

۲-۲-۹-۳- واژه‌های کلیدی بر حسب حروف الفبا تنظیم می‌شوند.