

کاربرد شبکه عصبی جهت مدل سازی حذف کروم از محلول های آبی با استفاده از نانو ذرات آهن اکسید

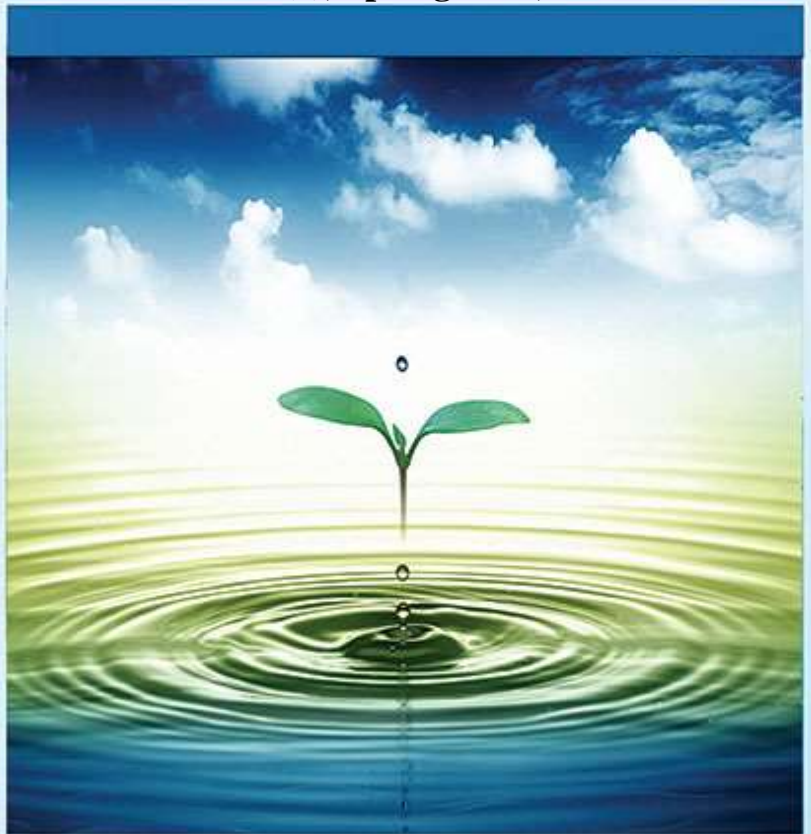
الهام اسراری و وحیده خسروی

دوره ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، صفحات ۳۰ - ۳۹

Vol. 3(1), Spring 2017, 30 - 39

**Application of Artificial Neural Network  
(ANN) for Modelling Chromium (VI)  
Removal from Aqueous Media using Iron  
Oxide Nanoparticles**

Asrari E. and Khosravi V.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

نحوه ارجاع به این مقاله: اسراری ا. و خسروی و. (۱۳۹۶). کاربرد شبکه عصبی جهت مدل سازی حذف کروم از محلول های آبی با استفاده از نانو ذرات آهن اکسید. محیط زیست و مهندسی آب، جلد ۳، شماره ۱، صفحات: ۳۰ - ۳۹.

**How to cite this paper:** Asrari E. and Khosravi V. (2017). Application of artificial neural network (ANN) for modeling chromium(VI) removal using iron oxide Nanoparticles. J. Environ. Water Eng., 3(1), 30 - 39.

## کاربرد شبکه عصبی جهت مدل‌سازی حذف کروم از محلول‌های آبی با استفاده از نانو ذرات

### آهن اکسید

الهام اسراری<sup>۱\*</sup> و وحیده خسروی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار گروه فنی مهندسی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور شیراز، شیراز

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه پیام نور شیراز، شیراز

\*نویسنده مسئول: e\_asrari@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۰۱/۰۹]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۰۹/۲۹]

#### چکیده

امروزه یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی، آلودگی فاضلاب‌های صنعتی حاوی فلزات سنگین است. کروم شش ظرفیتی به‌عنوان فلز سنگین، یکی از آلاینده‌های مهم محیط زیست محسوب می‌شود. هدف از این تحقیق استفاده از شبکه عصبی برای مدل‌سازی حذف کروم با استفاده از نانو ذرات اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ ) و مقایسه آن با روش‌های آزمایشگاهی می‌باشد. بیش از ۹۰٪ کروم تحت شرایط  $pH=3$ ، غلظت اولیه کروم ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار نانو ذره ۱ گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه و در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد حذف گردید. با توجه به نتایج به دست آمده، مدل شبکه عصبی توانست بازده جذب کروم را با تابع انتقال تانژانت سیگموئیدی در لایه پنهان و تابع انتقال محرک خطی در لایه خروجی پیش‌بینی کند. الگوریتم لونیبرگ-مارکواریت با توجه به خروجی شبکه با حداقل میانگین مربعات خطا ( $MSE$ ) برای آموزش و اعتبار سنجی اعمال گردید. ضریب هم‌بستگی بالای حاصل از مدل‌سازی شبکه عصبی ( $R^2_{ANN} = 0/996$ ) و نزدیک بودن به ضریب هم‌بستگی نتایج تجربی ( $0/998$ ) هم‌بستگی بالایی نشان داد که مدل قادر به پیش‌بینی حذف کروم از محلول‌های آبی با استفاده از نانو ذرات اکسید آهن می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** حذف؛ شبکه عصبی مصنوعی؛ غلظت کروم؛ نانو ذرات آهن اکسید.

## ۱- مقدمه

صنعتی شدن همراه با افزایش فعالیت انسانی منجر به تجمع فلزات سنگین در محیط زیست می‌شود. فلزات سنگین انواع مختلفی دارد که در بین آن‌ها کروم به‌عنوان یکی از آلاینده‌های مهم محیط زیست محسوب می‌شود. کروم از طریق نشت یا روش‌های نادرست دفع در محیط رها می‌شود و به دو حالت اکسید شده، کروم سه ظرفیتی (III) و کروم شش ظرفیتی (VI) یافت می‌شود. کروم شش ظرفیتی در محیط حرکت می‌کند و بسیار سمی، سرطان‌زا و جهش‌زا می‌باشد. در حالی که کروم سه ظرفیتی سمیت کم‌تری دارد. سازمان جهانی بهداشت (WHO)، سرطان‌زا بودن کروم شش ظرفیتی را تأیید کرده است. حداکثر مقدار مجاز توصیه شده برای کروم شش ظرفیتی در آب آشامیدنی به وسیله مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. منابع صنعتی تولید کننده کروم شش ظرفیتی شامل کارخانه‌ها آلیاژی و ساخت فولاد، شست‌وشوی فلزات، آب‌کاری، دباغی، چرم و تولید رنگ‌دانه و رنگ‌رزی می‌باشند (Nourbakhsh et al. 2014). به‌منظور جلوگیری از آسیب‌های ناشی از آن، ضروری است که از ورود آن به محیط زیست و همچنین شبکه آبرسانی جلوگیری به‌عمل آید. روش‌های مختلفی مانند ترسیب شیمیایی، الکتروشیمیایی، فرآیندهای غشایی، جذب سطحی برای حذف فلزات سنگین وجود دارد (Fenglian 2011 و Pengpeng et al. 2013). امروزه جذب سطحی به‌عنوان یک روش مؤثر و اقتصادی برای تصفیه فاضلاب از فلزات سنگین شناخته شده است. فرآیند جذب سطحی دارای انعطاف‌پذیری در طراحی و اجرا بوده و در بسیاری از حالات یک جریان خروجی تصفیه شده با کیفیت بالا تولید می‌کند. همچنین، به‌دلیل اینکه جذب سطحی گاهی اوقات برگشت‌پذیر است، جاذب‌ها را می‌توان با استفاده از فرآیندهای احیاء مناسب، بازسازی نمود. نانو ذرات اکسید آهن مغناطیسی با استفاده از مکانیسم‌های جذب سطحی، تعویض یونی و نیروهای الکترواستاتیک می‌تواند در کنترل و حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد. علت انتخاب نانو ذرات اکسید آهن در بین نانو ذرات فلزی، ارزانی، غیر سمی بودن، واکنش سریع و توانایی بالا در جذب فلزات سنگین از فاضلاب است. برای پیش‌بینی راندمان جذب فلزهای سنگین می‌توان از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمود. امروزه از شبکه‌های عصبی، برای بهینه‌سازی، شبیه‌سازی و مدل‌سازی بین پدیده‌ها استفاده می‌شود (Aleboye, et al., 2008). شبکه عصبی، شبیه‌سازی از دستگاه عصبی انسان بوده و در واقع الگوی برگرفته از مغز و شبکه اعصاب انسان می‌باشد. شبکه‌های عصبی اولین بار در سال ۱۹۴۳ توسط Culloch و Pitt استفاده شد. این شبکه‌ها از عناصر عملیاتی ساده ساخته می‌شوند که به‌صورت موازی در کنار هم عمل می‌کنند. در این شبکه سعی بر این است، ساختاری تهیه شود که همانند مغز، قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی و تصمیم‌گیری داشته باشد. در این گونه ساختارها هدف این است که با معرفی عملکرد یک سیستم دینامیکی، مدل را آموزش داده، نحوه عملکرد سیستم را در حافظه مدل ذخیره و از آن برای مواردی که قبلاً با آن مواجه نشده است، استفاده می‌شود (Mehrotra 1997, Karimi and Ghaedi 2014 و Ghaedi et al. 2015) از مزیت‌های استفاده از شبکه‌های عصبی می‌توان به زمان مورد نیاز کمتر برای مدل‌سازی نسبت به روش‌های کلاسیک، عدم نیاز به محاسبات ریاضی برای پیش‌بینی رفتار پارامترهای دخیل در فرآیند و همچنین توانایی پیش‌بینی تعداد محدودی آزمایش اشاره کرد (Geyikçi, et al, 2013 و Ghaedi, et al., 2015). لذا، هدف از این پژوهش مدل‌سازی فرآیند حذف کروم از محلول‌های آبی از طریق داده‌های تجربی با استفاده از مدل شبکه عصبی می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- روش آزمایشگاهی

ابتدا محلول پتاسیم دی‌کرومات با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه شد. با رقیق‌سازی، محلول یون کروم شش ظرفیتی با غلظت‌های مختلف به دست آمد. آزمایش‌ها به‌صورت ناپیوسته و با تغییر پارامترهای pH در مقادیر ۳-۱۲، زمان تماس ۱۰ الی ۱۰۰ دقیقه، غلظت اولیه کروم ۱۰-۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، نانو ذره اکسید آهن با وزن‌های ۰/۰۵-۰/۳ گرم انجام شد. پس از گذشت زمان مورد نظر نمونه‌ها با کاغذ صافی واتمن صاف گردید. سپس جذب آن‌ها به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و میزان حذف کروم شش ظرفیتی بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد (Chakrabarti and Dutta 2004).

$$A\% = \frac{(Co - Ce)}{Co} \times 100 \quad (1)$$

که در آن Co غلظت اولیه یون فلزی (mg/l) و Ce غلظت یون فلزی در هر لحظه (mg/l) است.

## ۲-۲- مدل شبکه عصبی

در طراحی ساختار مدل شبکه عصبی با توجه به تعداد نورون‌ها، متغیرهای ورودی و خروجی به ترتیب تعیین شد. سپس برای پارامترهای قابل تنظیم و در نتیجه تعیین بهترین ساختار شبکه عصبی با ساختارهای مختلف طراحی و ارزیابی شد. این شبکه‌های عصبی با تغییر پارامترهای قابل تنظیم (تابع انتقال، قانون یادگیری، مقدار مومنتوم، تعداد لایه‌های میانی، تعداد نورون لایه میانی) ساخته و اجرا شد. دقت شبکه عصبی مصنوعی به وسیله معیارهای آماری محاسبه و در مرحله آزمون بررسی شد. در نهایت شبکه‌ای که نزدیک‌ترین نتیجه را با واقعیت داشت به عنوان شبکه اصلی انتخاب شد. برای مقایسه مدل‌های مختلف تدوین شده به وسیله شبکه عصبی مصنوعی، از معیارهای آماری ضریب هم‌بستگی، میانگین مربعات خطا و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد.

## ۲-۳- داده‌های ورودی و خروجی مدل شبکه عصبی

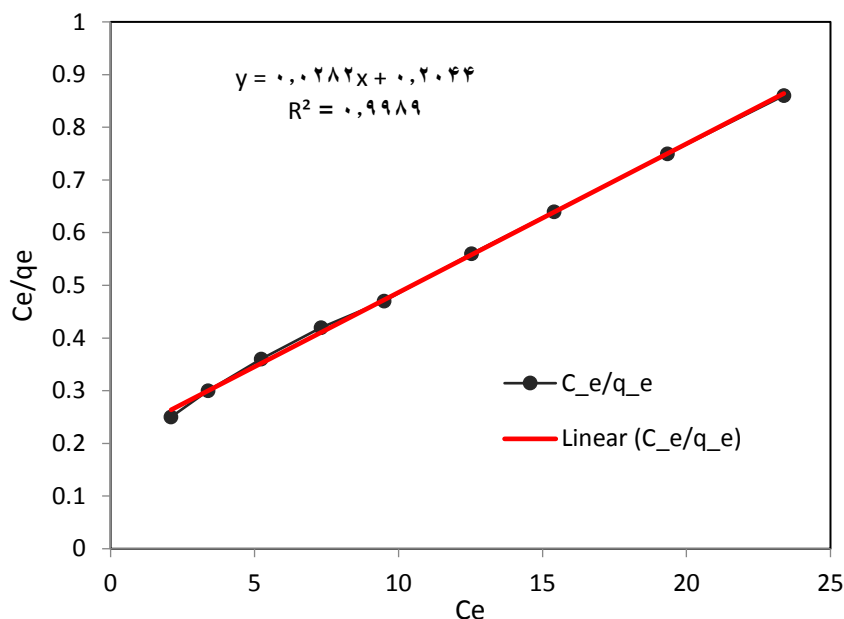
داده‌های ورودی شامل pH، زمان تماس، غلظت اولیه محلول کروم، مقدار نانو ذرات اکسید آهن و دما به صورت ستونی وارد یک پوشه از صفحات گسترده نرم‌افزار اکسل شد و به عنوان داده‌های ورودی برای مدل تعریف شد. سپس داده‌های درصد حذف کروم (VI)، به صورت ستونی به پوشه مربوط وارد و به عنوان داده‌های خروجی برای مدل تعریف شد. بعد از مشخص شدن داده‌های ورودی و خروجی مدل، عمل چیدن تصادفی داده‌ها روی صفحه گسترده انجام شد. داده‌ها به سه قسمت داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و آزمون تقسیم شدند. ۷۰٪ داده‌ها برای آموزش، ۱۵٪ داده‌ها برای اعتبارسنجی و ۱۵٪ داده‌ها برای آزمون در نظر گرفته شدند (Sadeghi 2005 and Telvari 2001). هم‌چنین برای کاهش خطاها و افزایش دقت در برآورد وزن شبکه و مقادیر پیش‌بینی شده برای هریک از مراحل آموزش، اعتبارسنجی و آزمون شبکه، ۶ مرتبه تکرار در نظر گرفته شد (Geyikçi et al. 2013).

## ۳- یافته‌ها و بحث

بر اساس یافته‌های آزمایشگاهی، بهترین شرایط برای حذف کروم (VI) با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، ۰/۱ گرم جاذب (نانوذره آهن)، زمان تماس ۶۰ دقیقه در pH برابر ۳ و در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد حاصل شد. که میزان حذف کروم در شرایط بهینه ۹۱٪ به دست آمد. در بررسی ایزوترم‌های جذب، ایزوترم لانگمویر در مقایسه با مدل فروندلیچ، با داده‌ها هم‌خوانی بیش‌تر و دارای ضریب هم‌بستگی بالاتری ( $R^2 = 0.9989$ ) می‌باشد. با در نظر گرفتن ضریب هم‌بستگی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آیا منحنی جذب پردازشی با داده‌های تجربی فرایند دارد یا خیر. در این قسمت نمودار مطابق شکل (۱) جذبی تعادلی لانگمویر در غلظت‌های مختلف برای حذف کروم (VI) اعمال گردید و ثابت مورد نظر و معادله خط و ضریب هم‌بستگی آن ارائه شده است. با استفاده از رابطه (۲) مقدار  $q_e$  (میزان جذب) را بدست آورده و سپس با ترسیم  $C_e / q_e$  نسبت به  $C_e$  (غلظت کروم) یک خط مستقیم (ایزوترم تعادلی جذب) به دست می‌آید.

$$q_e = \frac{(Co - Ce)}{w \times 1000} \times v \quad (2)$$

این نتایج با نتایج یوان و رایبو مطابقت داشت. در هر دو مطالعه انجام شده جذب کروم توسط جاذب مگنتیت از مدل ایزوترم لانگمویر پیروی می‌کند. (Yuan et al. 2010 and Abou et al. 2011)



شکل ۱- ایزوترم تعادلی جذب کروم (VI) بر روی نانوذرات آهن (مدل لانگمویر)

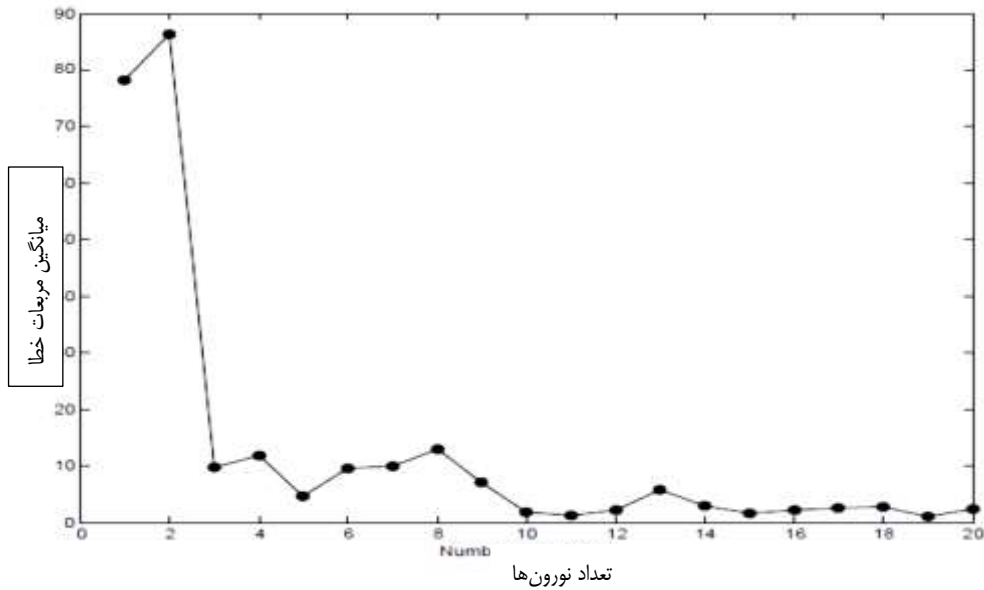
### ۳-۱- الگوریتم آموزش و تابع های انتقال قانون آموزش

جهت آموزش شبکه های عصبی چند لایه، الگوریتم های آموزشی متفاوتی مانند الگوریتم مومنتوم، الگوریتم لوببرگ-مارکوارت (LM)، الگوریتم گرادینان نزولی و الگوریتم هوشمند وجود دارد. مقایسه نتایج مدل نشان داد که از میان روش های ذکر شده، قانون آموزش لوببرگ مارکوارت با تابع انتقال تانژانت سیگموئیدی و تابع محرک خطی در تدوین مدل عملکرد بهتری دارد.

### ۳-۲- تعداد لایه میانی و تعداد نورون های لایه پنهان

یکی از مسائل پراهمیت و اثرگذار بر عملکرد مدل های شبکه عصبی، تعداد نورون در لایه مخفی مدل می باشد. در اغلب موارد راهکار عمومی و جامعی برای تعیین تعداد نورون ها در لایه مخفی وجود ندارد. چنانچه تعداد نورون های لایه مخفی، کم انتخاب شود میزان خطای عمومی مدل افزایش یافته و منجر به ایجاد بایاس قابل توجه و در نتیجه کم برازش یافتن مدل می شود؛ هم چنین در صورتی که تعداد نورون ها در لایه مخفی از حد مطلوبی بیش تر شود، مقدار خطای آموزش کاهش می یابد؛ اما باید در مقابل، در نتیجه بیش برازش شدن مدل، خطای عمومی و بایاس آماری و واریانس افزایش یابند (Jin et al. and 2000, Chen 2003).

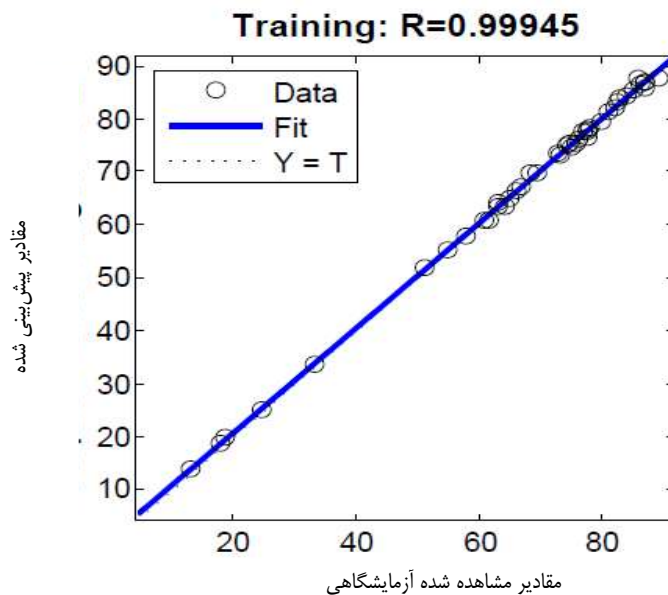
در این مطالعه برای یافتن بهترین تعداد لایه پنهان، شبکه عصبی با تعداد لایه های مختلف ساخته و اجرا شد. نتایج نشان داد که شبکه ای با یک لایه پنهان، عملکرد بالایی در پیش بینی میزان حذف کروم (VI) دارد. هم چنین برای یافتن بهترین تعداد نورون در لایه پنهان شبکه عصبی، سعی شد با تعداد کمی نورون (۱۱) که بیش ترین عملکرد و کم ترین میزان خطا را برای شبکه فراهم می کند، انتخاب شود (شکل ۲).



شکل ۲- نمودار تعداد نورون‌های شبکه عصبی بر اساس میانگین مربعات خطا (MSE)

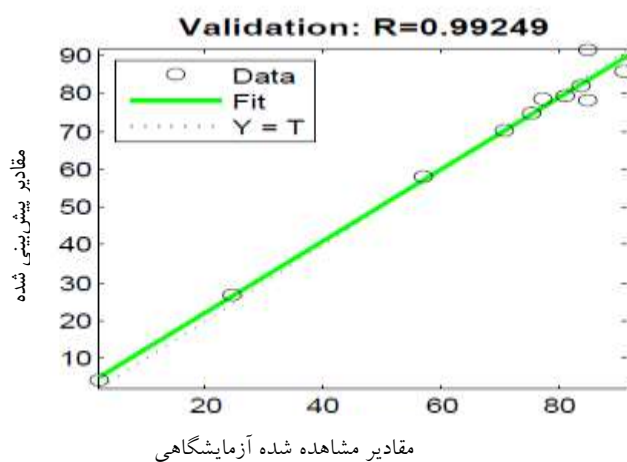
### ۳-۳- منحنی پراکندگی مقادیر پیش بینی شده و مقادیر مشاهده شده

از رسم منحنی پراکندگی مقادیر پیش بینی شده مدل‌ها در مقابل مقادیر مشاهداتی و با توجه به اینکه هر چه پراکندگی داده‌های پیش بینی شده در اطراف خط رگرسیون کم‌تر باشد نشان‌گر دقت بالای مدل در برآورد داده‌ها می‌باشد، پراکندگی داده‌های پیش بینی شده در اطراف خط رگرسیون در شکل (۳) نشان داده شده است. این شکل تا حدود زیادی بیانگر کارایی مدل شبکه عصبی انتخاب شده است. هدف از مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده (Y) در برابر مقادیر مشاهده شده (X) تعیین میزان دقت شبکه معرفی شده و طی فرآیند آزمایش شبکه است. خط رگرسیون، به‌منظور نمایش میزان هم‌پوشانی مقادیر به دست آمده در این نمودار ترسیم شده است.

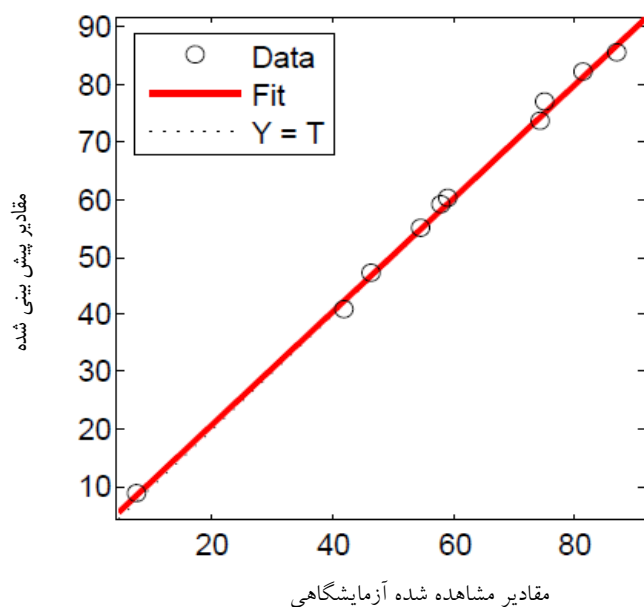


شکل ۳- مقایسه مقادیر راندمان حذف کروم پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی با نتایج آزمایشگاهی در مرحله آموزش

مطابق شکل (۳) و انتظاری که از شبکه برگزیده با ترکیب ۱-۱۲-۵ و رگرسیون  $0/99945$  به عنوان نتیجه آموزش می رود، راندمان حذف کروم مشاهده شده در آزمایشگاه تشابه بسیار مناسبی با مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه دارند.

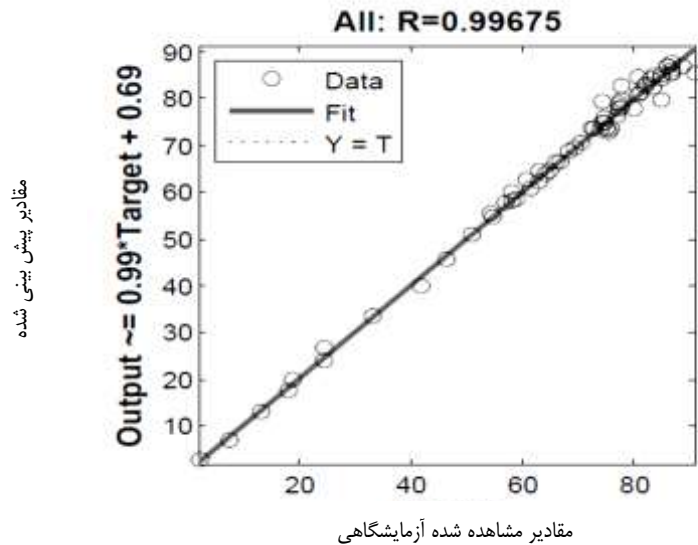


شکل ۴-مقایسه مقادیر راندمان حذف کروم پیش بینی شده توسط شبکه عصبی با نتایج آزمایشگاهی در مرحله اعتبار سنجی



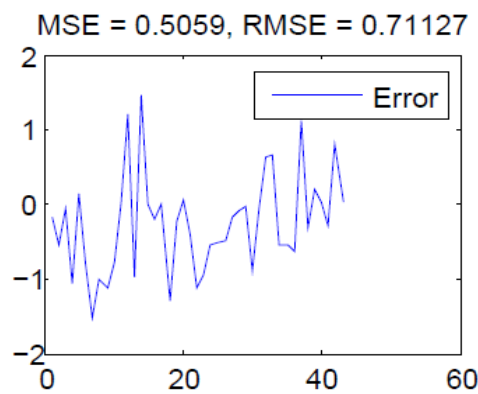
شکل ۵-مقایسه مقادیر راندمان حذف کروم پیش بینی شده توسط شبکه عصبی با نتایج آزمایشگاهی در مرحله آزمون

پس از مشخص ساختن داده های آموزش، تابع انتقال، تعداد لایه پنهان و تعداد نورون مناسب، لازم است که شبکه ساخته شده از نظر عملکرد مورد ارزیابی قرار گیرد. به همین دلیل از ۱۵٪ کل داده هایی که قبلاً به طور تصادفی انتخاب و برای آزمون شبکه به کار برده نشده بودند، برای ارزیابی شبکه استفاده شد. مطابق شکل (۶) شبکه پیشنهادی در این پژوهش از هم بستگی قوی برخوردار است ( $R=0/99675$ ).



شکل ۶- مقایسه کل مقادیر راندمان حذف کروم پیش بینی شده توسط شبکه عصبی با نتایج آزمایشگاهی

برای مقایسه عملکرد مدل های پیشنهادی از شاخص های آماری مانند ضریب هم بستگی (R)، میانگین مربعات خطا (MSE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. با توجه به شکل (۷) میزان خطا مدل سازی  $MSE = 0.5059$  و  $RMSE = 0.71127$  می باشد. پس از آزمون شبکه مشخص شد که شبکه ساخته شده عملکرد بالایی در پیش بینی میزان حذف کروم توسط نانوذرات آهن از محلول های آبی را دارد. هم چنین در مطالعه ای که (Aber et al. 2009) انجام دادند مقدار ضریب هم بستگی برای پیش بینی میزان حذف کروم توسط روش الکتروکواگولاسیون  $0.976$  ارائه شده است. همچنین از مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی بازده حذف سرب از محلول های آبی توسط پوست پسته استفاده و ضریب همبستگی حاصل از این مدل سازی  $0.936$  به دست آمده است (Kardam et al. 2012).



شکل ۷- میزان خطا مدل سازی

#### ۴- نتیجه گیری

تعیین معادلات حاکم برای برآورد حذف فلزات سنگین از محلول های آبی و مشخص نمودن میزان تأثیر پارامترهای مختلف، همواره مورد توجه محققین بوده است. ضمن اینکه دسترسی به داده های لازم در بیش تر موارد به آسانی میسر نیست، بنابراین با توجه به توانایی شبکه های عصبی مصنوعی در مدل سازی فرآیندهای پیچیده، در این پژوهش سعی شد که کارایی آن در تخمین حذف کروم از محلول های آبی بررسی شود. مهم ترین نتایج این پژوهش را می توان به صورت زیر بیان نمود:



- (۱) بیشترین درصد حذف کروم (VI) با غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر، ۰/۱ گرم جاذب (نانوذره آهن)، زمان تماس ۶۰ دقیقه در pH برابر ۳ و در دمای ۲۷ درجه سانتی گراد حاصل شد.
- (۲) قانون آموزش لونیبرگ مارکوارت با تابع انتقال تانژانت سیگموئیدی و تابع محرک خطی در تدوین مدل عملکرد بهتری دارد و همچنین کمترین مقدار خطا و بیشترین ضریب همبستگی، مربوط به تابع‌های انتقال تانژانت سیگموئیدی می‌باشد.
- (۳) شبکه‌ای با یک لایه پنهان و تعداد نورون‌های کمتر عملکرد بالایی در پیش‌بینی میزان حذف کروم (VI) دارد.

## References

- Aber S., Amani-Ghadim A. R., Mirzajani V. (2009). Removal of Cr (VI) from polluted solutions by electro coagulation: Modeling of experimental results using artificial neural network. *J. Hazard. Mater.*, 171, 484-490.
- Abou E. L., Reash Y. G., Otto M., Kenawy I. M., Ouf A. M. (2011). Adsorption of Cr (VI) and As (V) ions by modified magnetic chitosan chelating resin. *Int. J. Biol. Macro Mol.*, 29(7), 1-10.
- Aleboye A., Kasiri M., Olya M., Aleboye H. (2008). Prediction of azo dye decolorization by UV/H using artificial neural networks. *Dyes Pigmen.* 77, 94-288.
- Chakrabarti S., Dutta B. K. (2004). Photo catalytic degradation of model textile dyes in wastewater using ZnO as semiconductor catalyst. *J. Hazard. Mater.*, 112(3), 78-269.
- Chen A. S., Leung M. T., Daouk H. (2003). Application of neural networks to an emerging financial market: forecasting and trading the Taiwan Stock Index. *Comput. Operat. Res.*, 30, 23-901.
- Fenglian F., Qi Wang. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewater. *J. Environ. Manag.*, 92(3), 407-418.
- Geyikçi F., Çoruh S., Kılıç E. (2013). Development of experimental results by artificial neural network model for adsorption of Cu<sup>2+</sup> using single wall carbon nanotubes. *Separa. Sci. Technol.*, 48, 1490-1499.
- Ghaedi M., Ansari A., AssefiNejad P., Ghaedi A., Vafaei A., Habibi M. H. (2015). Artificial neural network and bees algorithm for removal of Eosin B using cobalt oxide nanoparticle-activated carbon: Isotherm and Kinetics study. *Environ. Prog. Sustainable Energ.*, 34 (1), 155-168.
- Ghaedi M., Zeinali N., Ghaedi A., Teimuori M., Tashkhourian J. (2014). Artificial neural network-genetic algorithm based optimization for the adsorption of methylene blue and brilliant green from aqueous solution by graphite oxide nanoparticle. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 125, 77-264.
- Jin W., Li Z. J., Wei L. S., Zhen H. (2000). The improvements of BP neural network learning algorithm. *Signal Processing Proceedings, WCCC-ICSP 2000, IEEE*.
- Kardam A., Raj K. R., Arora J. K., Srivastava S. (2012). Artificial neural network modeling for biosorption of Pb (II) ions on nanocellulose fibers. *bionanosci.* 2: 60-153.
- Karimi H., Ghaedi M. (2014). Application of artificial neural network and genetic algorithm to modeling and optimization of removal of methylene blue using activated carbon. *J. IndEngin Chem.* 20: 2471-6.
- Mehrotra K., Mohan C. K. Ranka S. (1997) *Elements of artificial neural networks: MIT press.*

- Nourbakhsh H., Emam-Djomeh Z., Omid M., Mirsaeedghazi H., Moini S. (2014). Prediction of red plum juice permeate flux during membrane processing with ANN optimized using RSM. *Comput Electron Agri.*, 20(102), 1-9.
- Pengpeng Huang., Zhengfang Ye., WumingXie., Qi Chen., Jing Li., ZhenchengXu., Maosheng Yao.(2013). Rapid magnetic removal of aqueous heavy metals and their relevant mechanisms using nanoscale zero valent iron (nZVI) particles. *J. of Hazardous Materials*, 47 (12), 4050-4058.
- Sadeghi H. (2005). Development of sediment rating curve equations for rising and falling limbs of hydrograph using regression models. *Iranian J. Wat. Resour.*, 1(1), 101-103.
- Telvari A. (2001). The relation of suspended sediment with some of the watershed characteristics in Dez and Karkhe in Lorestan province. *J. Res. Construc.*, 15 (56), 47-56.
- Yuan P., Liu D., Fan M., Yang D., Zhu R. Ge F. (2010). Removal of hexavalent chromium from aqueous solution by the diatomite-supported/unsupported magnetite. *J Hazardous Mat*; 73,614-21.

## Application of Artificial Neural Network (ANN) for Modelling Chromium(VI) removal using Iron Oxide Nanoparticles

Elham Asrari<sup>1\*</sup> and Vahide Khosravi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Associate Prof., Department of Engineering, Faculty of Civil Engineering, Payam-e-Noor University, Shiraz, Iran

<sup>2</sup> M.Sc. Department of Civil Engineering (Environment), Faculty of Civil Engineering, Payam-e-Noor University, Shiraz, Iran

\*Corresponding Author: e\_asrari@pnu.ac.ir

Received: March 28, 2016

Accepted: Dec. 19, 2016

### Abstract

Nowadays, one of the most important environmental pollution is heavy metals industrial wastewater. Among the various types of heavy metals, chromium is one of the hazardous and toxic environmental pollutants. In order to prevent damage caused by chromium, it seems essential to prevent its entrance to the environment. The purpose of this study was modelling chromium removal using iron oxide nanoparticles through artificial neural network model for estimating the best removal Cr(VI) model. The optimum conditions (more than 90% removal efficiency) achieved were at pH=3, initial concentration of Cr = 10 mg/L; dosage of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1 g/L; contact time = 60 minutes, and temperature =25°C. After backpropagation (BP) training, the ANN model was able to predict adsorption efficiency with a tangent sigmoid transfer function (Tansig) at hidden layer with 11 neurons and a linear transfer function (Purelin) at out layer. The Levenberg-Marquardt algorithm (LMA) was applied, giving a minimum mean squared error (MSE) for training and cross validation at the ninth place of decimal. The high correlation coefficient ( $R^2_{ANN} = 0.996$ ) between the model and its closeness to the experimental coefficient ( $R^2_{Exp} = 0.998$ ) showed that the model is able to predict the removal of Cr(VI) from aqueous solutions by iron oxide nanoparticles.

**Keywords:** Removal; Chromium; Iron oxide nanoparticles; Aqueous Solutions; Neural Network.