



مدلسازی جداسازی اورانیوم از محلول آبی در یک محفظه الکترودیالیز با استفاده از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی

ادیب، ظاهری^۱؛ علیرضا، کشتکار^{۱*}؛ امید، صفرزاده^۲

۱ سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده‌ی چرخه سوخت هسته‌ای

۲ دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده‌ی مهندسی هسته‌ای

چکیده

در این تحقیق، جداسازی اورانیوم از محلول آبی به روش الکترودیالیز با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای مورد بررسی شامل دبی، ولتاژ و غلظت بودند. با تغییر لایه‌های پنهان و تعداد گره‌ها در هر لایه، شرایط بهینه بدست آمد. ساختار ۳:۴:۱ به عنوان ساختار بهینه برای پیش‌بینی جداسازی اورانیوم از محلول در بازه‌ی داده‌های ارائه شده به شبکه انتخاب شد. تطابق بسیار مناسبی بین داده‌ها و مدل ساخته شده، مشاهده شد.

کلمات کلیدی: اورانیوم؛ الکترودیالیز؛ شبکه‌ی عصبی مصنوعی؛ لایه پنهان

مقدمه

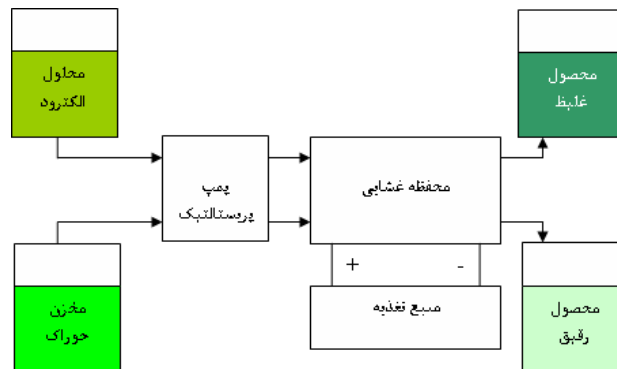
استفاده‌ی پیوسته از فلزات سنگین در صنایع و تولید مقادیر قابل توجهی پساب، به یک مشکل جدی در محیط‌زیست تبدیل شده است [۱]. به علت فعالیت صنایع هسته‌ای، مقدار زیادی اورانیوم به طبیعت وارد شده است. طبیعت سمی و رادیواکتیویته‌ی اورانیوم، ضرورت حذف آن از پساب‌ها را مشخص می‌کند [۲]. الکترودیالیز یکی از فرایندهای غشایی است که نیرومحرکه‌ی جداسازی آن میدان الکتریکی می‌باشد. از این روش در تصفیه‌ی آب و پساب استفاده می‌شود [۵]. از روش الکترودیالیز برای جداسازی اورانیوم نیز استفاده شده است [۳ و ۶]. در تحقیق قبلی، پارامترهای موثر بر جداسازی اورانیوم از محلول آبی به روش الکترودیالیز مورد بررسی قرار گرفت [۳]. در این تحقیق، به مدلسازی رفتار سیستم ذکر شده پرداخته خواهد شد. این فرایند توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی چند لایه، مدلسازی می‌شود. به این منظور از ۱۹ داده آزمایشگاهی استفاده شده است.

روش کار

واحد آزمایشگاهی الکترودیالیز شامل مخزن خوراک، مخزن خروجی الکترودها، پمپ پرستالیک و محفظه‌ی غشایی می‌باشد. محفظه غشایی از دو محفظه حاوی الکترودها و یک محفظه در وسط برای عبور محلول

خوراک تشکیل می‌شود که غشاها در مرز بین محفظه‌ها قرار می‌گیرد و هر سه محفظه توسط پیچ و مهره به هم بسته شده است (شکل ۱). سطح موثر هر غشا ۲۵ سانتی‌متر مربع، ضخامت هر یک از محفظه‌ها ۱ سانتی‌متر و سطح هر الکتروود نیز ۲۰ سانتی‌متر مربع می‌باشد. برای تامین برق فرایند از یک منبع تغذیه مستقیم در محدوده‌ی ۰ تا ۳۰ ولت استفاده شد.

محلول‌ها از طریق حل کردن نمک استاندارد نیترات اورانیل در آب مقطر بدست آمد. محلول مورد استفاده برای محفظه‌ها الکتروودی نیترات سدیم ۰/۰۵ مولار بود. پارامترهای غلظت، دبی و ولتاژ به عنوان ورودی شبکه پارمترهایی انتخاب شدند که کاملاً از نظر فیزیکی قابل اندازه‌گیری و مشاهده بودند.



شکل ۱: شماتیک واحد آزمایشگاهی الکترودیالیز

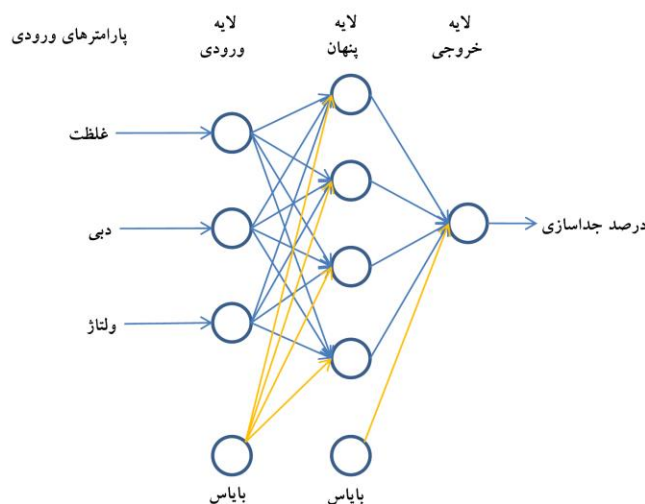
شبکه‌های عصبی از چندین نرون به صورت سری یا موازی تشکیل شده‌اند. در فرایند آموزش، فاکتورهای وزنی و مقدار آستانه تنظیم می‌شوند. آموزش فرایندی است که طی آن وزن‌ها به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که شبکه به ازای یک مجموعه ورودی بتواند مقادیر صحیح خروجی را پیش‌بینی کند. الگوریتم‌های متفاوتی برای آموزش وجود دارد.

یکی از رایج‌ترین الگوریتم‌های آموزش برای $FFNNs^1$ با نام BP^2 شناخته می‌شود. سه زیر مجموعه داده برای ساخت یک مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ زیرمجموعه‌های آموزش، ارزیابی و تست. از داده‌های آموزش در فرایند آموزش و از داده‌های ارزیابی برای بررسی صحت کلی مدل استفاده می‌شود. در صورتی که کار آموزش با موفقیت انجام شود، داده‌های خروجی تطابق خوبی با مقادیر واقعی خواهند داشت. در مراحل اولیه آموزش، خطای داده‌های آموزش و ارزیابی کاهش می‌یابد. پس از چندین مرحله خطای داده‌های آموزش، کم می‌شود در حالیکه خطای داده‌های ارزیابی افزایش می‌یابد. در نتیجه شبکه دچار آموزش بیش از حد^۳ می‌شود و

^۱ Feed Forward Neural Networks
^۲ Back Propagation
^۳ over train

عمومیت آن کاهش می‌یابد. با این وجود فرایند آموزش باید ادامه پیدا کند تا خطای داده‌های ارزیابی هم کاهش یابد. برای آزمایش شبکه آموزش دیده شده برای موارد مشاهده نشده، باید داده‌های تست مورد استفاده قرار گیرند [۴].

در این تحقیق، شبکه‌ی عصبی پیش‌نگر^۴ چند لایه با یک لایه مخفی برای مدل‌سازی بکار رفت. این شبکه برای تبدیل داده‌های ورودی (غلظت، دبی و ولتاژ) به پاسخ سیستم (درصد جداسازی) مورد استفاده قرار گرفت. یک شبکه عصبی که به خوبی آموزش دیده است می‌تواند برای پیش‌بینی پاسخ مورد استفاده قرار بگیرد (شکل ۲).



شکل ۲: ساختار شبکه عصبی استفاده شده برای مدل‌سازی الکترودیالیز

نتایج

در مجموع از ۱۹ داده‌ی آزمایشگاهی برای هر سه مرحله آموزش، ارزیابی و تست استفاده شد (جدول ۱). از این ۱۹ داده، ۱۳ داده‌ی آموزش برای تعیین وزن‌ها و بایاس‌ها، ۳ داده‌ی ارزیابی برای تعمیم پیش‌بینی مدل و جلوگیری از فرایادگیری^۵ و ۳ داده هم برای تست شبکه‌ی عصبی در نظر گرفته شد. شبکه‌های عصبی در نوار ابزار شبکه‌ی عصبی نرم‌افزار MATLAB با تابع newff ساخته شدند. سه لایه (یک لایه‌ی ورودی، یک لایه‌ی پنهان و یک لایه‌ی خروجی) در نظر گرفته شد.

^۴ feed forward

^۵ Over-fitting

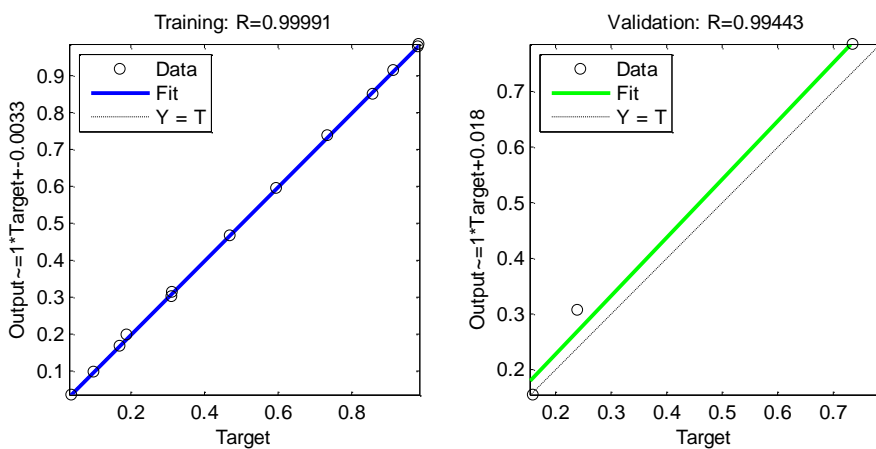


با توجه به کارهای مشابه انجام شده، روش Levenberg-Marquardt به عنوان الگوریتم آموزش انتخاب شد [۴]. فاکتور مهم دیگر طراحی شبکه‌ی عصبی، نوع تابع انتقال است. شبکه‌های عصبی با توجه به توانایی غیر خطی‌شان قادرند از توابع غیر خطی استفاده کنند. در بین توابع انتقال مختلف در MATLAB، تابع انتقال Logsigmoid به علت پیش‌بینی بهتر آن به عنوان تابع انتقال انتخاب شد. با توجه به اینکه مقادیر این تابع انتقال بین صفر و یک می‌باشد، لازم است جواب‌های سیستم (خروجی‌ها) نرمالیزه شوند.

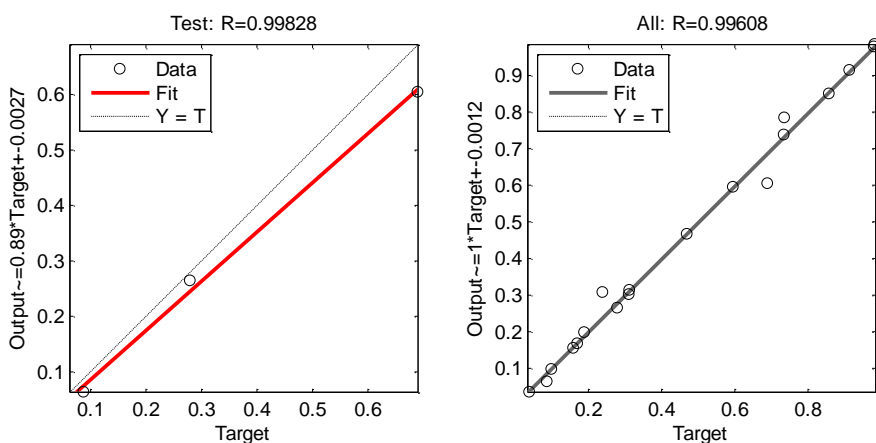
جدول ۱: داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده برای مدل‌سازی، واحدها: غلظت ppm، دبی ml/min و ولتاژ V

شماره آزمایش	غلظت	دبی	ولتاژ	درصد جداسازی	شماره آزمایش	غلظت	دبی	ولتاژ	درصد جداسازی
۱	۲۵	۵	۲/۵	۱۰	۱۱	۵۰۰	۵	۵	۱۹
۲	۲۵	۵	۵	۲۴	۱۲	۵۰۰	۵	۱۰	۶۹
۳	۲۵	۱۰	۲/۵	۴	۱۳	۵۰۰	۱۰	۵	۸/۸
۴	۲۵	۱۰	۵	۱۶	۱۴	۵۰۰	۱۰	۱۰	۴۷
۵	۲۰۰	۵	۱۰	۸۵/۸	۱۵	۵۰۰	۲/۵	۵	۳۱/۲
۶	۲۰۰	۱۵	۲۰	۷۳/۶	۱۶	۵۰۰	۲/۵	۱۰	۷۳/۵
۷	۲۰۰	۳۰	۳۰	۵۹/۶	۱۷	۱۰۰۰	۵	۳۰	۹۸/۳
۸	۵۰۰	۵	۲۰	۹۸/۱	۱۸	۱۰۰۰	۱۵	۱۰	۲۸
۹	۵۰۰	۱۵	۳۰	۹۱/۴	۱۹	۱۰۰۰	۳۰	۲۰	۳۱/۳
۱۰	۵۰۰	۳۰	۱۰	۱۷/۱					

یکی از فاکتورهای مهم در کارایی شبکه‌ی عصبی تعداد نرون‌های لایه‌ی پنهان است. در این تحقیق، برای رسیدن به حالت بهینه از ۳ تا ۶ نرون در شبکه استفاده شد و عدد ۴ به عنوان تعداد بهینه‌ی نرون‌ها انتخاب شد. بنابراین ساختار بهینه‌ی انتخاب شده، ۳:۴:۱ می‌باشد. شکل ۴ نتایج مربوط به داده‌های آموزش و ارزیابی را نشان می‌دهد. نتایج مربوط به تست و نیز مقایسه‌ی داده‌ها با مدل نیز در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳: نتایج مربوط به داده‌های آموزش (چپ) و ارزیابی (راست)



شکل ۴: نتایج مربوط به داده‌های تست (چپ) و مقایسه‌ی کل داده‌ها با مدل (راست)

بحث و نتیجه‌گیری

همانطور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، نزدیک بودن ضریب R^2 به عدد یک (بیش از ۰/۹۹) برای حالت بهینه (تعداد لایه‌های پنهان برابر با ۴ لایه) حاکی از تطابق بسیار مناسب داده‌ها با مدل می‌باشد. این میزان



تطابق ناشی از این مطلب است که یک رابطه کاملاً منطقی بین پاسخ فرایند الکترودیالیز (درصد جداسازی) و پارامترهای دبی، ولتاژ و غلظت وجود دارد. این مطلب، از نظر کیفی تایید کننده مطالب ارائه شده در تحقیق قبلی می‌باشد.

مراجع

- ۱- Mohammadi T., Moheb A., Separation of copper ions by electrodialysis using Taguchi experimental design, *Desalination*, ۱۶۹(۱), ۲۱-۳۱, (۲۰۰۴).
- ۲- Yusan S., Akyil S., Sorption of uranium (VI) from aqueous solutions by akaganeite, *Journal of Hazardous Materials*, ۱۶۰, ۳۸۸-۳۹۵, (۲۰۰۸).
- ۳- Zaheri A., Moheb A., Keshtkar A. R., Shirani A. S., Uranium separation from wastewater by electrodialysis, *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, ۷(۵), ۴۲۹-۴۳۶, (۲۰۱۰).
- ۴- Mohtada Sadrzadeh, Toraj Mohammadi, Javad Ivakpour, Norollah Kasiri, Neural network modeling of Pb^{2+} removal from wastewater using electrodialysis, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, ۴۸(۸), ۱۳۷۱-۱۳۸۱, (۲۰۰۹).
- ۵- Baker R. W., membrane technology and applications, John Wiley & Sons Ltd, Membrane Technology and Research, Inc. Menlo Park, California, chapter ۱۰, (۲۰۰۴).
- ۶- Zaki E. E., Electrodialysis of uranium through cation exchange membranes and modeling of electrodialysis processes, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, ۲۵۲ (۱), ۲۱-۳۰, (۲۰۰۲).