

۱۶۰۵ شماره ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

تعیین پارامترهای نوترونیکی راکتور VVER-1000 با سوخت حلقوی و خنک شونده از داخل و خارج با غلظت های مختلف نانوسیال آلومینا به کمک شبکه های عصبی مصنوعی

انصاری فر، غلامرضا*^(۱) - نصری نصرآبادی، مهدی^(۲) - رضایی، مصطفی^(۳)

دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری های نوین، گروه مهندسی هسته ای

چکیده:

در این تحقیق شبیه سازی مجتمع سوخت راکتور VVER-1000 با میله های سوخت حلقوی و قابلیت خنک شونده از داخل و خارج با خنک کننده نانوسیال آلومینا در غلظت های حجمی مختلف با کدهای WIMS و CITATION انجام شد. سپس شبکه عصبی چند لایه مناسب در نرم افزار MATLAB با خروجی های ضریب تکثیر موثر و بیشینه توان تولیدی محوری آموزش داده شد. با استفاده از این شبکه عصبی می توان بدون نیاز به کدهای نوترونیکی پارامترهای K_{eff} و PPF_z را، برای هر غلظت حجمی از نانوسیال بدست آورد و باعث صرفه اقتصادی و زمانی در این زمینه شد. شبکه عصبی طراحی شده دارای همگرایی مناسب و دقت کافی در تعیین پارامترهای ذکر شده می باشد.

کلمات کلیدی: سوخت حلقوی، نانوسیال، ضریب تکثیر موثر، بیشینه توان تولیدی محوری، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه:

استفاده از یک نوع میله سوخت با عنوان سوخت حلقوی با قابلیت خنک شونده از داخل و خارج در نیروگاه های هسته ای به خنک کننده اجازه می دهد تا از درون و بیرون میله ی سوخت عبور کند. همین امر باعث می شود با رعایت اصول و حواشی ایمنی چگالی قدرت تولیدی تا ۳۰٪ افزایش یابد [۱]. مزایای این سوخت عبارتند از: کاهش دمای بیشینه قرص سوخت و افزایش حاشیه ایمنی (MDNBR) [۲]. از طرفی مطالعات انجام شده روی خنک کننده با اضافه کردن ذرات نانو بیانگر اینست که خواص حرارتی سیال بهبود می یابد؛ همچنین تاثیر بسزایی روی شار حرارتی بحرانی (CHF) دارد. تاثیر نانوسیال بر راکتور VVER-1000 با استفاده از کد MCNP4C توسط حداد و همکاران بیانگر اینست که نانو ذره ی آلومینا کمترین تاثیر بر کاهش ضریب تکثیر موثر را دارد و بیشینه توان تولیدی برای درصدهای حجمی مختلف متغیر است [۳]. همچنین مطالعات نوترونیکی روی نانوسیال های مختلف برای راکتور بوشهر با سوخت حلقوی توسط انصاری فر و ابراهیمیان انجام شد؛ که بیانگر تاثیر کم نانو ذره آلومینا بر کاهش ضریب تکثیر موثر نسبت به نانوذرات دیگر می باشد [۴]. به همین دلیل در مدل سازی ها از نانو ذره آلومینا استفاده کردیم. استفاده از کدهای نوترونیکی دارای پیچیدگی

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

و صرف هزینه های اقتصادی و زمانی می باشد. به همین دلیل یک سیستم جامع اطلاعاتی از پارامترهای نوترونیکی قلب راکتور به کمک شبکه های عصبی در نرم افزار متلب ایجاد کردیم. در این شبکه عصبی با تعیین درصد حجمی نانوسیال پارامترهای K_{eff} و PPF_z مربوط به قلب محاسبه می شوند؛ که استفاده از آن بسیار آسان و دارای سرعت بیشتری در انجام محاسبات می باشد.

روش کار:

شبیه سازی نوترونیکی در این پژوهش با استفاده از کد محاسبات سلولی WIMS-D5 و کد محاسباتی قلب CITATION-LD2 انجام شده است. این شبیه سازی با توجه به شرایط فیزیکی آورده شده در جدول ۱ و به صورت ابتدای سیکل کاری اول قلب راکتور در نظر گرفته شد. ابعاد میله ی سوخت آورده شده در جدول ۲ بر اساس تقسیم حرارت بین توده سیال درونی و بیرونی و کاهش اختلاف دمای غلاف داخلی و خارجی طراحی و آورده شده است [۲].

جدول ۱- پارامترهای قلب راکتور در شرایط CZP [۴]

شرایط CZP	
۲۹۳ K	- دمای میانگین سوخت و کندکننده
۸,۲ g/Kg-H ₂ O	- غلظت اسید بوریک

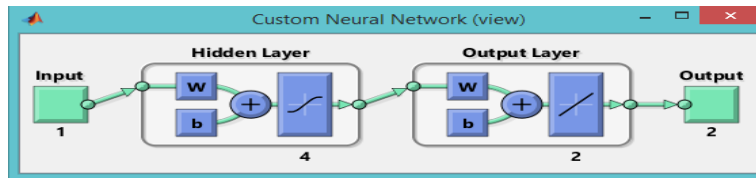
جدول ۲- مشخصات میله سوخت حلقوی طراحی شده (ابعاد بر حسب mm) [۴]

میله سوخت	
۱۳,۶۶	- قطر خارجی غلاف خارجی
۱۱,۹۲	- قطر داخلی غلاف خارجی
۱۱,۸۲	- قطر خارجی سوخت
۹,۲	- قطر داخلی سوخت
۹,۰۸	- قطر خارجی غلاف داخلی
۸,۰	- قطر داخلی غلاف داخلی

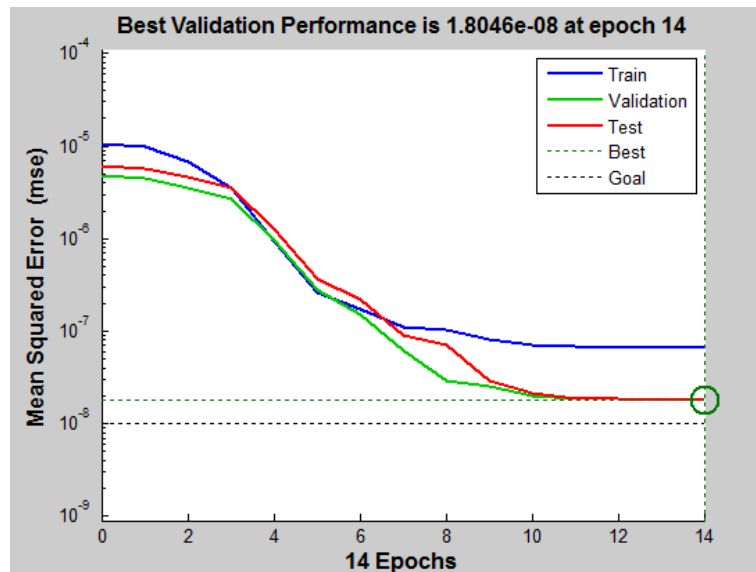
در این پژوهش پارامترهای نوترونیکی قلب راکتور را برای ۵۵ غلظت حجمی مختلف از نانوسیال آلومینا با مقادیر بین (۰-۲) درصد را به کمک کدهای نوترونیکی تعیین کردیم. سپس به کمک نرم افزار (MATLAB) یک شبکه عصبی شامل ۲ لایه پنهان و ۴ نورون در نظر گرفته شد؛ این شبکه عصبی دارای ۱ ورودی و ۲ خروجی می باشد (شکل ۱). ورودی

۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

شبکه درصد حجمی نانوسیال و خروجی آن ضریب تکثیر موثر و بیشینه توان تولیدی محوری در نظر گرفته شد. هر شبکه به منظور آموزش مناسب داده های ورودی را به سه دسته تقسیم می کند که عبارتند از: داده های آموزش، ارزیابی و تست. هر شبکه عصبی برای آموزش نوروها در ابتدا از داده های آموزش و در حین آموزش از داده های ارزیابی و پس از آموزش از داده های تست برای ارزیابی شبکه تعیین شده استفاده می کند. هر شبکه ی عصبی در نرم افزار متلب دارای مشخصاتی است که نشان دهنده ی نحوه عملکرد و دقت آن می باشد. در شکل ۲ نمودار مربوط به همگرایی و نحوه عملکرد شبکه عصبی بر روی داده های ورودی طی آموزش های پی در پی تا رسیدن به معیارهای تعیین شده و در شکل ۳ میزان خطای داده های آموزش، ارزیابی و تست پس از همگرایی شبکه عصبی نشان داده ایم.

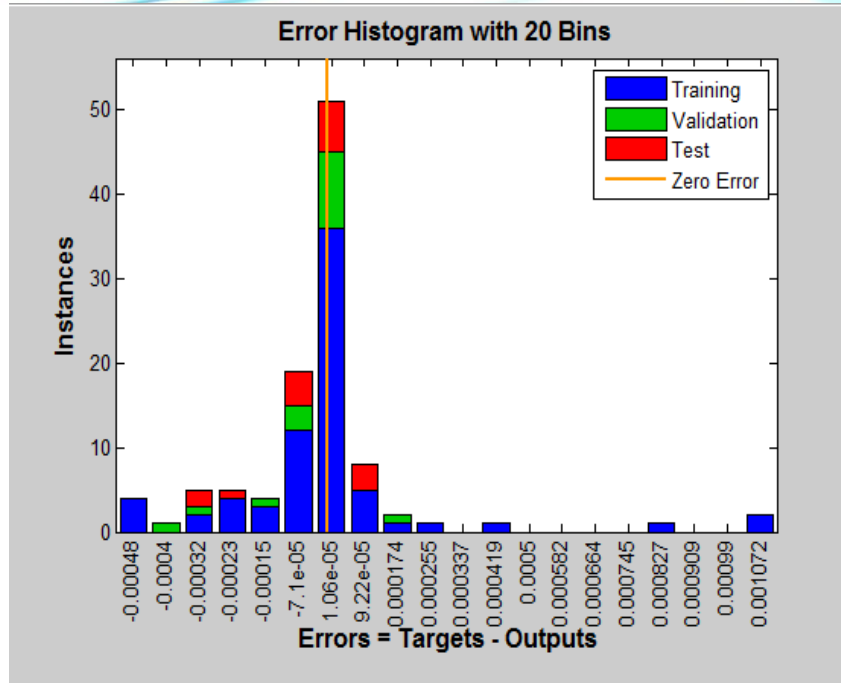


شکل ۱- شبکه عصبی تعیین شده جهت آموزش



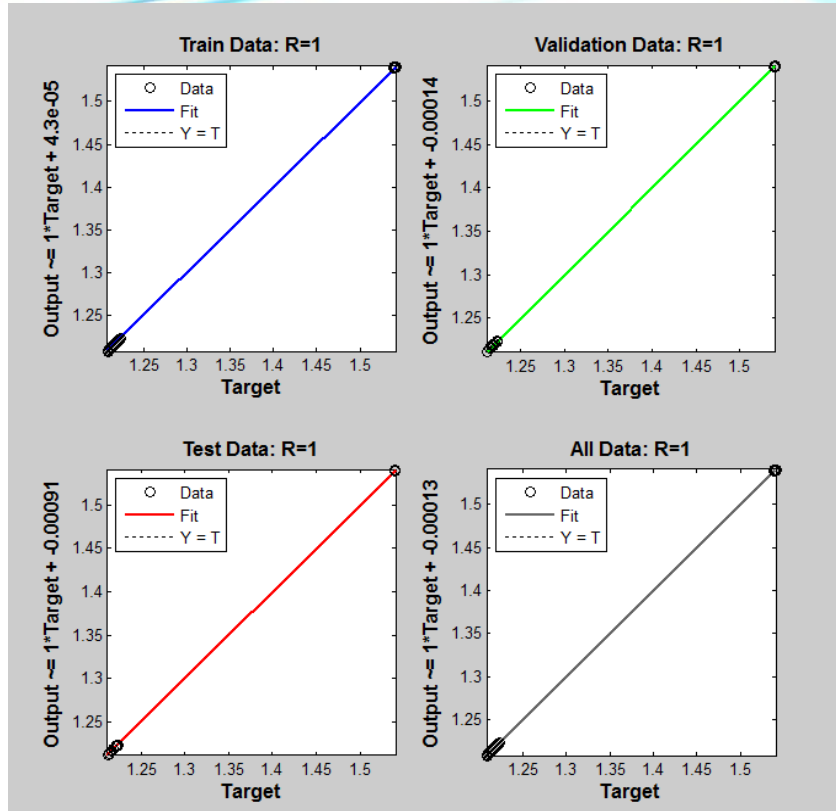
شکل ۲- ارزیابی عملکرد شبکه عصبی تا رسیدن به معیارهای تعیین شده

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



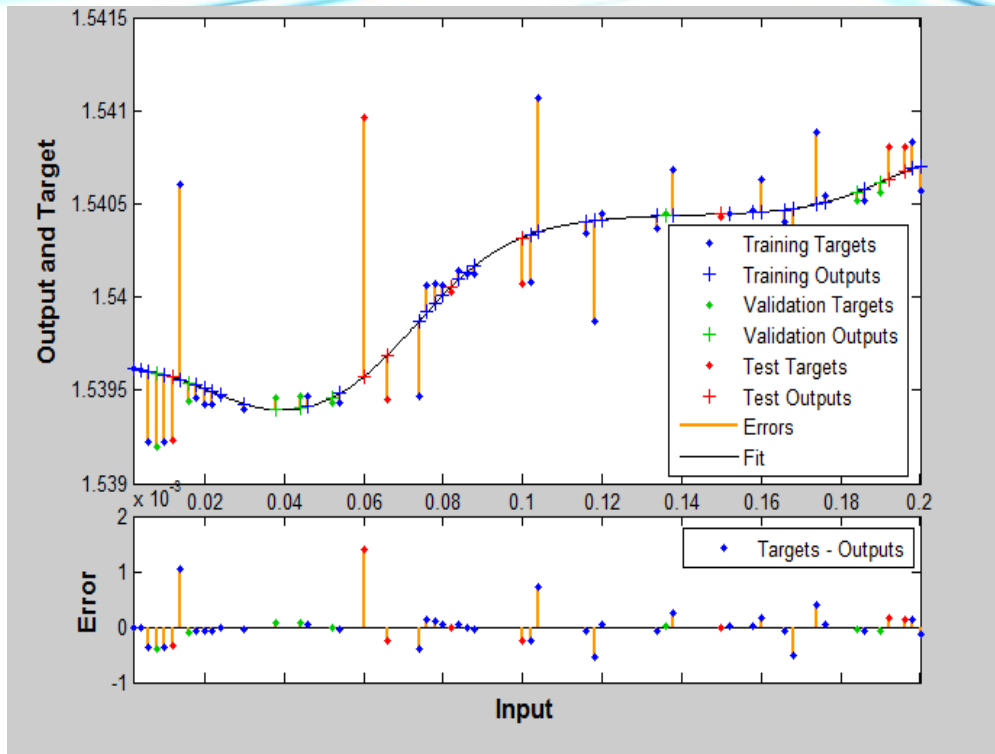
شکل ۲- هیستوگرام خطای داده های آموزش یافته توسط شبکه عصبی

۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



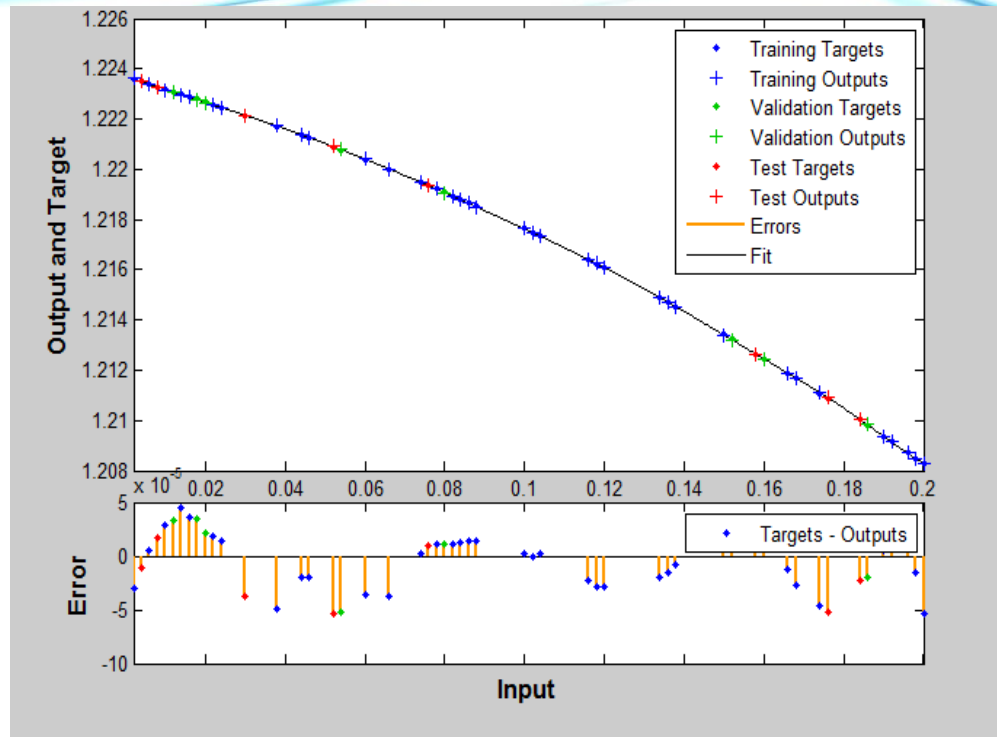
شکل ۳- رگرسیون داده های ورودی (Target) و داده های آموزش یافته (Output) توسط شبکه ی عصبی

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



شکل ۴- مقایسه تابع تعیین شده توسط شبکه عصبی و داده های ورودی مربوط به PPF_z

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



شکل ۵- مقایسه تابع تعیین شده توسط شبکه و داده های ورودی مربوط به K_{eff}

در شکل ۳ رگرسیون داده های خروجی شبکه (output) و داده های حاصل از کدهای نوترونیکی (target) را آورده ایم، که نشان دهنده دقت بالای شبکه و یکی شدن داده های آموزشی با داده های حاصل از کدهای نوترونیکی می باشد. بنابراین شبکه برای هرغلظت حجمی دیگر دارای دقت کافی و مورد اعتماد است. نمودار تعیین شده توسط شبکه عصبی برای داده های مربوط به PPF_z نشان دهنده ی متغیر بودن تغییرات PPF_z برای غلظت های حجمی مختلف است (شکل ۴). نمودار تعیین شده توسط شبکه عصبی برای داده های ضریب تکثیر نشان دهنده ی کاهش ضریب تکثیر به خصوص در غلظت های بالا است (شکل ۵).

نتایج:

استفاده از نانوسیال به علت اضافه کردن یک سطح مقطع جذبی در قلب راکتور موجب کاهش ضریب تکثیر موثر می گردد، که عملکرد و نتایج شبکه عصبی با دقت بسیار مناسب همین امر را نشان می دهد.

بحث و نتیجه گیری:

با داشتن پارامترهای نوترونیکی یک مجتمع سوخت با میله های سوخت حلقوی و خنک کننده نانوسیال آلومینا و استفاده از شبکه های عصبی توانستیم، آنرا برای استفاده در هر غلظت حجمی دیگر از نانوسیال آموزش دهیم. در واقع می توان

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

از این شبکه عصبی به عنوان یک سیستم جامع اطلاعاتی برای تعیین پارامترهای نوترونیکی یک راکتور VVER-1000 با مشخصات بیان شده استفاده کرد؛ در حالیکه از پیچیدگی های استفاده از کدهای نوترونیکی و زمان بر بودن شبیه سازی ها دوری جست و باعث صرفه ی اقتصادی و زمانی در این زمینه شد.

مراجع :

- [1] M. Kazimi and P. Hejzlar, "Evaluation of high power density annular fuel for Korean OPR-1000 reactor: final report," Internal report# CANES-ANN-PR-0052010,2012.
- [2] C.-H. Shin, T.-H. Chun, D.-S. Oh, and W.-K. In, "Thermal hydraulic performance assessment of dual-cooled annular nuclear fuel for OPR-1000," Nuclear Engineering and Design, vol. 243, pp. 291-300, 2012.
- [3] K. Hadad, A. Hajizadeh, K. Jafarpour, and B. Ganapol, "Neutronic study of nanofluids application to VVER-1000," Annals of Nuclear Energy, vol. 37, pp. 1447-1455, 2010.
- [4] G.R. Ansarifar, M. Ebrahimian, "Design and neutronic investigation of the nano fluids application to VVER-1000 nuclear reactor with dual cooled annular fuel," Annals of Nuclear Energy, vol. 87, pp. 39-47, 2016.