

مدلسازی سیکل حرارتی نیروگاه شهر بندرعباس با استفاده از شبکه عصبی به منظور شبیه سازی مگاوات خروجی نیروگاه براساس داده‌های تصادفی

فواد نصوری^۱، عبدلحمید انصاری نسب^۲، احسان اسمعیلی^۱، رضا بری شهواری^۳

۱ شرکت مدیریت تولید برق هرمزگان

۲ دانشگاه هرمزگان

۳ دانشگاه علمی کاربردی بندرعباس

چکیده

با توجه به توسعه روزافزون نیروگاه حرارتی با سوخت مازوت و گاز، بهینه سازی سیکل حرارتی جهت کاهش میزان آلاینده‌های محیط زیست از اهمیت خاصی برخوردار گردیده است. از آنجا که روابط ترمودینامیکی از دقت و عمومیت کافی برخوردار نیستند، مدلسازی با روش‌های مبتنی بر آزمایشات تجربی و داده‌های ورودی-خروجی برای نیروگاه بسیار مناسب به نظر می رسد. در این میان مدلسازی شبکه عصبی به منظور شبیه سازی مگاوات خروجی نیروگاه بر اساس داده های تصادفی برای مدلسازی انتخاب شده است. در همه مدلسازی‌ها نکاتی لحاظ شده است که در این مقاله پارامترهای موثر بر مگاوات های خروجی در مدلسازی شبکه عصبی مورد بررسی قرار می گیرد و مدل نهایی با خطای بسیار ناچیز در نرم افزار قوی و قدرتمند EasyNN، قابل استفاده در جهت پیش بینی مگاوات تولیدی، بهینه سازی مصرف سوخت و افزایش بار تولیدی با شرایط موجود می باشد.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی، نیروگاه حرارتی، شبیه سازی

۱- مقدمه

منظور ایجاد بستری مناسب با توجه به شرایط اقلیمی، منابع انرژی و کارایی سیکل حرارتی در جهت صرفه جویی سوخت و تولید خروجی بیشتر صورت گرفته است. این تلاشها عمدتاً در زمینه مدل سازی جهت تجهیزات مهم سیکل حرارتی مانند بویلر، کندانسور و... می باشد. تخمین عمر نیروگاه، راندمان، ایمنی، توانایی دنبال نمودن بار و محافظت از محیط زیست عمده دلایلی بوده اند (۳)، که سرآغاز بررسی های بسیاری در

نیاز روز افزون جهان و به خصوص کشورهای در حال توسعه به انرژی برق سبب توسعه روز افزون نیروگاه‌ها گردیده است. امروزه یکی از چالش های اصلی نیروگاه های تولید برق، بهره برداری مناسب و پربازده با شرایط موجود نیروگاه می باشد که همواره تلاش های گسترده ای در این زمینه به

انرژی هسته‌ای، انرژی زمین‌گرمایی یا انرژی گرمایی خورشید کار می‌کنند نیروگاه حرارتی محسوب می‌شوند و سوخت رایج اغلب نیروگاه‌های بخار به عنوان منبع حرارتی سیکل حرارتی رانکین می‌باشد. نیروگاه‌های حرارتی به عنوان مراکز تبدیل انرژی، نقش عمده‌ای را در عرصه انرژی ایفا می‌کنند و فرآیند احتراق اساس و پایه این چرخه می‌باشد [۴]. تفاوت عمده نیروگاه‌های بخار در وجود سیکل پیش گرمایش و گرمایش مجدد می‌باشد که موثر در بازده و مگاوات خروجی نیروگاه است.

۲-۳- سیکل‌های واحد بخار

اساس کار نیروگاه‌های بخار بدین ترتیب است که بخار تولید شده در دیگ بخار به طرف توربین هدایت، و پس از به دوران آوردن محور توربین به داخل کندانسوز کشیده شده و توسط آب خشک کن تقطیر و به صورت آب مقطر در می‌آید. در اثر چرخش محور ژنراتور که به محور توربین متصل است، در سیم پیچ‌های استاتور ژنراتور الکتریسته القاء و از آن جریان کشیده می‌شود. [۷]

۳-۳- پارامترهای موثر در مگاوات‌های خروجی

پارامترهای موثر در مگاوات‌های خروجی شامل جریان بخار، دمای خنک‌کن، دبی سوخت مازوت، دبی سوخت گاز، تعداد مشعل‌های گاز، تعداد مشعل‌های مازوت، دبی آب تغذیه، فشار پشت مشعل گاز، فشار کوره و خلاء کندانسور می‌باشند که در اینجا معرفی مفهوم بعضی از این پارامترها ما را در رسیدن به مدل نهایی از سیکل حرارتی نیروگاه بخار کمک می‌کند.

۳-۳-۱- دبی بخار

منظور از دبی بخار همان دبی بخار تولید شده بعد از خروجی از سوپرهییت نهایی بویلر می‌باشد. هر واحد نیروگاه برق بندرعباس از سه قسمت اصلی بویلر، توربین و ژنراتور تشکیل شده است. توربین‌های نیروگاه بندرعباس، از سه قسمت فشار بالا، فشار متوسط و فشار پایین تشکیل شده است. بخار خروجی از بویلر به وسیله شیرهای کنترلی که مقدار بخار ورودی به توربین را تنظیم می‌کنند به پره‌های قسمت فشار بالای توربین اعمال می‌شود و سپس از طریق مسیرهای Hot Reheat, Cold Reheat به قسمت پره‌های فشار متوسط و در

جهت مدل سازی و پیش بینی سیکل نیروگاه بخار از دهه هفتاد تاکنون بوده است (۱-۲). در این مقاله از یک شبکه عصبی به منظور شبیه سازی مگاوات خروجی نیروگاه براساس داده‌های تصادفی که در طول ماه ثبت می‌گردد و منجر به دست آوردن مدل نهایی نیروگاه جهت پیش بینی، بهینه سازی و کاهش مصرف سوخت براساس این شبکه مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از نرم افزارهای مطرح در این زمینه EasyNN-Plus می باشد که قابلیت سرعت شبیه سازی بسیار بالای آن دلیل انتخاب این نرم افزار می باشد.

۲- روش تحقیق

اساس بیان، تحلیل، توصیف و تفسیر مطالب موجود در این مقاله را مطالعه‌ی اسنادی و کتابخانه‌ای تشکیل می‌دهد. با توجه به مطالعات و تحقیقات گذشته و روابطی که برای پیش بینی مگاوات تولیدی ارائه شده اند پارامترهایی که بر این مولفه موثر هستند مشخص و با متغیر گرفتن این پارامترها ایجاد گردیده‌اند. در این تحقیق این پارامترها با توجه به روش شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفته و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از نرم افزار صورت گرفته است. در ابتدا برای ایجاد "مدل" داده‌های ثبت شده توسط نرم افزار را با استفاده از نرم افزار اکسل مرتب سازی و استاندارد نموده و با انتقال داده‌های مرتب شده به نرم افزار EasyNN و با تعیین تعداد نرون‌ها، لایه‌ها و توابع انتقال "مدل" ساخته می‌شود و پس از آن با استفاده از باقیمانده داده‌ها این مدل مورد آزمایش قرار گرفته است.

۳- پیشینه تحقیق

همانطور که در ابتدای مقاله اشاره شد با توجه به تلاش‌هایی که به منظور افزایش بازده سیکل موجود نیروگاه در جهت تولید خروجی بیشتر صورت گرفته است در ابتدا قبل از بررسی پارامترهای موثر، به معرفی سیکل حرارتی نیروگاه بخار پرداخته و در ادامه به معرفی پارامترهای موثر در این مهم اشاره می‌شود.

۳-۱- سیکل حرارتی نیروگاه

اغلب نیروگاه‌های حرارتی بخار براساس سیکل حرارتی رانکین قابل تعریف می‌باشد. سیکل رانکین یک سیکل ترمودینامیکی است که گرما را به کار تبدیل می‌کند و معمولاً از بخار به عنوان سیال و عامل محرک استفاده می‌کند. تقریباً تمامی نیروگاه‌هایی که با استفاده از زغال سنگ، انرژی‌های فسیلی،

شعله و میزان چرخش نقش مؤثری دارد. دمپر ثانویه دارای پره های چرخشی یا سویلر بوده که قابلیت تنظیم میزان هوای چرخش را دارا می باشند. هوای ثالثیه نیز از اطراف وارد محفظه حرارتی در شعله می گردد. مقدار هوای ثانویه با تغییر دمپرهای اولیه و NOx احتراق شده و با خنک کاری شعله باعث کاهش ثالثیه، تغییر می کند و وضعیت سویلرهای دمپر ثانویه تأثیر بسزایی در توزیع و چرخش هوا دارد. وضعیت مناسب هوای اولیه و ثالثیه به موقعیت سویلرها بستگی داشته که تنظیم آنها از طریق سعی و خطا و با توجه به نوع سوخت صورت می گیرد. [۵]

۳-۳-۵- دبی آب تغذیه

دبی جرمی آب خروجی از فید واتر پمپ می باشد که فشاری در حدود ۱۶۰ بار و دمایی معادل دمای خروجی از هیتر شماره ۷ و در حدود ۷۰ درجه سانتی گراد است که مستقیماً به داخل بویلر پمپ می شود.

۳-۳-۶- فشار مشعل پشت گاز: فشار موجود در پشت مشعل گاز تعیین کننده شکل و اندازه شعله ایجاد شده است و همچنین یکی از عامل های موثر در میزان تولید و کیفیت بخار خروجی در سوپر هیت و تاثیر گذار در پروسه سوختن گاز و آلاینده های در بویلر می باشد.

۳-۳-۷- خلاء کندانسور

کندانسور یکی از مهمترین قسمت های نیروگاه بخار است که نقش تعیین کننده ای در بار خروجی واحد ایفا می کند. فشار خلاء آن که عامل مؤثری در کندانس کردن بخار سیکل است تا حد زیادی مستقیماً تأثیر بر بار خروجی دارد.

۴- شبیه سازی شبکه های عصبی توسط نرم

افزار EasyNN-Plus

EasyNN-Plus نرم افزاری متداول در شبیه سازی شبکه های عصبی است. کار کردن با این نرم افزار بسیار قدرتمند به دلیل برخورداری از یک محیط گرافیکی ساده بسیار آسان است. امکان تنظیم قابلیت های مختلف و سرعت شبیه سازی بسیار بالای آن از دیگر ویژگی های این نرم افزار است. در EasyNN-Plus لایه های ورودی و خروجی شبکه های عصبی منطبق با ورودی و خروجی ردیف شبکه داده ها

آخرین مرحله به پره های قسمت فشار ضعیف اعمال شده و موجب دوران توربین می شود.

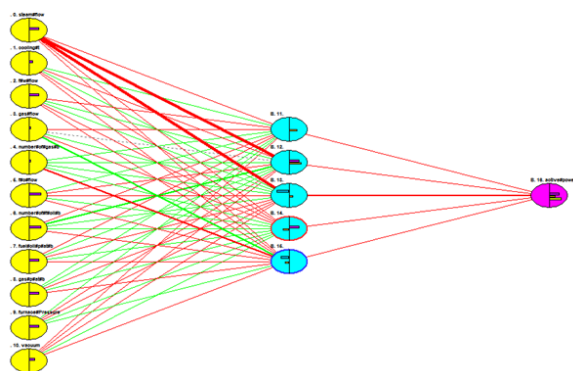
۳-۳-۲- دمای خنک کن: دمای آب خنک کننده واحد بخار که از طریق cw pump از دریا به سمت واحد پمپ می شود.

۳-۳-۳- دبی سوخت مازوت و دبی سوخت گاز: استفاده از مازوت برای نیروگاه های حرارتی نیز اثرات مخربی را پی دارد. وجود درصد بالای گوگرد و ازت در سوخت مازوت بر حسب شرایط احتراق می تواند سبب تشکیل و انتشار مقادیر زیاد اکسیدهای گوگرد و ازت گردد. با توجه به بالا بودن نسبت کربن به هیدروژن در سوخت نفت کوره نسبت به سوخت سبک مانند گاز طبیعی، بخش مهم دیگری از آلاینده های احتراق ناشی از احتراق ناقص سوخت می باشد. مهمترین این آلاینده مونوکسید کربن و دوده می باشند که انتشار این گونه ها علاوه بر اثرات مضر زیست محیطی سبب کاهش راندمان احتراق نیز می گردند. از مهمترین پارامترهای احتراقی موثر بر میزان تشکیل و انتشار آلاینده های احتراق می توان به دما و میزان اختلاط سوخت و هوا اشاره نمود. اختلاط بهتر سوخت و هوا سبب کاهش تشکیل آلاینده های کربنی (مونوکسید کربن و دوده)، افزایش دما و راندمان احتراق می گردد [۴] سوخت گاز نیز که بیشتر از نوع متان می باشد دیگر منبع انرژی مصرفی در بویلر به منظور تولید بخار می باشد که معمولاً به دلیل کمبود منابع گازی و مشکلات اقتصادی با درصد کمتر به صورت ترکیبی با سوخت مازوت برای راه اندازی واحد بخار مورد استفاده قرار می گیرد.

۳-۳-۴- تعداد مشعل های گاز و تعداد مشعل های مازوت

یکی از بزرگترین استفاده های مشعل در صنعت گرمایش به عنوان موتور احتراق بویلرها می باشد [۴]. "بویلر نیروگاه دارای 24 عدد مشعل در دو طرف کوره می باشد که در هر طرف سه طبقه چهار تایی مشعل نصب شده است. مشعل ها از نوع مرحله ای سه گانه با دمپرهای کنترلی مجزا و دو گانه سوز (گاز طبیعی و مازوت) می باشند:

وظیفه هوای اولیه، اختلاط هوا با مه سوخت قبل از سوختن جهت جلوگیری از تجزیه حرارتی سوخت در دمای بالا می باشد. هوای ثانویه، هوای اصلی احتراق بوده و در تنظیم شکل



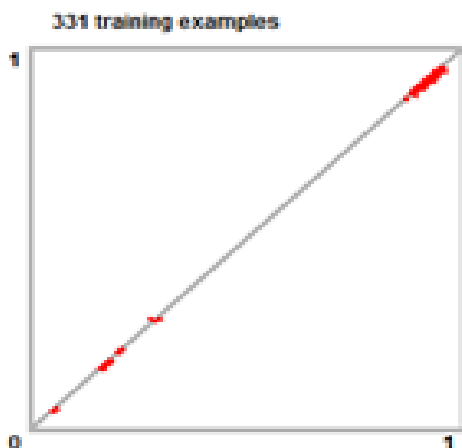
شکل ۲: شکل شماتیک شبکه عصبی

شبکه عصبی بعد از گذراندن بیش از ۲۵۱۰۸۲۰ چرخه آموزشی با حدود خطای ۰/۰۰۰۱۵ به بیش از ۵۰٪ صحت درستی رسیده است و نمودار آموزشی آن بر اساس خطای آموزشی در نمودار زیر نشان داده شده است (شکل ۳).

سپس نرم افزار بعد از آموزش کردن بر اساس نمونه‌های آموزشی و پارامترهای اصلی که از واحد گرفته شده است نموداری را ارائه می دهد، این نمودار خطی می باشد و با توجه به این مدل خطی دیتاهایی را پیش گویی می کند. (شکل ۴-۵)



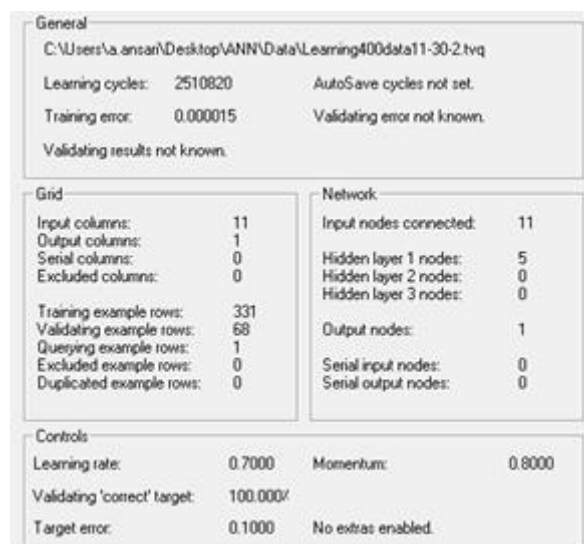
۳: نمودار آموزشی بر اساس خطای آموزشی



۴: نمودار خطی شبکه عصبی

(dataset) ایجاد می شوند. ارتباط میان لایه‌های ورودی و خروجی قابل تغییر است و همه فرایندها بصورت خودکار انجام می پذیرد. اطلاعات ورودی را می توان از فایل های xls, فایل های ساده‌ی متنی مجزا (Delimiter) همچون Comma و فایل‌های bitmap و یا فایل‌های Binary به EasyNN-Plus وارد نمود. همچنین در EasyNN-Plus می توان شبکه‌ی داده-ها را به صورت دستی و با استفاده از ابزارهای ویراستاری به آسانی تهیه نمود. شبکه‌های عصبی، داده‌های ورودی را از شبکه‌ی داده‌ها گرفته و آنها را برای اعتبار سنجی مورد استفاده قرار می دهد. نرم افزار EasyNN-Plus ساده ترین نوع از شبکه‌های عصبی را ایجاد می کند [۸].

۵- نتایج شبیه سازی در نرم افزار EasyNN



شکل ۱: نمایی از برنامه

همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده ، ۱۲ متغیر وجود داشته که ۱۱ تا ورودی و ۱ خروجی می باشد. این ۱۲ پارامتر موجود در ۴۰۰ ردیف تقسیم بندی شده، از این میان ۳۳۱ ردیف به عنوان متغیرهای یادگیری و ۶۸ ردیف به عنوان صحت و درستی مدل استفاده می شود. محدودیت‌های اعمال شده جهت کنترل شبکه عصبی در شکل ۱ نشان داده شده است. در قسمت Network در شبکه عصبی ما مشتمل بر ۱۱ نقطه عصبی و یک لایه مخفی مشتمل بر نقطه ۵ و یک نقطه خروجی است که شکل شماتیک شبکه عصبی در شکل ۲ نشان داده شده است.

۶- نتیجه گیری

با توجه به عدم دقت مدل‌های ترمودینامیکی، استفاده از شبکه عصبی با در نظر گرفتن پارامترهای موثر در این مقاله، یک روش کاربردی مناسب برای به دست آوردن مدل نهایی تولید بار الکتریسیته نیروگاه می باشد. اساس داده های ورودی- خروجی برای به دست آوردن مدل در نیروگاه در محدوده وسیعی از شرایط کاری معتبر می باشد. بدین ترتیب استفاده از روش مدل سازی ارائه شده در این مقاله، برای بررسی عملیات بهینه سازی سیستم های نیروگاهی قابل توصیه است و نتایج شبیه سازی موثر بودن روش را نشان می دهد.

۷- منابع

- [1] Astrom K.J., Ecklund K., "A simplified nonlinear model of a drum boiler-turbine unit", 1972, International Journal of Control, Vol.16 (1), pp.145-169.
- [2] Astrom K.J., Ecklund K., "Drum Boiler Dynamics", 2000, Automatica, Vol.36, pp.363-378.
- [3] Ashraf-Modarres A., Jahed-Motlagh M.R., "Improving Boiler Efficiency through Software Methods in Thermal Power Plants", 17th International Power System Conference, October 2002, Tehran-Iran

[۴] ویکی پدیا، دانش نامه آزاد

[۵] شاهمنصوری، سعید، مدیریت احتراق در نیروگاه

شازند، پروژه تحقیقاتی، نیروگاه شازند، ۱۳۸۶

[۶] عنبرسوز و همکاران، مدل سازی عددی بویلر نیروگاه توس

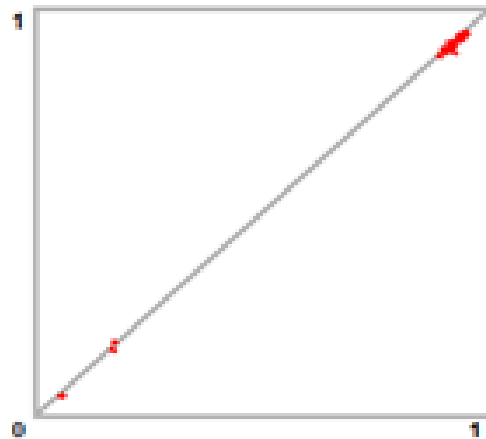
به منظور امکان سنجی افزایش راندمان، مجموعه مقالات

دومین کنفرانس صنعت نیروگاه های حرارتی، ۱۳۸۹

[۷] دانشنامه مرجع مهندسی ایران، (<http://smsm.ir>)

[۸] <http://learninggeography.7roz.com>

validating examples



X axis: True values after scaling.

Y axis: Predicted values after scaling.

۵: نمودار صحت درستی مقادیر آموزشی و آزمایشی

در آخر این نرم افزار، داده ها را درجه بندی کرده و بر اساس اهمیت هریک از پارامترهای بررسی شده نمودار زیر را ارائه می دهد (شکل ۶-۷).

Column	Input name	Importance	Relative Importance
1	steam#flow	46.5978	
5	numberof#gas#b	24.5541	
7	numberof##oil#b	20.2577	
8	fuel#oil#pat#b	16.6406	
6	f#o#flow	16.5887	
4	gas#flow	15.8522	
9	gas#p#at#b	13.7470	
3	f#w#flow	8.6336	
10	furnace#Pressure	6.5584	
11	vacuum	4.7838	
2	cooling#t	1.9543	

۶: نمودار درجه اهمیت داده های ورودی

Column	Input Name	Change from	to	Sensitivity	Relative Sensitivity
1	steam#flow	245.0000	977.0000	0.992727158	
4	gas#flow	18100.0000	47560.0000	0.345387060	
5	numberof#gas#b	5.0000	10.0000	0.305478509	
7	numberof##oil#b	2.0000	10.0000	0.278095627	
6	f#o#flow	7.0000	45.0000	0.240109512	
3	f#w#flow	467.0000	1046.0000	0.166905854	
9	gas#p#at#b	4658.0000	9032.0000	0.078835723	
11	vacuum	610.0000	648.0000	0.071596789	
8	fuel#oil#pat#b	19.3000	40.2000	0.052637710	
10	furnace#Pressure	52.0000	550.0000	0.047897958	
2	cooling#t	29.0000	47.7000	0.001612349	

۷: نمودار وزنی داده های ورودی و بازه های مدل سازی

با توجه به شکل های ۶ و ۷ می توان نتیجه گرفت که متغیر جریان بخار بیشترین تاثیر و دمای خنک کن کمترین تاثیر را در کارکرد نیروگاه و سیکل تولید انرژی در کوره را دارا می باشد.