

تخمین توان تولیدی پنل‌های مونوکریستال و پلی کریستال توسط شبکه عصبی

^۱ رسول جهرمی، ^۲ مصطفی زمانی محی آبادی*، ^۳ احسان مهربابی گوهری، ^۴ مجید حسنی دستجردی

چکیده

تجزیه و تحلیل توان تولیدی یک سیستم فتوولتائیک به عواملی نظیر میزان حرارت و تابش مستقیم خورشید بستگی دارد. منبع بی پایان و رایگان انرژی خورشیدی دریافت شده در سطح زمین، دستخوش تغییراتی چون مکان جغرافیایی، ساعات مختلف شبانه روز و فصول مختلف سال می باشد، از این رو ارزیابی صحیح آن یک عامل استراتژیک برای ارزیابی امکان سنجی یک سیستم فتوولتائیک می باشد. در این مقاله با استفاده از داده های میزان تابش و دمای بدست آمده از مانیتورینگ پنل‌های خورشیدی مونوکریستال و پلی کریستال نصب شده در سایت خورشیدی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، یک روش جدید مدل سازی توان تولیدی سیستم های فتوولتائیک ارائه گردیده است. مدل به دست آمده با استفاده از داده های در بازه زمانی یک ساله سایت خورشیدی ذکر شده توسط شبکه عصبی چند لایه پروپسترون آموزش و تست شده اند، حاصل گردیده است. ورودی های این مدل شامل دمای پنل و تابش مستقیم نور خورشید و خروجی آن میزان توان تولید شده توسط پنل های مونوکریستال و پلی کریستال این سایت خورشیدی می باشد. باتوجه به نتایج حاصل شده، بهترین پاسخ برای مدل با تابع تحریک در لایه های مخفی tansig ، tansig ، logsig و تعداد نرون [۱۰ ۱۰ ۱۰] دارای تکرار ۳۲ با میانگین مربعات خطا ۰/۲۰۷۸۰/۵۱ و نیز ضریب همبستگی با داده های تست مقدار ۰/۹۱۴۲، اعتبارسنجی مقدار ۰/۹۱۵۱ و آموزش مقدار ۰/۹۱۶۴۴ انتخاب گردید.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۴/۵/۲۳

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۷/۳/۱۸

کلمات کلیدی:

مدل سازی،
شبکه عصبی،
مونوکریستال،
پلی کریستال

۱. r.Jahromy@vru.ac.ir

۲. m.zamani@vru.ac.ir

۳. e.mehrabi@pnu.ac.ir

۴. majidhassani32@gmail.com

۱. گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۲. گروه مهندسی شیمی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان (نویسنده مسئول)

۳. گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه پیام نور تهران

۴. دانشکده ریاضی، دانشگاه علم و صنعت ایران

۱. مقدمه

امروزه بشر با دو بحران بزرگ روبرو است که به شکل گسترده ای با یکدیگر ارتباط دارند، از یک طرف جوامع صنعتی و همچنین شهرهای بزرگ با مشکل آلودگی محیط زیست مواجه‌اند و از طرف دیگر مشاهده می‌شود که مواد اولیه و سوخت مورد نیاز با شتاب روزافزون در حال اتمام است [۳و۴]. خورشید بعنوان یک منبع بی پایان انرژی می‌تواند یک راه حل مناسب برای مشکلات موجود در ارتباط با انرژی و محیط زیست باشد. خوشبختانه کشور ایران در کمربند خورشیدی زمین که شامل نواحی پر تابش است واقع شده است. حدود دو سوم ایران، دارای حداقل ۳۰۰ روز آفتابی در سال بوده و تابش در آن حدود ۵ کیلووات ساعت بر متر مربع می‌باشد. در حقیقت خداوند این پتانسیل عظیم انرژی را به بهترین شکل ممکن در نواحی خشک کویری ایران قرار داده است. پنل‌های خورشیدی استفاده شده در سیستم‌های فتوولتاییک ۳ گروه می‌باشند: ۱- پنل‌های مونوکریستال، ۲- پنل‌های پلی کریستال و ۳- آماروف [۲]. یکی از لازمترین موارد مورد نیاز تحقیقات در زمینه سیستم‌های فتوولتاییک، مدلسازی این سیستمها می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت دست یافتن به این مهم انجام گردیده است. یکی از این روش‌ها معادل سازی سلولهای فتوولتاییک با یک مدار الکتریکی با ۴ یا ۵ پارامتر می‌باشد. بطور کلی ۵ پارامتر در نظر گرفته شده در این سیستمها شامل: جریان مدار، جریان معکوس دیود اشباع، مقاومت سری، مقاومت شنت و فاکتور دیود ایده‌آل است. برخی دیگر از این مدل‌ها رفتار ماژول‌های فتوولتاییک یا انرژی تولیدی آنها را شرح می‌دهد که پایه و اساس آنها را داده‌های تجربی تشکیل می‌دهد [۱۳و۱۱].

شبکه عصبی از روش‌های محاسباتی هوشمند می‌باشد که مزیت اصلی آن سرعت بالا و دقت مطلوب در پیش بینی متغیرهای پیچیده با نگاهت خطی و غیرخطی است. اصولاً شبکه‌های عصبی در حل مسایل پیچیده که مدل‌های تجربی یا نیمه تجربی در حل آنها کارایی مناسب نداشته، بسیار کارا هستند [۵].

شماری از شبکه‌های عصبی نیز مدلسازی ماژولهای فتوولتاییک را توسعه داده‌اند، در برخی از تحقیقات انجام گرفته در این زمینه، پارامترهای مدار معادل را تنها با دریافت تابش خورشید و دمای

محیط پیش بینی کرده و سپس با استفاده از مدل تحلیلی جریان یا ولتاژ را محاسبه کرده اند. در دیگر تحقیقات شبکه های عصبی نمودار I-V را با دریافت تابش و دمای پنل محاسبه می نمایند [۷ و ۱۲]. عملکرد الکتریکی و حرارتی یک سیستم ترکیبی پنل فتوولتائیک با کلکتور حرارتی اخیرا توسط محققین مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق آب و نانوسیال بطور جداگانه و در شرایط یکسان به عنوان سیال خنک کننده و جاری در لوله های کلکتور در سیستم ترکیبی پنل فتوولتائیک با کلکتور حرارتی مورد استفاده قرار گرفت و به کمک روش شبکه عصبی مصنوعی مشاهده شد که استفاده از نانوسیال در سیستم ترکیبی سبب بهبود در راندمان الکتریکی برای سمت پنل فتوولتائیک و افزایش در راندمان حرارتی برای سمت کلکتور حرارتی گردید [۹].

مطالعه دیگری به کمک مدل حرارتی و نیز مدل شبکه عصبی مصنوعی در مورد عملکرد الکتریکی و حرارتی سیستم ترکیبی پنل فتوولتائیک متصل به سردساز ترموالکتریک با کلکتور حرارتی انجام شد که در آن سه نوع مختلف ماژول های فتوولتائیک مات، نیمه شفاف و پایه آلومینیوم مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. همچنین هوا و آب به عنوان سیال عامل در کلکتورهای حرارتی برای خنک کردن سردساز ترموالکتریک استفاده شد. نتایج نشان داد که بازده الکتریکی و حرارتی سیستم برای سیال عامل آب بیشتر از هوا و همچنین مقدار انرژی الکتریکی و حرارتی کسب شده از سیستم در نوع پایه ی آلومینیوم در پنل فتوولتائیک با کلکتور حرارتی آبی بالاتر از انواع دیگر است [۱۰].

پژوهشی نیز به منظور بررسی امکان سنجی در روش بهینه سازی شبکه عصبی مصنوعی معمولی و همچنین روش بهینه سازی ازدحام ذرات برای تخمین عملکرد انرژی یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک با کلکتور حرارتی هوایی که در زمستان و تابستان عمل می کرد برای یک ساختمان انجام شد. معیار ارزیابی عملکرد به عنوان خروجی ضروری سیستم در نظر گرفته شد، در حالی که پارامترهای ورودی برای کلکتور حرارتی هوایی با مشخصات طول کانال، عمق کانال، عرض کانال و دبی جرمی جریان هوا بود. نتیجه آن شد که مدل شبکه عصبی مصنوعی ازدحام ذرات که روشی هیبریدی هست، ممکن است پیش بینی بهتری نسبت به شبکه عصبی مصنوعی معمولی داشته باشد و تخمین عملکرد انرژی یک سیستم را دقیق تر برآورد کند [۸].

در این پژوهش برای اولین بار داده های یکساله شهر رفسنجان بعنوان یک منطقه کویری با آب و هوای گرم و خشک، مورد بررسی و مدلسازی قرار گرفته است. این مدل شبکه عصبی طراحی شده

دارای ۲ خروجی می باشد و برای اولین بار بصورت همزمان توان پنل‌های مونوکریستال و پلی کریستال را تخمین می‌زند.

هدف از این تحقیق بدست آوردن مدلی بهینه برای توان پنل‌های موردنظر می‌باشد تا در مطالعات بعدی با استفاده از آن بتوان پژوهش‌هایی از جمله اثر دمای پنل، اثر تغییرات دمای محیط بر روی سیستم موردنظر و اعمال فرایندهای کنترلی جهت بهینه کردن توان خروجی نیروگاه خورشیدی انجام گردد.

۲. سایت انرژی خورشیدی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

سایت خورشیدی دانشگاه ولی عصر از تاریخ ۹۲/۰۴/۰۲ راه اندازی گردید و شامل دو سیستم مونو کریستال ۱۲۵۰ و پلی کریستال ۱۲۹۰ وات می‌باشد که به صورت ردیاب^۱ یک‌جهته شرقی-غربی نصب شده و ساخت شرکت LG کشور کره جنوبی می‌باشند [۲]. سنسورهای موجود در این سایت تابش لحظه‌ای خورشید، دمای لحظه‌ای پنل (شکل (۲)) و توان لحظه‌ای تولیدی را در فواصل زمانی ۵ دقیقه‌ای ثبت می‌نمایند. در این سایت مجموعه ۳۲ کیلووات فتوولتاییک بدون ردیاب نیز در سال ۱۳۹۴ راه‌اندازی گردیده است (شکل (۱)).



شکل ۱. سایت خورشیدی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان



شکل ۲. سنسور اندازه‌گیری دما و تابش مستقیم خورشید

در این تحقیق مدل سازی صورت گرفته توسط داده‌های پنل‌های فتوولتائیک با ریداب می باشد، داده‌های ۱ سال این سیستم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در مدلسازی پیش رو استفاده گردیده است. در شکل (۲) سنسور اندازه‌گیری دمای پنل و تابش مستقیم خورشید نصب شده بر روی این سیستم نمایش داده شده است.

در سالهای اخیر، شبکه‌های عصبی مصنوعی بطور موفق در کارهای تشخیص مورد استفاده قرار گرفته اند. یکی از مزایای اصلی استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، توان تشخیص الگوهای است که نادقیق هستند. در ادامه به معرفی شبکه‌های عصبی پرداخته شده است.

۳. روش و الگوریتم پیشنهادی

شبکه‌های عصبی مصنوعی الهام گرفته از عملکرد و نحوه کار شبکه‌های عصبی بیولوژیکی می باشند، و در واقع مدل‌های ریاضی برای پردازش سریع و دقیق اطلاعات هستند. شبکه‌های عصبی چه در بعد

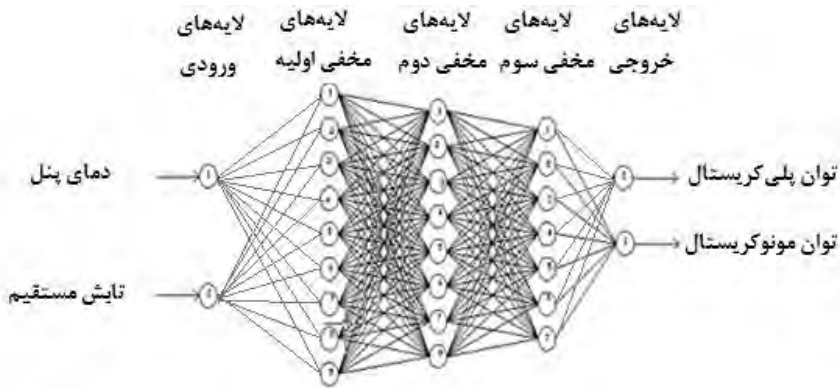
آنالیز و توسعه ساختاری و چه در بعد پیاده سازی سخت افزاری از نظر کمی و کیفی در حال رشد و پیشرفت می باشند [۵ و ۱۰].

شبکه های عصبی از یکسری لایه هایی شامل اجزای ساده پردازشگر بنام نرون تشکیل گردیده اند که بصورت موازی با هم عمل می کنند، هر لایه ورودی به یک یا تعداد بیشتری لایه میانی^۱ مرتبط می باشد و لایه های میانی نیز به لایه های خروجی مرتبط می شوند. جواب شبکه نیز نقش خروجی را برای سیستم ایفا می کند. هر لایه می تواند از تعدادی نرون با توابع تبدیل متفاوت برخوردار باشد، یعنی مدل‌های نرونها در لایه ها می توانند متفاوت در نظر گرفته شوند. مشخصه های قابل توجه شبکه های عصبی قابلیت یادگیری آنهاست، بطوریکه قادرند هر بار وزنه‌هایشان را با نمونه ورودی اصلاح کنند. در یک جمله، شبکه های عصبی مانند موجودات زنده قابلیت یادگیری دارند. این آموزش استنتاجی ممکن است در تشخیص صدا، شبیه سازی مسیر و ... باشد. یکی از انواع شبکه های عصبی، پرسپترون می باشد که بصورت پرسپترون تک لایه و چند لایه موجود هستند، پرسپترون تک لایه می تواند مسائل مجزای خطی را دسته بندی کند و برای مسائل پیچیده تر لازم است که از تعداد بیشتری لایه استفاده کنیم. شبکه های پیش خور چند لایه از تعداد بیشتری لایه های میانی تشکیل شده‌اند [۵ و ۱۰].

۴. مدل‌سازی و اجزاء

با توجه به تحقیقات صورت گرفته بر روی پنل های فتوولتائیک تاثیر گزارترین موارد بر روی توان تولیدی این پنل‌ها، دمای پنل و میزان تابش خورشیدی رسیده بر آنها می باشد. این نکته باعث گردید که در این تحقیق نیز این ۲ مورد مدنظر قرار داده شده و مدل‌سازی هوشمند بر اساس آنها صورت گیرد.

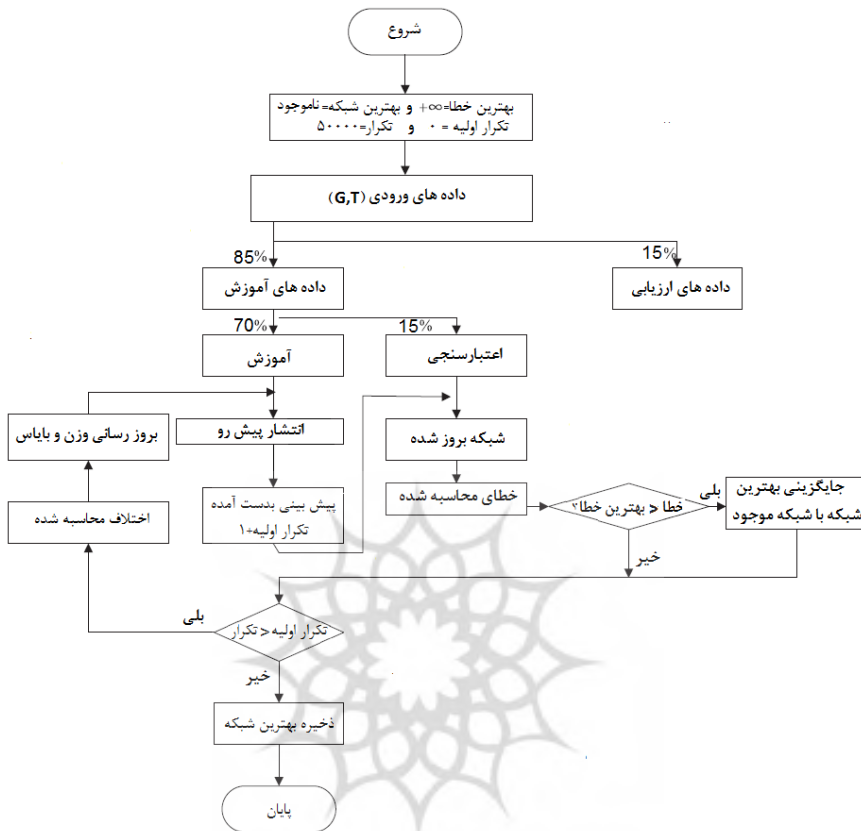
همانطور که توضیح داده شده است سیستم ردیاب موردنظر تشکیل شده از ۲ ردیف پنل مونوکریستال و پلی کریستال که بصورت مجزا داده های آنها ثبت می گردد. در این مدل‌سازی دمای پنل خورشیدی و تابش مستقیم رسیده به پنل را ورودی‌های شبکه عصبی و توان پنل‌های خورشیدی مونوکریستال و پلی کریستال بعنوان خروجی در نظر گرفته شده است (شکل ۳).



شکل ۳. ورودی‌ها و خروجی‌ها استفاده شده در شبکه عصبی

در این بخش شبکه‌هایی با تعداد لایه‌های مختلف، تعداد نرون‌های مختلف و توابع تحریک مختلف مورد بررسی قرار گرفت که نتایج را در جدول ۱ نشان داده ایم. در این آزمایشات از تابع آموزش Trainlm استفاده شده است، در ضمن برای تعیین تابع محرک و تعداد نرون‌ها به روش سعی و خطا عمل کرده و حالتی که MSE^1 کمتر و R^2 بیشتر { هرچه R بیشتر باشد نشان دهنده میزان تطابق خروجی مدل با هدف 3 است و اگر ۱ باشد گویای این است که خروجی سیستم با هدف برابر می‌باشد } مناسب می‌باشد. تابع تحریک خروجی Purelin در نظر گرفته شد. در این شبیه‌سازی ۷۰ درصد داده‌ها جهت آموزش شبکه عصبی، ۱۵ درصد برای اعتبارسنجی 4 و ۱۵ درصد نیز برای آزمون 5 سیستم در نظر گرفته شدند. فلوجارت نحوه بدست آوردن مدل بهینه شبکه عصبی در شکل (۴) نشان داده شده است.

1. Mean Squared Error
2. Correlation Coefficient
3. Target
4. Validation
5. Test



شکل ۴. فلوچارت شبکه عصبی

۵. بررسی نتایج و شبیه سازی

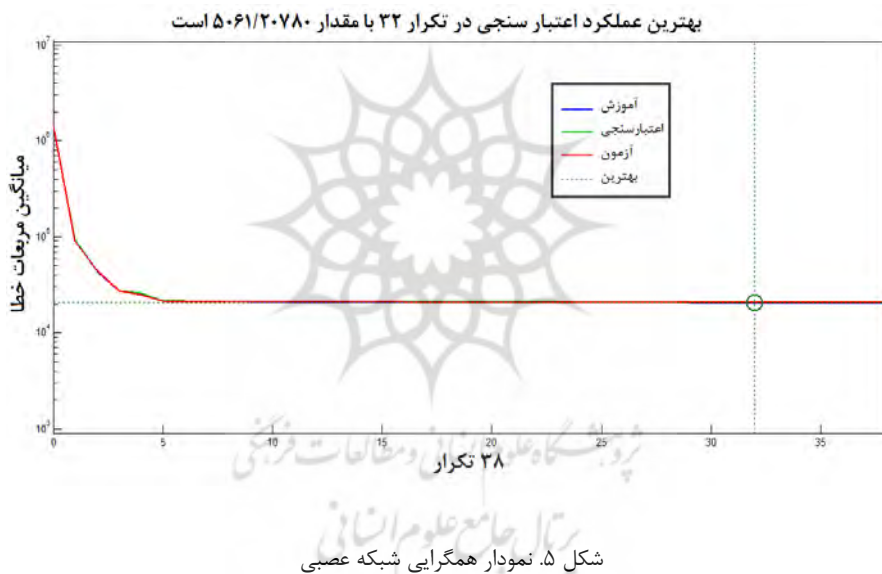
همانطور که از نتایج جدول (۱) مشخص است، مدل استفاده شده با تابع محرک در لایه‌های مخفی logsig, tansig, tansig با تعداد نرون [۱۰ ۱۰ ۱۰] دارای حداقل تکرار ۳۲ بوده و نیز مقدار خطای آن ۲۰۷۸۰/۵۱ نسبت به دیگر مدلها دارای کمترین مقدار می باشد، برای این مدل مقدار R نیز بیشترین مقدار را داشته که نزدیک به ۱ می باشد ولی بصورت کلی دیگر مدلسازی ها هم نتایج خوب و قابل قبولی داشته‌اند.

جدول ۱. نتایج شبیه سازی شبکه عصبی

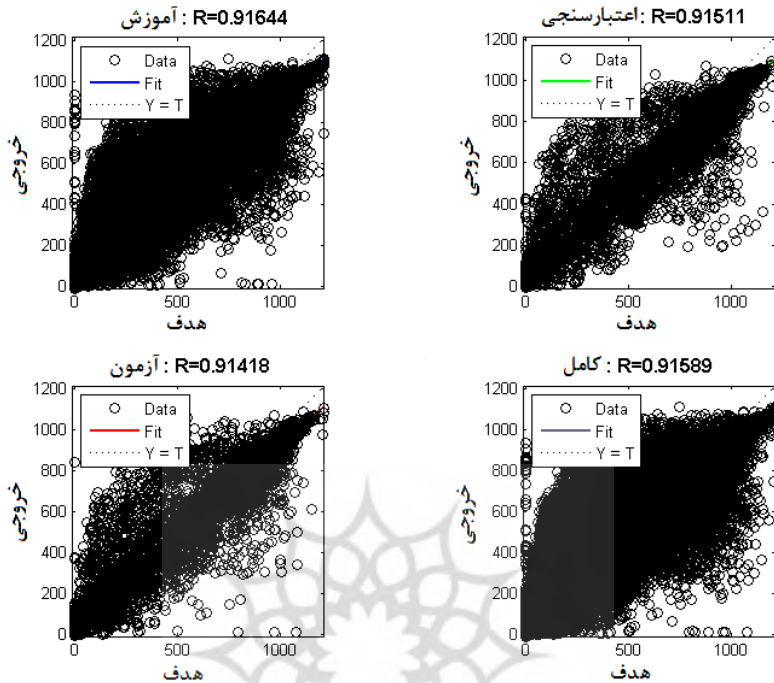
توپولوژی در لایه‌های مخفی	تعداد نرون در لایه	تکرار	میانگین مربعات خطا	R		
				آموزش	اعتبارسنجی	تست
logsig	[1]	۲۴۸	۲۳۰۰۱/۴۷۰۱	۰/۹۰۸۸۵	۰/۹۰۱۳۸	۰/۹۰۲۴۱
tansig	[1]	۱۷۵	۲۳۲۶۹/۱۱۳	۰/۹۰۶۹۱	۰/۹۰۴۳۵	۰/۹۰۸۷۸
purelin	[1]	۲	۲۱۷۴۰/۶۵۹۷	۰/۹۰۵۸	۰/۹۱۲۲۸	۰/۹۰۱۶۷
logsig	[5]	۱۳۲	۲۱۷۷۶/۲۰۱۳	۰/۹۱۲۳۶	۰/۹۱۱۱۱	۰/۹۱۷۷۷
logsig	[10]	۴۴	۲۰۰۹۷/۲۸۳۸	۰/۹۱۴۵۹	۰/۹۱۷۵۴	۰/۹۰۳۵۵
Logsig-tansig	[1 1]	۱۰۷	۲۲۴۳۷/۹۵۲	۰/۹۰۷۲۴	۰/۹۰۶۷۴	۰/۹۰۴۵۸
purelin- tansig	[1 1]	۱۶۶	۲۳۲۴۱/۹۹۴۵	۰/۹۰۸۲۱	۰/۹۰۲۶۷	۰/۹۰۴۵
Logsig-tansig	[5 5]	۳۱۸	۲۰۵۲۱/۸۳۹۲	۰/۹۱۴۲۹	۰/۹۱۵۷۷	۰/۹۱۶۸۹
Logsig-tansig	[10 10]	۲۹	۲۱۸۶۷/۶۱۵۳	۰/۹۱۷۰۱	۰/۹۱۰۱۱	۰/۹۱۳۵۵
Logsig-tansig- purelin	[1 1 1]	۱۲۵	۲۲۲۴۱/۹۳۱۴	۰/۹۰۷۶۶	۰/۹۰۸۴۲	۰/۹۰۱۳۴
Logsig-tansig- tansig	[5 5 5]	۲۳۸	۲۰۸۴۵/۵۸۶	۰/۹۱۳۶۹	۰/۹۱۵۲۲	۰/۹۱۴۹۷
logsig-tansig- tansig	[10 10 10]	۳۲	۲۰۷۸۰/۵۱	۰/۹۱۶۴۴	۰/۹۱۵۱	۰/۹۱۴۲

در شکل (۵)، نمودار همگرایی شبکه عصبی و رسیدن به حداقل میانگین مربعات خطا^۱ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است شبکه عصبی توانسته است با کمترین تکرار به همگرایی مورد نظر و حداقل میانگین مربعات خطا دست یابد.

شکل (۶) نشان دهنده ارتباط بین مقادیر واقعی توان تولیدی پنل ها با مقادیر برآورده شده توسط شبکه عصبی می باشد در این شکل داده های آموزش^۲، اعتبارسنجی^۳ و آزمون^۴ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل دیده می شود، نزدیک بودن شیب خط عبوری به عدد یک و کم بودن مقدار عرض از مبدا موید برتری نتایج مدل شبکه عصبی در تخمین توان تولیدی پنلها می باشد.



1. mse
2. Training
3. Validation
4. Test



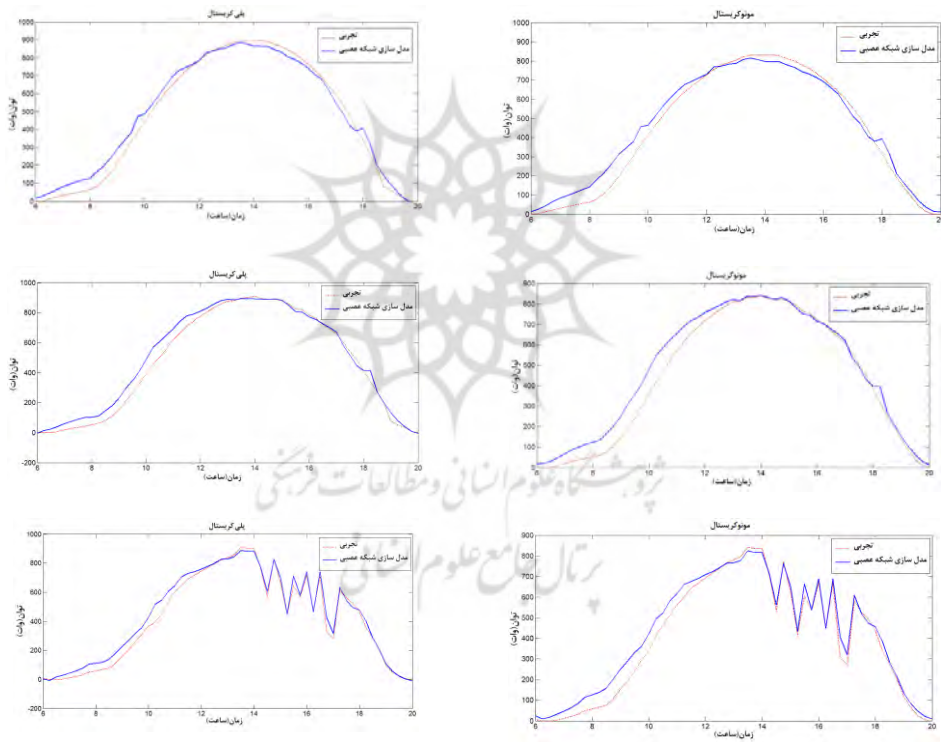
شکل ۶. ارتباط بین مقادیر واقعی توان تولیدی پنلها با مقادیر برآورده شده توسط شبکه عصبی

در ادامه مدل شبکه عصبی انتخاب شده را مورد ارزیابی قرار داده‌ایم، در شکل (۷) مدل شبکه عصبی^۱ برای روزهای مختلف با مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی^۲ مقایسه گردیده است، همانطور که از شکل‌ها نیز مشخص است شبکه عصبی از کارایی مناسبی برخوردار است. شکلهای نشان می‌دهد که شبکه عصبی مورد نظر در مواقع اغتشاش محیطی مثل افزایش ابر در آسمان و نوسانی شدن میزان توان تولیدی نیز بخوبی توانسته است توان مورد نظر را تخمین زند. در جدول (۲) میزان توان تولیدی پنل‌های مونوکریستال و پلی کریستال برای چند روز و نیز مقدار مدل‌سازی شبکه عصبی برای آن‌ها ذکر و مقایسه گردیده است.

1. Modelling
2. Experimental

جدول ۲. میزان توان تولیدی و مقایسه با مدل شبکه عصبی برای چند روز

تاریخ	مجموع توان پلی کریستال داده‌های تجربی (کیلووات ساعت)	مجموع توان پلی کریستال شبکه عصبی (کیلووات ساعت)	مجموع توان مونوکریستال داده‌های تجربی (کیلووات ساعت)	مجموع توان مونوکریستال شبکه عصبی (کیلووات ساعت)
۱۳۹۳/۰۴/۱۸	۸/۶۴	۸/۶	۸/۷۵	۸/۷۲
۱۳۹۳/۰۵/۲۵	۸/۸۳	۸/۸	۸/۹	۸/۹۲
۱۳۹۳/۰۷/۱۷	۷/۷۶	۷/۶۳	۷/۸	۷/۷۹



شکل ۷. مقایسه شبکه عصبی با داده های اندازه گیری شده دو نوع پنل پلی کریستال و مونوکریستال

برای روزهای ۱۳۹۳/۰۷/۱۷، ۱۳۹۳/۰۵/۲۵، ۱۳۹۳/۰۴/۱۸

۶. نتیجه گیری

شبکه عصبی از روش‌های محاسباتی هوشمند می‌باشد که مزیت اصلی آن سرعت بالا و دقت مطلوب در پیش بینی متغیرهای پیچیده با نگاهت خطی و غیرخطی است. در این مقاله با استفاده از پنل‌های مونو و پلی کریستال موجود یک روش مدل سازی سیستم های فتوولتائیک ارایه شده است. مدل بدست آمده با استفاده از شبکه های عصبی توسط داده‌های ۱ ساله صورت گرفته است. در این مدل ورودی‌ها، دمای پنل و تابش مستقیم خورشید و خروجی‌ها توان تولیدی پنل‌های مونوکریستال و پلی کریستال می‌باشند. با توجه به مقایسه میدانی مدل بدست آمده از شبکه عصبی طراحی شده و داده‌های سایت مشخص شده مدل بدست آمده دارای کارایی مناسبی می‌باشد.

پیشنهاد می‌گردد محققین محترم در آینده با استفاده از دیگر روش‌های هوشمند مثل فازی و... مدلسازی سیستم های فتوولتائیک را انجام دهند.

منابع

- [۱] البرزی، محمود(بی‌تا)، آشنایی با شبکه عصبی مصنوعی چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.
- [۲] رحیمی، مجتبی؛ زمانی محی آبادی، مصطفی؛ مرعشی، سید محمد باقر؛ جمالی پاقعه، سوده (بی‌تا)، "بررسی توان تولیدی پنل‌های فتوولتائیک مونو و پلی کریستال در دماهای مختلف" اولین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی انرژی خورشیدی تهران.
- [۳] زمانی محی آبادی، مصطفی؛ صفوی، سید علی اکبر؛ نقوی، سید وحید؛ سید محمد حسام محمدی (۱۳۹۴)، "بررسی عملکرد چرخه روغن نیروگاه سهموی خورشیدی شیراز بخش اول: مدلسازی و مانتورینگ" مجله مهندسی مکانیک، شماره پیاپی ۷۰، جلد ۴۵، شماره ۱، صفحه ۶۱-۶۷.
- [۴] زمانی محی آبادی، مصطفی؛ صفوی، سید علی اکبر؛ نقوی، سید وحید و سید محمد حسام محمدی (۱۳۹۱)، "طراحی و توسعه یک محیط شبیه ساز جهت نیروگاه ۲۵۰ کیلو وات خورشیدی شیراز بر پایه مدل سازی ترکیبی"، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۵، شماره ۳.
- [۵] زمانی محی آبادی، مصطفی (۱۳۹۲)، "پیش بینی لحظه ای تابش کل خورشید در شهر رفسنجان توسط شبکه عصبی"، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۶، شماره ۴.
- [۶] منهاج، باقر (۱۳۸۷)، شبکه های عصبی مصنوعی، تهران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

- [7] Almonacid F., Rus C., Hontoria L., Fuentes M. and G. Nofuentes (2009), "Characterisation of Si-crystalline photovoltaic modules by artificial neural networks", *Renewable Energy* 34, 941–949.
- [8] Alnaqi A.A., Moayedi H., Shahsavari A. & T.K. Nguyen (2019). Prediction of energetic performance of a building integrated photovoltaic/thermal system thorough artificial neural network and hybrid particle swarm optimization models. *Energy Conversion and Management*, 183, 137-148.
- [9] Al-Waeli, A. H., Sopian K., Yousif J.H., Kazem H.A., Boland J. & Chaichan, M.T. (2019). Artificial neural network modeling and analysis of photovoltaic/thermal system based on the experimental study. *Energy Conversion and Management*, 186, 368-379.
- [10] Dimri N., Tiwari A. and G.N. Tiwari (2019). Comparative study of photovoltaic thermal (PVT) integrated thermoelectric cooler (TEC) fluid collectors. *Renewable Energy*, 134, 343-356.
- [11] Durisch W., Tille D., Wo" rz, A., Plapp, W., (2000). "Characterisation of photovoltaic generators", *Applied Energy* 65, 273–284.
- [12] Mellit A., Saglam S. and S.A. Kalogirou (2013) "Artificial neural network-based model for estimating the produced power of a photovoltaic module", *Renewable Energy* 60, 71–78.
- [13] Lo Brano V., Orioli A., Ciulla G. and A. Di Gangi (2010) "An improved fiveparameter model for photovoltaic modules", *Solar Energy Materials and SolarCells* 94, 1358–1370.