



تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع با استفاده از شبکه های عصبی در استان کرمان

دکتر محمد علی شاهرخ نیا، احسان دهاقین بذرافشان
استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی فارس

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد

Mashahrokh@yahoo.com
Ehsan_1503@yahoo.com

خلاصه

به منظور تعیین آب مصرفی اراضی، ظرفیت کانالها و طراحی سیستم های آبی، حجم مخازن و سدها و دیگر موارد لازم است تا مقدار تبخیر و تعرق با دقت هر چه بیشتر محاسبه گردد. شبکه عصبی مصنوعی به گونه ای است که می تواند پس از آموزش، پارامتر خروجی مورد نظر را با اعمال پارامترهای ورودی برآورد نماید. به دلیل تاثیر متقابل پارامترهای هواشناسی در محاسبه تبخیر و تعرق، تخمین آن یک کار پیچیده و دارای روابط غیرخطی می باشد. از این رو شبکه های عصبی مصنوعی ابزار مناسبی برای تخمین تبخیر و تعرق می باشند. در این تحقیق با استفاده از ۷۵ درصد پارامترهای روزانه هواشناسی منطقه کرمان با ورودیهای مختلف و خروجی روش پنمن مانیتث شبکه را آموزش داده و با ۲۵ درصد مابقی جهت تست کردن شبکه تبخیر و تعرق گیاه مرجع برآورد گردیده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که می توان با استفاده از شبکه های عصبی تبخیر و تعرق گیاه مرجع را با درصد بسیار کم خطا، پیش بینی نمود. بهترین آرایش شبکه برای این معادلات به صورت ۳-۳-۱ و ۳-۵-۱ و ۳-۸-۱ با یک لایه پنهان و با تابع محرک سیگموئید و مومنتم ۰/۸ بدست آمد.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق گیاه مرجع، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم پس انتشار خطا، کرمان

۱. مقدمه

به دلیل اینکه برآورد میزان آبی که در طرح های آبی، بر اساس تبخیر و تعرق انجام می شود، تخمین و تعیین این پارامتر در مطالعات آبیاری و زهکشی بسیار ضروری می باشد. با توجه به اینکه بدست آوردن مقدار تبخیر و تعرق برای هر نوع زراعت یا پوشش گیاهی بسیار مشکل است، در عمل ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه و سپس به کمک آن تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر محاسبه می شود. این ایده که توسط دورنوس و پرویت [۱] مطرح شده، توسط سازمان خواربار جهانی (FAO) نیز مورد تایید قرار گرفته است. دورنوس و پروت با توجه به وضعیت پوشش گیاهی محیط نصب تشت تبخیر دو جدول برای تعیین ضریب تشت ارائه دادند. یکی از جداول مربوط به وضعیتی است که تشت تبخیر در میان پوشش گیاهی است و جدول دیگر برای وضعیتی است که تشت تبخیر در اراضی خشک است و پوشش گیاهی در فاصله معینی از تشت تبخیر قرار گرفته است. در این جداول ضریب تشت بستگی به مسافت و یا فاصله پوشش گیاهی از تشت تبخیر (F)، سرعت باد (U) و رطوبت نسبی هوا (RH) دارد. روش های زیادی مبتنی بر داده های هواشناسی برای شرایط مختلف جغرافیایی و اقلیمی برای محاسبه ET_0 تدوین شده است. این روش ها از معادلات پیچیده مثل روش پنمن مانیتث [۲] که داده های هواشناسی زیادی نیاز دارند تا معادلات ساده تر مثل روش های بلانی و کریدل، هارگریوس و سامانی که به داده های کمتری نیاز دارند، گسترده است. محققین استفاده از معادله پنمن مانیتث (ET_{PM}) را بعلاوه دارا بودن مبانی تئوری و سازگاری با دوره های زمانی کوتاه برای تعیین ET_0 توصیه نمودند [۳]. عوامل موثر بر تبخیر و تعرق در رابطه با این پدیده از یک سیستم پیچیده و غیر خطی تبعیت می کنند. زیرا این پدیده تحت تاثیر پارامترهای همچون دما، رطوبت، سرعت باد و غیره بوده که پارامترهای اخیر نیز بر یکدیگر تاثیر می گذارند. تبخیر و تعرق یک پدیده غیرخطی و پیچیده است زیرا اولاً بستگی به فاکتورهای اقلیمی مختلفی دارد، ثانیاً این فاکتورها روی یکدیگر تاثیر پذیرند. بنابراین تهیه یک مدل ریاضی برای آن با در نظر گرفتن تمام فاکتورهای اقلیمی موثر روی آن، کاری مشکل و در صورت امکان یا با خطاهای قابل توجهی روبروست یا نیاز به اطلاعات زیادی دارد که اندازه گیری آنها مشکل و وقت گیر است. از این گذشته هر مدل ریاضی برای یک اقلیم خاصی تهیه شده و برای آن اقلیم معتبر است. بنابراین با توجه به ماهیت مسئله تبخیر و تعرق نیاز به محاسبات خاصی است. از میان ابزارهای محاسباتی، شامل ژنتیک الگوریتم (GA)، رگرسیون اسپلاین تطبیقی چند متغیره و شبکه های عصبی مصنوعی، آخرین مورد کاربرد بیشتری برای مدل سازی و تخمین تبخیر و تعرق نسبت به بقیه دارد. شبکه های عصبی مصنوعی مزیتی که نسبت به سایر مدل های تعیین کننده دیگر دارند، این است که نیازهای اطلاعاتی آن کمتر بوده و برای پیش بینی طولانی



مدت، بسیار مناسب هستند. شبکه های عصبی مصنوعی این قابلیت را دارند که روابط منطقی بین پارامترهای ورودی و خروجی یک پدیده را بیان نمایند، بخصوص در مسائلی که ایجاد ارتباط بین اطلاعات موجود مشکل می باشد.

برتن و همکاران [۴] با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، تبخیر روزانه از تشت را تخمین زدند. داده های ورودی عبارت بوده از: بارندگی، درجه حرارت، رطوبت نسبی، تشعشعات خورشیدی و سرعت باد. میزان تبخیر از تشت که از روش شبکه های عصبی مصنوعی محاسبه شده دارای کمترین خطا نسبت به سایر روش ها بوده و خطائی برابر با ۱/۱۱ میلی متر در روز داشته است. ادهیامبو و همکاران [۵] با استفاده از روش عصبی - فازی، تبخیر و تفرق مرجع چمن را تخمین زدند. داده های ورودی عبارت بوده از تشعشعات خورشیدی، رطوبت نسبی، سرعت باد و درجه حرارت، میزان خطای محاسبه شده با این روش برابر با ۰/۴۸ میلی متر در روز بوده و میزان خطای به دست آمده از روش پنمن مانتیث - فانو برابر با ۰/۵۶ میلی در روز بوده است. کامار و همکاران [۶] با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی تبخیر و تفرق مرجع چمن را تخمین زدند. در این مطالعه داده های اقلیمی شامل حداقل و حداکثر رطوبت نسبی هوا، سرعت باد و تشعشعات خورشیدی از دیویس کالیفرنیا جمع آوری شده و به عنوان داده های ورودی محسوب گردیده است. نهایتاً شبکه ای با یک لایه ورودی (با ۶ عنصر فرایند)، یک لایه مخفی (با ۷ عنصر فرایند) و یک لایه خروجی (با یک عنصر فرایند) بهترین نتایج را داده است. به طوری که مقدار خطا کمتر از ۰/۶ میلی متر در روز بود در حالی که مقدار خطای روش پنمن مانتیث برای داده های این تحقیق برابر با ۰/۹۷ میلی متر در روز بود، تراجکویس و همکاران [۷]، برای پیش بینی تبخیر و تفرق مرجع از روش شبکه های عصبی مصنوعی استفاده نمودند. در واقع لایه ورودی آن ها دارای دو عنصر فرایند بود. نسبت تبخیر و تفرق پیش بینی شده به اندازه گیری شده، به طور متوسط ۰/۹۹۴ بود که کارائی خوب این روش را نشان می دهد. با توجه به اینکه بایستی برای هر منطقه یک شبکه عصبی مصنوعی طراحی شود، در این مقاله اینکار نیز با استفاده از داده های هواشناسی به دو شکل داده های تشت تبخیر و پنمن مانتیث برای استان کرمان انجام گرفته است.

۲. مواد و روشها

شبکه عصبی مصنوعی مدلی ریاضی است که توانایی مدل سازی و ایجاد روابط غیر خطی برای درون یابی را دارا می باشد. یک مدل با ساختار پرسپترون چند لایه که از سه لایه ورودی، پنهان، و خروجی تشکیل شده است. در هر لایه یک یا چند نرون وجود دارد. در یک ساختار شبکه عصبی، مجموعه ای از نرونها دخالت دارند که هر نرون با همه نرونها لایه بعدی مرتبط است. تعداد نرونها لایه ورودی برابر تعداد متغیرهای مستقل سیستم مورد نظر (در این تحقیق، پارامترهای هواشناسی) می باشد. هر یک از نرونها لایه ورودی در وزنی ضرب می شوند. هر نرون از دو بخش تشکیل شده است. در بخش نخست، مجموعه وزنی مقادیر ورودی محاسبه می شود و در بخش دوم خروجی بخش نخست در یک تابع ریاضی قرار گرفته و خروجی نرون را محاسبه می نماید. این تابع ریاضی، تابع محرک یا آستانه نامیده می شود و دارای انواع مختلفی نظیر توابع تانژانت هیپربولیک، سیگموئید خطی، باینری و گوسی می باشد. همه این توابع پیوسته و مشتق پذیرند و خروجی آنها در یک محدوده عددی خاصی (عموماً بین صفر و یک یا بین یک و منهای یک) قرار می گیرند. مرسوم ترین و پر کاربردترین توابع در این زمینه، توابع سیگموئیدی هستند [۸].

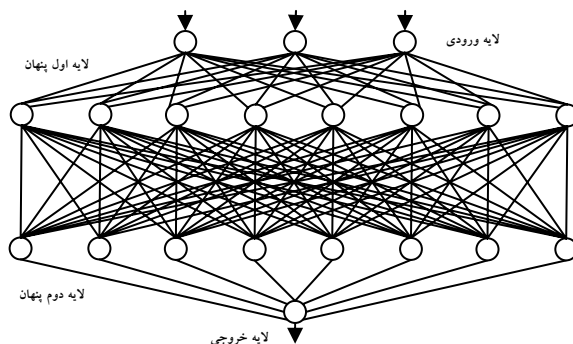
آموزش شبکه های عصبی به دو طریق آموزش می گیرد، آموزش تحت نظارت (سرپرستی) که در آن خروجی مشخصی به هر ورودی اختصاص داده می شود (همانند آرایش مورد استفاده در این پژوهش) و آموزش بدون نظارت (بدون سرپرستی) که خروجی از قبل تعیین شده ای ندارد. برای آموزش شبکه های عصبی از الگوریتمهای یادگیری متفاوتی مانند الگوریتم پس انتشار خطا، الگوریتم پس انتشار گرادیان مزدوج و الگوریتم مارکوات لورنبرگ استفاده می شود. انتخاب هر الگوریتم بر سرعت یادگیری و دقت شبکه موثر است. در این تحقیق از الگوریتم پس انتشار خطا استفاده می شود. الگوریتم پس انتشار خطا از دو مسیر اصلی تشکیل می شود. مسیر اول، به مسیر رفت (Forward path) موسوم می باشد که در این مسیر بردار ورودی به شبکه اعمال شده و تاثیراتش از طریق لایه های میانی به لایه خروجی انتشار می یابد. در این مسیر پارامترهای شبکه ثابت و بدون تغییر در نظر گرفته می شوند. مسیر دوم، به مسیر برگشت (Backward) موسوم می باشد که در این مسیر، بر عکس مسیر رفت پارامترهای شبکه تغییر و تنظیم می گردند که این تنظیم مطابق با قانون اصلاح خطا انجام می گیرد. بردار خطا برابر اختلاف بین پاسخ مطلوب و پاسخ واقعی شبکه می باشد. مقدار خطا پس از محاسبه در مسیر برگشت از لایه خروجی و از طریق لایه های شبکه، در کل شبکه توزیع می گردد. چون توزیع اخیر در خلاف مسیر ارتباطی وزنی نرونها صورت می گیرد، کلمه پس انتشار خطا جهت توضیح اصلاح رفتاری شبکه انتخاب شده است [۹]. خروجی شبکه را می توان با استفاده از معادلات زیر محاسبه کرد. ابتدا ورودیهای وزن دار بر اساس رابطه زیر جمع می شوند:

$$Nod_j = \sum_{i=1}^{NIN} (W_{ij} x_i) + \theta_j \quad (1)$$

که در آن Nod_j : مجموع ورودیهای وزن دار j مین گره پنهان؛ NIN : تعداد گره های ورودی؛ W_{ij} : وزن اتصال بین i مین گره ورودی و j مین گره پنهان؛ x_i : ورودی نرمال شده در گره ورودی و θ_j : مقدار بایاس در j مین گره پنهان می باشد

در مرحله دوم، ورودی وزن دار با استفاده از تابع محرک تغییر شکل داده می شود:

$$Out_j = \frac{1}{1 + e^{-nod_j}} \quad (2)$$



شکل ۱- نمای شبکه مصنوعی با ساختار ۱-۸-۸-۳ با دو لایه پنهان

که Out_k خروجی از k مین گره مخفی می باشد. در مرحله سوم خروجیهای گره مخفی جمع می شوند:

$$Nod_k = \sum_{j=1}^{NHN} (W_{jk} out_j) + \theta_k \quad (3)$$

که در آن: Nod_k : مجموع برای k مین گره خروجی؛ NHN : تعداد کل گره های پنهان؛ W_{jk} : وزن ارتباطی بین k مین گره پنهان و k مین گره خروجی؛ θ_k : بایاس در k مین گره خروجی می باشد. در پایان مجموع وزن دار تغییر شکل داده می شود.

$$Out_k = \frac{1}{1 + e^{-nod_k}} \quad (4)$$

که Out_k خروجی در گره خروجی می باشد.

در این تحقیق داده های مورد نیاز از ۹ ایستگاه هواشناسی با عرض و طول جغرافیایی مختلف بدست آمد و استفاده شد. آمارهای بکار برده شده به صورت روزانه شامل دمای حداکثر و حداقل، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی، تبخیر از تشت و غیره طی دوره آماری سالهای ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۵ میلادی است. ۷۵ درصد از کل داده ها از هر شهرستان برای آموزش شبکه و ۲۵ درصد باقی مانده نیز جهت تست کردن شبکه استفاده گردیدند. همچنین با استفاده از این اطلاعات، تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن مانتیث (مینا) و به کمک برنامه کامپیوتری نوشته شد، و محاسبه گردید. این تحقیق به دو شکل صورت گرفت. حالت اول از داده های پنمن مانتیث استفاده می کنیم بدین صورت از بین داده های دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی، و تابش برون زمینی آنهای که بیشترین تاثیر را دارند در جهت برآورد میزان تبخیر و تعرق برای هر ایستگاه و منطقه مورد استفاده قرار می دهیم. این روش را روش پنمن با حداقل داده یا پنمن حداقل (ET_{PMR}) می نامیم. حالت دوم برای ورودیهای تبخیر از تشت، سرعت باد و رطوبت نسبی هوا به شکلهای گوناگون و با یک خروجی پنمن مانتیث به عنوان مبنای آرایشهای مختلف انجام شد. همانطور که گفته شد در جداول دورنبوس و پرویت ضریب تشت بستگی به مسافت و یا فاصله پوشش گیاهی از تشت تبخیر (F)، سرعت باد (U) و رطوبت نسبی هوا (RH) دارد پس با تاثیر این ۳ عامل بر هم می توان بدون جدول به تبخیر و تعرق گیاه مرجع مستقیماً دست یافت. این مدل را مدل تبدیل تشت (ET_{PAN}) می نامیم. در این پژوهش از شبکه عصبی با ساختار پرسپترون چند لایه و آموزش با سرپرستی (پارامتر خروجی ET_0) استفاده شد. با توجه به اینکه تعداد پارامترهای ورودی از بین عواملی که بیشترین تاثیر را در تبخیر و تعرق داشتند متفاوت بود و یک خروجی (ET_0 مینا) در شبکه استفاده شد، لذا لایه های پنهان را به تعداد مختلف و به صورت یک و دو لایه استفاده گردید، تا بهترین آرایش را که دقیق ترین جواب را از بین مدل‌های موجود با کمترین خطا برای هر ایستگاه می دهد، انتخاب نماییم. برای انجام محاسبات مربوط به شبکه عصبی از نرم افزار Qnet 2000 استفاده شد که بر اساس الگوریتم پس انتشار خطا عمل می کند.

۳. نتایج و بحث

طبق مطالعات انجام شده تعداد ۱ و ۲ لایه پنهان در شبکه پرسپترون قابلیت بالایی در تقریب زدن هر تابع غیرخطی را دارا می باشد، از این رو ابتدا برای یک لایه پنهان تعداد نرونهای متفاوت تست می گردد و برای اختلاف ۱ یا ۲ نرون در محدوده تعداد نرون لایه ورودی بهترین پاسخ ها بدست می آید که این نتایج برای ۲ لایه پنهان صادق می باشد. برای هر آرایش پس از آموزش شبکه مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی ثبت می گردد. برای



استفاده از تابع محرک سیگموئیدی می بایست اطلاعات ورودی پیش از آموزش شبکه، نرمال شوند بطوری که اطلاعات ورودی به شبکه در محدوده صفر و یک قرار گیرند. این مرحله که نقش مهمی را در یادگیری شبکه ایفا می کنند توسط خود مدل با انتخاب گزینه مربوط انجام می گیرد. مقدار ET_0 محاسبه شده از طریق روش پنمن مانیتث و پیش بینی مدل برای داده های آموزش و داده های تست در قالب فایلی به عنوان خروجی مدل ثبت می گردد و برای محاسبه معیارهای مقایسه ای مورد استفاده قرار می گیرد. برای ارزیابی کارایی یک مدل آماره های متفاوتی وجود دارد که می توان به ضریب همبستگی (r)، جذر میانگین مربعات (RMSE) اشاره کرد. مقادیر ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات از روابط زیر بدست می آیند:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum y^2 \cdot \sum x^2}} \quad (5)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum (X - Y)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (6)$$

که در آن X : مقدار تبخیر و تعرق اندازه گیری شده به روش پنمن مانیتث و Y : مقدار تبخیر و تعرق برآورد شده به وسیله شبکه های عصبی است.

رای انتخاب بهترین آرایش شبکه، با تست کردن توابع متعدد، مشاهده می گردد که علاوه بر تابع سیگموئید که معمولاً از آنها استفاده می شود، تابع تانژانت هیپربولیک نیز جواب های قانع کننده ای بدست می دهد و از این تابع نیز برای تعیین بهترین آرایش شبکه استفاده می گردد. حداکثر تکرار نیز ۲۰۰۰۰ تکرار در نظر گرفته می شود چرا که کمتر از این مقدار، دامنه نوسان RMSE در زمان آموزش و تست، زیاد می شود. با توجه به توصیه های انجام شده در مورد مدل Qnet 2000 برای میزان سرعت یادگیری ۰/۰۱ (محدوده بین صفر تا یک) و ترم مومنتم ۰/۸ و ۰/۹ کمترین مقدار خطا بدست می آید.

بعلت حجم بالای کار یعنی پارامترهای ورودی متفاوت و تعداد ایستگاههای زیاد، در این تحقیق شهرستان کرمان را به عنوان نمونه از بین ۹ شهرستان حاضر انتخاب کرده و کلیه ساختارهای شبکه به همراه دو لایه پنهان و مومنتم متفاوت و دو تابع محرک مختلف را بررسی کرده که نتایج این ایستگاه در جدول (۱) آورده شده است. در نتایج، بحث اول در مورد تعداد لایه های پنهان است. جواب های بدست آمده در ایستگاه کرمان و سایر ایستگاه ها با ورودی ها و توابع مختلف حاکی از آن هستند تعداد یک یا دو لایه پنهان تفاوت چندانی برای پیش بینی میزان تبخیر و تعرق را به همراه ندارد و هر دو آنها قابلیت تقریباً یکسانی برای پیش بینی رابطه غیر خطی بین پارامترهای هواشناسی و تبخیر و تعرق متناظر با آنها را دارا می باشند. پس می توان گفت که استفاده از یک لایه پنهان علاوه بر بالا بودن دقت بالا، دارای طراحی و آرایش راحت تری بوده و نیاز به صرف زمان کمتری دارد. در مورد تابع مومنتم نیز می توان گفت تابع مومنتم ۰/۹ تا حدودی بالاتر از مومنتم ۰/۸ و در بسیاری از موارد به صورت یکسان جواب می دهند. اما مهمترین قسمت تابع محرکی است که مومنتم موجود باید با آن جواب بدهد. در این تحقیق از ۲ تابع که بیشترین کاربرد را در شبکه های عصبی دارند یعنی تابع سیگموئیدی و تابع تانژانت هیپربولیک استفاده شد.

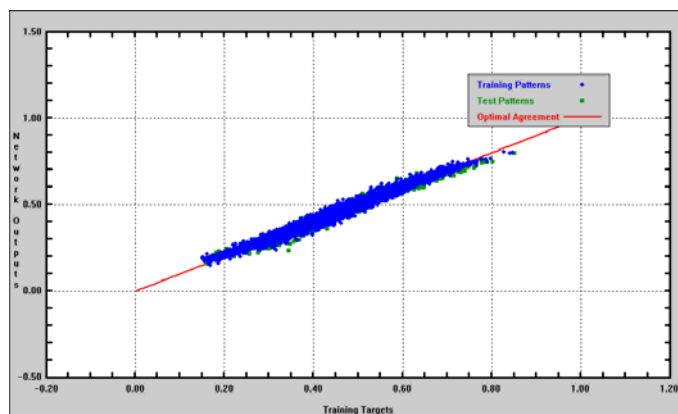
بر اساس RMSE و ضریب همبستگی، در این تحقیق توابع محرک سیگموئیدی بیشترین دقت را نسبت به تانژانت هیپربولیک می دهند. حتی در مواردی تابع هیپربولیک بر طبق جداول ارائه شده، جوابگوی در محاسبه نیست که با علامت تیره مشخص شده اند. البته در بعضی موارد نیز توابع سیگموئیدی جوابگو نبوده اما به هر دلیل دقت آن از تابع هیپربولیک بیشتر نشان داده شد. پس می توان تابع محرک سیگموئید با مومنتم ۰/۸ را با یک لایه پنهان به عنوان ساختار برجسته انتخاب کرد. اما تعداد گره های لایه پنهان بسته به ایستگاه ها و پارامترهای ورودی دارد که این تعداد گره ها با میزان دقتشان در جداول ذکر شده اند.

برای ایستگاه کرمان در بین جداول کل تحقیق، جدول (۱) با پارامترهای ورودی دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی در شبکه عصبی بیشترین دقت را نسبت به ورودی های دیگر را ثبت کرد. در مورد بهترین آرایش شبکه ها برای ایستگاه کرمان در حالت تخمین مدل بهترین حالت بر اساس RMSE، با ساختار ۱-۵-۳ با مومنتم ۰/۸ و تابع محرک سیگموئید است. بهترین آرایش برای منطقه با ساختار ۱-۸-۳ با تابع محرک سیگموئیدی و مومنتم ۰/۸ بهترین جواب ها را می دهند. به لحاظ نموداری در بهترین حالت تخمین در مدل پنمن حداقل شکل (۲) و (۳) بیانگر رابطه بین پنمن مانیتث و مدل شبکه عصبی با ۳ ورودی (دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی) می باشد و میزان دقت مدل با شبکه عصبی را گویا است. شکل های (۴) و (۵) نیز به ترتیب نمودار تکرارها برای بهترین آرایش شبکه در ایستگاه کرمان برای مدل پنمن حداقل هستند.

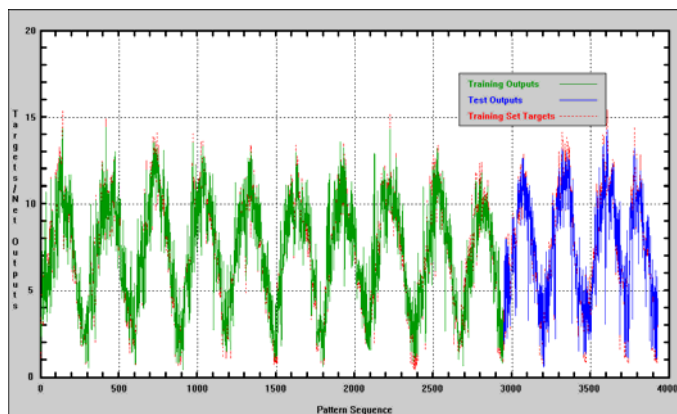


جدول ۱ - خلاصه آمارهای مربوط به آرایش ها و لایه های مختلف - پهن من حداقل

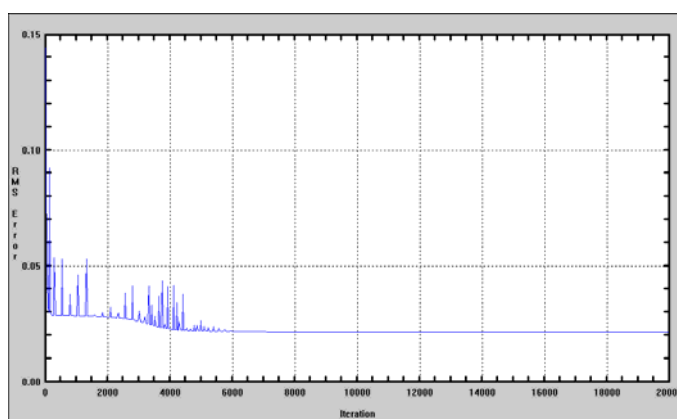
کرمات	ماهیت عناصر فرایند			ورودی	دمای هوا ($^{\circ}C$)	سرعت باد (m/s)	رطوبت نسبی (%)		
	پنهان			ورودی	-				
	خروجی			خروجی	تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع از روش پهن منانتیث mm/day				
یک لایه پنهان	ساختار شبکه			مونتیم	تابع محرک	ضریب همبستگی		RMSE	
	ورودی	پنهان	خروجی			تست	آموزش	تست	آموزش
یک لایه پنهان	۱	۳	۳	۰/۸	تانزانت هیپربولیک	۰/۹۸۸۱۳	۰/۹۸۶۷۴	۰/۰۲۱۸۷	۰/۰۲۳۶۴
	۱	۵	۳	۰/۸	تانزانت هیپربولیک	۰/۹۸۸۵۸	۰/۹۸۷۶۷	۰/۰۲۱۴۵	۰/۰۲۳۱۹
	۱	۸	۳	۰/۸	تانزانت هیپربولیک	۰/۹۸۴۴۷	۰/۹۸۲۷۶	۰/۰۲۵۰۰	۰/۰۲۷۶۲
	۱	۳	۳	۰/۹	تانزانت هیپربولیک	۰/۹۸۸۳۷	۰/۹۸۷۴۸	۰/۰۲۱۶۵	۰/۰۲۲۹۵
	۱	۳	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸۸۲۱	۰/۹۸۷۲۰	۰/۰۲۱۸۰	۰/۰۲۳۲۸
	۱	۵	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸۸۷۸	۰/۹۸۷۷۸	۰/۰۲۱۲۶	۰/۰۲۲۹۷
	۱	۸	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸۸۵۶	۰/۹۸۷۷۶	۰/۰۲۱۴۸	۰/۰۲۳۰۱
	۱	۳	۳	۰/۹	سیگموئید	۰/۹۸۸۵۳	۰/۹۸۷۵۲	۰/۰۲۱۵۰	۰/۰۲۳۱۵
دو لایه پنهان	۱	۳-۳	۳	۰/۸	تانزانت هیپربولیک	۰/۹۸۰۶۰	۰/۹۷۴۶۳	۰/۰۲۷۹۱	۰/۰۳۳۱۰
	۱	۵-۵	۳	۰/۸	تانزانت هیپربولیک	-	-	-	-
	۱	۸-۸	۳	۰/۸	تانزانت هیپربولیک	-	-	-	-
	۱	۳-۳	۳	۰/۹	تانزانت هیپربولیک	۰/۹۸۸۹۰	۰/۹۸۷۹۹	۰/۰۲۱۱۵	۰/۰۲۲۶۵
	۱	۳-۳	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸۸۸۲	۰/۹۸۸۳۷	۰/۰۲۱۲۳	۰/۰۲۲۳۱
	۱	۵-۵	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸۸۵۷	۰/۹۸۷۶۱	۰/۰۲۱۴۹	۰/۰۲۳۰۲
	۱	۸-۸	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸۸۷۴	۰/۹۸۷۸۳	۰/۰۲۱۳۳	۰/۰۲۳۰۳
	۱	۳-۳	۳	۰/۹	سیگموئید	۰/۹۸۷۲۱	۰/۹۸۵۷۴	۰/۰۲۲۷۰	۰/۰۲۴۳۹
۱	۹-۹	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸۸۳۹	۰/۹۸۷۵۱	۰/۰۲۱۶۴	۰/۰۲۳۰۸	



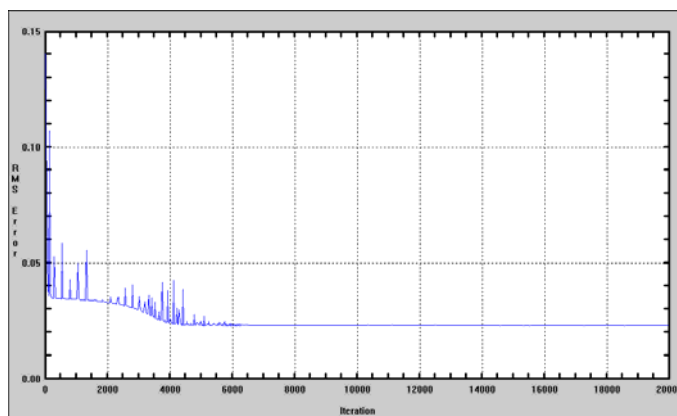
شکل ۲ - نمودار همبستگی بین نتایج حاصل از روش پهن منانتیث و خروجی بهترین آرایش شبکه عصبی - ایستگاه کرمان



شکل ۳- مقایسه نتایج حاصل از روش پنمن مانیتث و شبکه عصبی مصنوعی برای بهترین آرایش شبکه - ایستگاه کرمان

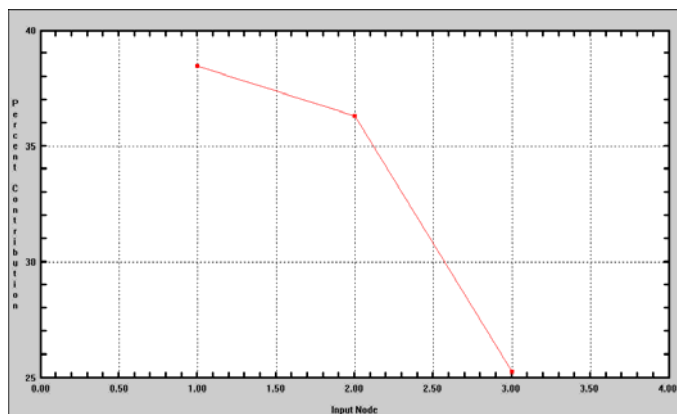


شکل ۴- نمودار تکرار در برابر خطای جذر میانگین مربعات آموزش برای بهترین آرایش شبکه - ایستگاه کرمان



شکل ۵- نمودار تکرار در برابر خطای جذر میانگین مربعات تست برای بهترین آرایش شبکه - ایستگاه کرمان

دو شکل (۶) و (۷) به ترتیب ضریب حساسیت گره ورودی و لایه پنهان را برای بهترین حالات شبکه تحلیل می کنند. بدین ترتیب که شکل (۶) بیانگر آن است که دمای هوا ۳۸/۵ درصد و سرعت باد ۳۶/۵ درصد و رطوبت نسبی ۲۵ درصد از تعرق را در این ورودی ها توجیه میکنند. بهترین آرایش شبکه برای ایستگاه کرمان ۱-۵-۳ میباشد. عدد ۵ نمایشگر تعداد گره های لایه پنهان است که در شکل (۷) ضریب حساسیت این گره ها در محاسبه میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع به ترتیب از چپ به راست آورده شده است. برای سایر ایستگاه های دیگر بطور خلاصه بهترین ورودی ها به همراه دقیق ترین آرایش ها برای هر کدام جداگانه در جدول (۲) آورده شده است. چنانچه که از جدول مشاهده می شود بجز دو ایستگاه کرمان و کهنوج که با سه ورودی دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی بهترین جواب ها را دارند. سایر ایستگاه های موجود در این تحقیق با ۳ ورودی دمای هوا، سرعت باد و تابش برون زمینی بیشترین دقت را دارند. مرحله بعد بررسی پارامترهای مختلف برای مدل تبدیل تشت توسط شبکه عصبی است برای مدل



شکل ۶- نمودار ضریب حساسیت گره‌های ورودی و ورودی (۱:دمای هوا - ۲:سرعت باد - ۳:رطوبت نسبی) - ایستگاه کرمان

تبدیل تست دقیقاً همین مراحل را که برای مدل پنمن حداقل توضیح داده شد نیز طی می‌کنیم اما با پارامترهای ورودی متفاوت که کلیه نتایج برای نمونه ایستگاه کرمان در جداول (۳) و سایر ایستگاه‌های دیگر در جدول (۴) نشان داده شده است. پارامترهای ورودی سرعت باد، رطوبت نسبی و تبخیر از تست در شبکه عصبی بر مدل تبدیل تست بیشترین دقت را نسبت به ورودی‌های متنوع دیگر که در این مرحله در نظر گرفته شد، داشت. بر اساس نتایج بدست آمده از ایستگاه کرمان بهترین آرایش شبکه در حالت تخمین، آرایش با ساختار ۱-۸-۳ با مومنتم ۰/۸ و تابع محرک سیگموئید است که به لحاظ نموداری به ۶ صورت کلی گفته شده این مدل‌ها نیز تحلیل شدند.

جدول ۲- خلاصه آمارهای مربوط به بهترین حالات شبکه برای هر ایستگاه- پنمن حداقل

خروجی	ورودی	ایستگاه	ساختار شبکه			تابع محرک	ضریب همبستگی		R M S E		
			ورودی	پنهان	خروجی		تست	آموزش	تست	آموزش	
تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع از روش پنمن مانیتش	دمای هوا - سرعت باد - تابش برون زمینی	کرمان	-	-	-	-	-	-	-	-	
		انار	۱	۸	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۹	۰/۱۹	۰/۱۷	
		سیرجان	۱	۸	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸	۰/۲۷	۰/۲۵	
		بیم	۱	۸	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۱۷	
		رفسنجان	۱	۵	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸	۰/۲۲	۰/۲۲	
		شهربابک	۱	۵	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸	۰/۲۳	۰/۲۳	
		کهنوج	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		بافت	۱	۵	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۷	۰/۲۸	۰/۲۸	
		جیرفت	۱	۵	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸	۰/۱۷	۰/۱۸	
دمای هوا - رطوبت نسبی	کرمان	کرمان	۱	۵	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸	۰/۲۱	۰/۲۲	
		کهنوج	۱	۵	۳	۰/۸	سیگموئید	۰/۹۸	۰/۲۱	۰/۲۳	



پنهان علاوه بر دارا بودن دقت بالا، دارای طراحی آرایش راحت تری بوده و نیاز به صرف زمان کمتری دارد. همچنین عبارت مومنتم $0/8$ و تابع محرک سیگموئیدی جواب دقیقتری را بدست می دهد و استفاده از این دو فاکتور مقدار خطای کمتری را نتیجه می دهند. بر طبق شاخص خطا، آرایش ۱-۵-۳ و ۱-۸-۳ برای استان دارای بهترین حالت بوده و مقدار تبخیر و تعرق را با بیشترین دقت پیش بینی می کند. بر اساس نتایج بدست آمده در کل تحقیق میتوان به این نتیجه کلی رسید که با مبنا قرار دادن اطلاعات لایسمتری (در صورت وجود) به جای پنمن مانیتش می توان به جواب های دقیق تر و کاربردی تری در این تحقیق دست یافت.

جدول ۴- خلاصه آمارهای مربوط به بهترین حالات شبکه برای هر ایستگاه - تبدیل تست

R M S E		ضریب همبستگی		تابع محرک	مومنتم	ساختار شبکه			ایستگاه	ورودی	خروجی
تست	آموزش	تست	آموزش			ورودی	پنهان	خروجی			
۰/۰۵۰	۰/۰۴۴	۰/۹۳	۰/۹۴	سیگموئید	۰/۸	۳	۸	۱	کرمان	سرف باد- رطوبت نسبی - تبخیر تست	تبخیر و تعرق پانسیل گیاه مرجع از روش پنمن مانیتش
۰/۰۴۲	۰/۰۳۹	۰/۹۴	۰/۹۵	سیگموئید	۰/۸	۳	۵	۱	انار		
۰/۰۴۶	۰/۰۴۳	۰/۹۳	۰/۹۵	سیگموئید	۰/۸	۳	۳	۱	سیرجان		
۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۹۵	۰/۹۴	سیگموئید	۰/۸	۳	۵	۱	بم		
۰/۰۴۳	۰/۰۴۱	۰/۹۳	۰/۹۵	سیگموئید	۰/۸	۳	۵	۱	رفسنجان		
۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۹۴	۰/۹۴	سیگموئید	۰/۸	۳	۵	۱	شهربابک		
۰/۰۳۵	۰/۰۲۹	۰/۹۷	۰/۹۷	سیگموئید	۰/۸	۳	۸	۱	کهنوج		
۰/۰۵۸	۰/۰۴۷	۰/۹۰	۰/۹۰	سیگموئید	۰/۸	۳	۸	۱	بافت		
۰/۰۳۹	۰/۰۲۸	۰/۹۳	۰/۹۶	سیگموئید	۰/۸	۳	۵	۱	جیرفت		

۵. مراجع

- Doorenbos, J. and Pruitt. W. O. 1977. Guidelines for prediction of crop water requirements. Irrigation Drainage Paper n24.FAO.Rome.Italy.
- Allen, R, G., Periera, L.S., Raes, D., and Smith. 1998. "Crop evapotranspiration: Guideline for computing crop water requirement." FAO Irrigation and drainage. Paper No 56. FAO. Rome. Italy. 301pp.
- خیرابی، ج. توکلی، ع. انتصاری، م. ر. و سلامت، ع. ر. ۱۳۷۶. " معرفی جهات نظری و کاربردی روش پنمن- مانیتش و ارائه تبخیر و تعرق مرجع استاندارد برای ایران. " انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۶۵ص.
- Bruton, J. R. W. McClendon and G. Hoogenboom. 2000. Estimating daily pan evaporation with artificial neural network. Trans. ASAE. 43(2):492-496.
- Odhiambo, L. O., R. E. Yoder, D.C.Yoder and J.W.Hines. 2001. Optimization of fuzzy evaporation model through neural training with input-output examples. Trans. ASAE. 44(6):1625-1633.
- Kumar, M., Raghuvanshi, N.S., Singh, R., Wallender, W.W.and Pruitt, W.O.2002."Estimating evapotranspiration using artificial net work". J Irrig. Drain. Eng., 128(4), 224-233.
- Trajkovic, S., B. Todorovic and M. Standkovic.2003. Forecasting of reference evapotranspiration by artificial neural network .J. Irrig. And Drain. ASCE.129(6):454-457.
- کاشفی پور، م. ۱۳۸۱. " استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در مهندسی رودخانه ". ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. کارگاه آموزشی مدل های ریاضی GIS.
- منهاج، م. ب. ۱۳۸۱. " مبانی شبکه های عصبی و هوش محاسباتی ". انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر. ج اول. ۵۰۲ص.