

شبیه‌سازی حرکت برخان‌ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: کویر حاج‌علی‌قلی)

علیرضا عرب عامری^{1*}، جلال کرمی²، سیاوش شایان³، عبدالله کلورائیان⁴

1- دانشجوی دکتری ژئومرفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

2- استادیار بخش سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

3- استادیار ژئومرفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

4- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: 93/2/10 پذیرش: 93/6/8

چکیده

در قسمت‌های جنوبی پلاپای حاج‌علی‌قلی در بخش شرقی استان سمنان، تنوعی گسترده از تپه‌های برخانی وجود دارد. تپه‌های برخانی این منطقه با حفظ شکل خود، در مسیر باد غالب حرکت می‌کنند؛ بنابراین تغییر مکان و حرکت جانبی با روند متداول سالیانه مهم‌ترین ویژگی آن‌هاست. هدف این پژوهش، شبیه‌سازی حرکت برخان‌ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی است. شبکه عصبی مصنوعی مدل غیرخطی است که عمل کردی شبیه به مغز انسان دارد. در سال‌های اخیر، شبکه عصبی مصنوعی یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدله کردن فرایندهای پیچیده، مانند حرکت پدیده‌هاست. در مطالعات زیادی، شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با مدل‌های تناوبی نتایج بهتری نشان داده است. براساس یافته‌های پژوهش، مدل پیش‌بینی‌کننده شبکه عصبی مصنوعی ابزاری کاربردی در پیش‌بینی حرکت پدیده‌هاست. جهت بررسی میزان دقت و حساسیت مدل پیش‌بینی‌کننده شبکه عصبی مصنوعی حرکت صد برخان اندازه‌گیری شد و 70 درصد آن برای آزمون و 30 درصد برای اعتبارسنجی به‌کار رفت. به‌منظور ارزیابی دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی، داده‌های اندازه‌گیری و برآوردشده با یکدیگر مقایسه و سپس تجزیه و تحلیل شدند. بهترین دقت مدل 0/996 بوده است که نشان



می‌دهد مدل پیش‌بینی‌کننده شبکه عصبی مصنوعی ابزاری کاربردی در پیش‌بینی حرکت پدیده‌هاست.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، برخان، کویر حاج‌علی‌قلی.

1- مقدمه

یکی از فراوان‌ترین و مشخص‌ترین نوع تپه‌های ماسه‌ای که در نواحی بیابانی وجود دارند، تپه‌های هلالی شکل هستند که به برخان شهرت دارند. این عوارض در نواحی‌ای شکل می‌یابند که ماسه برای پوشاندن کامل سطح وجود نداشته و باد در اغلب طول سال جهت یکسانی داشته باشد (Sauermann Et al., 2003: 245). جایگاه اصلی تپه‌های برخانی حد فاصل بین خاستگاه باد و محل اصلی تمرکز ارگ است (محمودی، 1382: 91). شکل هندسی این عارضه شبیه هلال است و از دو بازوی کشیده در امتداد باد تشکیل شده و دارای دو دامنه با شیب‌های متفاوت است. حد فاصل و جداکننده این دو دامنه خط‌الرأس نامیده می‌شود که ممکن است گاهی با حداکثر ارتفاع برخان متقارن شود یا از آن فاصله بگیرد (Sauermann Et al., 2003: 47). پویایی تپه‌های ماسه‌ای تابعی است از جریان باد، مورفولوژی تپه، انتقال رسوبات بادی و تعاملاتی که بین آن‌ها صورت می‌گیرد. تغییرات زمانی و مکانی در میزان انتقال ماسه توسط باد، عمل کنترل‌کننده بنیادی مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای به‌شمار می‌آید (Lancaster, 1994: 483). جابه‌جایی تپه‌های برخانی از طریق عمل فرسایش تخریبی در دامنه روبه‌باد و رسوب‌گذاری هم‌زمان در دامنه بادپناهی انجام می‌شود (Al-Harthi, 2002: 361). مهم‌ترین عواملی که در میزان جابه‌جایی برخان‌ها نقش اساسی دارند، عبارت‌اند از: سرعت و شدت برشی باد، خصوصیات ذرات ماسه، میزان رطوبت، درصد و نوع پوشش گیاهی، و ناهمواری‌های سطح زمین (Hesse & Simpson, 2006: 286). به‌طور کلی، میزان جابه‌جایی تپه‌های برخانی تابعی از مورفولوژی سه‌بعدی برخان، عناصر اقلیمی منطقه و موانع طبیعی انسانی موجود در سر راه آن است.

مطالعات شکل‌شناسی بسیاری دربارهٔ برخان‌ها انجام شده است. نخستین مطالعات کمی در زمینهٔ تپه‌های برخانی و روابط شکل‌شناسی آن‌ها را بگنالد¹ (1941: 126) در صحرای کبیر آفریقا و فینگل² (1959: 614) در جنوب پرو انجام دادند. مطالعات درمورد شبیه‌سازی رقومی برای پیش‌بینی جابه‌جایی و دگرگونی تپه‌های برخانی و شکل دقیق آن‌ها را هووارد³ و همکاران (1978: 307) و وپرمن و گراس⁴ (1986: 319) انجام دادند. هسپ و هاستینگز⁵ (1998: 273) با بررسی روابط ارتفاع و عرض برخان‌های بیابان نامیبیا، این روابط را به‌عنوان عوامل کنترل‌کنندهٔ شکل سه‌بعدی برخان معرفی کردند. گی⁶ (1999: 273) با مطالعهٔ جابه‌جایی تپه‌های برخانی جنوب پرو بیان کرد که سرعت حرکت برخان با اندازهٔ آن نسبت معکوس دارد. هرمان و سایرمان⁷ (2000: 24) تپه‌های ماسه‌ای مراکش را مطالعه و مدل‌هایی را برای جابه‌جایی و پویایی سطح بستر آن معرفی کردند. وانگ⁸ و همکاران (2007: 405) به بررسی برخان‌های شمال غرب چین پرداختند. دانیل و هوگز⁹ (2007: 638) نیز شکل‌شناسی برخان‌های استرالیا را واکاوی و بیان کردند که این تپه‌ها 10 تا 15 متر به‌سمت غرب جابه‌جا می‌شوند. نگارش و لطیفی (43:1387) ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی تپه‌های ماسه‌ای دشت سیستان را بررسی کردند.

شبکه‌های عصبی الگوریتم‌های کامپیوتری هستند که می‌توانند روابط مهم میان تعداد زیادی پارامتر خطی و غیرخطی را از یک بانک داده استخراج کنند و همچنین قادرند این دانش را به‌منظور پیش‌گویی یا طبقه‌بندی یک مورد جدید مانند یک سیستم خبره به‌کار بندند. به‌واسطهٔ قابلیت ممتاز شبکه‌های عصبی در تعمیم عمومیت‌های حاکم در پایگاه داده درحین آموزش، از شبکهٔ عصبی می‌توان برای تصمیم‌گیری در موارد جدید که قبلاً در اختیار شبکه نبودند، استفاده کرد. به عبارت دیگر، شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر به انجام عملیاتی مانند سیستم‌های عصبی طبیعی هستند و می‌توانند براساس محاسبات روی داده‌های تجربی، قانون نهفته در ورای

-
1. Bagnold
 2. Finkel
 3. Howard
 4. Wippermann & Gross
 5. Hesp & Hastings
 6. Gay
 7. Herrmann & Sauerman
 8. Wang
 9. Daniell & Hughes

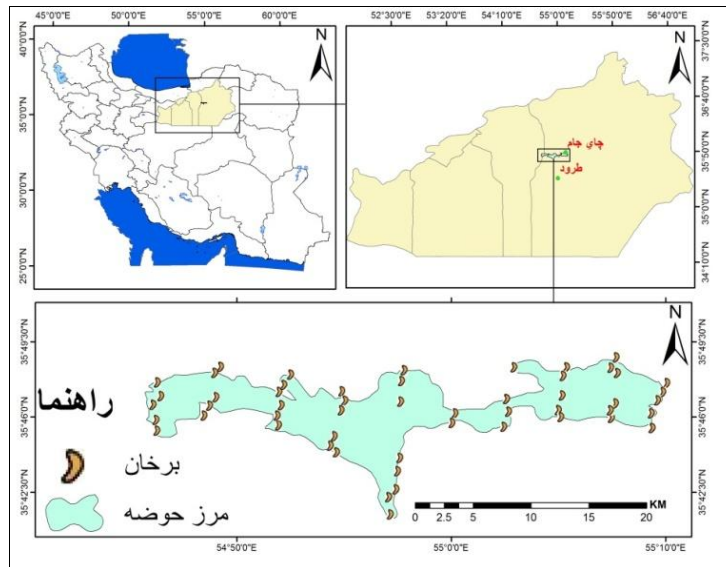


داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل کنند؛ به همین دلیل به آن سیستم‌های هوشمند اطلاق می‌شود (منهاج، 1379). بر حسب کاربرد و عمل‌کرد شبکه‌های عصبی، مدل‌های مختلفی از آن‌ها وجود دارد؛ یکی از آن‌ها شبکه پرسپترون چندلایه است که نرون‌ها به صورت موازی با هم قرار گرفته و نرون‌های موجود در یک لایه با نرون‌های لایه‌های دیگر در ارتباط‌اند که میزان تأثیر این ارتباطات، توسط پارامتری به نام وزن تعیین می‌شود. هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی حرکت برخان‌ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نوع پرسپترون چندلایه است. به عبارت دیگر، در این پژوهش سعی می‌شود با استفاده از شبکه پرسپترون چندلایه، میزان حرکت برخان‌ها در منطقه مطالعه با توجه به تعدادی از برخان‌ها که حرکت آن‌ها طی یک سال به صورت میدانی اندازه‌گیری شده است، تعیین شود.

2- مواد و روش‌ها

2-1- موقعیت ریاضی منطقه مطالعه

منطقه مطالعه در این پژوهش، ریگ چاه‌جام از توابع شهرستان شاهرود در استان سمنان است که در قسمت‌های جنوب شرقی تا جنوبی کویر حاج‌علی‌قلی گسترده شده است. کویر حاج‌علی‌قلی، مهم‌ترین کویر استان سمنان، در جنوب غربی شهرستان شاهرود و جنوب دامغان واقع شده است. این کویر چاله‌ای رسوبی - ساختمانی است که در حال حاضر، تحت تأثیر فرایندهای شکل‌زایی مختلف قرار دارد. به دلیل کم‌بود پوشش گیاهی و ریزش‌های جوی در اطراف این کویر، سیستم‌های شکل‌زایی بادی بر دیگر فرایندها حاکمیت دارند و می‌توان انواع رخساره‌های فرسایش بادی را در این منطقه مشاهده کرد. ریگ چاه‌جام با وسعتی حدود 25/260 هکتار، یکی از مهم‌ترین ریگ‌های موجود در حاشیه کویر حاج‌علی‌قلی است که به صورت نواری نامنظم در طول 10 تا 12 کیلومتر کشیده شده است (احمدی، 1387). این ریگ در محدوده‌ای به عرض 35 درجه و 45 دقیقه تا 35 درجه و 50 دقیقه و طول 54 درجه و 40 دقیقه تا 55 درجه و 10 دقیقه جغرافیایی کشیده شده است (شکل 1).



شکل 1 موقعیت ریاضی منطقهٔ مطالعه

2-2- روش تحقیق

ابتدا با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای، محدودهٔ مطالعاتی بررسی شد و سپس با مراجعات میدانی به منطقه، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورفومتری برخان صورت پذیرفت. نمونه‌برداری از برخان‌ها در طول ده ترانسکت که تقریباً کل مساحت ریگ را پوشش می‌دهد، انجام شد و در طول هر ترانسکت خصوصیات مورفومتری برخان‌ها اندازه‌گیری شد. حجم نمونهٔ مطالعاتی به موقعیت برخان‌ها نسبت به محل ترانسکت‌های مستقر شده بستگی دارد که در مجموع صد برخان اندازه‌گیری و ارزیابی شد. به منظور بررسی آماری خصوصیات مورفولوژی برخان‌ها، مؤلفه‌های مورفومتری آن‌ها اندازه‌گیری شد. مبنای اندازه‌گیری شکل شمارهٔ دو است که انواع پارامترهای مورفومتری برخان و شیوهٔ اندازه‌گیری آن را نشان می‌دهد. شیوهٔ محاسبهٔ طول و عرض به شرح معادلات زیر است:

$$L = L_o + L_s + (L_a + L_b) / 2$$

رابطهٔ 1: محاسبهٔ طول

$$W = W_a + W_b$$

رابطهٔ 2: محاسبهٔ عرض



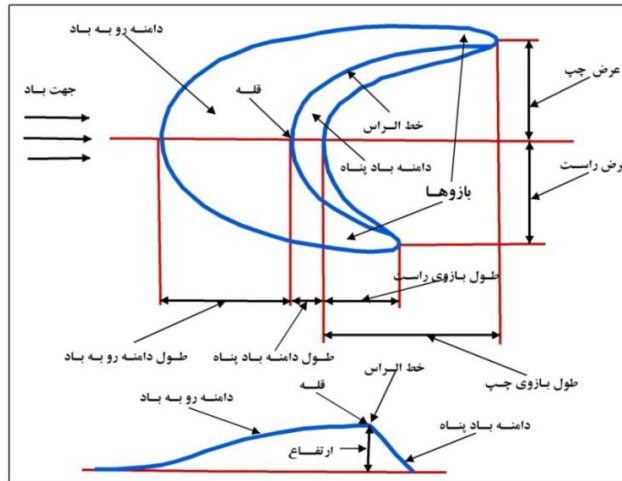
در این رابطه، W : عرض برخان، W_a : عرض راست، W_b : عرض چپ، L : طول برخان، L_a : طول بازوی راست، L_b : طول بازوی چپ، L_o : طول دامنه روبه‌باد و L_s : طول دامنه بادپناهی است. شیوه محاسبه طول و مساحت برخان این‌گونه است که ابتدا روی زمین برای هر برخان یک دستگاه مختصات فرضی در نظر گرفته می‌شود؛ سپس روی محیط آن مختصات هجده نقطه تعیین می‌شود. نقاط برداشت‌شده در عرصه با توجه به مقیاس $1/200$ بر روی کاغذ ترسیم می‌شود؛ سپس برای هر برخان مساحت به‌کمک پلاتنی متر محاسبه می‌شود. با توجه به پیروی حجم برخان از نصف حجم هرم (Hesse, 2008: 3)، پس از محاسبه سطح برخان، حجم رسوبات با استفاده از رابطه شماره سه محاسبه می‌شود.

$$V=0/1666S \times H$$

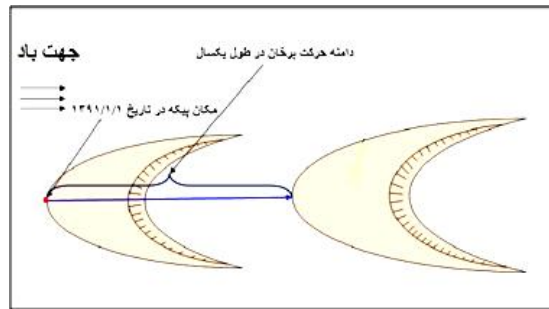
رابطه 3

S : مساحت برخان و H : ارتفاع برخان است. در مجموع، برای صد برخان ارتفاع، طول و جزئیات آن، عرض و جزئیات آن، مساحت و حجم رسوبات محاسبه شد و ماتریس داده‌ها شکل گرفت (جدول 1). میزان جابه‌جایی تپه‌های برخانی مورد آزمایش، از طریق پیکه‌کوبی با پیکه‌های چوبی به ارتفاع 70 سانتی‌متر در یک بررسی میدانی و در بازه زمانی یک‌ساله (1391/1/1 - 1392/1/1) صورت گرفت (شکل 3). پس از تعیین میزان جابه‌جایی سالیانه سی عدد از برخان‌های مورد مطالعه، با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی میزان جابه‌جایی برخان‌ها شبیه‌سازی شد. پس از محاسبه پارامترهای مورفومتری برخان‌های مورد مطالعه برای شبکه عصبی مورد نظر، گام‌های بعدی در شبکه عصبی مصنوعی برداشته شد:

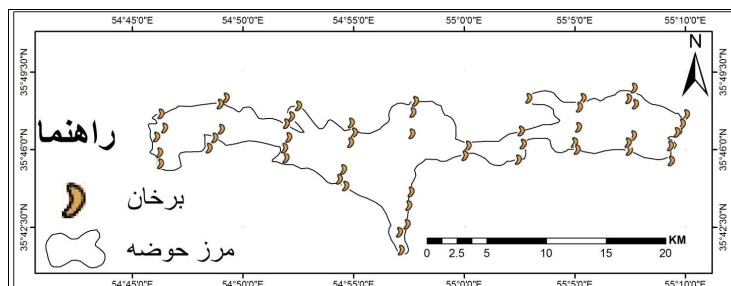
1. تعیین نوع ساختار مناسب برای شبکه عصبی و ایجاد شبکه کارآمد؛
2. آموزش دادن شبکه با قسمتی از داده‌های جمع‌آوری شده (مرحله آموزش)؛
3. آزمون شبکه آموزش‌داده شده با باقی‌مانده داده‌ها (مرحله آزمون)؛
4. در صورت قابل قبول بودن نتیجه آزمون، ذخیره شبکه و در غیر این صورت، تکرار مرحله 2 تا 4.



شکل 2 توضیح تصویری مؤلفه‌های مورفومتری برخان
(منبع: موسوی، 1388)



شکل 3 روش اندازه‌گیری میزان حرکت برخان



شکل 4 موقعیت برخان‌های مطالعاتی



شکل 5 تصویری از تپه‌های برخانی منطقه مطالعه

جدول 1 مشخصات آماری مؤلفه‌های مورفومتریک و مورفودینامیک منطقه مطالعه

چولگی	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	دامنه	مؤلفه
-0/014	1/96	4/10	6/70	1/5	5/2	ارتفاع
-0/55	4/37	5/20	9/30	3/3	6	عرض شمالی
-0/68	4/55	5/90	7/80	2/60	5/2	عرض جنوبی
-0/63	3/91	7/30	11/3	3/5	7/8	طول بازوی شمالی
-0/37	8/21	10/20	15/5	4/20	11/3	طول بازوی جنوبی
-0/040	14/41	18/1	21	4/48	16/52	طول دامنه روبه‌باد
0/110	6/43	5/2	7/10	2/3	4/8	طول دامنه بادی‌پناه
0/166	945/91	1984	3542	867	2675	مساحت
0/262	19743/27	11345	21345	4356	16989	حجم
0/366	1/74	19/5	32/5	5/2	27/3	میزان حرکت سالیانه

واحد ارتفاع، عرض، طول و میزان حرکت سالیانه برخان‌ها به متر، واحد مساحت به مترمربع و واحد حجم به مترمکعب است.

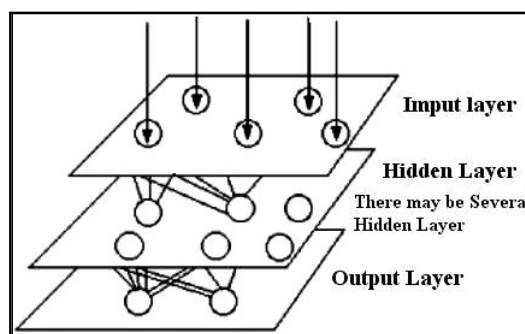
2-3- مبانی نظری شبکهٔ عصبی مصنوعی¹

شبکهٔ عصبی مصنوعی را اولین بار مک کولاک و پیتس² در سال 1943م معرفی کردند. از این روش برای مدت‌های طولانی استفاده نمی‌شد؛ اما بعدها با توسعهٔ رایانه‌ها و همچنین ظهور الگوریتم آموزش پس انتشار خطا برای شبکه‌های پیش‌خور³ در سال 1986م توسط رامله‌ارت⁴ و همکاران، استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی وارد مرحله‌ای تازه شد (مهدی‌زاده، 1381). شبکهٔ عصبی مصنوعی شاخه‌ای از هوش مصنوعی و در واقع کوششی است برای اجرای نرون‌های عصبی مغز انسان به صورت مصنوعی. هر شبکه از سه نوع لایه تشکیل شده که شامل لایهٔ ورودی⁵، لایهٔ خروجی⁶ و لایهٔ مخفی⁷ است (شکل 6). روی هریک از این لایه‌ها تعدادی واحد پردازشگر⁸ به نام نرون⁹ قرار دارد که با اتصال وزن‌دار کاملاً با هم مرتبط هستند و وزن آن‌ها طبق برنامهٔ خاصی که برای شبکه تنظیم شده است، تغییر می‌یابد. لایهٔ اول، لایهٔ ورودی است که کار آن فقط گرفتن سیگنال از خارج شبکه و اتصال آن به واحدهای لایهٔ بعدی است. روند تغییرات و اصلاحات را یادگیری نامیده‌اند. چنانچه خروجی آخرین لایه با پاسخ واقعی یکسان نباشد، شبکه طبق برنامهٔ خاصی (الگوریتم یادگیری) وزن‌ها را طوری اصلاح می‌کند که مقدار خطا کمتر می‌شود. این عمل آن قدر تکرار می‌شود تا پاسخ شبکه با دقت مورد نظر مطابق نتیجهٔ واقعی به دست آید، به این عمل آموزش شبکه می‌گویند. شبکهٔ عصبی مصنوعی سعی می‌کند پس از دریافت ورودی‌ها، آن‌ها را به خروجی مطلوب برساند. این کار با استفاده از عمل وزن دادن به ورودی‌ها و استفاده از یک تابع انتقال یا فعالیت¹⁰ انجام می‌شود که این فرایند نیز جزء آموزش شبکه است. پس از آموزش، مدل شبکهٔ عصبی خود را آزمون می‌کند و در نهایت تأیید می‌شود. پس مهم‌ترین ویژگی شبکهٔ عصبی مصنوعی، قابلیت یادگیری در آن است؛ به این مفهوم که این شبکه بر مبنای قاعده‌ای مشخص و ثابت برنامه‌ریزی نشده است و با گذشت زمان یا در هر تکرار، وضعیت آن تغییر می‌کند یا به اصطلاح آموزش می‌بیند. بنابراین، شبکهٔ عصبی مصنوعی این قابلیت را

-
1. artificial neural network
 2. Maccolac & Pits
 3. fee forward back propagation
 4. Ramhart
 5. input layer
 6. output layer
 7. hidden layer
 8. processing element or unit
 9. neuron
 10. transfer function

علیرضا عرب عامری و همکاران _____ شبیه‌سازی حرکت برخان‌ها با استفاده از...

دارد که کارهای پیچیده‌ای را که برای سیستم‌های مبتنی بر قاعده مشکل هستند، یاد بگیرد. شبکه عصبی مصنوعی نمی‌تواند در مورد کارهایی که انجام می‌دهد، استدلال کند و این مورد ضعف شبکه عصبی مصنوعی به‌شمار می‌آید؛ بنابراین در حال حاضر، تحقیقات درباره‌ی دسته‌ای از سیستم‌های هوشمند مصنوعی با قابلیت یادگیری و سیستم‌های مبتنی بر قاعده با قابلیت توضیح و استدلال انجام می‌شود. در تحلیل مسائل پیچیده، به دو دلیل مهم شبکه عصبی مصنوعی عمل کرد بهتری دارد: 1. با برخورداری از توانایی تشخیص الگو، میان ورودی و خروجی داده‌های پدیده مورد نظر رابطه خوبی برقرار می‌کند؛ 2. در قیاس با دیگر الگوها، حساسیت کمتری به وجود خطا در اطلاعات ورودی نشان می‌دهد (منهاج، 1381).



شکل 6 نمای کلی لایه‌ها در شبکه عصبی مصنوعی
(منبع: منهاج، 1381)

2-4- معیارهای ارزیابی عمل کرد شبکه

به‌منظور ارزیابی و مقایسه نتایج روش‌ها و مدل‌های به‌کاربرده‌شده در این پژوهش، از شاخص‌های آماری مانند جذر میانگین مربعات خطا¹، ضریب هم‌بستگی² و متوسط قدر مطلق خطا³ استفاده شده است. روابط این معیارها به این شکل است:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(obs - pre)^2}{n}} \quad \text{رابطه 4: جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)}$$

1. root mean square (RMSE)
2. random error (R2)
3. mean absolute error (MAE)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (obs - \overline{obs})(pre - \overline{pre})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (obs - \overline{obs})^2 \sum_{i=1}^n (pre - \overline{pre})^2}} \quad \text{رابطه 5: ضریب هم‌بستگی (R2)}$$

در این دو رابطه، *obs*: مقادیر مشاهده‌ای¹ (*obs* میانگین مقادیر مشاهده‌ای)، *pre*: مقادیر پیش‌بینی شده² (*pre* میانگین مقادیر پیش‌بینی شده) توسط شبکهٔ مدل و *N*: تعداد کل داده‌ها در هر مرحله از آزمون‌های آموزش و آمایش است. هرچه مقدار *RMSE* به صفر و مقدار *R* به یک نزدیک باشد، نشان‌دهندهٔ نزدیک بودن مقادیر مشاهده و پیش‌بینی شده به یکدیگر و دقیق‌تر بودن جواب‌ها در هر مرحله است (Ho, Min & Thong Ngee, 2002: 371). ضریب هم‌بستگی، مربعات خطا و قدر مطلق خطا در نرم‌افزار مطلب در شاخهٔ *Neural Network* محاسبه شده است.

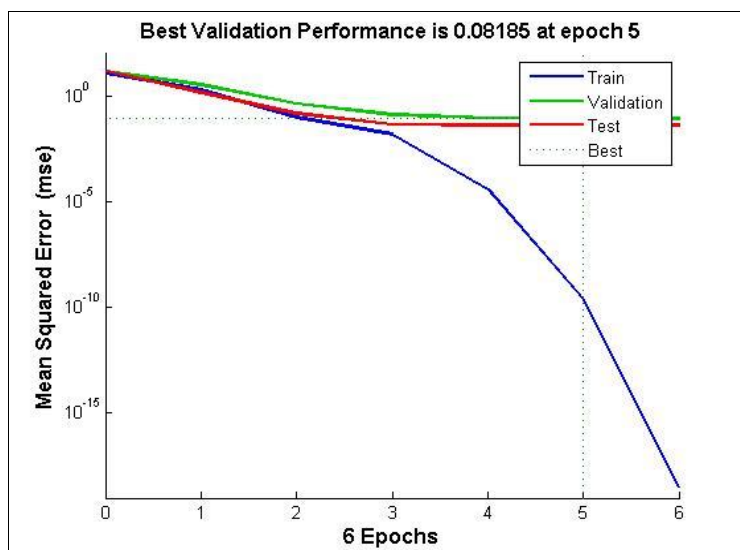
3- نتایج و بحث

ساختار مورد استفاده برای مدل کردن، پهنه‌بندی شبکه‌هایی با ساختار پیش‌رو³ است و در این تحقیق از شبکهٔ پرسترون چندلایه⁴ استفاده شده است. تابع سیگموئید به‌عنوان تابع فعال‌سازی برای هر واحد پردازشگر در شبکه انتخاب شده است. به‌منظور تعیین بهترین ساختار برای شبکهٔ عصبی، تعداد زیادی شبکهٔ عصبی ایجاد شد که در تعداد نرون‌های موجود در لایهٔ پنهان و ضریب یادگیری متفاوت بودند. برای به‌دست آوردن مقدار بهینهٔ هر پارامتر شبکه، شبیه‌سازی‌های متفاوتی انجام شد که در تمام شبیه‌سازی صورت پذیرفته شاخص متوسط مجذور خطا به‌عنوان شاخص راه‌نما، بیانگر کارایی شبکه در یادگیری الگوهای موجود است. برای مرحلهٔ آموزش شبکه از هفتاد نمونه که 70 درصد اطلاعات را نشان می‌دهد، استفاده شد و از سی نمونهٔ باقی‌مانده 20 درصد برای آموزش شبکه، 5 درصد برای داده‌های اعتبارسنجی و 5 درصد برای تست شبکه به‌کار گرفته شد. با افزایش تعداد لایه‌های اطلاعاتی تا حد معینی، میزان توانایی شبکه برای پیش‌بینی افزایش می‌یابد. اطلاعات

1. observed
2. predicted
3. feed forward
4. mlp

علیرضا عرب عامری و همکاران
شبیه‌سازی حرکت برخان‌ها با استفاده از...

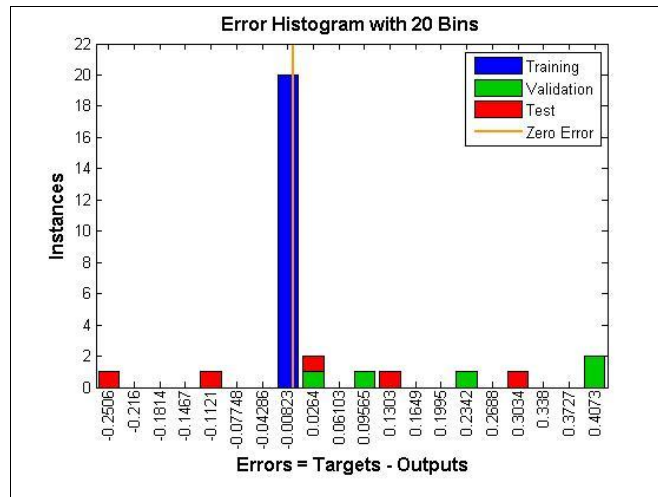
ورودی شامل هفت نرون است که تعداد عوامل مؤثر را نشان می‌دهد و تعداد نرون‌های لایهٔ میانی برای شبکه با انتخاب پنج لایه آغاز می‌شود و در هر شبکه با افزایش تعداد لایه‌ها، خروجی به مقادیر واقعی نزدیک‌تر شده، در نهایت با انتخاب نه لایه، بهترین خروجی دریافت می‌شود. شبکه با ده لایهٔ درونی با کاهش دقت در خروجی همراه می‌شود و در هر شبکه، خروجی با میانگین مجذور مربع خطا و برازش رگرسیون کنترل می‌شود. سرانجام، لایهٔ خروجی شامل یک نرون است. شبکه با نه نرون در لایهٔ میانی و در تکرار پنجم با مقدار MSE 0/08185 بهترین عمل‌کرد را دارد (شکل 7).



شکل 7 برازش تعداد دفعات تکرار در شبکهٔ عصبی

بنابراین، با انتخاب شبکه‌ای با نه لایهٔ میانی، همهٔ خطای شبکه برای داده‌های آموزشی در اطراف صفر توزیع پیدا می‌کنند و توزیع خطاها بایاس چندانی به طرف خاصی ندارد و این نشان‌دهندهٔ عمل‌کرد بسیار خوب شبکه در تعلیم داده‌های تمرینی¹ است (شکل 8).

1. trainin data



شکل 8 عمل کرد شبکه

سیستم‌های عصبی مصنوعی قوانین مختلف یادگیری دارند که یکی از آن‌ها، قانون یادگیری پس از انتشار خطاست که در این تحقیق از آن استفاده شده است. در این قانون، بین نرون‌های یک لایه هیچ ارتباطی وجود ندارد؛ ولی خروجی هر نرون به ورودی نرون‌های لایه بعد متصل می‌شود. زمانی که مقادیر معلوم در مسئله (X_i) به لایه ورودی ارائه می‌شود، در وزن اتصال‌های بین لایه ورودی و لایه بعد (W_{ij}) ضرب، و به نرون‌های لایه بعدی منتقل می‌شود. در لایه بعدی، تمام ورودی‌های هر نرون با هم جمع می‌شوند؛ ضمن اینکه می‌توان مقدار ثابتی به عنوان بایاس (W_0) به این مقدار اضافه کرد (رابطه 6) و مجموعه به دست آمده از تابعی به نام فعالیت می‌گذرد تا خروجی نرون به دست آید:

$$f(\text{net}_j) = f\left(\sum_{i=1}^n W_{ij} X_i + W_0\right)$$

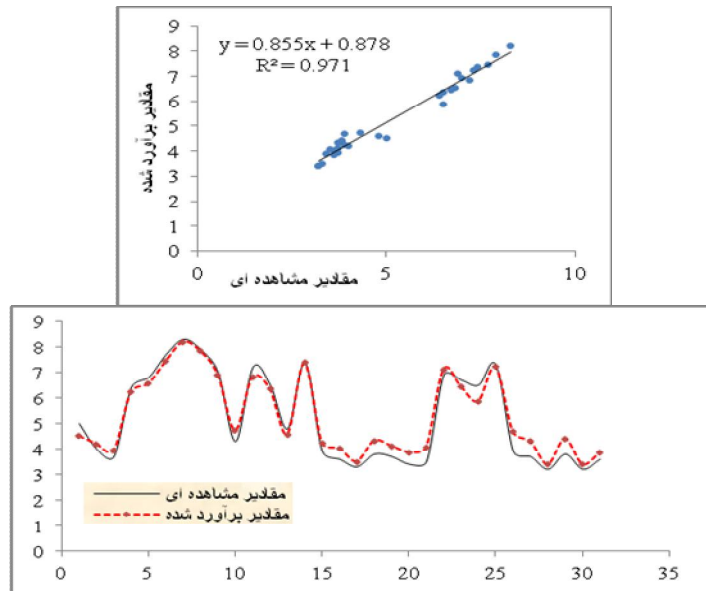
رابطه 6

پس از عرضه نمونه‌های آموزشی به شبکه، وزن‌های شبکه (پارامترهای آزاد) به گونه‌ای اصلاح می‌شوند که تفاوت پاسخ مطلوب و خروجی واقعی شبکه کمینه شود. این فرایند با نمونه‌های ورودی تکرار می‌شود تا اینکه شبکه به حالت پایدار برسد و

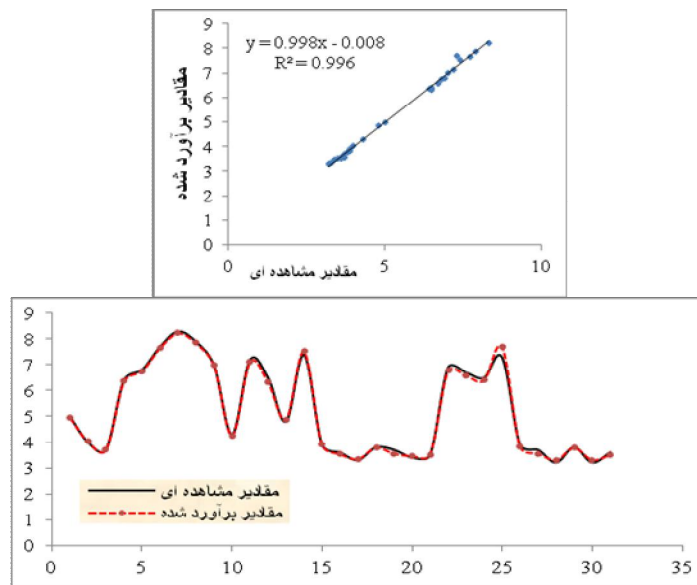
تغییر زیادی در وزن‌ها رخ ندهد. در این مرحله، با مقایسهٔ مقادیر خروجی - که توسط شبکه تخمین زده می‌شود - با مقادیر مطلوب - که به شبکه ارائه شده است - میزان خطا تعیین شده، به لایه‌های قبل هم تعمیم داده می‌شود تا در تنظیم وزن‌ها مورد استفاده قرار گیرد. به تعبیری دیگر، وزن‌ها در تمام لایه‌ها تغییر می‌کنند و در فرایند یادگیری تعیین می‌شوند. با تغییر تعداد نرون‌های میانی و تغییر وزن‌ها به صورت سعی و خطا، مناسب‌ترین مدل شبکهٔ عصبی برای مسئلهٔ مورد نظر به دست می‌آید. مدل بهینه زمانی حاصل می‌شود که شبکهٔ عصبی بهترین پردازش را با کمترین خطا و بهترین برازش بین خروجی شبکه و مقادیر اندازه‌گیری شده را انجام دهد.

جدول 2 مقادیر برازش خط رگرسیون و عمل کرد شبکه با لایه‌های متفاوت

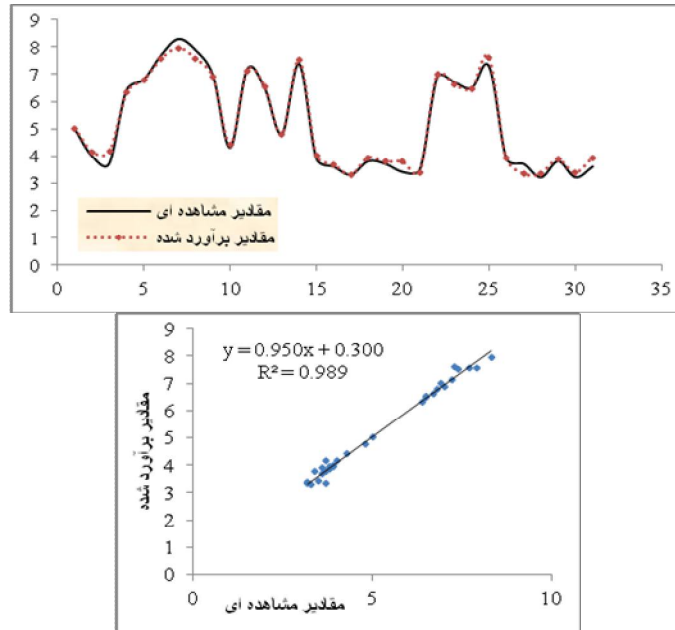
شمارهٔ شبکه	ساختار شبکه	مقادیر برازش خط رگرسیون					عمل کرد شبکه (performance)		
		آموزشی	اعتبارسنجی	آزمایشی	R ²	RMSE	MSE	شمارهٔ بهترین تکرار	شمارهٔ توقف تکرار
ANN1	7-5-1	0/981	0/948	0/984	0/971	0/965	0/1131	4	9
ANN2	7-6-1	0/995	0/993	0/871	0/996	0/989	0/0846	3	9
ANN3	7-7-1	0/999	0/990	0/996	0/989	0/981	0/0939	4	9
ANN4	7-8-1	0/999	0/993	0/930	0/971	0/965	0/0608	4	8
ANN5	7-9-1	1	0/997	0/992	0/993	0/991	0/0081	5	6
ANN6	7-10-1	0/983	0/985	0/970	0/967	0/959	0/1034	2	8



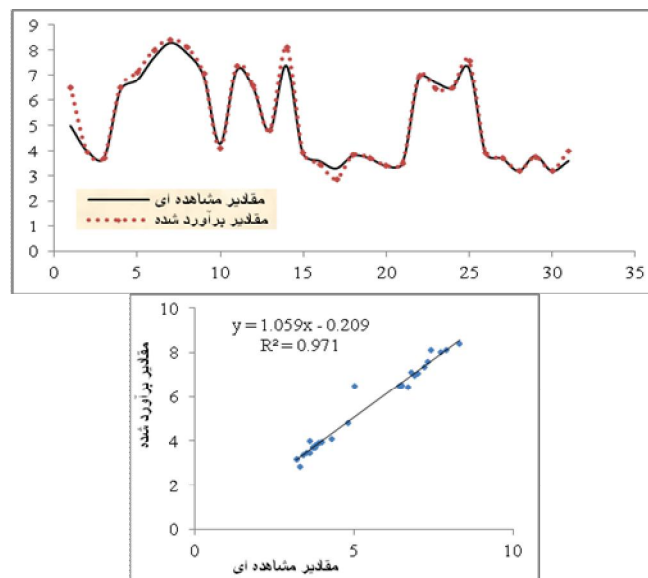
شکل 9 مقادیر مشاهده‌ای و برآوردشده به متر در ANN1



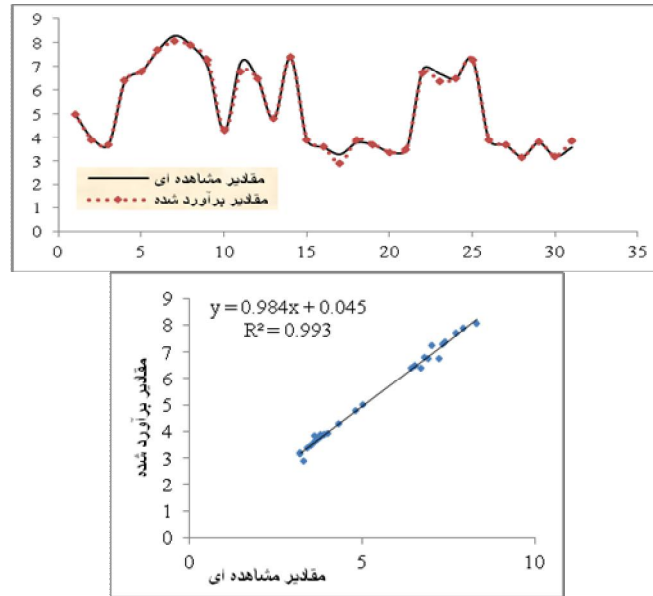
شکل 10 مقادیر مشاهده‌ای و برآوردشده به متر در ANN2



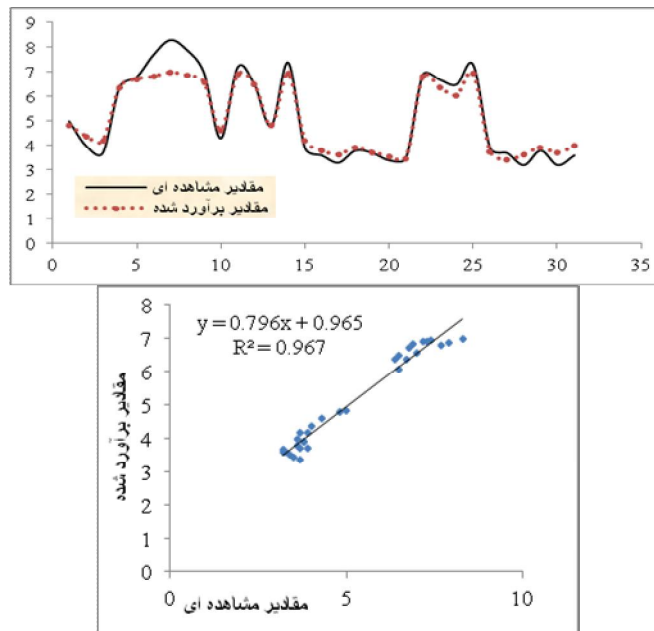
شکل 11 مقادیر مشاهده‌ای و برآوردشده به متر در ANN3



شکل 12 مقادیر مشاهده‌ای و برآوردشده به متر در ANN4



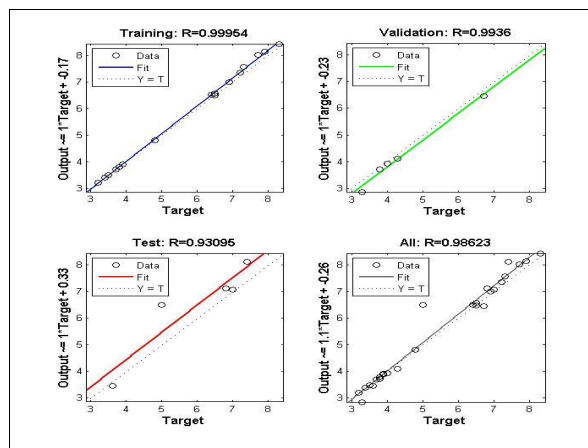
شکل 13 مقادیر مشاهده‌ای و برآوردشده به متر در ANN5



شکل 14 مقادیر مشاهده‌ای و برآوردشده به متر در ANN6



روش‌های یادگیری شبکه MLP بر پایه الگوریتم یادگیری پس انتشار خطاست. سه روش یادگیری برای این منظور وجود دارد: شبکه با ضریب یادگیری ساده¹، شبکه با ضریب یادگیری متغیر² و شبکه MLP که از الگوریتم لوببرگ-مارکوارت³ استفاده می‌کند. در این پژوهش، از روش MLP و الگوریتم لوببرگ-مارکوارت استفاده شده است. آنچه در کار با شبکه عصبی اهمیتی بسیار دارد، جلوگیری از یادگیری بیش از حد شبکه است؛ زیرا در این حالت شبکه به جای یادگیری و درک روابط بین پارامترها، شروع به از بر کردن اطلاعاتی می‌کند که در اختیار آن گذاشته می‌شود (Gomez, Kavzoglu & Mather, 2002). برای جلوگیری از این خطا، باید در تکرارهای مشخصی، شبکه را با اطلاعات دیگری آزمود. در اینجا باید با کاهش میزان خطا در مرحله آموزش، میزان خطا در مرحله آزمایش نیز کاهش یابد. با بررسی پاسخ‌های خروجی شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آزمایش مشخص شد که شبکه عصبی ایجاد شده قادر است از میان صد مورد برخان، میزان حرکت آن‌ها را با دقت 99 درصد درستی گزارش دهد که نشان‌دهنده حساسیت تشخیص معادل 0/99 و نیز توانایی زیاد این روش در شبیه‌سازی حرکت برخان‌هاست. در شکل شماره پانزده مقادیر خطا برای هریک از داده‌های آموزشی، آزمایشی و اعتبارسنجی و مجموع کل داده‌ها نشان داده شده است.



شکل 15 مقادیر خطا برای هریک از داده‌های آموزشی، آزمایشی و اعتبارسنجی و مجموع کل داده‌ها

1. trainbp
2. trainbpx
3. trainlm

4- نتیجه

ژئومرفولوژی نواحی تحت تسلط باد زمینه‌ای غنی و گسترده برای بررسی فرایندها و لندفرم‌های بادی در سطح زمین فراهم کرده است. حمل ماسه توسط باد تحت تأثیر روابط پیچیده غیرخطی صورت می‌گیرد و تکامل ناهمواری‌های ماسه‌ای متأثر از پدیده‌های خودتنظیمی حاکم بر سیستم چشم‌انداز است (Bass, 2007: 311). جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای به‌ویژه برخان‌ها یکی از خطرهای ژئومورفیک بالقوه به‌شمار می‌رود که ممکن است مناطق سکونتگاهی، تأسیسات زیربنایی و شریان‌های ارتباطی مناطق بیابانی را تهدید کند و معضلی برای این زیرساخت‌های بنیادی باشد. میزان جابه‌جایی تپه‌های برخانی براساس الگوهای زمانی و مکانی، متفاوت و گوناگون است. این الگوها بینشی جدید دربارهٔ مورفودینامیک برخان‌ها روشن می‌کنند.

تاکنون، برای شناسایی شاخص‌های مناسب جهت ارزیابی شدت و وسعت تخریب در مناطق خشک پژوهش‌های بسیاری انجام شده است. در این زمینه، استفاده از شاخص‌های ژئومورفیکی، به‌دلیل اینکه با فرایندهای فرسایش و رسوب ارتباطی مستقیم دارند و همچنین می‌توان آن‌ها را به‌صورت کمی اندازه‌گیری کرد، از اهمیت زیادی برخوردارند. تحلیل‌های ژئومرفولوژی سیستمی بر اندازه‌گیری فرایندها و روابط بین فرم و فرایند استوار شده است و با مشاهده‌های صحرائی می‌کوشد مدل‌هایی نشان دهد که بتواند حالت پایدار سیستم چشم‌انداز را تبیین کند. پایداری در چشم‌انداز ژئومورفیک، خود بازتابی از وجود نوعی تعادل است. درواقع، مفهوم تعادل در دیدگاه سیستمی به نوعی ارتباط خاص حاکم بین فرم و فرایند گفته می‌شود (رامشت، 1385: 80).

هوش مصنوعی ساخت نرم‌افزارهای کاربردی است که بسیاری از رفتارهای خاص انسان مانند استدلال، یادگیری، حل مسئله و شناخت را تقلید می‌کند (Cerullo & V. Cerallu, 1990). شبکهٔ عصبی، به‌مثابهٔ یکی از مهم‌ترین رویکردهای هوش مصنوعی، به‌دنبال تقلید از مغز انسان است (راعی، 1381). شبکهٔ عصبی کوششی است برای تقلید از فراگیری دانش و مهارت‌های سازمان‌یافته در ذهن انسان (Yao, Li & Lin, 2000). شبکهٔ عصبی مصنوعی از تعداد زیادی عناصر محاسبه‌گر شبیه به نرون ساخته شده که اتصالات بین این عناصر دارای



وزن‌های متفاوت است (Anandarjan & A. Anandarjan, 1999). توان ریاضیات برای حل انبوهی از مشکلات پیش‌روی طبیعت تا حد زیادی به روابط خطی محدود است و این توان در مواجهه با شرایط پیچیده غیرخطی کاهش می‌یابد. رایانه‌های مجهز به فنون الگوریتم هرچند از سرعت و قدرت زیادی برای حل مسائل سنتی برخوردارند، از حل بسیاری از مسائل پیچیده و غیرخطی عاجزند؛ درحالی که این موارد به‌آسانی توسط مغز انسان حل‌وفصل می‌شوند؛ دلیل آن اغلب، ماهیت طراحی مغز است. در این طراحی، شبکه‌های نرونی موجود در مغز به‌طور موازی شکل گرفته‌اند و این وضع با ساخت ردیفی رایانه‌ها قابل مقایسه نیست. این وضعیت از چندان قوتی برخوردار است که در صورت شبیه‌سازی، امکان حل مسائلی را پدید می‌آورد که با روش‌های سنتی ریاضی نمی‌توان آن‌ها را حل کرد (عبده تبریزی و البرزی، 1376). در زمینه ساختمان و عمل‌کرد شبکه عصبی، این تحقیق نشان می‌دهد که اگر تعداد تکرار خیلی زیاد باشد، قابلیت حفظ کردن شبکه زیاد می‌شود و تعمیم دادن یادگیری در اطلاعات غیرآموزشی (آزمایشی) کاهش می‌یابد؛ اما اگر تعداد تکرار خیلی کم باشد، شبکه قادر به یادگیری نخواهد بود و پردازش اطلاعات به‌خوبی صورت نمی‌گیرد. همچنین، اگر اندازه نمونه‌های آموزشی خیلی زیاد باشد، قابلیت سیستم افزایش می‌یابد و اگر خیلی کم باشد، شبکه قادر به تشریح خوب مسئله نخواهد بود و قابلیت آن کاهش می‌یابد. همچنین، اگر اندازه مجموعه آموزشی خیلی زیاد باشد، توانایی شبکه در تعمیم دادن یادگیری خوب فهمیده می‌شود و اگر خیلی کم باشد، میزان یادگیری و جواب شبکه مشخص نمی‌شود. نکته آخر در مورد میزان یادگیری است که اگر خیلی زیاد باشد، شبکه ناپایدار است و اگر خیلی کم باشد، مدت زمان آموزش زیاد است.

در این پژوهش، برای رسیدن به مطلوب‌ترین نتیجه، مدل با استفاده از شش الگو ارزیابی شد. نتایج حاکی از آن است که از میان شش الگوی مورد آزمایش، الگوی شماره دو با سه لایه ارتفاع، حجم و طول دامنه روبه‌باد با ضریب هم‌بستگی 0/996 و جذر میانگین مربعات خطای 0/971 دارای بهترین عمل‌کرد بوده و این خود بیانگر تأثیر زیاد این پارامترها در حرکت برخان است؛ درحالی که الگوی شماره شش با سه لایه عرض شمالی، دامنه پشت‌به‌باد و طول بازوی شمالی با ضریب هم‌بستگی 0/967 و جذر میانگین مربعات خطای 0/959 دارای بدترین عمل‌کرد بوده است. بنابراین، شبکه عصبی مصنوعی مدلی قدرتمند با توانمندی زیاد است که

می‌توان با دیدگاه مثبت در پیش‌بینی حرکات برخان‌ها به آن نگرست؛ به‌ویژه اینکه شبکهٔ عصبی مصنوعی قادر است قانون حاکم بر داده‌ها حتی داده‌های مغشوش را استخراج کند و این خصوصیت برجسته‌ترین ویژگی این مدل در مقایسه با مدل‌های دیگر است.

5- منابع

- احمدی، حسن، ژنومرفولوژی کاربردی (بیابان - فرسایش بادی)، ج 3، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، 1387.
- اسفندیاری، فریبا، محمد حسینی و زهرا حجازی، «پیش‌بینی میانگین دمای ماهیانه ایستگاه سینوپتیک سنندج با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی پرپسترون چندلایه (LMP)»، جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، صص 45-65، 1387.
- تشنه‌لب، محمد و مهدی منشی، «پیش‌بینی اقلیمی پارامترهای هواشناسی با استفاده از شبکه‌های عصبی فازی براساس آموزش پارامترهای بخش تالی» در سومین کنفرانس‌سیون منطقه‌ای تغییر اقلیم، اصفهان، 1382.
- راعی، رضا، «تشکیل سبد سهام برای سرمایه‌گذاری مخاطره‌پذیر، مقایسهٔ شبکهٔ عصبی و مارکویتز»، پیام مدیریت، ش 2، 1381.
- رامشت، محمدحسین، سمبل‌ها و نشانه‌ها در ژنومرفولوژی، تهران: سمت، 1385.
- عبده تبریزی، حسن و محمود البرزی، «مدل‌های شبکهٔ عصبی و کاربرد آن در مدیریت مالی» در مجموعه مقالات همایش اول مدیریت مالی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، 1376.
- محمودی، فرج‌الله، ژنومرفولوژی دینامیک، و 6، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور، 1382.
- منہاج، محمدباقر، مبانی شبکهٔ عصبی (هوش محاسباتی)، ج 1، تهران: مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، 1381.
- مهدی‌زاده، محمدباقر، شبکهٔ عصبی مصنوعی و کاربرد آن در مهندسی عمران، تهران: عبادی، 1381.

- موسوی، سیدحجت، ارزیابی تأثیر مورفومتری برخان در تثبیت آن (مطالعه موردی: ریگ چاه‌جام)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، 1388.

- نگارش، حسین و لیلا لطیفی، «بررسی ژئومورفولوژیکی روند تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در طی خشک‌سالی‌های اخیر»، مجله جغرافیا و توسعه، ش 12، صص 43-60، 1387.

- Abdeh Tabrizi, H. & M. Alborzi, "Neural Network Models and its Application in financial Management" in *1st Conference of Financial Management*, Shahid Beheshti University, Tehran, 1997. [in Persian]
- Al-Harhi, A., "Geohazard Assessment of Sand Dunes between Jeddah and Al-Lith, Western Saudi Arabia", *Journal of Environmental Geology*, No. 42, Pp. 360-369, 2002.
- Anandarjan, M. & A. Anandarjan, "A Comparison of Machine Learning Techniques with a Qualitative Response Model for Auditors Going Concern Responding", *Experts Systems with Application*, No. 16, 1999.
- Bagnold, R.A., *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, London: Methuen, 1941.
- Baas, A.C.W., "Complex systems in Geomorphology", *Geomorphology*, No. 91, Pp. 311- 331, 2007.
- Cerullo, M. & V. Cerullo, *Using Neural Network to Predict Financial Fraud*, Computer Fraud & Security, 1999.
- Daniell, J. & M. Hughes, "The Morphology of Barchan-Shaped Sand Banks from Western Torres Strait, Northern Australia", *Sedimentary Geology*, Vol. 202, Pp. 638-652, 2007.
- Esfandiari, F., M. Hoseini & Z. Hajazi, "Forecasting of Monthly Temperature Average in Sanandaj Synoptic Station Using Artificial Neural Network (LMP)", *Geography*, Pp. 45-65, 2010. [in Persian]

- Finkel, H.J., "The Barchans of Southern Peru", *Journal of Geology*, No. 67, Pp. 614-647, 1959.
- Gay, S.P., "Observations Regarding the Movement of Barchan sand Dunes in the Nazca to Tanaca Area of Southern Peru", *Journal of Geomorphology*, No. 27, Pp. 279-293, 1999.
- Gomez, H., T. Kavzoglu & P. Mather, "Artificial Neural Network Application in Landslide Hazard Zonation in the Venezuelan Andes" in *Abstracts of 15th International Conference on Geomorphology*, Tokyo, Japan, Pp. 23-28, 2002.
- Herrmann, H.J. & G. Sauerman, "The Shape of Dunes", *Journal of Physical A*, No. 283, Pp. 24- 30, 2000.
- Hesp, P. & K. Hastings, "Width, Height and Slope Relationships and Aerodynamic Maintenance of Barchans", *Journal of Geomorphology*, No. 22, Pp. 193- 204, 1998.
- Hesse, P.P. & R.L. Simpson, "Variable Vegetation Cover and Episodic Sand Movement on Longitudinal Desert Sand Dunes", *Geomorphology*, Vol. 81, Pp. 276- 291, 2006.
- Hesse, R., "Do Swarms of Migrating Barchan Dunes Record Pale Environmental Changes, A Case Study Spanning the Middle to Late Holocene in the Pampa de Jaguay, Southern Peru", *Geomorphology*, Pp. 1- 6, 2008.
- Ho, S.L., X. Min & G. Thong Ngee, "A Comparative Study of Neural Network and Box-Jenkins ARIMA Modeling in Time Series Prediction", *Computers and Industrial Engineering*, Pp. 371- 375, 2002.
- Howard, A.D., "Sand Transport Model of Barchan Dune Equilibrium", *Journal of Sediment Logy*, No. 25, Pp. 307- 338, 1978.
- Lancaster, N., *Dune Morphology and Dynamics*, in *Abra- Hams, Parsons Eds*, *Geomorphology of Desert Environments*, London: Chapman & Hall, 1994.

- Mahmoudi, F.A., *Dynamic Geomorphology*, 6th Ed., Tehran: Payame Nour University Publication, 2003. [in Persian]
- Mehdizadeh, M.B., *Artificial Neural Network and Its Application in Omran Management*, Tehran: Ebadi, 2002. [in Persian]
- Menhaj, M., *Neural Network Principles, Vol. 1*, Tehran: Publication Center of Amirkabir Industrial University, 2002. [in Persian]
- Mousavi, S.H., *The Assessment of Effectiveness BarchanMorphometry on Stabilities (Case Study: Erg Chah Jam)*, M.A. Thesis, Faculty of Literature and Humanities, University of Isfahan, Isfahan, 2009. [in Persian]
- Negaresh, H. & L. Latifi, "Geomorphologic Analysis of the Advancing Trend of Sand Dunes in East Sistan Plain in Recent Droughts", *Iranian Journal of Geography and Development*, No. 12, Pp. 43- 60, 2008. [in Persian]
- Ramesht, M.H., *Symbols and Images in Geomorphology*, Tehran: SAMT, 2006. [in Persian]
- Rayi, R., "Portfolio Formation for Investment Venture Possible, Comparing of Neural Network and Markovits", *Management Message*, No. 2, 2002. [in Persian]
- Sauermann, G. Et al., "The Shape of the Barchan Dunes of Southern Morocco", *Geomorphology*, Vol. 36, Pp. 47- 62, 2000.
- Sauermann, G. Et al., "Wind Velocity and Sand Transport on a Barchan Dune", *Geomorphology*, Vol. 54, Pp. 245- 255, 2003.
- Teshnehlab, M. & M. Monshi, "Climatic Forecasting of Meteorology Factors Using Fuzzy Neural Network According to Training of Factors of Tali Section" in *3th Regional Conference of Clime Change*, Esfahan, 2003. [in Persian]
- Wang, Z.T. Et al., "Barchans of Minqin: Morphometry", *Geomorphology*, Vol. 89, Pp. 405- 411, 2007.

- Wippermann, F.K. & G. Gross, "The Wind-Induced Shaping and Migration of an Isolated Dune: A Numerical Experiment, Boundary-Layer", *Meteorol*, Pp. 319-334, 1986.
- Yao, J., Y. Li. & C. Tn Lin, *Option Price Forecasting Using Neural Network*, Omega, 2000.