پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال سوم، شماره ٤، بهار ١٣٩٤
صص. ٢٩-١٧

تحلیل مقایسه‌ای مدل‌های آماری و شبکه عصبی مصنوعی جهت برآورد حجم رسوبات نبکا (مطالعه موردی: نبکاهای درختچه گز در کویر ابراهیم‌آباد سیرجان)

محسن پورخسروانی *– استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه شهید باهنر کرمان
عباسعلی ولی– دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه کاشان
طیبه محمودی – دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی دانشگاه اصفهان

پذیرش مقاله: ١٣٩٣/٠٥/٢٠ تأیید نهایی: ١٣٩٣/١٢/٢٥

چکیده

روابط موجود در درون سیستم در قالب مدل‌های متعددی جمع‌بندی می‌شوند که این مدل‌ها ابزاری مهم جهت تبیین پدیده‌هایی هستند که در سیستم‌ها دیده می‌شوند. ازاین‌رو مدل‌سازی به‌عنوان ابزاری جهت درک ارتباطات اکوژئومورفولوژیکی پیچیده که در سیر تکامل ناهمواری و پوشش گیاهی حاکم می‌باشد می‌تواند در مدیریت تغییرات محیطی یا انسانی در سیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مؤثر واقع شود. چشم‌اندازهای نبکایی ازجمله سیستم‌های اکوژئومورفیک پیچیده در مناطق بیابانی هستند که در اثر تجمع رسوبات بادی در اطراف گیاهان شکل می‌گیرند. هدف این پژوهش مدل‌سازی حجم رسوبات نبکا با روش‌های آماری و شبکه عصبی است. بدین منظور خصوصیات مورفومتری نبکاها و مورفولوژی گیاهی شامل، ارتفاع نبکا، قطر قاعده نبکا، حجم نبکا، قطر تاج پوشش و ارتفاع گیاه به روش طولی اندازه‌گیری گردید. سپس از بین روش‌های ساده رگرسیونی روش توانی به دلیل برخورداری از R^2 بالاتر انتخاب گردید. همچنین شبکه مورداستفاده جهت مدل‌سازی از نوع شبکه‌های پیش‌خور با الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا می‌باشد. تابع آموزشی استفاده‌شده در شبکه Trainlm و تابع انتقال از نوع log sig می‌باشد. جهت آموزش شبکه از ٧٥٪ داده‌ها و جهت آزمون شبکه از ٣٥٪ داده‌ها استفاده‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب تبیین ٠/٩٢٦ و میزان خطای ١/١٦ نسبت به مدل رگرسیونی با ضریب تبیین ٠/٨٦٨ و میزان خطای ٣/٣ از برتری بیشتری جهت برآورد حجم رسوبات نبکاهای مطالعاتی برخوردار است.

***واژگان کلیدی:** حجم رسوبات نبکا، مورفومتری، مدل رگرسیونی، شبکه عصبی مصنوعی، کویر ابراهیم‌آباد.*

* نویسنده مسئول: ٠٩١٣٣٤٧٠٧٢٩ E-mail:Pourkhosravani@uk.ac.ir

مقدمه

روابط موجود در درون سیستم در قالب مدل‌های متعددی جمع‌بندی می‌شوند که این مدل‌ها ابزار مهم جهت تبیین پدیده‌هایی هستند که در سیستم‌ها دیده می‌شوند. روش‌های مدل‌سازی آماری بر مبنای تحلیل رگرسیون، از ابزارهای رایج در مدل‌سازی می‌باشد. نتایج حاصل از این قبیل مدل‌ها بر اساس بهترین تابع برازش دهنده بین متغیرها می‌باشد که این خصوصیت عامل ایجاد محدودیت در توزیع زمانی– مکانی متغیرها است و مستلزم تبعیت داده‌ها از تابع یا معادله‌ای خاص می‌باشد(ولی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۰). امروزه استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان ابزاری در جهت تدوین الگوها، پیش‌بینی پدیده‌ها، شبیه‌سازی و برآورد داده‌ها وارد عرصه علم گردیده است. شبکه عصبی مصنوعی به‌طور ابتدایی در سال ۱۹۶۲ توسط فرانک روزن بلات[1] و به شکل جدی و تأثیرگذار در سال ۱۹۸۶ توسط رومل هارت و مک کلند[2] با ابداع و ارائه مدل پرسپترون[3] بهبودیافته به جهان معرفی شد. این شیوه از ساختاری نرونی و هوشمند با الگو برداری مناسب از نرون‌های موجود در مغز انسان سعی می‌کند تا از طریق توابع تعریف‌شده ریاضی رفتار درون‌سلولی نرون‌های مغز را شبیه‌سازی کند و از طریق وزن‌های محاسباتی موجود در خطوط ارتباطی نرون‌های مصنوعی، عملکرد سیناپسی را در نرون‌های طبیعی به مدل درآورد(ولی و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۶). ماهیت و ذات تجربی و منعطف این روش باعث می‌شود تا در مسائلی مانند مقوله پیش‌بینی که یک چنین نگرشی در ساختار آن‌ها مشاهده می‌شود و از رفتار غیرخطی برخوردار هستند، به‌خوبی قابل‌استفاده باشد.

درواقع یک مدل، طرحی کرداری یا روشی تلقی می‌شود که به‌طور مشخص در سیستم‌های استقرایی برای پیش‌بینی نتایج یک‌رشته از فعالیت‌ها بکار گرفته می‌شود. ازاین‌رو مدل‌سازی به‌عنوان ابزاری جهت درک ارتباطات اکوژئومورفولوژیکی پیچیده که در سیر تکامل ناهمواری و پوشش گیاهی حاکم می‌باشد می‌تواند در مدیریت تغییرات محیطی یا انسانی در سیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مؤثر واقع شود. تاکنون بحث‌های زیادی برای شناسایی شاخص‌هایی مناسب جهت ارزیابی سریع شدت و وسعت تخریب در مناطق خشک صورت گرفته است. که استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی به علت اینکه می‌توان آن‌ها را به‌صورت کمی اندازه گرفت و همچنین ارتباط مستقیمی با فرایندهای فرسایش و رسوب دارند، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد(باربیر و همکاران[4]،۲۰۰۶).

نگرش سیستمی بر چشم‌اندازهای طبیعی دستاوردهای چشمگیری را به ارمغان آورده است. درک مشخصه‌های عمومی کارکردها و ساختار پیچیده بر اساس الگوی انتزاعی از روابط که منجر به تبیین و پیش‌بینی پویایی سیستم‌ها در وضعیت آشفتگی شده درنهایت باعث تدوین استراتژی‌های کل گرا برای حفاظت و مدیریت یکپارچه محیط می‌گردد. چشم‌انداز نبکاها یکی از اکوسیستم‌های پیچیده در مناطق بیابانی است که نشان‌دهنده عملکرد فرآیند بادرفتی در این مناطق می‌باشد. این چشم‌انداز درنتیجه اثرات متقابل فرآیندهای بادی و بیولوژیک(پوشش گیاهی) در مناطق مستعد تشکیل‌شده و منجر به ایجاد تعادل بین دو فرآیند مزبور می‌گردد. ازنظر جنبه‌های مدیریتی و حفاظتی توجه به تعادل‌های طبیعی در چشم‌انداز مناطق خشک و نیمه‌خشک حائض اهمیت بسزایی است. چون در صورت وجود تعادل سیستم‌های طبیعی به‌صورت خودتنظیمی اداره می‌گردند. به‌طورکلی چشم‌اندازهای نبکایی ازجمله سیستم‌های اکوژئومورفیک پیچیده در مناطق بیابانی می‌باشند. نبکاها تپه‌هایی هستند که در اثر تجمع رسوبات بادی در اطراف گیاهان شکل می‌گیرند. این عوارض عموماً در سطح همواری که ماسه آن متوسط و سطح آب زیرزمینی بالا یا رطوبت موجود برای حیات گیاه کافی است ظاهر می‌شوند(حسین زاده، ۱۳۸۶). درمجموع نبکا یک عکس‌العمل طبیعی سیستم در مقابل تنش فرسایش بادی

---

[1] . Frank rosen blat
[2] . Romel hart and Mc kland
[3] . perceptron
[4] . Barbier et al

است و سیستم با ایجاد این عارضه سعی در تعدیل چشم‌انداز بادی کرده است. به‌عبارت‌دیگر سیستم با اتخاذ راهکارهای پس‌خوراند منفی سعی در خنثی کردن تنش فرسایش بادی داشته است که نتیجه آن ایجاد چشم‌انداز نبکا می‌باشد(موسوی و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۱۳). عوامل مختلفی نظیر بردباری اکولوژیکی گونه‌های گیاهی در ترسیب رسوبات نقش به سزایی دارد به‌طوری‌که قابلیت ترسیب در گونه‌های مختلف متفاوت می‌باشد(دوگیل و توماس، ۲۰۰۲، ۴۱۵). به‌طورکلی نبکاها تابعی از رژیم باد در منطقه، مقدار بار رسوب در دسترس، رویشگاه گونهٔ گیاهی و نوع پوشش گیاهی هستند(نگهبان و همکاران، ۱۳۹۲، ۱۸). اکبریان و بی‌نیاز(۱۳۹۰، ۱) در بررسی گونه‌های گیاهی مورداستفاده در کنترل فرسایش بادی با استفاده از مدل‌های آماری بیان می‌کنند که گونه سمر ازنظر گستره و دوام تاج پوشش مطلوب‌ترین گونه برای کنترل فرسایش بادی در شهرستان جاسک استان هرمزگان می‌باشد. همچنین مقصودی و همکاران(۱۳۹۱، ۱۷) در مطالعه‌ای تحت عنوان مقایسه و تحلیل ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی نبکاهای چهار گونه گیاهی در غرب دشت لوت گزارش می‌دهند که نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل همبستگی عوامل مورفومتری نبکاها نشان می‌دهد که همبستگی در رابطه با گونه‌های Tamarix aphylla و Prosopis koelziana در سطح ۹۹ درصد معنادار هستند. همچنین بیان می‌کنند که تحلیل همبستگی گرانولومتری رسوبات نبکاها نشان می‌دهد که نوع گونه گیاهی در اندازه رسوبات هر یک از نبکاها تأثیر شایانی دارد. در پژوهشی دیگر دوگیل و توماس[1] (۲۰۰۲، ۲) بیان کرده‌اند که شکل نبکا از حرکت رسوب در طی زمان‌ها و پوشش گیاهی کم در مناطق بین تپه‌های ماسه‌ای ناشی می‌شوند. نکته قابل‌توجه در فرایند ایجاد و توسعه نبکا وضعیت پوشش گیاهی می‌باشد. عوامل مختلفی نظیر بردباری اکولوژیکی گونه‌های گیاهی در توسعه چشم‌انداز نبکا نقش به سزایی دارد و قابلیت ایجاد نبکا در گونه‌های مختلف متفاوت می‌باشد مورفولوژی نبکا تا حد زیادی به‌وسیله الگوهای رویشی گونه‌های گیاهی تشکیل‌دهنده آن کنترل می‌شود. همچنین وانگ و همکاران در سال (۲۰۰۳، ۶۷) بیان کردند توسعه نبکا ناشی از افت پتانسیل اراضی مناطق بیابانی و بیابان‌زایی، به‌ویژه در مناطقی است که چرای مفرط دام صورت گرفته و کانون تولید رسوبات بادی و حمل آن‌ها منجر به ایجاد نبکا گردیده است. جیان هویی و همکاران۲(۲۰۱۰) توزیع فضایی نبکاها را در ارتباط با جریان هوا، تعادل بین فرسایش و رسوب، خصوصیات زیست‌محیطی و فیزیولوژیکی پوشش گیاهی، مشخصه‌های بارش و آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک شمال چین مطالعه نموده و بیان کردند که برای حفظ و ترمیم محیط‌زیست مناطق خشک و نیمه‌خشک، توسعه نبکاها و تنوع پوشش گیاهی نقش اساسی دارد. یانگ ژنگ و همکاران[3](۲۰۱۲، ۲۸۷) ضمن مطالعه پراکندگی و ویژگی‌های نبکاهای گونه Nitraria sphaerocarpa در بیابان گبی بیان می‌کنند که نبکاهای مطالعه شده در اندازه‌های مختلفی وجود دارند و میانگین ارتفاع و طول آن‌ها به ترتیب ۱۵ و ۱۸ سانتیمتر می‌باشد. همچنین رابطه خطی بین ارتفاع و طول نبکاها نشان می‌دهد که اکثر آن‌ها در مرحله رشد قرار دارند. جمز و الاوادهی[4](۲۰۱۳، ۲۰) بیان می‌کنند نبکا یکی از اشکال بادرفتی می‌باشد که معمولاً درنتیجه انباشت ماسه در اطراف گیاهان ساحلی و بیابانی توسعه می‌یابد. مورفولوژی نبکا به‌وسیله الگوی رشد گونه گیاهی کنترل می‌گردد. به‌طوری‌که ارتفاع نبکا به مقدار زیادی به ارتفاع تاج پوشش گیاه بستگی دارد اما طول نبکا به ارتفاع گیاه، عرض گیاه و سرعت باد وابسته است. همچنین نوع رسوبات، اقلیم و میزان نفوذپذیری تاج پوشش گیاه از دیگر فاکتورهای مهم کنترل‌کننده مورفولوژی نبکا می‌باشند.

اگرچه در مناطق بیابانی عاری از پوشش گیاهی تشکیل اشکال ناهمواری‌های ماسه‌ای تابعی از رژیم باد و منبع تولید رسوب بیان‌شده است و مدل‌های طراحی‌شده بر اساس منبع تولید رسوب، خصوصیات و رفتار باد طراحی‌شده‌اند(واسون و

---

1. Dougill and Thomas

2 . Jianhuei et al

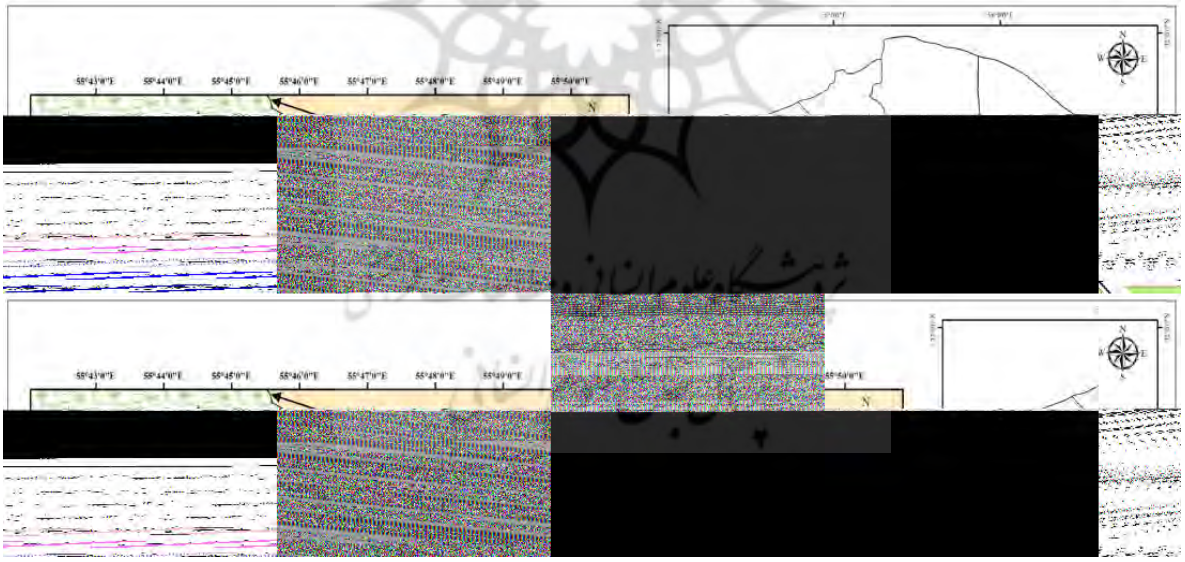
3. Yong Zhong et al

4 . Jasem and Al-Awadhi

هید[1]، ۱۹۸۳، ورنر[2]، ۱۹۹۵، بی‌شاپ و همکاران[3]، ۲۰۰۲) اما تأثیر متقابل رفتارهای دینامیکی و اکوژئومورفولوژیکی روی اشکال ناهمواری‌های بادی منطق واجد پوشش گیاهی کمتر بررسی و مدل‌سازی شده است(توماس و تسوآر[4]،۱۹۹۰، هسپ[5]،۲۰۰۲). به‌طورکلی نتایج تحقیقات انجام‌شده بر روی خصوصیات و ارتباطات موجود در شکل‌گیری و توسعه نبکاها علی رقم دستیابی به نتایج درخور توجه کمتر از معیارهای کمی تبعیت نموده و همواره نتیجه دیدگاه‌های کلاسیک در شکل‌گیری این اشکال ناهمواری موردتوجه بوده است. در این راستا هدف این پژوهش مدل‌سازی حجم رسوبات نبکاهای گونه Tamarix mascatensis با استفاده از روش‌های آماری و شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه موسوم به کویر ابراهیم‌آباد سیرجان با مساحتی در حدود ۴۰۰ کیلومترمربع از محدوده حوضه آبریز کویر سیرجان می‌باشد که در فرورفتگی کوچکی واقع در انتهای جنوبی آبخیز اصفهان قرارگرفته است(کلینسلی، ۱۳۸۱، ۲۲۲). حوضه آبریز کویر سیرجان در محدوده ´۵۷ °۵۴ تا ´۲۷ ° ۵۶ طول شرقی و همچنین ´ ۴۶ ° ۲۸ تا ´ ۵۹ ° ۲۹ عرض شمالی قرار دارد. که کویر ابراهیم‌آباد در محدوده ´ ۴۴ °۵۵ تا ´۵۸ °۵۵ طول شرقی و´ ۵۳ °۲۸ تا ´ ۰۵ °۲۹ عرض شمالی در جنوب شرق آبریز کویر سیرجان واقع‌شده است. شکل شماره (۱) موقعیت منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد. کویر ابراهیم‌آباد سیرجان با ارتفاع متوسط ۱۷۰۰ متر از سطح تراز دریا و متوسط بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد در جنوب شرق شهرستان سیرجان قرار دارد. جهت باد غالب در این کفه °۱۳۵ جنوب شرقی می‌باشد(آمارنامه اداره هواشناسی شهرستان سیرجان ۱۳۹۰).



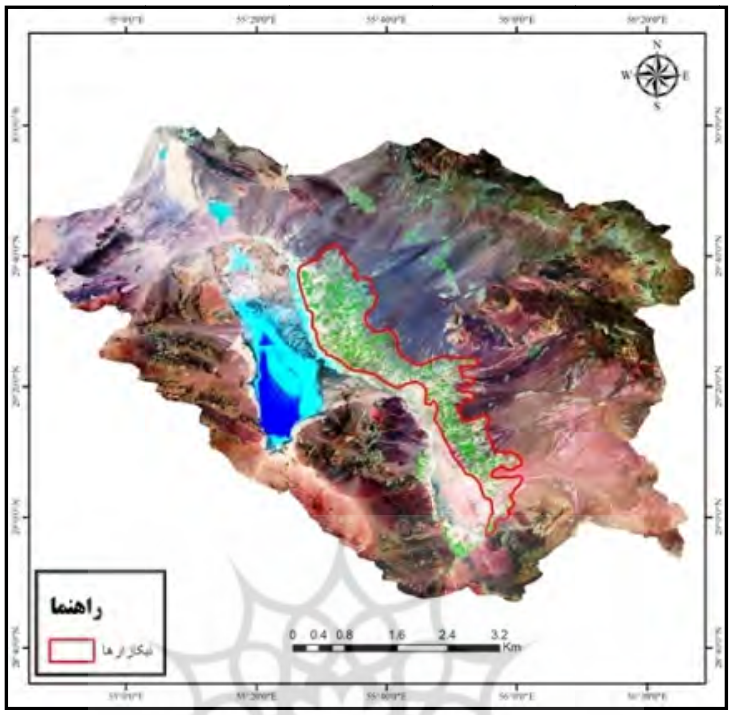
شکل شماره (۱) : موقعیت منطقه موردمطالعه

مواد و روش‌ها

ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی و تصاویر ماهواره‌ای محدوده کویر ابراهیم‌آباد مشخص و سپس با مراجعات حضوری به منطقه قلمرو توسعه نبکاها تعیین گردید شکل(۲).

---

1. Wasso and Hyde
2. Werner
3. Bishop et al
4. Thomas and Tsoar
5. Hesp



شکل(۲): موقعیت نبکازارها بر روی تصاویر ماهواره‌ای

سپس نمونه‌برداری در امتداد ۱۰ ترانسکت که محدوده کمربند سبز کویر را پوشش داده‌اند صورت گرفت و در امتداد هر ترانسکت خصوصیات مورفومتری نبکاها موردانداز‌ه‌گیری قرار گرفت حجم نمونه بستگی به موقعیت نبکا نسبت به محل ترانسکت‌های مستقر شده داشته است. که درمجموع ۱۰۵ نبکا از گونه Tamarix mascatensis مورد ارزیابی قرارگرفته است(شکل۳).

شکل(۳): تصویری از چشم‌انداز نبکاها در منطقه موردمطالعه

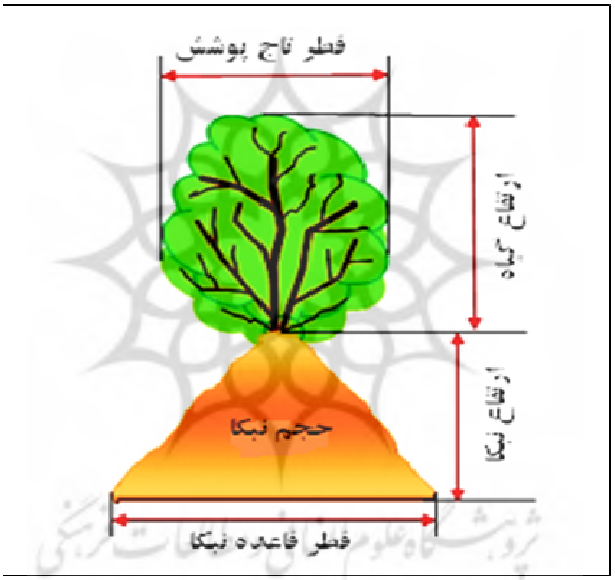
به‌منظور بررسی خصوصیات نبکاها عوامل مورفومتری نبکا شامل پارامترهای ارتفاع، قطر قاعده نبکا و حجم نبکا اندازه‌گیری گردید و برای بررسی خصوصیات پوشش گیاهی تشکیل‌دهنده نبکا عوامل مورفولوژی گیاهی شامل قطر تاج پوشش و ارتفاع گیاه موردسنجش و اندازه‌گیری واقع‌شده است. سپس از طریق رابطه (۱) حجم نبکا برآورد گردید(دوگیل و توماس، ۲۰۰۲، ۴۱۷).

رابطه(۱): $$v = 1/2(0.33\pi r^2 h)$$

r: شعاع قاعده مخروط نبکا

h: ارتفاع نبکا

برای محاسبه قطر تاج پوشش متوسط دو قطر اندازه‌گیری شده تاج گیاه، برای محاسبه ارتفاع گیاه بلندترین شاخه گیاه تا قله نبکا ملاک عمل قرارگرفته است. شکل شماره ۴ مبنای اندازه‌گیری خصوصیات مورفومتریک نبکا و مؤلفه‌های مورفولوژی آن بوده است. این تصویر انواع پارامترهای مورفومتری نبکا و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل(٤): توضیح تصویری مؤلفه‌های مورفومتری و مورفولوژی نبکا(موسوی و همکاران،۱۳۹۱، ۱۰۸)

تکنیک رابطه سنجی بین صفات گیاهی با صفات مورفومتری نبکا بر اساس آنالیز رگرسیون و همبستگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS و جهت مدل‌سازی از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده‌شده است.

الف) رگرسیون ساده غیرخطی: از بین روش‌های ساده رگرسیونی روش توانی به دلیل برخورداری از R^2 بالاتر انتخاب گردید معادله روش مذکور $y=bx^a$ می‌باشد.

ب) رگرسیون خطی چندگانه: این روش آماری بین متغیرهای وابسته (پیش‌بینی شونده) و متغیرهای مستقل (پیش‌بینی کننده) رابطه همبستگی برقرار می‌نماید به‌نحوی‌که متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل قابل پیش‌بینی باشد. اساس این تحلیل الگوی خطی عمومی است. در تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام متغیرهای مستقل همزمان کنترل می‌گردند. ممکن است دو متغیر در دو معادله جداگانه رابطه معناداری داشته باشند ولی وقتی هر دو همزمان وارد معادله شوند رابطه آن‌ها با متغیر وابسته تغییر نموده و یکی از آن‌ها معنی‌داری خود را از دست بدهد در این روش از بین متغیرهای پیش‌بینی کننده هرکدام را که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته و کمترین همبستگی معنی‌دار را با سایر متغیرها داشته باشد را وارد معادله می‌شود سپس متغیر بعدی که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارد وارد مدل می‌کند. اگر احتمال معنی‌دار

بودن یکی از این دو متغیر از ۱۰درصد تجاوز کرد آن را از معادله خارج و متغیر بعدی را وارد معادله می‌کند. وضعیت ایده-ال آن است که متغیرهای پیش‌بینی کننده کمترین همبستگی را با یکدیگر و بیشترین همبستگی را با متغیر پیش‌بینی شونده داشته باشند در غیر این صورت اگر متغیرهای پیش‌بینی کننده همبستگی زیادی باهم داشته باشند یکی از آن‌ها که همبستگی بیشتری با متغیر پیش‌بینی کننده دارد انتخاب‌شده و دیگری حذف می‌گردد حتی اگر همبستگی آن با متغیر پیش‌بینی کننده معنی‌دار باشد.

ج) شبکه عصبی مصنوعی(MLP): شبکه مورداستفاده جهت مدل‌سازی از نوع شبکه‌های پیش‌خور با الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا[1] می‌باشد. این نوع شبکه بیشترین کاربرد را در مدل‌سازی روش‌های تجربی به خود اختصاص داده است. تابع آموزشی[2] استفاده‌شده در شبکه *Trainlm* می‌باشد این تابع از سرعت و دقت بالایی برخوردار است. تابع انتقال استفاده‌شده در شبکه از نوع log sig می‌باشد. جهت آموزش شبکه از ۷۵٪ داده‌ها و جهت آزمون شبکه از ۳۵٪ داده‌ها استفاده‌شده است.

تمام مدل‌های طراحی‌شده اعم از آماری و شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های آموزشی تعلیم‌دیده و سپس به کمک داده‌های آزمون، حجم رسوب را پیش‌بینی می‌نمایند. بنابراین برای ارزیابی مدل‌ها می‌توان از جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین بین بردار مشاهده‌شده و بردار پیش‌بینی‌شده بهره جست. رابطه (۱) نحوه محاسبه شاخص ارزیابی میزان خطای مدل‌ها را نشان می‌دهد. رابطه (۱):

در این رابطه So رسوب مشاهده‌شده و Ss رسوب برآورد شده و n تعداد کل داده‌ها است(ولی و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۷).

یافته‌های تحقیق

به‌طورکلی تدوین شکل مفهومی مدل، کمی کردن، ارزیابی و کاربردی کردن مدل ازجمله مراحل اساسی در تجزیه‌وتحلیل سیستمی می‌باشند. بدین ترتیب که در مرحله تدوین شکل مفهومی مدل، بر اساس اهدافی که از تجزیه‌وتحلیل سیستمی، اکوسیستم داریم تصمیم گرفته شد که کدام اجزاء واقعی در مدل قرار داده شود و ارتباط بین این اجزاء را چگونه برقرار کنیم. این اجزاء و روابط میان آن‌ها را به کمک نمادهایی که بر ماهیت خاص روابط دلالت می‌کنند به‌صورت نمودار نمایش داده می‌شود. در مرحله کمی کردن مدل با ترجمه مدل مفهومی، این مدل را به‌صورت معادلات کمی و آماری بیان می‌گردد. هدف از ارزیابی مدل این است که سودمندی مدل را در تأمین اهداف تجزیه‌وتحلیل سیستمی، اکوسیستم ارزیابی نمائیم. در این مدل تأکید بر مقایسه پیش‌بینی‌های مدل با مشاهدات اکوسیستم واقعی است. اغلب در این مرحله تعیین می‌کنیم که پیش‌بینی مدل تا چه اندازه نسبت به عدم قطعیت‌هایی که با برخی از جنبه‌های مدل نمایش داده شد، حساس هستند. در مرحله کاربرد به پرسش‌هایی که در آغاز تجزیه‌وتحلیل سیستمی اکوسیستم با آن‌ها روبرو بوده است پاسخ داده شد. بدین منظور از همان آزمایش‌هایی که در اکوسیستم واقعی برای پاسخ به پرسش-های یادشده انجام دهیم استفاده شد. همچنین نتایج شبیه‌سازی را به کمک همان شیوه‌هایی که در مورد نتایج اکوسیستم واقعی به‌کاربرده شد مورد تجزیه‌وتحلیل و تفسیر قرار داده و منتشرشده است(ولی و همکاران، ۱۳۹۰، ۲۷).

نتایج مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی جهت برآورد حجم رسوبات نبکاهای گونه درختچه گز در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. نتایج این جداول نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی(MLP) با ضریب تبیین ۰/۹۲۶ بهترین

[1] .Feed- forward backprop
[2] .Training function

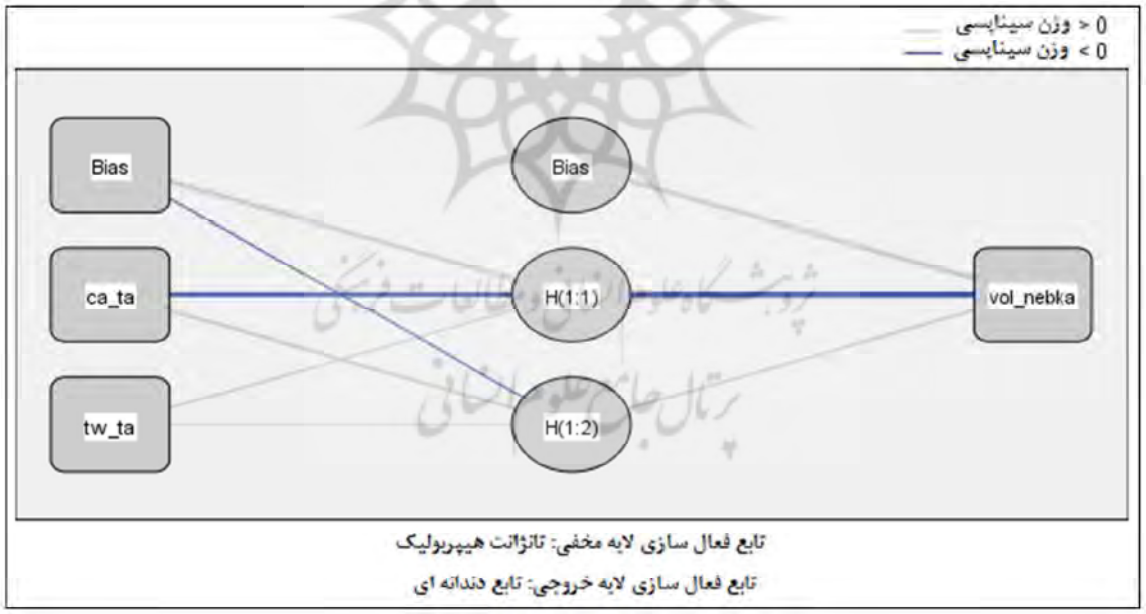
برازش را جهت پیش‌بینی حجم رسوب نشان می‌دهد. شبکه‌های عصبی مصنوعی طراحی و انتخاب‌شده پس از مرحله آزمون‌وخطا به کمک تابع عملکرد خطا نهایی شده‌اند. شکل شماره ۵ شبکه عصبی نهایی شده برآورد حجم رسوب تثبیت‌شده را نمایش می‌دهد. این شکل شبکه طراحی‌شده مدل را که یک‌لایه مخفی با دو نرون در این لایه را که با اوزان مختلف به هم متصل شده‌اند را نشان می‌دهد.

جدول(۲) نتایج مدل‌های آماری داده‌های تعلیم بر اساس تحلیل رگرسیون خطی چندگانه

مدل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تبیین تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد
رگرسیون توانی	۰/۹۳۱	۰/۸۶۸	۰/۸۶۴	۱/۳۱۶۱۳E۶
شبکه عصبی مصنوعی	۰/۹۶۲	۰/۹۲۶	۰/۹۲۳	۹۸۷۰۶۶/۲۰۶

جدول(۳)نتایج آنالیز رگرسیون خطی چندگانه داده‌های تعلیم

مدل	متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضرایب استانداردشده	مقدار t	سطح معنی‌دارt
۱	حجم نبکا	رگرسیون توانی	۰/۹۳۱	۱۴/۷۰۹	۰/۰۰۰
		مقدار ثابت	۶۰۰۴۰۴/۳۴۸	۲/۲۹۸	۰/۰۲۸
۲	حجم نبکا	شبکه عصبی مصنوعی	۰/۹۶۲	۲۰/۲۵۷	۰/۰۰۰
		مقدار ثابت	-۸۹۳۷/۶۳۳	-۰/۰۴۲	۰/۹۶۷



شکل(۵): ساختار شبکه عصبی مصنوعی(MLP) طراحی‌شده بر اساس حجم رسوبات مخروط نبکا و ارتفاع و قطر تاج پوشش گیاه

نتایج حاصل از مدل‌سازی آماری و شبکه عصبی مصنوعی و عملکرد هر مدل در جدول شماره (۴) ارائه‌شده است. مجذور میانگین مربعات خطا و میزان ضریب تبیین به‌صورت جداگانه آورده شده است.

جدول(۴) مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف با استفاده از ضریب تبین و مجذور میانگین مربعات خطا

مدل	پارامترها	داده‌های آموزش		داده‌های آزمون		داده‌های اعتبار سنجی	
		ضریب تبیین	مجذور میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین	مجذور میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین	مجذور میانگین مربعات خطا
رگرسیون توانی	تاج پوشش، ارتفاع گیاه	۰/۸۳۷	۴/۴۲	۰/۸۷۱	۳/۱۱	۰/۸۶۸	۳/۳۰
شبکه عصبی مصنوعی	تاج پوشش، ارتفاع گیاه	۰/۹۰۸	۲/۰۳	۰/۹۰۳	۲/۲	۰/۹۲۶	۱/۱۶

نتایج جدول ۴ حاکی از برآورد حجم نبکا با بهره‌گیری از مدل رگرسیون توانی و مدل شبکه عصبی مصنوعی است. مقایسه ضریب تبیین در هر سه مرحله، تعلیم، آزمون و ارزیابی نتایج بهتر شبکه عصبی مصنوعی را نسبت به مدل توانی نشان می‌دهد.

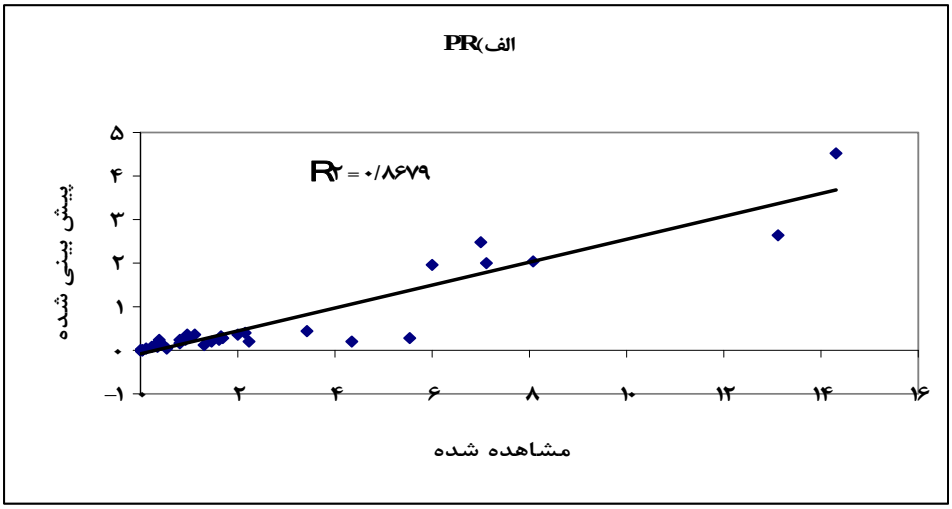
معادله طراحی‌شده به‌وسیله رگرسیون توانی جهت محاسبه حجم رسوبات به دام افتاده توسط گیاه به‌صورت زیر می‌باشد:

رابطه (۱) معادله PR :

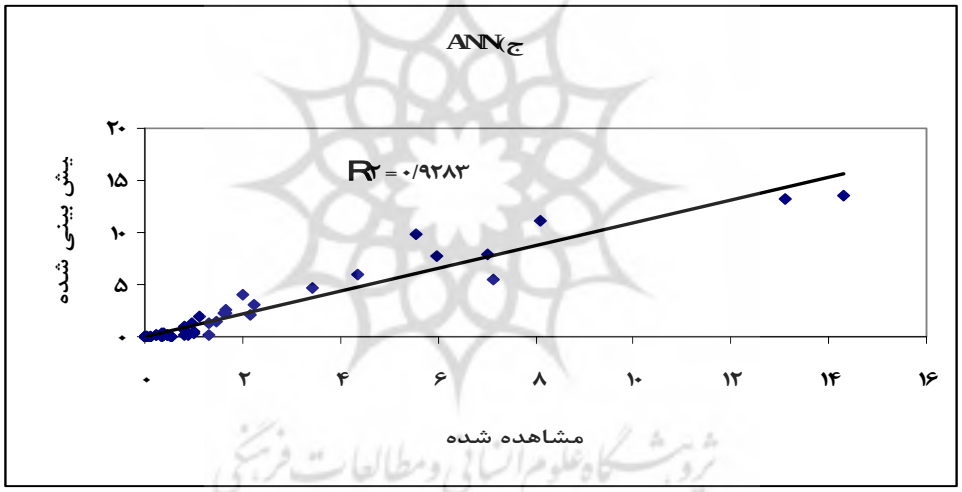
Vn: حجم نبکا

Vv: حجم گیاه

اصولاً ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف به کمک فاکتورهای ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا امکان‌پذیر می‌باشد. این فاکتورها زمانی می‌توانند ارزش رجحانی مدل‌ها را تعیین نمایند که بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده محاسبه شوند. توجه به مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین برتری نسبی مدل‌ها را نشان می‌دهد. بیشترین ضریب تبیین معنی‌دار و کمترین میزان خطا، بهترین مدل را معرفی می‌نماید. بنابراین مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب تبیین ۰/۹۲۶ و میزان خطای ۱/۱۶ نسبت به مدل رگرسیونی با ضریب تبیین ۰/۸۶۸ و میزان خطای ۳/۳ از برتری بیشتری جهت برآورد حجم رسوبات نبکاهای مطالعاتی برخوردار است. اشکال شماره ۶ و ۷ ارتباط بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده را برای مدل‌های مورداستفاده در تحقیق برای داده‌های آزمون بر اساس ضریب تبیین نشان می‌دهد.

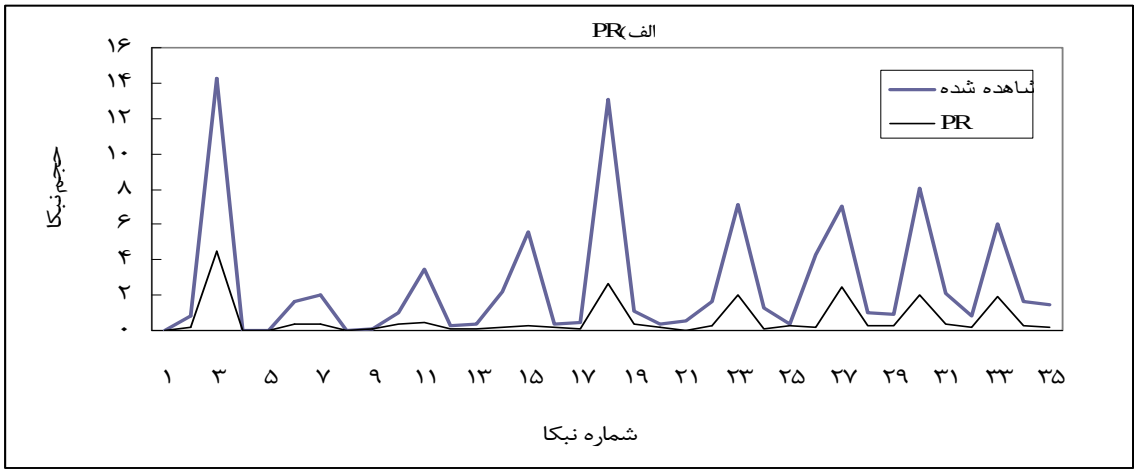


شکل(٦): نمودار ارتباط بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده، حجم رسوب بر اساس داده‌های آزمون رگرسیون توانی

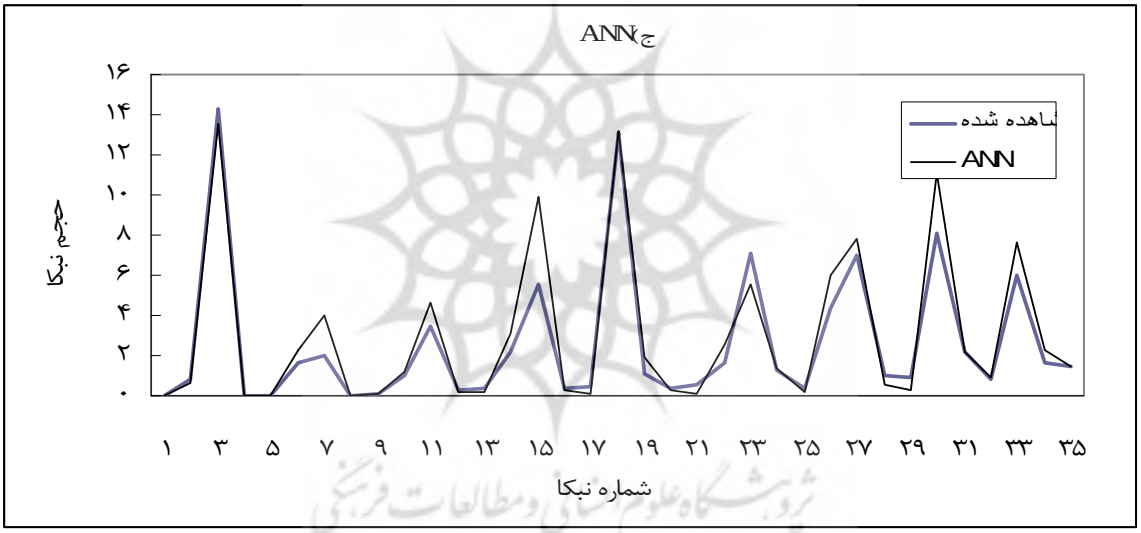


شکل(۷): نمودار ارتباط بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده، حجم رسوب بر اساس داده‌های آزمون شبکه عصبی مصنوعی

در مقایسه کارآیی این مدل‌ها هرچه نتایج پیش‌بینی بیشتر منطبق بر نتایج مشاهده‌شده باشند مدل از کارآیی مطلوب‌تری برخوردار است. اشکال شماره ۸ و ۹ اختلاف بین مقادیر خطای برآورد شده و مقادیر واقعی رسوب را برای مدل‌های مختلف ارائه نموده است. این اشکال تشخیص بصری عملکرد مدل‌های مختلف برآورد میزان رسوب به دام افتاده را آشکار می‌سازد. شکل شماره ۸ میزان انطباق نتایج پیش‌بینی و مشاهده را که توسط مدل رگرسیون توانی طراحی‌شده است نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نتایج پیش‌بینی و مشاهده‌شده که توسط این مدل طراحی‌شده از انطباق کمتری نسبت به نتایج پیش‌بینی و مشاهده‌شده توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی برخوردار است. نتایج این اشکال حاکی از عملکرد مطلوب‌تر شبکه عصبی مصنوعی در برآورد حجم رسوبات تثبیت‌شده می‌باشد.



شکل(۸): مقایسه اختلاف خطای بیم مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده حجم رسوب بر اساس مدل رگرسیون توانی



شکل(۹): مقایسه اختلاف خطای بیم مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده حجم رسوب بر اساس مدل شبکه عصبی مصنوعی

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط، متأسفانه نتایج تحقیقات صورت گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که این تحقیقات عمدتاً به مدل‌سازی وضع موجود پرداخته و کمتر به مقوله پیش‌بینی در این زمینه پرداخته‌اند. درحالی‌که تحقیق حاضر سعی نموده است با اتکا به مدل شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی و برآورد حجم رسوبات تثبیت‌شده توسط نبکاهای مطالعاتی بپردازد. اصولاً علت تفاوت بین عملکرد بهتر شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با روش‌های آماری را می‌توان در قابلیت تخمین و پیش‌بینی شبکه‌های عصبی مصنوعی برای حجم کم داده‌ها جستجو کرد. این در حالی است که عملکرد و دقت روش‌های آماری به‌شدت از حجم نمونه تبعیت می‌کند و حجم کم نمونه‌ها می‌تواند عامل محدودیت مدل‌های آماری گردد. ولی در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی کم بودن تعداد نمونه‌ها محدودیت چشم‌گیری ایجاد نمی‌کند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب تبیین ۰/۹۲۶ و میزان خطای ۱/۱۶ نسبت به مدل رگرسیونی با ضریب تبیین ۰/۸۶۸ و میزان خطای ۳/۳ از برتری بیشتری جهت برآورد حجم رسوبات نبکاهای مطالعاتی برخوردار است. باید توجه داشت که قدرت پیش‌بینی مدل‌های

شبکه عصبی مصنوعی ازجمله ویژگی‌های بارز این مدل‌ها می‌باشد در همین رابطه شکل شماره ۹ همپوشانی بالای مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده را توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این نمودار حاکی از این است که مقدار پیش‌بینی‌شده حجم رسوب توسط شبکه عصبی مصنوعی با مقدار واقعی حجم رسوب تثبیت‌شده توسط گونه گیاهی از انطباق بسیار بالایی برخوردار است. که این موضوع خود بیانگر دقت بالای این مدل در پیش‌بینی و برآورد رفتار سیستم‌های پیچیده دارد. به‌عبارت‌دیگر مدل شبکه عصبی مصنوعی قابلیت پیش‌بینی و شبیه‌سازی حجم رسوبات ترسیب شده را با کمترین محدودیت دارا می‌باشد.

به‌طورکلی تحلیل خصوصیات فرمی نبکا متأثر از عملکرد دو فرآیند بادرفتی و بیولوژیک است. بنابراین با توجه به خصوصیات فرمی نبکا می‌توان دو فرآیند مزبور و نحوه تقابل آن‌ها را در خلق این چشم‌انداز تحلیل نمود. بنابراین در این تحقیق ارتباط بین ویژگی‌های مورفولوژی گیاهی و خصوصیات ژئومورفیک مشخص‌شده است. هرگونه گیاهی نقش و جایگاهی خاص در تولید این لندفرم دارد که به کمک شاخص‌هایی نظیر حجم رسوبات تثبیت‌شده می‌توان به آن پی برد. روش‌های برآورد حجم به روش‌های هندسی در خصوص اشکال طبیعی کارآیی مشخصی دارند. امروزه با به بار نشستن تکنیک‌های نوظهور که از نحوه عملکرد خود سیستم‌های طبیعی استنتاج شده‌اند می‌توان در خصوص بررسی ساختار و عملکرد خود سیستم‌های طبیعی استفاده نمود. یکی از این تکنیک‌ها، روش هوشمند مصنوعی است که در قالب آموزش اولیه کارآیی پیداکرده و می‌تواند در محاسبات، برآوردها و پیش‌بینی‌ها منشأ اثر باشد. نتایج این پژوهش کارآیی مطلوب این تکنیک را در برآورد حجم رسوبات و دینامیک آن‌ها را در قیاس با روش‌های آماری به‌خوبی نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان جهت مطالعه رفتارهای رسوبات بادی که غالباً از پیچیدگی و بی‌نظمی‌هایی برخوردار است از این تکنیک بهره جست و مسائلی از قبیل مورفومتری، دینامیک و پایش تغییرات رسوبات بادی و همچنین تحلیل فرم و فرآیندهای مؤثر در مناطق خشک را تحلیل نمود. با توجه به پیچیدگی سیستم‌های طبیعی و بخصوص سیستم‌های حساس و پیچیده مناطق بیابانی، هرگونه دخل و تصرف در این سیستم‌ها ممکن است تبعات جبران‌ناپذیری را در پی داشته باشد. اما استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی به علت قدرت بالای این مدل‌ها در پیش‌بینی رفتار این سیستم‌ها کمک بسیار زیادی به برنامه‌ریزی و مدیریت در سیستم‌های طبیعی و به‌ویژه مناطق بیابانی خواهد نمود.

منابع

- اکبریان، محمد، بی‌نیاز، مهدی، ۱۳۹۰، ارزیابی گونه‌های گیاهی مورداستفاده در کنترل فرسایش بادی، مطالعه موردی: شهرستان جاسک، استان هرمزگان، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۲. صص ۱-۱۴.
- حسین زاده، مهدی، ۱۳۸۶، ژئوپارک و ظرفیت‌های مرتبط با آن در ایران، مجله رشد آموزش جغرافیا دوره بیست و دوم شماره۱. صص ۲۳-۲۷.
- کلینسلی، دانیل، ۱۳۸۱، کویرهای ایران، ترجمه عباس پاشایی، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران.
- موسوی، سید حجت، معیری، مسعود، ولی، عباسعلی (۱۳۹۱) انتخاب مناسب‌ترین نوع گونه گیاهی نبکا برای تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از مدل AHP (مطالعه موردی: ریگ نجار آباد، شمال شرق طرود)، مجله محیط‌شناسی، سال سی و هشتم، شماره ۶۱. صص ۳۲۵.
- مقصودی، مهران، نگهبان، سعید، باقری سید شکری، سجاد، چزغه، سمیرا (۱۳۹۱). مقایسه و تحلیل ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی نبکاهای چهار گونه گیاهی در غرب دشت لوت(شرق شهداد دشت تکاب)، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۹. صص ۵۵-۷۶.

- نگهبان، سعید، یمانی، مجتبی، مقصودی، مهران، عزیزی، قاسم، ۱۳۹۲، بررسی تراکم، ژئومورفولوژی و پهنه‌بندی ارتفاعی نبکاهای حاشیهٔ غربی دشت لوت و تأثیرات پوشش گیاهی بر مورفولوژی آن‌ها، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴. صص ۱۷-۴۲.
- *Barbier N, Couteron P, Lejoly J, Deblauwe V, Lejeune O. 2006. Self-organized vegetation patterning as a fingerprint of climate and human impact on semi-arid ecosystems. Journal of Ecology 94: 537–547.*
- *Bishop SR, Momiji H, Carretero-Gonzalez R, Warren A. 2002. Modelling desert dune fields based on discrete dynamics. Discrete Dynamicsin Nature and Society 7: 7–17.*
- *Dougill,A.j,Thomas,A.D,2002.Nebkha dunes in the Molopo Basin, south Africa and Botswana:formation controls and their validity az indicators of soil degradation, jornal of arid environment 50 , 413-42.*
- *Hesp P. 2002. Foredunes and blowouts: Initiation, geomorphology and dynamics. Geomorphology 48: 245–268.*
- *Jasem M. Al-Awadhi, 2014, the Effect of a Single Shrub on Wind Speed and Nabkhas Dune Development: A Case Study in Kuwait, International Journal of Geosciences, 5, 20-26*
- *Jianhui,D., Y.,Ping, D.,Yuxiang .2010. The progress and prospects of nebkhas in arid areas, Journal of Geography Scince: Vol. 20(5), Pp. 712-728.*
- *Thomas DSG, Tsoar H. 1990. The geomorphological role of vegetation in desert dune systems. In Vegetation and Erosion. Processes andEnvironments, Thornes JB (ed). John Wiley: Chichester; 471– 489.*
- *Wang,X.,Dong.Z.,Zhang.J.,Chen,G.,2003.Geomorphology of sand dunes in The northeast Taklimakan Desert.Geomorphology 42,183-195.*
- *Wasson RJ, Hyde R. 1983. Factors determining desert dune type. Nature 304: 337–339.*
- *Werner BT. 1995. Eolian dunes: computer simulation and attractor interpretation. Geology 23: 1107–1110.*
- *Yong Zhong Su, Rong Yang, ZhiHui Zhang, Ming Wu Du, 2012, Distribution and Characteristics of Nitraria sphaerocarpa nebkhas in a Gobi habitat outside an oasis in Hexi Corridor region, China, Sciences in Cold and Arid Regions, 4(4): 0288–0295.*

پرتال جامع علوم انسانی