پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره‌ی ۴، زمستان ۱۳۹۱
صص. ۴۲-۲۳

ارزیابی روش‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی و زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی عملکرد گندم دیم و آبی (مطالعه‌ی موردی: خراسان رضوی)

حمید زارع ابیانه * ـ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۱۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۴/۲۰

چکیده

پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی میزان عملکرد گندم آبی و دیم با روش‌های زمین‌آمار کریجینگ و شبکه‌ی عصبی مصنوعی در سطح استان خراسان رضوی انجام گرفت. بدین منظور نخست مشخّصات طول و عرض جغرافیایی هفده شهرستان مورد مطالعه، به‌عنوان ورودی‌های هر دو روش تعریف شد. خروجی هر روش نیز مقدار عملکرد گندم آبی و دیم هر شهرستان بود. در بخش زمین‌آمار سه روش کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و کریجنگ عمومی و در بخش شبکه‌ی عصبی مصنوعی، ساختار پرسپترون سه‌لایه با الگوریتم پس‌انتشار خطا، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان دادند در بین روش‌های زمین‌آمار، روش کریجینگ ساده با نیم‌تغییرنمای دایره‌ای در پیش‌بینی عملکرد گندم آبی با مجذور میانگین مربّعات خطای نرمال ۰/۱۲۰ و روش کریجینگ معمولی با نیم‌تغییرنمای نمایی و مجذور میانگین مربّعات خطای نرمال ۰/۳۴۸ در پیش‌بینی عملکرد گندم دیم مناسب بود. مقایسه‌ی نتایج زمین‌آمار و شبکه‌ی عصبی مصنوعی بیانگر توانایی بالای شبکه‌ی عصبی در مقابل روش زمین‌آمار کریجینگ بود، به‌طوری‌که در شبکه‌ی عصبی مصنوعی عملکرد گندم دیم و آبی به‌ترتیب با ۴۶ و ۴۲ درصد خطای کمتر نسبت به‌روش زمین‌آمار برآورد شد. همچنین محاسبه‌ی شاخص ویلموت نشان داد دقّت شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی عملکرد گندم دیم، ۸۱ درصد و در گندم آبی ۶۵ درصد بود. در حالی‌که شاخص ویلموت برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم و آبی به‌روش زمین‌آمار، به‌ترتیب ۵۳ درصد و ۵۰ درصد به‌دست آمد. درمجموع می‌توان چنین نتیجه گرفت که روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی با تلفیق دو عامل طول و عرض جغرافیایی، قادر به پیش‌بینی عملکرد گندم آبی و دیم پیش از برداشت با دقّت مناسب است.

کلیدواژه‌ها: زمین‌آمار، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، مختصات جغرافیایی، عملکرد گندم، خراسان رضوی.

---

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۸۱۸۳۴۴۱
E-mail: zare@basu.com

مقدمه

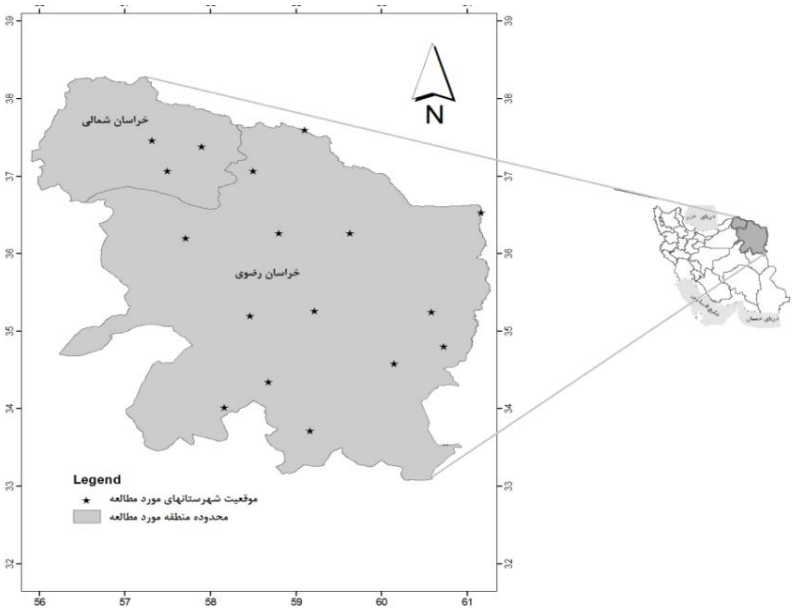
دسترسی به آمار و اطلاعات مشخّصه‌های زراعی، پیش‌نیاز بسیاری از فعّالیّت‌های کشاورزی است. عملکرد محصولات زراعی به‌صورت داده‌های نقطه‌ای در سطح شهرستان‌ها اندازه‌گیری و گزارش می‌شود، در حالی‌که عملکرد، متغیّری تصادفی و پویا در پهنه‌ی زمین‌های زراعی بوده و لزوم برآورد آن در سطح، با توجّه به تغییرپذیری مکانی بازده محصولات امری بدیهی است (عسگری و همکاران، ۱۳۸۸: ۶۲). کاربرد روش‌های تعیین متوسّط، مانند میانگین حسابی، میانگین هندسی یا خطوط هم‌مقدار در عرضه‌ی اطلاعات کلّی مربوط به تولیدات کشاورزی مفید است، اما اغلب قادر به تشریح کامل روابط مکانی نیستند. در سال‌های اخیر رشد علم و فناوری رایانه‌ای و نرم‌افزاری، سبب به‌کارگیری مدل‌های پیشرفته به‌عنوان ابزار قوی در مدیریت شده است. گویسان و تئوریلدت (۲۰۰۰) مدل‌سازی را روشی مؤثّر و دقیق در غلبه بر محدودیت‌ها و خطاهای ناشی از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای می‌دانند. بروگ و مک‌دونل (۱۹۹۸: ۱۵۰) شرط اصلی در موفّقیّت مدل‌سازی را، انتخاب روشی مناسب بر مبنای عوامل مؤثّر بر آن می‌داند. عوامل مؤثّر در مدل‌سازی متغیّرهای زراعی برحسب اینکه برانگیخته از یک فرآیند متغیّر زمانی یا مکانی باشند، دامنه‌ی بسیار گسترده‌ای را به‌وجود می‌آورند که موجب استنتاج غیریکنواخت می‌شود. پیشرفت‌های رایانه‌ای زمینه‌ی جمع‌آوری، ذخیره و پردازش تعداد زیادی از عوامل مؤثّر در بُعد زمان و مکان را برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی فراهم کرده است. مدل، شکل ساده شده‌ای از واقعیّت است که پس از ایجاد، بدون اندازه‌گیری و آزمایش رفتار یک پدیده قابل پیش‌بینی می‌شود (ایوبی و جلالیان، ۱۳۸۵: ۱). در این راستا زمین‌آمار[1] و شبکه‌های عصبی مصنوعی[2] دو روش مدل‌سازی مورد توجّه در سال‌های اخیر هستند که به‌ترتیب در پی کشف ساختار مکانی متغیّرها و تعمیم دانش نهفته در ورای اطلاعات تجربی به ساختار مدل هستند (میثاقی و محمّدی، ۱۳۸۵). همچنین توانمندی این روش‌ها در ترکیب با سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، برای مکان‌یابی مناطق مستعدّ کشت دیم پهنه‌های بزرگ (آرخی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱) و در مطالعه‌ی پوشش‌های جنگلی (قنبری و همکاران، ۱۳۸۸؛ Hilbert and Ostendorf, 2001) گزارش شده است. عملکرد محصولات زراعی یکی از متغیرهای اقتصادی چالش‌برانگیزی است که از یک‌سو اطلاع از مقدار آن لازم و از سوی دیگر با توجّه به تغییرات مکانی عملکرد، پیش‌بینی آن در محدوده‌ی وسیعی از مناطق تحت کشت ضرورت دارد. مدل‌سازی عملکرد به‌طور عمده براساس متغیّرهای هواشناسی، زراعی و مدیریتی برای ایجاد رابطه‌ی پراکنش مکانی متغیّرهای زراعی است. به‌عنوان مثال حسینی و همکاران (۱۳۸۶) از ۲۴ ترکیب متفاوت عوامل هواشناسی در ورودی شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای ارزیابی پتانسیل نقطه‌ای عملکرد گندم دیم در منطقه‌ی کردستان بهره گرفتند. به‌همین ترتیب در برآورد مقدار عملکرد گندم آبی از طرح‌نامه‌های مختلف اطلاعاتی، ۴۲ فراسنجه اقلیمی و مدیریتی، برای مدل‌سازی شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده شد (منتظر و همکاران، ۱۳۸۸). معمولاً چنین به‌نظر می‌رسد که استفاده از فراسنجه‌های بیشتر در مدل‌سازی، در راستای افزایش دقّت برآوردها است، اما لزوم استفاده از تعداد فراسنجه‌های کم و زودیافت از نظر اقتصادی ضرورت دارد؛ زیرا دسترسی به همه فراسنجه‌ها در همه مناطق امکان‌پذیر نیست و دست‌یابی به‌جواب با حداقل اطلاعات در شرایط ناکافی

1. Geostatistics
2. Artificial Neural Network

بودن داده‌های دردسترس اولویت دارد (کومار و همکاران، ۲۰۰۸: ۵۳۱؛ زارع ابیانه و بیات ورکشی، ۱۳۹۰: ۳۶۵). فراسنجه‌های زودیافت فراسنجه‌هایی هستند که اندازه‌گیری آن به‌راحتی، در زمان کوتاه و با هزینه‌ی کم انجام می‌گیرد. استفاده از اطلاعات زیاد علاوه‌بر حجیم شدن مدل، سبب استفاده از اطلاعات تکراری و کاهش سرعت مدل‌سازی می‌شود (زارع ابیانه و بیات ورکشی، ۱۳۹۰). فراسنجه‌های طول و عرض جغرافیایی به‌عنوان دو فراسنجه مهم توپوگرافی هستند که در اکثر مطالعات به‌عنوان اطلاعات ثابت و زودیافت استفاده شده‌اند (شعبانی، ۱۳۸۸ و معروفی و همکاران، ۱۳۸۸). این دو فراسنجه به‌طور مستقیم با حاصلخیزی خاک و قابلیّت تولید مرتبط و برای پیش‌بینی پوشش گیاهی، توان تولید و ایجاد نقشه‌های پهنه‌بندی اراضی، کاربرد دارند (عسگری و همکاران، ۱۳۸۸؛ آلبانی و همکاران، ۲۰۰۴). بدین ترتیب استفاده از روش‌های زمین‌آمار به‌دلیل لحاظ همبستگی مکانی داده‌ها و شبکه‌های عصبی مصنوعی، به‌دلیل استفاده از جفت الگوهای ورودی و خروجی، به‌عنوان ابزاری قدرتمند در پیش‌بینی، طبقه‌بندی تغییرپذیری فضایی و تهیّه‌ی نقشه‌ی متغیّرهای زراعی از اهمّیّت خاصی در بررسی داده‌های زمینی برخوردارند. از سویی گندم از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی مورد کشت در نقاط مختلف دنیا به‌منظور تولید دانه برای تهیّه‌ی نان، تغذیه‌ی حیوانات و مصارف صنعتی است (نوروزی و همکاران، ۱۳۸۷). از نظر مقدار تولید و سطح زیرکشت، مهم‌ترین محصول کشاورزی کشور بوده که افزایش تولید آن روزبه‌روز مورد توجّه و از نظر اقتصادی و تأمین غذای اصلی اهمّیّت بسیاری دارد. بنابراین اهداف این پژوهش، پیش‌بینی میزان عملکرد گندم آبی و دیم تولیدی با روش‌های زمین‌آمار کریجینگ و شبکه‌ی عصبی مصنوعی، تجزیه و تحلیل الگوی تغییرات مکانی عملکرد گندم با ویژگی‌های طول و عرض جغرافیایی، تهیّه‌ی نقشه‌های پراکنش مکانی و بررسی میزان تغییرپذیری عملکرد در سطح زمین‌های گندم‌کاری استان خراسان رضوی است.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه در این بررسی، استان خراسان رضوی است که در شمال‌شرق کشور و در فاصله‌ی بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۱ دقیقه‌ی شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۸ دقیقه‌ی شرقی قرار دارد. استان خراسان رضوی از شمال و شرق با دو کشور ترکمنستان و افغانستان دارای مرز مشترک، از جنوب به استان خراسان جنوبی و از غرب به استان‌های یزد و سمنان محدود است. این استان دارای وسعتی بیش از ۱۲۷ هزار کیلومترمربّع و ۶۵۳۰۰ هکتار زمین زراعی است. حدود ۳۶۵۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی آن تحت کشت گندم آبی و دیم بوده که به‌عنوان ناحیه‌ی مطالعاتی در قالب ۱۴ شهرستان با حداقل ۲۶ سال آمار عملکرد انتخاب شد. علّت انتخاب این تعداد شهرستان، طول دوره‌ی آماری مناسب، پراکنش مکانی مناسب آن‌ها و عدم نیاز به بازسازی داده‌ها، به‌واسطه‌ی کامل بودن داده‌های اطلاعاتی بود. همچنین از اطلاعات سه شهرستان شیروان، اسفراین و بجنورد در استان خراسان شمالی نیز برای افزایش دقّت پهنه‌بندی در نقاط مرزی استفاده شد. این اطلاعات به‌دلیل واحد بودن استان خراسان قبل از تقسیمات جغرافیایی سال ۱۳۸۳ قابل دسترسی بود. شکل شماره‌ی ۱ موقعیّت منطقه‌ی مورد مطالعه و شهرستان‌های مربوطه و همچنین جدول شماره‌ی ۱ موقعیّت جغرافیایی، میانگین عملکرد و میانگین سطح زیرکشت محصول گندم هر شهرستان را در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۷-۱۳۶۲ نشان می‌دهد.

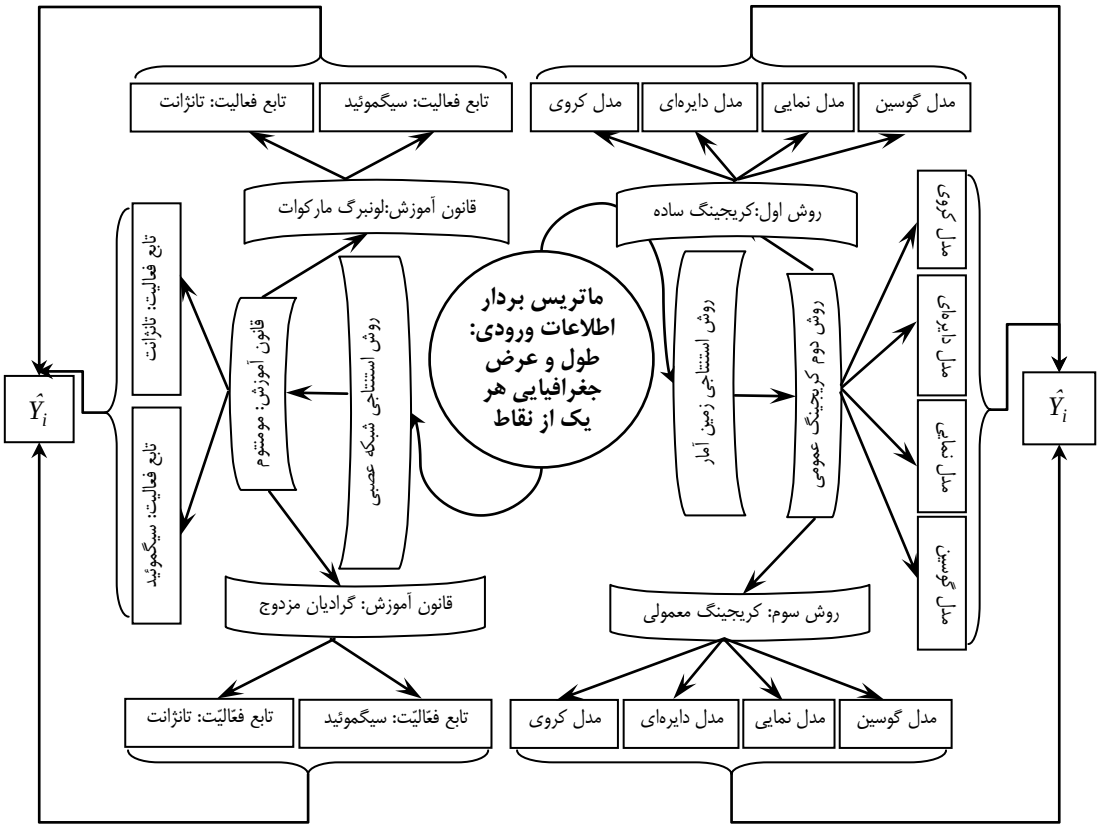


شکل ۱. موقعیّت منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول ۱. مختصات جغرافیایی، میانگین عملکرد و سطح زیر کشت گندم در شهرستان‌های مورد مطالعه

ردیف	شهرستان	سطح زیر کشت (هکتار)		عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)		مختصات جغرافیایی (درجه)	
		آبی	دیم	آبی	دیم	عرض	طول
۱	اسفراین	۱۳۵۹۵	۱۰۸۷۲	۲۴۹۶	۴۱۹	۳۷/۰۷	۵۷/۵
۲	بجنورد	۱۹۵۳۳	۶۱۲۸۲	۲۹۵۰	۸۵۸	۳۷/۴۷	۵۷/۳۲
۳	تایباد	۱۷۵۱۶	۱۰۵۷۷	۲۸۲۶	۳۲۵	۳۳/۵۷	۶۰/۷۵
۴	تربت‌جام	۲۵۷۵۴	۱۸۲۱۰	۳۱۸۹	۳۲۰	۳۵/۲۵	۶۰/۵۸
۵	تربت‌حیدریه	۴۲۱۶۵	۱۸۵۰۱	۲۶۲۷	۳۴۳	۳۵/۲۷	۵۹/۲۲
۶	خواف	۷۹۰۸	۱۴۷۵	۳۱۷۷	۳۵۸	۳۴/۵۸	۶۰/۱۵
۷	درگز	۶۶۳۸	۱۸۶۰۰	۲۲۲۲	۵۵۱	۳۷/۶	۵۹/۱
۸	سبزوار	۳۸۰۶۹	۲۴۶۶۰	۲۵۱۵	۳۸۲	۳۶/۲	۵۷/۷۲
۹	سرخس	۶۳۵۰	۱۹۶۳۴	۲۲۷۲	۵۵۴	۳۶/۵۳	۶۱/۱۷
۱۰	شیروان	۸۳۷۲	۲۲۲۴۷	۳۰۳۵	۵۳۹	۳۷/۳۸	۵۷/۹
۱۱	فردوس	۸۶۳۹	۲۲۰۸	۲۵۰۲	۳۹۲	۳۴/۰۲	۵۸/۱۷
۱۲	قائن	۹۷۳۲	۱۵۱۲۷	۲۰۹۹	۲۵۳	۳۳/۷۲	۵۹/۱۷
۱۳	قوچان	۱۷۴۷۷	۴۳۷۲۵	۲۷۰۱	۵۱۵	۳۷/۰۷	۵۸/۵
۱۴	کاشمر	۱۳۴۸۹	۲۶۴۵	۲۱۱۴	۲۵۲	۳۵/۲	۵۸/۴۷
۱۵	گناباد	۵۰۲۵	۲۲۲۳	۲۳۴۰	۲۳۹	۳۴/۳۵	۵۸/۶۸
۱۶	مشهد	۳۴۷۰۵	۳۷۶۷۱	۲۹۲۲	۴۱۶	۳۶/۲۷	۵۹/۶۳
۱۷	نیشابور	۴۷۷۸۴	۲۷۹۳۳	۲۳۹۷	۴۱۲	۳۶/۲۷	۵۸/۸
میانگین		۱۸۹۸۵	۱۹۸۵۸	۲۶۱۰	۴۱۹	--	--
انحراف معیار		۱۳۳۳۴	۱۵۶۲۲	۳۴۶	۱۴۸	--	--
ضریب تغییرات		۰/۷۰	۰/۷۹	۰/۱۳	۰/۳۵	--	--

در این پژوهش مدل‌سازی و پیش‌بینی عملکرد گندم به‌کمک شبکه‌های هوشمند عصبی و ساختار زمین‌آمار کریجینگ انجام شد. ساختارهای رایانه‌ای پیشرفته در این پژوهش، همچون دیگر ساختارهای رایانه‌ای در کاربردهای مهندسی، دارای سه بخش اصلی شامل ماتریس بردار اطلاعات ورودی، روش استنتاج و ماتریس بردار خروجی است. شبکه‌های عصبی با الهام از سیستم طبیعی بدن انسان، سعی در یافتن ارتباط پیچیده‌ی غیرخطّی حاکم بین متغیّرهای ورودی و خروجی را دارند. در روش زمین‌آمار نیز با توجّه به همبستگی مکانی اطلاعات، فرض بر تأثیرگذار بودن تمام نقاط موجود یا محدوده‌ی مشخّصی از نقاط، برای میان‌یابی برآورد نقاط مجهول است. شکل شماره‌ی ۲ کلیّات مدل‌های مختلف طرح‌ریزی شده برای پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۲. ساختار روش‌های مورد استفاده برای برآورد عملکرد گندم آبی و دیم

مطابق شکل شماره‌ی ۲، در ساختارهای پیشنهادی از اطلاعات طول و عرض جغرافیایی، نقاط اندازه‌گیری به‌عنوان بردار ورودی هر یک از مدل‌ها استفاده شد. توسعه‌ی مدل‌هایی با حداقل متغیر قابل دسترس، مورد تأکید پژوهشگران در عرصه‌های مختلف است (کومار و همکاران، ۲۰۰۸؛ زارع ابیانه و بیات ورکشی، ۱۳۹۰). بنابراین با رویکرد به این نکته، تلاش شد تا جنبه‌ی کاربردی پژوهش برای برآورد عملکرد محصولات زراعی در نقاط مختلف کشور، مورد تأکید قرار گیرد. دهقانی و همکاران (۱۳۸۸)، عسگری و همکاران (۱۳۸۸) و آلبانی و همکاران (۲۰۰۴) از متغیّرهای جغرافیایی در مدل‌سازی منابع آب و تعیین توان تولیدات گیاهی به‌روش‌های زمین‌آمار و شبکه‌ی عصبی بهره گرفته‌اند. برای اطمینان

از صحّت انتخاب متغیّرهای مستقل، ضریب همبستگی بین متغیّرهای مستقل و وابسته محاسبه شد. در ادامه پس از بررسی زنگوله‌ای بودن توزیع داده‌ها از روش کلموگروف ـ اسمیرنف در نرم‌افزار MINITAB، مقادیر طول و عرض جغرافیایی هر یک از ۱۷ شهرستان در دو ستون جداگانه جای داده شدند. عدد تکرار ماتریس بردار اطلاعات ورودی به تعداد شهرستان‌های مورد مطالعه بود. همچنین ماتریس بردار خروجی هر ساختار، مقدار عملکرد گندم دیم و آبی مناطق مختلف مورد مطالعه در دوره‌ی بیست‌وشش ساله (۱۳۸۷– ۱۳۶۲) در دو ستون جداگانه و به تعداد عددهای تکرار بردار ورودی بود. روند کلّی پیش‌بینی مقدار عملکرد گندم در هر دو ساختار عصبی و زمین‌آمار به‌ترتیب براساس رابطه‌ی شماره‌ی ۱ انجام شد.

$$\hat{Y}_i = f(x_i \cdot y_i) + \varepsilon \rightarrow \begin{cases} \hat{Y}_i = \delta\left[\sum_{i=1}^{n} W_i X_i(k)\right] + \varepsilon & \text{الف)} \\ \hat{Y}_i = \left[\sum_{i=1}^{n} W_i \gamma(h_{ik}) + \lambda\right] Y_i + \varepsilon & \text{ب)} \end{cases}$$

رابطه‌ی ۱)

که در آن (.) f تابعی تصادفی است و با آزمون و خطا از بانک مدل‌های تعریف‌شده در نرم‌افزارهای تخصّصی، قابل انتخاب است. در شبکه‌ی عصبی این تابع δ تابع فعّالیّت نرون k، و در زمین‌آمار کریجینگ نیم‌تغییرنما[1] (γ) برای فاصله h_{ik}، h_{ik} فاصله بین نقاط i و k، است. x_i و y_i به‌ترتیب طول و عرض جغرافیایی مکان iام، ε مقدار مجهول مربوط به اثر باقی‌مانده، n تعداد داده‌های مربوط به مقطع مکانی، W_i عامل وزن، λ ضریب لاگرانژ برای کمینه‌سازی خطای تخمین، Y_i مقدار واقعی عملکرد و $\hat{Y}_i$ مقدار عملکرد برآوردی یا مقدار خروجی هر یک از مدل‌ها در مکان iام است.

در روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی، با تخمین اتّفاقی عوامل وزن (W_i)، در شروع مدل‌سازی خطاهای اوّلیّه محاسبه و با سرشکن کردن خطاهای مجموع اوّلیّه بر عوامل وزنی، مقادیر آنها به‌روزرسانی می‌شود. این کار تا کسب حد قابل قبول خطا، یعنی معادل حداقل خطا در حداکثر تعداد تکرار آموزشی، ادامه می‌یابد (میناسنی و مک‌براتنی، ۲۰۰۲). ایجاد ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی با به‌کارگیری اطلاعات طول و عرض جغرافیایی برحسب مختصات UTM در ورودی و اطلاعات عملکرد گندم آبی و دیم در خروجی انجام شد. در بخش تنظیمات شبکه‌ی عصبی از سه قانون لونبرگ مارکوات، مومنتوم و گرادیان مزدوج با الگوریتم پس‌انتشار خطا، برای آموزش شبکه و دو تابع فعّالیّت سیگموئید و تانژانت برای لایه‌ی میانی و لایه‌ی خروجی استفاده شد. آموزش نهایی شبکه‌ی عصبی براساس میانگین تمامی اطلاعات دوره‌ی مطالعاتی انجام شد. در این الگوریتم تنها یک جریان یک‌طرفه از لایه‌ی ورودی به‌سمت لایه‌ی خروجی برقرار است. الگوریتم فوق ساده‌ترین و پُرکارترین الگوریتم مناسب برای مسائل تخمین است (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۸۸). تعداد نرون‌های لایه‌ی ورودی و لایه‌ی خروجی به‌ترتیب دو و یک نرون بود و تعداد نرون‌های لایه‌ی میانی به‌روش آزمون و خطا انتخاب شد (انجمن مهندسین آمریکا[2]، ۲۰۰۰).

1. Variogram
2. American Sosaity Civil Engineering

در مدل‌سازی زمین‌آمار نیز سه روش درون‌یاب کریجینگ ساده[۱] (SK)، کریجینگ معمولی[۲] (OK) و کریجینگ عمومی[۳] (UK) با نیم‌تغییرنماهای دایره‌ای[۴]، کروی[۵]، نمایی[۶] و گوسین[۷] برازش‌یافته به داده‌های عملکرد در قالب مدل‌های ریاضی، به‌کارگرفته شد. این روش مدل‌سازی، ساده‌ترین تخمین‌گر نااریب خطّی است که به‌دلیل یکسانی متغیّرهای مستقل و وابسته‌ی آن با روش شبکه‌ی عصبی، امکان مقایسه در شرایط برابر وجود دارد. برای انتخاب نیم-تغییرنمای مناسب، مقادیر آن به‌روش اعتبارسنجی حذفی[۸] از مقادیر نمونه‌های همسایگی محاسبه شد. برای این منظور یک نقطه به‌طور موقّت حذف و با استفاده از اطلاعات سایر نقاط، مقدار حدودی برای نقطه‌ی حذفی به‌دست می‌آید. در مرحله‌ی بعدی با برگشت مقدار حذفی به محلِّ اوّلیه و تکرار عملیات فوق برای تمام نقاط، به‌تفکیک هر روش میان‌یابی نسبت به صحّت کار اطمینان حاصل شد. درنهایت به‌منظور درک میزان درستی هر یک از ساختارهای پیشنهادی در تخمین متغیّر مجهول، با تشکیل ماتریسی از داده‌های مشاهداتی و داده‌های برآوردی، نسبت به مقایسه‌ی آن‌ها اقدام شد. هر سطر این ماتریس به میانگین آماری عملکرد دراز مدّت هر یک از شهرستان‌های مورد مطالعه و هر ستون آن، به یکی از دو مؤلّفه‌ی عملکرد گندم دیم و عملکرد آبی مربوط بود. دقّت هر یک از مدل‌ها توسّط دو آماره‌ی مجذور میانگین مربّعات خطای نرمال[۹] (NRMSE) و میانگین مطلق خطا[۱۰] (MAE) از روابط ۲ و ۳ محاسبه شد (Eerikäinen et al., 2007: 30). محاسبات آماره‌های خطاسنجی برای تمامی سال‌ها به‌عنوان داده‌های بخش آموزش و برای سال زراعی ۷۷-۱۳۷۶ نیز، به‌عنوان داده‌های آزمون صورت گرفت.

رابطه‌ی ۲)
$$NRMSE = \frac{\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \hat{Y}_i\right)^2\right]^{0.5}}{\bar{Y}_i}$$

رابطه‌ی ۳)
$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{x=1}^{n}\left|Y_i - \hat{Y}_i\right|$$

که در آن $\hat{Y}_i$ مقدار برآورد عملکرد در نقطه‌ی i؛ Y_i مقدار عملکرد مشاهده‌ای در نقطه‌ی i؛ $\bar{Y}_i$ میانگین مقدار عملکرد مشاهده‌ای و n تعداد نمونه‌ها است.

آزمون شبکه‌ی عصبی با مقایسه‌ی خروجی‌های ساختار پیشنهادی نسبت به میانگین مقادیر عملکرد سال ۱۳۷۷- ۱۳۷۶ با محاسبه‌ی شاخص ویلموت[۱۱] (d) از رابطه‌ی شماره‌ی ۴ تأیید شد. محاسبه‌ی شاخص ویلموت به‌صورت

1. Simple kriging
2. Ordinary kriging
3. Universal kriging
4. Circular
5. Spherical
6. Exponential
7. Gaussian
8. Cross validation
9. Normal Root Mean Square Error
10. Mean Absolute Error
11. Willmot

متناظر برای ساختار پیشنهادی زمین‌آمار نیز انجام و با مقدار شاخص ویلموت شبکه‌ی عصبی مقایسه شد. شاخص d یک شاخص کمّی مناسب برای تعیین دقّت مدل براساس مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی است (Willmot, 1981: 1311).

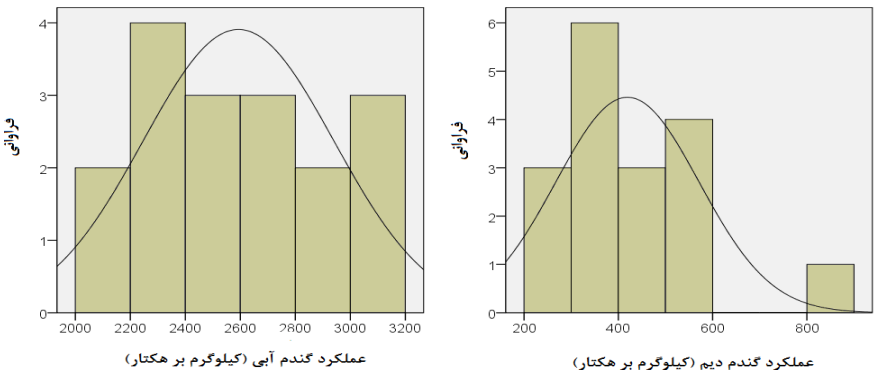
رابطه‌ی ۴)
$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\left(\hat{Y}_i - Y\right) - \left(Y - \bar{Y}\right)\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(\left|\hat{Y}_i - Y\right| - \left|Y - \bar{Y}\right|\right)^2}$$

که در آن $\hat{Y}_i$ مقدار برآورد عملکرد در نقطه i، $\bar{Y}$ میانگین مقدار عملکرد اندازه‌گیری شده در طول دوره آماری مورد مطالعه و Y مقدار عملکرد اندازه‌گیری شده در سال زراعی ۷۷-۱۳۷۶ و n تعداد نمونه‌ها است.

تمام مراحل مدل‌سازی برای تخمین مقدار عملکرد با روش‌های زمین‌آماری در نرم‌افزارهای Arc GIS 9.2 و شبکه‌ی عصبی مصنوعی با نرم‌افزار Neurosolutions تحت ویندوز صورت گرفت.

یافته‌های تحقیق

بررسی اوّلیّه‌ی آماری داده‌ها در جدول شماره‌ی ۱ نشان می‌دهد میانگین بیست‌وشش ساله‌ی عملکرد گندم دیم، معادل ۴۱۹ کیلوگرم بر هکتار با ضریب تغییرات ۳۵ درصد است که از سطحی معادل ۱۹۸۵۸ هکتار برداشت شده است. درمقابل میانگین عملکرد گندم آبی ۲۵۹۳ کیلوگرم بر هکتار با ضریب تغییرات ۱۳ درصد از سطحی معادل ۱۸۹۸۵ هکتار است. همبستگی داده‌های مورد استفاده در بخش متغیّرهای مستقل نشان می‌دهد بیشترین مقدار همبستگی بین طول جغرافیایی با عملکرد، برابر ۰/۶۳ است. همبستگی بین عرض جغرافیایی با عملکرد و ارتفاع از سطح دریا با عملکرد نیز، به‌ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۰۰۱ به‌دست آمد. شکل شماره‌ی ۳، توزیع زنگوله‌ای متغیّرهای مورد بررسی را براساس آزمون کلموگروف ـ اسمیرنوف نشان می‌دهد که بیانگر طبیعی بودن توزیع هر دو متغیّر عملکرد گندم آبی با Z=۰/۸۴۷ و عملکرد گندم دیم با Z=۰/۴۸۹ است. به‌اعتقاد حسنی پاک و عزیزیان (۱۳۸۵)، توزیع یک متغیّر ناحیه‌ای تحت تأثیر بزرگی نمونه و همگنی داده‌های حاصل از آن است که در گندم آبی، وجود مدیریت زراعی و حفظ و حراست بیشتر آن، موجب بیشتر شدن آماره‌ی Z شده است.

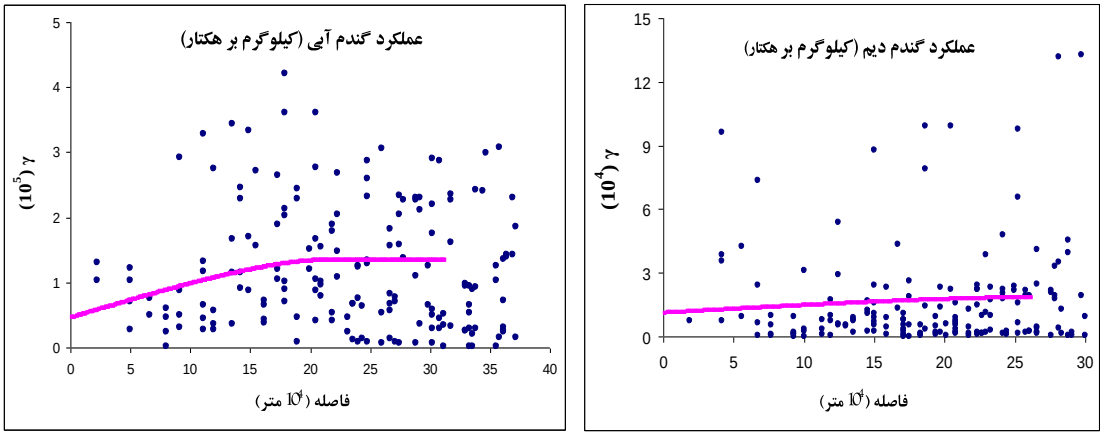


شکل ۳. نمودار پراکنش اطلاعات عملکرد گندم دیم و آبی مورد استفاده

برآورد مکانی عملکرد گندم

الف- کریجینگ

ترسیم نیم‌تغییرنما نخستین مرحله از مدل‌سازی زمین‌آماری است که پس از تعیین نوع توزیع داده‌ها و به‌منظور تعیین ساختار تغییرات مکانی داده‌های عملکرد با برازش مدل‌های مختلفی از نیم‌تغییرنماهای تجربی انجام شد. هر نیم‌تغییرنما اطلاعات مفیدی از متغیّر مورد بررسی را براساس استحکام ساختار فضایی در اختیار قرار می‌دهد (Robinson and Metternicht, 2006). در شکل شماره‌ی ۴ نتایج حاصل از اجرای نیم‌تغییرنمای دایره‌ای برای عملکرد گندم آبی و نمایی برای گندم دیم، به‌عنوان مدل‌های مناسب و عوامل حاصل از آن در جدول شماره‌ی ۲ ارائه شده است.



شکل ۴. نیم‌تغییرنمای برازش داده شده به متغیّرهای دو نوع کشت دیم و آبی گندم در منطقه‌ی خراسان رضوی

جدول ۲. عوامل نیم‌تغییرنما در عملکرد گندم آبی و دیم از منطقه خراسان رضوی

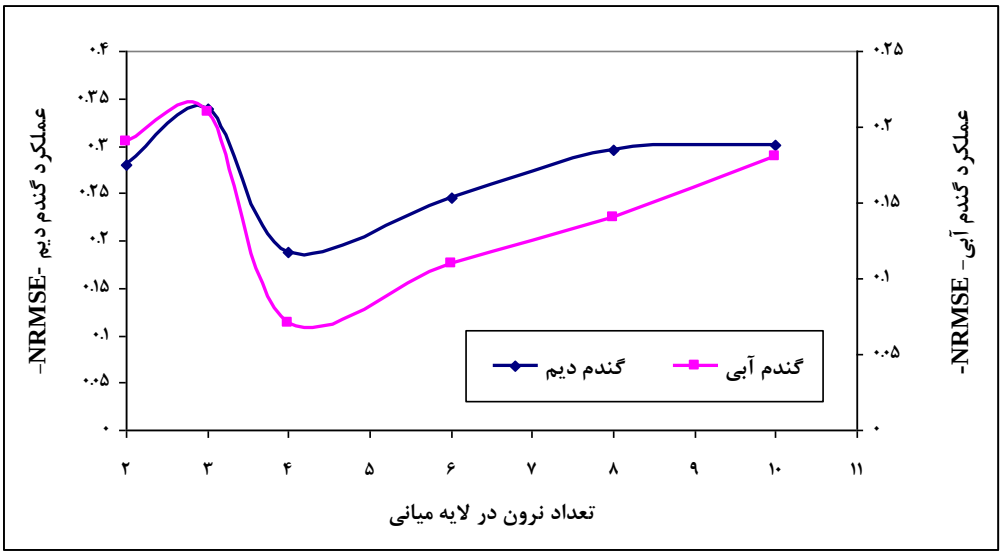
متغیّر		مدل	اثر قطعه‌ای C_0	آستانه $\frac{C_0}{C_0+C}$	شعاع تأثیر (Km)	همبستگی مکانی
عملکرد	آبی	دایره‌ای	۰/۴۵	۰/۲۴	۲۰/۷	قوی
	دیم	نمایی	۱/۱	۰/۳۸	۲۳	متوسّط

C_0 اثر قطعه‌ای، C_0+C سقف

نتایج حاصل از جدول شماره‌ی ۲ و شکل شماره‌ی ۴ نشان می‌دهند عملکرد کشت آبی دارای ساختار مکانی قوی‌تری در مقایسه با عملکرد دیم است. همان‌گونه که در جدول شماره‌ی ۲ ملاحظه می‌شود، مقدار آستانه در عملکرد گندم دیم ۰/۳۸ و در عملکرد گندم آبی ۰/۲۴ به‌دست آمد. قرار داشتن آستانه در محدوده ۰/۲۵ ≤ و ≥ ۰/۷۵ به‌ترتیب نشانه‌ی ساختار مکانی قوی و ضعیف یک متغیّر است (رضایی و همکاران، ۱۳۸۹). از آنجاکه مقدار آستانه برابر واریانس تمام نمونه‌های به‌کار رفته در محاسبه نیم‌تغییرنما است، بنابراین کمتر بودن آن در کشت آبی حاکی از واریانس تصادفی پایین آستانه است (شعبانی، ۱۳۹۰).

ب- شبکه‌ی عصبی مصنوعی

نخستین مرحله‌ی مدل‌سازی با شبکه‌ی عصبی مصنوعی، تعیین ساختار آن است. ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی شامل مشخّص‌کردن تعداد نرون لایه‌ی میانی است. شکل شماره‌ی ۵ تأثیر تعداد نرون‌های گوناگون در لایه‌ی میانی را بر دقّت مدل‌سازی برای عملکرد گندم دیم و آبی نشان می‌دهد.



شکل ۵. تغییرات NRMSE شبکه‌ی عصبی مصنوعی به‌ازای افزایش تعداد نرون لایه‌ی میانی

همان‌گونه که در شکل شماره‌ی ۵ ملاحظه می‌شود، شبکه‌ی عصبی مقادیر عملکرد را با دقّت‌های متفاوتی از تعداد نرون‌های مختلف لایه‌ی میانی برآورد کرده است. به‌گفته‌ی دیگر، این شکل مقادیر خطای برآورد را در مقایسه با نتایج اندازه‌گیری شده به‌ازای ۲ تا ۱۰ نرون در لایه‌ی میانی نشان می‌دهد. شکل شماره‌ی ۵ مشخّص می‌کند با افزایش تعداد نرون‌ها از ۴ نرون در لایه‌ی میانی، میزان خطای مدل‌سازی برای عملکرد گندم دیم و آبی افزایش می‌یابد. کمترین مقدار خطا به‌ازای ۴ نرون در لایه‌ی میانی است که بیانگر پراکندگی کمتر برآوردها از مقادیر اندازه‌گیری شده نسبت به حالت‌های دیگر است.

به‌منظور ارزیابی توانایی هر دو روش مدل‌سازی، نتایج روش‌های زمین‌آماری و شبکه‌ی عصبی در مقایسه با نتایج اندازه‌گیری شده بررسی شد. جدول شماره‌ی ۳ نتایج کلّی مقایسه‌های هر دو روش را براساس آماره‌های خطاسنجی NRMSE، MAE و R^2 نشان می‌دهد. دو آماره‌ی NRMSE و MAE، دقّت مدل‌سازی در قالب تفاضل مقادیر برآوردی از مقادیر اندازه‌گیری و آماره‌ی R^2 همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و برآوردی را نشان می‌دهد. بدیهی است نزدیک بودن مقدار دو آماره‌ی اوّل به صفر، نشانه‌ی خطای کمتر و نزدیکی آماره‌ی R^2 به‌یک، همبستگی قوی بین مقادیر مشاهداتی و برآوردی است (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۸۸).

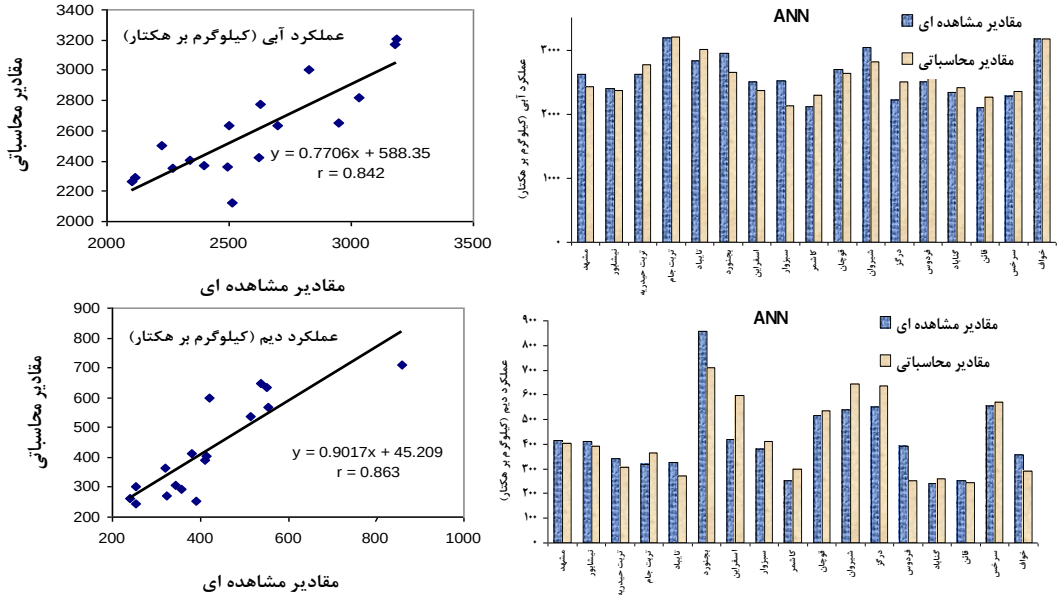
جدول ۳. نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آمار و شبکه‌ی عصبی در برآورد عملکرد گندم دیم و آبی

روش	نوع کشت	مدل	معمولی (OK)			ساده (SK)			عمومی (UK)		
		آماره	NRMSE	MAE	R^2	NRMSE	MAE	R^2	NRMSE	MAE	R^2
کریجینگ	دیم	دایره‌ای	۰/۳۷۴	۱۰۴/۳	۰/۲۱	۰/۳۵۸	۱۰۲/۳	۰/۱۸	۰/۳۷۴	۱۰۴/۳	۰/۲۲
	آبی		۰/۱۳۴	۲۸۸/۳	۰/۱۹	**۰/۱۲۰**	**۲۵۸/۴**	۰/۱۹	۰/۱۳۴	۲۸۸/۳	۰/۱۹
	دیم	کروی	۰/۳۶۷	۱۰۲/۰	۰/۲۴	۰/۳۶۰	۱۰۵/۷	۰/۱۹	۰/۳۶۷	۱۰۲/۰	۰/۲۴
	آبی		۰/۱۳۵	۲۸۹/۲	۰/۱۸	۰/۱۲۱	۲۶۰/۵	۰/۲۴	۰/۱۳۵	۲۸۹/۲	۰/۱۸
	دیم	نمایی	**۰/۳۴۸**	**۹۶/۲**	۰/۲۶	۰/۳۴۹	۹۶/۷	۰/۱۶	۰/۳۷۲	۹۵/۲	۰/۲۱
	آبی		۰/۱۳۷	۲۹۳/۴	۰/۱۰	۰/۱۲۴	۲۶۴/۵	۰/۲۴	۰/۱۳۷	۲۹۳/۴	۰/۱۸
	دیم	گوسین	۰/۳۸۰	۱۰۶/۷	۰/۲۱	۰/۳۷۸	۱۱۹/۷	۰/۱۴	۰/۳۸۰	۱۰۶/۷	۰/۲۱
	آبی		۰/۱۳۵	۲۹۰/۰	۰/۱۰	۰/۱۲۲	۲۶۲/۴	۰/۲۴	۰/۱۳۵	۲۹۰/۰	۰/۱۰
شبکه‌ی عصبی با آرایش ۱-۴-۲		قانون آموزشی	لونبرگ مارکوات			مومنتوم			گرادیان مزدوج		
		تابع محرک									
	دیم	سیگموئید	۰/۲۹۸	۸۷	۰/۳۰	۰/۳۵۱	۱۱۳	۰/۲۶	۰/۳۰۸	۹۸	۰/۰۸
	آبی		۰/۱۲۹	۲۷۸	۰/۰۳	۰/۱۳۰	۲۷۸	۰/۰۳	۰/۱۲۸	۲۷۳	۰/۰۴
	دیم	تانژانت	**۰/۱۸۸**	**۶۰**	۰/۷۴	۰/۲۶۷	۸۱	۰/۳۰	۰/۳۸۹	۱۱۹	۰/۰۵
	آبی		**۰/۰۷۱**	**۱۵۲**	۰/۷۱	۰/۱۲۸	۲۶۸	۰/۰۴	۰/۱۲۴	۲۶۱	۰/۰۳

همان‌گونه که جدول شماره‌ی ۳ نشان می‌دهد، مناسب‌ترین روش برآورد عملکرد گندم آبی و دیم در روش‌های زمین‌آمار براساس معیارهای خطای برآورد، به‌ترتیب روش کریجینگ ساده و معمولی است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که در روش کریجینگ معمولی، مدل نمایی کمترین مقدار خطا را در درون‌یابی مکانی عملکرد گندم دیم دارد. نتایج این جدول در راستای نتایج جدول شماره‌ی ۲، مبنی بر مناسب‌بودن دو مدل نیم‌تغییرنمای نمایی در گندم دیم و دایره‌ای در گندم آبی است. بر اساس نتایج جدول شماره‌ی ۳، روش کریجینگ معمولی با خطایی برابر با ۹۶/۲ کیلوگرم برهکتار در مقایسه با مقادیر واقعی، قادر به برآورد مکانی عملکرد گندم دیم است. به‌همین ترتیب روش کریجینگ ساده با مدل نیم‌تغییرنمای دایره‌ای، موفّق به برآورد عملکرد گندم آبی با خطای برابر با ۲۵۸/۴ کیلوگرم بر هکتار شد. تفاوت خطای برآورد در مدل گسترش‌یافته برای عملکرد گندم آبی و دیم، می‌تواند ناشی از تأثیرپذیری عملکرد گندم آبی از متغیّرهای مدیریتی باشد، درحالی‌که عملکرد گندم بیشتر ناشی از عوامل اقلیمی است. پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه نیز نقش عوامل جوّی را مؤثّر در مقدار عملکرد دیم می‌دانند، در حالی‌که در شرایط گندم آبی، مدیریت زراعی عامل اصلی تعیین‌کننده‌ی عملکرد است (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۸۹؛ Lobell et al., 2002).

نتایج آماره‌های محاسبه شده در شبکه‌ی عصبی مصنوعی (جدول شماره‌ی ۳)، بیانگر دقّت قابل توجّه شبکه‌ی عصبی مصنوعی در برآورد عملکرد گندم دیم (NRMSE=۰/۱۸۸) است که خطای آن ۴۶ درصد کمتر از خطای روش کریجینگ معمولی، به‌عنوان روش برتر زمین‌آمار است. به‌همین ترتیب مجذور میانگین مربّع خطای استاندار و میانگین

خطای مطلق شبکه‌ی عصبی در برآورد عملکرد گندم آبی، به‌ترتیب ۰/۰۷۱ و ۱۵۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. نتـایج فوق برتری قابل ملاحظه‌ی مدل‌سازی عصبی را در مقابل مدل‌سازی زمین‌آمار نشان می‌دهد. بنابراین در شکل شماره‌ی ۶ مقادیر عملکرد محاسبه‌شده از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی، به‌عنوان روش برتر، در مقایسـه بـا مقـادیر واقعـی بـه تفکیک شهرستان‌های مورد مطالعه نمایش داده شده است. در این شکل نتـایج در دو حالـت سـتونی و خـطّ رگرسـیونی برازش داده شده ترسیم شده است.

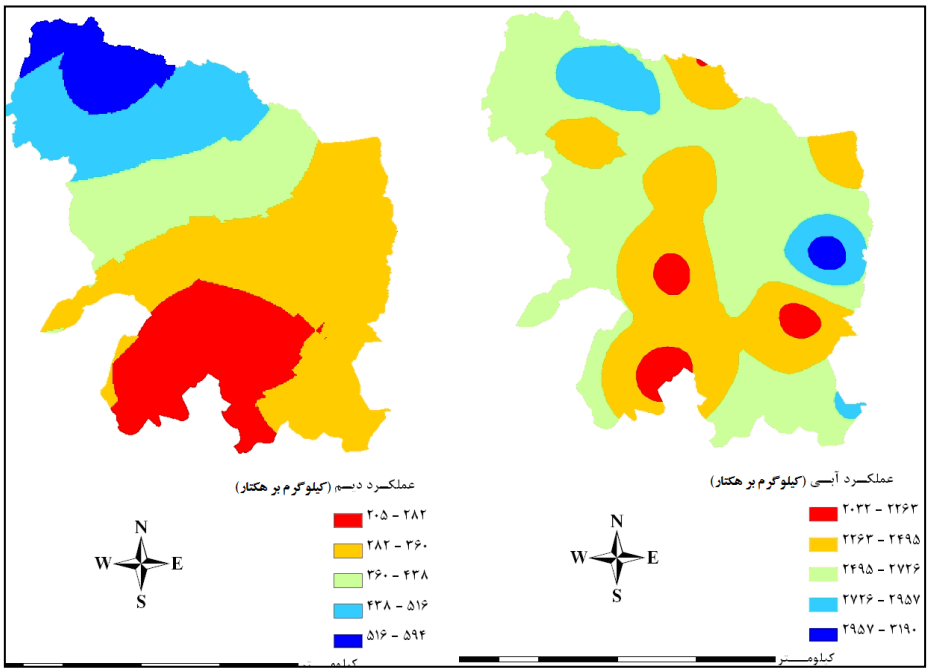


شکل ۶. مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی در درون‌یابی مکانی عملکرد گندم آبی و دیم استان خراسان رضوی

همان‌طور که از شکل شماره‌ی ۶ پیداست، میزان انطباق داده‌ها، خوب و بهترین خطّ انطبـاق بـرازش شـده، دارای ضریب همبستگی ۰/۸۴ برای عملکرد گندم آبی و ۰/۸۶ برای عملکرد گندم دیم است. ارقام فوق نشان مـی‌دهـد درجـه اعتبار روش شبکه‌ی عصبی در تعیین مقدار عملکرد این مطالعه، در حدّ قابل قبول است. این مطلـب دقّـت بـالای روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی را با توجّه به غیرخطّی بودن عملکرد محصولات زراعی و تأثیرپـذیری آن از عوامـل گونـاگون اقلیمی، مدیریتی و زراعی به اثبات می‌رساند. توانایی توصیف ارتباط غیرخطّی متغیّرها در روش شبکه‌ی عصبی نسبت بـه روش کریجینگ در مطالعات (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۹) گزارش شده است.

برای آزمون نتایج هر دو روش زمین‌آمار و شبکه‌ی عصبی در برآورد عملکرد گندم دیم و آبی، اجـرای هـر دو روش برای سال زراعی ۷۷-۱۳۷۶ به‌عنوان سال آزمون مدل‌ها انجام و نتایج در قالب شاخص ویلمـوت ارائـه شـد. محاسـبه‌ی مقدار شاخص ویلموت نشان داد که پیش‌بینی عملکرد از روش شبکه‌ی عصبی در گندم دیم دارای دقّـت ۸۱ درصـد و در گندم آبی ۶۵ درصد بود. در حالی‌که شاخص d برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم و آبی به‌روش زمین‌آمار، به‌ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۵۰ به‌دست آمد. به باور ویلموت (۱۹۸۱) هر چه مقدار شاخص d به‌عدد یک نزدیکتر باشد، دقّت مدل بیشتر و هر چه به صفر نزدیکتر باشد، دقّت مدل کمتر است.

شکل شماره‌ی ۷ نتایج پهنه‌بندی عملکرد محصول گندم آبی و دیم انجام شده در محیط نـرم‌افـزار ArcGIS را در پنج گروه نشان می‌دهد.



شکل ۷. پهنه‌بندی توزیع مکانی عملکرد گندم آبی و دیم (کیلوگرم بر هکتار) استان خراسان رضوی

در شکل شماره‌ی ۷ ملاحظه می‌شود میانگین محدوده‌ی گروه‌های عملکرد گندم آبی از ۲۰۳۲ تا ۳۱۹۰ کیلوگرم بر هکتار و میانگین محدوده‌ی عملکرد گندم دیم، بین ۲۰۵ تا ۵۹۴ کیلوگرم در هکتار است. محدوده‌هـای فـوق بـا مقـادیر گزارش‌شده در جدول شماره‌ی ۱ هم‌خوانی دارد. براساس جدول شماره‌ی ۱ حداقل مقدار عملکرد گنـدم آبـی مربـوط بـه شهرستان قائن با ۲۰۹۹ کیلوگرم در هکتار و حداکثر آن برابر با ۳۱۸۹ کیلوگرم در هکتار، به شهرستان تربـت‌جـام تعلّـق دارد. به‌همین ترتیب، حداقل مقدار عملکرد گندم دیم منطقه ۲۵۲ کیلوگرم بر هکتار از شهرسـتان کاشـمر و حـداکثر آن، ۸۵۸ کیلوگرم در هکتار است که از شهرستان بجنورد گزارش شده است. به این ترتیـب مقـادیر گـزارش‌شـده در جـدول شماره‌ی ۱ با مقادیر پهنه‌بندی‌شده در شکل شماره‌ی ۷ هم‌خوانی دارد. با توجّه به نقشه‌ی پهنه‌بنـدی، میـانگین عملکـرد بیشتر زمین‌های کشاورزی منطقه در کشت گندم آبی در محدوده‌ی ۲۷۲۶–۲۴۹۵ کیلوگرم است کـه در همـه‌ی منـاطق مورد مطالعه پراکنده هستند. به‌همین ترتیب برای کشت گندم دیم عملکرد اکثر زمین‌های زراعی بین ۴۳۸–۳۶۰ کیلوگرم بر هکتار است که در نیمه‌ی جنوب‌شرق منطقه‌ی مورد مطالعه هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، تعیین روش مناسب برای پیش‌بینی مقدار عملکرد گندم آبی و دیم استان خراسان رضـوی بـه‌کمـک روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی و روش زمین‌آمار کریجینگ و درنهایت پهنه‌بندی آن اسـت. در روش زمـین‌آمـار از سـه

روش کریجینگ معمولی، ساده و عمومی با چهار مدل نیم‌تغییرنما و در روش شبکه‌ی عصبی از ساختارهای مختلفی استفاده شد. نتایج آمار توصیفی حاصل از جدول شماره‌ی ۱، متفاوت‌بودن ضریب تغییرات عملکرد گندم آبی و دیم را نشان داد. بیشتر بودن ضریب تغییرات عملکرد گندم دیم (جدول شماره‌ی ۱)، به‌دلیل وابستگی کشت‌های دیم به متغیّرهای هواشناسی، مدیریتی و تأثیرپذیری از عوامل بیرونی نسبت به کشت‌های آبی است که در مطالعات رضایی و همکاران (۱۳۸۹) و لوبل و همکاران (۲۰۰۲) نیز آمده است. با توجّه به کمتر بودن ضریب تغییرات عملکرد گندم آبی، می‌توان گفت اندازه‌گیری‌های مربوط به گندم آبی، در محیط همگن‌تری انجام شده است. ضمن آنکه در کشت آبی، بسیاری از عوامل مؤثّر در رشد گیاه با مدیریت صحیح نسبت به کشت‌های دیم قابل کنترل هستند. به‌همین دلیل متغیّر عملکرد دیم در فاصله‌ی بیشتری به سقف رسیده و دامنه‌ی تأثیر آن بزرگتر است (شکل شماره‌ی ۴). بدین ترتیب در الگوی کشت آبی نمونه‌های نزدیک به‌هم بسیار مشابه و نمونه‌های دور از هم، مقادیر دورتری از یکدیگر دارند. در کشت آبی نیز کمتر بودن مقدار عددی آستانه، حاکی از واریانس تصادفی پایین دارد که در مطالعه‌ی شعبانی (۱۳۹۰) نیز آمده است.

برای تعیین مقدار عملکرد به‌عنوان بردار خروجی هر یک از روش‌ها، از عوامل طول و عرض جغرافیایی در قالب بردار اطلاعات ورودی زودیافت استفاده شد. نتایج اجرای آزمون همبستگی پیرسون برای متغیّر ارتفاع از سطح دریا با عملکرد، قابل توجّه نبود (۰/۰۱۶). بنابراین استفاده از این متغیّر، به‌عنوان متغیّر ثانویه (کمکی) در اولویت قرار نگرفت. در حالی‌که دو متغیّر مستقل طول و عرض جغرافیایی، در برآورد عملکرد یک منطقه است؛ زیرا این دو عامل توانستند به‌ترتیب ۸۴ و ۸۵ درصد از مقدار عملکرد گندم در هر دو کشت آبی و دیم استان خراسان رضوی را برآورد کنند. اصغری-مقدم و همکاران (۱۳۸۹) اعتقاد دارند متغیّر(های) ثانویه، الزاماً باید دارای رابطه و همبستگی مناسب با پارامتر مورد مدل-سازی باشند تا بتوانند در مدل‌سازی وارد شوند.

در بخش شبکه‌ی عصبی، اجرای ساختارهای متفاوتی از شبکه‌ی عصبی مصنوعی نشان داد آرایش دارای یک لایه‌ی میانی با چهار نرون، براساس روش آزمون و خطا آرایش برتر بود. بهتر بودن نتایج در تعداد کمتری از نرون‌های لایه‌ی میانی، می‌تواند به‌دلیل عدم بیش‌برازشی مدل باشد. افزایش خطر بیش‌برازشی و کاهش توان پیش‌بینی شبکه در تعداد نرون‌های کمتر و بیشتر از چهار نرون در لایه‌ی میانی، به‌دلیل حفظ مثال‌های آموزشی است. زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۸) افزایش تعداد نرون در لایه (های) میانی را موجب کاهش سرعت پردازش داده‌ها و افزایش حجم شبکه دانسته‌اند.

تحلیل خروجی هر دو روش مدل‌سازی عصبی و زمین‌آمار نشان داد، دقّت برآوردها در روش شبکه‌ی عصبی به‌میزان ۴۲ درصد بهتر از روش زمین‌آمار است. دلیل این امر می‌تواند ماهیت غیرخطّی عملکرد با متغیّرهای تأثیرگذار و توانمندی روش عصبی در نگاشت‌های غیرخطّی باشد در حالی‌که روش کریجینگ برمبنای خطی‌سازی متغیّرها (رابطه‌ی شماره‌ی ۱ (الف)) عمل می‌کند. با مراجعه به پژوهش‌های بال و لوک (۱۹۹۸)، دریکس و همکاران (۱۹۹۸) و قنبرپور (۱۳۸۷) نیز، بر نقش نوع و ماهیت متغیّر در روش تحلیل مکانی تاکید شده است. نتایج حاصل از پژوهش‌های اصغری مقدم و همکاران (۱۳۸۹) در آب زیرزمینی هم، حاکی از دقّت بیشتر روش شبکه‌ی عصبی به‌واسطه‌ی ماهیت غیرخطّی آن نسبت به روش زمین‌آمار، در برآورد غلظت فلورید بود.

بررسی‌ها انجام شده با لحاظ شاخص ویلموت نشان داد، مدل شبکه‌ی عصبی در مقایسه با روش زمین‌آمار کریجینگ، برای پیش‌بینی مقدار عملکرد گندم آبی و دیم منطقه خراسان رضوی از دقّت بالاتری برخوردار است. انجام مرحله‌ی آزمون برای هر دو روش و محاسبه‌ی شاخص ویلموت برای داده‌های عملکرد سال زراعی ۷۷-۱۳۷۶ نیز، برتری روش شبکه‌ی عصبی را نسبت به روش کریجینگ تأیید کرد. به‌نظر نیاز به الگوهای ورودی و خروجی که براساس مختصات طول و عرض جغرافیایی در ورودی و مقادیر عملکرد در خروجی تولید می‌شوند، دلیل برتری شبکه-های عصبی مصنوعی است. اما در روش کریجینگ، به‌دلیل کمتر بودن تعداد این الگوها در مرزها و در جاهایی که نقاط کمتری در همسایگی آن وجود دارد، دقّت کمتر است. در تأیید نتایج این پژوهش می‌توان یافته‌های حاصل از به‌کارگیری این روش‌ها را در مطالعات دهقانی و همکاران (۱۳۸۸) در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی و درموند و همکاران (۲۰۰۳) در برآورد عملکرد محصولات زراعی اشاره داشت. در مجموع می‌توان چنین نتیجه گرفت که روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی قادر است با تلفیق دو عامل طول و عرض جغرافیایی، پیش‌بینی عملکرد گندم آبی و دیم پیش از برداشت را با دقّت مناسبی انجام دهد. اگرچه در مدل نهایی می‌توان از عوامل اقلیمی مانند بارش و دما، به‌عنوان متغیّرهای ثانویه یا کمکی در قالب روش کوکریجینگ یا روش شبکه‌ی عصبی با بیش از دو نرون اطلاعاتی در لایه‌ی ورودی نیز کمک گرفت، اما تعمیم کاربرد روش‌های ارائه‌شده در این پژوهش و به‌کارگیری عوامل اقلیمی در مدل‌سازی عملکرد، نیازمند مقایسه با اندازه‌گیری‌های بیشتر در اقلیم‌های مختلف و محصولات گوناگون است.

نتایج پهنه‌بندی عملکرد محصول گندم آبی و دیم انجام شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS، گویای تفاوت مقداری عملکرد و پراکنش مکانی آن در نقاط مختلف منطقه‌ی مورد مطالعه بود (شکل شماره‌ی ۷). به‌عبارتی، شکل شماره‌ی ۷ پیوستگی عملکرد و وابستگی آن به‌موقعیّت جغرافیایی نقاط محلّ کشت را نشان می‌دهد. طبق نقشه‌ی پهنه‌بندی، میانگین عملکرد گندم آبی بیشتر زمین‌های منطقه در محدوده‌ی ۲۷۲۶-۲۴۹۵ کیلوگرم بر هکتار، به‌ویژه مناطق شمالی منطقه‌ی مورد مطالعه است. برای کشت گندم دیم نیز عملکرد اکثر زمین‌های زراعی در محدوده‌ی ۴۳۸-۳۶۰ کیلوگرم بر هکتار با پراکنش در نیمه‌ی جنوب‌شرق منطقه‌ی مطالعاتی هستند. پراکنش کلّی مناطق تحت کشت آبی و دیم با توجّه به کاهش میزان بارش‌های جوّی از شمال به جنوب منطقه و به‌تبع تغییر کشت آبی به دیم مطابقت دارد.

منابع

آرخی، صالح؛ حجام، سهراب و لطفی، محمّد. ۱۳۸۸، **کارایی روش‌های زمین‌آمار در تعیین مناطق مساعد برای کشت گندم دیم با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (مطالعه‌ی موردی: استان تهران)**، همایش و نمایشگاه ژئوماتیک.

اصغری‌مقدم، اصغر؛ ندیری، عبدا.. و فیجانی، الهام. ۱۳۸۷، **پیش‌بینی مکانی غلظت فلوراید با استفاده از مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی و زمین‌آمار، مطالعه‌ی موردی: دشت‌های بازرگان و پلدشت**، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.

ایوبی، شمسا.. و جلالیان، احمد. ۱۳۸۵، **ارزیابی اراضی، کاربری‌های کشاورزی و منابع طبیعی**، انتشارات مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

حسنی‌پاک، علی‌اصغر و عزیزیان، میترا. ۱۳۸۵، **تخمین پارامترهای پتروفیزیکی با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای به‌وسیله‌ی شبکه‌ی عصبی در یکی از میادین نفتی جنوب غربی ایران**، نشریه‌ی دانشکده‌ی فنی، سال چهلم، شماره‌ی ۱، صص. ۱-۱۲.

حسینی، سیّد محمّدطاهر؛ سی‌وسه مرده، عادل؛ فتحی، پرویز و سی‌وسه مرده، معروف. ۱۳۸۶، **کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیّره در برآورد عملکرد گندم دیم منطقه‌ی قروه استان کردستان**، پژوهش کشاورزی: آب و خاک و گیاه در کشاورزی، دوره ۷، شماره‌ی ۱، صص. ۵۴- ۴۱.

دهقانی، امیراحمد؛ عسگری، معصومه و مساعدی، ابوالفضل. ۱۳۸۸، **مقایسه‌ی سه روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی، سیستم استنتاجی فازی ـ عصبی تطبیقی و زمین‌آمار در میان‌یابی سطح آب زیرزمینی (مطالعه‌ی موردی: دشت قزوین)**، مجلّه‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد شانزدهم، ویژه‌نامه ۱- ب، صص. ۵۲۸- ۵۱۷.

رضایی، مجتبی؛ دواتگر، ناصر؛ تاجداری، خسرو و ابوالپور، بهروز. ۱۳۸۹، **بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آبهای زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین‌آمار**، نشریه‌ی آب و خاک، دوره ۲۴، شماره‌ی ۵، صص. ۹۴۱-۹۳۲.

زارع ابیانه، حمید؛ بیات ورکشی، مریم. ۱۳۹۰، **ارزیابی مدل‌های هوشمند عصبی و تجربی در تخمین رواناب سالانه**، نشریه‌ی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۲۵، شماره‌ی ۲، صص. ۳۷۹- ۳۶۵.

زارع ابیانه، حمید؛ بیات ورکشی، مریم؛ معروفی، صفر و امیری چایجان، رضا. ۱۳۸۸، **ارزیابی دقّت شبکه‌ی عصبی مصنوعی در پیش‌بینی تبخیر ـ تعرّق گیاه سیر بر اساس داده‌های لایسیمتری در منطقه‌ی همدان، نشریه‌ی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)**، دوره ۲۳، شماره‌ی ۳، صص. ۱۸۵- ۱۷۶.

زارع ابیانه، حمید؛ بیات ورکشی، مریم؛ معروفی، صفر و امیری چایجان، رضا. ۱۳۸۹، **ارزیابی سیستم‌های هوشمند عصبی در کاهش پارامترهای تخمین تبخیر تعرّق گیاه مرجع**، مجلّه‌ی آب و خاک مشهد، دوره ۲۳، شماره‌ی ۳، صص. ۱۸۵-۱۷۶.

شعبانی، محمّد. ۱۳۹۰، **ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در تهیّه‌ی نقشه‌های کیفی آبهای زیرزمینی و پهنه‌بندی آنها (مطالعه‌ی موردی: دشت نی ریز، استان فارس)**، جغرافیای طبیعی، دوره ۴، شماره‌ی ۱۳، صص. ۹۶-۸۳.

شعبانی، محمّد. ۱۳۸۸. **تعیین مناسب‌ترین روش زمین‌آمار در تهیّه‌ی نقشه‌ی تغییرات، PH و TDS آبهای زیرزمینی (مطالعه‌ی موردی: دشت رفسنجان)**، مجلّه‌ی مهندسی آب، سال یکم، شماره‌ی ۳، صص. ۵۷-۴۷.

عسگری، محمّدصادق؛ خدادادی، مارال؛ سرمدیان، فریدون و گزنی، رضا. ۱۳۸۸، **کارایی شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد محصولات گندم، جو و ذرّت دانه‌ای**، پژوهش و سازندگی (نشریه‌ی زراعت)، شماره‌ی ۸۵، صص. ۷۱- ۶۲.

قنبرپور، محمّدرضا. ۱۳۸۷، **مقایسه‌ی روش‌های تحلیل مکانی در تعیین بارندگی و دما در مقیاس حوزه‌ی آبخیز (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز تالش)**، پژوهشنامه‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۱، صص. ۴۳-۲۹.

قنبری، فریبا؛ شتایی، شعبان؛ دهقانی، امیراحمد و ایوبی، شعبان. ۱۳۸۸، **برآورد مشخّصه‌ی تراکم درختان جنگل با استفاده از آنالیز زمین و شبکه‌ی عصبی مصنوعی**، مجلّه‌ی پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، سال ۱۶، شماره‌ی ۴، صص. ۴۲- ۲۵.

گل‌محمّدی، گلمر؛ معروفی، صفر و محمّدی، کوروش. ۱۳۸۷، **منطقه‌ای نمودن ضریب رواناب در استان همدان با استفاده از روش‌های زمین‌آماری و GIS**، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره‌ی ۴۸، صص. ۵۱۴- ۵۰۱.

معروفی، صفر؛ طبری، حسین؛ زارع ابیانه، حمید؛ شریفی، محمّدرضا و آخوندعلی، علی محمّد. ۱۳۸۸ الف، **پهنه‌بندی آب معادل برف در یکی از زیرحوضه‌های کوهستانی کارون با استفاده از GIS (مطالعه‌ی موردی: زیرحوضه‌ی صمصامی)**، مجلّه‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال شانزدهم، شماره‌ی ۳، صص. ۲۹۱-۲۸۱.

معروفی، صفر؛ گلمحمّدی، گلمر؛ محمّدی، کورش و زارع ابیانه، حمید. ۱۳۸۸، **ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارش در استان همدان در محیط GIS**، مجلّه‌ی دانش آب و خاک، جلد ۱۹/۱، شماره‌ی ۲، صص. ۱۸-۱.

منتظر، علی‌اصغر؛ آزادگان، بهزاد و شهرکی، مهدی. ۱۳۸۸. **ارزیابی کارآیی مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی در محاسبه‌ی عملکرد و بهره‌وری آب گندم بر اساس عامل‌های اقلیمی و آب ـ کود نیتروژن مصرفی**، مجلّه‌ی پژوهش آب ایران، سال سوم، شماره‌ی پنجم، صص. ۲۹-۱۷.

میثاقی، فرهاد و محمّدی، کورش. ۱۳۸۵، **پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش‌های امار کلاسیک و زمین‌آمار و مقایسه با شبکه‌ی عصبی مصنوعی**، مجلّه‌ی علمی کشاورزی، سال ۲۳، شماره‌ی ۴، صص. ۱۳-۱.

نوروزی، مجتبی؛ جلالیان، احمد؛ ایوبی، شمس‌ا.. و خادمی، حسن. ۱۳۸۷، **بررسی رابطه بین تولید گندم و خصوصیّات پستی و بلندی زمین در منطقه‌ی اردل استان چهارمحال و بختیاری**، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره‌ی ۱۲، (۴۶، ب)، صص. ۷۷۰- ۷۵۹.

یزدان‌پناه، حجتا..؛ موحدی، سعید؛ سلیمانی تبار، مریم و صالحی، مهدی. ۱۳۸۹، **تعیین میزان اثر عناصر اقلیمی بر عملکرد گندم دیم در استان آذربایجان شرقی با استفاده از شبکه‌های عصبی هوشمند**، جغرافیا و توسعه‌ی زمستان، شماره‌ی ۸ (پیاپی ۲۰)، صص.۱۴۴-۱۳۳.

Albani, M., Klinkenberg, B., Andison, D.W. and Pkimmins, J., 2004, **The Choice of Window Size in Approximating Topographic Surfaces from Digital Elevation Models,** International Journal Geographical Information Science, Vol.17, PP. 577-593.

Arkhi, S., Hajam, S. and Lotfi, M., 2009, **Efficient Methods of Statistics, in Determining Appropriate Areas for the Cultivation of Wheat, Using GIS (Case Study: Tehran)**, Geomatics Conference and Exhibition, Tehran.

ASCE, 2000, **Task Committee on Plication of Artifical Neural Networks in Hydrology, Artifical Neural Network in Hydrology,** Part I and II, Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 5, No. 2, P.115-137.

Asgari, M.S., Khodadadi, M., Sarmadian, F. and Gazni, R., 2009, **Performance of Artificial Neural Network in Estimation of Wheat, Barley and Corn Production**, Research and Development, Journal of Agriculture, Vol. 85, PP. 62-71.

Asghari Moghaddam, A., Nadiri, A. and Fijani, A., 2010, **Spatial Prediction of Fluoride Concentration Using Artificial Neural Networks and Geostatic Models,** Water and Soil Science (Agricultural Science), Vol. 19, P.129-145.

Ayobi, S. and Jalalian, A., 2006, **Assessment of Agricultural Lands and Natural Resources,** Isfahan University Publication.

Ball, J.E. and Luk, K.C., 1998, **Modeling Spatial Variability of Rainfall over a Catchment**, Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 3, No. 2, PP. 122-130.

Burrough, P.A. and McDonnell, R.A., 1998, **Principles of Geographical Information Systems,** Oxford University Press, Oxford.

Dehghani, A.A., Asgari, M. and Mosaedi, A., 2009, **Comparison of Geostatistics, Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Approaches in Groundwater Level Interpolation (Case study: Ghazvin Aquifer)**, J. Agric. Sci. Natur. Resour, Vol. 16, No. 1, PP. 517-528.

Dirks, K.N., Hay, J.E., Stow, D. and Harris, D., 1998, **High-resolution Studies of Rainfall on Norfolk Island, Part II: Interpolation of Rainfall Data**, Journal of Hydrology, Vol.208, PP. 187-193.

Drummond, S.T., Sudduth, K.A., Joshi, A., Birrell, S.L. and Kitchen, N.R., 2003, **Statistical and Neural Methods for Site-specific Yield Prediction,** Transactions of the American Society of Agricultural Engineering, Vol. 46, No. 1, PP. 5-14.

Eerikäinen, K., Miina, J. and Valkonen, S., 2007, **Models for the Regeneration Establishment and the Development of Established Seedlings in Uneven-aged, Norway Spruce Dominated Forest Stands of Southern Finland,** Forest Ecology and Management, Vol.242, PP. 444-461.

Ghanbari, F., Shataee, Sh., Dehghani, A.A. and Ayoubi, Sh., 2009, **Tree Density Estimation of Forests by Terrain Analysis and Artificial Neural Network,** Journal of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 16, No. 4, PP. 25-42.

Ghanbarpour, M.R., 2008, **Comparison of Spatial Analysis in Determination of Temperature and Precipitation in Watershed Scale (Case Study: Talesh Watershed),** Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of Khazar, Vol. 3, No. 1, PP. 29-43.

Golmohamadi, G., Maroufi, S. and Mohamadi, K., 2009, **Regionalisation of Runoff Coefficient in Hamedan Province Using Geostatistical Methods and GIS,** Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, Vol. 12, No. 46, PP.501-514.

Guisan, A. and Theurillat, J., 2000, **Equilibrium Modeling of Alpine Plant Distribution,** Phytocoenologia, Vol. 30, PP. 353-384.

Hasani Pak, A.A. and Azizian, M., 2006, **Estimation of Petrophysical Parameters from Seismic Attributes Using Neural Network Method in a Southwest Iranian Oilfield,** Journal of Faculty of Engineering (University of Tehran), Vol. 40, No. 1, PP. 1-12.

Hilbert, D.W. and Ostendorf, B., 2001, **The Utility of Artificial Neural Networks for Modeling the Distribution of Vegetation in Past, Present and Future Climates,** Ecological Modeling, Vol. 146, PP. 311-327.

Hoseini, M.T., Siosemarde, A., Fathi, P. and Siosemarde, M., 2007, **Application of Artificial Neural Network (ANN) and Multiple Regressions for Estimating Assessing the Performance of Dry Farming Wheat Yield in Ghorveh Region, Kurdistan Province,** Vol. 7, No. 1, PP. 41-54.

Kumar, M., Bandyopadhyay, A., Raghuwanshi, N.S. and Singh, R., 2008, **Comparative study of Conventional and Artificial Neural Network-based ET0 Estimation Models,** Journal Irrigation Science, Vol. 26, No. 6, PP. 531-545.

Lobell, D.B., Ortiz – Monasterio, J.I., Abdams, C.L. and Anser, G.P., 2002, **Soil, Climate and Managment Impacts on Regional Wheat Prodactivity in Mexico from Remote Sensing,** Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 114, PP. 31-43.

Marofi, S., Golmohammadi, G., Mohammadi, K. and Zare Abyaneh H., 2009a, **Evaluation of Geostatisical Methods for Estimating Spatial Distribution of Annual Rainfall in Hamedan Province, Iran in GIS Media**, Water and Soil Science (Agriculyural Science) Vol. 19.1, No.2, PP.147-164.

Maroufi, S., Tabari, H., Zareabyaneh, H., Sharifan, M.R. and Akhoundali, A.M., 2009, **Snow Water Equivalent Mapping in a Mountaionous Sub-basin of Karoon Using GIS (Case Study- Samsami Basin)**, Journal of Agricultural Science and Natural Resources, Vol. 16, No. 3, PP. 281-291.

Minasny, B. and Mcbartney, A.B., 2002, **The neuro method for fitting neural network parametric pedotransfer functions**. Journal of Soil Science Society, Vol. 66, PP. 352-361.

Misaghi, F. and Mohammadi, K., 2007, **Estimating Spatial Distribution of Rainfall Using Statistical and Geostatistical Methods and Comparison with Artificial Neoural Networks,** The Scientific Journal of Agriculture (SJA), Vol. 29, No. 4, PP.1-13.

Montazar, A.A., Azadegan, B. and Shahraki, M., 2009, **Evaluation of Artificial Neural Network Model in Calculated Yield and Water Productivity of Wheat Based on Climatic Factors and Water - nitrogen Uptake,** Water Research of Iran, Vol. 3, No. 5, PP. 17-29.

Noruzi, M., Jalalian, A., Ayoubi, S. and Khademi, H., 2008, **Relationship between Wheat Yield and Terrain Attributes in Ardal Region, Charmahal and Bakhtiari Province,** Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, Vol. 12, No. 46, PP.759-770.

Rezaei, M., Davatgar, N., Tajdari, K. and Abolpour, B., 2010, **Investigation the Spatial Variability of Some Important Groundwater Quality Factors in Guilan, Iran,** Journal of Water and Soil, Vol. 24, No. 5, PP. 932-941.

Robinson, T.P. and Metternicht, G., 2006, **Testing the Performance of Spatial Interpolation Techniques for Mapping Soil Properties,** Computer and Electronics in Agriculture, Vol. 50, PP. 97-108.

Shabani, M., 2008, **Determine the Most Appropriate Geostatistical Methods in Preparation of Changes Map of Groundwater PH and TDS (Case Study: Rafsanjan Plain)**, Journal of Water Engineering, Vol. 1, No. 3, PP. 47-57.

Shabani, M., 2011, **Assessment of Geostatistical Methods in Groundwater Quality Maps and the Zoning Case Study: Neyriz Plain, Fars Province,** Journal of Geography, Vol.4, No. 13, PP. 83-96.

Willmot, C.J., 1981, **Some Comment on the Evaluation of Model Performance**, Bulletin American Meteorology Society, Vol. 63, No. 11, PP. 1309-1313.

Yazdanpanah, H., Movahedi, S., Soleimani Tabar, M. and Salehi, M., 2010, **Determining the Effect of Climatic Elements on the Yield of Dry Farmed Wheat in East Azarbaijan Province by Using Intelligent Neural Network (Text in Persian)**, Geography and Development Iranian Journal, No. 20, PP. 133-144.

Zareabyaneh, H. and Bayatvarkeshi, M., 2011, **Evaluation of Artificial Intelligent and**

Empirical Models in Estimation of Annual Runoff, Journal of Water and Soil, Vol. 25 No. 2, PP. 365-379.

Zareabyaneh, H., Bayatvarkeshi, M., Marofi, S. and Amirichayjan, R., 2010, **Evaluation of Artificial Neural Network and Adaptive Neuro Fuzzy Inference System in Decreasing of Reference Evapotranspiration Parameters**, Journal of Water and Soil, Vol. 24, No. 2, PP. 297-305.

Zareabyaneh, H., Ghasemi, A., Bayatvarkeshi, M. and Amirichayjan, R., 2009, **Evaluation of Artificial Neural Network in Prediction of Garlic Evapotranspiration Based on Lysimeter Data in Hamadan Plant,** Journal of Soil and Water, Agricultural Science and Technology, Vol. 23, No. 3, PP. 176-185.

Evaluation of Artificial Neural Network and Geostatistical Methods in Estimating the Spatial Distribution of Irrigated and Dry Wheat Yield (Case Study: Khorasan Razavi)

Zare Abyaneh H.*
Associated Prof. Irrigation and Drainage Eng., Agriculture Faculty Bu-Ali Sina University

Received: 13/03/2012 Accepted: 12/06/2012

Extended Abstract

Introduction

Access to agricultural information and statistics, is a prerequisite for many agricultural activities. Crop performance is measured and reported as a point data. While this parameter is a random and dynamic variable and due to the spatial variability of crop yields, it is obviously necessary to estimate of yield. Wheat is the oldest cultivated crops in different parts of the world, which is used to produce grain for bread, animal feed and industrial use. Prediction of wheat performance needs data in terms of location, amount and distribution in a given geographical area. Selected of predicting correct method of is essential and important in crop management. In recent years with the growth of science and computer technology and software development models have been used in the management. The model is effective and accurate method in overcoming the limitations and errors of point measurements. The main condition for the success of the model is to select the appropriate method based on factors. In this study, two methods were used for modeling: geostatistical method and artificial neural networks (ANN). Methods of geostatistical, due to the spatial correlation of data and artificial neural networks due to the use of input and output patterns are important as a powerful tool in forecasting.

Methodology

The study area is Razavi Khorasan Province that located in north-east country and at latitudes between 33O and 30' to 37O and 41' north and longitude 56O 19' to 61O and 18' east. This province area is 127 thousand kilometers with 65300 hectares agricultural land. Approximately 36500 hectares of agricultural land under cultivation is irrigated and dry wheat. In this study, we used wheat yield data from 17 cities with at least 26 years of statistics. Choice reason of these cities was according to the statistical period, the appropriate spatial distribution and no need to reconstruct the data.

Wheat from terms of acreage and production rate is the most important agricultural products of the country from the economic point of view. The purpose of this study was to

*E-mail: zare@basu.com Tel: 09188183441

select the most appropriate method in estimating the spatial distribution of irrigated and dry wheat yield in Razavi Khorasan region. For this purpose geostatistics methods of ordinary kriging, simple kriging and universal kriging and ANN approach were applied. In this regard latitude and longitude information of 17 cities were used as input both methods (Geostatistic and artificial neural networks) and annual yield measurements as output. In section of neural network, learning rule of levenberge marqoate, momentum and conjugate gradient with back propagation algorithm and activation function of tangent and sigmoid for hidden layer and output layer were used. Finally, selection of the appropriate method was based on Wilmot index.

Results and Discussion

Results showed that among the methods of geostatistics, simple kriging with circular model with NRMSE=0.120 and ordinary kriging with exponential model with NRMSE=0.348 was suitable to forecast wheat yield. In addition, results showed that the ANN approach with three layers consisting of two neurons in input layer, four neurons in the middle layer and one neuron in output layer had required accuracy in between various structures implemented for predicting wheat yield. Comparison of ANN and geostatistical showed that ANN capability is more than kriging method. The ANN results showed that artificial neural network model, as an independent estimate, can predict wheat yield variables in all 17 cities. Also, comparison of the results of both methods with Willmot index showed the accurately of ANN in prediction of dry wheat yield (81%) and irrigated wheat yield (65%). While in geostatistical method, Wilmot index for predicting dry wheat yield and irrigated wheat yield was 53% and 50%, respectively. In general it can be concluded that the ANN approach with combining latitude and longitude can forecast irrigated and dry wheat yield with sufficient accuracy.

Conclusion

In this study, the statistical methods and artificial neural network were used to estimate the spatial distribution of irrigated and dry wheat yield. In both methods latitude and longitude information were used as input data. The results of this study showed the effects of latitude and longitude as independent variables in estimating the wheat yield of a regional. Also, it was found that the ANN is superior to kriging method and this method corroborate the nonlinear relationship between latitude and longitude value to wheat yield.

Keywords: Kriging, Artificial Neural Network, Geographic Coordinates, Wheat.