

جغرافیا و توسعه - شماره ۲۰ - زمستان ۱۳۸۹

وصول مقاله: ۸۷/۲/۲۵

تأیید نهایی: ۸۹/۷/۱۵

صفحات: ۱۴۴-۱۳۳

## تعیین میزان اثر عناصر اقلیمی بر عملکرد گندم در استان آذربایجان شرقی با استفاده از شبکه‌های عصبی هوشمند

دکتر حجت‌الله یزدان پناه

استادیار جغرافیا دانشگاه اصفهان

دکتر سعید موحدی

استادیار جغرافیا دانشگاه اصفهان

مریم سلیمانی تبار

اداره کل آموزش و پرورش استان اصفهان

مهدی صالحی

اداره کل هواشناسی استان اصفهان

### چکیده

هدف اصلی پژوهش، یافتن مدل مناسب جهت پیش‌بینی عملکرد گندم دیم به کمک پارامترهای آب و هوایی در استان می‌باشد. جهت پیش‌بینی عملکرد گندم دیم از شبکه‌های عصبی استفاده شده است. ابتدا آمار عملکرد محصول گندم در طی دوره‌ی آماری ۱۳۸۲-۱۳۷۴ از بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی به تفکیک شهرستان تهیه و سپس آمار هواشناسی از ایستگاه‌های موجود در این شهرستان‌ها برای دوره‌ی آماری مشابه از بانک اطلاعاتی سازمان هواشناسی کشور استخراج گردید. ۷ سال از آمار موجود جهت آموزش مدل و دو سال از آن جهت فایل تست در نظر گرفته شد. جهت اتخاذ بهترین مدل لازم بود که بهترین ماتریس ورودی داده‌های هواشناسی مشخص شود. بدین‌منظور اولین ماتریس ورودی متشکل از ۹ پارامتر هواشناسی اولیه که در نهایت با محاسبه‌ی مقادیر خطای مدل، بهترین ترکیب زمانی حاصل شد که در ماتریس ورودی پارامترهای بارش، دما، تعداد روزهای همراه با استرس سرما و گرما، تبخیر، ترق و تعداد روزهای بارانی گنجانده شده بود. نتایج نشان داد که اولین عامل در تعیین عملکرد گندم دیم استان آذربایجان شرقی بالاترین نقش را دارا می‌باشد. دومین پارامتر مؤثر در میزان عملکرد گندم دیم مقدار تبخیر و ترق می‌باشد. جهت ارزیابی دقت مدل بر اساس میزان عملکرد پیش‌بینی شده شاخص میزان تطابق (d) محاسبه گردید که نتایج نشان داد میزان دقت مدل ۸۲٪ می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: اقلیم کشاورزی، آذربایجان شرقی، شبکه‌های عصبی.

### مقدمه

میزان تولید محصولات کشاورزی همبستگی بالایی با نزولات جوی و مناسب بودن شرایط آب و هوایی در هر سال دارد. انتشار آفات و امراض گیاهی، پوشش گیاهی مراتع و حتی گونه‌های علف‌های هرز مزارع نیز از شرایط آب و هوایی تبعیت می‌کند. لذا فهم عمیق و دقیق تأثیر آب

و هوا بر عملکرد محصولات زراعی کمک بزرگی به استفاده‌ی بهینه از منبع خدادادی اتمسفر و پارامترهای مربوط به آن می‌کند. هر گیاه مراحل یا مرحله‌ی بحرانی و حساسی نسبت به عوامل آب و هوایی نظیر سرما، گرما، رطوبت و باد دارد شناخت این مراحل در گیاهان زراعی امکان اتخاذ تصمیم مناسب جهت انجام عملیات زراعی به موقع را فراهم می‌سازد. شناخت آب و هوای یک منطقه از یک طرف و تعیین نیازهای آب و هوایی گیاهان زراعی، ما را در امر تصمیم‌گیری جهت تعیین بهترین مناطق کشت یک محصول یاری می‌نماید از طرفی با شناسایی درجه‌ی تأثیر هر یک از این عوامل آب و هوایی در میزان عملکرد محصول و کمی نمودن این روابط می‌توان نسبت به پیش‌بینی تغییرات عملکرد محصولات کشاورزی اقدام نمود (بازگیر، ۱۳۷۸: ۷۰).

در زمینه‌ی تحقیقات اقلیم‌شناسی کشاورزی مطالعات بسیار اندکی در کشور انجام شده است. شاید اولین مطالعات اقلیم‌شناسی کشاورزی به صورت جامع در ایران توسط شرکت کوانتا (سازمان هواشناسی، ۱۳۵۴: ۷۰) با همکاری سازمان هواشناسی کشور به تعیین گیاهان استراتژیک و غالب مناطق مختلف کشور آغاز شد. بررسی اکولوژیکی توانایی‌های دیم‌زارهای غرب کشور از لحاظ اقلیمی برای گندم در قالب یک رساله‌ی دکتری انجام شد (کمالی، ۱۳۷۶: ۱۰). در این تحقیق به صورت گام به گام پارامترهای اقلیمی متناسب با نیازهای اقلیمی گندم بررسی و مناطق مطالعه شده است و بر اساس پارامترهای اقلیمی به سه گروه مستعد، نیمه مستعد و نامساعد تقسیم‌بندی شد.

از جمله تحقیقات جامع و کامل در زمینه‌ی پیش‌بینی عملکرد گندم می‌توان به تحقیقات مظفری (۱۳۸۰) اشاره کرد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که به علت تأخیر در ریزش‌های جوی در منطقه‌ی کرمانشاه آستانه‌های حرارتی مطلوب گیاه در طی مراحل رویشی جوانه زدن تا پایان خوشه‌رفتن به میزان ۴ تا ۵ درجه‌سانتی‌گراد پایین‌تر از حد مطلوب بوده و تنها مراحل گلدهی و رسیدن محصول (شیری شدن، خمیری شدن و رسیدن کامل) از هماهنگی نسبی و خوبی برخوردار می‌باشند. از سوی دیگر بارش در طی مراحل رویشی ساقه رفتن، گلدهی و خوشه رفتن بیشترین تأثیر را بر روی عملکرد گندم دیم سرداری داشته است. تعیین پتانسیل اقلیمی دیم‌زارهای گندم در استان کردستان نیز در قالب یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد انجام شده است (بازگیر، ۱۳۷۸: ۶۵). در این تحقیق پارامترهای دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی استان در دوره‌ی آماری ۲۰ ساله بررسی و نهایتاً مناطق مستعد استان از دیدگاه هواشناسی کشاورزی مشخص گردید. در این زمینه فرج‌زاده (۱۳۸۰) نیز تحقیقی با

عنوان ناحیه‌بندی اگروکلیمایی استان همدان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی با تأکید بر گندم دیم انجام داده است.

فرج‌زاده و زرین (۱۳۸۰) مدل‌سازی میزان عملکرد محصول گندم دیم را با توجه به پارامترهای اقلیم‌شناسی کشاورزی در استان آذربایجان غربی انجام داده‌اند. در تهیه نقشه‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی منطقه‌ی مدیترانه بر اساس بیلان آبی خاک و نیاز آبی گیاه، منطقه به چهار کلاس تقسیم شد (بلوچی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷: ۳۶). همچنین مناطق مستعد کشت گیاه گوجه‌فرنگی در نواحی جنوبی ایتالیا بر اساس شرایط اقلیمی مشخص گردید.

کونتس<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۴) با تشکیل یک بانک اطلاعاتی از داده‌های هواشناسی، داده‌های فنولوژی، تراکم جمعیت، محل و موقعیت شهرها به تهیه نقشه‌های هم اقلیم‌شناسی کشاورزی در کشور فرانسه اقدام نمودند. هدف اصلی پژوهش حاضر تعیین پارامترهای مؤثر در میزان عملکرد گندم دیم و ساختن مدل مناسب به کمک شبکه‌ی عصبی هوشمند جهت پیش‌بینی عملکرد گندم دیم به کمک پارامترهای اقلیمی در استان آذربایجان شرقی است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی ایستگاه‌ها و پارامترهای هواشناسی کشاورزی مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی در شمال غرب ایران با مساحتی برابر با ۴۵۴۸۱ کیلومتر مربع و حدود ۲۰۸ درصد مساحت کل کشور واقع است. برای دستیابی به آمار میانگین دمای روزانه، دمای حداقل و حداکثر روزانه، تبخیر، تعرق، بارش و ساعات آفتابی، از ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی (جدول ۱) و همچنین بانک اطلاعاتی وزارت کشاورزی (برای پارامترهای بارش مؤثر و تبخیر و تعرق گندم) که در منطقه آمار قابل قبولی دارند استفاده شده است. آمار ایستگاه‌های هواشناسی موجود در استان در دوره‌ی ۹ ساله (۱۳۸۲-۱۳۷۴) از بانک اطلاعاتی سازمان هواشناسی استخراج گردید. جدول شماره (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. علاوه بر اینها تاریخ‌های فنولوژیکی و میزان عملکرد گندم نیز از آمار ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی (سازمان هواشناسی کشور) و بانک اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی دوره مشابه برای کلیه ایستگاه‌های مطالعاتی تهیه شد. شکل (۱) نقشه‌ی همباران استان را نشان می‌دهد.

1- Bellochio

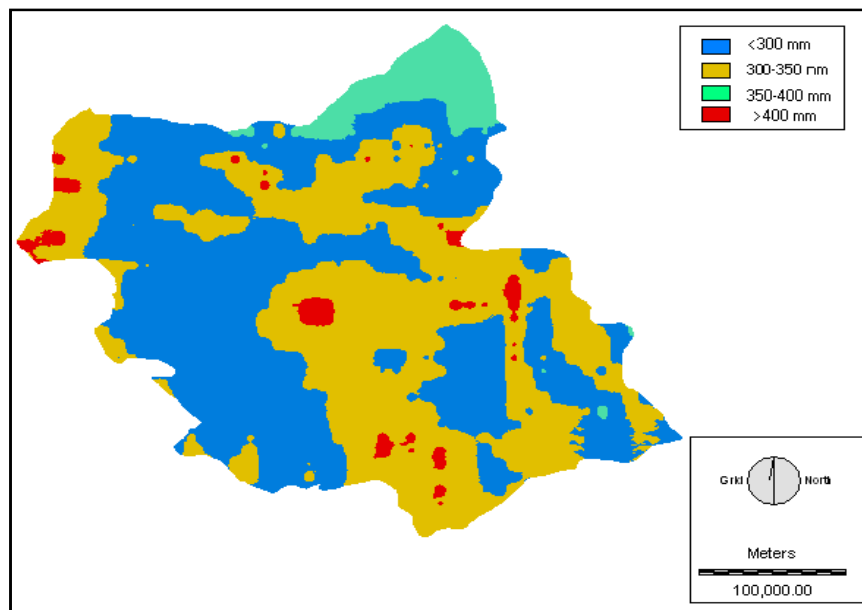
2- Kontoes

## شبکه‌های عصبی هوشمند

شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۱</sup> یا به زبان ساده‌تر شبکه‌های عصبی، سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی نوینی هستند که برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش و در انتها اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش‌بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه‌های پیچیده تهیه شده‌اند. ایده‌ی اصلی این گونه شبکه‌ها (تا حدودی) الهام گرفته از شیوه‌ی کارکرد سیستم عصبی زیستی، برای پردازش داده‌ها، و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مطالعه شده در استان آذربایجان شرقی

| ردیف | نام ایستگاه | ارتفاع (متر) | طول جغرافیایی<br>(درجه) | عرض جغرافیایی<br>(درجه) |
|------|-------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| ۱    | سراب        | ۱۶۵۱         | ۴۷/۵                    | ۳۷/۸                    |
| ۲    | بستان‌آباد  | ۱۷۵۱         | ۴۶/۹                    | ۳۷/۷                    |
| ۳    | میانه       | ۱۰۹۴         | ۴۷/۴                    | ۳۷/۳                    |
| ۴    | تبریز       | ۱۳۶۱         | ۴۷/۳                    | ۳۸/۳                    |
| ۵    | مراغه       | ۱۴۲۰         | ۴۶/۴                    | ۳۷/۵                    |
| ۶    | شرفخانه     | ۱۳۰۲         | ۴۵/۵                    | ۳۸/۱                    |
| ۷    | خداآفرین    | ۳۰۰          | ۴۶/۹                    | ۳۸/۱                    |
| ۸    | آذرشهر      | ۱۴۰۰         | ۴۵/۴                    | ۳۸/۵                    |
| ۹    | جلقا        | ۷۰۴          | ۴۵/۶                    | ۳۸/۹                    |
| ۱۰   | امر         | ۱۳۰۰         | ۴۷/۱                    | ۳۸/۵                    |



شکل ۱: نقشه‌ی همباران (بارش سالیانه) استان آذربایجان شرقی

عنصر کلیدی این ایده، ایجاد ساختارهایی جدید برای سامانه‌ی پردازش اطلاعات است. (شایان‌نژاد، ۱۳۸۵) این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده به هم پیوسته با نام نرون تشکیل شده که برای حل یک مسأله با هم هماهنگ عمل می‌کنند. با استفاده از دانش برنامه‌نویسی رایانه، می‌توان ساختار داده‌ای طراحی کرد که همانند یک نرون عمل نماید. سپس با ایجاد شبکه‌ای از این نرون‌های مصنوعی به هم پیوسته، ایجاد یک الگوریتم آموزشی برای شبکه و اعمال این الگوریتم به شبکه آن را آموزش داد (زیگمونت<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲). نرم‌افزارهای متعددی از جمله: QNet, NeuroXL, NEUROSOLUTION در زمینه‌ی شبکه‌های عصبی مصنوعی وجود دارد در این تحقیق از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. امروزه شبکه‌های عصبی هوشمند در بسیاری از زمینه‌های اقلیم‌شناسی کاربردهای فراوانی یافته‌اند (نوتی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳، ژائوکین<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸، دیبیک<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶) که در این مقاله نیز از این تکنیک استفاده شده است.

1- Zegmont  
2- Knutti  
3- Xiaoqin  
4- Dibike

## برازش داده‌ها بر مدل شبکه عصبی

### ساختار ماتریس داده‌ها

در این تحقیق به کمک شبکه‌های عصبی هوشمند عمل مدل‌سازی و پیش‌بینی عملکرد گندم دیم انجام شده است. برای اینکار ابتدا مقادیر بارش و میانگین دما، تبخیر و تعرق دمای ماکزیمم، دمای حداقل، ساعات آفتابی، تعداد روزهای بارانی، رطوبت نسبی و تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی و سرمایی (با توجه به آمار روزانه ایستگاه‌ها) نیز برای تک‌تک سال‌ها و تمامی ایستگاه‌های هواشناسی استان به دست آمد. تمام این عناصر اقلیمی بردار ورودی به شبکه را تشکیل می‌دهند. لازم به ذکر است که عدد تکرار بردار ورودی به اندازه‌ی تعداد ایستگاه‌های هواشناسی منطقه می‌باشد. بردار خروجی مدل مقدار عملکرد سالیانه‌ی گندم دیم می‌باشد. جهت تهیه ماتریس داده‌ها، ابتدا آمار عملکرد گندم دیم مناطق مختلف استان آذربایجان شرقی در دوره‌ی ۹ ساله (۱۳۸۲-۱۳۷۴) تهیه گردید. همچنین آمار هواشناسی از ایستگاه‌های هواشناسی منطقه برای دوره‌ی مذکور از بانک اطلاعاتی سازمان هواشناسی کشور استخراج گردید. سپس برای هر مرحله در هر سال عناصر هواشناسی ذکر شده در ذیل انتخاب و ماتریس داده‌های ورودی ساخته شد:

$S_n$  و  $S_m$ : به ترتیب تعداد روزهای همراه با تنش سرمایی و گرمایی اتفاق افتاده در طول دوره‌ی رشد که با توجه به مقادیر دمای حداکثر (بالتر از ۳۰ درجه‌ی سانتیگراد در مرحله‌ی گلدهی) و حداقل روزانه (کمتر از ۹ درجه در مرحله‌ی گلدهی و یا کمتر از صفر در سایر مراحل) ایستگاه‌های هواشناسی منطقه و مراحل فنولوژیکی گندم در هر سال استخراج شد (صفا، ۱۳۷۸: ۱۰۲).

Etc: جمع تبخیر و تعرق گیاهی برحسب میلی‌متر در هر مرحله و هر سال؛

P: جمع بارش برحسب میلی‌متر در هر مرحله و هر سال؛

T: میانگین دمای روزانه برحسب درجه سانتیگراد در هر مرحله و هر سال؛

Tmin: حداقل مطلق دمای روزانه برحسب سانتیگراد در هر مرحله و هر سال؛

Dn: تعداد روزهای بارانی در هر مرحله و هر سال؛

Tmax: حداکثر مطلق دمای روزانه برحسب درجه سانتیگراد در هر مرحله و هر سال؛

N: جمع ساعات آفتابی هر مرحله بر حسب ساعت؛

Y: عملکرد در هر سال بر حسب تن در هکتار؛

پس از آماده شدن ماتریس داده‌ها، ۷ سال از آمار موجود (داده‌های ورودی و خروجی) در هر مرحله جهت آموزش شبکه اختصاص یافت. ۲ سال دیگر آمار جهت ساخت فایل تست در نظر گرفته شد. یکی از مهمترین مراحل پیش‌بینی بامدل‌های شبکه‌ی عصبی تعیین پارامترهای مدل شامل تعیین تعداد لایه‌های ورودی و خروجی و همچنین تعداد نورون‌های مدل می‌باشد. غالباً در برازش داده‌ها بر شبکه عصبی مقادیر اولیه مومنتم و نرخ یادگیری به صورت سعی و خطا تعیین می‌شوند به نحوی که خروجی مدل کمترین میزان خطا را داشته باشد. در این تحقیق تابع ریاضی مدل تابع غیر خطی و تعداد لایه‌های میانی مدل نیز سه لایه در نظر گرفته شد.

### تعیین بهترین ترکیب عوامل ورودی

جهت تعیین عوامل ورودی مدل به نحوی که بتوان میزان دقت کافی را از تحلیل نتایج به دست آورد، بایستی ترکیب عواملی انتخاب شوند که بیشترین تأثیر را در افزایش دقت مدل داشته و به عبارت دیگر در برآورد مقادیر مدل کمترین خطا را ایجاد نمایند. برای نیل به این هدف از روش ترکیب عوامل و سعی و خطا جهت رسیدن به بهترین ماتریس ورودی استفاده گردید. به نحوی که مدل با ۹ ورودی اولیه تست شد. این عوامل شامل کلیه عوامل فوق‌الذکر بوده‌اند برای تعیین ترکیبی که بهترین برازش را بر داده‌ها داشته و کمترین خطای برآورد را نیز به همراه داشته باشد، مدلی انتخاب گردید که پایین‌ترین شاخص میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۱</sup> را داشته باشد. این شاخص از مقایسه‌ی میزان عملکرد پیش‌بینی شده و واقعی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید (ساستری<sup>۲</sup>، ۱۹۹۹: ۵۱):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه شماره (۱)}$$

در رابطه (۱)  $P_i$  و  $O_i$  و  $X$  به ترتیب مقادیر خروجی مدل شبکه‌ی عصبی و مقدار واقعی عملکرد می‌باشد و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشد.

بدین منظور ابتدا با توجه به ۹ عامل مذکور عمل مدل‌سازی و آموزش شبکه انجام شد. سپس مقدار خروجی مدل از فایل تست به کمک مدل به دست آمد و با توجه به مقادیر واقعی مقدار RMSE مربوط به ترکیب ۹ عامله محاسبه شد. در مرحله‌ی بعد یکی از عوامل (مثلاً ساعات آفتابی) حذف و مجدداً مدل جدیدی با ۸ عامل تهیه و پس از آموزش آن خروجی

1- Root Mean Square Error

2- Sastry

جدیدی به دست آمد که با مقایسه‌ی آن با میزان عملکرد واقعی مقدار RMSE این مدل نیز محاسبه گردید. این عمل یعنی حذف عوامل و اکتساب RMSE جدید به کرات انجام شد به نحوی که ترکیبات مختلف ۹ تایی، ۸ تایی، ۷ تایی، ۶ تایی، ۵ تایی، ۴ تایی، ۳ تایی و ۲ تایی در مدل گنجانده شده و بهترین ترکیب عوامل که کمترین میزان خطا یا RMSE را دارد انتخاب شد. بهترین مدل جهت برآورد میزان عملکرد گندم به کمک عوامل آب و هوایی ترکیب ۶ عامله‌ای متشکل از عوامل: تنش گرما، روزهای بارانی، دما، تبخیر و تعرق، بارش و تنش سرمایی می‌باشد.

### آنالیز حساسیت مدل و تعیین درجه‌ی تأثیر هر یک از عوامل

جهت تعیین میزان حساسیت مدل به هر یک از عوامل و تعیین درجه‌ی اهمیت هر یک از این ۶ عامل پس از برازش مدل شبکه‌ی عصبی بر داده‌ها و مقایسه آن در حالت‌های ترکیبی مختلف، از شاخص RMSE استفاده شد. روش کار بدین گونه است که ابتدا ماتریسی از کلیه‌ی عوامل جوی موجود (۶ عامل اقلیمی تبخیر و تعرق، تنش سرما، تنش گرما، دمای روزانه، بارش و تعداد روزهای بارانی) به عنوان ورودی و مقدار عملکرد به عنوان خروجی به شبکه معرفی شد. پس از آموزش مدل، جهت بررسی دقت مدل مقدار شاخص RMSE محاسبه گردید. سپس به صورت سلسله‌وار، یکی از عوامل حذف و مجدداً شبکه آموزش دیده و خروجی جدیدی اکتساب گردید و مجدداً مقدار شاخص RMSE محاسبه گردید. برای مثال در مرحله‌ی اول از ۶ عامل جوی عامل تبخیر و تعرق حذف و مدل با ۵ عامل دیگر ساخته شد. در مرحله‌ی بعد به جای تبخیر و تعرق، عامل تنش سرمایی حذف گردید و مدل با ۵ عامل باقیمانده ساخته شد و... نتایج در جدول شماره‌ی ۱ آورده شده است. بدین ترتیب در این مدل شش RMSE مختلف به دست آمد. سپس از روی رابطه‌ی زیر شاخص حساسیت‌پذیری مدل نسبت به ۶ عامل به دست آمد (سارکر<sup>۱</sup>، ۱۹۸۹: ۹۲).

$$F_i = (RMSE_i - RMSE_t) / RMSE_t \quad \text{رابطه‌ی شماره (۲)}$$

$$W_i = F_i / \sum F_i \times 100 \quad \text{رابطه‌ی شماره (۳)}$$

$$\sum F_i = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 \quad \text{رابطه‌ی شماره (۴)}$$

که در روابط (۲)، (۳) و (۴):

$F_i$ : انحراف خطای ایجاد شده در اثر حذف عامل  $i$

$RMSE_i$ : مقدار خطای ایجاد شده در مدل پس از حذف عامل  $i$

RMSEt : مقدار خطای اولیه مدل

Wi: شاخص حساسیت پذیری مدل نسبت به عامل i

محاسبات انجام شده نتایج جدول (۲) را در برداشت. با توجه به تحلیل خروجی مدل می‌توان گفت که مهمترین عنصر هواشناسی در میزان تولید محصول، مقدار باران می‌باشد. چراکه با حذف این عامل در ماتریس ورودی مقدار RMSE مدل به طرز چشمگیری افزایش می‌یابد دلیل این امر را می‌توان به حساسیت مراحل فنولوژیکی گل‌دهی و خوشه‌دهی و مراحل نخستین پس از کاشت بذر نسبت به این عامل دانست (ورما<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲: ۸۳). پس از آن عامل تبخیر و تعرق، تنش سرما و تنش گرما بیشترین تأثیر را در تعیین میزان عملکرد نشان می‌دهند.

### بررسی دقت مدل

از آنجا که در برازش داده‌های موجود بر مدل‌های مختلف مقداری خطا وجود دارد، لذا در این تحقیق نیز وجود خطای مدل به دلیل تأثیر سایر عوامل محیطی بر عملکرد طبیعی به نظر می‌رسد. جهت تعیین دقت مدل از آمار واقعی (۲ سال تست) و مقایسه‌ی آن با آمار عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل استفاده شد.

جدول ۲: مقادیر شاخص حساسیت‌پذیری عوامل مؤثر در عملکرد گندم

| عامل حذف‌شده<br>ضریب | تنش سرما | بارش  | تبخیر و تعرق | دما   | روزهای بارانی | تنش گرما |
|----------------------|----------|-------|--------------|-------|---------------|----------|
| RMSEi-RMSEt          | 20.45    | 61.8  | 26.99        | 15.71 | 12.5          | 21.33    |
| %Wi                  | 11.26    | 24.66 | 12.91        | 9.90  | 8.47          | 11.43    |

یک شاخص کمی مناسب که می‌توان از آن جهت تعیین دقت مدل استفاده کرد، شاخص d می‌باشد که دقت مدل را بر اساس مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده ارزیابی می‌کند این شاخص از روی رابطه زیر به دست می‌آید (ویلیموت<sup>۲</sup>، ۱۹۸۱: ۱۳۹):

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i - o_i) 2}{\sum_{i=1}^n (|\rho_i| + |o_i|) 2} \quad \text{رابطه‌ی شماره (۵)}$$

در رابطه‌ی (۵)، d تطابق (دقت) مدل و  $\rho_i, o_i$  به ترتیب از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\rho_i = P_i - O, o_i = O_i - O \quad \text{رابطه‌ی شماره (۶)}$$

که در رابطه‌ی (۶)،  $O$  میانگین داده‌های واقعی و  $P_i$  و  $O_i$  به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی در هر سال می‌باشند. هر چه مقدار شاخص  $d$  به عدد یک نزدیکتر باشد، دقت مدل بیشتر و هرچه به طرف صفر میل کند، دقت مدل پایین‌تر است. مقدار شاخص  $d$  محاسبه شده مدل معادل  $0/82$  است که نشان می‌دهد مدل پیش‌بینی عملکرد گندم دیم بر اساس اطلاعات آب و هوایی در استان آذربایجان شرقی از دقت کافی برخوردار است.

### نتیجه

هدف تحقیق تعیین نقش عناصر اقلیمی در عملکرد گندم دیم در استان آذربایجان شرقی به کمک شبکه‌های عصبی هوشمند و داده‌های اقلیمی (بردار ورودی مدل) می‌باشد. نسبت به بررسی تغییرات عملکرد گندم دیم در مناطق مختلف استان (بردار خروجی) و تعیین درجه تأثیر هر یک از این عوامل ورودی اقدام شد. نتایج نشان داد که در بین عوامل ورودی بارش در تعیین عملکرد گندم دیم استان آذربایجان شرقی بالاترین نقش را دارا می‌باشد. دومین پارامتر مؤثر در میزان عملکرد گندم دیم مقدار تبخیر و تعرق می‌باشد. از آنجا که در کشت دیم بارش منطقه تنها منبع تأمین‌کننده نیاز آبی گیاه است، لذا نتیجه می‌گیریم که عملکرد گندم دیم شدیداً با بیلان آبی سالیانه‌ی منطقه مرتبط است. چراکه بارش و تبخیر و تعرق دو مؤلفه‌ی اصلی در بیلان آب یک منطقه می‌باشند.

علاوه بر دو عنصر اقلیمی فوق تنش سرما، تنش گرما، دما و روزهای بارانی نیز در میزان تغییر عملکرد گندم دیم مؤثر بوده که نقش تعداد روزهای بارانی از همه کمتر است.

میزان عملکرد گندم به سایر عوامل غیر آب و هوایی همچون شرایط خاک نیز بستگی دارد. ولی نوسان سالیانه‌ی آن در شرایط دیم‌کاری شدیداً تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی است. بنابراین می‌توان چنین پیش‌بینی نمود که شاید میزان درجه تأثیر عوامل اقلیمی و به‌ویژه بارش و تبخیر و تعرق در نوسان عملکرد گندم در شرایط کشت غیردیم (آبی) به میزان کنونی قابل توجه نبوده و میزان درجه تأثیر آنها کاهش بسیار یابد و همچنین ترتیب و اهمیت هر یک از این عناصر اقلیمی نیز دستخوش تغییر خواهد شد که این خود به تحقیقات بیشتری نیاز دارد.

### منابع

- ۱- بازگیر، سعید (۱۳۷۸). بررسی پتانسیل اقلیمی کشت گندم دیم (مطالعه موردی استان کردستان)، علی خلیلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. دانشکده کشاورزی.
- ۲- سازمان هواشناسی کشور (۱۳۵۰). گزارش طرح مطالعاتی طبقه‌بندی اقلیمی کشاورزی کوانتا.
- ۳- شایان‌نژاد، م. (۱۳۸۵). مقایسه دقت روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل- [همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری دانشگاه شهید چمران اهواز اردیبهشت ۱۳۸۵]
- ۴- صفا، بابک (۱۳۸۰). پیش‌بینی مراحل مختلف فنولوژیکی گندم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. دانشکده کشاورزی.
- ۵- فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۸۰). ناحیه‌بندی اگروکلیمایی استان همدان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی با تأکید بر گندم، مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۳۳.
- ۶- فرج‌زاده، منوچهر و ذرین‌آذر (۱۳۸۰). مدل‌سازی میزان عملکرد محصول گندم دیم با توجه به پارامترهای اقلیم‌شناسی کشاورزی در استان آذربایجان غربی، مجله مدرس علوم انسانی. شماره ۶.
- ۷- کمالی، غلامعلی (۱۳۶۸). مطالعات بیوکلیمایی زعفران در جنوب خراسان، سازمان پژوهش‌های صنعتی.
- ۸- مظفری، غلامعلی (۱۳۸۰). ارزیابی قابلیت‌های محیطی کشت گندم دیم- اقلیم‌شناسی کشاورزی مطالعه مورد کرمانشاه، رساله دکتری اقلیم‌شناسی. دانشگاه تربیت مدرس.
- ۹- نصیری محلاتی، محمد (۱۳۷۹). مدل‌سازی فرآیندهای رشد گیاهان زراعی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- ۱۰- یزدان‌پناه، حجت‌الله (۱۳۸۵). مدل‌سازی و پتانسیل‌یابی اقلیمی کشت محصولات غالب استان آذربایجان شرقی، رساله دکتری اقلیم‌شناسی. دانشگاه تربیت معلّم. گروه جغرافیا.
- 11- Bellocchio M M (1987). Agroclimatic mapping in Mediterranean regions, Land evolution, 7: 1, 43-46.
- 12- Dibike Y (2006). Temporal neural networks for downscaling climate variability and extremes Neural Networks. 2006 Mousam J.; 19 (2): 135-44.
- 13- Knutti R (2003). Probabilistic climate change projections using neural networks, Climate Dynamics , Volume 21, Numbers 3-4 / September, 2003.
- 14- Kontoes-c (1994). An experimental system for the integration of GIS data in knowledge - based image analysis for remote sensing of Agriculture, International Journal of GIS, 7:3, 247-262.
- 15- Sarker-R P (1988). A New approach to agroclimatic classification to find out crop potential , Mousam, 39: 4, 343-358.

- 16- Sastry- PSN et. al (1989). Agroclimatic analysis for semi-arid climatic conditions, International council for Research in Agro forestry, Nairobi 1989.
- 17- Werma, H (2000). Prediction of functional characteristics of ecosystem. Ecological modeling, 98, 173-186.
- 18- Willmott,Cj (1981). Some comment on the evaluation of model performance. Bulletin American meteorology Society.63 (11), 1309-1313.
- 19- Xiaoqin Dai (2008). Artificial neural network models for estimating regional reference evapotranspiration based on climate factors, Hydrological Processes 22 (Oct 2008): 115-132.
- 20- Zegmont-Petersen, M, de Ridder, D, Handels, H. (2002). " Image processing with neural networks - a review". Pattern Recognition 35 (10): 2279–2301.