





دانشکده کشاورزی  
پایان نامه کارشناسی ارشد علوم خاک

پیش بینی توزیع مکانی برخی عناصر ماکرو و آهن خاک منطقه اینچه برون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS)

نگارنده: سیده گلناز مفاخری

استاد راهنما :  
دکتر شاهین شاهسونی

استاد مشاور :  
دکتر صمد امامقلی زاده

بهمن ۱۳۹۵

شماره: ۳۸۹۹  
تاریخ: ۲۶ / ۱۱ / ۱۳۹۵  
ویرایش:



مدیریت تحصیلات تکمیلی  
فرم شماره (۶)

### بسمه تعالی

#### فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سیده گلناز مفاخری به شماره دانشجویی ۹۳۱۶۲۵۴ رشته مهندسی کشاورزی گرایش علوم خاک تحت عنوان پیش بینی توزیع مکانی برخی عناصر ماکرو و آهن خاک منطقه اینچه برون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS) که در تاریخ ۱۳۹۵/۱۱/۱۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

|                                |                                    |   |
|--------------------------------|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> مردود | <input type="checkbox"/> دفاع مجدد | <input checked="" type="checkbox"/> عالی - امتیاز کم (۱۹) |
|--------------------------------|------------------------------------|---|

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

| عضو هیأت داوران                 | نام و نام خانوادگی | مرتبه علمی | امضاء |
|---------------------------------|--------------------|------------|-------|
| ۱- استاد راهنما                 | شاهین شاهشونی      | استادیار   |       |
| ۲- استاد مشاور                  | صمد امامقلی زاده   | دانشیار    |       |
| ۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی | اسماعیل محمودی     | استادیار   |       |
| ۴- استاد ممتحن                  | علی عباسپور        | دانشیار    |       |
| ۵- استاد ممتحن                  | وجیهه درستکار      | استادیار   |       |

رئیس دانشکده:



تقدیم به

پدرم که علمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم.

و به مادرم، که دریای بی کران فداکاری و عشق بود و وجودش برایم همه مهر.

و تقدیم به همه کسانی که

با عشق همراهم بودند

با صبر تکیه گاهم گشتند

و با محبت یاریم کردند.

## تقدیر و تشکر

کسی که سپاس مخلوق را در برابر کار نیکش نگوید، از عهده سپاس خالق بر نیاید.

پیامبر اکرم (ص)

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمون ساخت، به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از درخت علم و معرفت را روزیمان کرد.

در ابتدا از پدر و مادر مهربان و خانواده دلسوز خود که نمونه آشکار لطف الهی هستند کمال تشکر را دارم و از خداوند مهربان، سلامتی، مهرورزی و خیر دنیا و آخرت را برایشان مسئلت دارم.

بدون شک هیچ تحقیق و مطالعه‌ای بدون بهره‌گیری از تجارب و اندیشه‌های استادان و پیشکسوتان امر، به سرانجام نرسیده و نخواهد رسید. بنده نیز خود را مرهون زحمات و علم سرشار اساتید بزرگوام آقایان دکتر شاهین شاهسونی و دکتر صمد امامقلی زاده که راهنمایی و مشاوره‌ی این تحقیق را بر عهده داشتند، می‌دانم و از این که توانستم در حد توان خویش، خوشه چین خرمن دانسته‌های ایشان باشم، خداوند مهربان را سپاسگزارم و از درگاه حضرتش خواستار سلامتی و موفقیت روزافزون ایشان را دارم.

در پایان از مسئول آزمایشگاه، آقای مهندس شاکری و همه دوستان عزیزی که هر یک به نوبه خود مرا یاری کردند، بویژه دوستان مهربانم، خانم شبیم حسامی و خانم زهرا اسکندری صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم و سلامتی و موفقیت همه آنان را از باری تعالی خواستارم.

## تعهد نامه

اینجانب سیده گلناز مفاخری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی - علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه پیش بینی توزیع مکانی برخی عناصر ماکرو و آهن خاک منطقه اینچه برون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS) تحت راهنمایی دکتر شاهین شاهسونی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

### تاریخ

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

امروزه توسعه روش دقیق‌تر در تولید محصولات کشاورزی، یکی از راهکارها در جهت به حداقل رساندن فشار ناشی از عملیات کشاورزی بر کیفیت محیط زیست می‌باشد. از این رو راه‌حلی که میزان عناصر غذایی خاک را به راحتی پیش‌بینی کند و باعث کاهش هزینه و صرفه‌جویی در زمان آن گردد، می‌تواند در استفاده بجا و بهینه از کودهای شیمیایی در خاک‌هایی که با کمبود عناصر غذایی مواجه هستند کارآمد باشد. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های غیر مستقیم مانند شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی و مدل‌های مشابه دیگری برای برآورد این خصوصیات مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعه به منظور پیش‌بینی عناصر نیتروژن، فسفر و آهن خاک منطقه اینچ‌برون واقع در استان گلستان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS) و مقایسه دو مدل مذکور پایه‌ریزی شده است. بر این اساس تعداد ۲۰ پروفیل در قطعات ۵ هکتاری از یکدیگر حفر گردید و از سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ سانتی‌متری نمونه‌گیری انجام شد. پس از آن تجزیه فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های جمع‌آوری شده در آزمایشگاه انجام گردید. قبل از شروع آموزش مدل‌ها، داده‌ها به دو دسته آموزشی و آزمون تقسیم شدند. که ۸۰ درصد داده‌های مورد استفاده برای آموزش مدل و ۲۰ درصد آنها برای امتحان و ارزیابی خروجی مدل استفاده گردید. سپس پارامترهای ماده آلی، درصد رس، هدایت الکتریکی و اسیدیته گل اشباع به عنوان پارامترهای ورودی و عناصر نیتروژن، فسفر و آهن خاک، به عنوان پارامترهای خروجی به مدل داده شدند. همچنین با انجام آنالیز حساسیت به منظور تعیین همبستگی میان پارامترهای ورودی و خروجی مدل، ماده آلی بیشترین میزان همبستگی را با عناصر نیتروژن، فسفر و آهن خاک از خود نشان داد. نتایج حاصل از مطالعه حاضر کارایی بالاتر مدل شبکه عصبی مصنوعی را نسبت به سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی نشان می‌دهد. علاوه بر آن شبکه عصبی مصنوعی عملکرد بهتری را نسبت به سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی در مرحله صحت‌سنجی از خود نشان داد. کلمات کلیدی: پیش‌بینی، عناصر غذایی خاک، شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. مفاخری گ، شاهسونی ش. و امامقلی زاده ص، (۱۳۹۵)، "پیش‌بینی ازت خاک اراضی تعاونی تنگلی با استفاده از سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی"، همایش ملی یافته‌های پژوهش و فناوری در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی، دانشگاه تهران.



## فهرست مطالب

|    |  |
|----|--|
| ۱  | فصل اول مقدمه  |
| ۲  | ۱-۱- مقدمه   |
| ۵  | ۲-۱- ضرورت تحقیق   |
| ۶  | ۳-۱- اهداف   |
| ۷  | فصل دوم مروری بر مطالعات گذشته                             |
| ۸  | ۱-۲- بررسی عناصر غذایی دیر یافت اندازه گیری شده            |
| ۸  | ۱-۱-۲- بافت خاک  |
| ۸  | ۲-۱-۲- اسیدپته خاک   |
| ۹  | ۳-۱-۲- هدایت الکتریکی                                      |
| ۱۰ | ۴-۱-۲- ماده آلی  |
| ۱۱ | ۵-۱-۲- نیتروژن   |
| ۱۱ | ۶-۱-۲- فسفر  |
| ۱۲ | ۷-۱-۲- آهن   |
| ۱۳ | ۲-۲- اهمیت عناصر غذایی مذکور و روابط آنها با ویژگی های خاک |
| ۱۶ | ۳-۲- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)                                |
| ۲۶ | ۴-۲- سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی                        |
| ۲۹ | فصل سوم مواد و روش ها                                      |
| ۳۰ | ۱-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه                                |
| ۳۱ | ۲-۳- وضع موجود کشاورزی                                     |
| ۳۲ | ۳-۳- خصوصیات زیتون کشت شده                                 |
| ۳۲ | ۴-۳- شرایط توپوگرافی                                       |
| ۳۲ | ۵-۳- هواشناسی منطقه ای                                     |
| ۳۳ | ۶-۳- منابع تامین آب  |
| ۳۴ | ۷-۳- برداشت و آماده سازی نمونه های خاک                     |
| ۳۵ | ۸-۳- تجزیه شیمیایی خاک                                     |
| ۳۵ | ۱-۸-۳- نیتروژن قابل جذب                                    |

|    |  |
|----|--|
| ۳۷ | ----- ماده آلی ۳-۸-۳   |
| ۳۸ | ----- آهن قابل جذب ۴-۸-۳   |
| ۳۸ | ----- هدایت الکتریکی ۵-۸-۳   |
| ۳۸ | ----- اسیدیته خاک ۶-۸-۳  |
| ۳۹ | ----- تعیین بافت خاک ۷-۸-۳   |
| ۳۹ | ----- مدل ریاضی شبکه عصبی مصنوعی ۹-۳   |
| ۴۲ | ----- آموزش شبکه‌های عصبی ۱۰-۳   |
| ۴۲ | ----- آموزش با ناظر ۱-۱۰-۳   |
| ۴۲ | ----- آموزش بدون ناظر ۲-۱۰-۳   |
| ۴۲ | ----- انواع شبکه عصبی ۱۱-۳   |
| ۴۳ | ----- پرسپترون چند لایه ۱۲-۳   |
| ۴۴ | ----- ساختار سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی (ANFIS) ۱۳-۳                                       |
| ۴۷ | ----- روش تحقیق ۱۴-۳   |
| ۴۹ | ----- <b>فصل چهارم نتایج و بحث</b>   |
| ۵۰ | ----- داده‌های ورودی و خروجی ۱-۴   |
| ۵۲ | ----- اجرای شبکه پرسپترون (MLP) برای محاسبه عناصر نیتروژن، فسفر و آهن ۲-۴                      |
| ۶۰ | ----- آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای ورودی به مدل شبکه عصبی مصنوعی ۳-۴                        |
| ۶۴ | ----- اجرای مدل سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی برای پیش‌بینی عناصر نیتروژن، فسفر و آهن خاک ۴-۴ |
| ۶۹ | ----- مقایسه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی ۵-۴                     |
| ۷۱ | ----- <b>فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها</b>   |
| ۷۲ | ----- نتیجه‌گیری ۱-۵   |
| ۷۳ | ----- پیشنهادها ۲-۵  |
| ۷۴ | ----- منابع و ماخذ   |

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲- تقسیم بندی خاک‌ها بر حسب تغییرات هدایت الکتریکی (برزگر ۱۳۷۸)----- ۱۰
- جدول ۱-۳- خلاصه پارامترهای هواشناسی ----- ۳۳
- جدول ۲-۳- منبع تامین آب منطقه مورد مطالعه ----- ۳۴
- جدول ۳-۳- پارامترهای آماری داده‌های استفاده شده----- ۳۹
- جدول ۱-۴- همبستگی میان پارامترهای زودیافت خاک با میزان آهن خاک ----- ۵۱
- جدول ۲-۴- همبستگی میان پارامترهای زودیافت خاک با میزان فسفر خاک ----- ۵۱
- جدول ۳-۴- همبستگی میان پارامترهای زودیافت خاک با میزان نیتروژن خاک ----- ۵۲
- جدول ۴-۴- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه MLP برای پیش‌بینی نیتروژن خاک----- ۵۴
- جدول ۵-۴- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه MLP برای پیش‌بینی فسفر خاک ----- ۵۴
- جدول ۶-۴- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه MLP برای پیش‌بینی آهن خاک----- ۵۵
- جدول ۷-۴- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه ANFIS برای پیش‌بینی نیتروژن خاک----- ۶۵
- جدول ۸-۴- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه ANFIS برای پیش‌بینی فسفر خاک ----- ۶۵
- جدول ۹-۴- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه ANFIS برای پیش‌بینی آهن خاک----- ۶۶
- جدول ۱۰-۴- نتایج حاصل از اجرای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی ----- ۷۰

## فهرست اشکال

- شکل ۳-۱- محدوده منطقه مورد مطالعه واقع در استان گلستان ----- ۳۰
- شکل ۳-۲- موقعیت محدوده مورد مطالعه در Google Earth ----- ۳۱
- شکل ۳-۳- مختصات نقاط پروفیل‌های حفاری شده ----- ۳۴
- شکل ۳-۴- مدل ریاضی یک نرون ----- ۴۱
- شکل ۳-۵- اجزای تشکیل دهنده یک پرسپترون چندلایه ----- ۴۴
- شکل ۳-۶- ساختار مدل انفیس ----- ۴۷
- شکل ۴-۱- مقادیر RMSE لایه‌های پنهان متفاوت برای عنصر نیتروژن خاک ----- ۵۵
- شکل ۴-۲- مقادیر RMSE لایه‌های پنهان متفاوت برای عنصر فسفر خاک ----- ۵۶
- شکل ۴-۳- مقادیر RMSE لایه‌های پنهان متفاوت برای عنصر آهن خاک ----- ۵۶
- شکل ۴-۴- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش نیتروژن توسط مدل MLP ----- ۵۷
- شکل ۴-۵- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی نیتروژن توسط مدل MLP ----- ۵۷
- شکل ۴-۶- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش فسفر توسط مدل MLP ----- ۵۸
- شکل ۴-۷- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی فسفر توسط مدل MLP ----- ۵۸
- شکل ۴-۸- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش آهن توسط مدل MLP ----- ۵۹
- شکل ۴-۹- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی آهن توسط مدل MLP ----- ۵۹
- شکل ۴-۱۰- آنالیز حساسیت سهم لایه‌های ورودی در تخمین میزان نیتروژن خاک ----- ۶۲
- شکل ۴-۱۱- آنالیز حساسیت سهم لایه‌های ورودی در تخمین میزان فسفر خاک ----- ۶۳
- شکل ۴-۱۲- آنالیز حساسیت سهم لایه‌های ورودی در تخمین میزان آهن خاک ----- ۶۳
- شکل ۴-۱۳- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش نیتروژن توسط مدل ANFIS ----- ۶۶
- شکل ۴-۱۴- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی نیتروژن توسط مدل ANFIS ----- ۶۷

- شکل ۴-۱۵- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش فسفر توسط  
مدل ANFIS ----- ۶۷
- شکل ۴-۱۶- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی فسفر  
توسط مدل ANFIS ----- ۶۸
- شکل ۴-۱۷- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش آهن توسط  
مدل ANFIS ----- ۶۸
- شکل ۴-۱۸- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی آهن  
توسط مدل ANFIS ----- ۶۹



# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱- مقدمه

خاک به عنوان یکی از عوامل اصلی در تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌رود که استفاده از آن بایستی براساس اصول صحیح و علمی صورت پذیرد تا بتوان از آن در تولید محصولات به عنوان یک منبع پایدار یاد نمود. هرگونه اشتباه در بهره‌برداری از آن موجب از بین رفتن این منبع با ارزش می‌گردد. بنابراین بهره‌برداری از خاک باید به گونه‌ای باشد که علیرغم رسیدن به حداکثر تولید، برای استفاده‌های بعدی نیز آسیب نبیند (دماوندی و همکاران، ۱۳۸۴).

امنیت غذایی تبدیل به یکی از چالش‌های بزرگ بین‌المللی گردیده است. محدودیت منابع آب و خاک موجب گردیده که بمنظور تامین امنیت غذایی، افزایش تولید در واحد سطح، به جای افزایش سطح مورد توجه جدی قرارگیرد. بدین منظور و با توجه به مشکلات و مسائل موجود در بخش کشاورزی لزوم استفاده از فناوری‌های جدید بیش از پیش آشکار شده و زمینه ظهور کشاورزی دقیق<sup>۱</sup> فراهم گردیده است. کشاورزی دقیق ایده‌ای در سیستم زراعی می‌باشد که شامل توسعه سیستم فنی مدیریت با محوریت دانش و با هدف اصلی بهینه‌سازی سود می‌باشد. سیستم مدیریتی مذکور همان ایده‌ی مدیریت جزء به جزء مزرعه بوده و به بیان دیگر توانایی لازم جهت مدیریت هر یک از عملیات زراعی در مکان خاص خود در سطح مزرعه می‌باشد، به شرطی که از نظر فنی و اقتصادی سودمند باشد (گریسو و همکاران، ۲۰۰۳).

زیتون گیاهی از خانواده‌ی Oleaceae و از جنس Olea می‌باشد. خانواده اولئاسه اکثراً در مناطق گرمسیری دنیا پراکنده‌اند و به صورت درختان زینتی و صنعتی هستند. گونه زیتون Europea تنها گونه دارای میوه خوراکی است (سایمن، ۱۹۹۴). در کشور ما زیتون یکی از محصولات مهم و استراتژیک بوده و دولت نیز در سال‌های اخیر برای گسترش زیتون‌کاری در کشور با توجه به پتانسیل

---

<sup>۱</sup> - Precision Agriculture



های اقلیمی و محیطی، اقدامات وسیعی را آغاز نموده است به همین منظور ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای باغ‌های تجاری موجود امری ضروری است. (صادقی، ۱۳۸۱).

رشد و نمو نباتات تحت تاثیر عوامل متعدد خاک، اقلیم و همچنین عوامل موروثی گیاهان می‌باشد. برخی از این عوامل قابل کنترل و لکن بسیاری از آنها از کنترل بشر خارج است. به‌عنوان مثال بشر نمی‌تواند هوا، نور و درجه حرارت را کنترل نماید لکن می‌تواند مقدار عناصر غذایی گیاهان را در خاک تغییر دهد. افزایش مقدار عناصر قابل استفاده گیاهان از طریق تغییر وضعیت خاک و مدیریت صحیح و استفاده از کودهای شیمیایی امکان‌پذیر می‌باشد. تولید موفقیت‌آمیز محصولات گیاهی مستلزم خاک مناسب و مقدار کافی از عناصر غذایی و قابل استفاده گیاه است. عناصر غذایی نه تنها باید به صورت ترکیباتی باشند که سهولت مورد استفاده گیاهان قرارگیرند بلکه تعادل بین آنها نیز حائز اهمیت است. هرگاه یکی از عناصر وجود نداشته باشد و یا آنکه مقدار آن مناسب نباشد، رویش گیاه به طور طبیعی صورت نخواهد گرفت. دو نکته معمولاً در تعیین یک عنصر غذایی گیاه در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از: (۱) ضرورت آن جهت تکمیل دوره و چرخه زندگی نبات و (۲) اثر مستقیم عنصر در تغذیه گیاه و بدون توجه به اثرات آن در اصلاح برخی از شرایط نامناسب خاک و یا محیط رشد (فوت هنری دونالد، ۱۹۲۳). با توجه به این نکته عناصر مورد نیاز گیاهان به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- عناصر غذایی ضروری پرمصرف گیاهی (Macro elements or Macro nutrients)

۲- عناصر غذایی ضروری کم‌مصرف گیاهی (Micro elements or Micro nutrients)

عناصر غذایی ضروری پرمصرف: عناصری هستند که به مقدار زیاد مورد نیاز گیاهان می‌باشند. این عناصر شامل ازت (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، گوگرد (S)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) هستند و عناصر غذایی ضروری کم‌مصرف، عناصری هستند که به مقدار کم‌تری مورد نیاز گیاه می‌باشند. این عناصر شامل آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn)، بر (B)، مس (Cu)، مولیبدن (Mo)، کلر (Cl)، کربن (C)، اکسیژن (O) و هیدروژن (H) هستند (بابالار و پیرمادیان، ۱۳۸۷).

با توجه به اجزاء پیچیده و به هم پیوسته چالش امنیت غذایی در قرن ۲۱، این واقعیت نمایان است که راهکارهایی که تنها با بخشی از طبیعت به طور مثال؛ حاصلخیزی خاک، کاربری اراضی، حفاظت آب یا حراست جنگل در ارتباط است، فایده نخواهند داشت. هر کشوری بایستی بالاترین سطح اولویت خود را به ارزیابی منابع زمینی، آبی و اقلیمی معطوف دارد و به ایجاد یک سیستم اطلاعات فضایی جامع به منظور بکار بردن بهترین دانش و تکنولوژی در توسعه کشاورزی پایدار از طریق خط مشی‌های بخش‌های دولتی و خصوصی بپردازد. امروزه توسعه روش دقیق‌تر در تولید محصولات کشاورزی، یکی از راهکارها در جهت به حداقل رساندن فشار ناشی از عملیات کشاورزی بر کیفیت محیط زیست می‌باشد (مکاریان و روحانی، ۱۳۹۲).

از آنجا که بشر همواره در تلاش برای یافتن راه‌حلی بوده تا پردازش اطلاعات، مسائل و پدیده‌هایی را که به راحتی قابل حل نیستند و همچنین یافتن روابط پیچیده میان پارامترهای پدیده‌های مورد نظر را در علوم مختلف تسهیل بخشد، با الگوبرداری از سیستم‌های بیولوژیک به سیستم‌های هوشمندی دست یافته است که قادر به استخراج دانش الگوریتم یا نگاشت از دل محاسبات عددی می‌باشد. در سال‌های اخیر روش‌های هوش مصنوعی در بسیاری از رشته‌های علمی به عنوان یکی از روش‌های سنتی آماری ارائه شده است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که مدل‌های هوش مصنوعی مانند روش‌های شبکه عصبی و منطق فازی به صورت موفقیت‌آمیز برای مدل‌سازی عناصر نادر خاکی در مناطق مختلف، مدل‌سازی آلودگی‌ها و پیش‌بینی پدیده‌های غیرخطی استفاده شده است (نوناری و همکاران، ۲۰۰۴).

شبکه‌های عصبی یکی از روش‌های هوشمند پردازش داده‌ها هستند که به دلیل شیوه تحلیل اطلاعات مشابه با مغز انسان، داشتن قدرت تعمیم، عدم نیاز به یک مدل ریاضی از پیش تعیین شده، عدم نیاز به نرمال بودن داده‌ها و توانایی آموزش و یادگیری می‌توانند در تخمین پارامترهای دیریافت خاک مورد استفاده قرار گیرند (محمدی، ۲۰۰۲).

شبکه عصبی بدون در نظر گرفتن هیچ فرضیه اولیه و همچنین دانش قبلی از روابط بین پارامترهای مورد مطالعه، قادر به پیدا کردن رابطه بین مجموعه‌ای از ورودی‌ها و خروجی‌ها برای پیش‌بینی هر خروجی متناظر با ورودی دلخواه می‌باشد. امروز شبکه‌های عصبی در بسیاری از زمینه‌ها از جمله طبقه‌بندی، تشخیص الگو، پیش‌بینی و مدل‌سازی فرآیندها در علوم مختلف بکار گرفته می‌شوند. مزیت روش شبکه عصبی، یادگیری مستقیم از روی داده‌ها، بدون نیاز به برآورد مشخصات آماری آن‌ها است. ویژگی دیگر شبکه عصبی، تحمل‌پذیری در مقابل خطا می‌باشد. شبکه عصبی در پیشگویی متغیرهای پیوسته‌ای مانند رطوبت خاک، تخمین بیوماس و تخمین عملکرد نیز پتانسیل بالایی نشان داده است. مدل‌های شبکه عصبی دارای مزایایی از قبیل افزایش ظرفیت اطلاعات و توانایی بیان اثرات متقابل قوی بین متغیرهای ورودی می‌باشند (مکاریان و روحانی، ۱۳۹۲).

از دیگر مدل‌های هوشمندی که در این پایان‌نامه برای پیش‌بینی عناصر دیریافت خاک به کار گرفته شده است، سیستم استنتاج تطبیقی فازی عصبی است. این سیستم یک سیستم بر مبنای قواعد فازی بوده که از تئوری شبکه‌های عصبی برای تعیین خصوصیات سیستم فازی (توابع عضویت فازی و قوانین فازی) استفاده می‌نماید. مدل ANFIS، منطق فازی و شبکه عصبی را به منظور استفاده از ویژگی‌های ریاضی شبکه عصبی در تنظیم سیستم استنتاج فازی ترکیب می‌نماید. این مدل توانایی زیادی در مدل نمودن توابع غیر خطی دارد. همچنین خصوصیات مجموعه داده‌های آموزشی سیستم را بر مبنای یک معیار خطا تنظیم می‌نماید (شکفته و همکاران، ۱۳۹۱).

## ۱-۲- ضرورت تحقیق

با توجه به اینکه اندازه‌گیری برخی از عناصر غذایی ماکرو و میکرو خاک زمان‌بر و هزینه‌بر بوده و همچنین نیاز به دستگاه‌های خاص و پیشرفته دارد، با توجه به این مسائل باید برای آن چاره‌ای اندیشیده شود. مدل‌های هوشمندی که امروزه از آن‌ها در تمام علوم استفاده‌های وافر می‌شود بستری را فراهم آورده است که بتوان از آن‌ها برای کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان استفاده کرد.

بنابراین در این تحقیق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS) به پیش‌بینی برخی عناصر ماکرو و میکرو خاک پرداخته شده است. پیش‌بینی این عناصر می‌تواند در مدیریت اراضی منطقه و مصرف بهینه کودهای شیمیایی مفید باشد.

### ۱-۳- اهداف

به کارگیری روشی کارآمد و کم‌هزینه جهت پیش‌بینی عناصر غذایی دریافت خاک

بررسی عملکرد دو مدل شبکه عصبی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی

مقایسه کارایی دو مدل شبکه عصبی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی و انتخاب بهترین مدل

جهت پیش‌بینی عناصر غذایی دریافت خاک

# فصل دوم

مروری بر مطالعات گذشته

## ۲-۱- بررسی عناصر غذایی دیریافت اندازه‌گیری شده

پارامترهایی که در این تحقیق اندازه‌گیری شده و به پیش‌بینی آن‌ها با مدل‌های شبکه عصبی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی پرداخته شده شامل خصوصیات فیزیکی از جمله درصد رس، خصوصیات شیمیایی شامل اسیدپته گل اشباع، هدایت الکتریکی، ماده آلی و عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن، فسفر) و عنصر میکرو آهن می‌باشد که خصوصیات آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

### ۲-۱-۱- بافت خاک

اندازه نسبی ذرات خاک را اصطلاحاً بافت خاک گویند که حاکی از ریزی و درشتی خاک می‌باشد. به عبارت دیگر مقدار نسبی شن، سیلت و رس که ذرات کوچک‌تر از سنگریزه می‌باشد ( قطرشان از ۲ میلی متر کوچک‌تر است) بافت خاک را تشکیل می‌دهند. درشت و سبک به خاک شنی و ریز و سنگین به خاک رسی اطلاق می‌شود. خاک لوم (loam) ما بین این دو نوع و دارای مخلوط مناسبی از شن و سیلت و رس است. خاک‌های شنی سریع‌تر از خاک‌های دیگر خشک و گرم می‌شوند و راحت‌تر قابل شخم زدن هستند. خاک‌های رسی آب بیشتری را در خود نگه می‌دارند و از بقیه خاک‌ها دیرتر خشک و گرم می‌شوند و از همه سخت‌تر قابل شخم زدن می‌باشند. خاک‌های لوم وضعیتی متوسط دارند یعنی قابلیت نگهداری آب در آن‌ها خوب است و نسبتاً خوب شخم زده می‌شوند (برزگر ۱۳۷۸).

### ۲-۱-۲- اسیدپته خاک

اسیدپته یا واکنش خاک (pH) در واقع بیانگر میزان اسیدپته یا قلیائیت خاک می‌باشد، به طوری که خاکی که pH کمتر از ۷ دارد اسیدی و خاکی که pH بیشتر از ۷ دارد را خاک قلیایی گویند. به طور کلی، دامنه تغییرات اسیدپته خاک در اراضی کشاورزی بین ۵ تا ۸ است. این متغیر شیمیایی را می‌توان در آزمایشگاه با تهیه عصاره گل اشباع اندازه‌گیری نمود. اهمیت واکنش خاک از آنجا ناشی می‌شود که ممکن است بر قابلیت جذب بعضی از عناصر لازم برای رشد گیاه موثر باشد. بعضی از

بیماری‌های خاکزی نیز تحت تاثیر اسیدیته خاک هستند. طبق تعریف، رابطه اسیدیته خاک عبارت است از:

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

همان‌طور که از رابطه فوق مشخص است، در ازای تغییر هر واحد pH، غلظت یون‌های هیدروژن و هیدروکسیل، ۱۰ برابر تغییر می‌کند. شاید مهمترین اثر pH خاک بر روی رشد گیاهان، تاثیر آن در قابلیت استفاده عناصر غذایی باشد. علاوه بر این، تاثیر بر فعالیت ریزجانداران خاک نیز از اثرات pH می‌باشد. تثبیت یون آمونیوم در بین شبکه کانی‌های سیلیکاتی ورقه‌ای به pH وابسته است (ملکوئی و همکاران، ۱۳۸۷).

## ۲-۱-۳- هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی از مهمترین ویژگی‌های شیمیایی خاک است که به عنوان شاخص شوری در آزمایشگاه و با تهیه عصاره گل‌اشباع به دست می‌آید. واحد اندازه‌گیری آن دسی‌زیمنس بر متر (Ds/m) یا میلی‌موس بر سانتی‌متر (mmhos/cm) می‌باشد. هدایت الکتریکی افزون بر اثر اسمزی و سمیت ویژه یونی، موجب بروز عدم تعادل تغذیه‌ای در گیاه می‌گردد که شدت و ضعف آن بسته به نوع گیاه و حتی گونه‌های مختلف یک گیاه متفاوت است. شوری خاک فعالیت یونی عناصر غذایی موجود در محلول خاک را تحت تاثیر خود قرار داده و در نتیجه توازن موجود میان نسبت آن‌ها را بر هم می‌زند (همایی، ۱۳۸۱).

معیار تقسیم‌بندی سنتی خاک‌های شور و غیر شور با توجه به اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل‌اشباع، ۴ دسی‌زیمنس بر متر تعیین شده است. ولی در سال‌های اخیر کمیته واژه‌یابی انجمن خاک‌شناسی آمریکا پیشنهاد نمود که این حد به ۲ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یابد. زیرا تعداد بسیار زیادی از درختان میوه، سبزی‌ها و گیاهان زینتی در شرایط شوری با هدایت الکتریکی (EC) ۲ تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر خسارت می‌بینند (برزگر ۱۳۷۸).

تحمل گیاهان مختلف در برابر شوری متفاوت است. بر این اساس می‌توان گیاهان را به چهار دسته تقسیم کرد گروه متحمل، نیمه متحمل، نیمه حساس و حساس. تاثیر شوری بر گیاهان بسته به نوع گیاه، نوع گونه و مرحله رشد گیاه متفاوت است. جدول ۱-۲ تقسیم‌بندی خاک‌ها بر حسب تغییرات هدایت الکتریکی را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲- تقسیم بندی خاک‌ها بر حسب تغییرات هدایت الکتریکی (برزگر ۱۳۷۸)

| گروه | هدایت الکتریکی<br>(mmhos/cm) | درجه شوری | اثر شوری بر رشد و نمو گیاه                     |
|------|------------------------------|-----------|--|
| ۱    | ۰-۲                          | خیلی کم   | تاثیری ندارد                                   |
| ۲    | ۲-۴                          | کم        | اثر کمی روی گیاهان حساس دارد                   |
| ۳    | ۴-۸                          | متوسط     | اثر قابل ملاحظه‌ای دارد                        |
| ۴    | ۸-۱۶                         | زیاد      | فقط تعداد محدودی از گیاهان می‌توانند رشد کنند  |
| ۵    | بیش از ۱۶                    | خیلی زیاد | گیاهان فوق العاده مقاوم می‌توانند کمی رشد کنند |

## ۲-۱-۴- ماده آلی

خاک از چهار قسمت تشکیل شده است. (۱) ماده معدنی (۲) ماده آلی (۳) آب (۴) هوا. ماده آلی خاک شامل بقایای گیاهی و جانوری، سلول و بافت‌های جانداران خاک و مواد حاصل از ریشه و میکروب‌های خاک است. در بیش‌تر خاک‌ها ماده آلی خاک بین ۱/۰ درصد (در صحراها) تا بیش از ۵۰ درصد وزنی در خاک‌های آلی (هیستوسول‌ها) می‌باشد. ترکیب شیمیایی ماده آلی تقریباً ۵۰ درصد کربن، ۵ درصد نیتروژن، ۵/۰ درصد فسفر، ۵/۰ درصد گوگرد، ۳۹ درصد اکسیژن و ۵ درصد هیدروژن است. البته مقدار این عناصر از خاکی به خاک دیگر می‌تواند در نوسان باشد. بنابراین بیشتر ماده آلی از کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، سلولز، همی‌سلولز و لیگنین تشکیل شده‌اند. سه ترکیب اولی به سرعت تجزیه می‌شوند. از این‌رو در تأمین غذای جانداران خاک و نیز دانه‌بندی خاک اهمیت بیش‌تری دارند. اما دو ترکیب بعدی مقاوم‌تر هستند (باربر، ۱۹۸۴).



ماده آلی خاک، قلب کشاورزی پایدار است. در کشاورزی پایدار تمرکز بر سیستمی است که در آن تولید پایدار و اقتصادی باشد. از این منظر خاک بایستی از قابلیت لازم برای بروز کارکردهای خوب خود برخوردار باشد. خاک به عنوان بستر تولید، زمینه‌ی رسیدن به چنین رویکردی را فراهم می‌کند. در این بین ماده آلی به این کارکردها کمک معنی‌داری می‌کند. به عبارتی ماده آلی یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک می‌باشد. بنابراین مدیریت آن به ویژه در خاک‌های تحت کشت کشور که ماده آلی (کربن آلی) زیر یک درصد است، از اهمیت خاصی برخوردار است (انون، ۱۹۸۲ و استونسان، ۱۹۹۴).

## ۲-۱-۵- نیتروژن

نیتروژن از مهمترین عناصر غذایی و یکی از عوامل کلیدی در دستیابی به عملکرد مطلوب در محصولات زراعی می‌باشد. این عنصر در گیاه بالاترین غلظت را داشته و نقش مهمی در افزایش عملکرد دارد، به طوری که کمبود آن بیش از سایر عناصر غذایی عملکرد را محدود می‌کند. مهمترین روش تامین نیتروژن مورد نیاز کشاورزی، استفاده از کودهای نیتروژنه است. برای تولید اقتصادی محصولات مختلف، حفاظت از محیط زیست، افزایش کارایی کودهای ازته و تامین نیاز غذایی جامعه، مدیریت نیتروژن از اولویت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین استفاده مناسب از کودهای نیتروژنه برای افزایش تولید محصول و افزایش کارایی نیتروژن، از مباحث روز می‌باشد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷).

## ۲-۱-۶- فسفر

فسفر از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بوده و نیز مهم‌ترین عنصر در تولید محصول است. فسفر در کلیه فرایندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا و سازوکارهای انتقال انرژی دخالت دارد. در ضمن، فسفر جزئی از پروتئین سلول بوده و به عنوان بخشی از پروتئین هسته، غشای سلولی و اسیدهای نوکلئیک نقش ویژه‌ای دارد. کمبود فسفر، فعل و انفعالات سوخت و ساز، نظیر تبدیل قند به نشاسته را متوقف می‌سازد (ملکوتی و همایی، ۱۳۷۳).

## ۲-۱-۷- آهن

آهن چهارمین عنصر فراوان پوسته زمین بعد از اکسیژن، سیلیسیم و آلومینیم با میزان ۵/۶ درصد می‌باشد و متوسط مقدار آن در خاک ۳/۸ درصد تخمین زده شده و تقریباً در هر نوع خاکی یافت می‌شود. ولی بیشتر به صورت غیرقابل حل در بین لایه‌های مختلف کانی‌ها و اکسیدهای آهن وجود دارد. معمولاً یون آهن به صورت مختلف در خاک مشاهده می‌گردد (به حالت دو ظرفیتی و یا سه ظرفیتی). در کانی‌های اولیه آهن به صورت  $Fe^{++}$  است که در طی هوادیدگی در محیطی با تهویه نامناسب این کانی‌ها حل شده و  $Fe^{++}$  آزاد می‌کنند در حالیکه در خاک‌های با تهویه خوب به  $Fe^{+++}$  تبدیل و به صورت اکسید و هیدروکسید  $Fe^{+++}$  رسوب می‌کند. حلالیت آهن در خاک عمدتاً توسط اکسیدهای آهن سه ظرفیتی کنترل می‌گردد. غلظت  $Fe^{+++}$  در خاک به pH وابسته است و در pH بین ۵/۶ تا ۸ به حداقل خود می‌رسد. که متاسفانه اکثریت خاک‌های کشور نیز دارای این pH هستند (ضیائی‌ان، ۱۳۸۲).

آهن به عنوان یکی از عناصر مهم در تغذیه گیاهان به مقدار فراوان در خاک وجود دارد ولی به دلایل متعددی قابلیت جذب آن بسیار کم و محدود می‌باشد. این عنصر که وجود آن برای رشد گیاهان زراعی و باغی لازم است و در تشکیل سبزینه (کلروفیل) گیاهان نقش اساسی دارد. متاسفانه به دلیل آهکی بودن بخش زیادی از خاک‌های کشورمان، بسیاری از محصولات از کمبود آهن رنج می‌برند. امروزه توجه کشاورزان و متخصصین علوم کشاورزی به اهمیت و نقش عناصر کم‌مصرف روز به روز بیشتر شده و این به دلیل پیدایش مسائل جدیدی از جمله برداشت روز افزون محصول و در نتیجه کاهش این عناصر در خاک است. کاهش عناصر غذایی در خاک به دلیل کاشت ارقام اصلاح شده، مصرف کودهای شیمیایی و مدیریت بهتر تولید است که مجموعه این موارد باعث کاهش عناصر کم‌مصرف در خاک است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴).

## ۲-۲- اهمیت عناصر غذایی مذکور و روابط آن‌ها با ویژگی‌های خاک

اندازه‌گیری عناصر غذایی خاک چه در آزمایشگاه و چه در صحرا غالباً هزینه‌بر و وقت‌گیر است. توابع انتقالی روشی غیرمستقیم برای برآورد ویژگی‌های دیریافت خاک مانند برخی از عناصر غذایی خاک با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک می‌باشند که علاوه بر دقت مناسب دارای ویژگی صرفه‌جویی در زمان و هزینه هستند. توابع انتقالی به روش‌های رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی، ارتباط میان پارامترهای زودیافت و دیریافت را بیان می‌کنند. در دهه اخیر مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی به تدریج جایگاه مناسبی در حل مسائلی از این دست در مهندسی آب به دست آورده‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج فازی و همچنین مدل‌های نروفازی که تلفیقی از دو روش یاد شده هستند توسط محققین به منظور مدل‌سازی‌ها و پیش‌بینی پدیده‌های مختلف به کار برده شده‌اند. (نریمانزاده و همکاران، ۲۰۰۴، مرزبان راد و همکاران، ۲۰۰۹ و جانگ، ۱۹۹۳).

یکی از راه‌های درک بهتر روابط موجود بین ویژگی‌های خاک و ارزیابی تاثیر متقابل آنها بر هم مدل‌سازی می‌باشد. برای ساخت یک مدل، راهکارهای گوناگونی وجود دارد که پژوهشگر براساس نوع مساله و ویژگی‌های موضوع مورد مطالعه به انتخاب یکی از آن‌ها می‌پردازد. از آن جمله می‌توان به رگرسیون خطی چندمتغیره و تکنیک‌های هوش محاسباتی (تلفیق شبکه‌های عصبی و سامانه‌های فازی) اشاره کرد (میناسنی و همکاران، ۲۰۰۲).

یکی دیگر از روش‌های مدل‌سازی استفاده از رابطه همبستگی می‌باشد. تحلیل همبستگی به طور عمده به منظور پیش‌بینی مقادیر متغیر وابسته توسط مقادیر متغیر مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعه ارتباط خطی بین دو یا چند متغیر، همبستگی خطی وسیع‌ترین مدل مورد استفاده می‌باشد (ریمان و همکاران، ۲۰۰۸).

در تحقیقی توسط حمزه میر و همکاران (۱۳۹۴) در تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر خاک بر فراهمی فسفر در دشت سیستان به روش ارتباط وزنی در شبکه‌های عصبی دریافتند که روش شبکه

عصبی دارای دقت بیشتری در برآورد فسفر قابل جذب نسبت به روش رگرسیون چند متغیره خطی می‌باشد، به گونه‌ای که شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با آرایش ۱-۴-۶ نزدیک به ۹۰ درصد از تغییرات فسفر قابل جذب را با استفاده از برخی ویژگی‌های خاک (درصد رس، ماده آلی، کربنات کلسیم و اسیدیته) پیش‌بینی نمود ولی معادله رگرسیون حاصله تنها توانست ۴۳ درصد از تغییرات فسفر را توجیه کند. نتایج کمی کردن اهمیت متغیرها به روش وزن ارتباطی نشان داد عامل pH بیشترین مشارکت را در تغییرپذیری فسفر در منطقه مورد مطالعه دارد. به عبارت دیگر، مقادیر بالای pH مهم‌ترین عامل محدود کننده فراهمی فسفر در خاک‌های دشت سیستان است.

فسفر در میان عناصر غذایی بعد از نیتروژن مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در بیشتر مناطق جهان و ایران است (سالاردینی، ۱۳۸۷). تغییرات شدید غلظت فسفر قابل استفاده در خاک‌های یک منطقه دور از انتظار نیست. به دلیل مصرف متفاوت کودهای فسفره و سرعت متفاوت تبدیل شکل‌های محلول فسفر به شکل‌های با حلالیت کمتر، غلظت‌های متفاوت از فسفر قابل استفاده در خاک می‌تواند وجود داشته باشد (کیی، ۱۹۹۶).

بررسی وضعیت فسفر قابل جذب در خاک به دلیل نقش آن در تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان حائز اهمیت است. همچنین اطلاع از وضعیت فسفر قابل جذب خاک و به دنبال آن مدیریت صحیح مصرف کود جایگاه ویژه‌ای در حفظ محیط زیست دارد. ظرفیت جذب فسفر خاک، غلظت محلول آن را کنترل می‌نماید. آگاهی از ظرفیت جذب خاک‌ها نقش مهمی در تعیین میزان مصرف کودهای فسفر در خاک دارد. به دلیل ظرفیت بالای خاک برای جذب فسفر، تحرک این عنصر در خاک در مقایسه با سایر عناصر غذایی پایین بوده و تمام کود فسفر در زمان مصرف مورد استفاده گیاه قرار نمی‌گیرد. درجه جذب فسفر به فاکتورهای محیطی، خواص و ترکیبات خاک و میزان کود فسفره مصرفی بستگی دارد (جلالی و همکاران، ۲۰۰۵).

میزان فسفر قابل جذب خاک با بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن رابطه دارد. نتایج تحقیقات تقی‌زاده اصل و همکاران (۲۰۰۹) در خاک‌های جنوب گرگان-رود نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین فسفر اندازه‌گیری شده با روش اولسن و بعضی از ویژگی‌های خاک از جمله کربن آلی و کربنات وجود دارد.

دادگر و همکاران (۲۰۱۱) بین فسفر قابل جذب به روش اولسن و بعضی از ویژگی‌های خاک منطقه آبرسد مثل اسیدیته خاک، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد گزارش کردند. پاندی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی رابطه بین فسفر قابل استفاده با ماده آلی و pH در خاک‌های منطقه‌ای در غرب نپال پرداختند.

دلگادو و همکاران (۲۰۰۲) تاثیر مثبت مواد آلی بر افزایش فراهمی فسفر را گزارش کردند. ایشان اظهار داشتند که مواد آلی می‌توانند به عنوان پیوند دهنده فسفر در محل‌های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر و تشکیل ترکیبات فسفات آلی عمل نمایند که در تمامی این حالات، قابلیت استفاده فسفر برای گیاه افزایش یافته و آزادسازی تدریجی فسفر در محلول خاک وجود خواهد داشت. همچنین مواد آلی و اسیدهای حاصل از تجزیه آن، سطوح کربنات کلسیم را اشغال کرده و از تشکیل رسوب هیدروکسی آپاتیت جلوگیری می‌کند. برترند و همکاران (۲۰۰۳) بین نمایه فسفر قابل جذب با مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی در چند سطح کودی مورد آزمایش، رابطه معنی‌داری یافتند، اما در مطالعه این پژوهشگران، مقدار فسفر با کربنات کلسیم رابطه‌ای نداشت.

یکی از اثرات اصلی تنش شوری بر گیاهان برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای و اختلال در جذب عناصر غذایی است (همایی و اسمیده‌التر، ۲۰۰۸). پژوهش‌ها نشان داده که شوری از جذب بسیاری از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در گیاهان می‌کاهد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۴؛ حسینی و همکاران، ۱۳۸۷). نیتروژن یکی از عناصر پرمصرف بسیار ضروری است که کمبود آن باعث اختلال فراوان در رشد

و نمو گیاهان می‌شود (مارسِنر، ۱۹۹۵). لیکن در خاک‌های شور بنا به دلایلی چند از جمله کمبود مواد آلی کمبود ازت را تشدید می‌کند (همایی، ۱۳۸۱).

معمولاً در خاک‌های شور افزون بر تنش شوری، کمبود نیتروژن نیز وجود دارد. بنابراین دانستن پاسخ گیاه به هریک از عوامل محدود کننده رشد و نیز اثر متقابل این عوامل ضروری است (جلالی و همکاران، ۱۳۸۶). در یک مطالعه کمی، اثرات متقابل شوری و کمبود عناصر غذایی را بر مبنای مدل خطی شوری و توابع خطی-غیرخطی مربوط به سطوح مختلف عناصر غذایی به صورت یک مدل تعیینی ارائه کردند، حسینی و همکاران (۲۰۰۹) این پژوهش‌گران نشان دادند که امکان ایجاد مدلی تلفیقی برای بررسی اثرات متقابل شوری و کمبود هریک از عناصر غذایی پرمصرف به صورت کمی وجود دارد. ایوبی و همکاران (۲۰۱۴) به منظور پیش‌بینی غلظت برخی عناصر کم‌مصرف در دانه گندم، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی را طراحی و عملکرد آنها را با مدل‌های رگرسیون چندمتغیره خطی، مقایسه کردند. نتایج ایشان نشان داد که مدل‌های شبکه عصبی نسبت به رگرسیون چندمتغیره ابزاری قدرتمندتر هستند. معمولاً خاک‌هایی که کمبود آهن دارند، دارای pH بیشتر از ۶ هستند. آهن همانند بعضی از عناصر غذایی ریز مغذی در این خاک‌ها، نامحلول، غیرمتحرک و غیرقابل دسترس می‌شود (فاجریا، ۱۳۷۵).

## ۲-۳- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

ساختار کلی شبکه‌های عصبی از شبکه بیولوژیکی مغز انسان الهام گرفته است. شبکه عصبی با پردازش روی داده‌ها قوانین کلی را فرا می‌گیرد و خروجی‌های شبکه با خروجی‌های مطلوب (اندازه‌گیری شده) مقایسه می‌شود. در ابتدا با استفاده از داده‌ها و مقادیر اندازه‌گیری شده موجود، شبکه آموزش داده می‌شود. این مدل‌ها قادرند رابطه میان ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم فیزیکی را توسط شبکه‌ای از گره‌ها که همگی با هم متصل هستند، تعیین نمایند که در آن میزان فعالیت هر یک از این اتصالات توسط اطلاعات تاریخی تنظیم می‌شود (فرایند آموزش) و در نهایت مدل قادر خواهد بود قوانین مرتبط

میان ورودی‌ها و خروجی‌ها را کشف نماید، هر چند قوانین غیرخطی و پیچیده باشند. در واقع این سیستم‌ها قادرند یاد بگیرند و از راه یادگیری دانش لازم برای برخورد مناسب با یک پدیده را جمع‌آوری نمایند و از آن دانش هنگام نیاز بهره ببرند. قابلیت یادگیری در شبکه‌های عصبی، با استفاده از تنظیم پارامترهای شبکه انجام می‌گیرد. با این هدف که اگر تغییر کوچکی در شرایط محیطی شبکه رخ داد، شبکه بتواند با آموزش مختصر برای شرایط جدید نیز کارآمد باشد (معیری و همکاران، ۱۳۸۹).

در یک شبکه عصبی هر نرون به طور مستقل عمل می‌کند و رفتار کلی شبکه، برآیند رفتار نرون‌های متعدد است. به عبارت دیگر نرون‌ها در یک روند همکاری یکدیگر را تصحیح می‌کنند. این خصوصیت باعث افزایش تحمل‌پذیری خطا در سیستم می‌گردد. پارامترهای موثر در مدل‌سازی شبکه‌های عصبی که نقش اساسی دارند به سه بند : ۱- مقدار مناسب آموزش (Epoch) ۲- تعداد لایه‌های شبکه ۳- تعداد نرون‌های لایه میانی تقسیم‌بندی می‌گردند. در حالت کلی هر چه تعداد تکرار در آموزش شبکه بیشتر شود، خطای شبیه‌سازی (پیش‌بینی) در شبکه کمتر می‌شود. اما هنگامی که تعداد تکرارها از یک مقدار تجاوز کند، خطای دسته آزمایشی نیز افزایش پیدا می‌کند. بهترین تعداد تکرار آموزشی مقداری است که خطای هر دو دسته آزمایشی و آموزشی تا حد ممکن کمینه گردند (معیری و همکاران، ۱۳۸۹).

بعضی از پیش‌زمینه‌های شبکه عصبی به اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم برمی‌گردد. در این دوره کارهای اساسی در فیزیک روانشناسی و نروفیزیولوژیکی صورت پذیرفت. این مدل‌ها به مدل‌های مشخص ریاضی عملکرد نرون‌ها اشاره نداشتند. در سال ۱۹۶۹ مدل MLP شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط مک کالوخ و پیت مطرح شد که یک مدل خطی ساده بود، سپس پرسپترون الگوریتم‌های یادگیری را ارائه نمود (منهاج، ۱۳۸۱).

سال ۱۹۶۹ آغاز افول موقت شبکه‌های عصبی شد، زیرا عدم توانایی‌های شبکه‌های عصبی در حل مسائل غیرخطی آشکار شد. شبکه‌های عصبی مصنوعی آن زمان فقط قادر به حل مسائلی بودند که

می‌شد پاسخ‌های آن مسئله را توسط یک خط در محور مختصات از هم جدا کرد. در سال ۱۹۸۲ هاپلفیلد با معرفی شبکه‌های چند لایه و الگوریتم‌های یادگیری دارای Feed back راه‌حلی برای حل موارد غیر خطی ارائه کرد. در این زمان بود که شبکه‌های بازگشتی<sup>۲</sup>، خود سازمانده<sup>۳</sup> و... مطرح شد (منهاج، ۱۳۸۱). از اواسط دهه نود، نسل سوم شبکه‌های عصبی مطرح شدند که مشخصات آن‌ها عبارت بودند از:

۱- تعیین محدودیت‌های تئوری و عملی شبکه

۲- عمومیت و حدود آن

۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های ژنتیکی و منطق فازی

و در نهایت استفاده عملی و پیاده‌سازی تجاری و سخت افزاری شبکه عصبی مصنوعی ممکن شده است.

استفاده از مدل‌های غیرآماری و غیرخطی در پیش‌بینی‌ها ضروری می‌باشد. در دهه‌های اخیر استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی از میان انواع مدل‌های غیر خطی در پیش‌بینی مسائل مربوط به مهندسی آب و هیدرولوژی نتایج درخشانی را نشان داده است (میشرا، ۲۰۰۷).

در مورد فرآیندهایی که تعریف دقیق و کاملی از فیزیک آن‌ها وجود ندارد، مدل‌های ANNs بسیار مؤثر عمل می‌کنند. خصوصیت دیگر این مدل‌ها که آن‌ها را نسبت به سایر روش‌ها و الگوریتم‌ها متمایز می‌سازد، حساسیت کمتر آن‌ها نسبت به وجود خطا در ورودی‌ها است که علت این امر، پردازش توزیعی اطلاعات است (تکار، ۲۰۰۰).

یکی از مراحل مهم در طراحی ANNs، انتخاب ورودی‌های شبکه است. بسته به نوع فرآیند، ممکن است عوامل متعددی را بتوان یافت که این امر نیز می‌تواند سبب ایجاد شبکه‌هایی با ورودی زیاد و

---

<sup>۲</sup> - Autoregressive

<sup>۳</sup> - Radial Basis Function



ساختار پیچیده شود. ازدیاد تعداد متغیرهای ورودی می‌تواند سبب پیچیدگی ساختار شبکه و ناپایداری آن شود که یکی از دلایل آن افزایش تعداد وزن‌ها نسبت به تعداد ورودی‌هاست (هایکین، ۱۹۹۹). از سویی، در مواردی متغیرها از همبستگی بالایی برخوردارند که استفاده از همگی آنها نوعی ورود اطلاعات تکراری را به همراه دارد (ژانگ، ۲۰۰۷).

به منظور طراحی و آموزش یک شبکه عصبی مصنوعی باید داده‌ها را به دو مجموعه مختلف به نام نمونه آموزشی و نمونه آزمایشی تقسیم نمود (ژانگ و همکاران، ۱۹۹۸). گرانجر (۱۹۹۳)، پیشنهاد می‌کند در مدل‌های برآورد غیرخطی، باید حداقل ۲۰ درصد داده‌ها را برای ارزیابی مدل به کار برد. از این روی، نزدیک ۸۰ درصد داده‌ها برای آزمون کارایی شبکه به کار گرفته می‌شود.

پاراسرمن و همکاران، ۲۰۰۶ بیان کردند که شبکه عصبی مصنوعی کارایی بهتری نسبت به شبکه عصبی رزتا (Rosetta) در تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک دارد و این نشان دهنده اهمیت فرایند آموزش در شبکه عصبی است. (امینی و همکاران، ۲۰۰۵) با استفاده از میزان ماده آلی و رس، به برآورد میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به وسیله شبکه عصبی و پنج مدل تجربی که بر پایه روش‌های رگرسیونی است پرداختند. نتایج این محققان نشان داد روش شبکه عصبی، نسبت به سایر روش‌ها، از برتری قابل قبولی برخوردار است.

شاپ و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که در طراحی شبکه عصبی نوع خاصی از معادلات لازم نیست و با ایجاد رابطه مناسب بین داده‌های ورودی و خروجی می‌توان به نتایج مناسبی دست یافت و به علت وجود روابط غیرخطی میان متغیرهای وابسته و پیش‌بینی شونده، شبکه عصبی عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های رگرسیونی خواهد داشت. همچنین تغییرات ریشه مربعات خطا دارای روند مشخصی نیست. چون شبکه عصبی یک مدل جعبه سیاه است و وزن‌ها تصادفی انتخاب می‌شوند، نمی‌توان این روند موجود را کاملاً توضیح داد. فقط باید با سعی و خطا بهترین ساختار را به دست آورد. اما توجیهی که می‌توان به دست داد، آن است که با پیچیده‌تر شدن، مدل شبکه عصبی بیش از حد آموزش می‌بیند و

قادر به برآزش مناسب بر روی داده‌های جدید نیست. نتایج این تحقیق با آنچه امینی و همکاران (۲۰۰۵) در برآورد CEC در منطقه اصفهان به دست آوردند همخوانی دارد.

کنعانی و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقی با عنوان تخمین مقادیر شوری حوزه آبریز رودخانه‌ها به روش شبکه عصبی مصنوعی به کارایی بالای مدل شبکه عصبی مصنوعی به خصوص شبکه‌های با ورودی تاخیر یافته دست یافتند. خداوردی‌لو و همکاران (۱۳۸۳) در تحقیقی با اندازه‌گیری منحنی رطوبتی خاک، فراوانی نسبی ذرات خاک، وزن مخصوص ظاهری و درصد کربنات کلسیم معادل به تخمین هوشمند منحنی رطوبتی خاک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند و به انطباق معنی‌دار در سطح ۱ درصد بین منحنی پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده دست یافتند. همچنین نتایج کارایی بالاتر شبکه عصبی مصنوعی نسبت به توابع انتقالی رگرسیونی را نشان داد.

پاچپسکی و همکاران (۱۹۹۶) با استفاده از آماره‌های ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا، به بررسی شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز رگرسیون پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شبکه عصبی برآورد بهتر و خطای کمتری، بر اساس داده‌های زودیافت خاک دارد. نتایج مشابهی توسط تاماری و همکاران (۱۹۹۶) به دست آمد؛ آن‌ها نیز مقدار RMSE کمتری از برآورد خصوصیات خاک با شبکه عصبی مصنوعی، نسبت به رگرسیون خطی چندگانه، به دست آوردند. همچنین نشان دادند که اگر ناپایداری داده‌ها بالا باشد، شبکه عصبی از مدل‌های رگرسیونی خطی بهتر نخواهد بود، اما در صورت استفاده از داده‌های با دقت، شبکه عصبی کارایی بالاتری را نشان می‌دهد.

آرفین و همکاران (۲۰۰۳) از مدل شبکه عصبی و مدل رگرسیونی خطی برای پیش‌بینی میزان رسوبات استفاده نمودند. آن‌ها توانستند بین چهار پارامتر تأثیرگذار بر میزان رسوب و غلظت رسوبات با استفاده از دو روش شبکه عصبی و سیستم استنتاج تطبیقی روابطی برقرار نمایند.

بررسی دیگری از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی آب قابل جذب گیاه استفاده گردید و داده‌های ورودی شامل درصد شن، سیلت و رس، درصد اشباع آب از خاک، متوسط وزنی قطر

خاکدانه‌ها، وزن مخصوص حقیقی، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد ماده آلی، اسیدیت و کربنات کلسیم معادل بودند. نتایج حاکی از کارکرد مناسب دو مدل مذکور بود (گیوی و پراشر، ۱۳۸۴).

بازوبندی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی با استفاده از پارامترهای شن، سیلت، رس، کربن آلی، EC و pH، میزان کادمیوم و سرب کل خاک را به کمک شبکه عصبی تخمین زدند که با توجه به میزان خطا و ضریب تبیین، شبکه عصبی مصنوعی کارایی بسیار بالایی در تخمین کادمیوم کل داشت. در پایان مشخص شد که مدل در مرحله آموزش کارایی بالاتری نسبت به مرحله آزمون داشت و در کل روش مناسبی برای تخمین عناصر سنگین تلقی گردید.

تانگ و همکاران (۲۰۰۸) از شبکه‌های عصبی توابع پایه شعاعی برای CEC استفاده کردند و دریافتند که شبکه‌های عصبی پیش‌بینی CEC را با دقت بیشتر نسبت به مدل‌های رگرسیونی چند متغیره پیش‌بینی می‌کنند. عملکرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیونی چند متغیره خطی با استفاده از دسته داده‌های آزمونی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی پس انتشار خطای توسعه داده شده با چهار ورودی کربن آلی، رطوبت اشباع، درصد رس و شن با هفت نورون در لایه پنهان توانست ظرفیت تبادل کاتیونی را بهتر از مدل‌های رگرسیونی و دیگر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کند.

ایهوکو و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای به تخمین جذب فلزات سنگین با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرداختند که طبق این مطالعه نشان دادند که شبکه‌ی عصبی مصنوعی روشی بسیار مناسب برای تخمین فلزات سنگین و مدل‌سازی جذب سطحی آن‌ها است.

بازوبندی و همکاران (۱۳۹۴) نیتروژن کل خاک را با استفاده از خصوصیات خاک به کمک شبکه‌ی عصبی پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی مصنوعی دارای دقت بالایی در برآورد میزان نیتروژن کل خاک می‌باشد، به گونه‌ای که ۹۵ درصد (ضریب تبیین در مرحله آزمون) تغییرپذیری نیتروژن کل خاک در منطقه مورد مطالعه با استفاده از ۷ خصوصیت خاک قابل تخمین

است. همچنین آنان دریافتند که بافت و مقدار ماده آلی خاک مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر نیتروژن کل خاک در منطقه می‌باشند.

مارسل و فیک (۱۹۹۸) از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی خصوصیات هیدرولیکی خاک استفاده کردند، نتایج آن‌ها تایید کننده کارایی بالای مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. برخی محققین از مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین دمای خاک استفاده کردند و به کارایی بالاتر و سریع‌تر شبکه عصبی نسبت به سایر روش‌ها دست پیدا کردند (یانگ و همکاران، ۱۹۹۷). در یک بررسی برای ارزیابی میزان فرسایش و غلظت عناصر غذایی در رواناب، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند و به نتایج مناسبی به خصوص در مورد غلظت آمونیاک در رواناب دست یافتند (مین‌یانگ و همکاران، ۲۰۰۸).

در یک بررسی با استفاده از پارامترهای رس، شن، سیلت، وزن مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع و حجم آب در خاک به پیش‌بینی میزان نفوذ پذیری خاک توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون خطی پرداخت شده و نتایج نشان دهنده کارایی بالاتر شبکه عصبی نسبت به مدل رگرسیون خطی می‌باشد (اخماج، ۲۰۱۰).

در پژوهشی به مقایسه برآورد ماده آلی ذره‌ای (POM) خاک در حوزه آبخیز منج توسط ۱۳ پارامتر سهل الوصول (pH, EC و...) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، رگرسیون و روش مربع فاصله معکوس (IDW) پرداختند. مقادیر ماده آلی ذره‌ای توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی در نرم‌افزار متلب برآورد گردیده و در پایان با استفاده از آنالیزهای آماری سه روش مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بیانگر دقت بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد POM نسبت به روش دیگر بود (آقاجانی و همکاران، ۱۳۹۴).

بازوبندی و همکاران (۱۳۹۴) به پیش‌بینی فسفر خاک با استفاده از پارامترهای تأثیرگذار بر فسفر خاک مانند شن، سیلت، رس، کربن آلی، pH و ظرفیت کاتیون تبدالی به کمک شبکه‌ی عصبی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که که شبکه‌ی پرسپترون چندلایه (MLP) به خوبی پیش‌بینی فسفر

خاک را انجام داده است و روشی مناسب برای پیش‌بینی میزان فسفر خاک به کمک خصوصیات خاک است.

عمادی و نادری (۱۳۹۴) به تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به کمک شبکه عصبی مصنوعی، ادغام شبکه عصبی مصنوعی - الگوریتم ژنتیک و رگرسیونی با استفاده از پایگاه داده UNSUDA پرداختند. که از ۱۴۶ داده اندازه‌گیری شده به عنوان داده‌های آزمون و ۶۱ داده دیگر به عنوان داده‌های تست استفاده کردند. پس از تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون، مشاهده کردند. که شبکه عصبی برآورد مناسب‌تری نسبت به رگرسیون و ادغام آن با الگوریتم ژنتیک داشته است. نواییان و همکاران (۲۰۰۴) امکان برآورد سریع هدایت آبی اشباع خاک توسط شبکه عصبی مصنوعی را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنها نشان می‌دهد شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقایسه با روابط رگرسیونی عملکرد نسبتاً بهتری را دارند.

در پژوهشی مدل‌سازی و تخمین فسفر قابل جذب خاک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در دشت مشهد چناران به انجام رسید. بدین منظور تعداد ۱۰۰ نمونه خاک از اراضی دشت مذکور تهیه و مقادیر فسفر قابل جذب و سایر پارامترهای فیزیکی شیمیایی آن اندازه‌گیری گردید. نتایج بیانگر آن بود که روش شبکه عصبی دارای دقت قابل قبولی در برآورد فسفر قابل جذب می‌باشد، به گونه‌ای که شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با آرایش ۱-۴-۴ نزدیک به ۷۳ درصد از تغییرات فسفر قابل جذب را با استفاده از برخی ویژگی‌های زودیافت خاک (رس، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل و اسیدیته خاک) که توسط همبستگی استخراج گردیده بود، پیش‌بینی و توجیه نمودند (کشاورزی و همکاران ۱۳۹۵).

در تحقیقی به منظور پیش‌بینی و مقایسه روش‌های زمین آمار و شبکه عصبی در تخمین توزیع مکانی رس خاک در بخشی از اراضی شهرستان زیهک سیستان پرداختند. طبق این تحقیق تعداد ۱۲۱ نمونه خاک با فواصل ۷۵۰ متر از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر برداشت و مقادیر رس خاک تعیین شده که از این تعداد ۱۰۵ نمونه برای آموزش مدل‌ها و ۱۶ نمونه جهت اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده شده است. سپس مدل‌های مختلف زمین‌آماری و شبکه عصبی مصنوعی برآزش و بهترین مدل‌ها انتخاب

شدند. نتایج سعی و خطا بین انواع مدل‌های شبکه عصبی نشان داده است که بهترین نوع، شبکه پس‌انتشار است. که با نتایج زو و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشته است. همچنین بهترین لایه پنهان یک و با تعداد ۴۰ نرون تشخیص داده شده است. در آخر نتایج مقایسه دو روش نشان داده است که شبکه عصبی با ضریب تبیین  $(R^2)$  ۰/۶۸ و معیار خطا ۶/۱۸ در مقایسه با روش زمین‌آمار با ضریب تبیین ۰/۶۲ و با معیار خطا ۸/۲ مقدار رس خاک را بهتر پیش‌بینی می‌کند.

زو و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و سری زمانی، مقدار شوری و رطوبت خاک را پیش‌بینی کرده و دریافته‌اند که مدل پس‌انتشار یک روش مناسب در تخمین آب خاک و حرکت نمک است.

ژاو و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی مقادیر شن و رس خاک را بر اساس پارامترهای بدست آمده از نقشه ارتفاعی رقومی برآورد کرده و مشاهده کردند که دقت نسبی برای رس ۸۸ درصد و برای شن ۸۱ درصد بود.

سیدرم و همکاران (۲۰۰۸)، در تحقیقی روش‌های زمین‌آمار، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان را با هم مقایسه کردند و مشاهده کردند که روش شبکه عصبی نسبت به دو روش دیگر برتری دارد. مهاجر و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از فاکتورهای درصد رس، درصد ماده آلی و درصد رطوبت خاک به تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک پرداختند. نتایج بدست آمده از مدل شبکه عصبی، نشان دهنده ضریب تبیین بیشتر و خطای کمتری نسبت به روش رگرسیونی بود، همچنین تفکیک داده‌ها بر حسب لایه باعث افزایش دقت و صحت توابع گردید.

سرمردیان و همکاران (۲۰۱۰) از روش‌های نروفازی، شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره در پیش‌بینی ویژگی‌های رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی مزارعه و نقطه پژمردگی دائم، وزن مخصوص ظاهری و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک استفاده کردند. آن‌ها با اندازه‌گیری فراوانی نسبی ذرات، کربن‌آلی، درصد رطوبت اشباع و آهک به عنوان ویژگی‌های زودیافت به تخمین پارامترهای ذکر شده

پرداختند. نتایج آن‌ها نشان دهنده کارایی بالاتر مدل نروفازی و شبکه عصبی نسبت به روش رگرسیونی بود.

در تحقیقی از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین نفوذپذیری خاک استفاده کردند و به کارایی بالای مدل شبکه عصبی در مقایسه با روابط تجربی اندازه‌گیری نفوذپذیری، دست پیدا کردند (جین و کومار، ۲۰۰۶).

طبری و همکاران (۲۰۱۱) به مقایسه عملکرد شبکه عصبی مصنوعی از نوع پرسپترون چند لایه با روش رگرسیون خطی چند متغیره برای برآورد دمای روزانه خاک در عمق‌های ۵، ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری در منطقه خشک ایران پرداختند. برای ورودی دو مدل شبکه عصبی و رگرسیون خطی چندگانه از میانگین روزانه پارامترهای هواشناسی که شامل دما، تابش خورشیدی و رطوبت نسبی بود، استفاده شد. نتایج مقایسه بین این دو مدل نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دقت بالاتری را در برآورد دمای روزانه خاک در منطقه مورد مطالعه داراست.

امامی و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی خود با عنوان ارزیابی کارایی شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد منحنی رطوبتی خاک در بعضی خاک‌های شور و آهکی ایران با بررسی مقادیر ضریب همبستگی، ضریب تبیین، ضریب تبیین اصلاح شده و مقادیر خطا، به کارایی شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. همچنین به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین رطوبت‌های تخمینی و اندازه‌گیری شده در سطح آماری ۱ درصد دست پیدا کردند.

دایر و همکاران (۱۳۸۶) از مدل Qnet2000 برای تعیین مقدار نفوذ آب در خاک استفاده کردند. پارامترهای ورودی شامل وزن مخصوص ظاهری خاک، رطوبت خاک، تخلخل خاک، بافت خاک و زمان بود.

در تحقیقی به پیش‌بینی نحوه توزیع ذرات خاک با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که مدل شبکه عصبی ایجاد شده قادر به تعمیم توزیع پراکنش ذرات خاک در مناطقی با دامنه داده‌های ورودی مشابه با داده‌های مورد بررسی است (ژنگ‌یانگ و همکاران، ۲۰۰۹).

## ۲-۴- سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی

در بین روش‌های نوین مدل‌سازی، سامانه‌های فازی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. توانایی پیاده‌سازی دانش بشری با استفاده از مفاهیم برجسته‌های زبانی و قواعد فازی، غیرخطی بودن و قابلیت سازش‌پذیری این سیستم‌ها و دقت بهتر آن‌ها در مقایسه با سایر روش‌ها در شرایط محدودیت داده‌ها، از جمله مهمترین ویژگی‌های این سیستم‌ها می‌باشد (دزفولی، ۱۳۸۷).

نکته مهم منطق فازی، امکان برقراری ارتباط بین فضای خروجی است و سازوکار اولیه برای انجام این کار فهرستی از جملات If-Then است، که قانون نامیده می‌شوند. داشتن روشی که با استفاده از آن بتوان اطلاعات موجود برای ساخت این قواعد را استفاده کرد به عنوان ابزاری کارآمد بشمار می‌رود. از طرفی، شبکه‌های عصبی مصنوعی به دلیل قابلیت‌های آموزش‌پذیری با استفاده از الگوهای مختلف آموزشی می‌تواند ارتباط مناسبی بین متغیرهای ورودی و خروجی ایجاد نماید. لذا استفاده ترکیبی از سامانه استنباط فازی و شبکه عصبی مصنوعی به عنوان ابزاری قدرتمند که قابلیت پیش‌بینی نتایج با استفاده از داده‌های عددی موجود را دارند، تحت عنوان سامانه استنتاج تطبیقی عصبی فازی معرفی می‌شود. اولین بار جانگ در سال ۱۹۹۳ توانست از قدرت زبانی سیستم‌های فازی و آموزش شبکه‌های عصبی استفاده نماید و سیستمی تحت عنوان سیستم‌های فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی ارائه نماید (جانگ، ۱۹۹۳).

تمرکز تحقیقات بر روی شبکه عصبی از یک رویکرد جعبه سیاه (Black-Box) به معماری عصبی-فازی دینامیکی توسعه یافته است. غالباً سیستم‌های انفیس را با استفاده از یک سیستم فازی تاکاگی سوگنو کانگ (TSK) به صورت ساختار شبکه‌ای پیش‌رونده به کار می‌برند. خروجی مدل TSK با انجام



درون‌یابی‌ها فازی و در نظر گرفتن همسایگی فازی محاسبه می‌شود. مزیت قابل توجه مدل‌های TSK، توانایی آن‌ها برای تعیین دقت مدل‌سازی یک سیستم در هر دو سطح کلی و محلی می‌باشد (انگ و کوئک، ۲۰۰۵). سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیق از جمله مدل‌های TSK است که با تنظیم پارامترهای کلی و به حداقل رساندن خطاهای کلی اجرا می‌شود (جانگ، ۱۹۹۳).

در زمینه استفاده از منطق فازی کیسی (۲۰۰۵) توانست میزان رسوبات معلق را با استفاده از داده‌های USGS و با به کارگیری شبکه‌های فازی-عصبی و عصبی پیش‌بینی نماید. بر اساس این تحقیق روش فازی عصبی انعطاف‌پذیری بیشتر و نیز تطابق بیشتری با واقعیت پدیده مورد مطالعه دارا بوده است. منطق فازی تاکنون در زمینه پیش‌بینی سیلاب، مسائل کیفیت آب، مدیریت آبخیز، فرآیند بارش و فرسایش خاک نیز به کار رفته است (تایفور و همکاران، ۲۰۰۳).

در پژوهشی به مقایسه روش‌های نروفازی، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی و رگرسیون چندمتغیره در پیش‌بینی شوری خاک در منطقه اردکان پرداختند. در این پژوهش ششصد نمونه جمع‌آوری شده از منطقه اردکان آزمایش شد و پارامترهای سطح اراضی شامل شاخص اراضی، شاخص خیزی و انحنای شیب به عنوان ویژگی‌های زودیافت استفاده شد. همچنین میزان شوری خاک به صورت وزنی در اعماق ۳۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری به عنوان ویژگی‌های دیریافت تخمین زده شد و داده‌ها به دو سری آموزشی (۸۰٪ داده‌ها) و سری ارزیابی (۲۰٪ داده‌ها) تقسیم شدند. سپس به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی شوری، از مدل‌های نروفازی، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک و رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل‌ها بر اساس شاخص‌های ریشه مربعات خطا، میانگین خطا، خطای استاندارد نسبی و ضریب تبیین نشان داد که مدل نروفازی دارای بالاترین دقت در پیش‌بینی ویژگی‌های خاک است، به طوری که این مدل به میزان ۱۱ و ۱۷ درصد دقت پیش‌بینی شوری را، به ترتیب، در اعماق ۳۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، نسبت به روش رگرسیون خطی چندگانه، افزایش داده

است. پس از این مدل، الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی، نسبت به معادلات رگرسیونی، کارایی بهتری داشت (تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۱۳۹۲).

پارسی‌نژاد و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که مدل ANFIS در پیش‌بینی درصد رطوبت اشباع خاک دقت بیشتری نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی دارد. ریاحی مدوار و ایوب‌زاده (۲۰۱۰) عملکرد سیستم استنتاجی فازی عصبی انطباقی را در تخمین ضریب انتشارپذیری بررسی کردند. سپس نتایج حاصل را با نتایج حاصل از معادلات تجربی مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که سیستم استنتاجی فازی عصبی انطباقی با  $R^2$  و RMSE به ترتیب برابر با ۰/۹۱ و ۸/۱۸ در مرحله ارزیابی توانایی و دقت بالایی را در تخمین ضریب انتشارپذیری داراست در حالی که مقادیر این پارامترها برای بهترین رابطه تجربی به ترتیب برابر ۰/۴۸ و ۷/۲۹ بود.

کیسی (۲۰۰۷) دقت سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی را در تخمین تبخیر و تعرق مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی-فازی را می‌توان برای اجرای فرایند تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار داد. کیسی (۲۰۰۶) توانایی شبکه عصبی-فازی را در مقابل شبکه عصبی مصنوعی، برای تخمین تبخیر روزانه مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق مشخص گردید که تکنیک محاسباتی شبکه عصبی-فازی را می‌توان با موفقیت در مدل‌سازی فرآیند تبخیر داده‌های اقلیمی به کار گرفت.

سبزی‌پرور و همکاران (۲۰۱۱) با مطالعه روی داده‌های هواشناسی سه ایستگاه سینوپتیک زاهدان و تهران، زاهدان و رامسر که دارای اقلیمی متفاوت می‌باشند، نتیجه گرفتند که دقت روش استنتاج عصبی-فازی تطبیقی، ۴ درصد بیشتر از روش آماری رگرسیون بوده است. همچنین دقت پیش‌بینی دمای خاک در دو ایستگاه زاهدان و تهران (اقلیم خشک)، با روش استنتاج عصبی-فازی تطبیقی به ترتیب ۱۲ درصد و ۴/۵ درصد بهتر از رامسر (اقلیم مرطوب) بوده است.

# فصل سوم

## مواد و روش‌ها

### ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد مطالعه به وسعت حدود ۱۰۰ هکتار در استان گلستان واقع در شرق روستای تنگلی از توابع اینچه برون که با کاربری باغ زیتون می‌باشد، قرار دارد. اینچه برون در شمال استان گلستان و در مرز کشور ترکمنستان واقع است.

زمین‌های اطراف اینچه برون بیشتر شوره‌زار می‌باشد همچنین تالاب آلاگل دریاچه بزرگ آب شوری است که در کنار این شهر قرار دارد که از رودخانه اترک تغذیه می‌گردد. منطقه مورد نظر بین مختصات جغرافیایی (37° 24.150'N; 54° 37.496'E) و (37° 24.425'N; 54° 38.719'E) قرار دارد. موقعیت محدوده مورد مطالعه در Google Earth و در استان گلستان به ترتیب در شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ نشان داده شده است. متوسط بارندگی سالیانه ۵۰۰ میلی‌متر، میانگین سالانه دما ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد و آب و هوای غالب آن استپی محلی می‌باشد.



شکل ۳-۱- محدوده منطقه مورد مطالعه واقع در استان گلستان



شکل ۳-۲- موقعیت محدوده مورد مطالعه در Google Earth

### ۳-۲- وضع موجود کشاورزی

استان گلستان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور است. از جمله فعالیت‌های مورد تاکید بخش کشاورزی در استان در سال‌های اخیر توسعه کشت زیتون بوده است. زیرا از یک سو زیتون در مقایسه با سایر دانه‌های روغنی به آب کمتری احتیاج داشته و از سوی دیگر درخت زیتون را می‌توان در تپه ماهورها با شیب نسبتاً زیاد نیز کشت نمود و از این لحاظ از فرسایش خاک و ایجاد سیلاب نیز جلوگیری می‌کند. ضمن اینکه مصرف روغن زیتون علاوه بر کاهش وابستگی به واردات روغن‌های خوراکی، سبب افزایش سلامت عمومی مردم نیز می‌شود. از این‌رو اراضی تحت مطالعه در حال حاضر باغ زیتون می‌باشد که کشاورز به شیوه سنتی آن را آبیاری می‌نماید.

### ۳-۳- خصوصیات زیتون کشت شده

از صفات برجسته زیتون قابلیت سازش آن با مناطق مختلف جغرافیایی است. در زیتون کاری نوین جهت انتخاب ارقام مناسب مجموعه‌ای از صفات نظیر پربار بودن، مقاومت به آفات و شرایط نامساعد طبیعی، میزان روغن زیاد، کیفیت خوب روغن، اندازه و شکل مناسب و نسبت بالای گوشت به هسته حائز اهمیت است. در کاشت زیتون در اراضی تعاونی توسعه تنگلی از رقم زرد استفاده گردیده است. رقم زرد بومی ایران بوده و بیشترین سطح زیر کشت زیتون کشور را تشکیل می‌دهد که رقمی پر محصول و دومنظوره است. میوه آن بصورت رسیده سبز به منظور استفاده در کنسروسازی و روغن‌کشی برداشت می‌شود، متوسط عملکرد آن ۸ تا ۱۰ تن در هکتار می‌باشد. شکل میوه نسبتاً کروی و میانگین وزن آن ۳-۵ گرم و نسبت گوشت به هسته آن ۵/۵ به ۱ می‌باشد. درصد روغن آن بالا و در حدود ۲۵-۲۸ درصد است.

### ۳-۴- شرایط توپوگرافی

اراضی محدوده مورد مطالعه از نظر توپوگرافی و ناهمواری به صورت هموار است.

### ۳-۵- هواشناسی منطقه‌ای

شناخت اقلیم و رژیم آب و هوایی یک منطقه و عوامل موثر بر آن نظر درجه حرارت، بارندگی و تبخیر در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای به منظور تولیدات کشاورزی و دامی و مدیریت اراضی ضروری است. جهت بررسی پارامترهای هواشناسی از آمار ایستگاه گرگان استفاده شده است با توجه به اقلیم نمای آمبرژه اقلیم منطقه در محدوده نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود. جدول ۳-۱، خلاصه‌ای از پارامترهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱- خلاصه پارامترهای هواشناسی

|      |                |                         |
|------|----------------|-------------------------|
| ۱/۵  | میلیمتر در روز | متوسط بارندگی           |
| ۱۸/۵ | سانتیگراد      | متوسط روزانه دما        |
| ۶۰   | درصد           | متوسط ماهانه رطوبت نسبی |
| ۸/۵  | ساعت           | متوسط ساعات آفتابی      |

### ۳-۶- منابع تامین آب

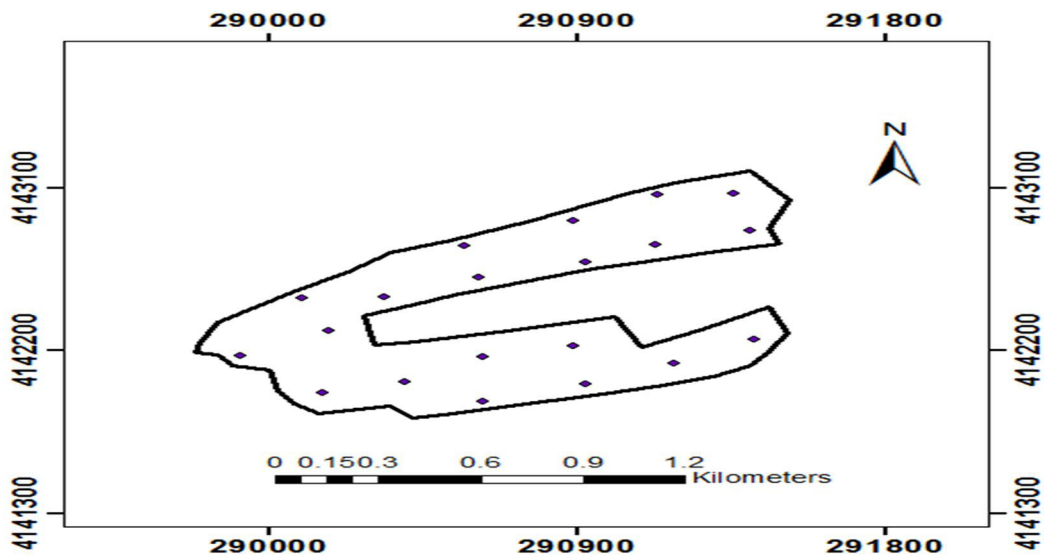
منبع آب این اراضی کانالی است که در مجاورت اراضی قرار دارد که آبندان کشاورز را تامین می‌سازد. آبندان موجود در واقع بصورت طبیعی مسیر عبور جریان‌های سیلابی در گذشته بوده است که از آن بعنوان محل ذخیره آب‌های استحصال شده استفاده می‌گردد. مساحت آبندان حدود ۱۰ هکتار بوده که توسط دیواره‌های عرض به چند بخش تقسیم گردیده است. وضعیت آبندان به لحاظ رقوم توپوگرافی به گونه‌ای است که آب استحصال شده در منتهی‌الیه ضلع غربی از طریق لوله خط انتقال آب تخلیه و بصورت ثقلی تا منتهی‌الیه ضلع شرق در مجاورت ایستگاه پمپاژ تعبیه شده جهت سیستم آبیاری قطره‌ای هدایت می‌شود. اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای آبندان بر اساس نقشه توپوگرافی موجود حدود ۱۴ متر می‌باشد. منابع آبی با اخذ مجوزهای مربوطه از شرکت آب منطقه‌ای از تالاب آچی گل و سیلاب‌های فصلی رودخانه اترک بوده که از طریق احداث ایستگاه پمپاژ به آبندان ۱۰ هکتاری جاشیه جنوبی اراضی مزبور منتقل می‌گردد. جدول ۳-۲، منبع تامین آب منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۲- منبع تامین آب منطقه مورد مطالعه

| مقدار  | واحد           | شرح پارامتر |                             |
|--------|----------------|-------------|-----------------------------|
| ۵۰۰۰۰۰ | مترمکعب در سال | آبندان      | منبع تامین آب و میزان حقابه |
| ۹/۸    | لیتر در ثانیه  | چاه         |                             |

### ۳-۷- برداشت و آماده‌سازی نمونه‌های خاک

طرح مذکور در سال ۱۳۹۴ در باغ زیتون در غرب روستای تنگلی از توابع اینچه‌برون انجام داده شد. به این صورت که تعداد ۲۰ پروفیل در قطعات ۵ هکتاری از یکدیگر حفر گردید و از سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ سانتی‌متری نمونه‌گیری به عمل آمد. نمونه‌ها پس از اینکه به آزمایشگاه منتقل گردیدند و به مدت ۴۸ ساعت در هوای آزاد خشک گردیده و سپس از الک ۲ میلیمتری گذرانده و آماده تجزیه شیمیایی و فیزیکی شدند. شکل ۳-۳، مختصات نقاط پروفیل‌های حفاری شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳- مختصات نقاط پروفیل‌های حفاری شده



### ۳-۸- تجزیه شیمیایی خاک

#### ۳-۸-۱- نیتروژن قابل جذب

نیتروژن موجود در خاک در دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری شد. به این طریق که ابتدا یک گرم از خاک خشک را به دقت توزین کرده و در داخل یک بالن قرار دادیم. به نمونه خاک ۳ سی‌سی اسید سولفوریک غلیظ بعلاوه ۲ سی‌سی آب مقطر و ۱/۱ گرم قرص کج‌دال اضافه گردید. بعد نمونه خاک را به مدت یک ساعت بر روی دمای ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت نیم ساعت بر روی دمای ۳۷۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده که در پایان، خاک هضم شده به رنگ سفید درآمده و عصاره شفاف روی آن جمع می‌شود. بالن را کمی سرد کرده و مقداری آب مقطر به آن اضافه می‌کنیم تا جهت مرحله تقطیر مهیا گردد. در مرحله تقطیر نمونه خاک، کل محلول رویی نمونه را با چند بار شستشو به داخل دستگاه می‌ریزیم. در مورد مقدار سود ۱۰ نرمال مصرفی نمونه خاک، مقدار آن ۲۰ سی‌سی می‌باشد. سپس مقدار ۲۵ سی‌سی اسید بوریک داخل بشر ۷۵ یا ۱۰۰ میلی‌متری ریخته و به آن چند قطره معرف بروموکروزال اضافه گردید تا محلول از بی رنگ به رنگ قرمز آلبالویی (شدت رنگ بسته به مقدار اسید بوریک مصرفی و مقدار معرف متفاوت است) تبدیل شود در اینجا محلول به دست آمده را در محل خروج گاز آمونیاک متصاعد شده از نمونه ها قرار داده که محلول شروع به تغییر رنگ می‌کند و هنگامی که رنگ محلول به سبز رسید تقریباً ۹۰ درصد آمونیاک نمونه متصاعد شده است. سپس بورات آمونیوم سبز رنگ بوسیله اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال تیترا شد و مرحله پایانی تیتراسیون تغییر رنگ از سبز به صورتی بود (علی‌احیایی، ۱۳۷۶).

در نهایت غلظت نیتروژن کل از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\%N = [(A-B) / S] * N * 1.4 * 100$$

A : حجم اسید مصرفی برای نمونه (میلی لیتر)

B : حجم اسید مصرفی برای شاهد (میلی لیتر)

S : وزن خاک خشک شده (گرم)

N : نرمالیتته اسید سولفوریک

### ۳-۸-۲- فسفر قابل جذب

فسفر به روش اولسن (۱۹۵۴)، اندازه گیری شد. طبق این روش یک گرم خاک را در لوله فالکون ریخته و سپس ۲۰ میلی لیتر  $\text{NaHCO}_3$  بیکربنات سدیم (pH سدیم بیکربنات باید ۸/۵ باشد که می توان از NaOH یک مولار جهت تنظیم pH استفاده کرد) به آن اضافه گردید و برای شفاف تر شدن محلول از ذغال اکتیو به اندازه نصف قاشق چای خوری استفاده شد. لوله ها روی شیکر افقی با سرعت دویست به مدت سی دقیقه شیک شدند. سپس محلول با کاغذ صافی صاف شد. برای آنالیز نمونه به روش اسپکتوفتومتری احتیاج به ساخت دو محلول جداگانه است.

#### محلول A شامل:

۱- حل کردن ۱۲ گرم آمونیوم مولیبدات در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر.

۲- حل کردن ۰/۲۹۱ گرم آمونیوم پتاسیم تارتارات در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر

۳- اضافه کردن این دو محلول در ۱۰۰۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۲/۵ مولار

۴- رساندن حجم محلول به ۲۰۰۰ میلی لیتر با استفاده از آب مقطر

نگهداری محلول در مکان تاریک و دور از نور (این محلول را تا چند روز می توان نگهداری کرد).

## محلول B شامل:

حل کردن ۱/۰۵۵۶ از اسیدآسکوربیک در ۲۰۰ میلی‌لیتر از محلول A (عمر این محلول ۲۴ ساعت است و باید روزانه ساخته شود). برای اندازه‌گیری فسفر خاک استانداردها ۰، ۰/۵، ۱، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ پی‌پی‌ام ساخته شد. از  $\text{NaHCO}_3$  به عنوان محلول شاهد استفاده شد. در داخل هر کووت مقدار ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره شفاف تهیه شده و ۱۰۰۰ میکرولیتر آب مقطر و ۳۰۰ میکرولیتر محلول B ریخته شد که طیف رنگ آبی را تشکیل دادند. جهت خواندن اعداد در دستگاه اسپکتوفتومتری مدل 6305 JENWAY طول موج روی ۸۸۲ نانومتر تنظیم شد و پس از صفر کردن عدد دستگاه در زمان قرائت محلول شاهد به ترتیب استانداردها و بعد از آن عصاره‌ها خوانده شد و میزان فسفر قابل جذب خاک به دست آمد.

## ۳-۸-۳- ماده آلی

با روش (O.C) (والکلی و بلک، ۱۹۳۴) انجام گردید. طبق این روش یک گرم خاک را ابتدا کوبیده و از الک ۲ میلی‌متر عبور می‌دهیم و در یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتر می‌ریزیم. سپس ۱۰ میلی‌لیتر بیکرومات پتاسیم یک نرمال به آن اضافه می‌کنیم و ارلن را تکان داده تا باهم مخلوط شوند. سپس ۲۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ را بطور مستقیم داخل نمونه می‌ریزیم و بلافاصله ارلن را تکان داده تا مواد مخلوط شوند. سپس درب ارلن را گذاشته و به مدت نیم ساعت آن را به حال خود باقی می‌گذاریم تا واکنش بین مواد کامل گردد. بعد از گذشت نیم ساعت حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر را به نمونه اضافه می‌کنیم و سپس ۰/۲ گرم پودر فلئوئور سدیم به آن اضافه کرده و در آخر چند قطره معرف دی فنل آمین اضافه می‌کنیم. در مرحله بعد نمونه را با محلول فروآمونیم سولفات ۰/۵ نرمال تیتر می‌کنیم و این عمل را تا زمانی انجام می‌دهیم که رنگ محلول ابتدا سبز کدر سپس سرمه‌ای و در نهایت به سبز روشن تبدیل شود. حجم فروآمونیم سولفات مصرف شده از بورت را به دقت قرائت و

یادداشت می‌کنیم. تمامی عملیات بالا را روی بیکرومات پتاسیم بدون خاک به عنوان شاهد انجام می‌دهیم و نهایتاً درصد ماده‌آلی را از کربن‌آلی بدست می‌آوریم.

### ۳-۸-۴- آهن قابل جذب

آهن قابل جذب در خاک با عصاره‌گیر DTPA استخراج و با دستگاه جذب اتمی قرائت شد به این طریق که مقدار ۵ گرم خاک را در داخل یک ارلن ریخته و ۱۰ سی‌سی محلول عصاره‌گیر DTPA (دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید) با غلظت ۰/۰۰۵ مول به آن اضافه گردید. سوسپانسیون حاصل را به مدت نیم ساعت شیک نموده و توسط کاغذ صافی عصاره زلالی از آن به دست آورده شد. پس از تنظیم دستگاه و کالیبراسیون استانداردها، میزان جذب را قرائت و غلظت آهن تعیین گردید (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲).

### ۳-۸-۵- هدایت الکتریکی

رسانایی الکتریکی در عصاره ۱:۲/۵ خاک به آب به وسیله دستگاه هدایت‌سنج Jenway اندازه‌گیری شد. با توجه به دمای عصاره‌ها در آزمایشگاه و مشخص کردن هدایت الکتریکی محلول استاندارد (KCL ۰/۱ نرمال) و دمای آن در محیط، هدایت الکتریکی نمونه‌ها در دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه گردید (رودآذر، ۱۹۹۶).

### ۳-۸-۶- اسیدیته خاک

pH خاک در سوسپانسیون ۱:۲/۵ خاک به آب با استفاده از الکتروود شیمیایی متصل به pH متر Jenway برای هر خاک اندازه‌گیری شد (توماس، ۱۹۹۶).

### ۳-۸-۷- تعیین بافت خاک

برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری که معمولترین روش در تعیین بافت خاک است که بر مبنای قانون استوکز استوار است، استفاده گردید. همچنین به دلیل استفاده از هیدرومتر بایکاس در آن، بدین نام خوانده می‌شود (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲).

تمامی آزمایش‌ها در آزمایشگاه بخش خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود انجام گردید که به طور خلاصه برخی شاخص‌های آماری مربوط به نمونه‌ها در جدول ۳-۳ آمده است.

جدول ۳-۳- پارامترهای آماری داده‌های استفاده شده

| پارامتر ورودی و خروجی | کمترین | بیشترین | میانگین | انحراف معیار |
|-----------------------|--------|---------|---------|--------------|
| pH                    | ۷/۴۳   | ۸/۸     | ۷/۹۳    | ۰/۲۷         |
| هدایت الکتریکی (ds/m) | ۲/۳۲   | ۳۲/۶    | ۱۵/۰۶   | ۵/۸۳         |
| ماده آلی (درصد)       | ۰/۰۳   | ۱/۱۴    | ۰/۳۸    | ۰/۲۵         |
| رس (درصد)             | ۴      | ۲۴      | ۱۳/۳۶   | ۴/۹۹         |
| میزان فسفر کل (ppm)   | ۲      | ۷/۸     | ۴/۵۲    | ۱/۵۵         |
| میزان نیتروژن (ppm)   | ۰/۰۱   | ۰/۰۷    | ۰/۰۲    | ۰/۰۱         |
| مقدار آهن (ppm)       | ۰/۷۶   | ۲/۶۷    | ۱/۱۵    | ۰/۲۹         |

### ۳-۹- مدل ریاضی شبکه عصبی مصنوعی

در شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز بلوک‌های ساختاری و یا نرون‌ها، دستگاه‌های محاسباتی خیلی ساده‌ای هستند و ارتباط بین نرون‌ها عملکرد شبکه را تعیین می‌کند و هدف از آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی تعیین ارتباط مناسب، جهت حل مسائل مختلف است. در واقع شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز با ایده گرفتن از رفتار شبکه عصبی بیولوژیکی شکل یافته است (منهاج، ۱۳۸۱).

شبکه عصبی تشکیل شده از چندین نرون عصبی است که به هنگام نیاز فعال شده و محاسبات روی آن انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر این نرون‌ها تشکیل شده از گره‌ها و پاره خط‌های جهت‌داری هستند که فرآیند حل مسئله در مسیر آن‌ها صورت می‌گیرد. گره‌هایی که در لایه ورودی هستند نرون‌هایی هستند که هیچ عملیاتی بر روی آنها صورت نمی‌گیرد و در محاسبه تعداد لایه‌ها نیز قرار نمی‌گیرند. گره‌های لایه خروجی نرون‌های پاسخ دهنده هستند که پاسخ حل مسئله در آن‌ها نمایان می‌شود. بین نرون‌های ورودی و خروجی نیز نرون‌های پنهان قرار دارند. برای حل یک مسئله با چندین ورودی و خروجی از یک نرون به تنهایی نمی‌توان استفاده کرد. در این حال باید از چندین نرون به صورت موازی بهره جست که بتوانند بردارهای ورودی را همزمان پردازش کنند و به بردار خروجی لایه آخر منتقل کنند.

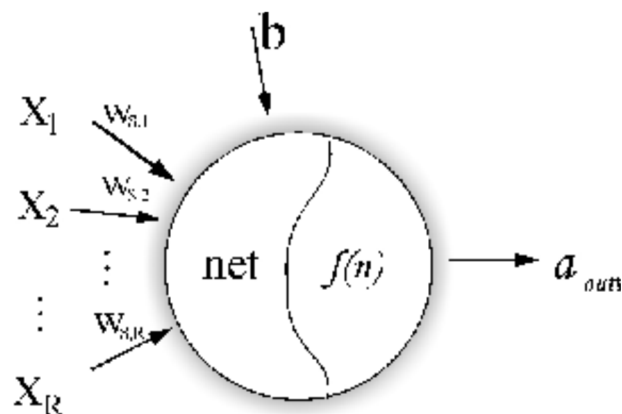
درون هر نرون یک وزن به خصوصی است که با اعمال آن به مقادیر ورودی به نرون روی آنان تاثیر گذاشته و بردارهای وزن‌دار را به توابع تحریک هدایت می‌کنند. ممکن است نیاز باشد یک بردار علاوه بر آن که وزن آن تغییر کند در فضای برداری جابجا شود که این عمل با اضافه کردن یک بایاس به ماتریس وزن‌دار صورت می‌گیرد. حال مقادیر وزن‌دار به توابع تحریک برده می‌شوند، تابع تحریک بر اساس نیاز خاص حل مسئله انتخاب می‌شود که در عمل تعداد محدودی از این توابع مورد استفاده قرار می‌گیرند. سپس تابع خروجی مقدار اصلی را به خود می‌گیرد و با توجه به اینکه آیا جواب مناسب بدست آمده است یا خیر این مقادیر با بردار هدف مقایسه می‌شوند و در صورت اختلاف با بردار هدف به عقب برگشت داده می‌شوند تا وزن‌های مناسب‌تری برای آن بردارها انتخاب گردد.

اگر چه نرون‌های بیولوژیکی از نرون‌های مصنوعی که توسط مدارهای الکتریکی ساخته می‌شوند، بسیار کندتر هستند (یک میلیون بار)، اما عملکرد مغز خیلی سریعتر از عملکرد یک کامپیوتر معمولی است. علت اصلی این پدیده بیشتر به خاطر ساختار کاملاً موازی نرون‌های عصبی مغز است و این بدان معنی است که همه نرون‌ها معمولاً به طور همزمان کار می‌کنند و پاسخ می‌دهند. شبکه‌های عصبی

مصنوعی با وجود اینکه با سیستم عصبی طبیعی قابل مقایسه نیستند، ویژگی‌هایی دارند که آنها را در بعضی از کاربردها مانند تفکیک الگو، رباتیک، کنترل و به طور کلی در هر جا که نیاز به یادگیری یک نگاشت خطی و یا غیرخطی باشد ممتاز می‌نماید (منهاج، ۱۳۸۱).

به بیان دیگر شبکه‌های عصبی مصنوعی، در واقع نوعی سیستم پردازش اطلاعات هستند که از تعمیم یافتن مدل‌های ریاضی شبکه‌های عصبی انسان بر مبنای فرضیات زیر توسعه یافته‌اند که در شکل ۳-۴، مدل ریاضی یک نرون نمایش داده شده است:

- ۱- داده‌پردازی در اجزای ساده‌ای به نام نرون صورت می‌گیرد.
- ۲- اطلاعات از طریق ارتباط بین نرون‌ها منتقل می‌شود.
- ۳- هر ارتباط دارای وزن مخصوص به خویش است.
- ۴- هر نرون برای محاسبه خروجی‌اش، یک تابع تحریک دارد که به مجموع وزن‌دار ورودی‌هایش اعمال می‌شود.
- ۵- خروجی هر پردازشگر (نرون) ممکن است به تعداد زیادی واحد پردازشگر دیگر منتقل شود (کاو و ایران‌منش، ۱۳۷۸).



شکل ۳-۴- مدل ریاضی یک نرون

این مدل ریاضی تعریف شده که مشابه دستگاه عصبی مغز کار می‌کند و ساختار یک شبکه عصبی مصنوعی را تشکیل می‌دهد.

### ۳-۱۰- آموزش شبکه‌های عصبی

#### ۳-۱۰-۱- آموزش با ناظر

معمولا برای آموزش شبکه مجموعه زوج نیروهای ورودی و خروجی به آن اعمال می‌شود. هر کدام از این دسته‌های ورودی و خروجی را می‌توان به صورت یک بردار در نظر گرفت. سپس شبکه با اعمال تنظیم وزن‌های شبکه آموزش می‌بیند. طی آموزش شبکه، وزن‌های شبکه به تدریج به مقادیری همگرا می‌شوند که به ازای آنها با اعمال یک بردار ورودی، بردار خروجی دلخواه تولید می‌گردد. این گونه آموزش را آموزش با ناظر می‌نامیم (منهاج، ۱۳۸۱).

#### ۳-۱۰-۲- آموزش بدون ناظر

در این نوع آموزش فقط بردارهای ورودی به شبکه داده می‌شود و جواب مطلوب بر شبکه اعمال نمی‌شود در این حالت شبکه رابطه بین ورودی‌ها را پیدا می‌کند و گروه‌بندی کرده در خروجی کد می‌کند. به علت سرعت قابل بوجهی که این نوع شبکه در هنگام آموزش نسبت به آموزش با ناظر دارند این شبکه‌ها را برای حل مسائل عملی متمایز کرده است (منهاج، ۱۳۸۱).

### ۳-۱۱- انواع شبکه عصبی

۱- پرسپترون چند لایه یا MLP

۲- شبکه‌های عصبی شعاعی یا RBF

۳- ماشین‌های بردار پشتیبان یا SVM

۴- نگاشت‌های خود سازمان‌دهنده یا SOM



۵- یادگیرنده رقمی ساز بردار یا LVQ

۶- شبکه عصبی هاپفیلد یا Hopfield

در این تحقیق از بین ۶ گونه شبکه عصبی، از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، به دلیل توانایی بالای آن برای دسته‌بندی و کلاس بندی و یافتن نگاشته‌های نامعلوم و کارایی بالای آن استفاده شده است (کاشی و همکاران، ۱۳۹۲).

### ۳-۱۲- پرسپترون چند لایه

یکی از ساده‌ترین و در عین حال کارآمدترین چیدمان‌های پیشنهادی برای استفاده در مدل‌سازی عصب‌های واقعی، مدل پرسپترون چندلایه<sup>۴</sup> می‌باشد که از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل یافته است. در شبکه‌های چند لایه، لایه‌ها به ترتیب به هم متصل می‌شوند به گونه‌ای که خروجی‌های لایه اول، ورودی‌های لایه دوم و به همین ترتیب تا آخر که خروجی‌های لایه آخر، خروجی‌های اصلی و پاسخ واقعی شبکه را تشکیل می‌دهند (نصری و همکاران، ۲۰۱۰).

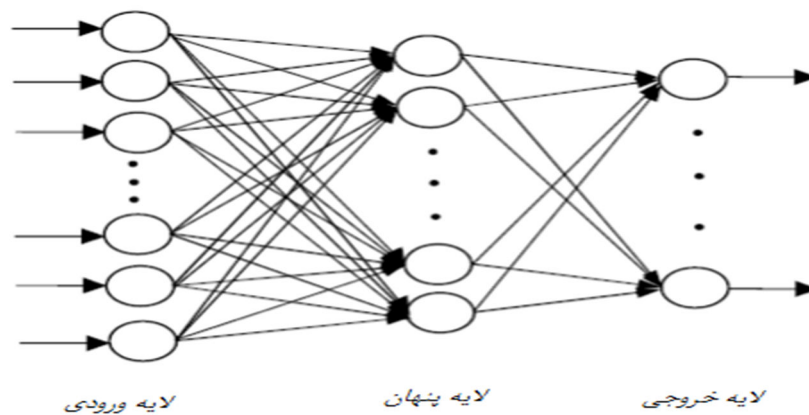
به عبارتی دیگر جریان سیگنال شبکه در یک مسیر پیش‌خور صورت می‌گیرد که از لایه ورودی شروع شده و به لایه خروجی ختم می‌گردد. عموماً در شبکه‌های چند لایه پرسپترون (MLP) دو نوع سیگنال استفاده می‌شود که با هم متفاوتند. دسته اول سیگنال‌های تابعی که بر اساس ورودی‌های هر نرون و پارامترهای وزن و تابع محرک نظیرش محاسبه می‌شوند و دسته دوم سیگنال‌های خطا که با برگشت از لایه خروجی و منشعب شدن به لایه‌های پنهان دیگر محاسبه می‌شوند.

تعداد نرون‌های لایه پنهان بستگی به نظر طراح شبکه دارد و با سعی و خطا بدست می‌آید. در صورت کافی نبودن تعداد نرون‌ها، شبکه قادر نخواهد بود نگاشت دقیقی بین بردارهای ورودی و خروجی ایجاد کند. در خروجی هر نرون از شبکه MLP یک تابع خطی قرار دارد و فرایند یادگیری در تمام نرون‌ها و لایه‌ها صورت می‌گیرد. همه وزن‌ها و بایاس‌هایی که در شبکه قرار دارند در طول

---

<sup>۴</sup> - Multi Layer Perceptron

فرایند یادگیری قابل تغییر هستند. شکل ۳-۵، اجزای تشکیل دهنده یک پرسپترون چندلایه را نشان می‌دهد (لیپمن، ۱۹۸۷).



شکل ۳-۵- اجزای تشکیل دهنده یک پرسپترون چندلایه

### ۳-۱۳- ساختار سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی (ANFIS)

برای بسیاری از کاربردهای سیستم‌های دینامیکی و غیرخطی، تئوری یا توابع خاصی ارائه نشده است که با دادن ورودی به آن، خروجی به دست آید. اما در عین حال مدل‌های غیرتئوریک انعطاف‌پذیری تحت عنوان مدل‌های محاسبات نرم<sup>۵</sup> جهت سیستم‌های غیرخطی ارائه گردیده است (آندرس و کورن، ۱۹۹۹). شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم‌های فازی نمونه‌هایی از مهم‌ترین مدل‌های محاسبات نرم می‌باشند که در علوم مختلف کاربرد وسیعی دارند. در چند سال اخیر سیستم‌های قدرتمندی تحت عنوان سیستم‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی<sup>۶</sup> در علوم مختلف به کار برده می‌شود.

این نوع سیستم‌ها با بهره‌گیری از قدرت آموزش شبکه‌های عصبی و مزیت زبانی سیستم‌های فازی توانسته است از مزایای این دو مدل در جهت تحلیل فرآیندهای پیچیده بسیار قدرتمند عمل کند.

<sup>۵</sup> - Soft Computing Models

<sup>۶</sup> - Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

امروزه سیستم‌های فازی برپایه شبکه عصبی تطبیقی یکی از روش‌های کارآمد در زمینه پیش‌بینی و مدل‌سازی می‌باشد (نایاک و همکاران، ۲۰۰۴).

برای سادگی کار فرض می‌کنیم که سیستم فازی ما دو ورودی  $x$  و  $y$  دارد و خروجی آن  $z$  است. حال اگر قوانین به صورت زیر باشند:

*Rule1: If  $x$  is  $A_1$  and  $y$  is  $B_1$ , then  $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$*

*Rule2: If  $x$  is  $A_2$  and  $y$  is  $B_2$ , then  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$*

و اگر برای غیرفازی سازی (تبدیل خروجی نهایی سیستم به یک عدد کلاسیک) از روش میانگین مراکز استفاده کنیم خروجی به صورت زیر خواهد بود:

$$f = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \quad st \quad \bar{w}_1 = \frac{w_1}{w_1 + w_2}, \quad \bar{w}_2 = \frac{w_2}{w_1 + w_2}$$

ساختار معادل ANFIS که از پنج لایه تشکیل شده است به صورت زیر خواهد بود (شکل ۳-۶):

لایه اول (گره‌های ورودی): در این لایه درجه عضویت گره‌های ورودی به بازه‌های مختلف فازی با استفاده از تابع عضویت، مشخص می‌گردد:

$$\begin{aligned} O_{1,i} &= \mu A_i(x), & \text{for } i &= 1,2 \\ O_{1,i} &= \mu B_i(y), & \text{for } i &= 3,4 \end{aligned}$$

لایه دوم (گره‌های قاعده): هر گره در این لایه درجه فعالیت یک قانون را محاسبه می‌کند:

$$O_{2,i} = w_i = \mu A_i(x) \times \mu B_i(y), \quad i = 1,2$$

لایه سوم: خروجی این لایه نرمالیزه شده لایه قبلی است :

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2$$

لایه چهارم (گره‌های نتیجه): در این لایه خروجی هر گره برابر است با :

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (P_i x + q_i y + r_i)$$

لایه پنجم: (گره‌های خروجی) در این لایه هر گره مقدار خروجی نهایی را به صورت زیر محاسبه می‌نماید (تعداد گره‌ها برابر تعداد خروجی‌هاست) :

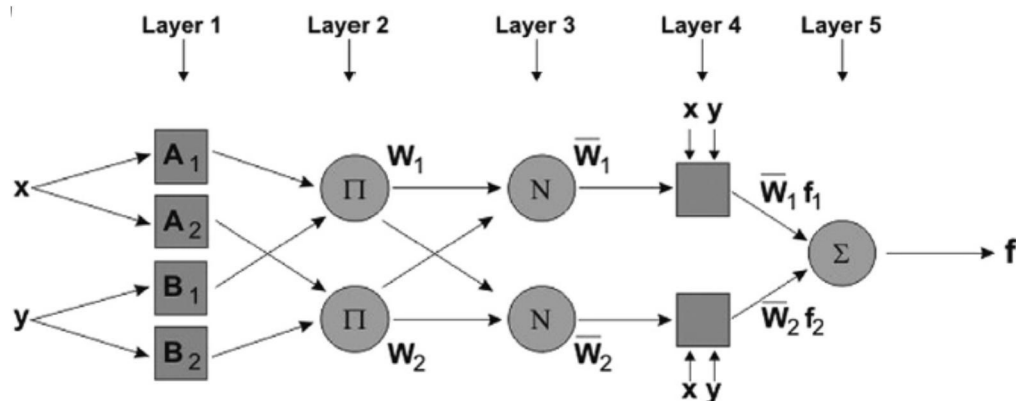
$$\text{Overall output} = O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i W_i f_i}{\sum_i W_i}$$

آموزش این سیستم‌ها به این مفهوم است که با استفاده از داده‌های آموزشی پارامترهای غیرخطی مربوط به توابع عضویت فازی در لایه اول و پارامترهای خطی لایه چهارم طوری تعیین شوند که به ازای ورودی دلخواه، خروجی مطلوب حاصل شود. روش آموزش هیبرید<sup>۷</sup> یکی از مهم‌ترین روش‌های آموزش سیستم‌های استنتاج فازی برپایه شبکه عصبی تطبیقی می‌باشد. در این روش جهت آموزش در لایه اول از روش پس انتشار خطا<sup>۸</sup> و در لایه چهارم سیستم از روش تخمین کمترین مربعات استفاده می‌شود (جانگ و سان، ۱۹۹۷).

---

<sup>۷</sup> - Hybrid learning

<sup>۸</sup> - Back propagation



شکل ۳-۶- ساختار مدل انفیس

### ۳-۱۴- روش تحقیق

بعد از جمع‌آوری داده‌های مورد نظر که در بخش منطقه مورد مطالعاتی به تفصیل شرح داده شد، با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و شبکه عصبی- فازی تطبیقی (ANFIS) به مدل‌سازی و پیش‌بینی عناصر نیتروژن، فسفر و آهن قابل جذب اقدام گردید. بدین منظور از پارامترهای زود یافت خاک مانند درصد رس، pH، EC و ماده آلی خاک که تاثیر به سزایی در عناصر مورد نظر داشته، از مجموع داده‌های مورد استفاده ۸۰ درصد آن برای آموزش مدل‌های طراحی شده و ۲۰ درصد مابقی برای صحت‌یابی آموزش یادگیری شده، اختصاص داده شدند. که از بین ۶۰ داده موجود، ۴۸ داده برای آموزش و ۱۲ داده برای تست به شبکه داده شد. به عنوان ورودی به مدل استفاده شد. با استفاده از ورودی‌های مذکور ساختار مختلفی از شبکه‌های ANN و ANFIS توسعه و از توابع مختلف نیز استفاده گردید. همچنین با استفاده از معیارهای آماری مانند ضریب تبیین<sup>۹</sup> ( $R^2$ )، میانگین قدر مطلق خطا<sup>۱۰</sup> (MAE) و ریشه میانگین قدر مطلق خطا<sup>۱۱</sup> (RMSE) که در زیر ارائه شدند، بهترین مدل انتخاب گردید. بر اساس بهترین مدل انتخاب شده پیش‌بینی عناصر دیر یافت خاک صورت پذیرفت.

<sup>۹</sup>- R squared

<sup>۱۰</sup>- Mean Absolute Error

<sup>۱۱</sup>- Root Mean Squared Error

۱-  $R^2$  که عبارتست از ضریب تبیین که دقت پیش‌بینی هر رابطه به این پارامتر بستگی دارد. بدین صورت که هر چه  $R^2$  به یک نزدیک‌تر باشد آن رابطه بهتر می‌تواند مقادیر عناصر دیریافت خاک را تخمین بزند.

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})(y_i - \bar{y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

۲- RMSE که عبارتست از متوسط مجذور مربعات خطا که در هر روش مقادیر محاسبه شده برای RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، دقت مدل مورد نظر در برآورد عناصر دیریافت خاک بالاتر است.

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{j=1}^n (\hat{y}_j - y_j)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

۳- متوسط قدرمطلق خطا MAE

این مقدار معرف خطاست که هرچه به صفر نزدیک باشد، دقت مدل مورد نظر در برآورد عناصر دیریافت خاک بالاتر است.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left| \hat{y}_j - y_j \right| \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

در روابط مذکور  $\hat{y}_i$  و  $\hat{y}$  مقادیر پیش‌بینی شده و  $\bar{y}$  و  $y_i$  مقادیر مشاهداتی،  $\bar{y}$  متوسط مقادیر مشاهداتی و  $n$  تعداد داده‌ها است (نصری و همکاران، ۲۰۰۶).

# فصل چہارم

## نتایج و بحث

این فصل شامل نتایج حاصل از مدل‌سازی عناصر دیریافت خاک شامل نیتروژن، فسفر و آهن خاک توسط پارامترهای ورودی مشابه برای هر دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی است و به دلیل مقایسه دو مدل مذکور پارامترهای ورودی مشابه در نظر گرفته شد و همچنین توسط نرم‌افزارهای QNET2000 و MATLAB2014 انجام گردید.

#### ۴-۱- داده‌های ورودی و خروجی

در هر دو مدل مورد استفاده برای اندازه‌گیری عناصر دیریافت خاک، پارامترهای ورودی به سیستم، شامل پارامترهای درصد رس، هدایت الکتریکی، اسیدیته خاک و همچنین میزان ماده آلی خاک بودند. که به منظور بررسی همبستگی پارامترهای ورودی با مقادیر عناصر نیتروژن، فسفر و آهن خاک از نرم‌افزار SPSS 22 استفاده شد و جداول همبستگی ۴-۱، ۴-۲ و ۴-۳ به دست آمد.

براساس نتایج بدست آمده از جداول ۴-۱ و ۴-۳ همبستگی برای عنصر نیتروژن و آهن خاک و پارامترهای خاک به عنوان داده‌های ورودی که قابل محاسبه‌اند نشان می‌دهد که بیشترین میزان همبستگی را ماده آلی و درصد رس با عنصر آهن و نیتروژن خاک دارد. به طوری که ماده آلی با ۸۹ درصد همبستگی با آهن و ۹۷ درصد همبستگی با نیتروژن، نشان از رابطه شدید این دو پارامتر با یکدیگر را دارد. میزان نیتروژن کل نیز خود تابعی از مواد آلی است.

همچنین میزان رس نیز با ظرفیت حمل یا تبادل بالای خود باعث جذب بیشتر فلزات می‌شود. همچنین جدول ۴-۲ نشان می‌دهد که فسفر بیشترین میزان همبستگی را با ماده آلی سپس با شوری خاک دارد که با نتایج دادگر و همکاران (۲۰۱۱) که بین فسفر قابل جذب به روش اولسن و بعضی از ویژگی‌های خاک منطقه آبسرد مثل اسیدیته خاک، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد گزارش کردند، همخوانی داشت.



جدول ۴-۱- همبستگی میان پارامترهای زودیافت خاک با میزان آهن خاک

| pH    | EC<br>(dSm <sup>-1</sup> ) | رس    | ماده آلی | آهن                        |
|-------|----------------------------|-------|----------|----------------------------|
| ۰/۷۶* | ۰/۷۱*                      | ۰/۸۴* | ۰/۸۹*    | ۱ آهن                      |
| ۰/۶۳  | ۰/۸۸                       | ۰/۷۳  | ۱        | ماده آلی<br>(درصد)         |
| ۰/۶۲  | ۰/۷۱                       | ۱     |          | رس (درصد)                  |
| ۰/۳۷  | ۱                          |       |          | EC<br>(dSm <sup>-1</sup> ) |
| ۱     |                            |       |          | pH                         |

جدول ۴-۲- همبستگی میان پارامترهای زودیافت خاک با میزان فسفر خاک

| pH    | EC<br>(dSm <sup>-1</sup> ) | رس    | ماده آلی | فسفر                       |
|-------|----------------------------|-------|----------|----------------------------|
| ۰/۶۱* | ۰/۶۸*                      | ۰/۶۳* | ۰/۷۷*    | ۱ فسفر                     |
| ۰/۶۳  | ۰/۸۸                       | ۰/۷۳  | ۱        | ماده آلی<br>(درصد)         |
| ۰/۶۲  | ۰/۷۱                       | ۱     |          | رس (درصد)                  |
| ۰/۳۷  | ۱                          |       |          | EC<br>(dSm <sup>-1</sup> ) |
| ۱     |                            |       |          | pH                         |

جدول ۳-۴- همبستگی میان پارامترهای زودیافت خاک با میزان نیتروژن خاک

| نیتروژن                    |   | ماده آلی | رس    | EC<br>(dSm <sup>-1</sup> ) | pH    |
|----------------------------|---|----------|-------|----------------------------|-------|
| نیتروژن                    | ۱ | ۰/۹۷**   | ۰/۸۶* | ۰/۷۵*                      | ۰/۸۱* |
| ماده آلی<br>(درصد)         | ۱ |          | ۰/۷۳  | ۰/۸۸                       | ۰/۶۳  |
| رس (درصد)                  |   |          | ۱     | ۰/۷۱                       | ۰/۶۲  |
| EC<br>(dSm <sup>-1</sup> ) |   |          |       | ۱                          | ۰/۳۷  |
| pH                         |   |          |       |                            | ۱     |

#### ۴-۲- اجرای شبکه پرسپترون (MLP) برای محاسبه عناصر نیتروژن، فسفر و آهن

برای شروع مدل‌سازی در شبکه عصبی اولین قدم انتخاب شبکه است که البته ساختارهای مختلف شبکه مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت شبکه MLP مورد استفاده قرار گرفت. همچنین کاربردی‌ترین نوع شبکه عصبی، شبکه‌های پرسپترون چند لایه می‌باشند (منهاج، ۱۳۸۱).

در این تحقیق برای ایجاد مدل شبکه عصبی از نرم افزار Qunet استفاده گردید. در این مرحله برای اجرای مدل از یک ساختار یا چهارچوب که دارای یک لایه ورودی به تعداد مشخص پارامتر ورودی یک لایه خروجی و تعداد متفاوت از لایه میانی یا لایه پنهان (از یک الی ۱۰) می‌باشد. آنالیز دقیق و واقعی برای پیدا کردن تعداد نرون‌های لایه میانی در کل بسیار پیچیده است اما می‌توان گفت که تعداد نرون‌های لایه مخفی تابعی از تعداد عناصر برداری ورودی و همچنین حداکثر تعداد نواحی از فضای ورودی که بطور خطی از هم جداپذیرند می‌باشد. از این رو تعداد نرون‌های لایه مخفی عموماً بطور

تجربی بدست می‌آید (لیپمن، ۱۹۸۷). پس از آن از تمامی توابع موجود در شبکه که شامل توابع انتقال سیگموئید، گوسین، تانژانت هایپربولیک، سکانت هایپربولیک بود، برای انتخاب نتایج بهترین تابع استفاده گردید.

بعد از انجام مدل‌سازی عناصر دیریافت خاک و تجزیه و تحلیل آماری آن‌ها، نتایج نشان داد که برای هر ۳ عنصر آهن، فسفر و نیتروژن بهترین ضریب تبیین نسبت به سایر توابع مربوط به تابع گوسین است که ۰/۷ برای مرحله آموزش و ۰/۶۴ برای مرحله صحت‌سنجی آهن و ۰/۷۸، ۰/۶۴ به ترتیب در مرحله آموزش و صحت‌سنجی برای فسفر و همچنین ۰/۹۳ در مرحله آموزش و ۰/۸۷ در مرحله تست برای نیتروژن بود.

جداول ۴-۴، ۴-۵ و ۴-۶ نشان دهنده نتایج حاصل از اجرای مدل MLP را با بهترین حالت تابع، برای تخمین عناصر دیریافت خاک توسط پارامترهای زودیافت خاک است. از آنجاییکه تعداد لایه های میانی و نوع تابع انتقال در آموزش و یادگیری شبکه عصبی مصنوعی تأثیر دارد، بنابراین مدل با ساختار مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

پس از تغییر در گره‌های لایه پنهان و تکرار حین آموزش شبکه این نتیجه حاصل شد که شبکه مورد استفاده با تعداد ۵ گره در لایه پنهان و تعداد تکرار تا ۱۰۰۰۰۰ بیشترین میزان دقت و کمترین میزان خطا را دارد. شکل‌های ۴-۱ تا ۴-۳ منحنی تغییرات RMSE را در لایه‌های پنهان مختلف برای نیتروژن، فسفر و آهن خاک را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های مربوطه، ملاحظه می‌شود که حداقل ریشه مربعات خطا در هر ۳ عنصر مورد مطالعه، مربوط به شبکه با ۵ نرون در لایه مخفی می‌باشد.

علاوه بر پارامتر ضریب تبیین ( $R^2$ ) که بیشترین مقدار را دارد، پارامترهای RMSE و MAE نیز مقادیر کمتری را در تابع گوسین نشان می‌دهند که نشان از کارایی بالای این تابع دارد. به طوری که هرچه میزان RMSE و MAE کمتر باشد دقت اندازه‌گیری داده‌ها بیشتر است. زیرا اتکا به پارامتر

ضریب تبیین برای بررسی قابلیت‌های مختلف هر شبکه و تابع کافی نبوده و نیاز به مطالعات گسترده‌تر آماری وجود دارد.

همچنین در شکل‌های ۴-۴ تا ۹-۴ نتایج حاصل از اجرای مدل MLP با تابع محرک گوسین برای پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای ۳ عنصر مورد نظر که بهترین عملکرد را به خود اختصاص داده، آورده شده است.

جدول ۴-۴- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه MLP برای پیش‌بینی نیتروژن خاک

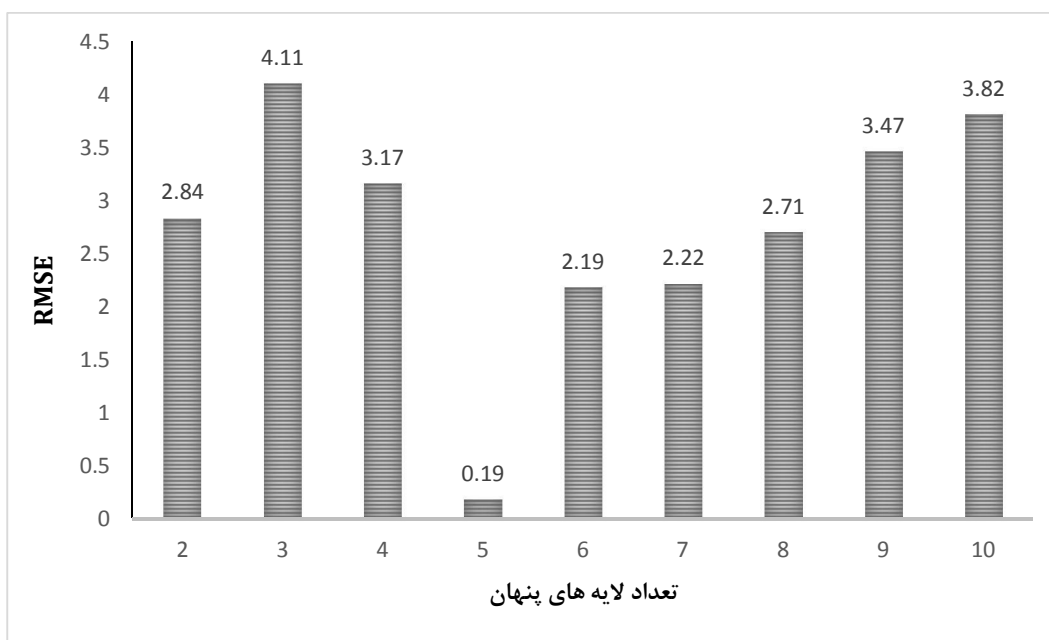
| عنصر پیش‌بینی شده | تابع محرک | تعداد لایه‌های پنهان | مرحله محاسباتی | $R^2$ | RMSE  | MAE   |
|-------------------|-----------|----------------------|----------------|-------|-------|-------|
| نیتروژن           | گوسین     | ۵                    | آموزش          | ۰/۹۳  | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۲ |
|                   |           |                      | صحت‌سنجی       | ۰/۸۷  | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۰۶ |

جدول ۴-۵- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه MLP برای پیش‌بینی فسفر خاک

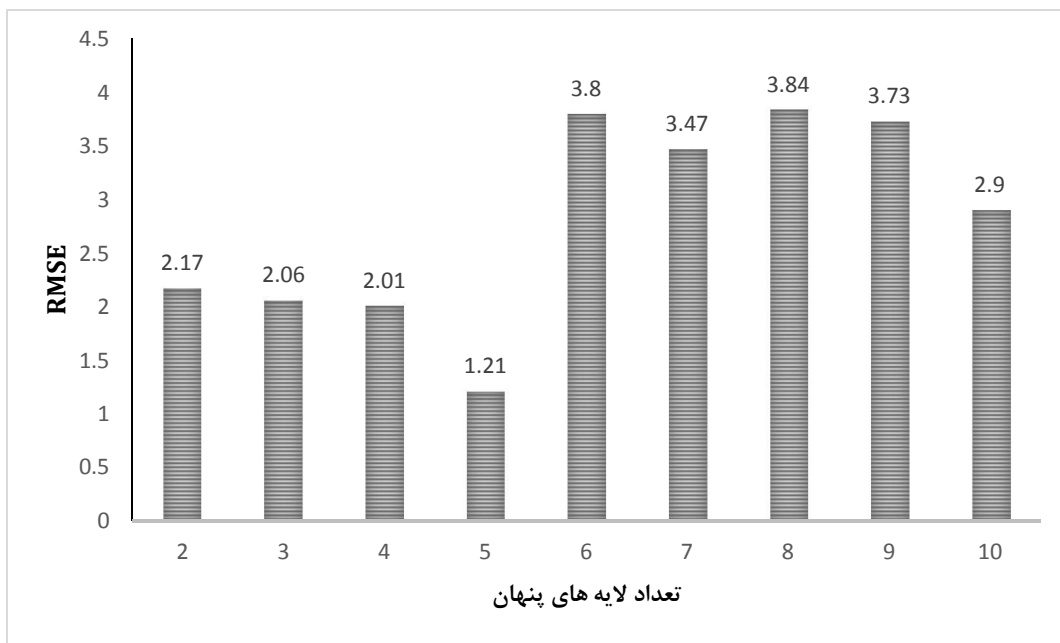
| عنصر پیش‌بینی شده | تابع محرک | تعداد لایه‌های پنهان | مرحله محاسباتی | $R^2$ | RMSE | MAE |
|-------------------|-----------|----------------------|----------------|-------|------|-----|
| فسفر              | گوسین     | ۵                    | آموزش          | ۰/۷۸  | ۰/۶۲ | ۰/۴ |
|                   |           |                      | صحت‌سنجی       | ۰/۶۴  | ۰/۸  | ۰/۶ |

جدول ۴-۶- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه MLP برای پیش‌بینی آهن خاک

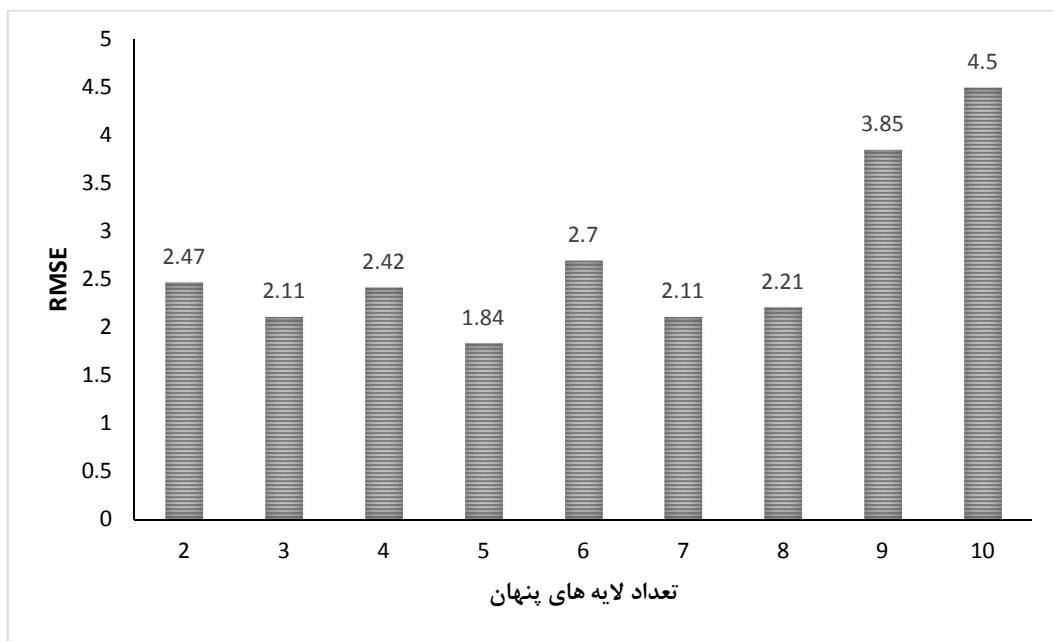
| عنصر پیش‌بینی شده | تابع محرک | تعداد لایه‌های پنهان | مرحله محاسباتی | $R^2$ | RMSE | MAE  |
|-------------------|-----------|----------------------|----------------|-------|------|------|
| آهن               | گوسین     | ۵                    | آموزش          | ۰/۷   | ۰/۱  | ۰/۰۷ |
|                   |           | ۵                    | صحت‌سنجی       | ۰/۶۴  | ۰/۳  | ۰/۱۷ |



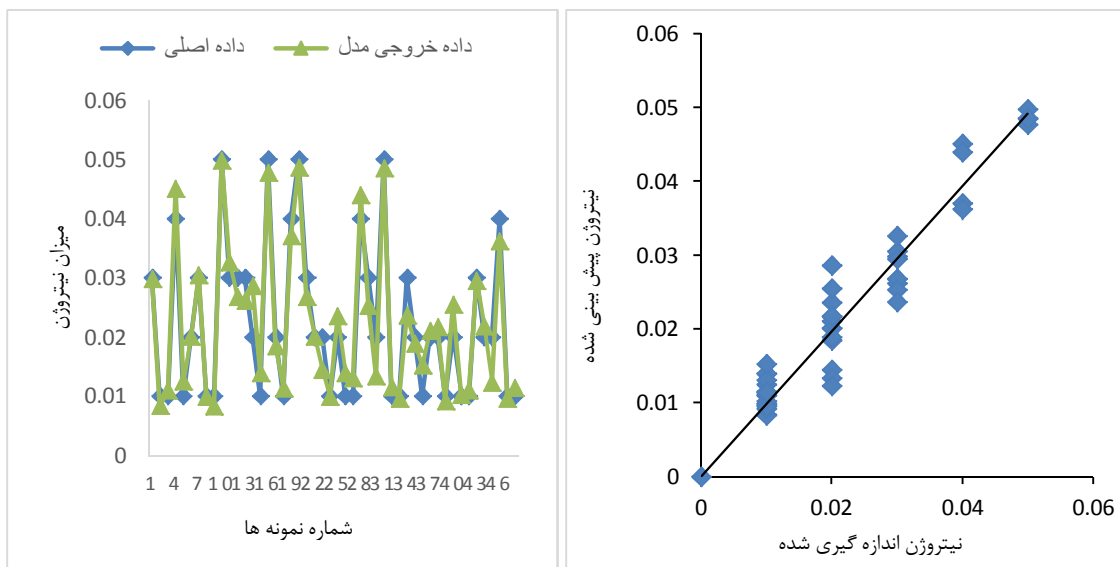
شکل ۴-۱- مقادیر RMSE لایه‌های پنهان متفاوت برای عنصر نیتروژن خاک



شکل ۴-۲- مقادیر RMSE لایه‌های پنهان متفاوت برای عنصر فسفر خاک

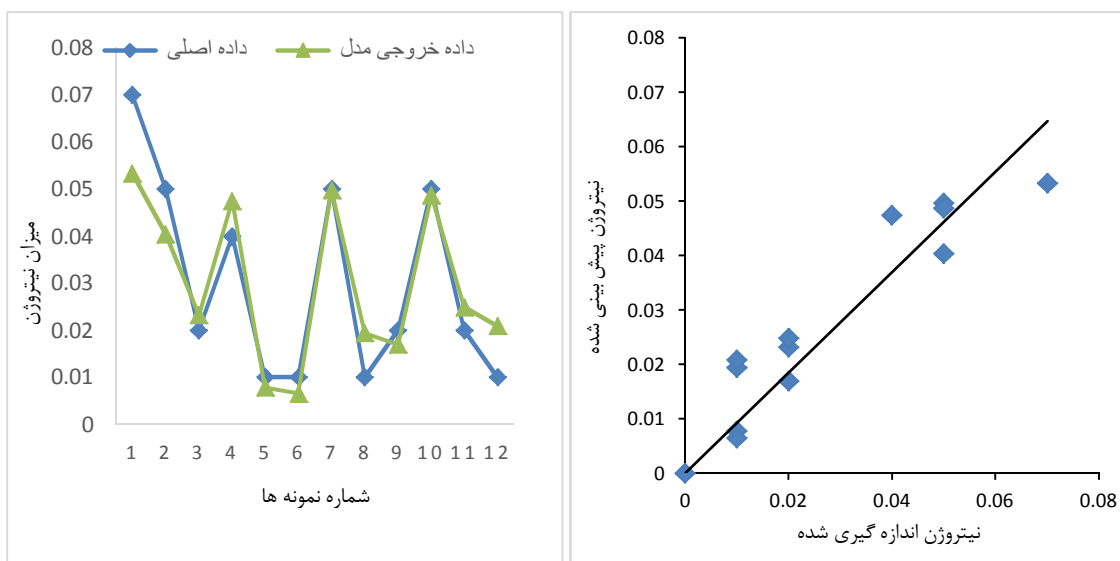


شکل ۴-۳- مقادیر RMSE لایه‌های پنهان متفاوت برای عنصر آهن خاک



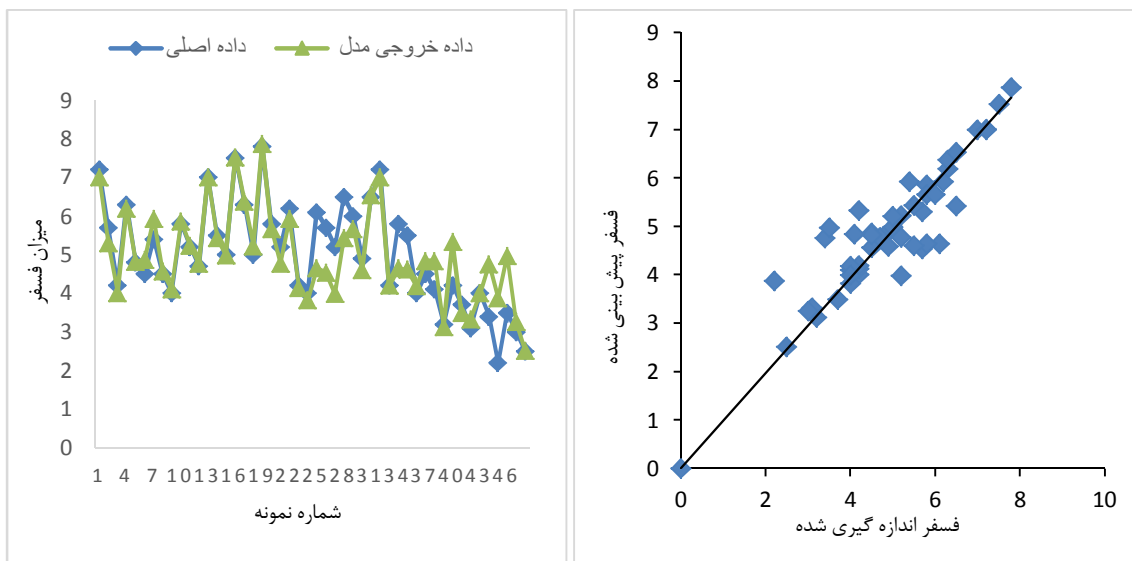
شکل ۴-۴- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش نیتروژن توسط مدل

MLP

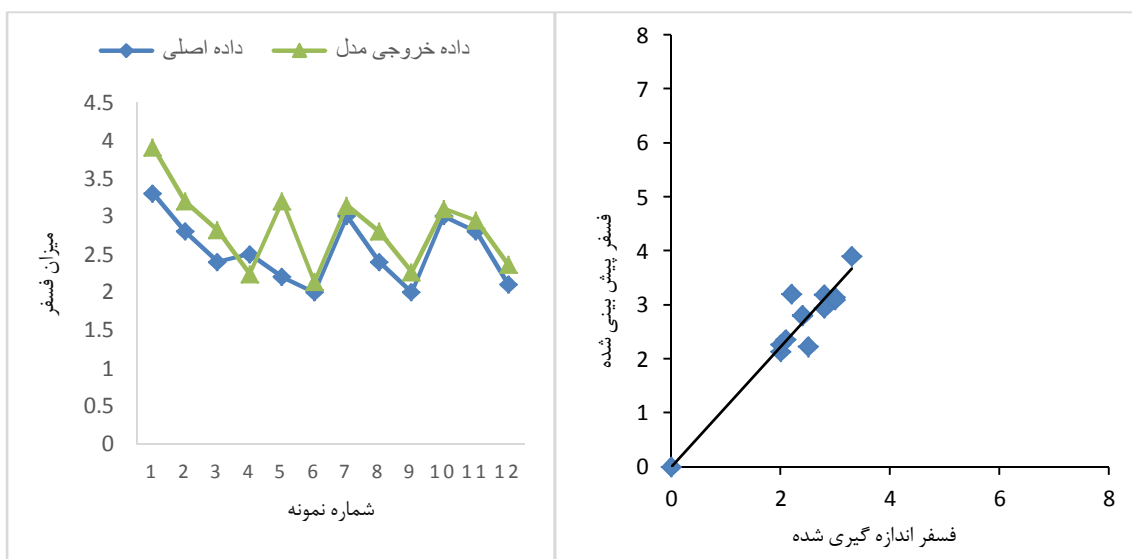


شکل ۴-۵- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی نیتروژن توسط مدل

MLP

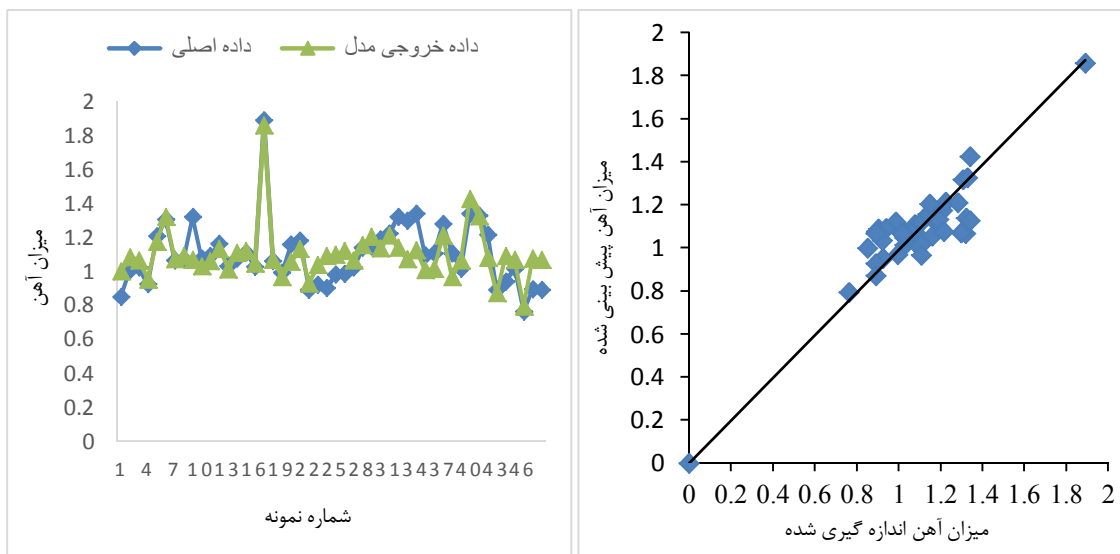


شکل ۴-۶- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش فسفر توسط مدل MLP

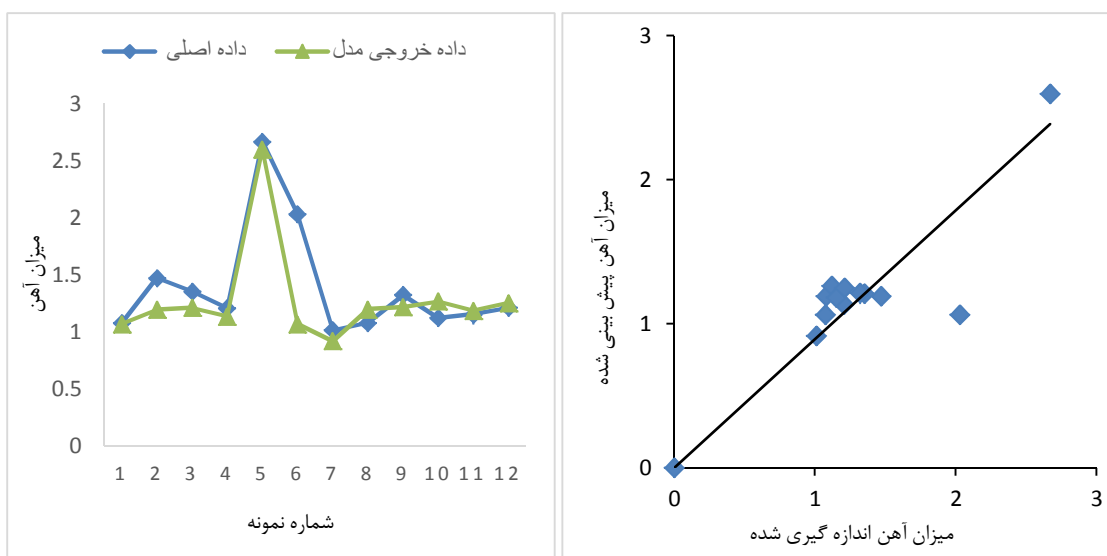


شکل ۴-۷- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی فسفر توسط مدل MLP





شکل ۴-۸- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش آهن توسط مدل MLP



شکل ۴-۹- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی آهن توسط مدل MLP

#### ۴-۳- آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای ورودی به مدل شبکه عصبی مصنوعی

همیشه در بیشتر تحقیق‌های کمی و کیفی پیدا کردن مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار یکی از دغدغه‌های پژوهشگران بوده است. به این دلیل که حذف پارامترهای با تاثیر کم، می‌تواند پیچیدگی روابط بین متغیرها را کاهش دهد. در این خصوص متغیر وابسته فقط تحت تاثیر یک متغیر مستقل قرار ندارند بلکه تعداد زیادی متغیرهای شناخته شده و شناخته نشده‌ای وجود دارند که متغیر وابسته را تحت تاثیر قرار می‌دهند که این متغیرها نیز ممکن است خودشان تحت تاثیر یک دسته از متغیرهای دیگر باشند. بنابراین تشخیص اینکه کدام متغیر می‌تواند تاثیر بیشتری بر متغیر وابسته بگذارد چالش برانگیز می‌شود.

روش‌های مختلفی تحت نام آنالیز حساسیت برای استخراج قوانین حاکم بر مدل هدف به کار برده می‌شوند. در این جا برای تعیین همبستگی هر یک از پارامترهای ورودی با مقدار عناصر نیتروژن، فسفر و آهن خاک تخمین زده شده از آنالیز حساسیت استفاده شده است. برای شبکه عصبی MLP انجام آنالیز حساسیت از نتایج حاصل از مدل مصنوعی که به تخمین عناصر دیرپافت خاک می‌پردازد استفاده گردید. با انجام آنالیز حساسیت می‌توان نقش هر یک از پارامترها را لحاظ کرده و قدرت آن‌ها را محاسبه کرد. تعیین تاثیرگذارترین پارامترها در مقدار عناصر نیتروژن، فسفر و آهن خاک تخمین زده شده نیز با انجام این محاسبه امکان پذیر می‌شود.

نتایج آنالیز حساسیت خاک در شکل‌های ۴-۱۰ تا ۴-۱۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز حساسیت، در پیش‌بینی میزان عناصر دیرپافت خاک هر چهار پارامتر ورودی بر روی عناصر نیتروژن، فسفر و آهن خاک تاثیرگذار است ولی از بین آن‌ها ماده آلی پارامتر مهم و اصلی به شمار می‌آید به گونه‌ای که بیشترین تاثیر را دارا می‌باشد. تجزیه تدریجی مواد آلی سبب افزایش راندمان عناصر غذایی و ماندگار شدن اثر این ترکیبات تا چندین سال بر خصوصیات خاک و عملکرد گیاهان می‌گردد (انون، ۱۹۸۲). همچنین مواد آلی به علت داشتن گروه‌های عامل مختلف از

جمله کربوکسیلی، فنلی وهیدروکسی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش داده و سبب می‌گردد که عناصر غذایی در خاک بهتر نگهداری شوند و گیاه دسترسی بیشتری به آنها داشته باشد از طرف دیگر مواد آلی در اثر معدنی شدن مقدار قابل توجهی از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف را در خاک آزاد نموده و به تغذیه متعادل گیاه کمک زیادی می‌کند(چراتی و همکاران، ۱۳۸۸).

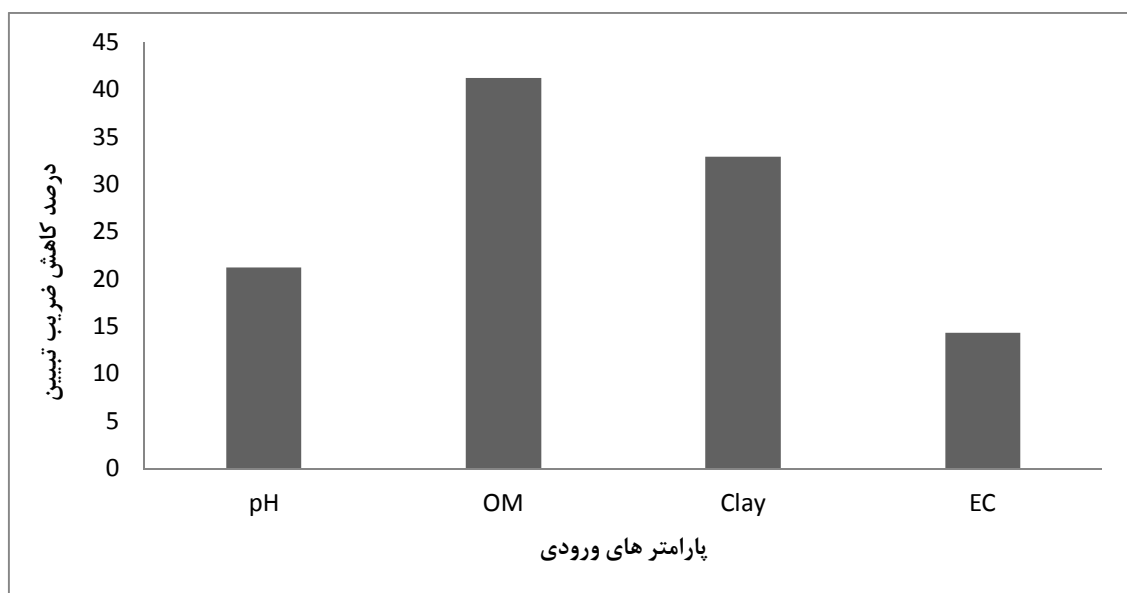
در مورد میزان رس باید خاطر نشان کرد که هرچه سطح تبادل خاک بیشتر باشد میزان جذب عناصر نیز بیشتر می‌شود. پس طبیعی است که یک همبستگی قوی بین میزان عناصر و پارامترهای مهمی که بیان شده وجود داشته باشد. میزان نیتروژن نیز خود تابعی از مواد آلی است و تاثیرگذاری آن وابسته به مواد آلی است. فقر شدید آهن در بسیاری از خاک‌های کشاورزی دنیا و ایران گزارش شده و مقدار قابل استفاده آهن در اغلب خاک‌ها، به ویژه خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، به دلیل pH بالا در صد بالای آهک و کمبود ماده آلی خاک در حد پایینی قرار دارد.

کاباتا پندیاس (۲۰۰۱) گزارش کرد که در pH های قلیایی با افزایش مواد آلی به خاک، آهن با کربن آلی محلول تشکیل کمپلکس‌هایی می‌دهد و قابلیت جذب و حرکت آن در خاک افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات تقی‌زاده اصل و همکاران (۲۰۰۹) در خاک‌های جنوب گرگان- رود نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین فسفر اندازه‌گیری شده با روش اولسن و بعضی از ویژگی‌های خاک از جمله ماده آلی، کربنات وجود دارد.

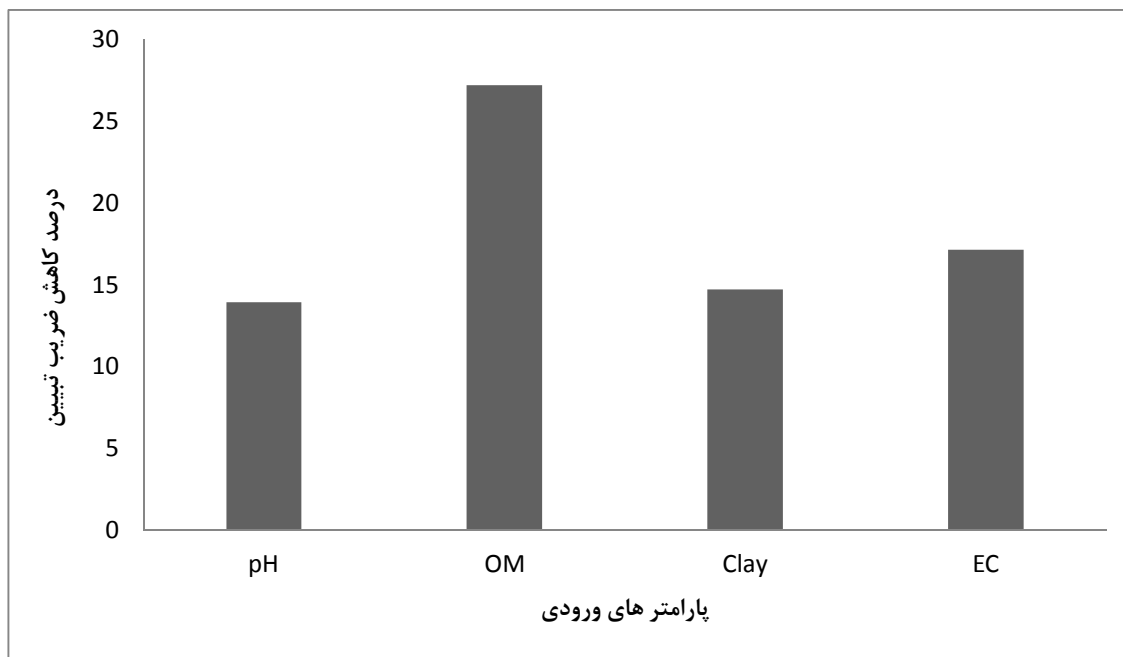
دلگادو و همکاران (۲۰۰۲) تاثیر مثبت مواد آلی بر افزایش فراهمی فسفر را گزارش کردند. ایشان اظهار داشتند که مواد آلی می‌توانند به عنوان پیوند دهنده فسفر در محل‌های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر و تشکیل ترکیبات فسفات آلی عمل نمایند که در تمامی این حالات، قابلیت استفاده فسفر برای گیاه افزایش یافته و آزادسازی تدریجی فسفر در محلول خاک وجود خواهد داشت.

برترند و همکاران (۲۰۰۳) بین نمایه فسفر قابل جذب با مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی در چند سطح کودی مورد آزمایش، رابطه معنی‌داری یافتند، اما در مطالعه این پژوهشگران، مقدار فسفر با کربنات کلسیم و مواد آلی رابطه‌ای نداشت. همچنین این نتایج با پژوهش‌های کشاورزی و همکاران (۱۳۹۵) که مدل‌سازی و تخمین فسفر قابل جذب خاک را با استفاده از برخی ویژگی‌های زودیافت خاک (رس، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل و اسیدپته خاک) که توسط همبستگی استخراج گردیده بود، پیش‌بینی و توجیه نمودند، مطابقت داشت.

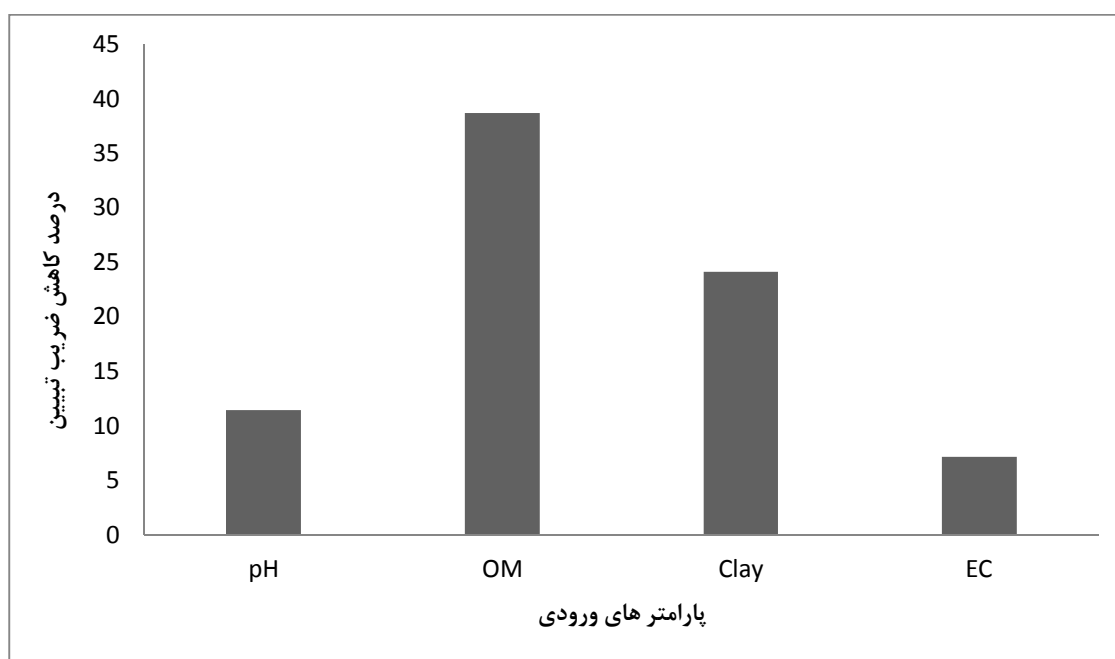
همچنین نتایج همبستگی شدید نیتروژن با ماده آلی، با نتایج بازوبندی و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی دارد به این طریق که نیتروژن کل خاک را با استفاده از ۷ خصوصیات خاک پیش‌بینی کردند و در آخر دریافتند که بافت و مقدار ماده آلی خاک مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر نیتروژن کل خاک در منطقه می‌باشند. همچنین طبق تحقیقات جلالی و همکاران (۱۳۸۶) معمولاً در خاک‌های شور افزون برتنش شوری، کمبود نیتروژن نیز وجود دارد. بنابراین دانستن پاسخ گیاه به هریک از عوامل محدود کننده رشد و نیز اثر متقابل این عوامل ضروری است.



شکل ۴-۱۰- آنالیز حساسیت سهم لایه‌های ورودی در تخمین میزان نیتروژن خاک



شکل ۴-۱۱- آنالیز حساسیت سهم لایه‌های ورودی در تخمین میزان فسفر خاک



شکل ۴-۱۲- آنالیز حساسیت سهم لایه‌های ورودی در تخمین میزان آهن خاک

#### ۴-۴- اجرای مدل سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی برای پیش‌بینی عناصر

##### نیتروژن، فسفر و آهن خاک

اجرای مدل سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی توسط نرم‌افزار متلب ۲۰۱۴ انجام گردید و برای اینکه بتوان برتری دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی را برای پیش‌بینی عناصر دیریافت خاک تعیین کرد، پارامترهای ورودی به هر دو نوع مدل یکسان در نظر گرفته شد. در سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی، ابتدا ساختار مدل با مشخصه‌های مشخص، که متناسب با ورودی‌ها، درجه عضویت و قوانین و توابع درجه عضویت خروجی است، انتخاب می‌شود.

قبل از شروع آموزش سیستم ANFIS، باید داده‌ها به دو دسته آموزشی و آزمون تقسیم شوند. در این روش متغیرها به صورت فازی وارد شبکه می‌شوند. برای فازی نمودن متغیرهای ورودی از توابع عضویت  $\text{trimf}$ ,  $\text{trapmf}$ ,  $\text{gbellmf}$ ,  $\text{gaussmf}$ ,  $\text{gaussmf}$ ,  $\text{pimf}$ ,  $\text{dsigmf}$ ,  $\text{psigmf}$  و برای خروجی از دو تابع  $\text{Linear}$  و  $\text{Constant}$  با دو حالت بهینه‌سازی الگوریتم پس انتشار و ترکیبی استفاده شد و سپس آزمون گردیدند.

برای کاهش میزان خطا، تکرارهای مختلف بین ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ برای آموزش ترکیبی و ۵۰۰۰ حالت پس‌انتشار در نظر گرفته شد. سپس به منظور ارزیابی نتایج پیش‌بینی عناصر دیریافت خاک، از معیارهای ضریب تبیین ( $R^2$ ) (رابطه ۳-۱)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) (رابطه ۳-۲) و میانگین خطای مطلق (MAE) (رابطه ۳-۳) استفاده گردید.

در مدل انفیس تمامی توابع و الگوریتم‌ها آزموده شدند که نتایج حاصل از بهترین تابع محرک و روش یادگیری مدل سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی برای پیش‌بینی عناصر نیتروژن، فسفر و آهن خاک در جداول ۴-۷ تا ۴-۹ آورده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل ANFIS با داشتن ضریب تبیین ۰/۹۸، ۰/۷۱ به ترتیب در مرحله آموزش و صحت‌سنجی برای نیتروژن با تابع عضویت

Trap، ۰/۹۸، ۰/۶۲ برای فسفر با تابع عضویت Tri و ۰/۸۵، ۰/۶۰ برای آهن خاک با تابع عضویت gauss2، بهترین حالت را نسبت به دیگر توابع دارد. همچنین پارامترهای RMSE و MAE نیز مقادیر کمتری را در توابع مذکور برای هر ۳ عنصر نشان می‌دهند.

شکل‌های ۴-۱۳ تا ۴-۱۸ پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای عناصر نیتروژن، فسفر و آهن خاک را برای مدل ANFIS نشان می‌دهد.

جدول ۴-۷- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه ANFIS برای پیش‌بینی نیتروژن خاک

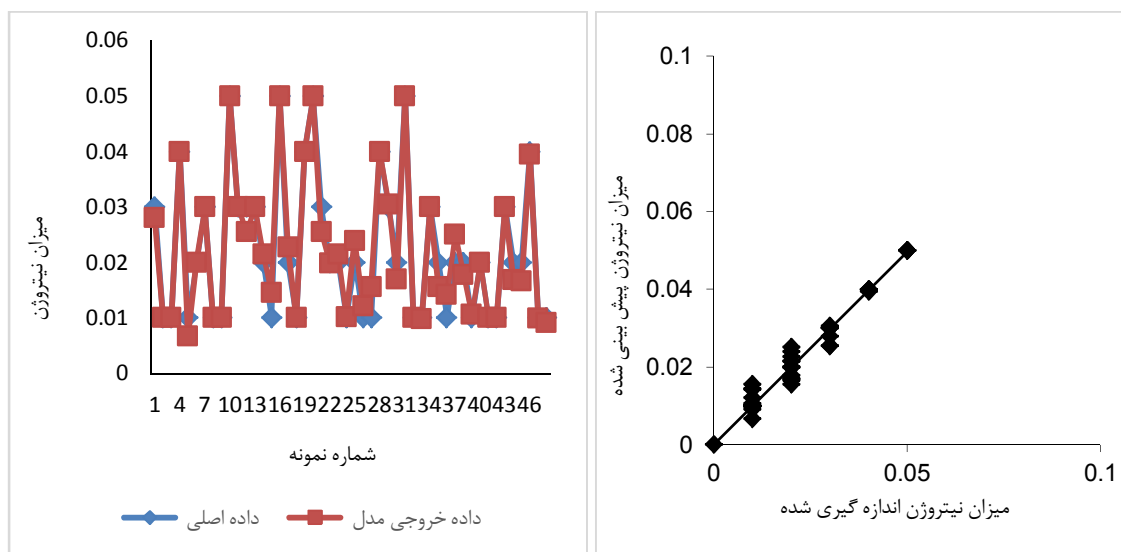
| عنصر پیش‌بینی شده | تابع عضویت لایه میانی | تابع عضویت لایه خروجی | روش یادگیری | مرحله محاسباتی | R <sup>2</sup> | RMSE  | MAE   |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|----------------|----------------|-------|-------|
| نیتروژن           | Trap                  | constant              | ترکیبی      | آموزش          | ۰/۹۸           | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۲ |
|                   |                       |                       |             | صحت‌سنجی       | ۰/۷۱           | ۰/۰۱  | ۰/۰۱  |

جدول ۴-۸- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه ANFIS برای پیش‌بینی فسفر خاک

| عنصر پیش‌بینی شده | تابع عضویت لایه میانی | تابع عضویت لایه خروجی | روش یادگیری | مرحله محاسباتی | R <sup>2</sup> | RMSE | MAE  |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|----------------|----------------|------|------|
| فسفر              | Tri                   | Linear                | ترکیبی      | آموزش          | ۰/۹۸           | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ |
|                   |                       |                       |             | صحت‌سنجی       | ۰/۶۲           | ۰/۹  | ۰/۸  |

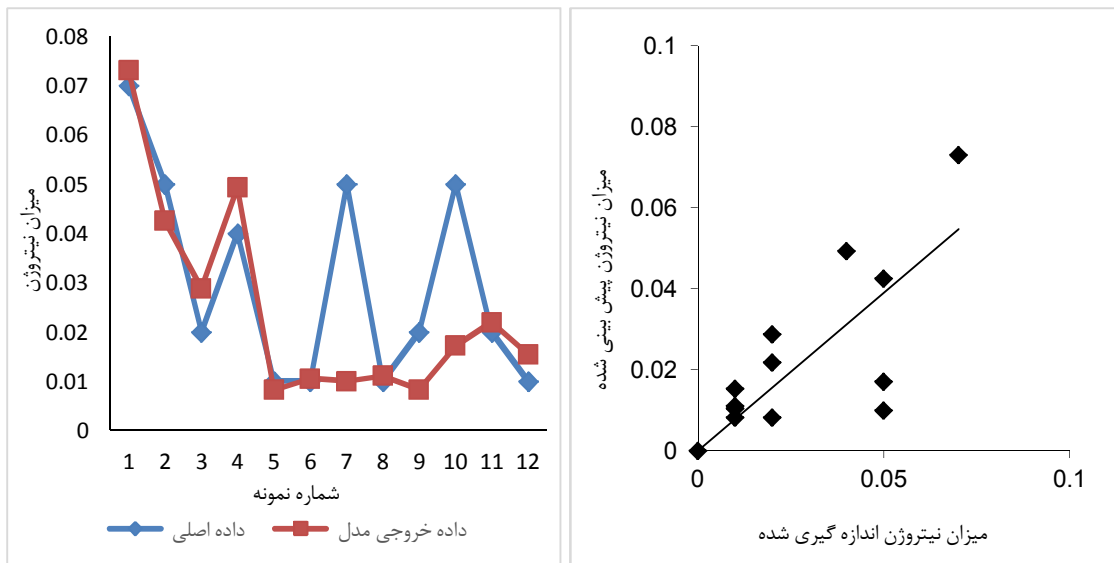
جدول ۴-۹- نتایج حاصل از اجرای بهترین تابع شبکه ANFIS برای پیش‌بینی آهن خاک

| عنصر<br>پیش‌بینی<br>شده | تابع عضویت<br>لایه میانی | تابع عضویت<br>لایه خروجی | روش<br>یادگیری | مرحله<br>محاسباتی | R <sup>2</sup> | RMSE | MAE  |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|-------------------|----------------|------|------|
| آهن                     | gauss2                   | constant                 | پس‌انتشار      | آموزش             | ۰/۸۵           | ۰/۰۹ | ۰/۰۷ |
|                         |                          |                          |                | صحت‌سنجی          | ۰/۶            | ۰/۶۷ | ۰/۴۸ |

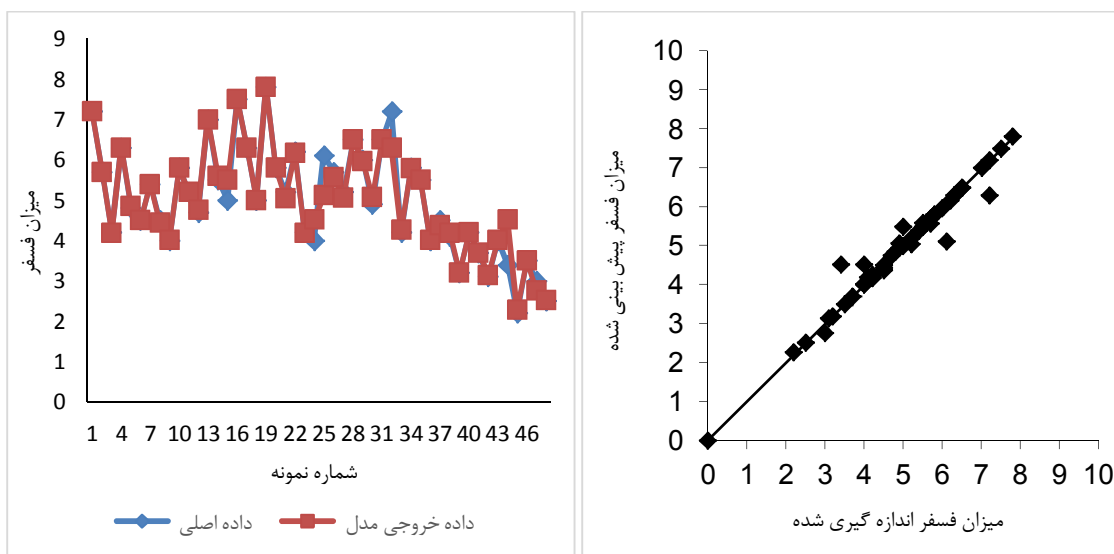


شکل ۴-۱۳- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش نیتروژن توسط مدل ANFIS

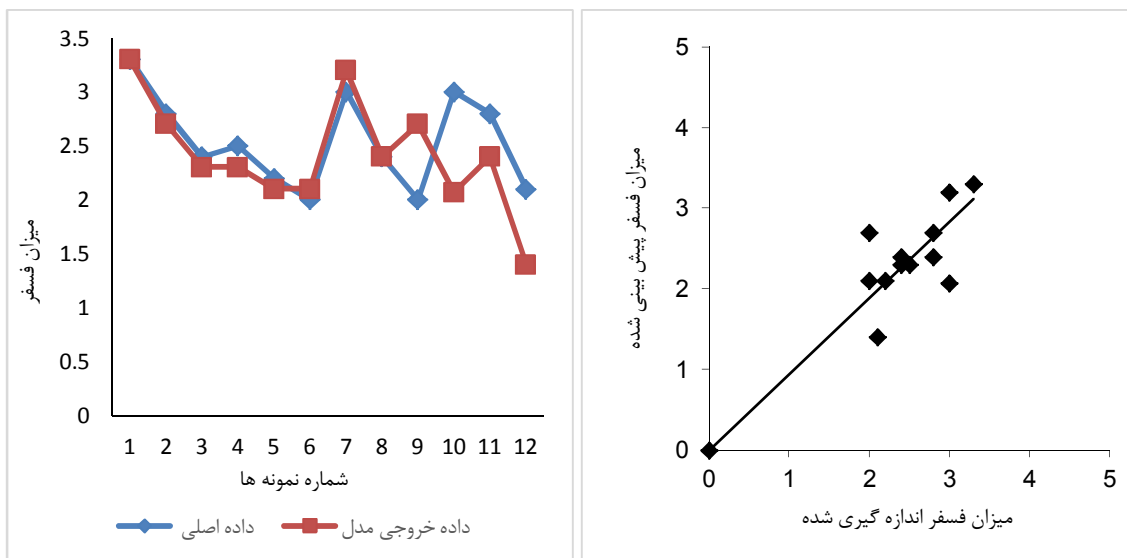




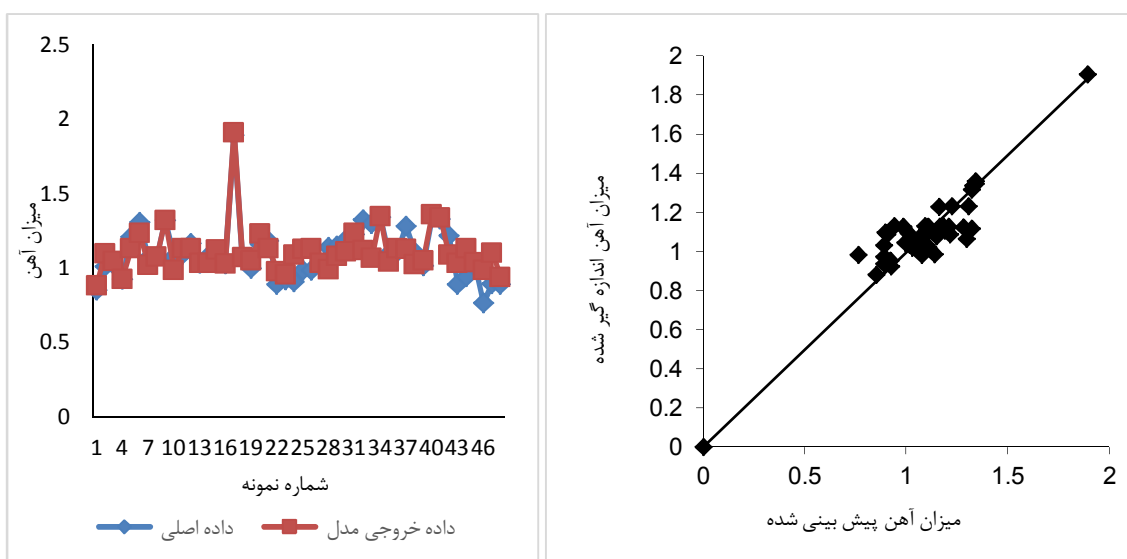
شکل ۴-۱۴- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی نیتروژن توسط مدل ANFIS



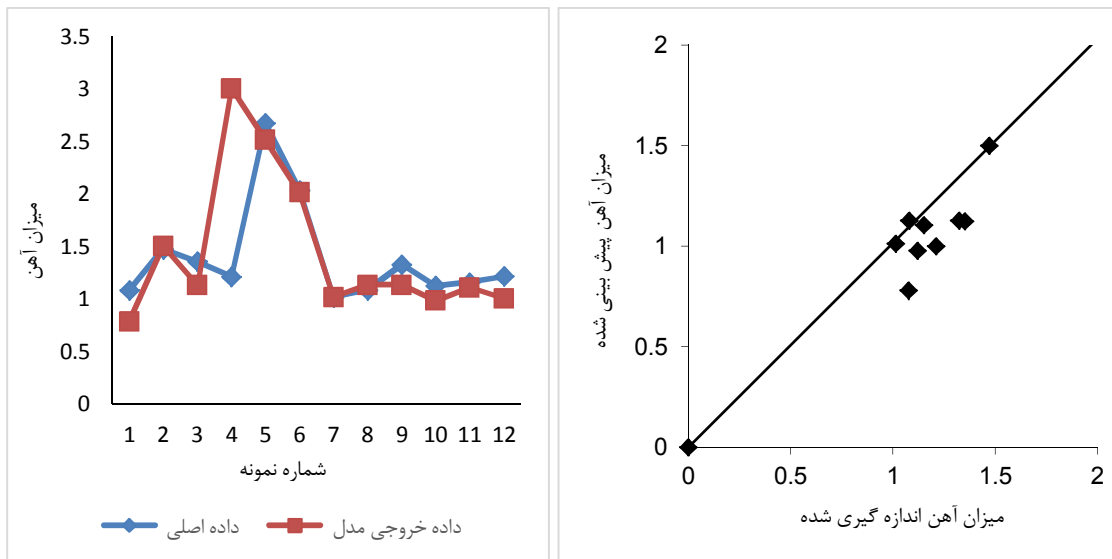
شکل ۴-۱۵- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش فسفر توسط مدل ANFIS



شکل ۴-۱۶- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی فسفر توسط مدل ANFIS



شکل ۴-۱۷- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله آموزش آهن توسط مدل ANFIS



شکل ۴-۱۸- نمودار پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مرحله صحت‌سنجی آهن توسط مدل ANFIS

#### ۴-۵- مقایسه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج تطبیقی

##### عصبی فازی

نتایج حاصل از مقایسه دو مدل مورد استفاده در جدول ۴-۱۰ آورده شده است. طبق جدول مذکور مشاهده می‌شود که مدل MLP با داشتن ضریب تبیین ۰/۹۳، ۰/۸۷ به ترتیب در مرحله آموزش و صحت‌سنجی برای نیتروژن، ۰/۷۸، ۰/۶۴ برای فسفر و ۰/۷، ۰/۶۴ برای خاک نسبت به مدل ANFIS با داشتن ضریب تبیین (۰/۹۸، ۰/۹۸ و ۰/۸۵) و (۰/۷۱، ۰/۶۲ و ۰/۶۰) به ترتیب برای نیتروژن، فسفر و آهن خاک و در مراحل آموزش و صحت‌سنجی بهترین کارایی را دارد. همچنین شبکه عصبی فازی قوی‌تری را نسبت به شبکه ANFIS ارائه کرده است. این به این منظور است که میزان  $R^2$ ، MAE و RMSE برای هر سه عنصر نیتروژن، فسفر و آهن مقادیر بالاتری نسبت به شبکه ANFIS در حالت صحت‌سنجی دارد.

اگرچه مدل سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی در مرحله آموزش بهتر از مدل شبکه عصبی عمل کرده است، اما در مرحله صحت‌سنجی به طور معنی‌داری ضعیف‌تر بود. علاوه بر ضریب تبیین که

مقادیر کمتری را نسبت به مدل شبکه عصبی در مرحله تست دارد، پارامترهای متوسط مجذور مربعات خطا و متوسط قدرمطلق خطا نیز مقادیرشان کمتر بود که نشان از کارایی پایین تر این مدل در مرحله صحت سنجی نسبت به شبکه عصبی مصنوعی دارد.

جدول ۴-۱۰- نتایج حاصل از اجرای مدل های شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی

| مدل   | عنصر<br>پیش بینی<br>شده | روش<br>یادگیری | R <sup>2</sup> | RMSE  | MAE   |
|-------|-------------------------|----------------|----------------|-------|-------|
| MLP   | نیتروزن                 | آموزش          | ۰/۹۳           | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۲ |
|       |                         | صحت سنجی       | ۰/۸۷           | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۰۶ |
|       | فسفر                    | آموزش          | ۰/۷۸           | ۰/۶۲  | ۰/۴   |
|       |                         | صحت سنجی       | ۰/۶۴           | ۰/۸   | ۰/۵   |
|       | آهن                     | آموزش          | ۰/۷            | ۰/۱   | ۰/۰۷  |
|       |                         | صحت سنجی       | ۰/۶۴           | ۰/۳   | ۰/۱۷  |
| ANFIS | نیتروزن                 | آموزش          | ۰/۹۸           | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۲ |
|       |                         | صحت سنجی       | ۰/۷۱           | ۰/۰۱  | ۰/۰۱  |
|       | فسفر                    | آموزش          | ۰/۹۸           | ۰/۰۲  | ۰/۰۱  |
|       |                         | صحت سنجی       | ۰/۶۲           | ۰/۹   | ۰/۸   |
|       | آهن                     | آموزش          | ۰/۸۵           | ۰/۰۹  | ۰/۰۷  |
|       |                         | صحت سنجی       | ۰/۶            | ۰/۶۷  | ۰/۴۸  |

# فصل پنجم

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تلاش‌های زیادی برای شناسایی روابط احتمالی بین خصوصیات دیریافت خاک با سایر ویژگی‌های خاک صورت گرفته است. این تلاش‌ها منجر به توابع انتقالی در خاک‌شناسی شده‌اند. توابع انتقالی خاک توابع برآورد کننده خصوصیات دیریافت خاک از خصوصیات زودیافت خاک می‌باشند.

## ۵-۱- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از همبستگی بین پارامترهای خاک و عناصر پیش‌بینی شونده برای اهمیت متغیرها در هر دو مدل مورد استفاده نشان داد که ماده آلی بیشترین مشارکت را در پیش‌بینی نیتروژن، فسفر و آهن قابل جذب در منطقه مورد مطالعه داراست و درصد رس برای نیتروژن و آهن و هدایت الکتریکی برای فسفر در درجه دوم اهمیت قرار دارند. هر چند وجود همبستگی بین برخی ویژگی‌های زودیافت خاک، قابلیت استفاده از آن‌ها را به عنوان متغیرهای موثر در پیش‌بینی عناصر مذکور خاک به اثبات می‌رساند، اما در بهترین حالت، این نکته را باید در نظر گرفت که عوامل دیگری نیز در فرآیند تشکیل و تکامل خاک نقش دارند، از اینرو نمی‌توان انتظار داشت که بتوان همه تغییرات را از این طریق پیش‌بینی نمود.

شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با داشتن ضریب تبیین  $0.93$ ،  $0.87$  به ترتیب در مرحله آموزش و صحت‌سنجی برای نیتروژن،  $0.78$ ،  $0.64$  برای فسفر و  $0.7$ ،  $0.64$  برای آهن خاک نسبت به مدل ANFIS با داشتن ضریب تبیین  $(0.98, 0.98)$  و  $(0.85, 0.71)$  و  $(0.62, 0.60)$  به ترتیب برای نیتروژن، فسفر و آهن خاک، در مراحل آموزش و صحت‌سنجی بهترین کارایی را دارد. بنابراین استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی ابزار مؤثری برای ارزیابی تاثیر ویژگی‌های خاک در پیش‌بینی عناصر مذکور نسبت به مدل ANFIS در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین شبکه‌های عصبی دارای برآورد خوبی هستند و می‌توانند فرایند تصمیم‌گیری در مسائل مختلف خاک را تسهیل بخشند. اغلب توابع انتقالی که تا بحال ایجاد شده جهت پیش‌بینی خصوصیات هیدرولیکی خاک بوده است. اما توابع تبدیلی محدود به خصوصیات هیدرولیکی نمی‌شوند. توابع انتقالی جهت تخمین خصوصیات

شیمیایی، بیولوژیکی و مکانیکی نیز گسترش پیدا کرده‌اند. از این رو راحلی که میزان عناصر غذایی خاک را به راحتی پیش‌بینی کند و باعث کاهش هزینه و صرفه‌جویی در زمان آن گردد می‌تواند در استفاده بجا و بهینه از کودهای شیمیایی در خاک‌هایی که با کمبود عناصر غذایی مواجه هستند کارآمد باشد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که گسترش ابزارهایی مناسب برای تخمین خصوصیات خاک به ویژه در سیستم‌های کشاورزی به دلیل ناهمگونی نسبتاً بالا ناشی از مدیریت و وجود روابط غیر خطی امری ضروری است.

## ۵-۲- پیشنهادها

- استفاده از سایر مدل‌ها برای پیش‌بینی مانند ماشین‌های بردار پشتیبان و برنامه‌ریزی بیان ژن برای پیش‌بینی عناصر دیریافت خاک
- استفاده از سایر فاکتورهای خاکی مانند سدیم تبادلی خاک، کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها در پیش‌بینی عناصر نیتروژن، فسفر و آهن
- استفاده از مدل‌های استفاده شده در این تحقیق در پیش‌بینی سایر عناصر دیریافت خاک و سایر نقاط اندازه‌گیری نشده منطقه مورد مطالعه

## منابع و ماخذ

- آقاجانی م، جلالیان ا. و اژدری ع، (۱۳۹۴)، " مقایسه برآورد ماده آلی ذره‌ای (POM) خاک در حوزه آبخیز منج با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون و روش مربع فاصله معکوس (IDW)", چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران- فیزیک خاک و رابطه آب، خاک و گیاه، رفسنجان.
- اسماعیلی ا، همایی م. و ملکوتی م.ج، (۱۳۸۴)، " اثرات متقابل شوری و کودهای ازتی بر رشد و ترکیب شیمیایی سورگوم"، مجله علوم خاک و آب، شماره ۱، دوره ۱۹، ص ۱۳۱ تا ۱۴۶.
- امامی ح، نیشابوری م، شرفا م. و لیاقت ع، (۱۳۸۶)، " ارزیابی کارایی شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد منحنی رطوبتی خاک در بعضی از خاک‌های شور و آهکی ایران"، دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج.
- بابالار م. و پیرمردیان م، (۱۳۸۷)، " تغذیه درختان میوه"، چاپ سوم، انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- بازوبندی ا، قربانی ه. و امامقلی‌زاده ص، (۱۳۹۴)، " تخمین کادمیوم کل خاک با استفاده از خصوصیات خاک به کمک شبکه‌ی عصبی"، کنفرانس ملی دستاوردهای نوین در علوم زیستی و کشاورزی، زابل.
- بازوبندی ا، صابری ا، قربانی ه. و امامقلی‌زاده ص، (۱۳۹۳)، " پیش بینی فسفر خاک با استفاده از خصوصیات خاک به کمک شبکه‌ی عصبی"، کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، تهران.
- بازوبندی ا، صابری ا، قربانی ه. و امامقلی‌زاده ص، (۱۳۹۳)، " تخمین نیتروژن کل خاک با استفاده از خصوصیات خاک به کمک شبکه ی عصبی"، کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، تهران.
- بازوبندی ا، قربانی ه. و امامقلی‌زاده ص، (۱۳۹۴)، " تخمین سرب کل خاک با استفاده از خصوصیات خاک به کمک شبکه‌ی عصبی"، کنفرانس ملی دستاوردهای نوین در علوم زیستس و کشاورزی، زابل.
- برزگر ع، (۱۳۸۷)، " خاکهای شور و سدیمی : شناخت و بهره‌وری"، انتشارات دانشگاه شهید چمران.
- تقی‌زاده مهرجردی ر، سرمدیان ف، ثوابی غ، امید م، تومانیان ن، روستا م. و رحیمیان م، (۱۳۹۱)، "مقایسه روش‌های نروفازی، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی و رگرسیون چندمتغیره در پیش‌بینی شوری خاک"، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۲، دوره ۶۶.



جعفری حقیقی م، (۱۳۸۲)، "روش‌های تجزیه خاک: نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی با تاکید بر اصول تئوری و کاربردی"، چاپ اول، انتشارات ندای ضحی، تهران.

جلالی و، همایی م. و خلاق میرنیا س، (۱۳۸۶)، "مدل‌سازی واکنش کلزا به شوری طی دوره رشد رویشی"، مجله- تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۸، شماره ۴، ص ۹۵-۱۱۲، کرج.

چراتی ع، حیدری کمیشانی ز، آملی ن، علیزاده غ و خانلریان م، (۱۳۸۸)، "تاثیر مقادیر مختلف اوره و کود دامی بر قابلیت استفاده عناصر غذایی خاک"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره خاک ایران، ص ۱۲۸۶-۱۲۸۵، گرگان.

حسینی ی، همایی م، کریمیان ن.ع و سعادت س، (۱۳۸۷)، "مدل‌سازی واکنش کلزا به تنش‌های توأمان شوری و کمبود نیتروژن"، مجله علوم و فنون کشاورزی، جلد ۱۲ شماره ۴۶، ص ۷۲۱-۷۳۵، اصفهان.

خداوردیلو ح، فتحی پ. و همایی م، (۱۳۸۳)، "تخمین هوشمند منحنی رطوبتی خاک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی"، دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، دانشگاه شیراز.

دایر ا، برومند نسب س. و کاشی‌پور م، (۱۳۸۶)، "کاربرد مدل Qnet2000 در تعیین مقدار نفوذ، اولین همایش سازگاری با کم‌آبی.

دزفولی ا، (۱۳۸۷)، "اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مسائل مهندسی آب"، انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد امیرکبیر، چاپ اول، ص ۱۱۵.

دماوندی ع، مسیح آبادی م و تکاسی م، (1384)، "ارزیابی کیفی تناسب اراضی بر روی محصول چغندر قند در منطقه خدا بنده استان زنجان"، خلاصه مقالات نهمین کنگره علوم خاک، صفحات 421 تا 419، تهران.

سالاردینی ع، (۱۳۸۷)، "حاصلخیزی خاک"، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

شکفته ح، افیونی م، حاج‌عباسی م.ع، نظام آبادی پور ح، عباسی ف، شیخ الاسلام ف، (۱۳۹۱)، "مدل‌سازی آبشویی نترات از خاک تحت کشت سیب‌زمینی با استفاده از شبکه استنتاج تطبیقی فازی-عصبی در ترکیب با الگوریتم ژنتیک"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره هفتم، سال هجدهم، زمستان ۱۳۹۳، ص ۱۳ تا ۲۳.

صادقی ح، (۱۳۸۱)، "کاشت، داشت، برداشت زیتون"، نشر آموزش کشاورزی، کرج.

ضیائی‌ان عبدالحسین، (۱۳۸۲)، "استفاده از عناصر کم مصرف در کشاورزی"، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی، کرج.

علی‌احیائی م، (۱۳۷۶)، "شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک"، جلد دوم، وزارت کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب.

عمادی م. و نادری ح، (۱۳۹۴)، "تخمین هدایت الکتریکی اشباع خاک به کمک روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ادغام شبکه عصبی مصنوعی - الگوریتم ژنتیک و رگرسیون"، چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران - فیزیک خاک و رابطه آب، خاک و گیاه، رفسنجان.

فاجریا ان.کا، (۱۳۷۵)، "افزایش عملکرد گیاهان زراعی" ترجمه هاشمی دزفولی ا، کوچی ع. و بنایان اول م، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.

کاشی ح، قربانی ه، امامقلی زاده ه. و هاشمی ع.ا، (۱۳۹۲)، "تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی در دو خاک بکر و کشاورزی توسط شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ص ۴۸۴-۴۷۲.

کاوه ع عباس ایران منش (۱۳۷۸)، "شبکه های عصبی مصنوعی در بهینه سازی سازه ها"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ک- ۳۱۰.

کشاورزی ع، باقرزاده ع. و قلی‌زاده ا، (۱۳۹۵)، "ارزیابی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه در مدل‌سازی و تخمین فسفر قابل جذب خاک"، پنجمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری موسسه آموزش عالی مهران.

کنعانی ش، (۱۳۸۶)، پایان نامه ارشد: "تخمین مقادیر شوری حوضه آبریز رودخانه ها به روش شبکه عصبی مصنوعی"، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت معلم تهران.

گیوی ج. و پراشر ش، (۱۳۸۴)، "مقایسه مدل‌های رگرسیون چند متغیره تطبیقی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی آب قابل جذب گیاه"، نهمین کنگره علوم خاک ایران.

مکاریان ح. و روحانی ع، (۱۳۹۲)، "پیش‌بینی الگوی توزیع مکانی جمعیت علف هرز تلخه با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی بردار چندی ساز یادگیر"، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، شماره ۱، جلد ۲۳.

ملکوتی م.ج، کشاورز پ. و کریمیان ن، (۱۳۸۷)، "روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار"، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

ملکوتی م.ج. و تهرانی م.م، (۱۳۸۴)، "نقش ریز مغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی"، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

ملکوتی م.ج و همایی م، (۱۳۷۳)، " حاصلخیزی خاک‌ها و کودها"، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

منهاج م.ب، (۱۳۸۱)، "هوش محاسباتی مبانی شبکه‌های عصبی"، جلد اول، مرکز نشر دانشگاه امیرکبیر.

مهاجر ر، صالحی م.ه. و بیگی هرچگانی ح، (۱۳۸۸)، " تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از رگرسیون و شبکه عصبی و اثر تفکیک داده‌ها بر دقت و صحت توابع، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی علوم آب و خاک، شماره ۴۹، ص ۹۷-۸۳.

میر ح، غلامعلی زاده آهنگر ا. و شعبانی ا، (۱۳۹۴)، " تعیین مهمترین پارامترهای مؤثر خاک بر فراهمی فسفر در دشت سیستان به روش ارتباط وزنی در شبکه‌های عصبی"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۶، ص ۱۶۸۷-۱۶۷۴.

همایی م، (۱۳۸۱)، " واکنش گیاهان به شوری"، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۵۸، ص ۹۷. تهران.

هنری - د- فوت، (۱۳۸۰)، " مبانی خاکشناسی"، چاپ چهارم، ترجمه شهلا محمودی، مسعود حکیمیان، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

Aali K. A, Parsinejad M. and Rahmani B, (2009), " Estimation of saturation percentage of soil using multiple regression, ANN, and ANFIS techniques", Computer and Information Science, 2, 127-136.

Ibrahim Ekhmaj A,(2010), " Pridicting soil infiltration rate using artificial Neural Network", International Conference on Environmental Engineering and Applications.

Amini, M, Abbaspour K. C, Khademi H, Fathianpour N, Afyuni M. and Schulin R, (2005).

" Neural network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran", European Journal of Soil Science, 53, 748-757.

Amini M, Afyuni M, Fathianpouorb N, Khademi H. and Fluchler H, (2005), "Continuous soil pollution mapping using fuzzy logic and spatial interpolation", Geoderma, 124, 223-233.

Anders U. and Korn O, (1999), "Model Selection in Neural Networks", 12, pp 309-323.

Ang K.K, Quek C, (2005), "rough set based pseudo outer-product fuzzy rule identification algorithm Neural computation", 17: 205-243.

Anon, (1982), " Organic matter and soil productivity in the near east", FAO. Soil Bulletin, No.45.

Ariffin J, Abdul Ghani A, Zakaria N. and Shukri Yahya A, (2003), " Sediment prediction using ANN and regression approach",Pp 930-945. 1st International Conference on Managing Rivers in the 21st Century: Issues and Challenges.

Ayoubi S, Mehnatkesh A, Jalalian A, Sahrawat K.L. and Gheysari M, (2014), " Relationships between grain protein, Zn, Cu, Fe and Mn contents in wheat and soil and topographic attributes", Archives of Agronomy and Soil Science, 60 (5): 625-638.

Barber S. A, (1984), " Soil nutrient bioavailability", John Wiley and Sons Pub, New York.

Bertrand I, Holloway R.E, Armstrong R.D. and Mclaughlin M.J, (2003), "Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia", Australian Journal of Soil Research, 41: 61-76.

Dadgar M, Aliha M. and Faramarzi E, (2011), "Relationship between available phosphorus and some soil physical and chemical characteristics in Absard Plain (Damavand Province)", Iranian journal of Range and Desert Reseach, 18 (3): 498-504.

Delgado A, Madrid A, Kassem S, Andreu L. and Campillo M. C, (2002), "Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fluvic acids", Journal of Plant and Soil, 245: 277-286.

Granger C. W J, (1993), " Strategies for modeling nonlinear time series relationships", The Economic Record, 69: 233-238.

Grisso R, Alley M, Mcnell M. and Higgin S, (2003), " Precision farming tools: yield monitor", Virginia state university publication, number: pp, 442-502.

Haykin S, (1999), " Neural networks: a comprehensive foundation", 2nd Ed, Prentice Hall, New Jersey, USA.

Homaeae, M and U. Schmidhalter. 2008. Water integration by plants root under non-uniform soil salinity. Irrigation Science, 27:83-95.

Hosaini Y. M, Homaeae N.A, Karimian. and Saadat S, (2009), " Modeling vegetative stage response of canola to combined salinity and Boron stress", International Journal of Plant Production, 3(1):91-104.

Ihuaku A, Ingwersen J, Utermann J. and Streck T, (2009), "Estimation of heavy metal sorption in German soils using artificial neural networks.geoderma", 152. 104–112.

Jain A. and Kumar A, (2006), "An evaluation of artificial Neural Network technique for the determination of infiltration model parameters", Applied soft computing, 6: 272-282.

Jalali M. and Kolahchi Z, (2005), "Availability of soil phosphorus resulting from different amounts of phosphorus fertilizer in soils of Hamedan province", Soil and Water Science, 19(1): 53-60.

Jang JSR, Sun CT. and Mizutani E, (1997), "Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence Upper Saddle River", New Jersey, Prentice Hall, USA.

Jang J. S. R, (1993), " ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Trans", Sys., Man, Cyb., 23, 665–685.

Kabata-Pendias A. and Pendias H, (2001), "Trace Elements in Soils and Plants", 3rd Edition, CRC Press, New York, USA.

Keshavarzi A, Sarmadian F, Sadeghnejad M. and Pezeshki P, (2010), "Developing pedotransfer functions for estimating some soil properties using artificial neural network and multivariate regression approaches", ProEnvironment, 3: 322-330.

Kisi O, (2005), "Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches", Journal of Hydrological Sciences, IAHS Press, 50: 683-696.

Kisi O, (2006), " Daily pan evaporation modeling using a neuro-fuzzy computing technique, journal of Hydrology", 329: 636-646.

Kisi o, (2007), " Development of streamflow- suspended sediment rating curve using a range dependent neural network", int. j. Sci. Technolo, 2(1): 49-61.

Kuo S, (1996), "Total organic phosphorus", In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, WI, p. 869-919.

Lippman R.P, (1987), "An Introduction to Computing with Neural Nets", IEEE ASSP Magazine.

Marcel G.S. and Feike J.L, (1998), " Using Neural Networks to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity", *Soil and Tillage Research* 47: 37-42.

Marschner H, (1995), " Mineral nutrition of higher plants", 2nd Academic Press. Ltd. London, 862 pages.

Marzbanrad J. and Jamali A, (2009), "Design of ANFIS Networks using hybrid genetic and SVD methods for modeling and prediction of rubber engine mount stiffness", *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 167–174.

Minasny, B. and McBratney, A. B. (2002). The Neuro-m method for fitting neural network parametric pedotransfer functions. *Journal of Soil Science Society of America*, 66, 352–361.

Minyoung K. and Gilly J.E, (2008), " Artificial Neural Network estimation of soil erosion and nutrient concentrations in runoff from land application areas", *computers and electronics in agriculture* 64: 268-275.

Mishra A.K, Desai V.R, Singh P, (2007), " Drought Forecasting Using a Hybrid Stochastic and Neural Network Model", *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 12, No. 6, pp. 626 - 638.

Mohammadi J, (2002), " Testing an artificial neural network for predicting soil water retention characteristics from soil physical and chemical properties", 17th World Congress of Soil Science, Thailand, Paper No. 221.

Nariman Zadeh N . A, Darvizeh M.H, Dadfarmai, (2004), "Design of ANFIS networks using hybrid genetic and SVD methods for the modeling of explosive cutting process", *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156 (2004) 1415–1421.

Nasri M, Modares R. and Dastorani M.T, (2006), "Application of Artificial Neural Network for runoff estimation" Case study: Plajan Basin-Zayandehrud Watershed. Seventh International Seminar on River Engineering, Ahvaz.7: 81-88. (In Persian).

Navvabian M, Liaghat E.M. and Homaei M, (2004), " Rapid Estimation of Hydraulic Conductivity using Neural Networks", In: *Proceedings of the second National Student Conference on Water and Soil Resources*, Shiraz Uni.

Nayak P.C, Sudheer K.P, Rangan D.M. and Ramasastri K.S, (2004), " A Neuro-Fuzzy Computin Technique For Modeling Hydrological Time Series", *Journal of Hydrology*, 291 (2), pp 52-66.

Nunnari G, Dorling S, Schlink U, Cawley G, Foxall R. and Chatterton T,( 2004), " Modelling SO<sub>2</sub> concentration at a point with statistical approaches",*Environmental Modelling & Software* 19, 887e 905.

Pachepsky Ya, Timlin A. D. and Varallyay G, (1996), "Artificial Neural Networks to estimate soil water retention from easily measurable data *Soil Sci*", *Soc. Am. J.* 60:727-733.

Panday S, Thapa K.B. and Oli I.B, (2012), "Correlations of available phosphorus and potassium with soil pH and organic matter content at different soil reactions categories in soils of western development region Nepal", *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 3:128-133.

Parasuraman, K., Elshorbagy, C. and Si, B, (2006), " Estimating saturated hydraulic conductivity in spatially variable fields using neural network in Ensembles", *Journal of Soil Science Society of America*, 70, 1851-1859.

Parsinejad M, Aali K. A. and Rahmani, B. (2009), " Estimation of saturation percentage of soil using multiple regression, ANN, and ANFIS techniques", *Computer and Information Science*, 2, 127–136.

Reimann C, Filzmoser P, Garrett R.G. and Dutter R, (2008), " Statistical Data Analysis Explained", John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-98581-6.

Riahi-Madvar H, and Ayyoubzadeh S.A, (2010)," Developing an Expert System for Predicting Pollutant Dispersion in Natural Streams", pp 238.

Rhoades J.D, (1996)," Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids", PP.147-435. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R, Keeney, (Eds), *Methods of Soil Analysis, Part 2.*, Madison, WI: ASA, SSSA.

Schaap M. G, Leij F. J. and van Genuchten M. Th, (1998) "Neural Network analysis for hierarchical prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity", *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 847-855.

Simen, (1994), " handbook of agro meteorology oxford", London.

Sitharam T. G, Samui P. and Anbazhagan P, (2008), " Spatial variability of rock depth in temperate forests", *Ecological Modelling*.209:200-211.

Soltani S, Sardari S, Sheykhpour M. and Mosavi S, (2010), "Artificial Neural Network. Nas Publications", Iran. Press. 183p. (In Persian).

Stevenson F.G, (1994), " Humus Chemistry", John Wily and Sons Pub, New York.

Tabari H, Sabziparvar A. and Ahmadi M, (2011), " Comparison of artificial neural network and multivariate linear regression methods for estimation of daily soil temperature in an arid region", *Journal of Meteorology and Atmospheric Physics*, 110: 135-142.

Taghizadeh Asl Z, Dordsipour E, Gholizadeh A.L. and Kiani F, (2009), "Investigating the relation between plant available phosphorus and some of soil properties in soils of south of Gorganroud", *Proceedings of the 11th Iranian Soil Science Congress*, 12–13 Jul. Gorgan, Iran.

Tamari S, Wosten J. H. M. and Ruz-suarez J. C (1996) "Testing an artificial neural network for predicting soil hydraulic conductivity", *Journal of Soil Science Society of America*, 60, 1732-1741.

Tang L, Zeng G.M, Nourbakhsh F. and Shen G.L, (2008), " Artificial neural network approach for predicting cation exchange capacity in soil based on physico-chemical properties", *Environ. Eng. Sci*, 26(2): 1-10.

Tayfur G, Ozdemir S and Singh VP, (2003), " Fuzzy logic algorithm for runoff-induced sediment transport from bare soil surfaces", *Advanced Water Resource*, 26: 1249–1256.

Thomas G.W, (1996),"Soil pH and acidity", *Methods of Soil Analysis*, PP.475-490. In: A.L. Page et al, (Ed), Part 2., Madison, WI: ASA, SSSA.

Tokar A.S. and Markus M, (2000), " Precipitation runoff modeling using artificial neural network and conceptual models", *J. Hydrol. Eng. , ASCE*, 5: 156-161.

Walkely A, Black I.A, (1934) "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method", *Soil Science*, 37: 29-38.

Yang C-C, Prasher S.O. and Mehuys G.R, (1997), " An Artificial Neural Network to estimate soil temperature", *Canadian journal of Soil Science*.

Zhang G, Patuwo B.E. and Hu M.Y, (1998), " Forecasting with Artificial Neural Network: The state of art", *International Journal of Forecasting*, 14: 35-62.

Zhang Y.X, (2007), "Artificial neural networks based on principal component an alysis input selection for clinical pattern recognition analysis", *Talanta*, 73: 68-75.

Zhao Z, Chowt L, Rees H, Yang W, Zheng Z. and Meng F, (2009), " Predict soil texture distributions using an artificial neural network model", *Computers and Electronics in Agriculture*, 69: 36-48.



Zhengyong Z, Tien Lien C, Herb W.R, Yong Q, Xing Z. and Meng F.R, (2009), " Predict soil texture distributions using an Artificial Neural Network model", computers and electronics in agriculture 65: 36-48.

Zou P, Yang J, Fu J, Liu G. and Liu D, (2009), " Artificial neural network and time series models for predicting soil salt and water content", Agricultural Water Management, 65:36-48.

## **ABSTRACT**

Today, the development of more accurate methods of agricultural production is one of the strategies in order to minimize the burden of farming operations to the quality of the environment. In recent years using indirect methods such as Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-Fuzzy Interface System and other similar models to estimate these properties has been considered. Therefore a solution which predicts soil nutrient elements and also saves both costs and time, could be useful in appropriate application of chemical fertilizers in soil with nutrient deficiency. This study is founded in order to predict nitrogen, phosphorus and iron in the soil of Incheh Borun area in Golestan Province by using ANN and ANFIS models. Accordingly, twenty profiles were excavated in 5 hectare parts of each other and sampling was conducted from the depths of 0-30, 30-60, 60-90 cm. After that, the physical and chemical analysis of samples was conducted in the laboratory. Before the start of training models, training and testing data were divided into two groups that 80 percent of data used to train the model and 20 percent of which was used to test and evaluate output. then the parameters of organic matter and clay content, electrical conductivity and pH of the soil as input parameters and elements nitrogen, phosphorus and iron in the soil were as the model output parameters. that a sensitivity analysis is showed in order to determine the correlation between input and output parameters, organic matter strongest correlation with nitrogen, phosphorus and iron elements in the soil. The results of this study shows that high performance Artificial Neural Network model than Adaptive the Neuro-Fuzzy Interface System. In addition, the ANN has demonstrated better performance than the ANFIS in the test.

Key words: Prediction, Soil nutrient elements ,Artificial neural network and Adaptive neuro fuzzy interface system



**Shahrood University of Technology**  
**Faculty of Agriculture Engineering**

**MSc Thesis in Soil Science**

**Local distribution and Prediction of soil Macro elements and iron  
using artificial neural network (ANN) and adaptive neuro fuzzy  
interface system (ANFIS) in Inche Bron Region**

By: Golnaz Mafakheri

Supervisor

Dr Shahin Shamsavani

Advisor

Dr Samad Emamgholi Zadeh

February 2017