

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده کشاورزی

گروه آب و خاک

## ارزیابی قابلیت دسترسی فسفر در برخی مزارع سیب زمینی منطقه مجن

الهام میرباقری

استاد راهنما

دکتر علی عباسپور

اساتید مشاور

دکتر عباس روحانی

دکتر هادی قربانی

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به پدر عزیز و مادر مهربانم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی  
به پاس عاطفه سرشار و کرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان، بهترین پشتیبان  
است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادس است و سرکردانی و ترس در پناہشان به شجاعت می کرلید  
و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.  
و تقدیم به آنانی که

با عشق همراهم بودند

با صبر تکیه گاهم گشتند

و با محبت یاریم کردند

## تقدیر و تشکر

کسی که پاس مخلوق را در برابر کار نکیش نکوید از عهده پاس خالق برنید

پایمبرا کرم (ص)

کردگارا، پاست می گویم که این نعم رادمین رویندی که نادانم و راه را برای رسیدنم و رنیدنم بهوار ساختی. در سگرگزاری این نعمت بادستگیری خوبانی چند، تلاش کردیم، تاچه حد درخور باشد و چدر مقبول افتد. به فرما سبرداریت، بر خود می دانم که یاری یار نام را ارج نعم و سگر گزار را بهر نام باشیم؛ در ابتدا از پدر و مادر مهربان و خانواده دلسوز خود که نمونه آشکار لطف الهی هستند کمال شکر را دارم و از خداوند مهربان، سلامت، بهروزی و خیر دنیا و آخرت را برایشان سئلت دارم.

بدون شک، بیج تحقیق و مطالعه ای بدون بهره گیری از تجارب و اندیشه های استادان و پیشگوتان امر، به سرانجام نرسیده و نخواهد رسید. بنده نیز خود را مرهون زحمات و علم سرشار استادی بزرگوارم آقایان دکتر علی عباسپور، دکتر عباس روحانی و دکتر مهدی قربانی، که راهنمایی و مشاوره های این تحقیق را بر عهده داشتند، می دانم و از این که توانستم در حد توان خویش، خوشه چین خرمن دانسته های ایشان باشم خداوند مهربان را سپاسگزارم و از دگاه حضرتش تمنای سلامتی و موفقیت روز افزون ایشان را دارم.

و غنیه خود می دانم از استادی که راتقدیر جناب آقای دکتر شامین شاهسونی و جناب آقای دکتر منصور ضیائی که زحمات داور پی پایان نامه را تقبل نموده و زمینه بهبود آن را فراهم نمودند، شکر و قدر دانی نمایم.

از مساعدت و لطف ناینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر محمود رحیمی کمال سپاسگزاری را دارم.

از سایر استادی بزرگوار گروه، جناب آقای دکتر خلیل اردوی و جناب آقای مهندس علی اصغر نادری، که افتخار نگاردی ایشان را داشتم و مسئولین محترم آزمایشگاه، آقایان مهندس حسن گلی و مهندس غلامرضا ساگری، که در مراحل مختلف این تحقیق مرایاری نمودند، ممنون و سپاسگزارم.

در پایان از بهکلا سیهای عزیز و همه دوستان عزیز می که هر یک به نوعی در انجام این پایان نامه مرایاری کردند و مورد لطف و محبت خویش قرار دادند، بویژه دوستان مهربانم خانم سیمیه جمالی و سمیرا فتحی صمیمانه شکر و قدر دانی می نمایم و سلامتی و موفقیت همه آنان را از باری تعالی خواستارم.

## چکیده

سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) به خاطر تولید بالا، امکان جایگزینی آن با غلاتی نظیر گندم، برنج و سازگاری آن با خاکها و اقلیم های مختلف، نقش مهمی در تغذیه انسان بازی می کند. فسفر یکی از مهمترین عناصر مورد نیاز سیب زمینی است که کاربرد صحیح آن بعد از نیتروژن و پتاسیم ضروری می باشد. از طرف دیگر کاربرد بیش از نیاز کودهای فسفره سبب بروز مشکلاتی از قبیل مسمومیت گیاهی، به هم خوردن تعادل جذب عناصر غذایی، کاهش رشد و عملکرد محصول، آلودگی آبهای سطحی و زیر زمینی و به هم خوردن تعادل بیولوژیک خاک می گردد. لذا، با توجه به اهمیت و آثار مثبت و منفی فسفر در تغذیه گیاه و در نهایت تغذیه و سلامت انسان، این تحقیق با هدف بررسی میزان فسفر محلول و قابل استفاده، جهت بهبود و اصلاح مدیریت تغذیه و توصیه کودی صحیح و نیز کاهش خطرات زیست محیطی ناشی از مصرف بی رویه کودهای فسفره، در اراضی زراعی شهر مجن، واقع در ۳۵ کیلومتری شهرستان شاهرود، انجام شد. بدین منظور، از ۳۰ مزرعه تحت کشت سیب زمینی منطقه مجن، طی دو مرحله (مرحله اول قبل از کشت و مرحله دوم همزمان با برداشت محصول) و هر بار از دو عمق ۲۵-۵۰ و ۲۵-۲۵ سانتیمتری، جمعاً تعداد ۱۲۰ نمونه مرکب خاک جمع آوری، موقعیت هر نقطه با دستگاه GPS ثبت و پس از آنالیزهای آزمایشگاهی، علاوه بر میزان فسفر محلول و قابل استفاده خاک، مقادیر pH، EC، کربن آلی، پتاسیم قابل استفاده، کربنات کلسیم و بافت خاک نیز تعیین شدند. همچنین میزان فسفر در غده، ریشه و اندامهای هوایی سیب زمینی های برداشت شده از مزارع مورد مطالعه، اندازه گیری گردید. ارزیابی آماری بر کلیه نتایج حاصل صورت گرفت و جهت بررسی همبستگی بین متغیرها، روش همبستگی پیرسون به کار گرفته شد. از طریق بررسی های آماری با بسته نرم افزاری SPSS نرمال بودن توزیع داده ها تست شد و سپس با بکارگیری نرم افزار GS+ بررسی های زمین آماری و تهیه نیم تغییرنا تمامی عناصر انجام و بعد مناسبترین مدل تئوری به داده های تجربی برازش داده شد. با تعیین شدن پارامترهای نیم تغییرنا، مدل کریجینگ معمولی جهت تخمین مقادیر عناصر در نقاط مجهول بکار گرفته شده و نقشه پهنه بندی عناصر در محیط نرم افزار GIS تولید شد. پهنه بندی نقشه هر کدام از این عوامل بر اساس استانداردهای مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور انجام شد. نتایج حاصله نشان داد که کلیه اراضی نمونه برداری شده، فاقد محدودیت شوری بوده ولی دارای کمی قلیائیت و کربنات کلسیم بالا هستند و فسفر قابل استفاده در حد زیاد یا سمیت می باشد. پتاسیم قابل استفاده نیز در قسمت اعظم این خاکها در حد زیاد و خیلی زیاد قرار دارد اما وضعیت آنها از نظر میزان کربن آلی نسبتاً مناسب است. لذا توصیه می شود که از کاربرد کودهای فسفره در اراضی این شهرستان حداقل برای مدت ۲-۳ سال اجتناب نمود.

**کلمات کلیدی:** سیب زمینی، فسفر قابل استفاده، فسفر محلول، مجن

فصل اول: مقدمه

|          |   |
|----------|---|
| ۱- مقدمه | ۲ |
|----------|---|

فصل دوم: مرور منابع

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| ۱-۲- تاریخچه فسفر                            | ۷  |
| ۲-۲- اهمیت فسفر در کشاورزی                   | ۸  |
| ۳-۲- فسفر در خاک                             | ۸  |
| ۴-۲- اشکل مختلف فسفر                         | ۹  |
| ۱-۴-۲- فسفر آلی خاک                          | ۱۰ |
| ۲-۴-۲- کانیهای فسفات                         | ۱۰ |
| ۳-۴-۲- فسفر جذب سطحی شده                     | ۱۲ |
| ۴-۴-۲- فسفر محلول                            | ۱۳ |
| ۵-۲- عوامل موثر در حلالیت و جذب فسفر از خاک  | ۱۴ |
| ۱-۵-۲- تاثیر عوامل خاکی                      | ۱۴ |
| ۱-۱-۵-۲- اثر واکنش خاک                       | ۱۴ |
| ۲-۱-۵-۲- اثر آهن و آلومینیوم                 | ۱۶ |
| ۳-۱-۵-۲- اثر یون کلسیم                       | ۱۶ |
| ۴-۱-۵-۲- اثر کانیهای رسی                     | ۱۷ |
| ۲-۵-۲- تاثیر عوامل گیاهی                     | ۱۸ |
| ۱-۲-۵-۲- اثر محیط ریشه                       | ۱۸ |
| ۲-۲-۵-۲- تاثیر مشخصات ریشه                   | ۱۹ |
| ۳-۲-۵-۲- تاثیر نیاز گیاه                     | ۱۹ |
| ۳-۵-۲- تاثیر عوامل مدیریتی                   | ۲۰ |
| ۱-۳-۵-۲- اثر مواد آلی                        | ۲۰ |
| ۲-۳-۵-۲- اثر کودهای ازته                     | ۲۱ |
| ۳-۳-۵-۲- اثر افزایش فسفات                    | ۲۲ |
| ۴-۳-۵-۲- اثر زمان و نحوه کاربرد کودهای فسفات | ۲۳ |
| ۴-۵-۲- تاثیر شرایط اقلیمی                    | ۲۳ |

|         |                                                            |
|---------|------------------------------------------------------------|
| ۲۳..... | ۲-۵-۴-۱ اثر رطوبت خاک                                      |
| ۲۳..... | ۲-۵-۴-۲ اثر دما                                            |
| ۲۴..... | ۲-۶-۶ کودهای فسفاتی                                        |
| ۲۴..... | ۲-۶-۱ استفاده از سنگ فسفات                                 |
| ۲۵..... | ۲-۶-۲ سوپر فسفات ساده                                      |
| ۲۵..... | ۲-۶-۳ سوپر فسفات غنی شده                                   |
| ۲۵..... | ۲-۶-۴ سوپر فسفات آمونیومی                                  |
| ۲۶..... | ۲-۶-۵ فسفات آمونیومی                                       |
| ۲۶..... | ۲-۶-۶ نیتریک یا نیترو فسفات                                |
| ۲۷..... | ۲-۷-۷ اثرات سوء مصرف بی رویه کودهای فسفره                  |
| ۲۷..... | ۲-۷-۱ تجمع فسفر بیش از نیاز در خاک                         |
| ۲۸..... | ۲-۷-۲ ایجاد مسمویت در گیاه                                 |
| ۲۸..... | ۲-۷-۳ کاهش عملکرد و افت کیفیت                              |
| ۲۸..... | ۲-۷-۴ مختل کردن متابولیسم روی درون گیاه                    |
| ۲۹..... | ۲-۷-۵ غیرمتحرک شدن آهن در خاک و ممانعت از جذب آن توسط ریشه |
| ۲۹..... | ۲-۷-۶ تجمع عنصر بور در گیاه در حد سمی                      |
| ۲۹..... | ۲-۷-۷ کاهش میکروریزایی ریشه                                |
| ۳۰..... | ۲-۷-۸ آلودگی خاک به کادمیوم                                |
| ۳۱..... | ۲-۷-۹ آلودگی آب به فسفر و بروز پدیده اوتریفیکاسیون         |

### فصل سوم: مواد و روش ها

|         |                                          |
|---------|------------------------------------------|
| ۳۳..... | ۳-۱-۱ مشخصات جغرافیایی منطقه             |
| ۳۵..... | ۳-۲-۲ برداشت و آماده سازی نمونه های خاک  |
| ۳۷..... | ۳-۳-۳ تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک |
| ۳۷..... | ۳-۳-۱ بافت خاک                           |
| ۳۸..... | ۳-۳-۲ فسف قاتا جذب                       |
| ۳۹..... | ۳-۳-۵ کربن آلی خاک                       |
| ۳۹..... | ۳-۳-۶ کربنات کلسیم معادل خاک             |

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| ۴۰ | ۷-۳-۳- هدایت الکتریکی                 |
| ۴۰ | ۸-۳-۳- اسیدیته خاک                    |
| ۴۰ | ۴-۳- تجزیه نمونه های گیاهی            |
| ۴۰ | ۵-۳- توصیف آماری متغیرهای مورد مطالعه |
| ۴۱ | ۶-۳- تجزیه و تحلیل های زمین آماری     |
| ۴۲ | ۱-۶-۳- آنالیز تغییر نما               |
| ۴۳ | ۱-۱-۶-۳- اثر قطعه ای                  |
| ۴۴ | ۲-۱-۶-۳- آستانه                       |
| ۴۴ | ۳-۱-۶-۳- دامنه تاثیر                  |
| ۴۵ | ۲-۶-۳- آنالیز همسانگردی               |
| ۴۵ | ۳-۶-۳- مدلسازی نیم تغییرنما           |
| ۴۶ | ۴-۶-۳- روش کریجینگ                    |
| ۴۸ | ۵-۶-۳- نحوه انتخاب روش مناسب          |
| ۴۹ | ۷-۳- معرفی نرم افزار GS+              |

#### فصل چهارم: نتایج و بحث

|    |                                            |
|----|--------------------------------------------|
| ۵۱ | ۱-۴- بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک |
| ۵۱ | ۱-۱-۴- بافت خاک                            |
| ۵۷ | ۲-۱-۴- کربنات کلسیم                        |
| ۵۹ | ۳-۱-۴- کربن آلی                            |
| ۶۳ | ۴-۱-۴- هدایت الکتریکی                      |
| ۶۴ | ۵-۱-۴- واکنش خاک                           |
| ۶۶ | ۶-۱-۴- پتاسیم قابل استفاده                 |
| ۶۸ | ۷-۱-۴- فسفر قابل استفاده                   |
| ۶۹ | ۸-۱-۴- فسف محلول                           |
| ۷۲ | ۲-۲-۴- همبستگی فسفر محلول و EC             |
| ۷۴ | ۳-۲-۴- همبستگی فسفر محلول و کربنات کلسیم   |
| ۷۶ | ۴-۲-۴- همبستگی فسفر محلول و کربن آلی       |

|          |                                                         |
|----------|---------------------------------------------------------|
| ۷۸.....  | ۴-۲-۵- همبستگی فسفر محلول و فسفر قابل استفاده.....      |
| ۷۸.....  | ۴-۲-۶- همبستگی فسفر قابل استفاده و pH.....              |
| ۷۹.....  | ۴-۲-۷- همبستگی فسفر قابل استفاده و EC.....              |
| ۷۹.....  | ۴-۲-۸- همبستگی فسفر قابل استفاده و کربنات کلسیم.....    |
| ۸۰.....  | ۴-۲-۹- همبستگی فسفر قابل استفاده و کربن آلی.....        |
| ۸۰.....  | ۴-۲-۱۰- همبستگی فسفر قابل استفاده و ذرات جامد خاک.....  |
| ۸۰.....  | ۴-۳- بررسی زمین آماری مجموعه داده های تحقیق.....        |
| ۸۱.....  | ۴-۳-۱- آزمون نرمال بودن توزیع داده ها.....              |
| ۸۱.....  | الف) خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول.....      |
| ۸۳.....  | ب) خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول.....        |
| ۸۳.....  | ۴-۳-۲- تجزیه و تحلیل ساختار مکانی.....                  |
| ۸۳.....  | الف) خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول.....      |
| ۸۹.....  | ب) خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول.....        |
| ۹۲.....  | ۴-۳-۳- نقشه های پهنه بندی عوامل و عناصر مورد بررسی..... |
| ۹۵.....  | الف) خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول.....      |
| ۱۰۰..... | ب) خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول.....        |
| ۱۰۴..... | ۴-۴- بررسی فسفر گیاه.....                               |

## فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

|          |                      |
|----------|----------------------|
| ۱۱۰..... | ۵-۱- نتیجه گیری..... |
| ۱۱۲..... | ۵-۲- پیشنهادات.....  |

|          |            |
|----------|------------|
| ۱۱۵..... | منابع..... |
|----------|------------|

## فهرست جداول

| عنوان                                                                                                                  | صفحه |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>فصل دوم</b>                                                                                                         |      |
| جدول ۱-۲- برخی از ترکیبات فسفاتهای آهن و آلومینیوم.....                                                                | ۱۱   |
| جدول ۲-۲- برخی از ترکیبات مختلف فسفاتهای کلسیم.....                                                                    | ۱۲   |
| <b>فصل سوم</b>                                                                                                         |      |
| جدول ۱-۳- شماره عمق و محل نمونه های گرفته شده از مزارع سیب زمینی مجن.....                                              | ۳۶   |
| <b>فصل چهارم</b>                                                                                                       |      |
| جدول ۱-۴- نتایج آزمایشات انجام شده بر روی نمونه های خاک قبل از کشت محصول.....                                          | ۵۳   |
| جدول ۲-۴- نتایج آزمایشات انجام شده بر روی نمونه های خاک بعد از کشت محصول.....                                          | ۵۵   |
| جدول ۳-۴- تجزیه آماری نتایج حاصل از تعیین ویژگیهای خاک (قبل از کشت محصول).....                                         | ۵۷   |
| جدول ۴-۴- تجزیه آماری نتایج حاصل از تعیین ویژگیهای خاک (بعد از کشت محصول).....                                         | ۵۸   |
| جدول ۵-۴- درجه بندی مقدار کربن آلی خاک (% ).....                                                                       | ۶۰   |
| جدول ۶-۴- ماتریکس همبستگی خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه، قبل از کشت محصول به روش پیرسون (عمق ۰-۲۵).....                | ۷۳   |
| جدول ۷-۴- ماتریکس همبستگی خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه، قبل از کشت محصول به روش پیرسون (عمق ۲۵-۵۰).....               | ۷۴   |
| جدول ۸-۴- ماتریکس همبستگی خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه، بعد از کشت محصول به روش پیرسون (عمق ۰-۲۵).....                | ۷۵   |
| جدول ۹-۴- ماتریکس همبستگی خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه، بعد از کشت محصول به روش پیرسون (عمق ۲۵-۵۰).....               | ۷۵   |
| جدول ۱۰-۴- آزمون نرمال بودن توزیع داده ها به روش کلموگروف-اسمپرونوف در خاکهای نمونه برداری شده (قبل از کشت محصول)..... | ۸۲   |
| جدول ۱۱-۴- آزمون نرمال بودن توزیع داده ها به روش کلموگروف-اسمپرونوف در خاکهای نمونه برداری شده (بعد از کشت محصول)..... | ۸۲   |
| جدول ۱۲-۴- پارامترهای تغییرنمای متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده (قبل از کشت محصول).....                | ۸۶   |
| جدول ۱۳-۴- پارامترهای تغییرنمای متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده (بعد از کشت محصول).....                | ۹۰   |

- جدول ۴-۱۴- نتایج حاصل از اندازه گیری فسفر در اندامهای مختلف گیاه سیب زمینی در منطقه مورد مطالعه.....۱۰۶
- جدول ۴-۱۵- تجزیه آماری نتایج حاصل از اندازه گیری فسفر در بافتهای مختلف سیب زمینی در منطقه مورد مطالعه.....۱۰۷
- جدول ۴-۱۶- غلظت مطلوب عناصر غذایی در برگهای سیب زمینی در خاکهای آهکی.....۱۰۷
- جدول ۴-۱۷- محدوده تشخیص غلظت فسفر در سیب زمینی.....۱۰۷

## فهرست اشکال و تصاویر

### صفحه

### عنوان

#### فصل دوم

شکل ۱-۲- توزیع نسبی اشکال فسفر خاک در ارتباط با زمان تکامل ..... ۱۱

شکل ۲-۲- اثر pH بر توزیع گونه های ارتو فسفات ..... ۱۵

#### فصل سوم

شکل ۱-۳- موقعیت منطقه مجن واقع در استان سمنان ..... ۳۴

شکل ۲-۳- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری شده ..... ۳۶

شکل ۳-۳- نمونه ای از یک نیم تغییر نما ..... ۴۳

#### فصل چهارم

شکل ۲-۴- اختلاف میانگین متغیرهای مورد مطالعه در خاک زیرسطحی با خاک سطحی قبل از کشت محصول ..... ۶۱

شکل ۲-۴- اختلاف میانگین متغیرهای مورد مطالعه در خاک زیرسطحی با خاک سطحی بعد از کشت محصول ..... ۶۱

شکل ۳-۴- اختلاف میانگین متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده بعد و قبل از کشت محصول (خاک سطحی) ..... ۶۲

شکل ۴-۴- اختلاف میانگین متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده بعد و قبل از کشت محصول (خاک زیرسطحی) ..... ۶۲

شکل ۵-۴- تغییرنمای تمام جهت متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول ..... ۸۷

شکل ۶-۴- تغییرنمای تمام جهت متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول ..... ۹۱

شکل ۷-۴- نقشه های کریجینگ برخی از ویژگیهای خاک در منطقه مورد مطالعه (قبل از کشت) ..... ۹۵

شکل ۸-۴- نقشه های کریجینگ برخی از ویژگیهای خاک در منطقه مورد مطالعه (بعد از کشت) ..... ۱۰۰

# فصل اول

## مقدمه

## ۱- مقدمه

سیب زمینی بعد از گندم، برنج و ذرت بیشترین سهم را در میزان تولید محصولات غذایی دارا بوده و نقش مهمی در تغذیه و سبد غذایی جمعیت جهان دارد (ارشدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ باغانی، ۱۳۸۸). در پی پیشنهاد کشور پرو، سازمان ملل سال ۲۰۰۸ را به نام سال سیب زمینی معرفی کرد تا این نامگذاری فرصتی شود برای شناسایی بهتر این منبع غذایی و رسیدن به اهداف توسعه جهانی (بی نام، ۱۳۸۷).

در میان ارقام مختلف این گیاه، سیب زمینی شیرین یکی از محصولات مهم در کشورهای در حال توسعه است و مقام هفتم از نظر تولید و مقام سیزدهم را از نظر ارزش اقتصادی در جهان دارا است. از سیب زمینی شیرین در بسیاری از کشورهای تولیدکننده به عنوان سالاد، علوفه دام، یا در تهیه بیسکویت و شیرینی و صنعت نشاسته و نوشابه و... استفاده می شود. این سبزی نشاسته ای با دارا بودن مقادیر بسیار زیادی از ویتامین های گروه B، C و ۱۵ ماده معدنی مختلف خواص درمانی متفاوتی دارد که از آن همه می توان به نقش آن در کاهش فشار خون، تقویت هوش و حافظه در کودکان، دفع سموم بدن، تقویت قلب و استحکام لثه ها اشاره کرد. همچنین سیب زمینی حاوی آنزیم هایی است که برای التیام زخم های معده بسیار مفید است. این ماده غذایی در طب چینی برای بهبود خواب، بخصوص در افرادی که برای به خواب رفتن دچار مشکل بوده اند، استفاده می شده است. از این سبزی می توان برای درمان پوست خشک و لکه دار نیز استفاده کرد (بی نام، ۱۳۸۷). در کشورهای اروپایی سیب زمینی مهمترین تغذیه پایه را در کنار غلات تشکیل می دهد. در کشورهای در حال توسعه اهمیت غذایی سیب زمینی به مراتب بیشتر است و در ایران بعد از گندم رتبه دوم را به خود اختصاص داده است (باغانی، ۱۳۸۸).

علاوه بر تأمین غذای بخش عظیمی از جمعیت جهان، سیب زمینی مصارف مختلف دیگری نیز دارد. مشتقات سیب زمینی در صنایع چاپ برای بالا بردن استقامت کاغذ و مستعد ساختن آن برای چاپ به کار می رود. در صنایع دارویی از مشتقات آن برای تولید قرصهای قابل جذب تر استفاده

می شود و در حال حاضر هر ساله حدود ۳۰۰ میلیون تن سیب زمینی در سراسر جهان تولید می شود که بیش از یک سوم کل این تولید به صورت سرخ شده مصرف تجاری دارد، بیش از یک چهارم آن به صورت تازه و بقیه آن در مصارف تجاری نظیر سیب زمینی های دهدراته، چیپس سیب زمینی و سایر فرآورده به کار برده می شود (بی نام، ۱۳۸۷). متوسط مصرف سرانه آن در ایران ۳۵ کیلوگرم است و با توجه به روند صعودی رشد جمعیت، ارزانی نسبی آن و گرانی منابع غذایی دیگر نیاز به تولید بیشتر این محصول اجتناب ناپذیر است (آجودان زاده، ۱۳۸۴؛ رنجبر، ۱۳۸۰). لذا با درنظر گرفتن اهمیت این محصول و ظرفیت ها و پتانسیل های موجود در ایران، جهت ارتقای سطح کیفی و کمی تولید، ضرورت نگاهی متفاوت تر و تخصصی تر به این محصول در جهت نزدیکی هر چه بیشتر به شاخص های جهانی احساس می شود (بی نام، ۱۳۸۷).

سیب زمینی تقریباً در همه استانهای ایران، از مناطق بیابانی تا مناطق مرطوب کرانه دریای خزر، کشت می شود. شهر مجن نیز یکی از قطب های عمده تولید سیب زمینی در شهرستان شاهرود است. وجود خاک حاصلخیز، شرایط اقلیمی مناسب و منابع غنی آبهای سطحی و زیرزمینی باعث گردیده که این منطقه از تنوع بسیاری در تولید محصولات زراعی و باغی و به ویژه سیب زمینی برخوردار باشد. کیفیت عالی این محصول در سطح کشور زبانزد است. اما متأسفانه، به گفته مسؤل واحد زراعت جهاد کشاورزی شاهرود، طی سال های اخیر میانگین برداشت محصول از این مزارع کاهش یافته است. در حال حاضر علت اصلی پایین بودن عملکرد و خصوصیات کیفی سیب زمینی را بایستی در مسأله به زراعی (سوء مدیریت) جستجو نمود. مصرف بی رویه و نامتعادل کودهای شیمیایی بویژه کودهای ازته و فسفات و عدم استفاده از کودهای آلی در مزارع سیب زمینی عملکرد را کاهش داده، از ارزش بیولوژیکی و خصوصیات کیفی آن نیز شدیداً می کاهد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳).

فسفر بعد از نیتروژن مهمترین عنصر مورد نیاز گیاه می باشد و فراهمی آن اغلب به عنوان یک فاکتور محدود کننده برای تولید فراورده های کشاورزی در سراسر جهان مطرح است (قربان زاده و همکاران، ۱۳۸۸؛ بیابانکی و حسین پور، ۱۳۸۶؛ Xiang-wen et al., 2008) و ارزیابی توانایی خاکها در

تأمین فسفر قابل استفاده گیاه و همچنین تعیین میزان فسفر لازم جهت تولید محصول بیشتر و با کیفیت بهتر از سالها پیش مورد توجه بوده است (رنجبر، ۱۳۸۰). در ایران این عنصر از نظر اقتصاد تهیه مواد خام، ساخت و واردات کود و همچنین به دلیل بررسی های خاکشناسی اهمیت فوق العاده ای نسبت به سایر عناصر دارد (سالاردینی، ۱۳۸۸). از سوی دیگر توانایی آن در القای کمبود عناصر کم مصرف ضروری و اثرات منفی آن بر محیط زیست سبب توجه بیشتر به این عنصر شده است (زلفی باوریانی و نوروزی، ۱۳۸۹).

در سالهای اخیر گزارشهای متعددی مبنی بر مصرف بیش از حد فسفر و تجمع آن در خاک ارائه شده است (توجه و همکاران، ۱۳۸۸). نتایج تحقیقات نشان می دهد که افزایش مصرف کودهای فسفر طی این سال ها، نه تنها عملکرد محصولات زراعی را چندان افزایش نداده بلکه در نتیجه برهم زدن تعادل عناصر غذایی، کاهش محصول را نیز در مواردی باعث شده است (توحیدی نیا، ۱۳۸۸). پیامدهای مصرف بی رویه کودهای فسفاته علاوه بر تجمع فسفر بیش از نیاز، ایجاد رقابت با جذب عناصر ریزمغذی به ویژه روی (Zn)، اتلاف سرمایه، ایجاد سمیت فسفر (جذب بیش از حد فسفر معدنی و بالا رفتن آن در بافتهای گیاهی که باعث برهم خوردن تعادل عناصر غذایی در گیاه شده، متابولیسم عناصر در درون گیاه را مختل می کند)، کاهش عملکرد، افت کیفیت، کاهش جمعیت میکوریزای ریشه، هدر رفتن ارز کشور و از همه مهمتر تجمع آلاینده هایی نظیر کادمیوم در محصولات کشاورزی می باشد (توحیدی نیا، ۱۳۸۸؛ اصغری، ۱۳۸۶). ازسوی دیگر انتقال عناصر از اراضی کشاورزی به منابع آب می تواند اثرات زیست محیطی نامطلوبی در برداشته باشد (Rodriguez et al., 2011; haffman et al., 2009). با تحقیق بر روی سیب زمینی مشخص گردیده است که در غلظت ۱/۲۲ درصد فسفر در سیب زمینی علائم سمیت فسفر مشاهده می شود و بروز کمبود روی حتمی خواهد بود (مطلبی فرد و یزدان پناه، ۱۳۸۶). بوان و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی اثرات متقابل روی و فسفر در سیب زمینی رقم روست<sup>۱</sup>، نتیجه گیری نمودند که غلظت بالای فسفر گیاه باعث کاهش جذب روی

وکاهش انتقال آن به اندامهای هوایی و تجمع در ریشه، ساقه و گره ها می شود. فسفر اضافی در خاک نه تنها از جذب روی جلوگیری می نماید بلکه در خود غده هم به صورت اسید فیتیک درآمده و این ماده مانع جذب آهن و روی در سیستم گوارشی انسان گردیده و در نتیجه از ارزش غذایی غده می کاهد. به عبارت دیگر با مصرف چنین غده هایی، به دلیل اسید فیتیک بالا، جذب روی و آهن در بدن انسان صورت نمی گیرد. همچنین به دلیل وجود کادمیوم در کودهای فسفاته، در صورت زیاده روی در مصرف کودهای فسفاته، تجمع کادمیوم در غده های سیب زمینی اتفاق می افتد که اثرات بسیار سوئی در سلامت جامعه مصرف کننده دارد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳).

لذا، با توجه به اهمیت و آثار مثبت و منفی فسفر در تغذیه گیاه و در نهایت تغذیه و سلامت انسان، نگارندگان بر آن شدند تا قابلیت دسترسی به این عنصر را در خاکهای تحت کشت سیب زمینی شهر مجن بررسی کنند. در این زمینه طرحی به اجرا درآمد که هدف آن بررسی میزان فسفر قابل استفاده در خاکهای منطقه، جهت بهبود و اصلاح مدیریت تغذیه و توصیه کودی صحیح و نیز کاهش خطرات زیست محیطی ناشی از مصرف بی رویه کودهای فسفره، از طریق نمونه برداری از برخی اراضی کشاورزی، بود. از این طریق می توان با اطلاع رسانی به مدیران و مولدین بخش کشاورزی، از مصرف بیش از حد کود اجتناب کرد و در نتیجه هزینه های تولید را نیز کاهش داد. در نگارش حاضر کلیات پژوهش و نیز مبانی نظری، روش، یافته ها و نتایج این پژوهش به همراه جدول های مربوط بیان شده است.

# فصل دوم

## مرور منابع

## ۲-۱- تاریخچه فسفر

فسفر (که یونانی آن فسفروس<sup>۱</sup> به معنای حامل روشنایی و از نامهای باستانی سیاره زهره می باشد) در سال ۱۶۶۹ میلادی توسط شیمیدان آلمانی هنینگ براند<sup>۲</sup> در حین تولید یک دارو از ادرار کشف شد. براند با تبخیر ادرار سعی در تقطیر نمک داشت که در این فرایند ماده سفید رنگی تولید شد که در تاریکی می درخشید و با نور زیادی می سوخت. از آن روز تابندگی فسفری برای شرح اشیاء که در شب بدون سوختن می درخشند بکار برده شد (Emsley, 2001). یک قرن بعد، یعنی در سال ۱۷۶۹، یک شیمیدان سوئدی به نام شیله<sup>۳</sup> به وجود فسفر در استخوان پی برد. این کشف آغازگر استحصال این عنصر از استخوان گردید و موجب رشد و تکامل روشهای مختلف آن شد (Slansky, 1986). اهمیت فسفاتها و نقش آنها به عنوان کود در بخش کشاورزی در پایان سده هجدهم آشکار گردید. در سال ۱۷۹۷ یک شیمیدان انگلیسی نام سوپر فسفات را به ماده دی هیدروژن کلسیم فسفات موجود در استخوان داد که بعداً به کود فسفاتی معروف شد. آشنائی با فسفاتهای طبیعی و شناخت قابلیت های بکارگیری آنها به عنوان کود در اوائل سده نوزدهم صورت گرفت و اولین کود فسفاتی متشکل از استخوان های پودر شده و فضولات پرندگان در همان زمان بکار برده شد. در سال ۱۸۴۰ یک دانشمند آلمانی بنام لیبیگ<sup>۴</sup> ثابت کرد که ارزش کودی استخوانها تحت تأثیر اسید سولفوریک بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. در سال ۱۸۴۲ جان لاوز<sup>۵</sup> در انگلستان تولید سوپر فسفات ساده را از ترکیب آپاتیت با اسید سولفوریک به ثبت رساند و بالأخره در سال ۱۸۵۲ تولید سوپر فسفات در مقیاس اقتصادی در آمریکا آغاز گردید و سرعت گسترش یافت (نمدمالیان و همکاران، ۱۳۷۷؛ Sanches, 2007)

1- Phosphorus

2- Henning Brand

3- C.W. Sheele

4- Justus Van Liebig

5- John Lawes

## ۲-۲- اهمیت فسفر در کشاورزی

فسفر یکی از عناصر غذایی پرنیاز موجودات زنده است که از نظر اهمیت غذایی در گیاهان پس از نیتروژن در درجه دوم قرار می گیرد (بیابانکی و حسین پور، ۱۳۸۶؛ Ramaekers et al., 2010). مهمترین نقش فسفر در گیاه، در انتقال و ذخیره انرژی به صورت مولکول ATP است. افزون بر این فسفر جزیی از پروتئین یاخته بوده و به عنوان بخشی از پروتئین هسته، غشاء یاخته ای و اسیدهای نوکلئیک نقشی ویژه دارد. این عنصر در تقسیم سلولی و ساخت چربی و آلبومین دخالت داشته و گل، میوه دهی و تشکیل دانه را در گیاهان افزایش می دهد. هنگامی که این عنصر به مقدار کافی عرضه شود کیفیت بعضی از میوه ها، علوفه مرتعی، سبزی ها و غلات بهتر می شود و مقاومت گیاه در برابر بیماری ها نیز افزایش می یابد (سالاردینی، ۱۳۸۸؛ خوشگفتارمنش، ۱۳۸۶؛ Fageria, 2009). بنابراین بی دلیل نیست که فسفر به عنوان کلید زندگی گیاه لقب گرفته است (Foth and Ellis, 1996؛ Somani and Kanthaliya, 2004)؛ لذا هرگونه تغییر در میزان فسفر موجود در گیاه می تواند تأثیر مستقیمی روی فعالیتهای حیاتی سلولها و گیاه داشته باشد. بررسی فسفر قابل جذب در خاک به دلیل نقش آن در تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان حائز اهمیت می باشد. ظرفیت جذب فسفر خاک، غلظت فسفر محلول را کنترل می کند. غلظت کافی فسفات در محلول خاک و حفظ این غلظت تأثیر تعیین کننده ای بر میزان رشد گیاه دارد (رضایی و نائینی، ۱۳۸۸؛ Curtina and Syers, 2009). مواد آلی و کانی خاکها، تنها منبع فسفر برای رشد گیاهان می باشد مگر اینکه فسفر به صورت کودهای شیمیایی و حیوانی اضافه گردد (فرزانه، ۱۳۸۲).

## ۲-۳- فسفر در خاک

مقدار فسفر خاکها کمتر از مقدار نیتروژن کل یا پتاسیم آنها و حدود یک چهارم تا یک دهم نیتروژن و یک دوازدهم پتاسیم می باشد. مقدار فسفر کل خاک سطحی و تحت الارض ممکن است از چند میلی گرم در کیلوگرم تا یک گرم در کیلوگرم متغیر باشد و نیز بر خلاف نیتروژن که در

سطح‌الارض انباشته می شود مقدار فسفر در تحت الارض ممکن است کمتر، مساوی یا بیشتر از مقدار آن در سطح الارض باشد (Prasad and Power, 1997). بنابر این با توجه به نوع مواد مادری، شدت هواپدیدی و مقدار هدررفت فسفر توسط فرسایش و آبشویی، میزان فسفر در خاکهای مختلف تفاوت زیادی دارد (جوانمرد، ۱۳۸۳؛ حجازی مهریزی، ۱۳۸۴؛ Stevenson and Cole, 1999) بطوری که خاکهای تشکیل شده از سنگهای آذرین اسیدی معمولاً فسفر کمی دارند در حالی که خاکهای تشکیل شده از سنگهای بازی حاوی مقادیر متوسط تا زیاد فسفر هستند. خاکهای آهکی جوان مناطق خشک و نیمه خشک دارای فسفر کل زیادی هستند (فرزانه، ۱۳۸۲؛ دی فوٹ و الیس، ۱۳۷۶). طی چندین دهه گذشته با مصرف کودهای شیمیایی فسفاته میزان فسفر کل اراضی کشاورزی به صورت قابل ملاحظه ای افزایش یافته و از حد طبیعی فراتر رفته است (دهقان، ۱۳۸۲).

## ۲-۴- اشکال مختلف فسفر در خاک

فسفر در خاک، بسته به ماهیت ترکیباتی که فسفر در آنها یافت می شود، به دو شکل آلی و معدنی می باشد. بخش آلی آن در هوموس و مواد آلی و قسمت معدنی آن به صورت ترکیباتی با کلسیم (در خاک های آهکی)، آهن و آلومینیوم (در خاک های اسیدی) و سایر فلزات همراه است. این مواد به مقدار کمی در آب حل می شوند. علاوه بر کانیهای فسفاته، فسفر به صورت دیگری نیز در فاز جامد معدنی وجود دارد و آن جذب سطحی فسفر روی سطوح کانیهای سیلیکاتی، کربنات کلسیم، مواد آلی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم است (طهماسبی و حسین پور، ۱۳۸۶؛ Howard et al., 2006). بنابراین به طور کلی فسفر موجود در خاک را می توان به چهار دسته تقسیم نمود (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳؛ دهقان، ۱۳۸۲):

۱- فسفر موجود در ساختمان مواد آلی خاک

۲- کانی های بلوری و غیربلوری فسفردار

۳- فسفر جذب شده بر روی سطوح ذرات خاک

## ۴- فسفر موجود در محلول خاک

## ۲-۴-۱- فسفر آلی خاک

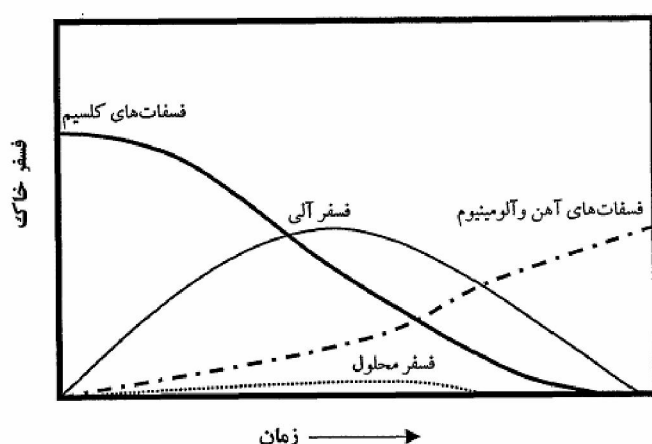
مقدار فسفر آلی خاک از چند میلی گرم تا نیم گرم در کیلوگرم خاک متغیر است (۲۰ تا ۸۰ درصد فسفر کل). مقدار فسفر آلی بستگی به عواملی مانند اقلیم، پوشش گیاهی، بافت خاک، کاربری زمین، مصرف کود، زهکشی، آبیاری و غیره دارد. تعدادی از این عوامل به هم وابسته می باشند. به طور مثال فسفر آلی خاک سطحی جزء کمتری از کل فسفر خاک را در مناطق گرم شامل می شود و این جزء در مناطق سرد جهان بیشتر است (Prasad and Power, 1997). همچنین مقدار فسفر آلی در خاکهای آلی و پیت، نسبت به خاکهای معدنی بیشتر است. در خاکهای معدنی با بافت سنگین نیز نسبت به خاکهای سبک بافت، فسفر بیشتری به شکل آلی وجود دارد (Krishna, 2002). فسفر آلی تمایل به تجمع در سطح خاک را دارد زیرا فسفر آلی بخشی از ماده آلی است؛ هرچند خاکهای آلی رسوبی نیز موجود هستند که مقدار فسفر آنها در تحت الارض بیش از خاک سطحی می باشد (Prasad and Power, 1997). تقریباً حدود ۱ درصد از فسفر آلی خاک که شناسایی شده است در فسفولیپیدها، ۵ تا ۱۰ درصد در اسیدهای نوکلئیک و بیش از ۶۰ درصد در فسفات های اینوزیتول یافت می شود و بخش قابل توجهی از فسفات های آلی خاک هنوز ناشناخته است (Sanchez, 2007). به هر حال فسفر آلی به طور مستقیم اثری در تغذیه فسفره گیاه ندارد، بلکه باید فسفر آلی قبل از جذب گیاه، معدنی شود (فرزانه، ۱۳۸۲).

## ۲-۴-۲- کانی های فسفات

تا کنون حدود ۱۷۰ کانی حاوی فسفر شناسایی شده است (جعفری، ۱۳۸۳). کانی های فسفات خاک در یک دسته بندی کلی شامل فسفات های کلسیم، فسفات های آهن و آلومینیوم می باشند. فسفاتهای کلسیم در خاکهای خنثی و آهکی و با هوادیدگی کم دیده می شوند حال آنکه فسفاتهای آهن و آلومینیوم در خاک های اسیدی و با هوادیدگی زیاد مشاهده می شود. با هوادیدگی، کلسیم و

سایر عناصر غیر اسیدی در طی آبشویی از محیط خارج می شوند و اکسید های آهن و آلومینیوم غالب می شوند. اکسید های آهن و آلومینیوم با یون ارتو فسفات ترکیب می شوند. بنابراین با افزایش هوازدگی و تکامل خاک، کانی های فسفات از شکل فسفات های کلسیم به اشکال فسفات های آهن و آلومینیوم تبدیل می شود (Yerokun, 2008؛ Foth and Ellis, 1996) (شکل ۲-۱).

جدول (۲-۱) برخی از ترکیبات مختلف فسفات های آهن و آلومینیوم و جدول (۲-۲) برخی از ترکیبات فسفات های کلسیم را نشان می دهد.



شکل ۲-۱: توزیع نسبی اشکال فسفر خاک در ارتباط با زمان تکامل خاک

جدول ۲-۱: برخی از ترکیبات فسفات های آهن و آلومینیوم (سالاردینی، ۱۳۷۴)

| نام ترکیب            | فرمول شیمیایی                                                                         | توضیحات                                                                                                                        |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| واریسیت Varisite     | $\text{Al PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$                                            | در خاک های با زهکش خوب و در نواحی که میزان بارندگی زیاد باشد قسمت عمده فسفات های خاک به صورت فسفات های متبلور ذکر شده می باشد. |
| استرنگیت Strengite   | $\text{Fe PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$                                            |                                                                                                                                |
| وی ویانیت Vivianite  | $\text{Fe}_3 (\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$                               | در خاک های با زهکش نامناسب و در رسوبات یخچالی وجود دارد.                                                                       |
| ویولیت Wavellite     | $\text{Al}_8 (\text{PO}_4)_2 (\text{OH})_3 (\text{PO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | این کانی به اندازه های رس، لیمون و شن مشاهده شده و جزء معادن فسفات محسوب می شود                                                |
| کراندالیت Crandallit | $\text{CaAl}_3 (\text{PO}_4)_2 (\text{OH})_6$                                         | در جزایر اقیانوس آرام و رسوبات آهکی تشکیل شده است.                                                                             |

جدول ۲-۲: برخی از ترکیبات مختلف فسفات های کلسیم (سالاردینی، ۱۳۷۴)

| نام ترکیب        | فرمول شیمیایی                                                    | توضیحات                                                                                                                                       |
|------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مونو کلسیم فسفات | $\text{Ca} (\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$   | در آب محلول است و یون فسفات غالب کود های فسفری است                                                                                            |
| دی کلسیم فسفات   | $\text{Ca} (\text{HPO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$           | به مقدار ناچیزی در آب محلول است.                                                                                                              |
| اکتا کلسیم فسفات | $\text{Ca}_4 \text{H} (\text{PO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | معمولا به مقدار زیاد در خاک ها مشاهده نمی شود و در شرایط خاصی در خاک بوجود می آید.                                                            |
| تری کلسیم فسفات  | $\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2$                                    | هنوز کاملا معلوم نیست که چگونه در خاک بوجود می آید ولی در حرارت زیاد از ترکیب فسفات های دیگر کلسیم و هیدروکسید کلسیم بوجود می آید             |
| هیدروکسی آپاتیت  | $\text{Ca}_{10} (\text{PO}_4)_6 (\text{OH})_2$                   | در آب هیدرو لیز نمی شود و در غالب خاک ها وجود دارد                                                                                            |
| فلوئور آپاتیت    | $\text{Ca}_{10} (\text{PO}_4)_6 \text{F}_2$                      | مهم ترین کانی فسفات تجارتي است                                                                                                                |
| آپاتیت           | $\text{Ca}_{10} (\text{PO}_4)_6$                                 | تقریبا ۹۵ درصد ترکیب فسفری سنگ های آذرین را تشکیل میدهد و در غالب خاک های زراعی مشاهده می شود و در بیشتر موارد نصف آن بصورت فلوئور آپاتیت است |

### ۲-۴-۳- فسفر جذب سطحی شده

علاوه بر کانیهای فسفات، فسفر به صورت دیگری نیز در فاز جامد معدنی جای می گیرد. یکی از این راهها جذب سطحی فسفر روی سطوح کانیهای سیلیکاتی، کربنات کلسیم، مواد آلی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم است. در واقع این فسفر جایگزین تنها یک گروه هیدروکسیل لبه کانی ها گردیده و برگشت پذیر می باشد (حسین پور، ۱۳۸۷؛ حجازی مهریزی، ۱۳۸۴). مقدار فسفر جذب سطحی شده در خاکها متفاوت است که دلیل آن را می توان به وجود مقادیر متفاوت ترکیباتی نظیر اکسید ها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، کربنات کلسیم، ماده آلی و pH متفاوت خاکها نسبت داد. در خاکهای آهکی کربنات کلسیم مکان اصلی جذب سطحی فسفر محسوب می شود در حالی که در خاکهای اسیدی جذب سطحی توسط اکسید های آبدار آهن و آلومینیوم و شبکه رس های لایه ای ۱:۱ صورت می گیرد. فسفر به وسیله کانی های رسی نیز جذب سطحی می شود اما توانایی این کانی ها در جذب سطحی فسفر کمتر از اکسید های آهن و آلومینیوم است (سالاردینی،

۱۳۸۸). این شکل از فسفر در تعادل با فسفر محلول می باشد و لذا خاکهایی که دارای فسفر تبادلی پایین هستند (نظیر خاکهای شنی یا خاکهای آلی) از لحاظ تغذیه فسفر دچار مشکل هستند و اکثر گزارشهایی که از کمبود فسفر ارائه شده است مربوط به خاکهای با توان پایین جذب فسفر می باشد (حجازی مهریزی، ۱۳۸۴).

## ۲-۴-۴- فسفر محلول

فسفر محلول ممکن است به صورت ارتوفسفات یا همچنین پلیمرهای بالاتر وجود داشته باشد. در صورتی که پلی فسفاتها به صورت کود به محلول خاک اضافه شود، در مدت نسبتاً کوتاهی هیدرولیز شده و به شکل ارتوفسفات در خواهد آمد (دی فوٹ و الیس، ۱۳۷۶؛ Foth and Ellis, 1996). گیاهان فسفر را عمدتاً به صورت یونهای ارتوفسفات جذب می کنند (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). اگرچه گیاهان آنیون یک ظرفیتی  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  را به آنیون دو ظرفیتی  $\text{HPO}_4^{2-}$  ترجیح می دهند ولی برتری این دو یون در خاکهایی که pH آنها در محدوده ۴ تا ۸ واقع است اهمیت زیادی ندارد زیرا در این دامنه تبدیل این دو گونه یونی بسیار سریع صورت می گیرد (عطاردی، ۱۳۸۴؛ Fageria, 2009). گیاهان قادرند علاوه بر ارتوفسفاتها، بعضی از فسفاتهای محلول را نیز تا حدودی جذب نمایند (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳؛ تیسدل و نیلسون، ۱۳۷۰). معمولاً غلظت فسفر محلول خیلی کم و در حدود ۰/۱ تا ۱ میلی گرم در کیلوگرم است و غلظت آن در خاک های زراعی حاصلخیز در حدود ۰/۳ تا ۳ میلی گرم در کیلوگرم و در خاک های غیر حاصلخیز کمتر از ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم است (سلیمانی درچه، ۱۳۷۳؛ جعفری، ۱۳۸۳). برای اکثر محصولات کشاورزی فسفر محلول مورد نیاز ۰/۲ تا ۰/۳ میلی گرم در کیلوگرم می باشد که در این غلظت گیاهان قادرند بالاترین محصول را تولید نمایند در حالیکه برای گیاهان دیگر حتی تا ۲۵ برابر این غلظت مورد نیاز است (Fageria, Riemersma et al., 2006). به هر حال غلظت فسفر محلول در خاک بسیار با اهمیت است و باید به گونه ای باشد که نیاز غذایی گیاهان را تأمین نماید و شیبی در جهت ریشه گیاهان داشته باشد تا جذب به خوبی و به اندازه

کافی صورت گیرد. نگهداری یک غلظت مناسب در محلول خاک، در میان سایر عوامل، به سرعت نسبی تشکیل و تجزیه مواد آلی، توانایی بخش معدنی خاک برای ترکیب یا تثبیت ارتوفسفاته‌های محلول و تبدیل آنها به اشکال نامحلول یا کم محلول بستگی خواهد داشت (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). در ذیل تأثیر تعدادی از عوامل در حلالیت و جذب فسفر توسط گیاه بررسی می گردد.

## ۲-۵- عوامل مؤثر در حلالیت و جذب فسفر از خاک

عوامل زیادی بر روی فسفر موجود در خاک و تثبیت یا قابلیت جذب آن توسط گیاهان موثرند که می توان آنها را به چهار دسته کلی خصوصیات خاک، خصوصیات گیاه، شرایط اقلیمی و مدیریت زراعی تقسیم نمود (سلیمانی درچه، ۱۳۷۳؛ Ciampitti et al, 2011).

### ۲-۵-۱- تأثیر عوامل خاکی

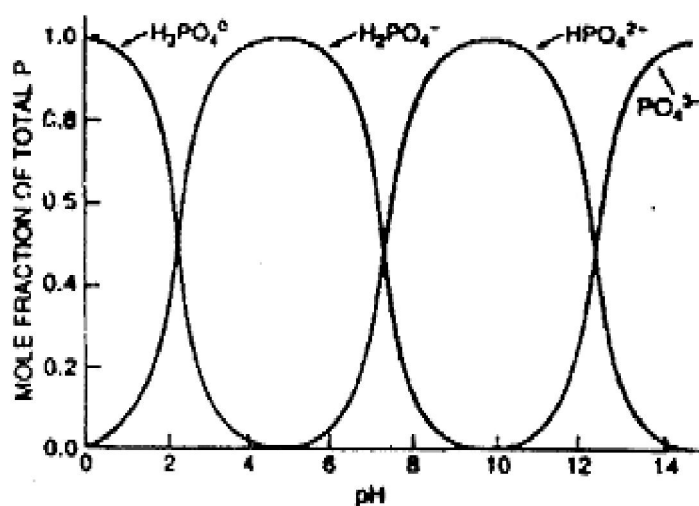
حلالیت و قابلیت جذب فسفر تابع عوامل متعددی است. اثرات این عوامل همیشه توأم می باشد به طوریکه امکان مطالعه جداگانه آنها غیر عملی می باشد، با این حال سعی شده است عوامل خاکی مؤثر در قابلیت جذب فسفر تحت عنوان های مانند واکنش خاک، آهن و آلومینیوم، کانی های رس و یون کلسیم بحث شود.

#### ۲-۵-۱-۱- اثر واکنش خاک

pH خاک تأثیر بسیار زیادی در فراهمی یونهای آهن، آلومینیوم، کلسیم و... در محلول خاک و در نتیجه بر حلالیت و قابلیت جذب فسفر دارد. تحقیقات نشان داده است که حداکثر قابلیت جذب فسفر برای گیاه در pH حدود ۶ تا ۶/۵ بدست می آید زیرا کانی های کنترل کننده فسفر در این pH توأمأ حضور داشته و حلالیت بالایی دارند (عطاردی، ۱۳۸۴؛ Fageria, 2009).

همانطور که در شکل (۲-۲) مشاهده می شود، در pH بین ۴ تا ۶ بخش اعظم فسفر در محلول خاک به صورت یون  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  است و از آنجا که در آب محلول می باشد براحتی توسط ریشه گیاه

جذب می شود. با افزایش pH از میزان این یون کاسته شده و در pH بین ۸ تا ۱۰،  $\text{HPO}_4^{2-}$  یون غالب محلول خاک می باشد. یون  $\text{HPO}_4^{2-}$  به خوبی یون  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  نمی تواند جذب گیاه شود. در چنین شرایطی یون سدیم نیز در فاز تبادلی خاک غالب بوده و مقداری از فسفات، به شکل سدیم فسفات در می آید و با هیدرولیز، حلالیت آن زیاد می شود. در pH بیشتر از ۱۰ فرم غالب فسفر،  $\text{PO}_4^{3-}$  است و در صورت عدم وجود سدیم فسفات، فسفر برای گیاهان قابل جذب نیست. در pH کمتر از ۳، که در خاکهای زراعی مشاهده نمی شود، فسفر به شکل  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (اسید فسفریک) وجود دارد و بسیار فرم فعال و واکنش پذیری می باشد و گویای این واقعیت است که در خاکهای خیلی اسیدی اولتی سول و اکسی سول تثبیت فسفر سریع بوده و به منظور تأمین رشد مطلوب گیاه مقادیر زیادی کودهای فسفردار بایستی مصرف شود (Prasad and Power, 1997).



شکل ۲-۲: اثر pH بر توزیع گونه های ارتوفسفات (Prasad and Power, 1997)

pH خاک به طریق دیگری نیز در جذب فسفر مؤثر می باشد بدین صورت که معدنی شدن فسفر آلی در خاک با افزایش pH تشدید می شود. علت این امر را می توان بدین طریق تشریح کرد که با افزایش pH قدرت جذب هیدروکسید های فلزی خاک برای جذب فسفات های آلی کم می شود، فسفات های آلی محلولتر شده و بنابراین مستعد معدنی شدن می شوند (سالاردینی، ۱۳۸۸).

## ۲-۵-۱-۲- اثر آهن و آلومینیوم

در خاکهای اسیدی مقدار قابل توجهی یون های فعال آهن، آلومینیوم و منگنز تشکیل می شود. این یون ها با فسفات ترکیب می شوند و ترکیبات نا محلول آهن و آلومینیوم و شاید منگنز را تشکیل می دهند. ترکیبات حاصل ممکن است از محلول رسوب نموده و یا روی سطح اکسید های آهن و آلومینیوم یا ذرات رس جذب سطحی شود. حلالیت این ترکیبات تازه انباشته شده معمولاً با گذشت زمان کمتر می شود و بنابراین قابلیت جذب فسفر از خاک کاهش می یابد (سالاردینی، ۱۳۸۸؛ Bridgham et al., 2001).

## ۲-۵-۱-۳- اثر یون کلسیم

یون کلسیم با فسفر موجود در خاک واکنش داده و به صورت فسفاتهای کلسیم رسوب می کند. با گذشت زمان ترکیبات نامحلولتری از فسفات کلسیم ایجاد می شود به طوریکه مونو کلسیم فسفات محلول ابتدا به دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات و نهایتاً به آپاتیت تبدیل می شود (سالاردینی، ۱۳۸۸؛ عطاردی، ۱۳۸۴؛ Zhou and Yuncong, 2001). در خاک های قلیایی دارای کربنات کلسیم آزاد، مکانیزم دیگری نیز مسئول کاهش فعالیت فسفر است. یون فسفر محلول خاک وقتی با کلسیم سطحی کربنات کلسیم که در فاز جامد است تماس پیدا کند، در روی سطح این ذرات رسوب می کند که مقدار رسوب به بزرگی سطح ذرات و غلظت یون فسفات در محلول بستگی دارد. هر چه ذرات کربنات کلسیم خاک ریزتر باشد مقدار کلسیم فعال آن بیشتر بوده و تثبیت فسفر بیشتر خواهد بود. مکانیزم دیگری که کلسیم در آن نقش دارد پدیده پل زدن<sup>۱</sup> است که در این پدیده کلسیم به منزله پلی بین کانی رس و یون فسفات می باشد (Essington, 2003).

به طور خلاصه می توان گفت که در خاکهای آهکی یون کلسیم نقش اساسی را در مقدار تثبیت فسفر به عهده دارد. هر چه فعالیت یون کلسیم در فاز محلول بیشتر، مقدار کربنات کلسیم بیشتر و

---

1- Bridging

ذرات آن ریزتر و بالأخره مقدار رس های ۱ به ۲ در خاک بیشتر باشد مقدار بیشتری فسفر در نتیجه عمل کلسیم تثبیت می شود (سالاردینی، ۱۳۸۸). در ایران بیش از ۶۰ درصد اراضی زیر کشت به درجات مختلف آهکی هستند به همین دلیل راندمان مصرف کودهای فسفره در این اراضی کم بوده و باعث مصرف بیش از اندازه فسفر و صرف هزینه های اقتصادی بالایی می شود (سماواتی و حسین پور، ۱۳۹۰).

## ۲-۵-۱-۴- اثر کانی های رسی

ذرات رس منجر به ابقا یا تثبیت فسفر در خاک می شوند؛ لذا خاکهای با بافت ریز، مثلاً خاک لومی رسی، دارای ظرفیت تثبیت بالاتری نسبت به خاکهای با بافت درشت شنی می باشند. اگر چه دقیقاً مشخص نیست که این تثبیت چگونه صورت می گیرد ولی به هر حال دخالت آهن و آلومینیوم در این واکنش ها قطعی است. تحقیقات نشان داد که با حذف این فلزات از سطح رس کائولینیت و مونت موریلونیت و دیگر کانی های رس قدرت تثبیت فسفر آنها به صفر یا مقدار ناچیزی تقلیل پیدا کرد (سالاردینی، ۱۳۷۴). یکی از روش های اتصال فسفر به سطح کانی های رس ترکیب آن با عامل هیدروکسیل متصل به اتم آلومینیوم می باشد. هرچه مقدار این هیدروکسیل ها در رس بیشتر باشد قدرت تثبیت رس بیشتر خواهد بود. بنابراین قدرت تثبیت فسفر در رس های لایه ای نوع ۱ به ۱ (مثلاً کائولینیت) نسبت به رس های ۱ به ۲ لایه ای (مونت موریلونیت، ایلیت و ورمی کولیت) بیشتر می باشد (بوهن و اوکانر، ۱۳۸۶؛ Krishna, 2002).

تبادل آنیونی را نیز یکی دیگر از پدیده های نگهداری فسفر بوسیله رس ها می دانند. هرگاه کانی های رسی را که مقداری فسفر جذب کرده باشد با آنیون هایی مانند آرسنات، اکسالات یا حتی هیدروکسیل شستشو داده شود مقداری فسفر آزاد می شود به هر حال در این تبادل برخلاف تبادل کاتیونی نسبت آنیون آزاد شده به گرفته شده برابر نمی باشد. تبادل آنیونی در رس های ۱ به ۱ بیش از رس های ۱ به ۲ است (سالاردینی، ۱۳۸۸؛ Stevenson and Cole, 1999).

مکانیزم سومی که در نگهداری فسفات بوسیله رس و بنابر این در قابلیت جذب فسفر دخالت دارد پدیده پل زدن است، که قبلاً نیز به آن اشاره شد، بنابراین رس هایی که از کلسیم اشباع شده باشند از رسی که با سدیم اشباع شده باشد مقدار بیشتری فسفات تثبیت می کند. پل زدن کلسیم، آهن یا آلومینیوم در خاک بیشتر از جنبه نظری مهم است زیرا در خاکهای اسیدی هیدروکسید و یونهای آهن و آلومینیوم نقش اساسی را در تثبیت ایفا می کنند و در خاکهای آهکی و قلیایی وقتی رس ها با کلسیم اشباع شده باشند مقدار زیادی کربنات کلسیم آزاد نیز در محیط موجود است که در آن صورت عامل مهم در تثبیت همان کربنات کلسیم خواهد بود (سالاردینی، ۱۳۸۸؛ بوهن و اوکانر، ۱۳۸۶).

## ۲-۵-۲- تاثیر عوامل گیاهی

غیر از عوامل خاکی که در قسمت های قبلی درباره آنها بحث شد عوامل دیگری نیز در توانایی گیاه در جذب فسفر خاک تاثیر دارند. به عبارت دیگر وقتی شرایط یکسان و فقط نوع گیاه متفاوت باشد مقدار و قابلیت جذب فسفر از خاک نیز متفاوت خواهد بود (Rubio et al., 2003؛ Vance et al., 2003) این عوامل در زیر آورده شده اند.

### ۲-۵-۲-۱- اثر محیط ریشه<sup>۱</sup>

ریشه گیاه با جذب و آزاد کردن مواد مختلف، به خاکی که در محدوده فعالیت خود قرار دارد، تغییرات شیمیایی و حیاتی فوق العاده ای می دهد که باعث تغییر در قابلیت جذب عناصر متعددی از جمله فسفر می شود (Ryan et al., 2001؛ Scott and Condron, 2003). نتایج آزمایشات بسیاری نشان می دهد که ریشه گیاه خود رأساً تأثیری در حلالیت فسفر خاک ندارد بلکه اثر آن به واسطه وجود تجمع موجودات ذره بینی است که در روی ترشحات و مواد آلی که از ریشه ها ترشح می شوند، زندگی می کنند. ریشه گیاهان مختلف هر یک موجودات ذره بینی خاصی را به وجود می آورند.

1- Rhizosphere

بنابراین اثر آنها در حلالیت فسفر متفاوت است. مثلاً ریشه شلغم بیش از یولاف ترشح دارد و جمعیت موجودات ذره بینی محیط ریشه آن بیشتر می باشد. مطالعات دانشمندان دیگر نشان داده است که تعداد بیشماری باکتری های حل کننده فسفات کلسیم در خاکی که در آن گیاه کاشته شده است وجود دارند که در خاکهای بدون گیاه مشاهده نمی شوند. این باکتری ها با مصرف هیدروکربن و گلوکز و بعضی مواد آلی دیگر قادرند اسیدهای آلی مانند اسید لاکتیک ترشح کنند که باعث حل شدن فسفات کلسیم می شود (سالاردینی، ۱۳۸۸).

#### ۲-۵-۲-۲- تاثیر مشخصات ریشه

بین گونه های مختلف گیاهان از نظر قدرت جذب فسفر و وسعت پراکندگی ریشه تفاوت زیادی مشاهده می شود (Rubio et al., 2008). عده ای از پژوهشگران در بررسی قدرت جذب ریشه های جدا شده ماش، جو و یونجه مشاهده نمودند که مقدار فسفری که این ریشه ها می توانند جذب کنند در ماش بیش از جو و آن هم بیش از یونجه است. به عقیده این دانشمندان علت اصلی تفاوت جذب فسفر در این گیاهان وجود تعداد متفاوت محل های گیرنده خاص فسفر روی ریشه می باشد که جذب فعال این عناصر را با پدیده حامل باعث می شود (سالاردینی، ۱۳۸۸). در یک گونه گیاه هر چه سطح ریشه افزایش یابد جذب فسفر یا عناصر دیگر نیز افزایش می یابد (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۶).

#### ۲-۵-۲-۳- تاثیر نیاز گیاه

در صورت مقایسه گیاهان مختلف از نظر فسفر مشاهده می شود که مقدار این عنصر در این گیاهان و در نتیجه نیاز آنها متفاوت می باشد (Rubio et al., 2008). به طور کلی گیاهانی که به آهستگی رشد و نمو می کنند و یا درصد فسفر آنها کم باشد می توانند در شرایط فسفر کم به خوبی رشد کنند در صورتی که گیاهانی که سریع الرشده بوده و دارای فسفر زیادی نیز باشند، در خاکهایی که فسفر آنها کم باشد دچار کمبود می شوند. اصولاً گیاهان یکساله، که بسیاری از گیاهان زراعی معمول دنیا در جمع آنها هستند و بایستی تمام مواد غذایی موردنیاز خود را در مدت یک فصل زراعی

جذب کنند، احتیاج به مقدار زیادی فسفر قابل جذب در خاک دارند در صورتیکه درختان جنگلی و میوه، که درصد بسیار بزرگی از فسفر موردنیاز خود را به صورت ذخیره از سال یا سالهای قبل در تنه یا شاخه های خود نگه داشته اند، احتیاج کمی به این عنصر دارند (سالاردینی، ۱۳۸۸).

## ۲-۵-۳- تاثیر عوامل مدیریتی

### ۲-۵-۳-۱- اثر مواد آلی

معلوم شده است که برگرداندن شاخ و برگ گیاهان و دادن کود سبز به زمین و افزودن هرگونه مواد آلی به خاک بر قابلیت جذب فسفر بوسیله گیاه می افزاید. دلایل این امر را می توان به صورت زیر خلاصه کرد (زلفی باوریانی و نوروزی، ۱۳۸۹؛ Delgado et al., 2002):

- ترکیب گاز کربنیک تولید شده از تجزیه مواد آلی با آب تولید اسید کربنیک می نماید. این اسید در خاک های آهکی، حلالیت ترکیبات فسفاتی را افزایش داده و بدین ترتیب قابلیت جذب آنها فزونی می یابد.

- در اثر تجزیه مواد آلی، ترکیبات مختلط فسفو هومیک، که با سهولتی بیشتر جذب گیاه می شوند، به وجود می آید.

- یون هومات جایگزین فسفات های جذب سطحی شده گردیده، یون اخیر آزاد و قابل جذب گیاه می شود.

- هوموس، سطوح ذرات اکسید های آهن و آلومینیوم را پوشانده و از ظرفیت تثبیت فسفات خاک می کاهد.

- آنیون های آلی ناشی از تجزیه مواد آلی، ترکیبات پیچیده ای را با آهن و آلومینیوم بوجود آورده و بدین ترتیب مانع از واکنش فسفات با آنها می شود.

- کربنات کلسیم، در حضور مواد آلی، قادر به جذب مقدار کمتری فسفات می باشد. تحقیقات نشان داده اند که فسفات و ترکیبات آلی، برای مکانهای جذبی مشابهی بر سطح این کانی رقابت می کنند.

- ایجاد پوشش مواد آلی، بر سطح خاکدانه ها، باعث کاهش کارمایه جذب فسفات می گردد.

- پوشش مواد آلی بر سطح رس ها، باعث کاهش ظرفیت جذب فسفات می گردد.

## ۲-۵-۳-۲- اثر کودهای ازته

ازت خاک به دو طریق می تواند در قابلیت جذب فسفر مؤثر باشد. یکی اثرات بیولوژیکی است که به صورت تغییراتی در شکل و فعالیت های گیاه ظاهر می شود؛ مانند افزایش سطح مؤثر و قدرت جذب ریشه، افزایش فعالیت تنفسی و آنزیمی گیاه. اثر دیگر ازت اثر شیمیایی آن در حلالیت فسفر خاک می باشد (Fageria, 2009).

افزایش ازت به محیط ریشه باعث جذب بیشتر اکسیژن و آزاد شدن اسید کربنیک به وسیله ریشه و افزایش فعالیت های آنزیمی مسئول جذب فسفر می شود. از آنجا که جذب فسفر توسط گیاه با پدیده جذب فعال صورت می گیرد و این پدیده با زیاد شدن شدت تنفس شدت بیشتری خواهد داشت، افزایش ازت به محیط نمو گیاه باعث جذب بیشتر فسفر می شود. تحقیقات نشان داده است افزایش کود های ازتی به محیط ریشه گیاه ظرفیت تبدلی ریشه غالب گیاهان را زیاد می کند و این ریشه ها مقدار بیشتری آنیون های آلی ترشح نموده و در نتیجه در خاکهای اسیدی مقدار بیشتری فسفر به صورت فسفات آهن یا آلومینیوم محلول درمی آید که بالآخره جذب گیاه می شود. در خاکهای قلیایی ظرفیت تبدلی زیاد ریشه جذب بیشتر کلسیم را باعث می شود و در نتیجه مقدار زیادی فسفر از فسفات کلسیم به صورت محلول آزاد می شود که می تواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد (سالاردینی، ۱۳۸۸؛ ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

از اثرات شیمیایی کود های ازتی در جذب فسفر اثری است که این کود ها در واکنش خاک و در نتیجه در حلالیت فسفر دارد. همانطور که می دانید بعضی از کود های ازتی اسید زا و بعضی قلیایی هستند. در خاک های اسیدی کود های اسید زا باعث افزایش اسیدیته و تشکیل فسفات آهن یا آلومینیوم می شوند که قابلیت جذب کمی دارند. در این خاکها کود های ازتی قلیایی باعث تشکیل

فسفات کلسیم یا سدیم و بنابراین جذب بیشتر این عنصر بوسیله گیاه می شوند. در خاکهای آهکی و قلیایی کود های ازتی اسید زا با کاهش موضعی pH باعث می شوند بخشی از فسفات های نامحلول به ترکیباتی محلولتر مثل دی کلسیم فسفات تبدیل گشته و بدین ترتیب قابلیت جذب فسفر برای گیاه افزایش می یابد (سالاردینی، ۱۳۸۸؛ ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). زانگ و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه اثر کودهای ازتی بر روی جذب فسفر، مشاهده کردند که مصرف کود ازته به شکل سولفات آمونیوم باعث کاهش pH محیط ریشه گیاه گندم به مقدار ۰/۳ تا ۰/۶۵ واحد و در نتیجه افزایش جذب فسفر توسط گیاه شد. آنها علت این امر را افزایش حلالیت فسفاتهای کلسیم در اثر اسیدی شدن محیط ریشه بیان کردند. همچنین دریافتند که مصرف کود ازته به شکل نترات اثرات کمتری بر روی فسفر معدنی خاک داشت.

## ۲-۵-۳- اثر افزایش فسفات

تحقیقات نشان داده است که در هر خاکی قابلیت جذب فسفر با افزایش فسفات افزایش می یابد (جلالی و کلاه چی، ۱۳۸۴؛ Stevenson and Cole, 1999) دانشمندان علت این امر را افزایش سطح فعال ترکیبات فسفوری می دانند (سالار دینی، ۱۳۸۸). نتایج بررسیهای باربر (۱۹۸۴) نشان داد در صورتیکه فسفر محلول اولیه خاک بالا باشد با افزایش مقدار مشخص کود فسفره مقدار فسفر محلول کمتری به خاک اضافه می گردد؛ در عوض جذب فسفر توسط خاک بیشتر می شود. وضعیت فسفر خاک، از نظر درجه اشباع فسفر خاک، در قابلیت جذب این عنصر تأثیر فوق العاده ای دارد. هر خاکی وضعیت تثبیت فسفر مشخصی دارد. وقتی کودهای فسفوری به اندازه کافی به این خاکها داده شود ظرفیت تثبیت آنها اشباع می شود. بنابراین هرچه خاک در گذشته مقدار بیشتری فسفر تثبیت کرده باشد قابلیت جذب فسفر افزوده شده بیشتر خواهد بود (سالاردینی، ۱۳۸۸).

بطور کلی عرضه کافی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه منجر به افزایش جذب فسفر از خاک می شود. به عنوان مثال مصرف گوگرد سبب افزایش قابلیت دسترسی فسفر خاک در شرایط خنثی و بازی که

فسفر به صورت فسفات کلسیم وجود دارد، می گردد (جوانمرد، ۱۳۸۳).

## ۲-۵-۳-۴- اثر زمان و نحوه کاربردهای فسفات

از مصرف کودهای فسفات در پاییز برای کشت بهاره بایستی شدیداً خودداری نمود چه کودهای فسفات در مدت کمتر از یکماه به صورت فسفات کلسیم تقریباً غیرقابل استفاده در می آیند (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳؛ Sanches, 2007).

در خاکهایی که ظرفیت تثبیت آنها زیاد باشد قرار دادن نواری کود، با کاهش تماس فسفات با ذرات خاک از تثبیت آن می کاهد و بدین ترتیب قابلیت استفاده از فسفر افزایش می یابد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). در مورد جایگذاری کودهای فسفره، نتایج یک بررسی نشان داد که روش جایگذاری نواری کود فسفره در عمق مناسب ممکن است سه تا چهار برابر مؤثرتر از روش پخش کود در شرایط یکسان باشد (Peterson, 1981).

## ۲-۵-۴- تاثیر شرایط اقلیمی

### ۲-۵-۴-۱- اثر رطوبت خاک

از جمله عواملی که بر روی جذب فسفر توسط گیاه اثر می گذارد، میزان رطوبت خاک است؛ بطوریکه جذب فسفر بطور معکوس با مکش رطوبتی خاک همبستگی دارد. با توجه به اینکه فسفر در خاک اساساً بوسیله انتشار و از طریق منافذی که با آب پر شده اند حرکت می کند، زمانی که آب خاک کاهش پیدا می کند، حرکت فسفر نیز کاهش می یابد (Gutierrez and Thomas, 1998).

### ۲-۵-۴-۲- اثر دما

با افزایش دما معمولاً قابلیت استفاده فسفر معدنی کاهش می یابد. افزایش دما باعث ابقای بیشتر فسفر می گردد که احتمالاً به دلیل افزایش سرعت واکنشهای شیمیایی فسفر با سطوح جذب در خاک می باشد. این می تواند ابقای بیشتر فسفر در مناطق گرم نسبت به مناطق سرد را توجیه کند. از

طرفی برخی مطالعات نشان می دهد که با گرم شدن هوا، به دلیل افزایش فعالیت میکروارگانیسمها، معدنی شدن فسفر آلی افزایش می یابد و این می تواند شرایط را برای ابقای فسفر فراهم تر کند (حجازی مهریزی، ۱۳۸۴). خاکهای تشکیل شده در مناطق با بارندگی و دمای بالا دارای مقادیر زیادی رس کائولینیت هستند و بنابراین دارای ظرفیت تثبیت بالاتری هستند. مناطق با بارندگی و دمای بالا همچنین از این لحاظ که دارای مقادیر بیشتری از اکسیدهای آهن و آلومینیوم هستند، در تثبیت فسفر اهمیت دارند (جوانمرد، ۱۳۸۳).

## ۲-۶- کودهای فسفاتی

اگر چه میزان فسفر کل موجود در خاکها بسیار بیشتر از نیاز گیاهان می باشد ولی باید توجه داشت که قسمت اعظم فسفر موجود در خاک برای گیاه غیر قابل استفاده است و تنها مقادیر اندکی از آن به صورت فسفر قابل جذب گیاه وجود دارد (دهقان، ۱۳۸۲؛ Somani and Kanthaliya, 2004). روش متداول جهت برطرف کردن کمبود فسفر استفاده از کودهای فسفاته بوده است (Vance et al., ۲۰۰۲). فاکتور اصلی تعیین کننده در انتخاب منبع کود فسفاته، شامل هزینه، قابلیت کاربرد تکنولوژی و پتانسیل کود برای سمیت گیاهان می باشد (کمکلائی و همکاران، ۱۳۸۸). در ذیل آن گروه از کودهای فسفاتی که حلالیت بیشتری در آب داشته و مصرف آنها در مناطق خشک نیز رایج می باشد، بررسی خواهند شد.

## ۲-۶-۱- استفاده از سنگ فسفات:

منبع اصلی کودهای فسفاته، خاک فسفات (آپاتیت) است (Najib and Ramli, 1996). کاربرد مستقیم سنگ فسفات یکی از ساده ترین و کم هزینه ترین روشهای تأمین فسفر گیاه بوده که عمده‌تاً در خاکهای اسیدی مورد استفاده قرار می گیرد (کوچک زاده و همکاران؛ ۱۳۸۴). به دلیل پایین بودن فسفر قابل جذب در این ماده، همچنین به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن اکثر خاکها،

وجود pH بالا، تنش خشکی، وجود بیکربنات فراوان در آبهای آبیاری، کمبود موادآلی در خاکهای زراعی کشور، استفاده مستقیم از این ماده در خاکهای آهکی رایج نمی باشد. ولی نتایج تحقیقات انجام شده توسط محققین مختلف نشان داده است که می توان با اعمال تدابیر و روشهای علمی، کارایی کاربرد مستقیم خاک فسفات در خاکهای آهکی افزایش داد و آن را جایگزین قسمتی از کودهای فسفاته وارداتی نمود (احمدزاده و همکاران، ۱۳۸۸؛ ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۸).

#### ۲-۶-۲- سوپر فسفات ساده

این کود از واکنش سنگ فسفات با اسید سولفوریک قوی تولید می شود. ۷ تا ۹/۵ درصد فسفر (۱۶ تا ۲۲ درصد  $P_2O_5$ ) به شکل منوکلسیم فسفات (MCP) و ۹۰ درصد آن در آب قابل حل است. ۱۱ تا ۱۲ درصد گوگرد به صورت سولفات کلسیم دارد و برای خاکهایی که کمبود گوگرد دارند، مناسب می باشد (Prasad and Power, 1997).

#### ۲-۶-۳- سوپر فسفات غنی شده

این کود از واکنش سنگ فسفات با مخلوطی از اسیدهای سولفوریک و فسفریک ایجاد می شود و حدود ۱۱ تا ۱۳ درصد فسفر (۲۵ تا ۳۰ درصد  $P_2O_5$ ) دارد و ۹۵ درصد آن در آب محلول است (Prasad and Power, 1997). هزینه ساخت سوپر فسفات غلیظ بیش از نوع معمولی آن است، اما بالا بودن عیار فسفر باعث کاهش میزان مصرف و نیز کاهش هزینه حمل و نقل شده و بدین ترتیب هزینه بیشتر تولید آن را توجیه می کند (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

#### ۲-۶-۴- سوپر فسفات آمونیومی

این ماده حاصل واکنش سوپر فسفات معمولی یا تریپل با آمونیاک بی آب یا محلول آمونیاک است و در حدود ۲ تا ۶ درصد نیتروژن و ۶ تا ۲۱ درصد فسفر (۱۴ تا ۴۹ درصد  $P_2O_5$ ) دارد. آمونیایی کردن سوپر فسفات روش ارزانی برای افزودن نیتروژن به کود است. ولی این عمل مقدار فسفر قابل

میزان ۵۰ درصد کاهش می دهد. برای گیاهان زراعی که به فسفر محلول در آب کود فسفوری پاسخ نشان می دهند، آمونیاکی کردن زیاد سوپر فسفات معمولی بر قابلیت جذب فسفر توسط گیاهان اثر بازدارنده دارد (Prasad and Power, 1997).

## ۲-۶-۵- فسفات آمونیوم

این ماده از واکنش اسید فسفریک با آمونیاک تولید می شود و هر دو ترکیب MAP (منو آمونیوم فسفات) و DAP (دی آمونیوم فسفات) به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. هرچه مقدار آمونیاک بیشتر باشد مقدار منو آمونیوم فسفات آن کمتر است (Prasad and Power, 1997)؛ سالاردینی، ۱۳۸۸). در ایران معمولاً دی آمونیوم فسفات با ترکیب ۰-۴۸-۱۶ عرضه می شود (سالاردینی، ۱۳۸۸).

وقتی مخلوط اسید سولفوریک با اسید فسفریک و آمونیاک ترکیب شود، فرآورده حاصل آمونیوم سولفات فسفات ۰-۲۰-۱۶ (۸/۶ درصد P) می باشد. برای به دست آوردن فسفات آمونیوم اوره ۰-۲۸-۲۸ (۱۲/۲ درصد P) می توان اوره را به دی آمونیوم فسفات اضافه کرد (Prasad and Power, 1997).

## ۲-۶-۶- نیتریک یا نیتروفسفات

این مواد بر اثر واکنش اسید نیتریک با سنگ فسفات به دست می آیند. به دلیل اینکه یکی از فرآورده های حاصل نیترات کلسیم است و این ماده بسیار جاذب الرطوبه می باشد، سعی می شود که این ماده را به وسیله سرد نمودن و سانتریفوژ کردن خارج نموده و با تزریق دی اکسید کربن به کربنات کلسیم تبدیل نمود. در بعضی از فرایندها از اسید سولفوریک یا اسید فسفریک همراه با اسید نیتریک برای تبدیل بخشی از نیترات کلسیم به سولفات کلسیم یا فسفات کلسیم استفاده می شود. به خمیر اسیدی حاصل، آمونیاک اضافه می گردد. محصول نهایی حاوی نمکهای گوناگون فسفات آمونیوم، دی کلسیم فسفات، نیترات آمونیوم و سولفات کلسیم است.

بسته به نوع فرایند به کار گرفته شده مقدار حلالیت نیتریک فسفات ممکن است از ۰ تا ۸ درصد تغییر نماید. از نظر پاسخ گیاه به کود، وقتی این کود برای گیاهانی که نسبت به فسفر محلول در آب واکنش نشان می دهد، به کار برده می شود، فسفات نیتریک که ۳۰ درصد یا کمتر فسفر محلول در آب دارد ممکن است نسبت به کودهایی که این مقدار در آنها بالاتر است نامرغوب باشد. مصرف نیتریک فسفات در خاکهای اسیدی و با دوره رشد نسبتاً طولانی مانند چمن یا نیشکر بهترین نتیجه را می دهد. همچنین وقتی در مزرعه در یک نظام کشت و برای بیش از یک محصول مصرف می شود نیتریک فسفات ممکن است همانند کودهایی که مقدار زیادی فسفر محلول در آب دارند، مثر ثمر واقع گردد (Prasad and Power, 1997).

## ۲-۷- اثرات سوء مصرف بی رویه کودهای فسفره

مصرف بی رویه کودهای فسفاته گذشته از هزینه ارزی گزاف خرید کود از خارج از کشور (بای بوردی و ملکوتی، ۱۳۸۳) آثارزیانباری نیز دارد. از جمله این آثار می توان به موارد زیر اشاره نمود:

### ۲-۷-۱- تجمع فسفر بیش از نیاز در خاک

گزارشهای حاصل از نتایج آزمون خاک حاکی از تجمع مقادیر زیاد فسفر در افقهای سطحی اراضی کشاورزی ایران می باشد. این موضوع نشان دهنده زیاده روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفوری است (توجه و همکاران، ۱۳۸۸). برای مثال نتایج بررسی ها در همدان نشان می دهد که فسفر قابل جذب در ۷۰ درصد از خاک های زراعی بیش از ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک میباشد (جلالی و کلاه چی، ۱۳۸۴). همچنین مصرف بی رویه کودهای فسفاته در زراعت سیب زمینی در شهرستان سراب باعث تجمع این عنصر در خاک شده به طوریکه غلظت این عنصر در خاک از ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک فراتر رفته است (فرج نیا و همکاران، ۱۳۸۷)؛ در حالیکه حد بحرانی فسفر برای

محصولات مختلف زراعی ۱۰ تا ۱۲ میلی گرم در کیلوگرم خاک تعیین شده است (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۹).

## ۲-۷-۲- ایجاد مسمومیت گیاهی

مسمومیت ناشی از استفاده زیاد از این عنصر در اثر جذب بیش از حد آن اتفاق می افتد و باعث بالا رفتن غلظت این عنصر در بافت های گیاهی و به هم خوردن تعادل عناصر غذایی می گردد (بای بوردی و ملکوتی، ۱۳۸۳؛ سالاردینی، ۱۳۸۸).

## ۲-۷-۳- کاهش عملکرد و افت کیفیت

تحقیقات نشان می دهد که افزایش مصرف کودهای فسفره طی این سالها نه تنها عملکرد محصولات زراعی را افزایش نداده بلکه در نتیجه بر هم زدن تعادل عناصر غذایی کاهش محصول را نیز در مواردی باعث شده است (توحیدی نیا، ۱۳۸۸؛ فرشادی راد و دردی پور، ۱۳۸۸). مصرف زیاد از حد کودهای فسفره، که متأسفانه در غالب مناطق سیب زمینی کاری شده ایران کم و بیش به چشم می خورد، باعث تشکیل غده هایی به نام ابر سیب زمینی می شود که این نوع غده ها علاوه بر اینکه فاقد خاصیت انبارداری و بازار پسندی هستند، درصد ماده خشک و نشاسته کمی نیز دارند. علاوه بر اینها غلظت نیترات و کادمیوم آنها نیز فزونی از حد متعارف بوده و برای فرآوری مناسب نمی باشد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳).

## ۲-۷-۴- مختل کردن متابولسم روی درون گیاه

پدیده آنتاگونیسمی بین فسفر و روی یکی از مهمترین اثرات متقابل عناصر غذایی در تغذیه گیاه است (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۸). هاپکینز و همکاران (۲۰۰۴) بیان داشتند که کاربرد کودهای فسفره در سیب زمینی بدون توجه به عنصر روی می تواند مشکلات جدی در رشد، عملکرد و کیفیت سیب زمینی بوجود آورد. بوان و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی اثرات متقابل روی و فسفر در سیب زمینی رقم

روست نتیجه گیری نمودند که افزایش غلظت فسفر گیاه موجب غیر فعال شدن روی در بافت های ساقه و برگ سیب زمینی می گردد. کریستنسن و همکاران (۱۹۸۱) نتیجه گیری نمودند که برگ سیب زمینی های مبتلا به کمبود روی حاوی ۲/۲۲ درصد فسفر بیشتر نسبت به بقیه بودند و در آنها علایم سمیت فسفر شامل سوختگی نوک، حاشیه های نکروز و پیچیدگی برگهای سیب زمینی مشاهده گردید. پژوهشگران تاثیر اصلی فسفر در کاهش غلظت روی را یک اثر باز دارندگی در انتقال روی از ریشه به قسمت هوایی ذکر می نمایند (رونقی و همکاران، ۱۳۸۱).

## ۲-۷-۵- غیر متحرک شدن آهن در خاک و ممانعت از جذب آن توسط ریشه

به کرات مشاهده شده که استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی حاوی فسفر کلروز آهن را تشدید کرده است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۸؛ عباسپور، ۱۳۷۹؛ Marschner, 1995). چاکرالاحسینی و همکاران (۱۳۸۱) با تحقیق بر روی سویا دریافتند که با افزایش فسفر میانگین غلظت آهن در گیاه کاهش یافت. آنها دلیل این امر را به کاهش قابلیت استفاده آهن در خاک در اثر فسفر و کاهش جذب یا تاثیر فسفر بر انتقال آهن از ریشه به قسمت هوایی گیاه نسبت دادند. همچنین پژوهشگران دریافتند که کلروز آهن در سطوح بالای فسفر در حضور یا عدم حضور بی کربنات بروز کرده و علت آن را به افزایش غلظت فسفر در گیاه و در نتیجه غیر فعال شدن آهن در گیاه نسبت دادند.

## ۲-۷-۶- تجمع عنصر بور در گیاه در حد سمی

بور بیش از هر ماده غذایی کم مصرف دیگری در بدست آوردن محصول مرغوب اهمیت دارد و حد کفایت و مسمومیت آن بهم بسیار نزدیک است (فرزانه و همکاران، ۱۳۸۸). مورگان و مسکاگنی (۱۹۹۱) بیان نمودند که بین فسفر و بور برهمکنش مثبت وجود دارد؛ به طوری که فسفر زیاد می تواند منجر به تجمع بور در گیاهان شود و حتی ممکن است میزان بور به حد سمیت برسد.

## ۲-۷-۷- کاهش میکوریزایی ریشه

یکی از اثرات افزایش میزان فسفر خاک کاهش همزیستی میکوریزایی و حذف این میکروارگانیسمهای مهم خاک از چرخه اکولوژیک و در نهایت احتمال افزایش آبشویی، فرسایش و آلودگی محیط زیست می باشد (اصغری، ۱۳۸۶). محققان مختلف به این نتیجه رسیده اند که استفاده از کودهای فسفره بخصوص در مقادیر بالا، موجب کاهش فعالیت قارچهای میکوریز و درصد اشغال ریشه های گیاه توسط میکوریز می شود (Elwan, 1993; Gavito and Miller, 1998; Asghari et al. 2005).

چهار مکانیزم برای توصیف دلایل ممانعت و یا محدود شدن توسعه قارچ میکوریز در اثر بالا بودن مقدار فسفر پیشنهاد شده (توسلی و همکاران، ۱۳۸۳) که عبارتند از :

- ۱- ایجاد تغییرات آناتومیک و یا فیزیولوژیک که ممکن است در ریشه ها رخ دهد و توسعه قارچ را در درون ریشه های گیاه (هیف های درون ریشه) محدود سازد.
- ۲- کندتر شدن جریان کربن به ازای واحد طول ریشه های کلونیزایی شده در سطح بالای فسفر نسبت به سطوح پایین تر فسفر.
- ۳- تغییرات کمی و کیفی در ترشحات ریشه که به نوعی بر رشد هیف های برون ریشه ای و گستردگی نفوذ آنها به ریشه تاثیر می گذارند .
- ۴- فسفر ممکن است به طور مستقیم مانع رشد قارچ ها در خاک شود.

## ۲-۷-۸- آلودگی خاک به کادمیوم

کودهای فسفردار از مهمترین منابع آلودگی خاکهای زراعی به کادمیوم می باشند زیرا سنگ فسفاتی که برای ساخت کود استفاده می شود دارای کادمیوم زیادی (۱۰ تا ۹۸۰ میلی گرم در کیلوگرم) است (سپهری و همکاران، ۱۳۸۵). برآورد شده که با مصرف ۵۰ کیلوگرم کودهای فسفاته به ازای هر هکتار میزان کادمیوم به مقدار ۰/۱۶ میلی گرم در کیلوگرم در سال افزایش یابد (ثواقبی و

ملکوتی، ۱۳۷۹). تجمع کادمیوم در خاک و نبات در اثر مصرف کودهای شیمیایی فسفات در طی سه دهه گذشته که تقریباً نظارتی بر ورود، توزیع و مصرف این کود نبوده و صرفاً به مقدار فسفر در این کودها توجه شده، باعث گردیده که سالیانه مقادیر چشمگیری فسفر و کادمیوم از این طریق وارد خاکهای زراعی و باغی ایران شود (بای بوردی و ملکوتی، ۱۳۸۳). بنابراین با مصرف بیش از حد کودهای فسفات کادمیوم توسط گیاهان جذب و از آن طریق وارد زنجیره غذایی انسان می شود که سبب بروز صدماتی به لوله های موئین کلیه ها و تورم غشاء مخاطی بینی، یک نوع بیماری مزمن ریوی، تخلیه مواد معدنی از اسکلت بدن و شکنندگی استخوانها می گردد (Rodriguez et al., 2008).

## ۲-۷-۹- آلودگی آب به فسفر و بروز پدیده اوتریفیکاسیون

انتقال فسفر از اراضی کشاورزی به منابع آب می تواند اثرات زیست محیطی نامطلوبی دربرداشته باشد. وجود فسفر زیاد درآبراهه ها، جویبار ها، رودخانه ها و دریاچه ها می تواند منجر به افزایش ناگهانی حاصلخیزی آب، رشد سریع جلبکها و گیاهان آبی در دریاچه ها گردد. این پدیده که اصطلاحاً به نام پیری رودخانه<sup>۱</sup> خوانده می شود دارای حد آستانه ای برابر با ۱۰۰-۲۰ میکرو گرم فسفر در لیتر می باشد. در صورت وقوع این پدیده از کیفیت آب کاسته می شود و نیز باعث کاهش کیفیت آب برای مصارف صنعتی، تفرجگاهی و آشامیدن می شود (Needelman et al., 2001; Kronvang et al. 2009; Shober and Sims, 2007).

# **فصل سوم**

## **مواد و روش ها**

### ۳- مواد و روش ها

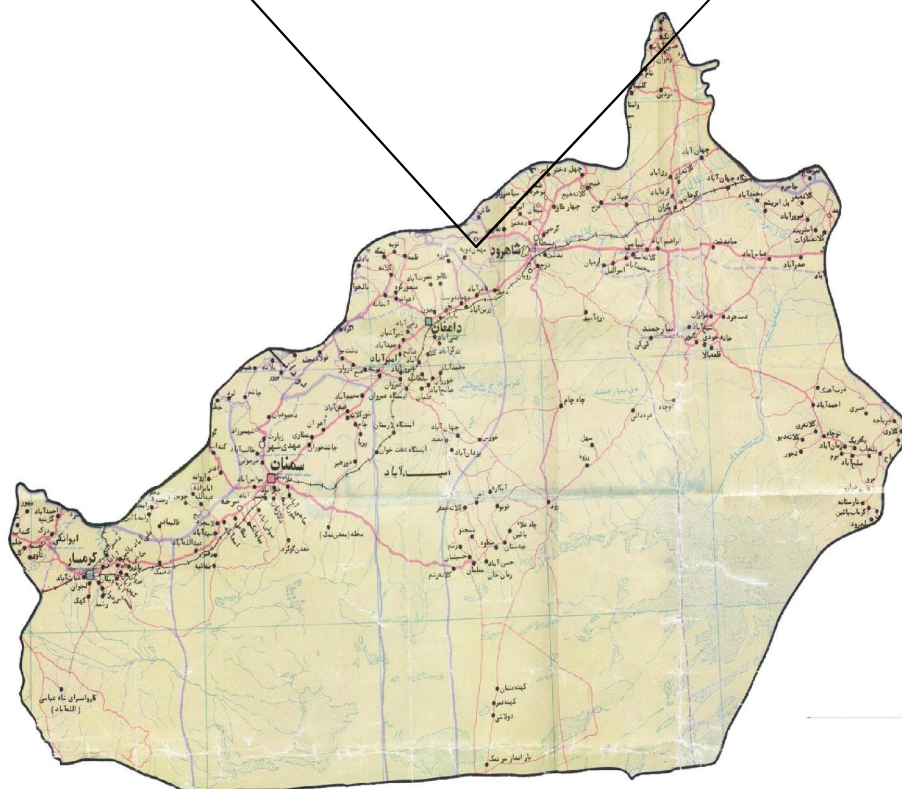
منطقه مورد مطالعه بخشی از اراضی تحت کشت سیب زمینی شهر مجن می باشد. این شهر یکی از قطب های عمده تولید سیب زمینی در شهرستان شاهرود است.

#### ۳-۱- مشخصات جغرافیایی منطقه

از نظر تقسیمات کشوری شهر مجن تابع بخش بسطام از شهرستان شاهرود می باشد. این شهر در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال غربی شهر شاهرود و در یک منطقه کوهستانی واقع گردیده است بطوریکه کوه برفکه در شمال، کوه پوندی در غرب، کوه محمد حنفی در جنوب غربی و کوه شوران تویر در جنوب شرقی این شهر قرار دارد. این شهر با اختلاف کمی از شهرهای مرزی استان سمنان و مازندران و گلستان، در ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۲۰۶۰ متر می باشد.

بخش بسطام و منطقه مجن تحت تأثیر جریانات آب و هوایی است که از آسیای مرکزی به طرف جنوب و جنوب غربی جریان دارد. این جریان آب و هوایی در مسیر خود به ایران چند شاخه شده و از طرف شمال وارد ایران می شود و یک شاخه مهم این جریان پرفشار از جنوب شرقی دریای خزر وارد استان گلستان شده و از گردنه خوش ییلاق گذشته و سرتاسر بخش بسطام را تحت تأثیر خود قرار می دهد. همچنین در این فصل یک جریان غربی نیز از اقیانوس اطلس و مدیترانه از غرب وارد کشور می شود که تأثیر این جریان در مناطق شمالشرق ایران نسبت به جریان قبلی کمتر است. از طرف دیگر در تابستان جریان هوایی دیگری از طریق دریای مدیترانه، سیاه و خزر متوجه ایران می شود که منطقه بسطام را نیز تحت تأثیر قرار می دهد.

بر اساس بررسی های به عمل آمده، میانگین سالانه دما در مجن ۱۰/۲ درجه سانتیگراد است که کمترین آن با ۰/۹- مربوط به بهمن ماه و بیشترین آن با ۲۱/۱ درجه مربوط به مردادماه بوده است.



شکل ۳-۱- موقعیت منطقه مجن واقع در استان سمنان

حداکثر مطلق دما به حدود ۴۰ درجه سانتیگراد و حداقل مطلق دما با ۱۸- درجه مربوط به دیمه می باشد. تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه شاهرود ۹۱ روز است که با توجه به اختلاف ارتفاع مجن با شهر مذکور این میزان افزایش قابل توجهی دارد.

براساس آمارهای موجود، در دوره ۲۰ ساله (۸۵-۱۳۶۵) میانگین بارندگی سالانه ایستگاه مجن ۲۴۹/۶ میلیمتر بوده است. ریزش اکثر بارندگی ها در دوره سرد سال اتفاق می افتد و فصل خشک بر دوره گرم سال منطبق است. بدین ترتیب در فصول زمستان و اوایل بهار بیشترین بارندگی در منطقه رخ می دهد.

کاربری اراضی منطقه در حال حاضر شامل جنگلهای تنک اورس، مراتع و اراضی زراعی و باغی و مناطق شهری و مسکونی می باشد. عمده اراضی منطقه را اراضی مرتعی و جنگلی تشکیل می دهد. پس از آن اراضی زراعی و باغی با وسعت ۱۱۵۲ هکتار قرار دارد. وسعت اراضی زراعی شهر مجن بر اساس سرشماری کشاورزی سال ۱۳۸۲ مجموعاً ۱۱۵۲ هکتار بوده است که از این میزان ۱۰۳۸ هکتار آن اراضی زراعی و ۱۱۴ هکتار نیز باغات می باشد.

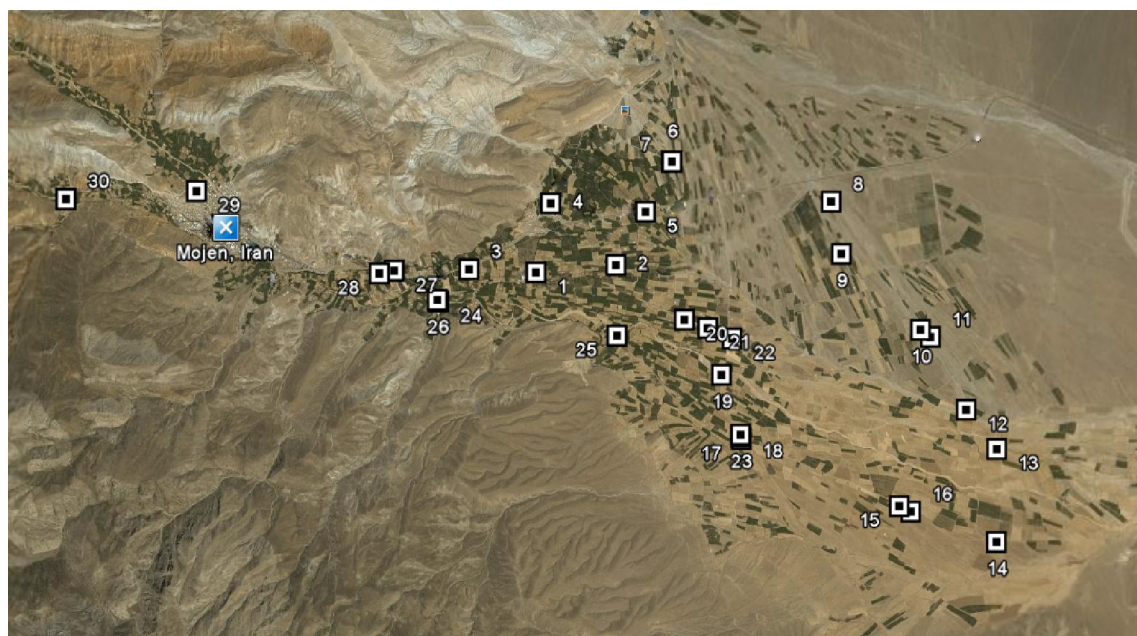
### ۳-۲- برداشت و آماده سازی نمونه های خاک

طرح مذکور در فصل زراعی ۱۳۸۹ طی دو مرحله انجام شد. در مرحله اول، در اوایل اردیبهشت ماه و قبل از کشت، از ۳۰ مزرعه تحت کشت سیب زمینی نمونه های خاک از دو عمق ۰ تا ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ سانتیمتری به گونه ای تهیه گردید که نماینده کل منطقه باشد. موقعیت هر مزرعه نیز با دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS)<sup>۱</sup> ثبت شد. نمونه ها پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۴۸ ساعت در هوای آزاد خشک و پس از کوبیدن کلوخه های آنها از الک دو میلیمتری گذرانده و آماده تجزیه های فیزیکی و شیمیایی شدند. در مرحله دوم، در اواخر مهرماه و همزمان با برداشت محصول، از مزارع مذکور نمونه های خاک، همانند مرحله اول، تهیه و آنالیز شد و همزمان نمونه برداری از گیاهان نیز صورت پذیرفت تا فسفر موجود در بافتهای گیاهی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

1- Global Positioning System

جدول ۳-۱: شماره، عمق و محل نمونه های گرفته شده از مزارع سیب زمینی مجن (مختصات جغرافیایی به UTM)

| شماره نمونه | عمق (cm) | نام محل       | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی |
|-------------|----------|---------------|---------------|---------------|
| ۱           | ۰-۲۵     | پرکیمان       | ۲۹۳۹۱۲        | ۴۰۳۹۰۸۲       |
| ۲           | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۳           | ۰-۲۵     | باسکول        | ۲۹۴۱۳۰        | ۴۰۳۹۱۵۳       |
| ۴           | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۵           | ۰-۲۵     | درختانیاب     | ۲۹۲۳۶۵        | ۴۰۳۹۱۴۰       |
| ۶           | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۷           | ۰-۲۵     | بامبر         | ۲۹۳۴۱۸        | ۴۰۳۹۹۰۵       |
| ۸           | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۹           | ۰-۲۵     | حافظو         | ۲۹۴۶۲۳        | ۴۰۳۹۷۸۳       |
| ۱۰          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۱۱          | ۰-۲۵     | تکلا          | ۲۹۴۹۷۳        | ۴۰۴۰۳۷۶       |
| ۱۲          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۱۳          | ۰-۲۵     | سینه          | ۲۹۴۹۶۷        | ۴۰۴۰۳۷۲       |
| ۱۴          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۱۵          | ۰-۲۵     | باغ سینه      | ۲۹۷۰۰۱        | ۴۰۳۹۸۵۷       |
| ۱۶          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۱۷          | ۰-۲۵     | جانبازان      | ۲۹۷۶۹۸        | ۴۰۳۹۲۱۱       |
| ۱۸          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۱۹          | ۰-۲۵     | چاه شهرداری   | ۲۹۸۱۲۴        | ۴۰۳۸۲۹۴       |
| ۲۰          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۲۱          | ۰-۲۵     | نهاد بند      | ۲۹۸۲۵۰        | ۴۰۳۸۲۰۶       |
| ۲۲          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۲۳          | ۰-۲۵     | میان رو بار   | ۲۹۸۶۹۶        | ۴۰۳۷۳۱۷       |
| ۲۴          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۲۵          | ۰-۲۵     | سرشخ          | ۲۹۹۰۸۵        | ۴۰۳۶۸۳۴       |
| ۲۶          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۲۷          | ۰-۲۵     | آخره          | ۲۹۹۳۸۹        | ۴۰۳۵۷۰۲       |
| ۲۸          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۲۹          | ۰-۲۵     | کمانی         | ۲۹۷۸۰۹        | ۴۰۳۶۱۷۴       |
| ۳۰          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| شماره نمونه | عمق (cm) | نام محل       | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی |
| ۳۱          | ۰-۲۵     | بند پره       | ۲۹۷۹۵۶        | ۴۰۳۶۱۰۵       |
| ۳۲          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۳۳          | ۰-۲۵     | اورسو         | ۲۹۵۷۹۴        | ۴۰۳۷۰۲۹       |
| ۳۴          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۳۵          | ۰-۲۵     | کال آخره      | ۲۹۵۷۸۷        | ۴۰۳۷۰۵۹       |
| ۳۶          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۳۷          | ۰-۲۵     | چاله تسو      | ۲۹۵۵۵۳        | ۴۰۳۷۸۰۸       |
| ۳۸          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۳۹          | ۰-۲۵     | پشتی          | ۲۹۵۰۹۲        | ۴۰۳۸۴۸۱       |
| ۴۰          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۴۱          | ۰-۲۵     | راه دهملا     | ۲۹۵۳۸۸        | ۴۰۳۸۳۷۳       |
| ۴۲          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۴۳          | ۰-۲۵     | کال بامبر     | ۲۹۵۷۰۰        | ۴۰۳۸۲۴۲       |
| ۴۴          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۴۵          | ۰-۲۵     | دوگل<br>کمانی | ۲۹۵۷۹۴        | ۴۰۳۷۰۶۵       |
| ۴۶          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۴۷          | ۰-۲۵     | درمحمدی       | ۲۹۵۷۸۴        | ۴۰۳۷۰۸۴       |
| ۴۸          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۴۹          | ۰-۲۵     | خرابیان       | ۲۹۴۲۱۱        | ۴۰۳۸۳۰۴       |
| ۵۰          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۵۱          | ۰-۲۵     | پشت پل        | ۲۹۱۹۵۴        | ۴۰۳۸۷۷۹       |
| ۵۲          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۵۳          | ۰-۲۵     | مرگنی         | ۲۹۱۴۱۷        | ۴۰۳۹۱۴۱       |
| ۵۴          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۵۵          | ۰-۲۵     | بی حصار       | ۲۹۱۲۲۹        | ۴۰۳۹۱۱۳       |
| ۵۶          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۵۷          | ۰-۲۵     | دشن تلی       | ۲۸۸۹۵۸        | ۴۰۴۰۱۳۴       |
| ۵۸          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |
| ۵۹          | ۰-۲۵     | نسادار        | ۲۸۷۳۲۶        | ۴۰۴۰۰۷۰       |
| ۶۰          | ۲۵-۵۰    |               |               |               |



شکل ۳-۲- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری شده

### ۳-۳- تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

#### ۳-۳-۱- بافت خاک

بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین گردید. به این طریق که مقدار ۵۰ گرم خاک (بر اساس درصد رطوبت خاک خشک شده در آن) را توزین نموده، در ظرف پلی اتیلن ریخته و پس از حذف مواد آلی و آهک، مقدار ۵۰ میلی لیتر از محلول کالگون و حدود ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه نموده و مدت یک شبانه روز به حال خود گذاشته تا خاک کاملاً خیس شود. در روز بعد محتویات ظرف پلی اتیلن به مدت ۵ دقیقه با آژیتاتور هم زده شد. سپس محتویات ظرف داخل سیلندر یک لیتری منتقل و با آب به حجم رسانده شد. در مرحله بعد با همزن دستی سوسپانسیون به مدت یک دقیقه کاملاً هم زده شد و بلافاصله هیدرومتر با دقت داخل سوسپانسیون قرار داده شد و پس از ۴۰ ثانیه عدد هیدرومتر قرائت و یادداشت گردید. قرائت دوم پس از ۶/۵ ساعت انجام شد. با انجام محاسبات زیر مقادیر شن، سیلت و رس بدست آمد که با داشتن این مقادیر و از روی مثلث بافت خاک، بافت خاک تعیین شد (علی احیائی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۳).

بلانک- (تصحیح حرارتی + \_ عدد قرائت شده) = قرائت تصحیح شده

$2 \times$  ( قرائت تصحیح شده بعد از ۴۰ ثانیه - ۵۰ ) = درصد شن

$2 \times$  ( قرائت تصحیح شده بعد از ۶/۵ ساعت ) = درصد رس

(درصد رس + درصد شن) - ۱۰۰ = درصد سیلت

### ۳-۳-۲- فسفر قابل استفاده

برای اندازه گیری فسفر قابل استفاده از روش اولسن استفاده گردید. این روش در خاکهای آهکی و قلیایی و خنثی قابل استفاده می باشد. غلظت کلسیم در عصاره با راسب شدن کاهش و در نتیجه غلظت فسفر در محلول افزایش می یابد. در خاکهای اسیدی کربنات به عنوان بافر، حلالیت آلومینیوم و آهن را متوقف نموده و بنابراین غلظت فسفر را در محلول افزایش می دهد. برای عصاره گیری فسفر به این روش به ۱ گرم نمونه خاک عبور داده شده از الک دو میلیمتری ۲۰ میلی لیتر بی کربنات سدیم ۰/۵ نرمال که pH آن به وسیله محلول یک مولار هیدروکسید سدیم روی ۸/۵ تنظیم شده بود، اضافه شد. محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه و با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه شیک و سپس با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد (Simes, 2000). از محلول زیر صافی ۵ میلی لیتر برداشته و به آن ۵ میلی لیتر از محلول (مخلوطی از اسید سولفوریک، آمونیوم مولیبدات، اسید آسکوربیک، پتاسیم آنتیمونی تارتارات، آب مقطر به نسبتهای مشخص) اضافه و حداقل بعد از یک ساعت و کامل شدن رنگ آبی میزان جذب نمونه در طول موج ۸۸۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. محلولهای استاندارد فسفر نیز توسط نمک  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  تهیه و منحنی استاندارد ترسیم گردید و از طریق آن غلظت فسفر در هر نمونه محاسبه شد (علی احيائي و بهبهانی زاده، ۱۳۷۳).

### ۳-۳-۳- فسفر محلول

برای اندازه گیری فسفر محلول از آب مقطر به عنوان عصاره گیر استفاده شد. برای عصاره گیری فسفر به این روش به ۴۰ گرم نمونه خاک عبور داده شده از الک دو میلیمتری ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه

شد. سوسپانسیون حاصل بعد از یک شبانه روز از کاغذ صافی عبور داده شد و مقدار فسفر هر محلول، همانطور که در بالا ذکر شد، با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری گردید.

### ۳-۳-۴- پتاسیم قابل استفاده

استخراج پتاسیم قابل استفاده گیاه در شرایط خاکهای ایران با استفاده از استات آمونیوم نرمال خنثی صورت می گیرد. در اینجا نیز مقدار ۲/۵ گرم خاک عبور داده شده از الک دو میلیمتری توزین و ۵۰ میلی لیتر استات آمونیوم یک نرمال با  $pH = 7$  به آن اضافه شد. محلول حاصل بعد از یک شبانه روز از کاغذ صافی عبور داده شد و مقدار پتاسیم هر محلول با دستگاه فلیم فتومتر، بعد از قرائت استانداردها مورد سنجش قرار داده شد (علی احيائي و بهبهانی زاده، ۱۳۷۳).

### ۳-۳-۵- کربن آلی خاک

روش مورد استفاده در این اندازه گیری روش والکلی - بلاک بود. در این روش خاک را با اسید سولفوریک غلیظ و بیکرومات پتاسیم مخلوط کرده بعد از اتمام واکنش اکسیداسیون واحیاء، زیادی بیکرومات پتاسیم باقیمانده با فروآمونیوم سولفات تیترو می گردد و بر اساس نتایج معادلاتی، مقدار کربن آلی خاک محاسبه می شود. بدین منظور مقدار ۱ گرم خاک را، که از الک نیم میلیمتری عبور داده شده بود، در ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتری ریخته و به آن ۱۰ میلی لیتر بیکرومات پتاسیم یک نرمال و بلافاصله ۲۰ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به محلول اضافه و به مدت یک دقیقه تکان داده شد. محلول به مدت نیم ساعت به حال خود گذاشته شد و پس از گذشت این مدت به آن حدود ۱۰۰cc آب مقطر افزوده و بعد از سرد شدن ۹ تا ۱۱ قطره معرف اورتوفانترولین اضافه و با فرو آمونیوم سولفات تیترو گردید. یاد آوری می شود که در این روش ۷۷ درصد کربن آلی اکسید می گردد، لذا این موضوع در فرمول محاسبه برای جبران کمبود اکسیداسیون در نظر گرفته شده است (علی احيائي و بهبهانی زاده، ۱۳۷۳).

### ۳-۳-۶- کربنات کلسیم معادل خاک

کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با NaOH اندازه گیری شد. بدین صورت که به ۲ گرم خاک کوبیده و از الک دو میلیمتری رد شده، میزان ۲۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۱ نرمال اضافه شد. محلول توسط هیتر تا نزدیک نقطه جوش حرارت داده شد تا فعل و انفعالات بهتر صورت گیرد. بعد از سرد شدن محلول حدود ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه و با افزایش ۵ قطره معرف فنل فتالین، نمونه ها با سود ۱ مولار تیترو و حجم اسید کلریدریک مصرفی برای خنثی کردن کربنات کلسیم و درصد کربنات کلسیم موجود در خاک محاسبه گردید (علی احيائي و بهبهانی زاده، ۱۳۷۳).

### ۳-۳-۷- هدایت الکتریکی

رسانایی الکتریکی در عصاره ۱:۲/۵ خاک به آب به وسیله دستگاه هدایت سنج Jenway مدل ۴۰۱۰ اندازه گیری شد. با توجه به دمای عصاره ها در آزمایشگاه و مشخص کردن هدایت الکتریکی محلول استاندارد (۰/۱ KCl نرمال) و دمای آن در محیط، هدایت الکتریکی نمونه ها در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد محاسبه گردید.

### ۳-۳-۸- اسیدیته خاک

pH خاک در سوسپانسیون ۱:۲/۵ خاک به آب با استفاده از الکتروود شیشه ای متصل به pH متر Jenway مدل ۳۰۲۰ برای هر خاک اندازه گیری شد.

### ۳-۴- تجزیه نمونه های گیاهی

برای استخراج فسفر و پتاسیم از نمونه های گیاهی (برگ، ریشه و غده)، مقدار ۱ گرم نمونه گیاهی آسیاب شده به وسیله ترازوی دیجیتال توزین و به بوته های چینی منتقل و در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت در کوره الکتریکی سوزانده و به خاکستر تبدیل شد. خاکستر حاصل در ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال حل و بعد از صاف کردن با کاغذ صافی عصاره حاصل جمع آوری شد (Klute, 1986). در عصاره حاصل فسفر به روش رنگ سنجی اندازه گیری گردید. غلظت این عنصر بر

بر حسب وزن خشک گیاه محاسبه و گزارش شد.

### ۳-۵- توصیف آماری متغیرهای مورد مطالعه

جهت هر گونه مطالعه یا محاسبات آماری لازم است که داده های تحت مطالعه و آزمایش، که معمولاً بصورت توده ای از اعداد خام هستند، به شکل خاصی منظم گردند. داده ها معمولاً به صورتی که مشاهده یا اندازه گیری شده اند ثبت خواهند شد. تنظیم داده های عددی در جداول و ترسیم نمودارها از اولین مراحل تجزیه آماری بوده و این داده ها زمانی که مرتب شوند حاوی اطلاعات مهم و مفیدی می باشند. شاخص های آماری علیرغم اینکه دارای اطلاعات مفیدی هستند، در مورد متغیرهای پیوسته ای مانند خصوصیات خاک نمی توانند به طور کامل مفید واقع شوند؛ لذا استفاده از پارامتر هایی مانند وضعیت توزیع داده ها دارای اهمیت بیشتری است. وضعیت توزیع داده ها برای کارهای آماری و بیشتر زمین آماری دارای اهمیت خاصی است. وضعیت یک توزیع شامل میانگین، میانه، مد، حداکثر، حداقل، انحراف استاندارد، چولگی و کشیدگی می باشند که این ویژگی ها موقعیت، پراکندگی و شکل توزیع را بیان می دارد. در این بین بررسی نرمال بودن توزیع داده ها دارای اهمیت خاصی است. اصولاً توزیع نرمال مهمترین الگوی آماری است و اکثر نظریه ها، محاسبات و استدلال های آماری بر مبنای آن بنا شده اند. اهمیت دیگر توزیع نرمال در این است که توزیع فراوانی پدیده های طبیعی، که با رعایت اصول صحیح آماری مورد تحقیق قرار می گیرد، غالباً به صورت نرمال است. از طرفی چون هر متغیر به هر شکل که مورد مطالعه قرار گیرد دارای توزیع فراوانی خاص خود است می توان با استفاده از اصول آمار و ریاضی، آن متغیر ها یا توزیع آن را به نرمال تبدیل کرد. توصیف آماری داده ها با استفاده از نرم افزار Excel و SPSS صورت گرفت.

### ۳-۶- تجزیه و تحلیل های زمین آماری

زمین آمار مجموعه ای از تکنیک ها و مدل های تصادفی است که خواص داده های مکانی را تجزیه و تحلیل می کند. مباحث زمین آمار حول دو محور سامان می یابد:

## ۱- تبیین ساختار فضایی داده‌ها

## ۲- تعیین وزن هر یک از داده‌های مشاهده شده برای برآوردهای مورد نظر

تفاوت اصلی این روش با آمار کلاسیک این است که در آمار کلاسیک، نمونه‌های به دست آمده از جامعه، عمدتاً به صورت تصادفی در نظر گرفته می‌شوند و مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت معین در یک نمونه خاص، هیچگونه اطلاعاتی درباره مقدار همان کمیت در نمونه دیگر و به فاصله معلوم نخواهد داشت؛ در صورتیکه در زمین آمار می‌توان مقادیر یک کمیت در جامعه نمونه‌ها و فاصله نمونه‌ها و جهت قرار گرفتن آنها نسبت به هم ارتباط برقرار کرد. همچنین در آمار کلاسیک، فرض می‌شود که تغییرپذیری یک متغیر تصادفی است، در صورتی که در زمین آمار، بخشی از آن تصادفی و بخش دیگر آن دارای ساختار و تابع فاصله و جهت می‌باشد. شرط استفاده از روشهای زمین آماری، ایستا بودن متغیر می‌باشد که از طریق نیم تغییرنا قابل تشخیص است. ضمناً توزیع داده‌ها نیز باید به توزیع نرمال نزدیک باشد (نصرت پور، ۱۳۸۹؛ مهدیان، ۱۳۸۳).

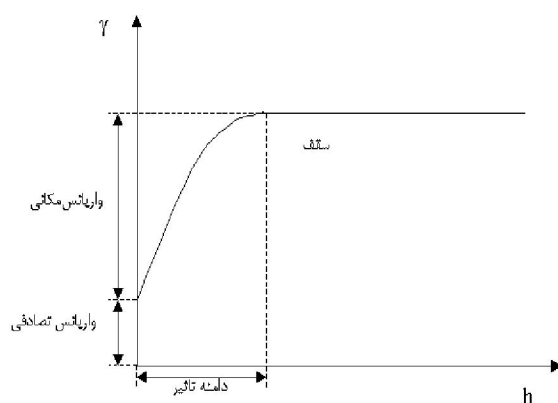
۳-۶-۱- آنالیز تغییرنا<sup>۱</sup>

تجزیه و تحلیل ساختار تغییرات مکانی نیز با استفاده از تغییرنا صورت می‌گیرد. تغییرنا تغییرات فاصله‌ای یا ساختار تغییر پذیری یک متغیر خاص را نشان داده و از ابزارهای اساسی زمین آمار جهت بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک می‌باشد (Yi-chang et al., 2009؛ Nayanaka et al, 2010). طبیعی ترین روش برای مقایسه دو کمیت، مثلاً دو مقدار  $Z(x)$  و  $Z(x+h)$  در دو نقطه یکی به مختصات  $x$  و دیگری  $x+h$  که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند آن است که اختلاف آنها را بررسی کنیم. بدیهی است که علامت این اختلاف مهم نبوده و برای تجزیه و تحلیل میانگین  $Z(x_i+h)-Z(x_i)$  مورد نظر قرار می‌گیرد. بنابراین بایستی میانگین  $|Z(x)-z(x+h)|$  را برای تمام موقعیت‌های  $x$  و  $x+h$  محاسبه کرده و در نظر بگیریم. از آنجایی که متوسط این کمیت، صفر و یا نزدیک به صفر است در عمل، مجذور اختلاف را در نظر می‌گیرند (دیانی و همکاران، ۱۳۸۸). آنالیز تغییرنا اولین مرحله انجام آنالیزهای زمین آماری است.

در این تحقیق جهت محاسبه تغییرنما از فرمول ارائه شده توسط گووارتز (۱۹۹۸) و لجندر و لجندر (۱۹۹۸) استفاده شده است (معادله ۳-۱).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad \text{معادله (۳-۱)}$$

که در آن  $N(h)$  تعداد جفت نمونه های بکار رفته در محاسبه به ازای هر فاصله ای مانند  $h$  است و معمولاً هر چه  $h$  افزایش یابد تعداد جفت ها کم می شود. شکل (۳-۱) نمونه ای تیپیک از یک نیم تغییر نما را نشان می دهد.



شکل ۳-۳: نمونه ای از یک نیم تغییرنما

تغییر نما با سه پارامتر زیر تعریف می گردد:

### ۳-۶-۱-۱-۱-۱-۱ اثر قطعه ای<sup>۱</sup>

از نظر تئوری مقدار نیم تغییرنما باید با کاهش  $h$  کم شود و در  $h=0$  به حداقل مقدار خود یعنی صفر، تنزل کند. در بسیاری از موارد، وقتی  $h$  به سمت صفر میل می کند، مقدار نیم تغییرنما صفر نمی شود. این مقدار که در واقع عرض از مبدأ منحنی نیم تغییرنما است، اثر قطعه ای نام دارد و با  $Col$  نشان داده می شود و بسیاری از متخصصین علم آمار، آن را مؤلفه بی نظمی می خوانند (مهدیان، ۱۳۸۸؛ Karaman et al., 2009). این امر بدان معنی است که اگر دو نمونه از یک محل یکسان برداشت شوند،

مقدار یکسانی نخواهند داشت. دلایل مختلفی در ایجاد اثر قطعه ای نقش دارند که از جمله آنها می توان به ۱- وجود مؤلفه های تصادفی در توزیع متغیر که در واقع به تصادفی بودن فرآیندها بر می گردد و ۲- وجود خطای نمونه برداری، آماده سازی و آنالیز و خطای انسانی، اشاره نمود (مهدیان، ۱۳۸۳).

### ۳-۶-۱-۲- آستانه<sup>۱</sup>

با افزایش  $h$  مقدار نیم تغییرنا افزایش می یابد و به سمت حد ثابتی میل می کند. در بسیاری از نیم تغییرناها، پس از رسیدن به این حد ثابت، با افزایش فاصله، تغییری در مقدار نیم تغییرنا ایجاد نمی شود. این مقدار نسبتاً ثابت که تغییرات آن تصادفی است، آستانه نام دارد و مجموع اثر قطعه ای ( $C_0$ ) و بخش ساختاردار نیم تغییرنا ( $C$ ) می باشد و معادل با واریانس کلی متغیر مورد مطالعه است. (مهدیان، ۱۳۸۳؛ Karaman et al., 2009). بعضی از نیم تغییرناها در محدوده فواصل مورد نظر، تمایلی به نزدیک شدن به حد ثابت از خود نشان نمی دهند و با افزایش فاصله، مقدار نیم تغییرنا همواره افزایش می یابد وجود چنین نیم تغییرنمایی می تواند بر وجود روند در محدوده مورد مطالعه دلالت کند. متغیر در این گونه موارد ابتدا باید روند تشخیص داده شده و از داده ها حذف گردد و سپس به برآورد آن پرداخته شود. برای بررسی وضعیت ساختار مکانی، معیار  $\frac{C_0}{C}$  تعریف می شود. این نسبت، بزرگی مؤلفه بی ساختار به مؤلفه ساختاردار را نشان می دهد. اگر این نسبت بزرگتر از ۰/۵ باشد، نقش مؤلفه ساختاردار، کمتر از مؤلفه بی ساختار است و ساختار مکانی ضعیف بوده و کاربرد زمین آمار مفید واقع نمی شود.

### ۳-۶-۱-۳- دامنه تأثیر<sup>۱</sup>

دامنه تأثیر، فاصله ای مکانی بین نمونه ها است که در ماوراء آن، متغیر ناحیه ای در نقاط مجاورهم، تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند و با افزایش فاصله، نیم تغییرنا تغییر چندانی نمی کند و به حالت افقی درمی آید (مهدیان، ۱۳۸۳؛ Karaman et al., 2009). بدیهی است که هرچه دامنه تأثیر بزرگتر باشد، ساختار مکانی گسترده تر است، و محدوده ای که می توان از داده های آن برای تخمین مقادیر مجهول

1-Range of Influence

استفاده کرد، افزایش می یابد. دامنه تأثیر در تحلیل ناهمسانگردی های ساختاری و طراحی فاصله بهینه شبکه نمونه برداری کاربرد زیادی دارد (مهدیان، ۱۳۸۳)

### ۳-۶-۲- آنالیز ناهمسانگردی<sup>۱</sup>

تغییر دامنه تأثیر و یا آستانه نیم تغییرنما با تغییر جهت، ناهمسانگردی نام دارد. از این ویژگی نیم تغییرنما می توان به عنوان ابزاری مفید در تشخیص ناهمگنی هایی که موجب بروز ناهمسانگردی می شوند، استفاده کرد. برای رسیدن به این منظور، کافی است نیم تغییرنما را در جهات مختلف رسم و سپس با یکدیگر مقایسه نمود. بطور کلی دو نوع ناهمسانگردی وجود دارد:

#### ۱- ناهمسانگردی هندسی<sup>۲</sup> و ۲- ناهمسانگردی منطقه ای<sup>۳</sup>

اگر نیم تغییرنمای رسم شده در جهات مختلف، دارای آستانه یکسان و دامنه تأثیر متفاوت باشد، برای آن متغیر مکانی در محیط مورد نظر ناهمسانگردی هندسی وجود دارد. هرگاه کل تغییرپذیری یا آستانه نیم تغییرنما در جهات مختلف متفاوت، ولی دامنه تأثیر یکسان باشد، ناهمسانگردی از نوع ناحیه ای است (مهدیان، ۱۳۸۳).

### ۳-۶-۳- مدلسازی نیم تغییر نما

قبل از کاربرد نیم تغییر نما، لازم است مناسبترین مدل تئوری بر آن برازش داده شود. فرآیند برازش مدل تئوری مناسب بر یک نیم تغییرنمای تجربی از اهمیت زیادی برخوردار است (Karaman et al., 2009). انتخاب نوع مدل بستگی به فرضیات تئوری و عملی دارد. بطور کلی مدل های تئوری قابل برازش بر نیم تغییر نما دو دسته هستند: ۱- گروه فاقد آستانه: که در این گروه با افزایش  $h$ ، مقدار نیم تغییرنما افزایش یافته و به حد ثابتی نمی رسد. از انواع مدل های قابل برازش به این گونه نیم تغییرنماها، می توان مدل های خطی<sup>۴</sup>، دویسین<sup>۵</sup> و

1 - Anisotropic

2 - Geometric Anisotropic

3 - Zonal Anisotropic

4 - Linear Model

5 - Dewijsian Model

سهمی<sup>۱</sup> را نام برد. ۲- گروه حاوی آستانه: که در این گروه با افزایش فاصله  $h$  ابتدا مقدار نیم تغییرنا افزایش می یابد، سپس به مقداری ثابت می رسد. از انواع مدل های قابل برآزش به این گونه نیم تغییرنماها، می توان به مدل های کروی<sup>۲</sup>، نمایی<sup>۳</sup>، گوسی<sup>۴</sup> و تو در تو<sup>۵</sup> اشاره نمود (مهدیان، ۱۳۸۳).

### ۳-۶-۴- روش کریجینگ<sup>۶</sup>

روش های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت عمده این روش ها مربوط به نحوه محاسبه فاکتور وزنی است که به نقاط مشاهده شده اطراف نقطه مورد تخمین داده می شود (مهدیان، ۱۳۸۳). در اینجا روش کریجینگ که کاربرد زیادی در مطالعات آب و خاک دارند، معرفی شده است. بطور کلی کریجینگ نامی تعمیم یافته برای کلیه روش های آماری تخمین و برآورد متغیرهای ناحیه ای است. این تخمینگر به افتخار یکی از پیشگامان آمار، کریجینگ نامگذاری شده است. کریجینگ یک تخمینگر خطی به شکل معادله (۳-۲) است:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad \text{معادله (۳-۲)}$$

که در آن  $Z$ : مقدار متغیر برآورد شده،  $Z(x_i)$  مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه  $x_i$  و  $\lambda_i$

وزن آماری که به نمونه  $x_i$  نسبت داده می شود و بیانگر اهمیت نقطه  $i$  ام در برآورد است.

مهمترین ویژگی کریجینگ که آن را از دیگر تخمین گر ها متمایز می سازد، ویژگی حداقل سازی واریانس خطا است. کریجینگ را می توان روشی دانست که طی آن به مجموعه نمونه ها به گونه ای وزن آماری داده می شود که ترکیب خطی آنها نه تنها ناریب شود بلکه در بین سایر تخمینگرها حداقل

- 
- 1 -Parabolic Model
  - 2 - Spherical Model
  - 3 -Exponential Model
  - 4 -Gaussian Model
  - 5 - Nested Structure
  - 6 - Kriging

واریانس را داشته باشد. این امر نشان می دهد که از اطلاعات موجود به بهترین نحو استفاده شده است. بنابراین کریجینگ همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز می دهد.

کریجینگ دو ویژگی یک تخمینگر خوب را دارا می باشد. کریجینگ مانند همه تخمینگرها دارای خطاست، ولی یکی از خواص مهم کریجینگ آن است که جایی را که خطا بالاست و برای کاهش خطا نیاز است که از داده های بیشتری استفاده شود، مشخص می کند و می توان کاهش واریانس تخمین را به ازاء یک نمونه اضافی قبل از نمونه گیری تعیین کرد. مشخصه دیگر کریجینگ آن است که واریانس تخمین آن تابع مشخصات نیم تغییرنا می باشد و ارتباطی با مقدار واقعی داده ها ندارد، بنابراین فاصله نمونه ها تا نقطه تخمین و نحوه پراکندگی نقاط نمونه برداری بر نیم تغییرنا و در نتیجه بر روی خطای تخمین تأثیر می گذارد (دیانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ مهدیان، ۱۳۸۳).

واریانس تخمین نشانگر واریانس خطایی بین مقادیر حقیقی و مقادیر تخمینی می باشد. مقدار این واریانس، با استفاده از مقادیر متوسط تغییر نما، که خود از طریق توابع کمکی موجود و قابل محاسبه هستند و بدون استفاده از مقادیر مشاهده ای محاسبه می شود. واریانس تخمین علاوه بر کاربرد در محاسبه سطح اعتماد در حل بسیاری از مسایل دیگر نظیر طراحی شبکه بهینه، نمونه برداری، قضاوت درباره تأثیر شیوه های مختلف نمونه برداری و غیره کاربرد دارد (مهدیان، ۱۳۸۳).

کریجینگ موجب پیرایش<sup>۱</sup> تغییرات می شود. یعنی توزیع نمونه ها نسبت به مقادیر واقعی، تغییرات کمتری دارد. زیرا کریجینگ به نمونه های آماری به گونه ای وزن می دهد که واریانس تخمین مبتنی بر آن حداقل باشد (دیانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ مهدیان، ۱۳۸۳). این به معنی آن است که عرض منحنی فراوانی برآورد شده حاصل از کریجینگ در حوالی میانگین، بیشتر از عرض منحنی فراوانی نمونه های واقعی است، ولی در کناره های منحنی توزیع فراوانی وضعیت برعکس است. لذا واریانس حقیقی با آنچه که از کریجینگ به دست می آید، متفاوت می باشد (مهدیان، ۱۳۸۳). از دیگر ویژگی های مهم کریجینگ می توان خاصیت جمع پذیری آن را ذکر کرد. این خاصیت موجب می شود که اگر در مجموعه

---

1 - Smoothing

ای از فضاهای کوچکتر کریجینگ صورت گیرد، میانگین مقادیر تخمین این فضاها، برابر با مقدار تخمینی فضای بزرگتری که حاوی تمامی فضاهای کوچکتر است باشد، مشروط بر این که در هر دو حالت از نقاط یکسانی استفاده شود (مهدیان، ۱۳۸۳).

### ۳-۶-۵- نحوه انتخاب روش مناسب

بررسی های موجود نشان می دهد که نوع متغیر، روش مناسب زمین آماری را مشخص می کند. لذا ضروری است که روشهای مختلف برای متغیر مورد نظر به نحوی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرند و از بین آنها روش مناسب توصیه گردد. در این رابطه، تکنیک Cross-Validation برای ارزیابی روشهای زمین آماری روشی مناسب می باشد. در این تکنیک، هر بار یک نقطه مشاهده ای حذف شده و با استفاده از نقاط مجاور و مدل مورد نظر، مقداری برای نقطه حذف شده برآورد می گردد، سپس مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده شده و برای تمامی نقاط شبکه، این عمل تکرار می شود. در نهایت با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، انحراف (MBE) و دقت (MAE) روش میانبایی می تواند با استفاده از روابط زیر محاسبه گردد:

$$MBE = \sum_{i=1}^n (Z^*(Xi) - Z(Xi)) / n \quad \text{معادله (۳-۳)}$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n |Z^*(Xi) - Z(Xi)| / n \quad \text{معادله (۴-۳)}$$

که در آنها:

$Z^*(x_i)$ : مقدار برآورد شده در نقطه  $x_i$

$Z(x_i)$ : مقدار مشاهده شده در نقطه  $x_i$

$n$ : تعداد نقاط است.

MAE معرف خطا است که هرچه به صفر نزدیکتر باشد، دقت روش مورد نظر مناسب تر است. مقدار MBE نشانگر میانگین انحراف است که می تواند مثبت و یا منفی باشد، به عبارت دیگر مشخص می کند که مدل متغیر مورد نظر را کم و یا زیاد برآورد می کند. از نظرتئوری هرگاه این دو

مقدار برابر صفر شوند، نمایانگر این مطلب است که دقت روش صد در صد بوده و مقدار تخمین زده شده یک کمیت دقیقاً برابر مقدار واقعی آن، می باشد (سکوئی اسکوتی و همکاران، ۱۳۸۹؛ مهدیان، ۱۳۸۳). بخش عمده ویژگیهای آماری، نرمال کردن داده ها، تبدیل برگشت (پس از برآورد آماری، نتایج از حالت لگاریتمی به حالت اولیه تبدیل برگشت داده شد و سپس نقشه ها ترسیم شدند)، رسم واریوگرام های تجربی، برازش دادن مدل، با استفاده از نرم افزار GS+ انجام گردید. سپس پهنه بندی متغیرها با استفاده از روش کریجینگ در نرم افزار ArcGIS 9.3 استفاده از نرم افزار انجام شد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۹؛ (Yi-chang et al, 2009).

### ۷-۳- معرفی نرم افزار GS+

نرم افزارهای مختلفی برای ارزیابی همبستگی مکانی متغیرها و برآورد توزیع مکانی آنها وجود دارد. نرم افزار GS+ به عنوان یک نرم افزار عمومی تحلیل مکانی که دارای کاربری آسان و نرم افزار سریع بوده و دسترسی به آن نیز به آن امکان پذیر می باشد. GS+ اولین برنامه آنالیز زمین آماری است که در سال ۱۹۸۸ برای کامپیوترهای شخصی ارائه شد. این نرم افزار به سرعت در سراسر جهان به عنوان یک نرم افزار زمین آماری منتخب کاربران تبدیل شد. این نرم افزار اولین نرم افزار زمین آماری است که هم خواسته های انعطاف پذیر یک متخصص و هم نیازهای ساده یک مبتدی را برآورده می سازد. این ویژگی شامل تمام اجزای آن، از آنالیز تغییرنما تا کریجینگ و ترسیم نقشه می گردد. این نرم افزار در قالب شش مرحله اصلی زیر به کار گرفته می شود:

۱- ورود داده ها به محیط GS+ (Import Data)

۲- خصوصیات آماری داده های ورودی (Summarize Data)

۳- استخراج نیم تغییرنما و آنالیز نیم تغییرنما (Semivariance Analysis)

۴- درون یابی و استخراج تحلیل مکانی (Interpolatooon)

۵- ارزیابی روشها و پارامترها (Crass Validation)

۶- ترسیم نقشه (Mapping)

# فصل چهارم

## نتایج و بحث

#### ۴-۱- بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک

نتایج حاصل از برخی آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی مربوط به ۱۲۰ نمونه خاک مزارع سیب زمینی مجن به تفکیک عمق و زمان نمونه برداری در جداول (۴-۱) و (۴-۲) آورده شده و تجزیه آماری داده های حاصل در جداول (۴-۳) و (۴-۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج می توان گفت خاکهای بررسی شده دارای دامنه گسترده ای از نظر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی می باشند.

##### ۴-۱-۱- بافت خاک

همانطور که می دانیم منظور از بافت خاک تجمع نسبی (درصد) رس، سیلت و شن است و درصد این مواد تعیین کننده بسیاری از خواص خاک مثل تخلخل، نفوذپذیری، قابلیت فراهمی و ابقای عناصر غذایی می باشند. ذرات شن، با اندازه ۰/۰۵-۲ میلی متر، بر توزیع هوادهی و زهکشی خاک بسیار مؤثرند؛ اما در حاصلخیزی خاک نقش کمتری دارند. رس، که اندازه ذرات آن کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلی متر است، واجد بار منفی، سطح ویژه وسیع و خاصیت ابقای عناصر غذایی می باشد؛ اما در کلاسه بندی بافت خاک، خواص فیزیکی کمرنگ تری در نفوذپذیری و زهکشی دارد (اصغر زاده و همکاران، ۱۳۸۴). جزء دیگر ذرات خاک سیلت می باشد که اندازه آنها از رس بزرگتر ولی از شن کوچکتر است. ذرات سیلت تا اندازه ای شبیه ذرات شن می باشد ولی چون کوچکتر از آن بوده و سطوح زیادی دارند (که غالباً با رس پوشش شده اند) تا حدی خواص رس را به خود گرفته است. پس سیلت خصوصیات مابین رس و شن دارد (علیزاده، ۱۳۸۳).

در مورد درصد اجزای خاک سطحی مورد مطالعه، دامنه تغییرات درصد رس، سیلت و شن به ترتیب ۲۳/۷۵-۱۱/۷۵ با میانگین ۱۷/۲۰ درصد، ۶۳-۲۷/۷۵ با میانگین ۴۳/۸۶ درصد و ۵۶/۵۰-۱۵/۲۵ با میانگین ۳۸/۹۲ درصد می باشد (جدول ۴-۳). در خاک زیر سطحی تغییرات رس دارای دامنه ای از ۹/۷۵ تا ۲۷/۷۵ با میانگین ۱۷/۲۹ درصد، تغییرات سیلت بین ۲۵/۵ تا ۵۹ درصد با میانگین ۴۳/۷۴ درصد و تغییرات شن از ۱۶/۵۰ تا ۵۸/۵۰ درصد با میانگین ۳۸/۹۶ درصد است (جدول

۳-۴). میانگین متغیرهای مورد مطالعه در سطح و عمق خاک نشان می دهد که به طور کلی مقدار این ذرات در خاک سطحی و عمقی تقریباً برابر می باشد اما ممکن است تغییرات آنها به لحاظ مکانی متفاوت باشد. زیرا خصوصیات خاک نه تنها بستگی به سنگ مادر، زمان و پارامترهای تشکیل دهنده خاک که عوامل طبیعی به شمار می روند دارد، بلکه عوامل انسانی و غیر انسانی دیگری نیز بر آن مؤثر بوده است (علیزاده، ۱۳۸۳؛ ایوبی و خرمالی، ۱۳۸۷؛ Yi-chang et al., 2009). میزان تغییر پذیری خصوصیات خاک را با مقدار ضریب تغییرات ( $CV$ )<sup>۱</sup> می سنجند به این صورت که اگر این میزان کمتر از ۱۵٪ باشد ویژگی دارای تغییرپذیری کم، اگر بین ۱۵٪ تا ۵۰٪ دارای تغییرپذیری متوسط و اگر بیش از ۵۰٪ باشد آن ویژگی دارای تغییرپذیری زیاد است (علیزاده، ۱۳۸۳). تغییرپذیری خصوصیات خاک در مزرعه می تواند در عملکرد خاک جهت جذب عناصر غذایی و رشد گیاه تأثیرگذار باشد (ایوبی و خرمالی، ۱۳۸۷). بر این اساس متغیرهای مذکور دارای تغییرپذیری متوسط می باشند. مقایسه ضریب تغییرات رس در خاک سطحی ( $CV=19/24$ ٪) با خاک زیر سطحی ( $CV=22/90$ ٪) نشان می دهد که رس در خاک زیر سطحی از تغییرپذیری بیشتری برخوردار است. بررسی ضریب تغییرات سیلت نیز حاکی از تغییرپذیری بیشتر سیلت در خاک زیر سطحی ( $CV=20/30$ ٪) نسبت به خاک سطحی ( $CV=18/51$ ٪) است. تغییرپذیری این ذرات باعث تغییر بافت خاک در نقاط مختلف و ایجاد بافتهای لوم، لوم سیلتی و لوم شنی شده است. دافرا و همکاران (۲۰۰۶) فرسایش در قسمت های مختلف منطقه را دلیل تغییرات جزئی در بافت خاک می دانند.

## فصل چهارم: نتایج و بحث

جدول ۴-۱: نتایج آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های خاک قبل از کاشت محصول

| نمونه<br>(عمق ۰-۲۵ cm) | pH   | EC<br>dS/m | Ps<br>mg/ kg | Pa<br>mg/ kg | K<br>mg/ kg | آهک<br>(%) | O.C<br>(%) | رس<br>(%) | سیلت<br>(%) | شن<br>(%) | بافت       |
|------------------------|------|------------|--------------|--------------|-------------|------------|------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| ۱                      | 8/52 | 0/222      | 0/41         | 44/77        | 687/19      | 45/33      | 1/38       | 17/75     | 47/25       | 35        | loam       |
| ۲                      | 7/84 | 0/439      | 4/98         | 45/23        | 490/85      | 44/32      | 0/90       | 18        | 50/75       | 31/25     | silt loam  |
| ۳                      | 7/87 | 0/714      | 6/62         | 48/04        | 2275/76     | 36/00      | 1/65       | 19/5      | 45          | 35/5      | loam       |
| ۴                      | 7/88 | 0/306      | 4/39         | 45/45        | 1829/54     | 24/63      | 1/60       | 21/5      | 48          | 30/5      | loam       |
| ۵                      | 8/04 | 0/239      | 5/14         | 48/15        | 2186/52     | 27/9       | 1/64       | 15/5      | 39/5        | 45        | loam       |
| ۶                      | 7/67 | 0/204      | 4/30         | 21/42        | 687/19      | 26/55      | 0/67       | 19/75     | 36/75       | 43/5      | loam       |
| ۷                      | 7/95 | 0/658      | 0/23         | 28/47        | 1517/17     | 34/65      | 0/536      | 17/5      | 33/5        | 49        | loam       |
| ۸                      | 7/81 | 0/696      | 7/43         | 25/66        | 535/47      | 21/15      | 0/50       | 15/75     | 27/75       | 56/5      | sandy loam |
| ۹                      | 7/71 | 0/26       | 7/62         | 17/74        | 473/00      | 22/05      | 0/57       | 17/5      | 31/5        | 51        | loam       |
| ۱۰                     | 8/02 | 0/262      | 6/70         | 36/29        | 401/60      | 23/17      | 0/565      | 19/5      | 29/5        | 51        | loam       |
| ۱۱                     | 7/75 | 1/272      | 5/76         | 39/51        | 374/83      | 16/8       | 0/79       | 13/5      | 33/5        | 53        | sandy loam |
| ۱۲                     | 8/06 | 0/213      | 0/84         | 44/45        | 687/19      | 41/73      | 0/90       | 13/5      | 45/5        | 41        | loam       |
| ۱۳                     | 8/17 | 0/268      | 3/30         | 43/73        | 562/24      | 48/71      | 1/14       | 11/75     | 46/75       | 41/5      | loam       |
| ۱۴                     | 8/02 | 0/515      | 9/36         | 28/75        | 428/38      | 41/73      | 0/81       | 17/5      | 41/5        | 41        | loam       |
| ۱۵                     | 8/11 | 0/134      | 4/01         | 44/47        | 437/30      | 44/32      | 0/59       | 12        | 34/75       | 53/25     | sandy loam |
| ۱۶                     | 7/93 | 0/334      | 5/19         | 46/76        | 544/39      | 39/37      | 1/25       | 13/75     | 61          | 25/25     | silt loam  |
| ۱۷                     | 7/53 | 1/773      | 10/52        | 46/99        | 553/32      | 43/65      | 1/35       | 17/5      | 49/5        | 33        | loam       |
| ۱۸                     | 7/9  | 0/254      | 6/42         | 20/85        | 258/81      | 49/72      | 0/78       | 17/5      | 41/5        | 41        | loam       |
| ۱۹                     | 7/79 | 0/531      | 0/04         | 45/69        | 553/32      | 42/97      | 1/06       | 23/5      | 49/5        | 27        | loam       |
| ۲۰                     | 8/18 | 0/184      | 0/24         | 39/07        | 446/22      | 33/075     | 0/72       | 15/75     | 45          | 39/25     | loam       |
| ۲۱                     | 8/01 | 0/302      | 0/71         | 46/02        | 526/55      | 41/28      | 1/10       | 17/75     | 45/75       | 36/5      | loam       |
| ۲۲                     | 8/08 | 0/451      | 1/86         | 40/905       | 838/91      | 24/97      | 1/06       | 19/75     | 43          | 37/25     | loam       |
| ۲۳                     | 7/72 | 0/331      | 3/76         | 42/47        | 356/985     | 47/92      | 0/65       | 13/75     | 49          | 37/25     | loam       |
| ۲۴                     | 8/16 | 0/39       | 5/65         | 48/43        | 2454/26     | 34/875     | 2/23       | 21/75     | 63          | 15/25     | silt loam  |
| ۲۵                     | 7/97 | 0/396      | 6/57         | 43/27        | 446/22      | 46/575     | 0/86       | 19/75     | 49          | 31/25     | loam       |
| ۲۶                     | 8/08 | 0/469      | 0/83         | 46/04        | 678/2       | 39/82      | 1/131      | 19/75     | 46/25       | 34        | loam       |
| ۲۷                     | 8/32 | 0/485      | 0/695        | 42/55        | 446/22      | 42/86      | 0/78       | 23/75     | 42/25       | 34        | loam       |
| ۲۸                     | 8/16 | 0/197      | 3/03         | 41/97        | 294/51      | 53/1       | 0/95       | 11/75     | 45          | 43/25     | loam       |
| ۲۹                     | 8/05 | 0/367      | 3/75         | 43/69        | 464/078     | 47/36      | 0/9165     | 16        | 45          | 39        | loam       |
| ۳۰                     | 7/99 | 0/297      | 0/22         | 47/32        | 410/53      | 36/5       | 0/3        | 13/75     | 49/75       | 36/5      | loam       |
| میانگین                | 7/97 | 0/430      | 4/16         | 40/14        | 761/56      | 37/47      | 0/98       | 17/5      | 45          | 38/125    | -          |

Ps = فسفر محلول

Pa = فسفر قابل استفاده

## فصل چهارم: نتایج و بحث

ادامه جدول ۴-۱: نتایج آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های خاک قبل از کاشت محصول

| نمونه<br>(عمق ۲۵-۵۰) | pH   | EC<br>dS/m | Ps<br>mg/ kg | Pa<br>mg/ kg | K<br>mg/ kg | آهک<br>(%) | O.C<br>(%) | رس<br>(%) | سیلت<br>(%) | شن<br>(%) | بافت            |
|----------------------|------|------------|--------------|--------------|-------------|------------|------------|-----------|-------------|-----------|-----------------|
| ۱                    | 8/21 | 0/256      | 2/42         | 44/69        | 713/96      | 45/67      | 1/32       | 15/5      | 53/5        | 31        | silt loam       |
| ۲                    | 7/75 | 0/244      | 7/47         | 41/38        | 446/22      | 43/87      | 0/72       | 17/5      | 52          | 30/5      | silt loam       |
| ۳                    | 8/58 | 0/149      | 1/16         | 47/82        | 865/68      | 35/77      | 1/53       | 18        | 44/75       | 37/25     | loam            |
| ۴                    | 7/96 | 0/616      | 11/40        | 44/97        | 1651/04     | 23/17      | 1/56       | 23/75     | 47          | 29/25     | loam            |
| ۵                    | 8/2  | 0/173      | 0/422        | 48/21        | 2275/76     | 30/37      | 1/44       | 15/5      | 41/5        | 43        | loam            |
| ۶                    | 7/91 | 0/166      | 6/058        | 15/76        | 571/17      | 26/32      | 0/64       | 17/5      | 42          | 40/5      | loam            |
| ۷                    | 7/91 | 0/31       | 6/45         | 21/85        | 1606/42     | 33/97      | 0/55       | 17/5      | 33/5        | 49        | loam            |
| ۸                    | 7/93 | 0/282      | 6/84         | 21/81        | 464/07      | 24/30      | 0/43       | 15/5      | 26          | 58/5      | sandy loam      |
| ۹                    | 8/03 | 0/37       | 6/82         | 21/90        | 437/30      | 23/17      | 0/56       | 15/75     | 30/75       | 53/5      | sandy loam      |
| ۱۰                   | 8/23 | 0/185      | 0/43         | 18/20        | 419/45      | 22/83      | 0/44       | 19/5      | 25/5        | 55        | sandy loam      |
| ۱۱                   | 7/93 | 0/379      | 1/91         | 36/85        | 392/68      | 17/43      | 0/83       | 13/75     | 28/25       | 58        | sandy loam      |
| ۱۲                   | 8/08 | 0/231      | 2/10         | 43/25        | 731/815     | 41/17      | 0/93       | 12        | 47          | 41        | loam            |
| ۱۳                   | 8/07 | 0/140      | 5/32         | 42/34        | 428/38      | 48/82      | 0/76       | 12        | 47          | 41        | loam            |
| ۱۴                   | 8/19 | 0/201      | 0/22         | 25/32        | 383/75      | 40/38      | 0/80       | 19/5      | 37/5        | 43        | loam            |
| ۱۵                   | 7/78 | 0/881      | 6/29         | 45/28        | 562/24      | 44/88      | 0/68       | 14        | 35          | 51        | loam            |
| ۱۶                   | 8/34 | 0/164      | 0/98         | 47/17        | 544/39      | 39/15      | 1/36       | 16        | 59          | 25        | silt loam       |
| ۱۷                   | 8/04 | 0/384      | 3/53         | 47/47        | 526/55      | 42/30      | 1/60       | 11/75     | 57          | 31/25     | silt loam       |
| ۱۸                   | 7/96 | 0/355      | 6/29         | 20/53        | 249/88      | 48/60      | 0/35       | 17/75     | 40/75       | 41/5      | loam            |
| ۱۹                   | 8/11 | 0/393      | 4/01         | 45/23        | 419/45      | 43/87      | 0/98       | 19/75     | 51/75       | 28/5      | silt loam       |
| ۲۰                   | 7/76 | 0/442      | 7/12         | 31/28        | 419/45      | 32/17      | 0/73       | 18        | 42/75       | 39/25     | loam            |
| ۲۱                   | 7/95 | 0/032      | 1/01         | 44/67        | 553/32      | 42/30      | 1/01       | 17/5      | 45          | 37/5      | loam            |
| ۲۲                   | 8/01 | 0/353      | 3/64         | 42/29        | 749/66      | 25/87      | 1/13       | 25/5      | 37/5        | 37        | loam            |
| ۲۳                   | 7/94 | 0/364      | 5/92         | 41/79        | 356/98      | 47/02      | 0/62       | 17/5      | 45          | 37/5      | loam            |
| ۲۴                   | 7/9  | 0/286      | 3/84         | 47/04        | 785/36      | 35/10      | 1/57       | 27/75     | 55/75       | 16/5      | silty clay loam |
| ۲۵                   | 8/62 | 0/302      | 0/22         | 42/47        | 419/45      | 46/35      | 0/79       | 19/75     | 46/75       | 33/5      | loam            |
| ۲۶                   | 8/21 | 0/376      | 1/80         | 46/15        | 713/96      | 39/60      | 1/27       | 17/5      | 51/5        | 31        | silt loam       |
| ۲۷                   | 7/75 | 1/351      | 9/06         | 43/23        | 481/92      | 42/7       | 0/84       | 18        | 50/75       | 31/25     | silt loam       |
| ۲۸                   | 8/06 | 0/194      | 3/28         | 42/97        | 303/43      | 53/21      | 0/92       | 9/75      | 47          | 43/25     | loam            |
| ۲۹                   | 8/04 | 0/205      | 2/73         | 43/12        | 499/77      | 47/92      | 0/86       | 21/5      | 43/5        | 35        | loam            |
| ۳۰                   | 8,00 | 0/285      | 0/55         | 46/89        | 392/68      | 49/72      | 0/3        | 13/5      | 47          | 39/5      | loam            |
| میانگین              | 04/8 | 33/0       | 98/3         | 40/38        | 54/645      | 93/37      | 92/0       | 29/17     | 74/43       | 96/38     | -               |

Ps = فسفر محلول

Pa = فسفر قابل استفاده

## فصل چهارم: نتایج و بحث

جدول ۴-۲: نتایج آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های خاک بعد از کاشت محصول

| O.C<br>(%) | K<br>mg/ kg | Pa<br>mg/ kg | Ps<br>mg/ kg | EC<br>dS/m | pH    | نمونه<br>(عمق ۰-۲۵ cm) |
|------------|-------------|--------------|--------------|------------|-------|------------------------|
| 3/96       | 2361/70     | 46/38        | 5/21         | 0/614      | 7/54  | ۱                      |
| 1/61       | 853/84      | 62/89        | 5/13         | 0/423      | 7/62  | ۲                      |
| 1/89       | 2906/71     | 68/12        | 5/97         | 0/934      | 7/65  | ۳                      |
| 1/589      | 672/17      | 40/99        | 2/36         | 0/223      | 8/02  | ۴                      |
| 0/88       | 481/42      | 32/41        | 1/65         | 0/852      | 7/66  | ۵                      |
| 1/02       | 1998/36     | 19/90        | 0/14         | 0/226      | 8/4   | ۶                      |
| 2/05       | 2089/19     | 68/77        | 5/10         | 0/608      | 7/71  | ۷                      |
| 0/50       | 426/92      | 14/67        | 0/05         | 0/386      | 7/88  | ۸                      |
| 0/80       | 408/75      | 17/79        | 0/17         | 0/204      | 8/2   | ۹                      |
| 0/45       | 436/00      | 19/68        | 0/16         | 0/217      | 8/1   | ۱۰                     |
| 0/82       | 572/25      | 30/90        | 1/50         | 0/347      | 8/17  | ۱۱                     |
| 1/11       | 572/25      | 42/88        | 1/77         | 0/594      | 8/02  | ۱۲                     |
| 0/71       | 835/67      | 42/88        | 0/79         | 0/737      | 8/02  | ۱۳                     |
| 0/34       | 363/33      | 46/81        | 0/080        | 0/242      | 8/08  | ۱۴                     |
| 0/40       | 372/42      | 28/10        | 0/22         | 0/268      | 7/93  | ۱۵                     |
| 0/90       | 508/67      | 46/38        | 3/549        | 0/436      | 7/93  | ۱۶                     |
| 0/97       | 336/08      | 47/14        | 0/56         | 0/581      | 8/03  | ۱۷                     |
| 0/78       | 590/42      | 27/77        | 0/13         | 0/386      | 8/23  | ۱۸                     |
| 1/00       | 554/0       | 54/26        | 3/18         | 0/328      | 7/86  | ۱۹                     |
| 1/10       | 599/50      | 41/96        | 1/17         | 0/234      | 7/86  | ۲۰                     |
| 1/19       | 663/09      | 40/88        | 1/99         | 0/476      | 8/1   | ۲۱                     |
| 1/79       | 1907/53     | 45/09        | 2/07         | 0/971      | 7/8   | ۲۲                     |
| 1/16       | 681/26      | 51/40        | 2/35         | 0/513      | 7/69  | ۲۳                     |
| 1/76       | 726/67      | 53/12        | 2/78         | 0/33       | 7/69  | ۲۴                     |
| 1/62       | 708/51      | 65/64        | 4/67         | 0/351      | 8/03  | ۲۵                     |
| 1/04       | 862/93      | 51/83        | 2/89         | 0/491      | 7/87  | ۲۶                     |
| 0/57       | 408/75      | 30/25        | 0/54         | 0/150      | 8/18  | ۲۷                     |
| 1/82       | 808/42      | 55/17        | 2/83         | 0/489      | 7/07  | ۲۸                     |
| 1/14       | 472/34      | 46/60        | 1/88         | 0/464      | 7/83  | ۲۹                     |
| 0/73       | 345/17      | 35/16        | 0/82         | 0/187      | 7/59  | ۳۰                     |
| 1/19       | 850/81      | 42/53        | 2/06         | 0/44       | 7/892 | میانگین                |

\* با توجه به اینکه میزان آهک و بافت خاک به آسانی قابل تغییر نیستند، از اندازه گیری مجدد آنها صرفنظر شد.

Ps = فسفر محلول

Pa = فسفر قابل استفاده

## فصل چهارم: نتایج و بحث

ادامه جدول ۴-۲: نتایج آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های خاک بعد از کاشت محصول

| O.C<br>(%) | K<br>mg/ kg | Pa<br>mg/ kg | Ps<br>mg/ kg | EC<br>dS/m | pH   | نمونه<br>(عمق ۲۵-۵۰) |
|------------|-------------|--------------|--------------|------------|------|----------------------|
| 2/14       | 799/34      | 47/95        | 1/80         | 0/327      | 7/96 | ۱                    |
| 2/05       | 472/34      | 53/66        | 5/47         | 0/366      | 7/93 | ۲                    |
| 2/49       | 1816/69     | 62/62        | 4/03         | 0/277      | 7/69 | ۳                    |
| 1/00       | 535/92      | 22/65        | 0/065        | 0/658      | 7/95 | ۴                    |
| 1/80       | 2634/20     | 68/66        | 6/82         | 0/375      | 7/99 | ۵                    |
| 0/91       | 1998/36     | 19/52        | 0/13         | 0/242      | 8/3  | ۶                    |
| 0/77       | 617/67      | 19/63        | 0/13         | 0/492      | 8/08 | ۷                    |
| 0/63       | 554/09      | 46/44        | 1/81         | 0/227      | 8/14 | ۸                    |
| 0/53       | 399/67      | 16/99        | 0/058        | 0/235      | 8/17 | ۹                    |
| 0/45       | 490/50      | 18/93        | 0/10         | 0/189      | 8/24 | ۱۰                   |
| 1/29       | 472/34      | 42/61        | 2/40         | 0/332      | 7/84 | ۱۱                   |
| 1/023      | 599/50      | 39/21        | 2/77         | 0/246      | 8/26 | ۱۲                   |
| 1/02       | 472/34      | 42/82        | 0/74         | 0/573      | 7/81 | ۱۳                   |
| 0/57       | 417/83      | 17/74        | 0/12         | 0/436      | 7/84 | ۱۴                   |
| 0/76       | 454/17      | 38/83        | 0/95         | 0/251      | 8/12 | ۱۵                   |
| 0/88       | 426/92      | 30/63        | 1/17         | 0/315      | 8/09 | ۱۶                   |
| 0/74       | 336/08      | 45/46        | 1/08         | 0/615      | 7/86 | ۱۷                   |
| 1/34       | 454/17      | 30/85        | 1/47         | 0/252      | 8/06 | ۱۸                   |
| 1/16       | 526/84      | 51/24        | 2/75         | 0/254      | 8/08 | ۱۹                   |
| 1/10       | 581/34      | 44/55        | 2/12         | 0/152      | 8/08 | ۲۰                   |
| 1/10       | 654/01      | 37/54        | 2/35         | 0/317      | 7/86 | ۲۱                   |
| 1/37       | 1816/69     | 48/05        | 2/45         | 0/132      | 7/76 | ۲۲                   |
| 1/38       | 681/26      | 48/27        | 2/62         | 0/384      | 8/02 | ۲۳                   |
| 1/70       | 726/67      | 55/07        | 3/52         | 0/264      | 8/11 | ۲۴                   |
| 1/65       | 744/84      | 43/36        | 1/87         | 0/462      | 8/06 | ۲۵                   |
| 1/31       | 817/51      | 47/19        | 1/91         | 0/278      | 7/94 | ۲۶                   |
| 0/89       | 408/75      | 25/51        | 0/22         | 0/186      | 8/17 | ۲۷                   |
| 1/08       | 463/25      | 49/02        | 1/53         | 0/188      | 7/86 | ۲۸                   |
| 1/14       | 445/09      | 44/12        | 2/18         | 0/19       | 8/09 | ۲۹                   |
| 1/00       | 336/08      | 35/65        | 0/47         | 0/374      | 7/64 | ۳۰                   |
| 1/18       | 738/48      | 39/82        | 1/84         | 0/31       | 8,00 | میانگین              |

Ps = فسفر محلول

Pa = فسفر قابل استفاده

## فصل چهارم: نتایج و بحث

جدول ۴-۳: تجزیه آماری نتایج حاصل از تعیین ویژگیهای خاک (قبل از کشت محصول)

| پارامتر          | pH   | EC    | Ps     | Pa     | K       | آهک   | O.C   | رس    | سیلت  | شن    |
|------------------|------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |      | dS/m  | mg/ kg | mg/ kg | mg/ kg  | (%)   | (%)   | (%)   | (%)   | (%)   |
| تعداد نمونه ها   | ۳۰   | ۳۰    | ۳۰     | ۳۰     | ۳۰      | ۳۰    | ۳۰    | ۳۰    | ۳۰    | ۳۰    |
| حداقل            | ۷/۵۳ | ۰/۱۳  | ۰/۰۴   | ۱۷/۷۵  | ۲۵۸/۸۱  | ۱۶/۸۸ | ۰/۳۰  | ۱۱/۷۵ | ۲۷/۷۵ | ۱۵/۲۵ |
| حداکثر           | ۸/۵۲ | ۱/۷۷  | ۱۰/۵۳  | ۴۸/۴۴  | ۲۴۵۴/۲۶ | ۵۳/۱۰ | ۲/۲۳  | ۲۳/۷۵ | ۶۳/۰۰ | ۵۶/۵۰ |
| میانگین          | ۷/۹۷ | ۰/۴۳  | ۴/۰۲   | ۴۰/۱۴  | ۷۶۱/۵۶  | ۳۷/۴۴ | ۰/۹۸  | ۱۷/۲۰ | ۴۳/۸۶ | ۳۸/۹۲ |
| میانه            | ۸/۰۰ | ۰/۳۳  | ۴/۱۶   | ۴۳/۷۱  | ۵۳۱/۰۱  | ۴۰/۵۵ | ۰/۹۰  | ۱۷/۵  | ۴۵/۰۰ | ۳۸/۱۲ |
| انحراف معیار     | ۰/۲۰ | ۰/۳۳  | ۲/۹۴   | ۸/۹۳   | ۶۱۶/۰۴  | ۱۰/۱۱ | ۰/۴۱  | ۳/۳۱  | ۸/۱۲  | ۹/۱۱  |
| چولگی            | ۰/۲۳ | ۲/۷۵  | ۰/۲۴   | -۱/۴۱  | ۱/۹۱    | -۰/۵۷ | ۱/۰۴  | ۰/۰۸  | ۰/۰۵  | -۰/۱۶ |
| کشیدگی           | ۰/۷۹ | ۸/۷۲  | -۰/۷۳  | ۰/۷۷   | ۲/۴۰    | -۰/۸۷ | ۱/۳۶  | -۰/۶۱ | ۰/۵۰  | ۰/۴۵  |
| ضریب تغییرات (%) | ۲/۵۱ | ۷۶/۹۴ | ۷۳/۱۳  | ۲۲/۲۵  | ۸۰/۸۹   | ۲۶/۷۰ | ۴۰/۱۹ | ۱۹/۲۴ | ۱۸/۵۱ | ۲۳/۴۱ |
| تعداد نمونه ها   | ۳۰   | ۳۰    | ۳۰     | ۳۰     | ۳۰      | ۳۰    | ۳۰    | ۳۰    | ۳۰    | ۳۰    |
| حداقل            | ۷/۷۵ | ۰/۰۳  | ۰/۲۳   | ۱۵/۷۷  | ۲۴۹/۸۹  | ۱۷/۴۴ | ۰/۳۰  | ۹/۷۵  | ۲۵/۵۰ | ۱۶/۵۰ |
| حداکثر           | ۸/۶۲ | ۱/۳۵  | ۱۱/۴۰  | ۴۸/۲۲  | ۲۲۷۵/۷  | ۵۳/۲۱ | ۶۱/۱  | ۲۷/۷۵ | ۵۹/۰۰ | ۵۸/۵۰ |
| میانگین          | ۸/۰۴ | ۰/۳۳  | ۳/۹۸   | ۳۸/۴۰  | ۶۴۵/۵۴  | ۳۷/۹۳ | ۰/۹۲  | ۱۷/۲۹ | ۴۳/۷۴ | ۳۸/۹۶ |
| میانه            | ۸/۰۲ | ۰/۲۸  | ۳/۵۹   | ۴۳/۰۴  | ۴۹۰/۸۵  | ۴۰/۷۸ | ۰/۸۴  | ۱۷/۵  | ۴۵/۰۰ | ۳۸/۱۲ |
| انحراف معیار     | ۰/۲۱ | ۰/۲۴  | ۲/۹۶   | ۱۰/۵۲  | ۴۴۳/۴۱  | ۹/۵۵  | ۰/۳۸  | ۳/۹۶  | ۸/۸۸  | ۹/۸۳  |
| چولگی            | ۱/۰۶ | ۲/۷۹  | ۰/۵۳   | -۱/۱۰  | ۲/۵۳    | -۰/۵۲ | ۰/۴۰  | ۰/۶۱  | -۰/۴۸ | ۰/۲۱  |
| کشیدگی           | ۱/۵۲ | ۹/۶۷  | -۰/۳۸  | -۰/۴۱  | ۶/۵۵    | -۰/۸۱ | -۰/۸۵ | ۰/۹۶  | -۰/۳۰ | ۰/۰۸  |
| ضریب تغییرات (%) | ۲/۶۱ | ۷۵/۱۵ | ۷۴/۳۷  | ۲۷/۳۹  | ۶۸/۶۸   | ۲۵/۱۷ | ۴۱/۳۰ | ۲۲/۹۰ | ۲۰/۳۰ | ۲۵/۲۳ |

عمق ۰ تا ۲۵ سانتیمتر

عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتیمتر

### ۴-۱-۲- کربنات کلسیم

بر اساس تعریف، خاک آهکی خاکی است که دارای بیشتر از ۲ درصد کربنات کلسیم آزاد باشد (ملکوتی و نفیسی، ۱۳۸۴). لذا حضور درصد قابل ملاحظه ای از کربنات کلسیم در خاکهای منطقه، (حداقل ۱۶/۸۸ و حداکثر ۵۳/۱۰ با میانگین ۳۷/۴۴ درصد در خاک سطحی و حداقل ۱۷/۴۴ و حداکثر ۵۳/۲۱ درصد با میانگین ۳۷/۹۳ درصد در خاک زیر سطحی)، گویای امکان حضور فعال کاتیون کلسیم و شدت آهکی بودن خاکهاست. مهمترین اثر سوء آهک زیادی در خاکهای زراعی، ترکیب با بعضی

## فصل چهارم: نتایج و بحث

جدول ۴-۴: تجزیه آماری نتایج حاصل از تعیین ویژگیهای خاک (بعد از کشت محصول)

| O.C<br>(%) | K<br>mg/ kg | Pa<br>mg/ kg | Ps<br>mg/ kg | EC<br>dS/m | pH    | پارامتر          |                       |
|------------|-------------|--------------|--------------|------------|-------|------------------|-----------------------|
| ۳۰         | ۳۰          | ۳۰           | ۳۰           | ۳۰         | ۳۰    | تعداد نمونه ها   | عمق ۰ تا ۲۵ سانتیمتر  |
| ۰/۳۴       | ۳۳۶/۰۹      | ۱۴/۶۷        | ۰/۰۵         | ۰/۱۵       | ۷/۰۷  | حداقل            |                       |
| ۳/۹۷       | ۲۹۰۶/۷۱     | ۶۸/۷۷        | ۵/۹۸         | ۰/۹۷       | ۸/۴۰  | حداکثر           |                       |
| ۱/۱۹       | ۸۵۰/۸۱      | ۴۲/۵۳        | ۲/۰۶         | ۰/۴۴       | ۷/۸۹  | میانگین          |                       |
| ۱/۰۳       | ۵۹۴/۹۶      | ۴۳/۹۸        | ۱/۸۲         | ۰/۴۰       | ۷/۹۰  | میانه            |                       |
| ۰/۷۰       | ۶۷۲/۳۸      | ۱۴/۶۸        | ۱/۷۷         | ۰/۲۱       | ۰/۲۶  | انحراف معیار     |                       |
| ۲/۱۵       | ۱/۹۰        | -۰/۱۰        | ۰/۷۳         | ۰/۹۱       | -۰/۸۲ | چولگی            |                       |
| ۷/۲۱       | ۲/۶۵        | -۰/۵۲        | -۰/۴۴        | ۰/۳۲       | -۱/۸۱ | کشیدگی           |                       |
| ۵۹/۱۶      | ۷۹/۰۳       | ۳۴/۵۳        | ۸۶/۰۷        | ۴۹/۵۵      | ۳/۳۶  | ضریب تغییرات (%) |                       |
| ۳۰         | ۳۰          | ۳۰           | ۳۰           | ۳۰         | ۳۰    | تعداد نمونه ها   | عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتیمتر |
| ۰/۴۶       | ۳۳۶/۰۹      | ۱۶/۹۹        | ۰/۰۶         | ۰/۱۳       | ۷/۶۴  | حداقل            |                       |
| ۲/۵۰       | ۲۶۳۴/۳۱     | ۶۸/۶۶        | ۶/۸۳         | ۰/۶۶       | ۸/۳۰  | حداکثر           |                       |
| ۱/۱۸       | ۷۳۸/۴۸      | ۳۹/۸۲        | ۱/۸۴         | ۰/۳۱       | ۸/۰۰  | میانگین          |                       |
| ۱/۰۹       | ۵۳۱/۳۸      | ۴۳/۰۹        | ۱/۸۰         | ۰/۲۷       | ۸/۰۴  | میانه            |                       |
| ۰/۴۹       | ۵۵۸/۶۲      | ۱۳/۵۸        | ۱/۶۰         | ۰/۱۳       | ۰/۱۶  | انحراف معیار     |                       |
| ۰/۹۵       | ۲/۳۰        | -۰/۱۶        | ۱/۳۲         | ۱/۰۲       | -۰/۲۹ | چولگی            |                       |
| ۰/۷۱       | ۴/۶۲        | -۰/۴۹        | ۲/۳۳         | ۰/۵۷       | -۰/۴۷ | کشیدگی           |                       |
| ۴۱/۵۲      | ۷۵/۶۴       | ۳۴/۰۹        | ۸۷/۳۴        | ۴۲/۰۰      | ۲/۰۷  | ضریب تغییرات (%) |                       |

عناصر کودی و تبدیل آنها به به ترکیبات تقریباً نامحلول و غیرقابل استفاده توسط گیاه می باشد (ملکوتی و نفیسی، ۱۳۸۴). برای مثال فسفر در خاکهای آهکی، به مقدار زیادی به وسیله واکنشهای جذب و رسوب در سطوح کانیهای کربناتی ابقا می شود و ابقای فسفر در خاکهای آهکی بسیار مشکل ساز است (خورشید و همکاران، ۱۳۸۷). جاوید و رول (۲۰۰۲) در مطالعه آنکوباسیون فسفر گزارش کردند که بعد از گذشت ۹۰ روز، ۴۵ تا ۸۰ از فسفر مصرفی بصورت غیر قابل جذب درآمده و قابل عصاره گیری به روش اولسن نبوده است و بیشترین مقدار فسفر غیر قابل جذب مربوط به خاکهای آهکی بود. کوزاک و همکاران (۲۰۰۶) نیز به نتایج مشابهی دست یافته بودند. کاریرا و همکاران (۲۰۰۶) گزارش

دادند که کربنات خاکها نقش موثری در رسوب فسفر بصورت فسفات های کلسیم دارد. علاوه بر املاح فسفات، جذب تعدادی دیگر از عناصر غذایی توسط گیاه مانند منگنز، آهن و روی در خاکهای آهکی مختل می گردد (ملکوئی و نفیسی، ۱۳۸۴).

### ۴-۱-۳- کربن آلی

به طور کلی نقش ماده آلی در تأمین سلامت و کیفیت خاک را می توان به صورت منبع کربن و انرژی برای ریز جانداران خاک، منبع عناصر غذایی نظیر نیتروژن، گوگرد، فسفر و ...، پایداری و نگهداری ذرات خاک به عنوان خاکدانه یا خاک واحد و کاهش خطر فرسایش خاک، توسعه تخلخل خاک و افزایش ظرفیت نگهداری هوا و آب و تسهیل توسعه و رشد ریشه ای، حفظ و ابقای عناصر غذایی و جلوگیری از هدر رفت آنها با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و ظرفیت تبادل آنیونی (AEC)، جلوگیری از فشردگی و تراکم خاک با پایین نگهداشتن جرم مخصوص ظاهری و ممانعت از ایجاد قشرها و پوسته های سخت، ترک و گسل، افزایش قابلیت خاکورزی و تغییر در خصوصیات خاک مثل کاهش چسبندگی، افزایش نفوذپذیری و نرمی خاک، ابقای کربن از اتمسفر و دیگر منابع، کاهش اثرات محیطی منفی مثل اثر حشره کش ها، فلزات سنگین و بسیاری از آلاینده های دیگر، افزایش قدرت بافری خاک و مقابله با تغییرات سریع اسیدیته خاک و افزایش سرعت نفوذ آب در خاک و کاهش تولید رواناب بیان داشت (ملکوئی و نفیسی، ۱۳۸۴؛ میرزا شاهی و سعادت، ۱۳۸۹). با توجه به دشواری اندازه گیری ماده آلی، تخمین میزان ماده آلی خاکها با اندازه گیری کربن آلی صورت می گیرد. در مورد حد بحرانی کربن آلی خاک اجماع نظر وجود ندارد (مؤمنی و همکاران، ۱۳۸۴). سیس و همکاران (۱۹۹۱) چهار روش را برای درجه بندی کربن آلی خاک پیشنهاد کردند که میانگین مقادیر پیشنهاد شده در جدول (۴-۵) ارائه شده است.

در مطالعه حاضر و در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول، درصد کربن آلی در خاک سطحی از حداقل ۰/۳۰ (خاک شماره ۳۰) تا حداکثر ۲/۲۳ (خاک شماره ۲۴) با میانگین ۰/۹۸ و در خاک زیرسطحی از حداقل ۰/۳۰ (خاک شماره ۳۰) تا حداکثر ۱/۶۰ (خاک شماره ۱۷) با میانگین ۰/۹۲

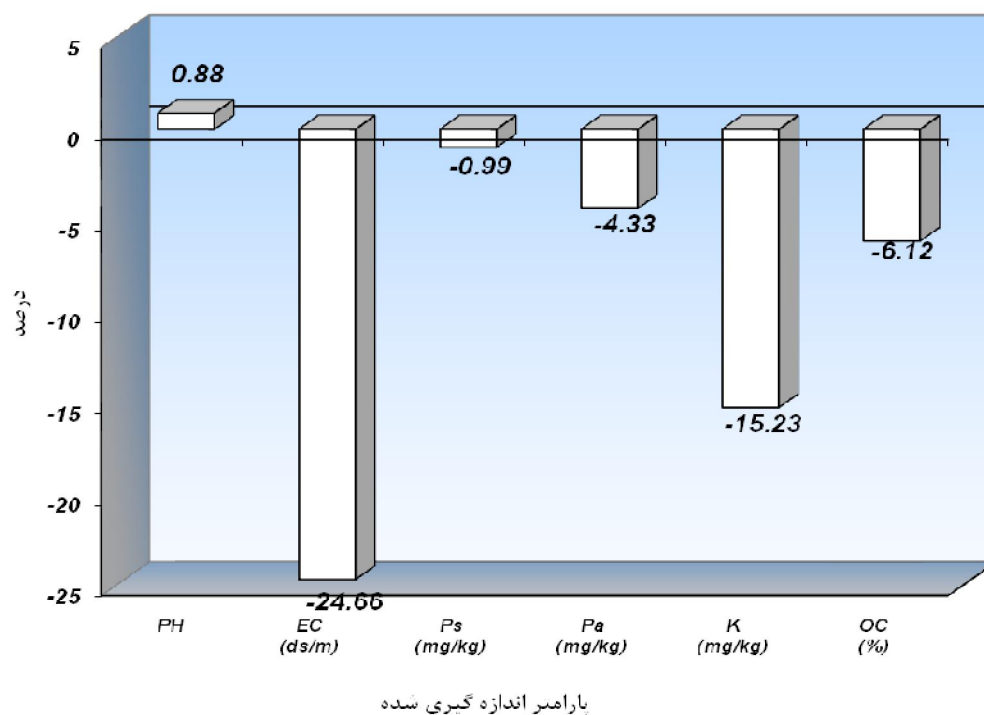
جدول ۴-۵: درجه بندی مقدار کربن آلی خاک (Sys et al., 1991)

| کلاس تناسب اراضی  | درصد کربن آلی خاک |
|-------------------|-------------------|
| خیلی مناسب (S1)   | $> 2$             |
| مناسب (S2)        | $2 - 0.8$         |
| نسبتاً مناسب (S3) | $< 0.8$           |

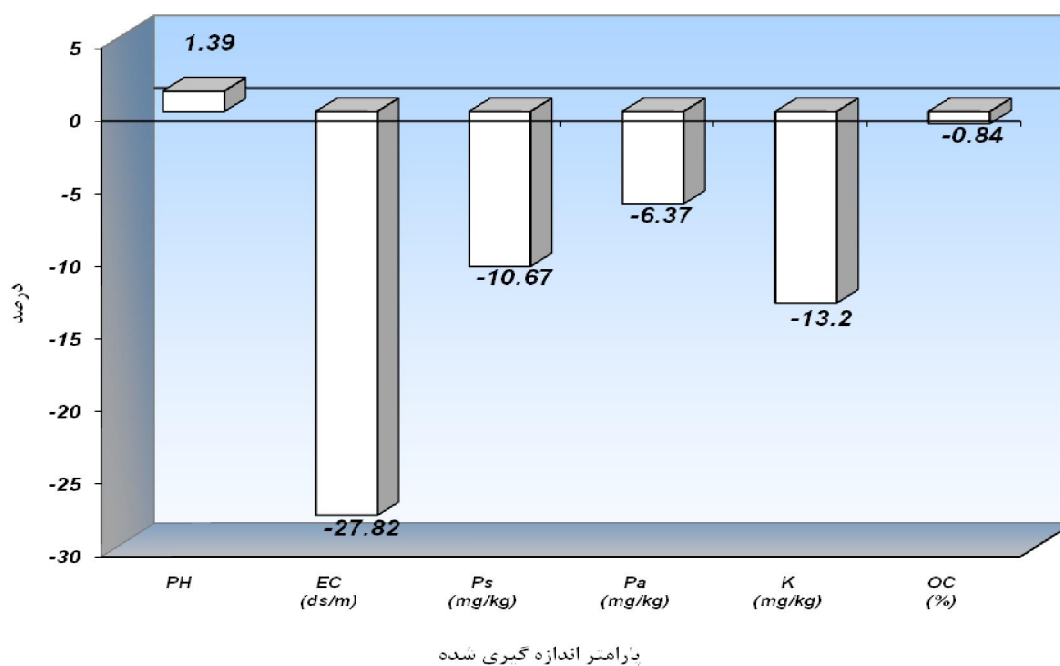
تغییر می کند (جدول ۴-۱). مقادیر ضریب تغییرات درصد کربن آلی در خاک سطحی ( $CV=40/19$ ) و زیرسطحی ( $CV=41/30$ ) حاکی از تغییرپذیری متوسط درصد کربن آلی در منطقه مورد مطالعه است (علیزاده، ۱۳۸۳) و این تغییرپذیری در خاک زیرسطحی از خاک سطحی بیشتر است (جدول ۴-۳).

همانطور که در جدول (۴-۲) مشاهده می شود، در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول، دامنه تغییرات درصد کربن آلی در خاک سطحی در محدوده  $0.34$  (خاک شماره ۱۴) تا  $3/96$  (خاک شماره ۱) با میانگین  $1/19$  و در خاک زیر سطحی در محدوده  $0.45$  (خاک شماره ۱۰) تا  $2/49$  (خاک شماره ۳) با میانگین  $1/18$  قرار دارد. در این سری از خاکها نیز درصد کربن آلی از تغییرپذیری متوسط برخوردار است. مقایسه ضریب تغییرات خاک سطحی ( $CV=59/16$ ) با خاک زیرسطحی ( $CV=41/52$ ) بیانگر تغییرپذیری بیشتر این عنصر در خاک سطحی نسبت به خاک زیرسطحی، در این سری از خاکها، می باشد (جدول ۴-۴). این امر می تواند ناشی از مصرف کودهای آلی در اراضی زراعی باشد. ضمن اینکه تهویه بهتر و در نتیجه فعالیت میکروبی بیشتر در خاکهای سطحی باعث تغییر و تحول بیشتر کربن آلی در خاک سطحی نسبت به خاک زیرسطحی می شود.

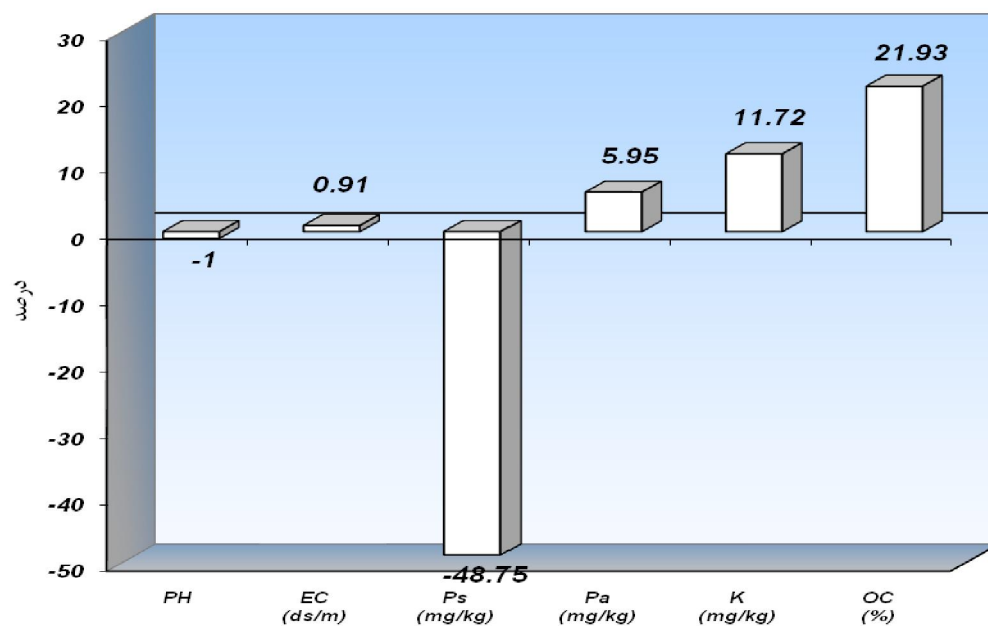
افزایش درصد کربن آلی خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول در مقایسه با خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول (اشکال ۴-۳ و ۴-۴)، دلیل دیگری بر استفاده از کودهای آلی در تولید محصولات کشاورزی است. همچنین این افزایش را می توان به پوشش گیاهی و در نتیجه مواد آلی ایجاد شده در منطقه بعد از کشت محصول نسبت داد (جعفری و همکاران، ۱۳۸۷).



شکل (۴-۱): اختلاف میانگین متغیرهای مورد مطالعه در خاک زیرسطحی با خاک سطحی قبل از کشت محصول



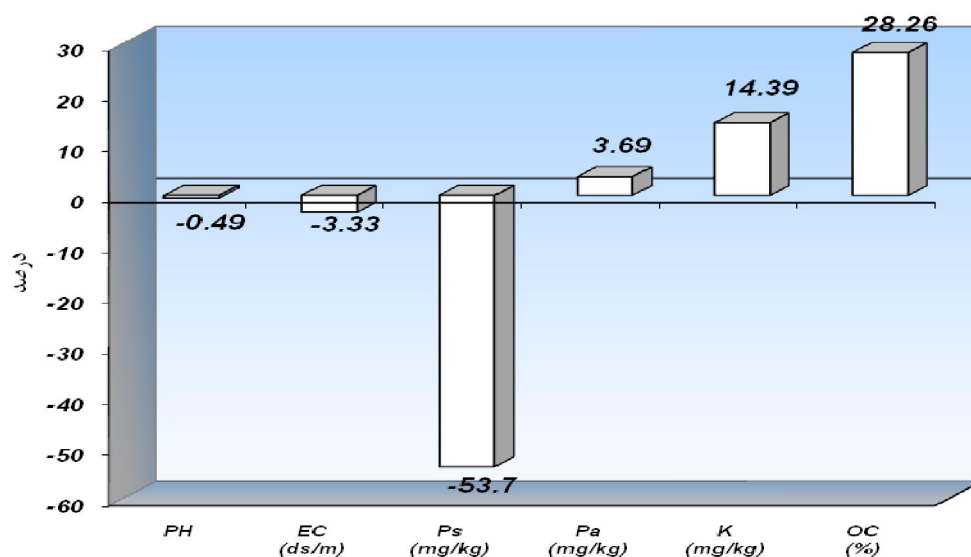
شکل (۴-۲): اختلاف میانگین متغیرهای مورد مطالعه در خاک زیرسطحی با خاک سطحی بعد از کشت محصول



پارامتر اندازه گیری شده

شکل (۳-۴): اختلاف میانگین متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده بعد با قبل از کشت محصول

(خاک سطحی)



پارامتر اندازه گیری شده

شکل (۴-۴): اختلاف میانگین متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده بعد با قبل از کشت محصول

(خاک زیر سطحی)

بطور کلی، براساس طبقه‌بندی سیس و همکاران (۱۹۹۱) (جدول ۴-۵) و با توجه به مقادیر کربن آلی خاکهای منطقه، می‌توان گفت مدیریت مصرف کودهای آلی صرفنظر از منبع کود وضعیت مناسبی دارد.

### ۴-۱-۴- هدایت الکتریکی

بر پایه داده‌های موجود در جدول (۴-۱)، در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاکهای سطحی از حداقل ۰/۱۳ (خاک شماره ۱۵) تا حداکثر ۱/۷۷ (خاک شماره ۱۷) با میانگین ۰/۴۳ دسی زیمنس بر متر و EC خاکهای زیر سطحی از حداقل ۰/۰۳ (خاک شماره ۲۱) تا حداکثر ۱/۳۵ (خاک شماره ۲۷) با میانگین ۰/۳۳ دسی زیمنس بر متر در نوسان است. با بررسی ضریب تغییرات (جدول ۴-۳) مشخص می‌شود که EC در خاک سطحی ( $CV=76/94$ ) و زیرسطحی ( $CV=75/15$ ) منطقه مورد مطالعه تغییرپذیری زیادی دارد و این تغییرپذیری در خاک سطحی از خاک زیرسطحی بیشتر است.

در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول، دامنه تغییرات EC در خاکهای سطحی از ۰/۱۵ (خاک شماره ۲۷) تا ۰/۹۷ (خاک شماره ۲۲) با میانگین ۰/۴۴ دسی زیمنس بر متر و در خاکهای زیر سطحی از ۰/۱۳ (خاک شماره ۲۲) تا ۰/۶۵ (خاک شماره ۴) با میانگین ۰/۳۱ دسی زیمنس بر متر می‌باشد (جدول ۴-۲). در این سری از خاکها، ضریب تغییرات در خاک سطحی ( $CV=49/55$ ) و زیر سطحی ( $CV=42/00$ ) کمتر از ۵۰ درصد بدست آمده است که نشان دهنده تغییرپذیری متوسط این ویژگی در خاکهای مورد مطالعه است (علیزاده، ۱۳۸۳). در اینجا نیز EC در خاک سطحی نسبت به خاک زیر سطحی تغییرات بیشتری را نشان می‌دهد.

تغییرپذیری کمتر EC در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول در مقایسه با خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول می‌تواند مربوط به عملیات شخم و آبیاری باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عمق خاک میزان EC کاهش یافته است. بیشتر بودن میزان EC در

خاک سطحی را می توان به سوء مدیریت خاک و آب نسبت داد. در اراضی که مکرراً آبیاری می شوند نفوذ عمقی آب منجر به بالا آمدن آب زیر زمینی می شود. با تبخیر آب از سطح خاک، نمک در پروفیل خاک و مخصوصاً در لایه های نزدیک سطح تجمع می یابد (Borlaug and Ghassemi et al., 1995) Dowsell, 2000. نشت آب از کانالهای قدیمی و بدون پوشش نیز مشکل مشابهی را به وجود می آورد (Ghassemi et al., 1995).

در مزارعی که به خوبی مسطح نشده اند، وقتی که آب در نقاط پست تر مزرعه به مدت زیاد تجمع یابد مستقیماً تبخیر شده و نمک را بر روی سطح خاک بجا می گذارد. تکرار این عمل منجر به ایجاد و گسترش مناطق شور در سطح مزارع می گردد (مؤمنی، ۱۳۸۴).

### ۴-۱-۵- واکنش خاک

pH خاک یکی از مهمترین عوامل در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان می باشد. اثر pH خاک به دو شیوه، اثر مستقیم pH در میزان حلالیت عناصر مغذی گیاه در خاک و اثر غیر مستقیم pH بر فعالیت موجودات ذره بینی و جذب سطحی عناصر توسط ریشه، در عملکرد گیاهان زراعی مؤثر می باشد. مناسبترین pH برای حلالیت اکثر عناصر غذایی، به ویژه فسفر، بین ۶ تا ۷ است (ملکوتی و نفیسی، ۱۳۸۴). در pH های بالاتر از ۷، که عموماً یونهای کلسیم و منیزیم فعال فراوانی وجود دارند، ترکیبات نامحلول فسفاتهای کلسیم و منیزیم به وجود می آید که قابلیت جذب فسفر را تحت تأثیر قرار می دهد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). از آنجایی که بیشتر قارچها در واکنش های اسیدی و باکتریها در واکنش های نزدیک به خنثی فعالتر و در شکستن و تجزیه مواد آلی مؤثرترند، لذا pH نزدیک به خنثی که هر دو گروه در این pH نسبتاً فعالند، نیز مناسبترین حالت برای تجزیه مواد آلی و آزاد نمودن نیتروژن در مرحله اول و فسفر، گوگرد و بعضی عناصر ریزمغذی در مرحله دوم می باشد (ملکوتی و نفیسی، ۱۳۸۴).

نتایج حاصل از آنالیز خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول (جدول ۴-۱) نشان می دهد که دامنه pH در نمونه های خاک سطحی از ۷/۵۳ (خاک شماره ۱۷) تا ۸/۵۲ (خاک شماره ۱) با میانگین ۷/۹۷ و در خاک زیرسطحی از ۷/۷۵ (خاک شماره ۲۷) تا ۸/۶۲ (خاک شماره ۲۵) با میانگین ۸/۰۴ متغیر می باشد. ضریب تغییرات در خاک سطحی ( $CV=2/51$ ) و زیر سطحی ( $CV=2/61$ ) تغییرپذیری کم این ویژگی را در خاکهای مورد مطالعه نشان می دهد.

در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول، pH خاکهای سطحی در محدوده ۷/۰۷ (خاک شماره ۲۸) تا ۸/۴۰ (خاک شماره ۶) با میانگین ۷/۸۹ و pH خاکهای زیر سطحی در محدوده ۷/۶۴ (خاک شماره ۳۰) تا ۸/۳۰ (خاک شماره ۶) با میانگین ۸/۰۰ بدست آمده است و تغییرپذیری کمی نشان می دهند. با مقایسه ضریب تغییرات در خاک سطحی ( $CV=3/36$ ) و خاک زیر سطحی ( $CV=2/07$ ) متوجه می شویم که، در این سری از خاکهای مورد مطالعه، تغییرپذیری در خاک سطحی بیشتر صورت گرفته است.

همانطور که مشاهده می شود، با افزایش عمق خاک، pH افزایش یافته است که این افزایش pH احتمالاً به علت کاهش کربن آلی در خاک زیر سطحی می باشد. تحقیقات نشان داده است که در حضور یک منبع مناسب کربن، بعضی از باکتریها و قارچها قادر به تولید اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم می باشند که باعث کاهش pH محیط می شوند (Ress et al., 2001).

کاهش pH خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول در مقایسه با خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول، نیز دلیل دیگری در اثبات نقش کربن آلی در کاهش pH می باشد. زیرا خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول دارای مقادیر بیشتری از کربن آلی هستند (اشکال ۴-۳ و ۴-۴).

به طور کلی خاک منطقه مورد مطالعه دارای pH بیش از خنثی است و احتمال کمبود عناصر کم مصرف به ویژه آهن نیز وجود خواهد داشت.

#### ۴-۱-۶- پتاسیم قابل استفاده

با بررسی نتایج حاصل از آنالیز خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول (جدول ۴-۱) مشخص می گردد که تغییرپذیری مقدار پتاسیم قابل استفاده در نمونه های خاک سطحی و زیر سطحی زیاد بوده به طوریکه در نمونه های خاک سطحی از حداقل ۲۵۸/۸۱ (خاک شماره ۱۸) تا حداکثر ۲۴۵۴/۲۶ (خاک شماره ۲۴) با میانگین ۷۶۱/۵۶ میلی گرم در کیلوگرم در تغییر می باشد. دامنه تغییرپذیری پتاسیم در خاک زیر سطحی از حداقل ۲۴۹/۸۹ (خاک شماره ۱۸) تا حداکثر ۷۰/۲۲۷۵ (خاک شماره ۵) با میانگین ۶۴۵/۵۴ میلی گرم در کیلوگرم می باشد و مقادیر ضریب تغییرات نشان می دهد که میزان تغییرپذیری این عنصر در خاک سطحی ( $CV=80/89$ ) بیشتر از خاک زیر سطحی ( $CV=68/68$ ) می باشد (جدول ۴-۳).

در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول (جدول ۴-۲)، محدوده تغییرات پتاسیم قابل استفاده در خاک سطحی بین ۳۳۶/۰۹ (خاک شماره ۱۷) تا ۲۹۰۶/۷۱ (خاک شماره ۳) با میانگین ۸۵۰/۸۱ میلی گرم در کیلوگرم و در خاک زیر سطحی بین ۳۳۶/۰۹ (خاک شماره ۱۷) تا ۲۶۳۴/۲۱ (خاک شماره ۵) با میانگین ۷۳۸/۴۸ میلی گرم در کیلوگرم است. همچنین نتایج حاکی از تغییرپذیری بیشتر پتاسیم در خاک سطحی ( $CV=79/03$ ) نسبت به خاک زیر سطحی ( $CV=64/75$ ) در این سری از خاکها می باشد (جدول ۴-۴).

تغییرپذیری بیشتر پتاسیم در خاک سطحی، علاوه بر سطح مصرف کودهای آلی و شیمیایی، می تواند مربوط به بیشتر بودن مواد آلی در خاک سطحی نیز باشد که سبب افزایش پتاسیم قابل استفاده و تغییرپذیری بیشتر آن در خاک سطحی شده است.

مقایسه پتاسیم قابل استفاده در نمونه های خاک بعد کشت محصول با قبل از کشت محصول نشان می دهد که علیرغم جذب پتاسیم توسط گیاه، مقدار پتاسیم قابل استفاده در کلیه نمونه ها بعد از کشت محصول، افزایش یافته است (اشکال ۴-۳ و ۴-۴). این مسأله حاکی از مصرف کودهای شیمیایی

حاوی پتاسیم در کلیه اراضی زیر کشت، بدون در نظر گرفتن نتایج آزمون خاک می باشد. همچنین افزودن کودهای آلی نیز سبب افزایش پتاسیم قابل استفاده گیاه می گردد و بیشتر بودن مواد آلی در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول، مؤید این مطلب است. لذا تغییرپذیری بیشتر پتاسیم در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول در مقایسه با خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول می تواند ناشی از خصوصیات ذاتی خاک (مانند مواد مادری و نوع کانیها) و همچنین کیفیت آب آبیاری باشد (ایوبی و خرمالی، ۱۳۸۷).

در آزمایشهایی که پیرامون تعیین نیاز کودی سیب زمینی در کشتزارهای اطراف کرج، تهران و دماوند به عمل آمده است، چنین استنباط گردید که اگر غلظت پتاسیم در خاک حدود ۴۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک باشد، عملکرد محصول، صرفنظر از سایر عوامل محدود کننده رشد، مطلوب خواهد بود (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). لذا با توجه به مطلب فوق الذکر و با توجه به مقادیر پتاسیم خاکهای منطقه، مقدار این عنصر در برخی مزارع کم و در برخی دیگر بسیار زیاد می باشد. پتاسیم به میزان زیاد توسط سیب زمینی جذب می گردد. اگر پتاسیم قابل استفاده خاک کم باشد، دوره رشد کوتاه شده و در نتیجه از میزان تولید کاسته می شود. پتاسیم سبب کاهش قندهای احیا شده گردیده و در نتیجه از کبود شدن سیب زمینی در اثر ضربات حمل و نقل و بریدگی جلوگیری می کند. پتاسیم در انتقال مواد حاصل از فتوسنتز و تبدیل ساکارز به نشاسته و کارایی جذب آب و کاهش مقدار نیترات غده ها، نقش مهمی را ایفا می کند. هرگونه کمبود در مقدار پتاسیم از عملکرد و کیفیت محصول می کاهد (نوری و ملکوتی، ۱۳۸۳؛ Westermann, 2005). بالا بودن غلظت پتاسیم قابل جذب گیاه در خاک نیز می تواند در دراز مدت باعث شوری خاک شده و این امر با توجه به حساس بودن گیاه سیب زمینی به شوری می تواند ایجاد مشکل نماید (فائزینیا و همکاران، ۱۳۸۷).

#### ۴-۱-۷- فسفر قابل استفاده

نتایج حاصل از اندازه گیری فسفر به روش اولسن، در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول (جدول ۴-۱)، نشان می دهد که حداقل فسفر قابل استفاده در خاک سطحی ۱۷/۷۵ (خاک شماره ۹) و حداکثر ۴۸/۴۴ (خاک شماره ۲۴) با میانگین ۴۰/۱۴ میلی گرم در کیلوگرم و ضریب تغییرات آن ۲۲/۲۵٪ (جدول ۴-۳) می باشد. در خاک زیر سطحی میزان فسفر قابل استفاده بین ۱۵/۷۷ (خاک شماره ۶) تا ۴۸/۲۲ (خاک شماره ۵) با میانگین ۳۸/۴۰ میلی گرم در کیلوگرم تغییر می کند و ضریب تغییرات آن ۲۷/۳۹٪ (جدول ۴-۳) می باشد.

در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول، دامنه فسفر قابل استفاده در خاک سطحی از حداقل ۱۴/۶۷ (خاک شماره ۸) تا حداکثر ۶۸/۷۷ (خاک شماره ۷) با میانگین ۴۲/۵۳ میلی گرم در کیلوگرم و در خاک زیر سطحی از حداقل ۱۶/۹۹ (خاک شماره ۹) تا حداکثر ۶۸/۶۶ (خاک شماره ۵) با میانگین ۳۹/۸۲ میلی گرم در کیلوگرم در نوسان است (جدول ۴-۲). مقادیر ضریب تغییرات برای خاک سطحی و زیر سطحی به ترتیب ۳۴/۵۳ و ۳۴/۰۹ درصد می باشد (جدول ۴-۴).

با توجه به اینکه حد بحرانی فسفر قابل استفاده برای سیب زمینی از سوی مؤسسه تحقیقات خاک و آب ۱۰ تا ۱۲ میلی گرم در کیلوگرم خاک تعیین شده است (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۹)، لذا مطابق اطلاعات حاصله، میزان این عنصر در کلیه خاکهای مورد مطالعه بیشتر از حد بحرانی است و در محدوده زیاد قرار دارد و هیچ نیازی به مصرف این عنصر بصورت کود وجود ندارد.

مقایسه میانگین ها نشان می دهد که، در خاکهای مورد مطالعه، میزان فسفر قابل استفاده با افزایش عمق کاهش یافته است. از آنجا که در خاکهای زراعی امکان از دست رفتن فسفر از لایه های خاک از طریق آبشویی تقریباً وجود ندارد (سالار دینی، ۱۳۸۸)، لذا علت افزایش فسفر قابل استفاده در لایه سطحی خاکها می تواند منابع افزایش فسفر به خاک باشد. یکی از منابع افزایش فسفر به خاک ماده آلی است (مؤمنی و همکاران، ۱۳۸۴). لذا با کاهش مقدار کربن آلی در لایه های پایینی خاک، انتظار می رود که فسفر قابل استفاده نیز کاهش یابد. همچنین افزایش فسفر خاک سطحی می تواند در اثر

افزایش کودهای شیمیایی باشد که کشاورزان هرساله مقادیری بیش از حد توصیه شده کارشناسی، به خاکهای زراعی اضافه می نمایند (مؤمنی و همکاران، ۱۳۸۴). کمتر بودن pH خاک سطحی نسبت به خاک زیر سطحی (شکل ۳-۴) نیز ممکن است دلیل دیگر بیشتر بودن فسفر قابل استفاده در خاک سطحی باشد.

بررسی و مقایسه مقدار فسفر قابل استفاده در خاکهای نمونه برداری شده بعد و قبل از کشت محصول حاکی از مصرف کودهای فسفره، بدون توجه به نیاز یا عدم نیاز گیاه، در طی رشد گیاه می باشد (اشکال ۳-۴ و ۴-۴). تغییرپذیری بیشتر مقدار فسفر قابل استفاده در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول در مقایسه با خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول نیز احتمالاً در اثر سطوح مختلف مصرف کود و نیز کاربرد آن در زمانهای مختلف توسط زارعین ایجاد شده است (ایوبی و خرمالی، ۱۳۸۷).

بر اساس نتایج تحقیقات باربر (۱۹۸۴) چنانچه فسفر قابل استفاده اولیه خاک بالا باشد، گیاه بخش بیشتری از نیاز فسفره خود را از طریق فسفر موجود در خاک تأمین نموده و اتکای کمتری به فسفر کود دارد. برعکس، زمانی که خاک از نظر فسفر قابل استفاده فقیر باشد، گیاه ناچار قسمت اعظم نیاز فسفره خود را از طریق کود تأمین می نماید و در اینصورت بازیافت فسفر از کود بیشتر خواهد بود.

### ۴-۱-۸- فسفر محلول

با توجه به جدول (۴-۱)، در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول، فسفر محلول خاک سطحی از حداقل ۰/۰۴ (خاک شماره ۱۹) تا حداکثر ۱۰/۵۳ (خاک شماره ۱۷) با میانگین ۴/۱۶ میلی گرم در کیلوگرم و  $CV=73/13\%$  در تغییر می باشد. در خاک زیر سطحی این تغییرپذیری در محدوده ۰/۲۲ (خاک شماره ۲۵) تا ۱۱/۴۰ (خاک شماره ۴) با میانگین ۳/۹۸ میلی گرم در کیلوگرم قرار دارد و  $CV=74/37\%$  است.

در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول (جدول ۴-۲)، محدوده تغییرات فسفر محلول برای خاک سطحی ۰/۰۵ (خاک شماره ۸) تا ۵/۹۸ (خاک شماره ۳) با میانگین ۲/۰۶ میلی گرم در

کیلوگرم و برای خاک زیر سطحی ۰/۰۵۸ (خاک شماره ۹) تا ۶/۸۳ (خاک شماره ۵) با میانگین ۱/۸۴ میلی گرم در کیلوگرم می باشد. در خاک سطحی  $CV=۸۶/۰۷\%$  و در خاک زیر سطحی  $CV=۸۷/۳۴\%$  بدست آمده است (جدول ۴-۴).

مقادیر ضریب تغییرات حاکی از تغییرپذیری زیاد این عنصر در خاکهای منطقه مورد مطالعه می باشد (علیزاده، ۱۳۸۳) و نشان می دهد که این تغییرپذیری در خاکهای زیرسطحی بیشتر از خاکهای سطحی و در نمونه های برداشت شده بعد از کشت محصول بیشتر از خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول صورت گرفته است.

همانطور که قبلاً نیز گفته شد، برای اکثر محصولات کشاورزی فسفر محلول مورد نیاز ۰/۲ تا ۰/۳ میلی گرم در کیلوگرم می باشد که در این غلظت گیاهان قادرند بالاترین محصول را تولید نمایند در حالیکه برای گیاهان دیگر حتی تا ۲۵ برابر این غلظت مورد نیاز است (سلیمانی درچه، ۱۳۷۳). لذا نتایج حاکی از پتانسیل بالای این خاکها در تأمین نیاز گیاهان به فسفر برای تولید حداکثر محصول است.

با مقایسه میانگین فسفر محلول در خاک سطحی و زیر سطحی (اشکال ۴-۱ و ۴-۲) مشخص می شود که، در هر دو سری از خاکهای مورد مطالعه، غلظت فسفر محلول با افزایش عمق خاک اندکی کاهش پیدا کرده است. این کاهش احتمالاً به دلیل افزایش pH در لایه های پایینی خاک است که حلالیت فسفر را تحت تأثیر قرار داده است. ضمن اینکه مقدار کم مواد آلی در لایه های زیر سطحی بالطبع باعث کاهش مواد آلی محلول و در نتیجه کاهش کمپلکس های مواد آلی محلول با فسفر می گردد (زلفی باوریانی و نوروزی، ۱۳۸۹).

همانطور که در اشکال (۴-۳) و (۴-۴) نیز قابل مشاهده است، نمونه های خاک قبل و بعد از کشت محصول، از نظر فسفر محلول دارای تفاوت قابل ملاحظه ای می باشند؛ بطوریکه مقدار فسفر محلول در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول، در خاک سطحی به میزان ۴۸/۷۵ درصد و در خاک زیر سطحی ۵۳/۷ درصد کاهش یافته است. این کاهش احتمالاً ناشی از برداشت فسفر از خاک

توسط گیاه می باشد (Fageria, 2009). از طرفی کودهای آلی و فسفره در طول زمان با بخش جامد خاک به تعادل می رسند و بدین ترتیب و به تدریج از فسفر محلول کاسته می گردد. همچنین pH نسبتاً بالا و حضور مقادیر بسیار زیاد کربنات کلسیم، باعث می شود تا فسفر محلول به شدت کاهش یابد.

همچنین با مقایسه میانگین فسفر قابل استفاده با فسفر محلول مشخص می شود که در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول، حدود ۱۰ درصد از فسفر قابل استفاده به شکل محلول در آمده است (۱۰/۰۱ درصد در خاک سطحی و ۱۰/۳۶ درصد در خاک زیرسطحی) در حالیکه در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول، فسفر محلول حدود ۴ درصد (۴/۸۴ درصد در خاک سطحی و ۴/۶۲ درصد زیرسطحی) از فسفر قابل استفاده را شامل می شود.

### ۴-۲- بررسی همبستگی بین متغیرها

یکی از مهمترین خصوصیات داده های علوم زمین ارتباط و وابستگی های موجود بین متغیرهای مختلف می باشد که می تواند در تخمین بهتر یکی از متغیرها در نقاط مجهول مورد استفاده قرار گیرد (فاضلی سنگانی، ۱۳۸۸؛ محمد عسگری، ۱۳۸۶). ضریب همبستگی<sup>۱</sup> روشی آماری جهت اندازه گیری شدت یا میزان ارتباط خطی بین دو متغیر است. ضریب همبستگی را با  $r$  نشان داده و به گونه ای تعریف شده که دامنه آن بین ۱- تا ۱ تغییر می کند. مقادیر نزدیک به ۱ نشان از همبستگی مثبت (با کاهش یا افزایش یک متغیر، متغیر دیگر نیز کاهش یا افزایش می یابد) و مقادیر نزدیک به ۱- نشان از همبستگی منفی بین دو متغیر دارند (با افزایش یک متغیر، دیگری کاهش می یابد و به عکس)، در حالی که هر قدر این مقادیر به صفر نزدیک تر شوند، از قدرت همبستگی بین دو متغیر کاسته می شود، به طوری که در نقطه صفر دو متغیر هیچ رابطه ای با یکدیگر ندارند. در مطالعه ارتباط بین دو متغیر، باید میان مفهوم همبستگی و رابطه علت و معلولی بین آنها تفاوت گذاشت. وقتی بین دو متغیر ارتباط

---

1- Correlation Coefficient

وجود دارد، لازم نیست حتماً یکی از آنها علت دیگری باشد. به عبارت دیگر اگر همبستگی بین دو متغیر معنی دار باشد، نشان دهنده رابطه قوی بین آنهاست و دلیل علت و معلولی نیست (گراوند، ۱۳۸۹). در تعیین همبستگی‌ها در این مطالعه، از روش همبستگی پیرسون و توسط نرم افزار آماری SPSS. ۱۹، ضریب همبستگی داده‌ها محاسبه گردیدند (Acosta et al., 2009) که نتایج آن در جداول (۴-۶)، (۴-۷)، (۴-۸) و (۴-۹) آمده است.

### ۴-۲-۱- همبستگی فسفر محلول و pH

همانطور که مشاهده می شود، در اکثر خاکهای مورد مطالعه (به استثناء خاکهای زیر سطحی نمونه برداری شده بعد از کشت محصول)، فسفر محلول با pH رابطه معنی دار منفی نشان می دهد (جدول ۴-۶ تا ۴-۹). با توجه به اینکه خاکهای مورد مطالعه همگی آهکی و pH آنها بالاتر از ۷ بوده و در pH های بالاتر از ۷ حلالیت فسفر کاهش می یابد لذا بین فسفر محلول و pH همبستگی منفی و معنی دار ایجاد شده است. (نقی زاده اصل و همکاران، ۱۳۸۸). به عبارت دیگر متناسب با افزایش pH از ۶/۵ به بعد، غلظت فسفر محلول کاهش می یابد.

### ۴-۲-۲- همبستگی فسفر محلول و EC

بررسی داده ها (جدول ۴-۶ تا ۴-۹) نشان می دهد که همبستگی مثبت و معنی داری بین فسفر محلول و EC، در اکثر خاکهای مورد مطالعه، وجود دارد (در خاکهای زیر سطحی نمونه برداری شده بعد از کشت محصول، این همبستگی مشاهده نشد). حلالیت و قابلیت استفاده فسفر در خاکهای شور در آزمایشهای زیادی بررسی شده است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳؛ کشاورز و همکاران، ۱۳۸۴). هر چند نتایج نشان داده که حلالیت فسفر در این شرایط افزایش می یابد، لیکن بسته به واکنش نمک، قدرت یونی و ضریب فعالیت نمک امکان دارد حلالیت فسفر بدون تغییر و یا کاهش یابد (کشاورز و همکاران، ۱۳۸۴). در برخی مطالعات، اثر شوری بر قابلیت استفاده فسفر، کم و متناقض توصیف شده. اولسن و همکاران (۱۹۶۰) نشان دادند که تغییر ترکیب یونی محلول خاک به سبب جایگزینی کلسیم

جدول ۴-۶: ماتریکس همبستگی خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه و قبل از کشت محصول به روش پیرسون

( خاک سطحی )

|                   |                     | pH      | EC    | Ps    | Pa      | K      | OC      | CaCO <sub>3</sub> | sand    | silt | clay |
|-------------------|---------------------|---------|-------|-------|---------|--------|---------|-------------------|---------|------|------|
| pH                | Pearson Correlation | 1       |       |       |         |        |         |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     |         |       |       |         |        |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      |       |       |         |        |         |                   |         |      |      |
| EC                | Pearson Correlation | -.512** | 1     |       |         |        |         |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .004    |       |       |         |        |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30    |       |         |        |         |                   |         |      |      |
| Ps                | Pearson Correlation | -.525** | .427* | 1     |         |        |         |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .003    | .019  |       |         |        |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30    | 30    |         |        |         |                   |         |      |      |
| Pa                | Pearson Correlation | .315    | .082  | -.300 | 1       |        |         |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .090    | .668  | .107  |         |        |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30    | 30    | 30      |        |         |                   |         |      |      |
| K                 | Pearson Correlation | .058    | .020  | .062  | .274    | 1      |         |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .760    | .915  | .745  | .143    |        |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30    | 30    | 30      | 30     |         |                   |         |      |      |
| OC                | Pearson Correlation | .179    | .114  | .127  | .539**  | .736** | 1       |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .343    | .547  | .504  | .002    | .000   |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30    | 30    | 30      | 30     | 30      |                   |         |      |      |
| CaCO <sub>3</sub> | Pearson Correlation | .301    | -.165 | -.190 | .322    | -.290  | .053    | 1                 |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .106    | .383  | .314  | .083    | .121   | .779    |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30    | 30    | 30      | 30     | 30      | 30                |         |      |      |
| sand              | Pearson Correlation | -.138   | .007  | .148  | -.565** | -.303  | -.641** | -.377*            | 1       |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .467    | .970  | .436  | .001    | .103   | .000    | .040              |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30    | 30    | 30      | 30     | 30      | 30                | 30      |      |      |
| silt              | Pearson Correlation | .164    | -.047 | -.155 | .647**  | .209   | .593**  | .499**            | -.933** | 1    |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .388    | .803  | .413  | .000    | .269   | .001    | .005              | .000    |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30    | 30    | 30      | 30     | 30      | 30                | 30      | 30   |      |
| clay              | Pearson Correlation | -.021   | .097  | -.026 | -.031   | .323   | .310    | -.187             | -.465** | .113 | 1    |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .912    | .611  | .891  | .873    | .082   | .096    | .323              | .010    | .551 |      |
|                   | N                   | 30      | 30    | 30    | 30      | 30     | 30      | 30                | 30      | 30   | 30   |

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

تبادلی توسط املاح خنثی، علت برخی از این تناقضات است. قابلیت استفاده فسفر با افزایش مقدار سدیم تبادلی نیز افزایش می یابد. در حضور سدیم مقداری از فسفات به شکل سدیم فسفات در می آید و با هیدرولیز، حلالیت آن زیاد می شود (کشاورز و همکاران، ۱۳۸۴؛ Prasad and Power 1997).

در مطالعه حاضر همبستگی مثبت بین فسفر محلول و EC می تواند در ارتباط با حضور یونهای خاص مانند سدیم در محلول خاک باشد. همچنین تشکیل کمپلکسهای محلول محلول گردد. بخش مهمی از فسفر محلول خاکها به خاطر ثابتهای پایداری بسیارالای جفت یونهای فسفات- فلزات می باشد

جدول ۴-۷: ماتریکس همبستگی خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه و قبل از کشت محصول به روش پیرسون

(خاک زیر سطحی)

|                   |                     | pH      | EC     | Ps    | Pa      | K     | OC      | CaCO <sub>3</sub> | sand    | silt | clay |
|-------------------|---------------------|---------|--------|-------|---------|-------|---------|-------------------|---------|------|------|
| pH                | Pearson Correlation | 1       |        |       |         |       |         |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     |         |        |       |         |       |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      |        |       |         |       |         |                   |         |      |      |
| EC                | Pearson Correlation | -.438*  | 1      |       |         |       |         |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .015    |        |       |         |       |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30     |       |         |       |         |                   |         |      |      |
| Ps                | Pearson Correlation | -.679** | .568** | 1     |         |       |         |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .000    | .001   |       |         |       |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30     | 30    |         |       |         |                   |         |      |      |
| Pa                | Pearson Correlation | .196    | .118   | -.235 | 1       |       |         |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .298    | .535   | .211  |         |       |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30     | 30    | 30      |       |         |                   |         |      |      |
| K                 | Pearson Correlation | .086    | -.021  | .067  | .176    | 1     |         |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .650    | .911   | .726  | .353    |       |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30     | 30    | 30      | 30    |         |                   |         |      |      |
| OC                | Pearson Correlation | .332    | -.048  | -.168 | .653**  | .463* | 1       |                   |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .073    | .803   | .376  | .000    | .010  |         |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30     | 30    | 30      | 30    | 30      |                   |         |      |      |
| CaCO <sub>3</sub> | Pearson Correlation | .085    | .006   | -.160 | .434*   | -.335 | -.069   | 1                 |         |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .657    | .975   | .397  | .016    | .070  | .719    |                   |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30     | 30    | 30      | 30    | 30      | 30                |         |      |      |
| sand              | Pearson Correlation | -.126   | -.056  | -.003 | -.610** | -.067 | -.623** | -.403*            | 1       |      |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .507    | .767   | .987  | .000    | .725  | .000    | .027              |         |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30     | 30    | 30      | 30    | 30      | 30                | 30      |      |      |
| silt              | Pearson Correlation | .138    | .028   | -.057 | .687**  | -.010 | .584**  | .579**            | -.915** | 1    |      |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .466    | .883   | .766  | .000    | .959  | .001    | .001              | .000    |      |      |
|                   | N                   | 30      | 30     | 30    | 30      | 30    | 30      | 30                | 30      | 30   |      |
| clay              | Pearson Correlation | .002    | .077   | .135  | -.029   | .188  | .237    | -.297             | -.429*  | .029 | 1    |
|                   | Sig. (2-tailed)     | .991    | .685   | .477  | .880    | .320  | .206    | .111              | .018    | .878 |      |
|                   | N                   | 30      | 30     | 30    | 30      | 30    | 30      | 30                | 30      | 30   | 30   |

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\*. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

لذا افزایش EC، به دلیل افزایش عناصر یا فلزات، باعث ایجاد اینگونه کمپلکس ها شده و در نتیجه حلالیت فسفر افزایش می یابد (Evangelou, 1998).

#### ۴-۲-۳- همبستگی فسفر محلول و کربنات کلسیم

جذب و آزاد شدن فسفر مهمترین فرایندهایی هستند که غلظت فسفر در محلول خاک را کنترل جذب فسفر از محلول خاک نقش دارند (Moshi et al., 1974). در این مطالعه فسفر محلول خاک برخلاف انتظار، هیچ گونه همبستگی آشکاری با درصد کربنات کلسیم معادل نشان نداد (جدول ۴-۶ و ۴-۷). این موضوع می تواند ناشی از کم بودن ترکیبات واکنش پذیر کربناتهای کلسیم در خاکهای مورد مطالعه باشد. پژوهندگان بسیاری تأثیر کم و یا بی تأثیری مقدار کربنات کلسیم معادل را در جذب

جدول ۴-۸: ماتریکس همبستگی خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه و بعد از کشت محصول به روش پیرسون

روش پیرسون (خاک سطحی)

|    |                     | pH      | EC     | Ps     | Pa     | K      | OC |
|----|---------------------|---------|--------|--------|--------|--------|----|
| pH | Pearson Correlation | 1       |        |        |        |        |    |
|    | Sig. (2-tailed)     | .000    |        |        |        |        |    |
|    | N                   | 30      |        |        |        |        |    |
| EC | Pearson Correlation | -.386*  | 1      |        |        |        |    |
|    | Sig. (2-tailed)     | .035    |        |        |        |        |    |
|    | N                   | 30      | 30     |        |        |        |    |
| Ps | Pearson Correlation | -.542** | .435*  | 1      |        |        |    |
|    | Sig. (2-tailed)     | .002    | .016   |        |        |        |    |
|    | N                   | 30      | 30     | 30     |        |        |    |
| Pa | Pearson Correlation | -.532** | .419*  | .831** | 1      |        |    |
|    | Sig. (2-tailed)     | .002    | .021   | .000   |        |        |    |
|    | N                   | 30      | 30     | 30     | 30     |        |    |
| K  | Pearson Correlation | -.235   | .547** | .595** | .384*  | 1      |    |
|    | Sig. (2-tailed)     | .210    | .002   | .001   | .036   |        |    |
|    | N                   | 30      | 30     | 30     | 30     | 30     |    |
| OC | Pearson Correlation | -.520** | .406*  | .754** | .530** | .699** | 1  |
|    | Sig. (2-tailed)     | .003    | .026   | .000   | .003   | .000   |    |
|    | N                   | 30      | 30     | 30     | 30     | 30     | 30 |

\*, Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\*, Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

جدول ۴-۹: ماتریکس همبستگی خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه و بعد از کشت محصول به روش پیرسون

(خاک زیر سطحی)

|    |                     | pH     | EC    | Ps     | Pa     | K     | OC |
|----|---------------------|--------|-------|--------|--------|-------|----|
| pH | Pearson Correlation | 1      |       |        |        |       |    |
|    | Sig. (2-tailed)     |        |       |        |        |       |    |
|    | N                   | 30     |       |        |        |       |    |
| EC | Pearson Correlation | -.340  | 1     |        |        |       |    |
|    | Sig. (2-tailed)     | .066   |       |        |        |       |    |
|    | N                   | 30     | 30    |        |        |       |    |
| Ps | Pearson Correlation | -.173  | -.134 | 1      |        |       |    |
|    | Sig. (2-tailed)     | .360   | .482  |        |        |       |    |
|    | N                   | 30     | 30    | 30     |        |       |    |
| Pa | Pearson Correlation | -.365* | -.094 | .849** | 1      |       |    |
|    | Sig. (2-tailed)     | .047   | .622  | .000   |        |       |    |
|    | N                   | 30     | 30    | 30     | 30     |       |    |
| K  | Pearson Correlation | -.074  | -.142 | .504** | .389*  | 1     |    |
|    | Sig. (2-tailed)     | .699   | .453  | .005   | .034   |       |    |
|    | N                   | 30     | 30    | 30     | 30     | 30    |    |
| OC | Pearson Correlation | -.359  | -.011 | .735** | .728** | .463* | 1  |
|    | Sig. (2-tailed)     | .051   | .953  | .000   | .000   | .010  |    |
|    | N                   | 30     | 30    | 30     | 30     | 30    | 30 |

\*, Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\*, Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

فسفر گزارش کرده اند. رایان و همکاران (۱۹۸۵) دریافتند که میان اکسیدهای آهن و جذب فسفر رابطه معنی داری برقرار است، در حالیکه  $\text{CaCO}_3$  هیچ تاثیری بر جذب فسفر نداشته است. بخیت-سعید و داکر مانجی (۱۹۹۳) نشان دادند که بین جذب فسفر و میزان کربنات کلسیم همبستگی معنی داری وجود ندارد. پنا و تورنت (۱۹۹۰) گزارش کردند که واکنش پذیری  $\text{CaCO}_3$  به سطح ویژه کربنات کلسیم، که نشان دهنده اندازه ذرات کربنات کلسیم خاک است، بستگی دارد نه به مقدار کل  $\text{CaCO}_3$ .

#### ۴-۲-۴- همبستگی فسفر محلول و کربن آلی

با توجه به داده های جداول (۴-۶) و (۴-۷)، در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول، بین فسفر محلول و کربن آلی همبستگی معنی داری وجود ندارد در حالیکه در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول (جداول ۴-۷ و ۴-۸)، همبستگی خوبی بین فسفر محلول و کربن آلی در خاک سطحی ( $r = 0.754, p < 0.01$ ) و زیر سطحی ( $r = 0.735, p < 0.01$ ) مشاهده می شود.

عدم همبستگی فسفر محلول با کربن آلی در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول می تواند ناشی از میزان کم ماده آلی و نوع ترکیبات آلی در ناحیه مورد مطالعه باشد. برخی از پژوهشها نشان می دهند که مواد آلی محلولی که از کودهای دامی استخراج شده بودند، تأثیری بر جذب فسفر توسط خاک نداشتند در حالیکه استفاده از کودهای سبز با کاهش جذب فسفر به وسیله خاک باعث افزایش فراهمی فسفر گردید (Ohno and Crannell, 1996).

در رابطه با همبستگی مثبت و معنی دار فسفر محلول و کربن آلی در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول می توان گفت، با انجام عملیاتی که برای افزایش رشد گیاه در مزرعه صورت گرفته، توسعه ریشه ها و بقایای گیاهی در خاک افزایش یافته است (اصغر زاده و همکاران، ۱۳۸۴). مواد آلی می توانند

سطوح آهک موجود در خاک را بیوشانند و قابلیت فراهمی فسفر را، از طریق کاهش واکنش فسفر با کلسیم، افزایش دهند (دورودیان و همکاران، ۱۳۸۹). والن و چانگ (۲۰۰۲) گزارش کردند که استفاده دراز مدت از مواد آلی باعث نگهداری فسفر با پیوندهای کم انرژی تر شده و قابلیت فراهمی آن را در پروفیل خاک افزایش می دهد. مواد آلی می تواند به صورت پوششی محافظ در اطراف ذرات کود یا به عنوان پیوند دهنده فسفر درمحل های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر و تشکیل ترکیبات فسفات آلی عمل نماید که در تمامی این حالات قابلیت استفاده فسفر برای گیاه افزایش یافته و آزادسازی تدریجی فسفر در محلول خاک وجود خواهد داشت (زلفی باوریانی و نوروزی، ۱۳۸۹). افزایش فراهمی فسفر در استفاده از مواد آلی به مقدار فسفر آنها بستگی دارد به گونه ای که افزودن بقایای آلی (گیاهی و دامی) دارای بیش از ۰/۳ درصد فسفر باعث کاهش جذب فسفر توسط خاک و افزایش فراهمی آن می شوند. در مقابل، ترکیب های آلی دارای کمتر از ۰/۳ درصد فسفر دارای تأثیر عکس خواهند بود. ظرفیت جذب فسفر خاک با تجزیه میکروبی بقایای آلی در خاک تغییر می کند که مقدار و چگونگی این تغییر به مقدار مواد آلی و نوع آن بستگی دارد (Singh and Jones, 1976). بنابراین نوع ترکیبات آلی و مقدار فسفر آنها می تواند بر فراهمی فسفر در خاک مؤثر باشد.

یکی دیگر از دلایل همبستگی و یا عدم همبستگی فسفر محلول با کربن آلی می تواند مربوط به زمان نمونه برداری باشد. در اوایل بهار، گاهی علائم کمبود عناصر غذایی در محصولات کشاورزی عارض می شود. زیرا نه گرما و نه تعداد ریز جانداران، آنقدر کافی نیست که ترکیبات آلی را به عناصر غذایی قابل دسترس تغییر دهد. عموماً اواخر بهار، اوایل تابستان، اواخر تابستان و اوایل پاییز، که خاک

گرم و مرطوب می باشد، بیشترین زمان فعالیت موجودات خاکزی بوده و در نتیجه امکان فراهمی عناصر غذایی نیز بیشتر خواهد بود (اصغر زاده و همکاران، ۱۳۸۴). لذا با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه، نمونه برداری اولیه (قبل از کشت محصول) در اواخر فروردین ماه و نمونه برداری ثانویه (بعد از کشت محصول) در اواسط مهرماه صورت گرفته است، عدم همبستگی فسفر محلول با کربن آلی در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول و همبستگی مثبت و معنی دار این دو عنصر در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول، قابل توجیه است.

### ۴-۲-۵- همبستگی فسفر محلول و قابل استفاده

بررسی ماتریکس همبستگی خصوصیات خاک نشان می دهد که در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول (جداول ۴-۸ و ۴-۹)، بین فسفر محلول و فسفر قابل استفاده همبستگی مثبت خوبی در سطح یک درصد وجود دارد به طوریکه مقدار این همبستگی در خاک سطحی و زیر سطحی به ترتیب  $+0.831$  و  $+0.849$  می باشد. نتایج بررسیهای باربر (۱۹۸۴) نشان داد در صورتیکه فسفر محلول اولیه خاک بالا باشد با افزایش مقدار مشخص کود فسفره مقدار فسفر محلول کمتری به خاک اضافه می گردد؛ در عوض جذب فسفر توسط خاک بیشتر می شود.

### ۴-۲-۶- همبستگی فسفر قابل استفاده و pH

با بررسی جداول ۴-۶ تا ۴-۹ مشخص می شود که، در خاکهای نمونه برداری بعد از کشت محصول، بین فسفر قابل استفاده و pH رابطه منفی معنی داری وجود دارد. مطالعات متعدد نشان می دهند که اگر pH خاک بالای ۷ باشد، کودهای حاوی فسفر به صورت ترکیبات غیر محلول ترسیب و به فرم غیر قابل دسترس گیاه در می آیند (Daugelene and Butkute, 2008). بنابراین با توجه به pH بالای خاکهای منطقه، شاید مصرف کودهای فسفره در فصل رشد گیاه و به تعادل رسیدن فسفر آن با خاک

در طول دوره رشد، باعث ایجاد همبستگی بین این دو پارامتر، در خاکهای نمونه برداری بعد از کشت محصول، شده است (جداول ۴-۸ و ۴-۹).

### ۴-۲-۷- همبستگی فسفر قابل استفاده و EC

مطابق اطلاعات حاصله از جداول ۴-۶ تا ۴-۹، همبستگی فسفر قابل استفاده و EC تنها در خاکهای سطحی نمونه برداری شده بعد از کشت محصول قابل مشاهده است ( $r = 0/419$ ,  $p < 0/05$ ). این امر شاید به علت بیشتر بودن EC در خاکهای سطحی نمونه های برداشت شده بعد از کشت محصول، در مقایسه با سایر خاکهای نمونه برداری شده، باشد. گزارش شده است که در حضور نمک، میزان استخراج فسفر قابل استفاده خاک به روش استات آمونیوم افزایش و انرژی جذب فسفات به خاک کاهش می یابد (کشاورز و همکاران، ۱۳۸۴). قابلیت استفاده فسفر با افزایش مقدار سدیم تبادلی نیز افزایش می یابد. بررسی های گلخانه ای انجام شده بر روی گندم، جو، ذرت و ارزن نشان می دهد که قابلیت استفاده فسفر حداکثر تا شوری ۶ تا ۶/۵ دسی زیمنس بر متر و ESP حدود ۳۰ افزایش یافته و بیش از آن کاهش می یابد (Maliwal and Paliwal, 1971). بطور کلی می توان گفت که املاح خنثی حاوی سدیم (خاک شور) حلالیت فسفر را کاهش داده ولی یون سدیم (خاک سدیک) اثر مثبتی بر قابلیت استفاده فسفر دارد. از اینرو یون سدیم نه تنها حلالیت را افزایش می دهد بلکه تحرک و قابلیت استفاده آن را برای گیاه نیز زیاد می کند (کشاورز و همکاران، ۱۳۸۴).

### ۴-۲-۸- همبستگی فسفر قابل استفاده و کربنات کلسیم

در مطالعه حاضر بین فسفر قابل استفاده و کربنات کلسیم موجود در خاکهای سطحی همبستگی معنی داری مشاهده نمی شود اما در خاکهای زیر سطحی بین این دو عنصر رابطه مثبت و معنی داری ( $r = 0/434$ ,  $p < 0/05$ ) بدست آمده است. با توجه به اینکه مقدار کربنات کلسیم در هر دو خاک سطحی و زیر سطحی تقریباً برابر است، این تناقض می تواند مربوط به ریزتر بودن و در نتیجه بیشتر بودن سطح ویژه کربنات کلسیم در خاکهای زیر سطحی باشد زیرا همانطور که قبلاً نیز ذکر شد،

واکنش پذیری  $\text{CaCO}_3$  به کربنات کلسیم کل بستگی نداشته بلکه به سطح ویژه کربنات کلسیم، که در ارتباط با توزیع اندازه ذرات کربنات کلسیم است، بستگی دارد (Pena and Torren, 1990; Rayan et al., 1985). صمدی و گیلکس (۱۹۹۹) بین فسفر اولسن و کربنات کلسیم فعال ۱۴ خاک آهکی همبستگی مثبت بدست آوردند. سماواتی و حسین پور (۱۳۹۰) نیز با بررسی تعدادی از خاکهای همدان به نتایج مشابهی دست یافتند.

### ۹-۲-۴- همبستگی فسفر قابل استفاده و کربن آلی

بررسی نتایج (جدول ۶-۴ تا ۹-۴) حاکی از همبستگی مثبت و معنی دار فسفر قابل استفاده و کربن آلی در کلیه خاکهای مورد مطالعه می باشد. مواد آلی در خاک با فسفر برهمکنش داشته و به شکلهای گوناگون بر واکنش جذب فسفر در خاک اثر می گذارند. مواد آلی با کاتیونهای موجود در خاک تشکیل کمپلکس داده و به واسطه همین کاتیونها، فسفر را جذب می کنند (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

### ۱۰-۲-۴- همبستگی فسفر قابل استفاده و ذرات جامد خاک

بررسی نتایج حاکی از همبستگی معنی داری بین فسفر اندازه گیری شده به روش اولسن با درصد شن و سیلت است که همگی در سطح یک درصد معنی دار بودند (جدول ۶-۴ و ۷-۴). سولومون و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که با کاهش اندازه ذرات مقدار فسفر معدنی افزایش می یابد و علت آن را سطح بیشتر ذرات ریزتر ذکر نمودند. بنابراین، با توجه به اینکه خاکهای مورد مطالعه اکثراً از ذرات سیلت و شن تشکیل یافته اند، همبستگی منفی فسفر قابل استفاده با شن ( $r = -0.565, p < 0.01$ ) و وجود همبستگی مثبت این متغیر با سیلت ( $r = 0.647, p < 0.01$ ) دور از انتظار نیست. عدم همبستگی فسفر با درصد رس نیز می تواند ناشی از میزان کم رس در ناحیه مورد مطالعه باشد.

### ۳-۴- بررسی زمین آماری مجموعه داده های تحقیق

همانطور که قبلاً نیز گفته شد، روشهای متداول آمار کلاسیک، موقعیت مکانی نمونه های برداشت

شده از محیط را در نظر نمی گیرد و هیچگونه ارتباط ریاضی این تغییرات مکانی داده ها به عنوان تابعی از فاصله برقرار نمی شود. امروزه محققان از روشهای زمین آماری جهت ارزیابی توزیع مکانی خصوصیات خاک استفاده می کنند. در زمین آمار می توان بین مقادیر یک کمیت در جامعه نمونه ها و فاصله و جهت قرار گرفتن نمونه ها نسبت به یکدیگر ارتباط برقرار کرد. بنابراین در این روش ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده ها پرداخته می شود و در صورت وجود ساختار مکانی، تحلیل داده ها انجام می شود (جعفری و همکاران، ۱۳۸۷). این روش قادر به تهیه نقشه های کمی با دقت معلوم در مورد خواص خاک و تغییرپذیری تولید می باشد (Jiachun et al., ۲۰۰۶)؛ (Yi-chang et al., ۲۰۰۹). لذا در این تحقیق تغییرپذیری مکانی پارامترهای مورد مطالعه بر اساس تکنیکهای زمین آماری (کریجینگ) مورد بررسی قرار گرفت.

### ۴-۳-۱- آزمون نرمال بودن توزیع داده ها

درپدازش های زمین آماری نرمال بودن داده ها بایستی مورد تأیید واقع شود تا بتوان سایر آنالیزها را انجام داد. اگرچه توزیع نرمال داده ها، شرط لازم و ضروری پردازش های زمین آماری نمی باشد، لیکن در صورت نرمال بودن داده ها تخمین های زمین آماری می توانند از دقت بالاتری برخوردار باشند (افشار و همکاران، ۱۳۸۸؛ محمد زمانی و همکاران، ۱۳۸۶).

### الف) خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول

با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرونوف<sup>۱</sup> نرمال بودن داده ها آزمایش شد و مشخص گردید که پراکنش داده ها برای متغیرهای EC، فسفر محلول، فسفر قابل استفاده، پتاسیم قابل استفاده، کربن آلی، سیلت و شن در هر دو خاک سطحی و زیر سطحی نرمال نیست. همچنین، بر اساس این آزمون، آهک موجود در خاک سطحی و رس خاک زیر سطحی از توزیع نرمال پیروی نمی کنند (جدول ۴-۱۰).

---

1- Kolmogrov - Smirnov

لذا برای متغیرهایی که شرایط نرمال بودن را نداشتند با گرفتن لگاریتم از داده ها، توزیع آنها نرمال شد.

جدول ۴-۱۰: آزمون نرمال بودن توزیع داده ها به روش کولموگروف – اسمیرنوف

(در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول)

| عمق ۲۵-۵۰ سانتیمتری |    |           | عمق ۰-۲۵ سانتیمتری |    |           | پارامترها           |
|---------------------|----|-----------|--------------------|----|-----------|---------------------|
| Sig.                | df | Statistic | Sig.               | df | Statistic |                     |
| ۰/۱۳۶               | ۳۰ | ۰/۱۴۰     | ۰/۲۰۰              | ۳۰ | ۰/۰۹۳     | pH                  |
| ۰/۰۰۰               | ۳۰ | ۰/۲۷۵     | ۰/۰۰۰              | ۳۰ | ۰/۲۲۶     | EC                  |
| ۰/۰۰۰               | ۳۰ | ۰/۳۱۲     | ۰/۰۴۰              | ۳۰ | ۰/۱۶۰     | فسفر محلول          |
| ۰/۰۰۰               | ۳۰ | ۰/۳۱۲     | ۰/۰۰۰              | ۳۰ | ۰/۲۴۸     | فسفر قابل استفاده   |
| ۰/۰۰۰               | ۳۰ | ۰/۲۶۷     | ۰/۰۰۰              | ۳۰ | ۰/۳۴۸     | پتاسیم قابل استفاده |
| ۰/۰۸۷               | ۳۰ | ۰/۱۴۹     | ۰/۰۳۵              | ۳۰ | ۰/۱۶۵     | آهک                 |
| ۰/۲۰۰               | ۳۰ | ۰/۱۲۳     | ۰/۱۶۰              | ۳۰ | ۰/۱۳۷     | کربن آلی            |
| ۰/۰۴۲               | ۳۰ | ۰/۱۶۲     | ۰/۱۷۱              | ۳۰ | ۰/۱۳۵     | رس                  |
| ۰/۲۰۰               | ۳۰ | ۰/۱۱۲     | ۰/۰۶۲              | ۳۰ | ۰/۱۵۵     | سیلت                |
| ۰/۱۹۶               | ۳۰ | ۰/۱۳۲     | ۰/۲۰۰              | ۳۰ | ۰/۰۸۹     | شن                  |

جدول ۴-۱۱: آزمون نرمال بودن توزیع داده ها به روش کولموگروف – اسمیرنوف

(در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول)

| عمق ۲۵-۵۰ سانتیمتری |    |           | عمق ۰-۲۵ سانتیمتری |    |           | پارامترها           |
|---------------------|----|-----------|--------------------|----|-----------|---------------------|
| Sig.                | df | Statistic | Sig.               | df | Statistic |                     |
| ۰/۱۳۴               | ۳۰ | ۰/۱۴۱     | ۰/۲۰۰              | ۳۰ | ۰/۱۱۸     | pH                  |
| ۰/۰۶۳               | ۳۰ | ۰/۱۵۵     | ۰/۲۰۰              | ۳۰ | ۰/۱۱۲     | EC                  |
| ۰/۰۹۴               | ۳۰ | ۰/۱۴۸     | ۰/۲۰۰              | ۳۰ | ۰/۱۲۹     | فسفر محلول          |
| ۰/۰۹۳               | ۳۰ | ۰/۱۴۸     | ۰/۲۰۰              | ۳۰ | ۰/۱۲۲     | فسفر قابل استفاده   |
| ۰/۰۰۰               | ۳۰ | ۰/۳۱۰     | ۰/۰۰۰              | ۳۰ | ۰/۳۲۶     | پتاسیم قابل استفاده |
| ۰/۰۸۵               | ۳۰ | ۰/۱۴۹     | ۰/۰۰۴              | ۳۰ | ۰/۱۹۸     | کربن آلی            |

### ب) خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول

تست توزیع نرمال داده ها به وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (جدول ۴-۱۱) نشان می دهد که پراکنش داده ها برای متغیرهای pH، EC، فسفر محلول و فسفر قابل استفاده در هر دو عمق مذکور، نرمال است. همچنین کربن آلی خاک تحت الأرض دارای توزیع نرمال می باشد. اما توزیع پتاسیم قابل استفاده در منطقه در هر دو خاک سطحی و زیر سطحی و کربن آلی خاک سطحی از تابع نرمال پیروی نکرده است و ضروری است قبل از پردازش آنها عمل نرمال سازی انجام شود.

### ۴-۳-۲- تجزیه و تحلیل ساختار مکانی

#### الف) خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول

در مطالعه حاضر به منظور بررسی وضعیت همسانگردی متغیرهای مورد مطالعه، نیم تغییر نما در چهار جهت ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه ترسیم گردید. برای کلیه متغیرها میزان سقف و دامنه تأثیر آنها در جهات مختلف یکسان بود و می توان نتیجه گرفت که این عناصر همسانگردی دارند. همچنین با توجه به آنکه تغییرنمای سطحی (همه جهته) عناصر فوق الذکر یک خط می باشد و در جهات شمالی- جنوبی و غربی- شرقی تغییرات مشابه می باشد وجود همسانگردی تأیید می شود و در نتیجه از تغییرنمای همسانگرد برای محاسبه کریجینگ استفاده شد. برای برازش مدل به داده های تجربی، مدل های کروی، نمایی، خطی، خطی دارای سقف و گوسی مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مدل و پارامترهای آن بدست آمد. پارامترهای تغییرنما خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول (۴-۱۲) و مدلهای برازش شده به آنها در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. بررسی آنها نشان دهنده تفاوت در مدلهای نیم تغییرنما، تغییرات در آستانه، اثر قطعه ای و دامنه تأثیر است. اثر تغییر مدل تغییرنما، تغییر در وزنهای تخصیص داده شده به نمونه های مجاور و دور است و بر دقت تخمین ها اثر زیادی خواهد گذاشت (محمد عسگری، ۱۳۸۶). مدلهای برازش شده در مورد اکثر متغیرهای مورد مطالعه در خاک سطحی، از جمله pH، EC، فسفر محلول، پتاسیم، کربن آلی و رس، مدل خطی، در مورد شن و سیلت

مدل نمایی و برای فسفر قابل استفاده و آهک خاک سطحی مدل کروی بدست آمده است. در خاک زیر سطحی مدل‌های برازش شده به متغیرهای EC، فسفر قابل استفاده، پتاسیم، کربن آلی و رس از مدل خطی، فسفر محلول، شن و سیلت از مدل نمایی و pH و آهک از مدل کروی پیروی می‌کنند. مدل‌های برازش داده شده بر نیم تغییرنمای تجربی از بالاترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) و کمترین میزان مجموع مربعات خطا (RSS) برخوردار بود (رضایی و همکاران، ۱۳۸۹). نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از بررسی‌های محمد عسگری (۱۳۸۶) مطابقت دارد.

دامنه تأثیر (A)، که نشان دهنده دامنه ای است که ساختار تغییرات متغیر در آن شناخته شده است، برای پارامترهای شن (۱۱۱۰ متر) و فسفر قابل استفاده (۵۱۱۰ متر) خاک سطحی به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را دارا می‌باشد. در خاک زیر سطحی کمترین مقدار دامنه تأثیر به پارامتر فسفر محلول (۵۶۰ متر) و بیشترین آن به پارامترهای EC، فسفر قابل استفاده، پتاسیم و کربن آلی (۲۰۵۲۱ متر) تعلق دارد. مقدار این پارامتر بستگی به الگوی تغییرات مکانی هر خصوصیت در منطقه مورد مطالعه دارد (فاضلی سنگانی، ۱۳۸۸). اختلاف بین دامنه تأثیر خصوصیات مختلف خاک در چندین مطالعه و تحقیق گزارش شده است (Hasmadi Ismail, 2009؛ Yi-chang et al., 2009). افشار و همکاران (۱۳۸۸) دامنه تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک را تابعی از مقیاس مورد مطالعه، فاصله نمونه برداری و موقعیت سیمای اراضی بیان می‌کنند. برخی از نتایج نشان می‌دهد دامنه تأثیر به نوع خصوصیت، سیستم کشت و مدیریت منطقه، افق خاک و زمان مطالعه بستگی دارد (فاضلی سنگانی، ۱۳۸۸؛ Grego et al, 2006). در این مطالعه، اختلاف قابل توجه بین ویژگی‌های خاک در هر دو عمق و به خصوص برای فسفر می‌تواند ناشی از تفاوت در مدیریت کوددهی و آبیاری باشد که بر روی تحرک یونها مؤثر بوده و باعث توزیع متفاوت یونها و عناصر غذایی می‌گردد (محمدزمانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ Nayanaka et al. 2010). تغییر دامنه تأثیر اثرات محسوسی بر مقدار تخمین ندارد هرچند که واریانس در شرایط بکارگیری تغییرنما با دامنه بزرگتر، کاهش می‌یابد (محمد عسگری، ۱۳۸۶).

یکی دیگر از معیارهای مهم و قابل تأمل در مطالعات زمین آماری نسبت همبستگی می‌باشد که

از تقسیم واریانس اثرقطعه ای به واریانس کل (حد آستانه) به دست می آید. گاهی اوقات این نسبت در عدد ۱۰۰ ضرب و به صورت درصد بیان می شود. اگر نسبت مزبور کمتر از ۲۵٪ باشد، متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی قوی و اگر نسبت بین ۲۵٪ تا ۷۵٪ باشد، آنگاه متغیر مورد نظر دارای کلاس وابستگی مکانی متوسط می باشد. اگر نسبت بیش از ۷۵٪ باشد، متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود. همچنین در صورتی که نسبت همبستگی در مورد متغیری برابر ۱۰۰٪ گردد یا اینکه شیب منحنی تغییرنا نزدیک به صفر باشد، متغیر مربوطه فاقد وابستگی مکانی خواهد بود و اگر نسبت همبستگی برای متغیری صفر باشد، بیانگر یک وابستگی در پیوستگی مکانی می باشد (Hong-xia and Xiao-min, 2010؛ Yi-chang et al, 2009). براین اساس در خاک سطح الأرض فسفر قابل استفاده، کربن آلی، آهک، شن و سیلت دارای کلاس همبستگی قوی بوده و بقیه متغیرها فاقد همبستگی مکانی می باشند. برای خاک زیر سطحی، pH، EC، فسفر محلول، آهک، شن و سیلت با مقادیر نسبت همبستگی کمتر از ۲۵٪ در کلاس همبستگی قوی قرار گرفته اند و نسبت همبستگی برای سایر متغیرها ۱۰۰ محاسبه شده است که مبین عدم همبستگی مکانی آنها می باشد و لذا هیچ گونه شباهت و یکسانی بین نمونه ها حتی در فواصل اندک وجود نخواهد داشت. وای-چانگ و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که وابستگی مکانی قوی ممکن است به وسیله تغییرات ذاتی خصوصیات خاک مانند بافت خاک و نوع کانیهای خاک کنترل گردد و وابستگی مکانی ضعیف تر ممکن است بوسیله تغییرات غیرذاتی مانند کاربرد کود و شخم کنترل شود. از این رو، به طور کلی می توان گفت تفاوت در تغییرپذیری خصوصیات خاک و محصول به تأثیر فرایندهای خاکسازی و مدیریت اراضی در هر منطقه بر می گردد (محمدزمانی و همکاران، ۱۳۸۶). نتایج تحقیقات نظری زاده و همکاران (۱۳۸۲) بر روی ساختار مکانی و تعداد نمونه های خاک مورد نیاز برای میزان فسفر و اسپور میکوریزای آریسکولار نشان می دهد که تغییرات این دو عامل در کشتهای آبی دارای ساختار مکانی و در اراضی دیم از این ویژگی برخوردار نمی باشد. نتایج لوپز-گراندوز و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان داد که در مزرعه مونکلو متغیرهای رس، مواد آلی و آمونیوم در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۵-۳۵ سانتیمتر و متغیرهای شن و ازت

## فصل چهارم: نتایج و بحث

نیتراته در خاک سطحی (۱۰-۰ سانتیمتر) وابستگی مکانی نداشته و در عین حال متغیرهای سیلت، فسفر و پتاسیم قابل استفاده در هر دو عمق مورد نظر وابستگی مکانی قوی از خود نشان دادند.

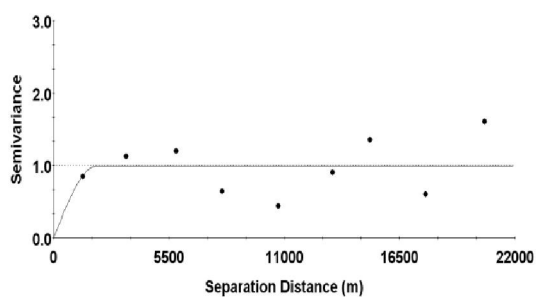
جدول ۴-۱۲: پارامترهای تغییرنمای متغیرهای مورد مطالعه (قبل از کاشت)

| متغیر               | واحد    | مدل برازش شده | دامنه تاثیر (متر) | حد آستانه (C+Co) | انحراف ای (Co) | همبستگی مکانی (%) |
|---------------------|---------|---------------|-------------------|------------------|----------------|-------------------|
| pH                  | -       | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۷۶۹            | ۰/۷۶۹          | ۱۰۰               |
| EC                  | dSm-1   | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۸۰۴            | ۰/۸۰۴          | ۱۰۰               |
| فسفر محلول          | mg kg-1 | خطی           | ۲۰۴۹۴/۶           | ۰/۹۳۱            | ۰/۹۳۱          | ۱۰۰               |
| فسفر قابل استفاده   | mg kg-1 | کروی          | ۵۱۱۰۰/۰           | ۲/۶۹۱            | ۰/۳۶۱          | ۱۳/۴۱             |
| پتاسیم قابل استفاده | mg kg-1 | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۶۱۷            | ۰/۶۱۷          | ۱۰۰               |
| آهک                 | (%)     | کروی          | ۲۴۰۰/۰            | ۰/۹۷۴            | ۰/۰۰۱          | ۰/۱۰              |
| کربن آلی            | (%)     | نمایی         | ۰/۴۲۰             | ۰/۹۶۰            | ۰/۰۱۷          | ۱/۷۷              |
| شن                  | (%)     | نمایی         | ۱۱۱۰/۰            | ۱/۱۴۲            | ۰/۰۰۱          | ۰/۰۸              |
| سیلت                | (%)     | نمایی         | ۱۸۵۰/۰            | ۱/۲۵۱            | ۰/۰۰۱          | ۰/۰۸              |
| رس                  | (%)     | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۸۱۰            | ۰/۸۱۰          | ۱۰۰               |
| pH                  | -       | کروی          | ۲۰۳۰/۰            | ۰/۹۹۳            | ۰/۰۰۱          | ۰/۱۰              |
| EC                  | dSm-1   | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۷۳۲            | ۰/۰۰۱          | ۰/۱۴              |
| فسفر محلول          | mg kg-1 | نمایی         | ۵۶۰/۰             | ۱/۰۵۳            | ۰/۱۱۶          | ۱۱/۰۲             |
| فسفر قابل استفاده   | mg kg-1 | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۸۹۵            | ۰/۸۹۵          | ۱۰۰               |
| پتاسیم قابل استفاده | mg kg-1 | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۶۲۸            | ۰/۶۲۸          | ۱۰۰               |
| آهک                 | (%)     | کروی          | ۲۶۴۰/۰            | ۱/۰۰۰            | ۰/۰۴۵          | ۴/۵               |
| کربن آلی            | (%)     | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۸۷۶            | ۰/۸۷۶          | ۱۰۰               |
| شن                  | (%)     | نمایی         | ۱۴۲۰/۰            | ۱/۱۶۴            | ۰/۰۰۱          | ۰/۰۸              |
| سیلت                | (%)     | نمایی         | ۱۲۷۰/۰            | ۱/۱۶۶            | ۰/۰۰۱          | ۰/۰۸              |
| رس                  | (%)     | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۸۵۰            | ۰/۸۵۰          | ۱۰۰               |

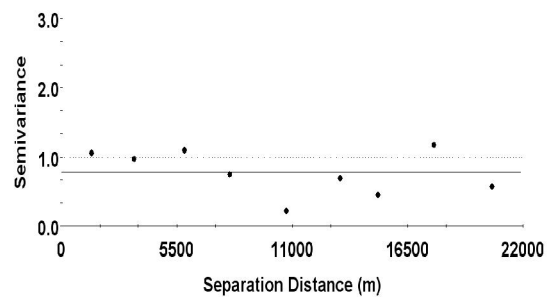
عمق: ۰ تا ۲۵ سانتیمتر

عمق: ۲۵ تا ۵۰ سانتیمتر

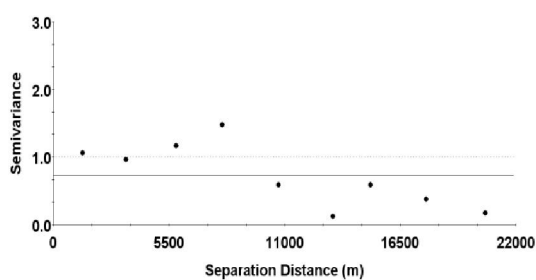
pH



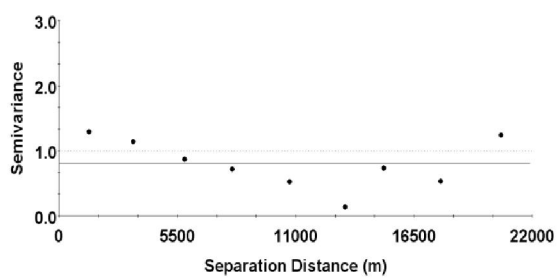
pH



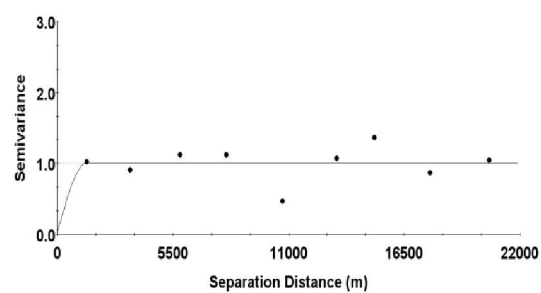
EC



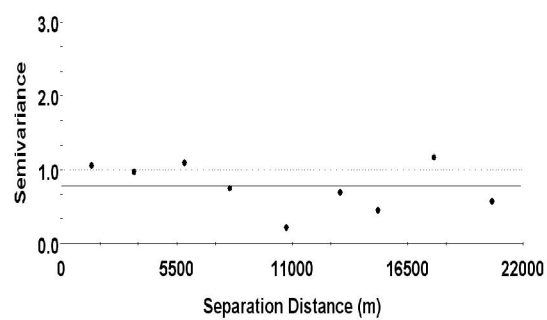
EC



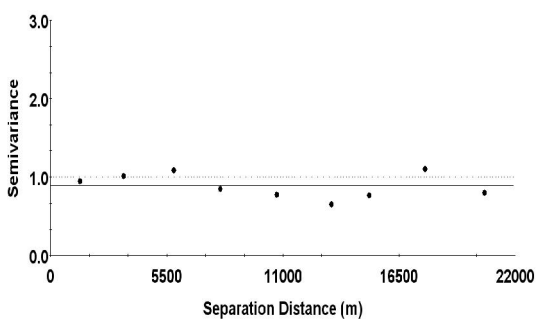
فسفر محلول



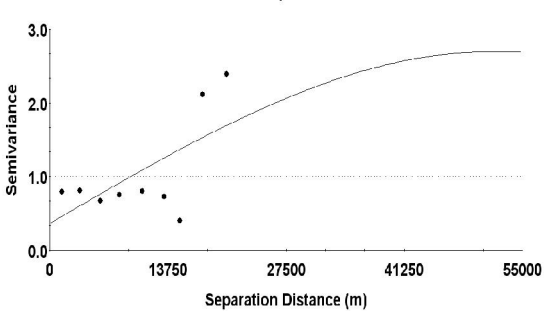
فسفر محلول



فسفر قابل استفاده



فسفر قابل استفاده

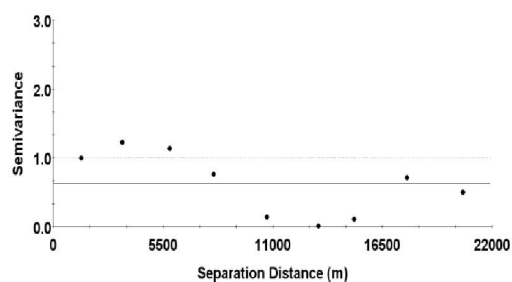


خاک زیر سطحی

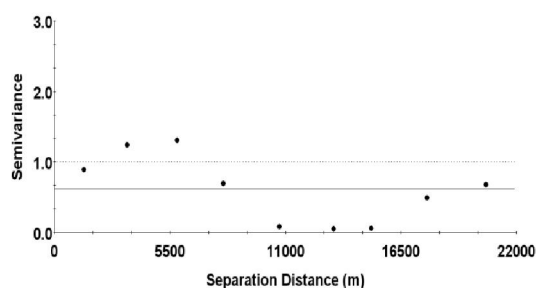
خاک سطحی

شکل ۴-۵: تغییر نمای تمام جهت متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول

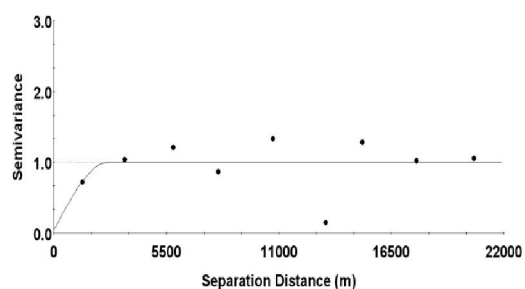
پتاسیم قابل استفاده



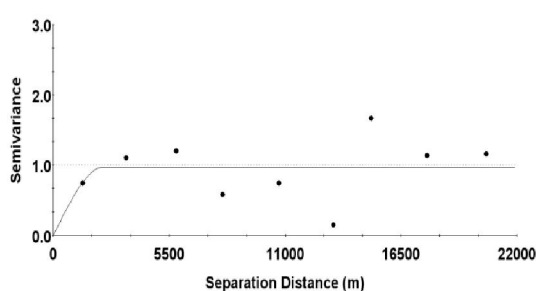
پتاسیم قابل استفاده



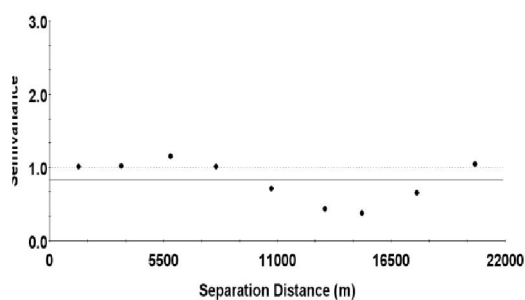
کربنات کلسیم



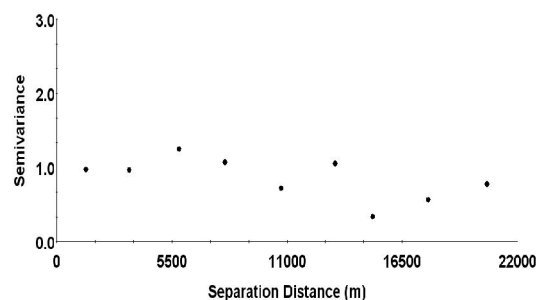
کربنات کلسیم



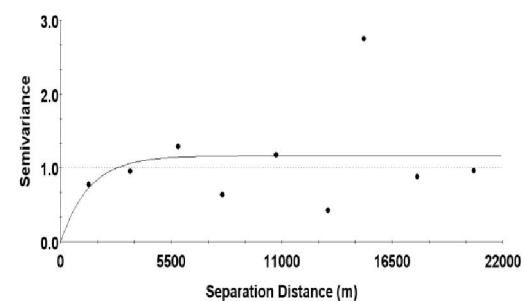
کربن آلی



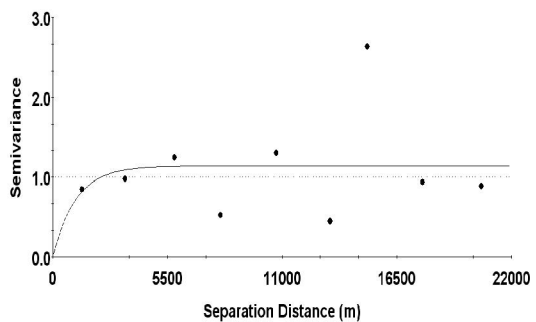
کربن آلی



شن



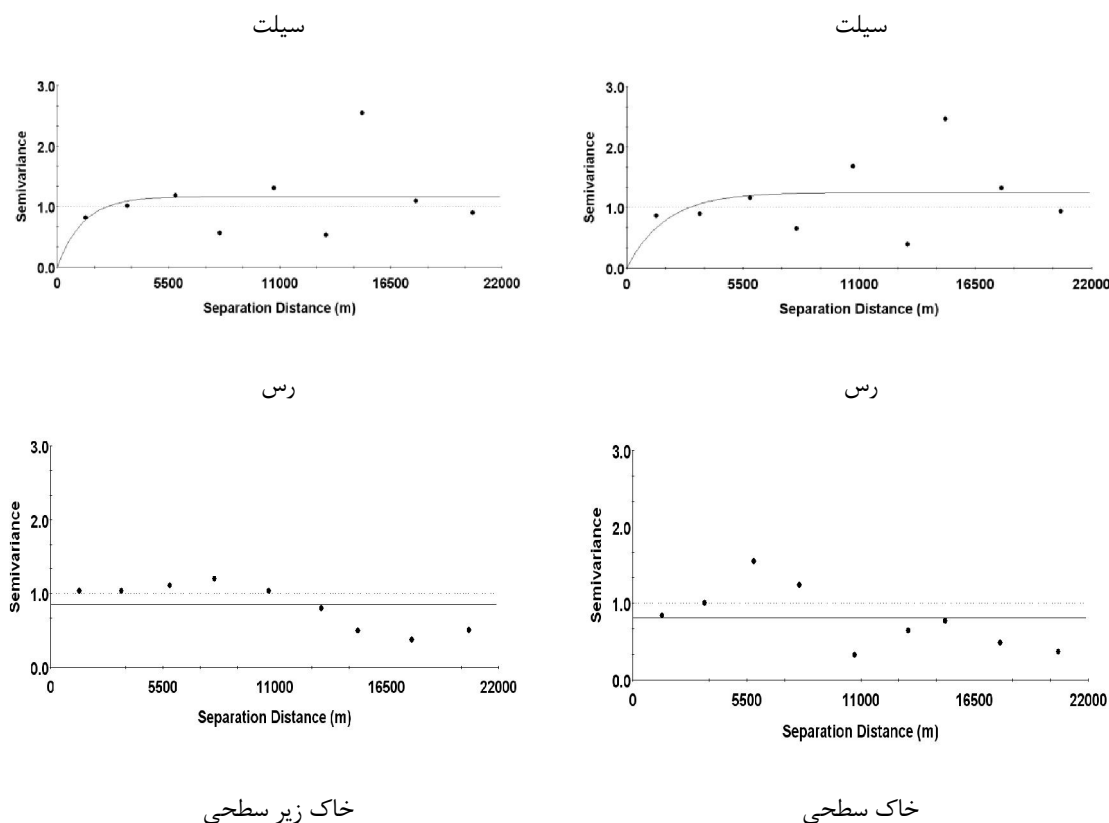
شن



خاک زیر سطحی

خاک سطحی

ادامه شکل ۴-۵: تغییرنمای تمام جهت متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول



ادامه شکل ۴-۵: تغییر نمای تمام جهت متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول

### ب) خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول

نتایج تغییرنماهای رویه ای نشان داد که روند ناهمسانگردی خاصی در متغیرها وجود ندارد. تغییرنماهای متغیرهای مورد مطالعه در شکل (۴-۶) و پارامترهای آنها در جدول (۴-۱۳) نشان داده شده است.

همانطور که در شکل (۴-۶) مشاهده می شود، بهترین مدل برازش یافته pH، فسفر قابل استفاده (در هر دو خاک سطحی و زیرسطحی) و کربن آلی خاک سطحی مدل نمایی، برای EC و پتاسیم خاک سطحی و زیرسطحی، مدل خطی و برای فسفر محلول موجود در خاک سطحی و زیرسطحی و کربن آلی خاک سطحی، مدل کروی می باشد.

نتایج حاصل از تغییرنماها نشان می دهد که تفاوت قابل ملاحظه ای بین دامنه های متغیرهای اندازه گیری شده در هر دو عمق وجود دارد. دامنه تأثیر تغییرنماها از ۱۱۱۰ متر

## فصل چهارم: نتایج و بحث

برای شن تا ۵۱۱۰۰ متر برای فسفر قابل استفاده در خاک سطح الأرض و از ۵۶۰ متر برای فسفر محلول تا ۲۰۵۲۱ متر برای پارامترهای EC، فسفر قابل استفاده، پتاسیم و کربن آلی در خاک زیر سطحی در نوسان است.

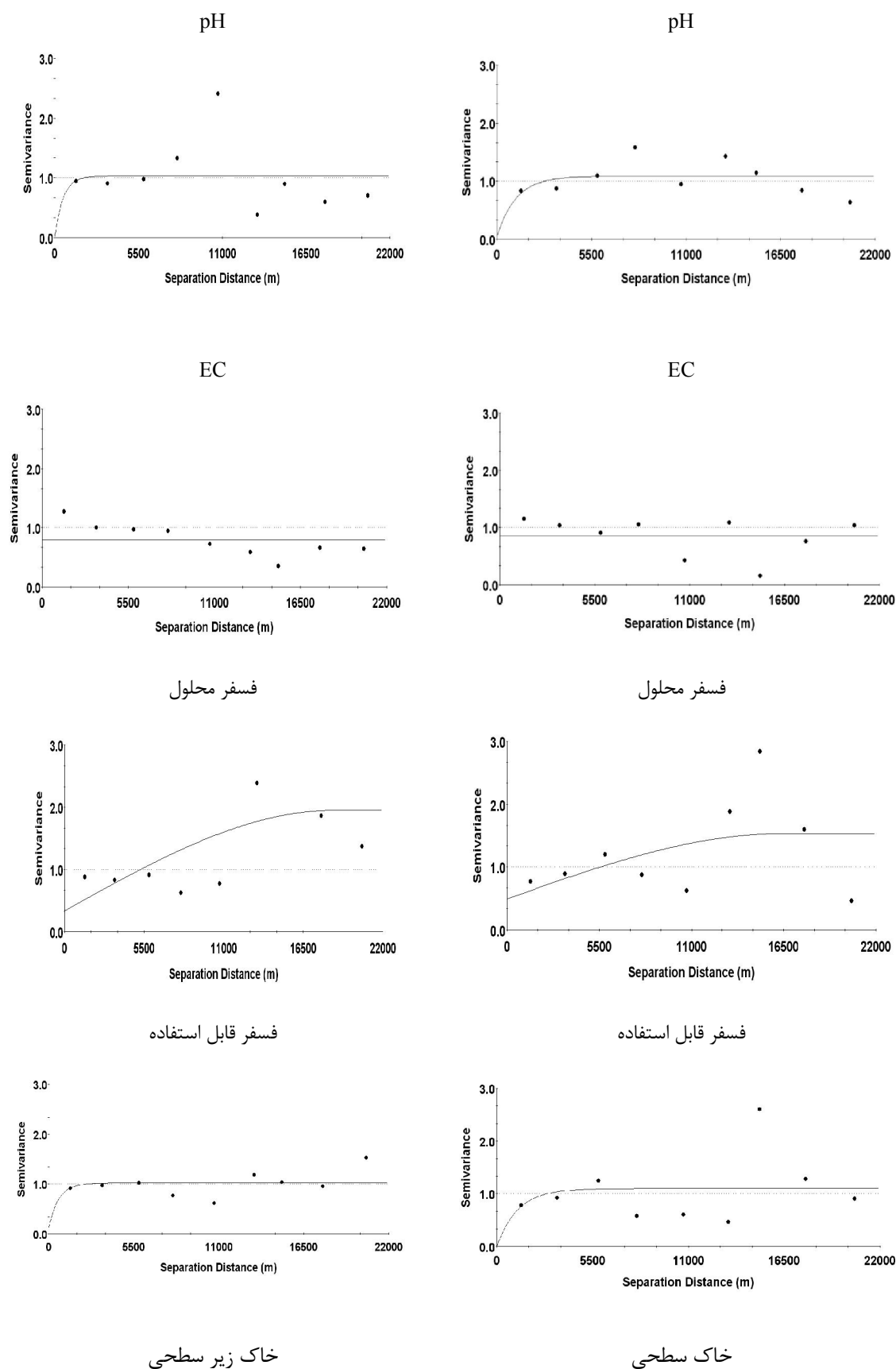
بر اساس معیار  $\frac{C}{C+C_0}$  می توان گفت که متغیرهای pH، فسفر قابل استفاده، کربن آلی، (در هر دو خاک سطحی و زیر سطحی)، و همچنین فسفر محلول خاک زیر سطحی دارای ساختار مکانی قوی هستند. فسفر محلول خاک سطحی همبستگی مکانی متوسط را نشان می دهد و سایر متغیرها (EC و پتاسیم) فاقد همبستگی مکانی می باشند (جدول ۴-۱۳).

جدول ۴-۱۳: پارامترهای تغییرنمای متغیرهای مورد مطالعه (بعد از کاشت)

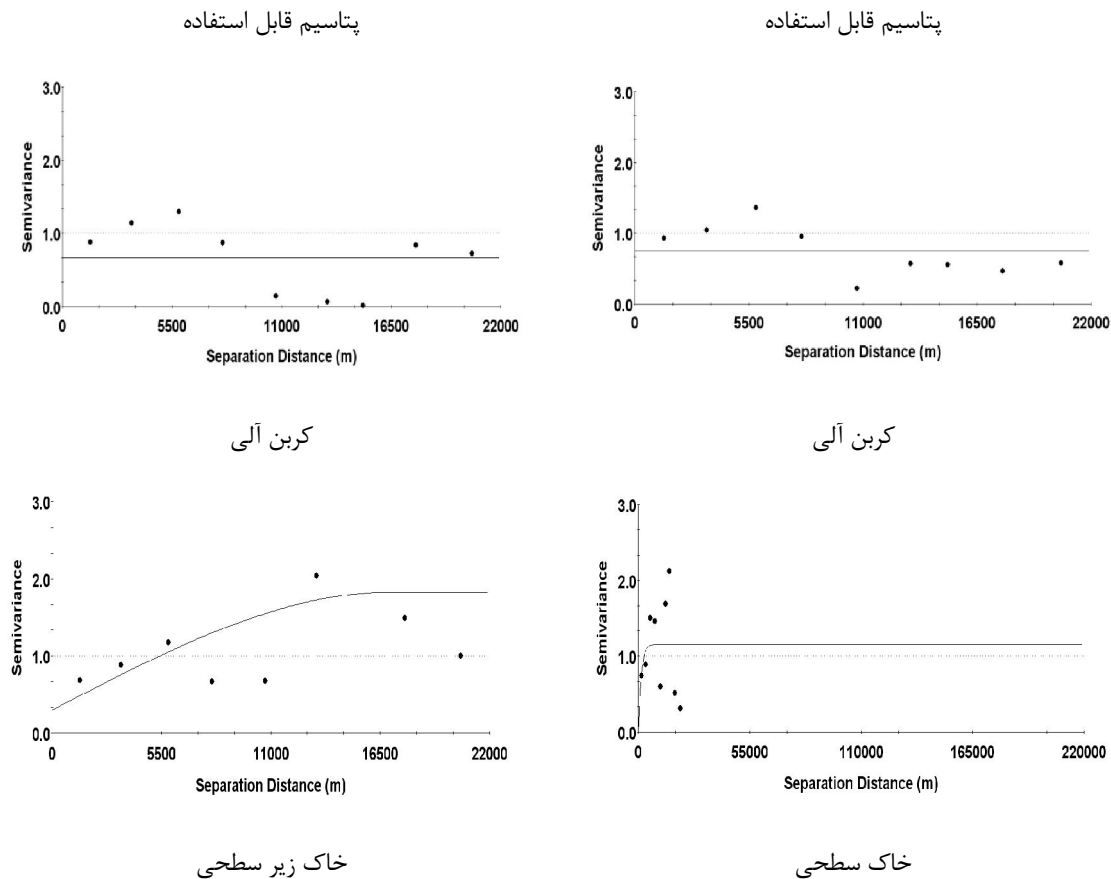
| متغیر               | واحد متغیر            | مدل برازش شده | دامنه تأثیر (متر) | حد آستانه (C+Co) | اثر قطعه ای (Co) | همبستگی مکانی (%) |
|---------------------|-----------------------|---------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| pH                  | -log[H <sup>+</sup> ] | نمایی         | ۱۱۲۰/۰            | ۱/۰۸۸            | ۰/۰۵۳            | ۴/۸۷              |
| EC                  | dSm-1                 | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۸۴۹            | ۰/۸۴۹            | ۱۰۰               |
| فسفر محلول          | mg kg <sup>-1</sup>   | کروی          | ۱۶۴۳۰/۰           | ۱/۵۳۴            | ۰/۴۸۹            | ۳۱/۸۸             |
| فسفر قابل استفاده   | mg kg <sup>-1</sup>   | نمایی         | ۱۲۰۰/۰            | ۱/۰۹۸            | ۰/۰۰۱۰           | ۰/۰۹              |
| پتاسیم قابل استفاده | mg kg <sup>-1</sup>   | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۷۴۸            | ۰/۷۴۸۷           | ۱۰۰               |
| کربن آلی            | (%)                   | نمایی         | ۱۳۸۰/۰            | ۱/۱۵۸            | ۰/۰۰۱            | ۰/۰۹              |
| pH                  | -log[H <sup>+</sup> ] | نمایی         | ۵۵۰/۰             | ۱/۰۳۳            | ۰/۰۰۱            | ۰/۱۰              |
| EC                  | dSm-1                 | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۸۰۲            | ۰/۸۰۲            | ۱۰۰               |
| فسفر محلول          | mg kg <sup>-1</sup>   | کروی          | ۱۸۶۱۰/۰           | ۱/۹۴۷            | ۰/۳۳۹            | ۱۷/۴۱             |
| فسفر قابل استفاده   | mg kg <sup>-1</sup>   | نمایی         | ۶۳۰/۰             | ۰/۰۱۷            | ۰/۱۱۵            | ۱۱/۳۱             |
| پتاسیم قابل استفاده | mg kg <sup>-1</sup>   | خطی           | ۲۰۵۲۱/۱           | ۰/۶۷۲۴           | ۰/۶۷۲            | ۱۰۰               |
| کربن آلی            | (%)                   | کروی          | ۱۷۱۲۰/۰           | ۱/۸۳۰            | ۰/۲۹۸            | ۱۶/۲۸             |

عمق ۰ تا ۲۵ سانتیمتر

عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتیمتر



شکل ۴-۶: تغییر نمای تمام جهت متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول



ادامه شکل ۴-۶: تغییر نمای تمام جهت متغیرهای مورد مطالعه در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول

#### ۴-۳-۳- نقشه های پهنه بندی عوامل و عناصر مورد بررسی:

در روش کشاورزی دقیق، که در آن مدیریت با مقدار متغیر اعمال می گردد، نقاطی از مزرعه که در آنها مقدار عناصر غذایی و یا اصلاحی زیر حد بحرانی است کود یا ماده اصلاحی بیشتر و نقاطی که این مواد در حد بهینه قرار داشته باشد کود یا ماده اصلاحی اضافه نمی شود در نتیجه مصرف مواد افزودنی به خاک از نظر ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی به سمت بهینه شدن سوق داده می شود (لغوی، ۱۳۸۲). تهیه نقشه های حاصلخیزی خاک از جنبه های زیست محیطی نیز حائز اهمیت است. در ایران، به دلایل مختلف از جمله ارزان بودن کودهای شیمیایی مصرف آنها بهینه و اصولی صورت نمی گیرد و در نتیجه ملاحظات زیست محیطی و جنبه های اقتصادی مصرف کودهای شیمیایی مورد توجه قرار نمی گیرد. این موضوع باعث می شود که محیط زیست در معرض خطر جدی آلودگی به

آلاینده های ناشی از کودهای شیمیایی قرار گیرد. در نتیجه نقشه حاصلخیزی خاک می تواند به حفظ محیط زیست و مصرف اقتصادی کودهای شیمیایی کمک نماید (نصرت پور، ۱۳۸۹).

یکی از اهداف تحلیل های زمین آماری و درون یابی، ایجاد حجم بیشتر داده، به منظور پهنه بندی دقیق تر خصوصیات خاک است. پهنه بندی دقیق خصوصیات در راستای اهداف کشاورزی دقیق و مدیریت خاص مکانی است (فاضلی سنگانی، ۱۳۸۸؛ محمد عسگری، ۱۳۸۶؛ Yi-chan et al., 2009).

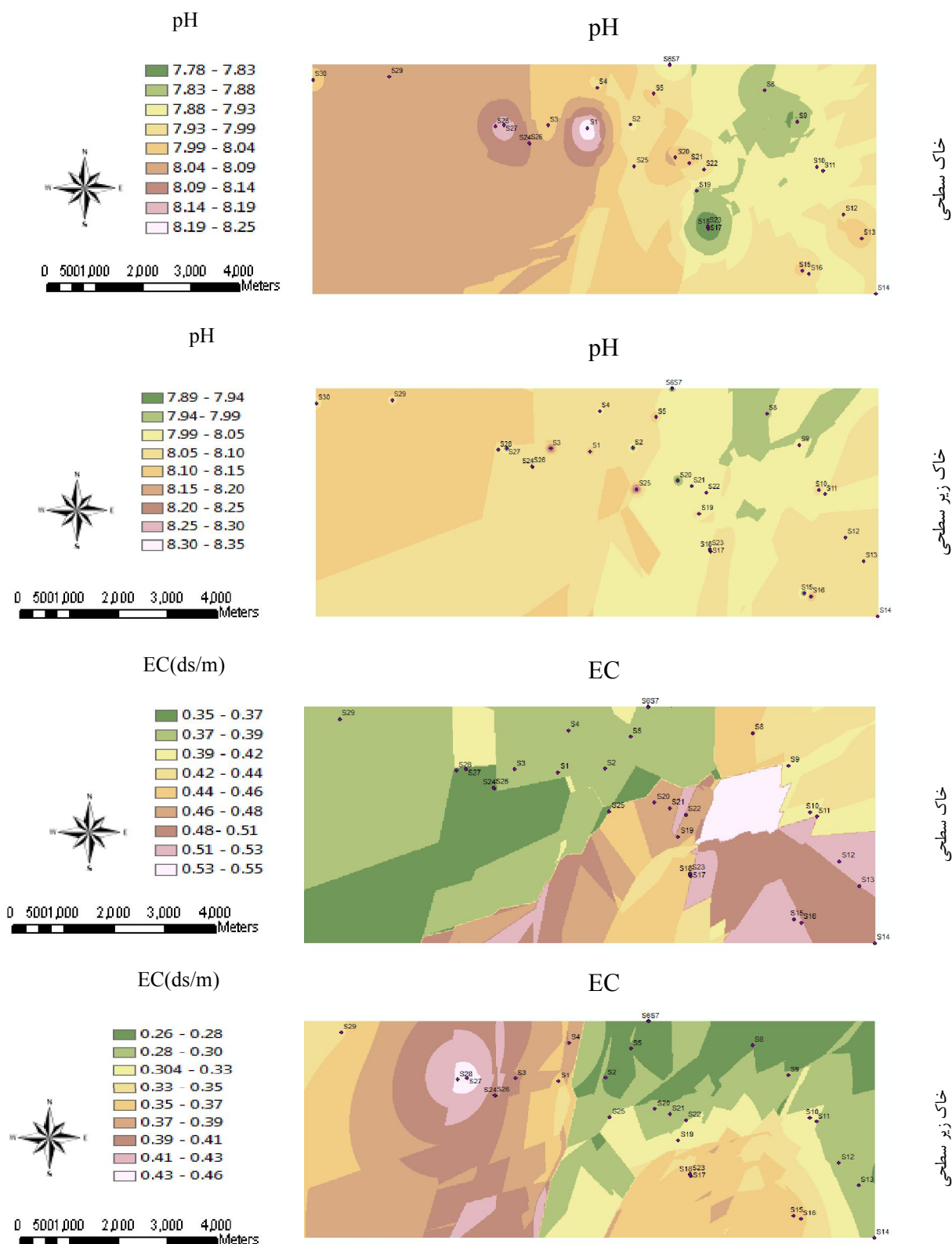
مک براتنی و وبستر (۱۹۸۳) از جمله اولین کسانی بودند که کاربرد علم زمین آمار را برای تخمین ساختار مکانی خواص خاک و توسعه کشاورزی دقیق توصیه نمودند. کاماروزامان و تامالودین (۲۰۰۱) تهیه نقشه تغییرپذیری خاک را برای پهنه سازی تولیدات کشاورزی با استفاده از نرم افزار GS+ توصیه نموده اند. میلر و همکاران (۲۰۰۴) در ایالت کنتاکی نقشه های عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، pH و خاصیت بافری را با روش های زمین آماری و کریجینگ تهیه کردند.

حصمدی (۲۰۰۹) با استفاده از تکنیک زمین آمار به بررسی توزیع مکانی عناصر ازت، فسفر و پتاسیم خاک و تهیه نقشه خصوصیات حاصلخیزی خاکهای مزارع قهوه مالزی پرداخت.

هانگ-ایکسیا و ایکسیائو-مین (۲۰۱۰)، با توجه به نقش کلیدی فسفر در سیستم های تولید محصولات کشاورزی، مطالعه ای را برای بررسی پراکنش مکانی فسفر کل و قابل استفاده در لایه های مختلف خاک با استفاده از روش های زمین آماری در چین انجام دادند و نقشه مقدار فسفر قابل استفاده خاک را در منطقه مورد مطالعه شان ارائه دادند. امروزه در کشور ما نیز پژوهشگران زیادی با بکارگیری روشهای مختلف کریجینگ به بررسی تغییرات مکانی خصوصیات حاصلخیزی خاکهای مناطق مختلف پرداخته اند که می توان به تهیه نقشه پراکنش خصوصیات حاصلخیزی خاک در منطقه بوکان (رحمانی و همکاران، ۱۳۸۸)، ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام آباد غرب (فاتحی و همکاران، ۱۳۸۸) و دشت ارومیه

(سکوئی اسکویی و قائمیان، ۱۳۸۸) اشاره نمود. در مطالعه حاضر نیز در پایان تحلیل های زمین آماری نقشه پهنه بندی خصوصیات مورد مطالعه با استفاده از تخمینگر کریجینگ تهیه و در اشکال (۷-۴) و (۸-۴) ارائه شده است.

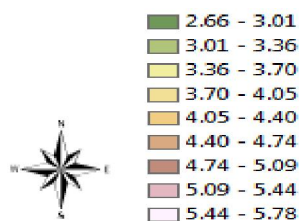
الف) خاکهای نمونه برداری شده قبل از کشت محصول



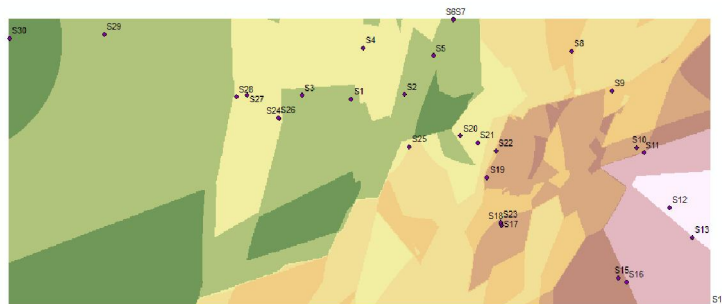
شکل ۴-۷: نقشه های کریجینگ برخی از ویژگی های خاک در منطقه مورد مطالعه (قبل از کشت)

Ps(mg/kg)

فسفر محلول



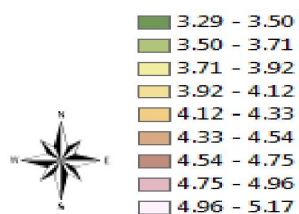
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters



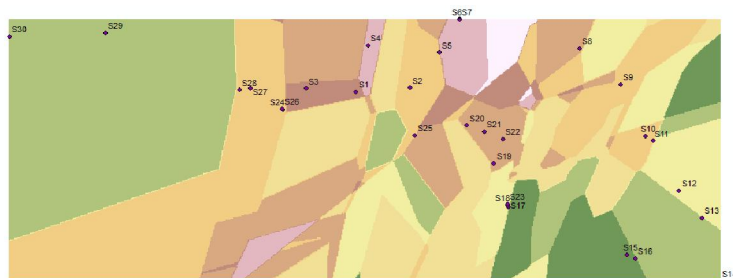
خاک سطحی

Ps(mg/kg)

فسفر محلول



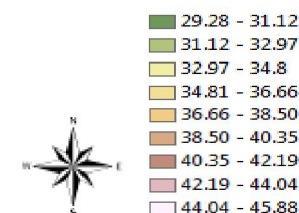
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters



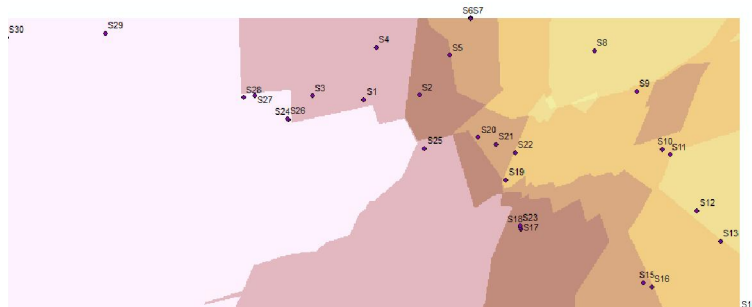
خاک زیر سطحی

Pa(mg/kg)

فسفر قابل استفاده



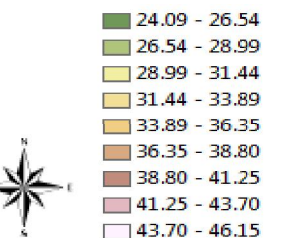
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters



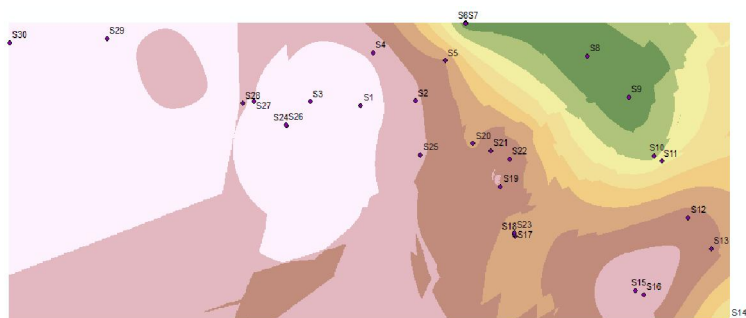
خاک سطحی

Pa(mg/kg)

فسفر قابل استفاده



0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters

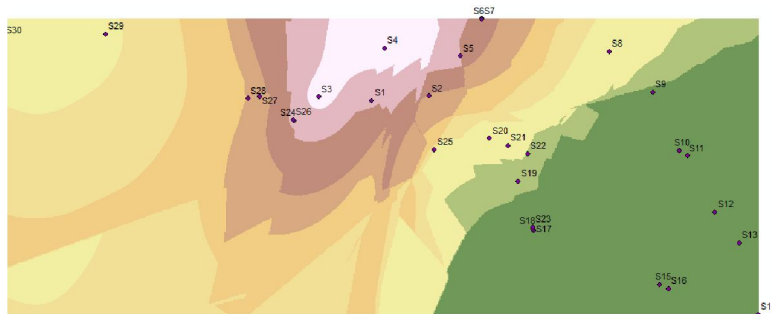
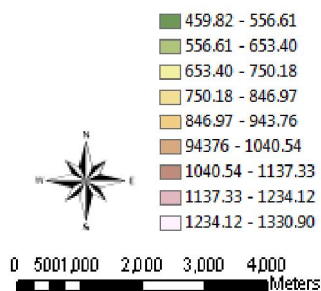


خاک زیر سطحی

ادامه شکل ۴-۷: نقشه های کریجینگ برخی از ویژگی های خاک در منطقه مورد مطالعه (قبل از کشت)

K (mg/kg)

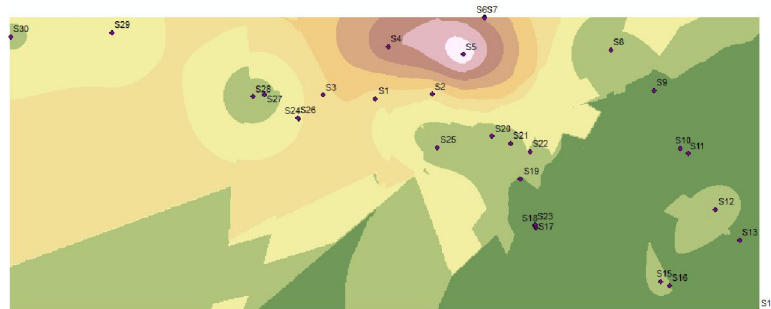
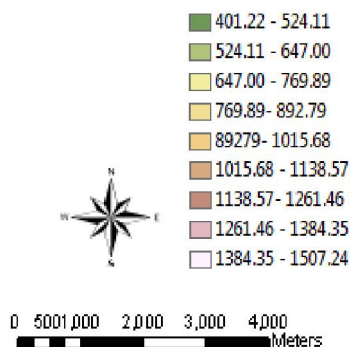
پتاسیم قابل استفاده



خاک سطحی

K(mg/kg)

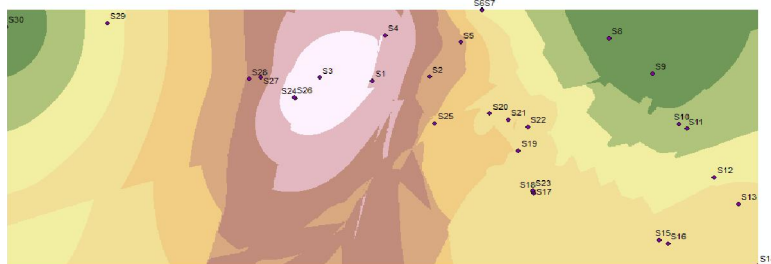
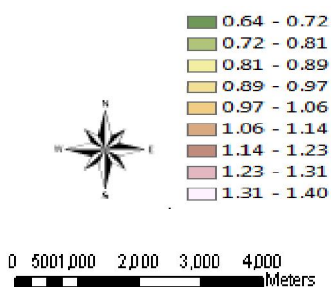
پتاسیم قابل استفاده



خاک زیر سطحی

OC(%)

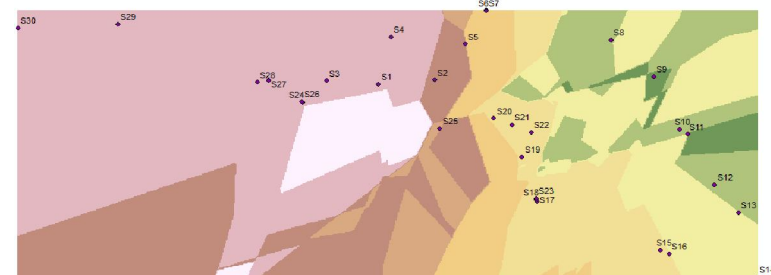
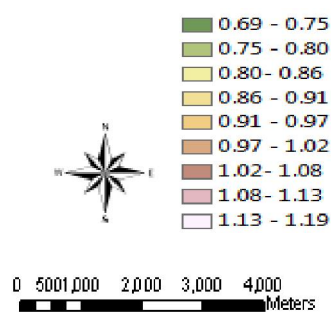
کربن آلی



خاک سطحی

OC(%)

کربن آلی

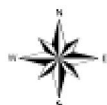
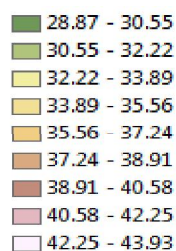


خاک زیر سطحی

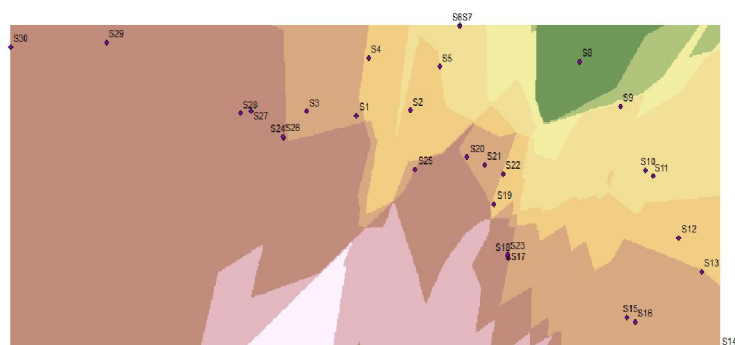
ادامه شکل ۴-۷: نقشه های کریجینگ برخی از ویژگی های خاک در منطقه مورد مطالعه (قبل از کشت)

CaCO<sub>3</sub>(%)

کربنات کلسیم



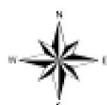
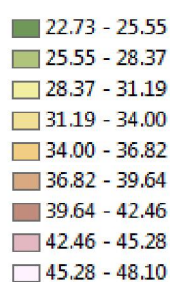
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters



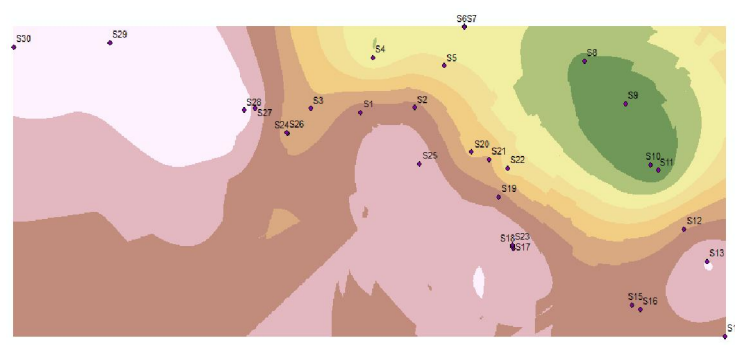
خاک سطحی

CaCO<sub>3</sub>(%)

کربنات کلسیم



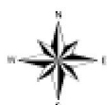
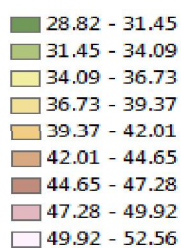
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters



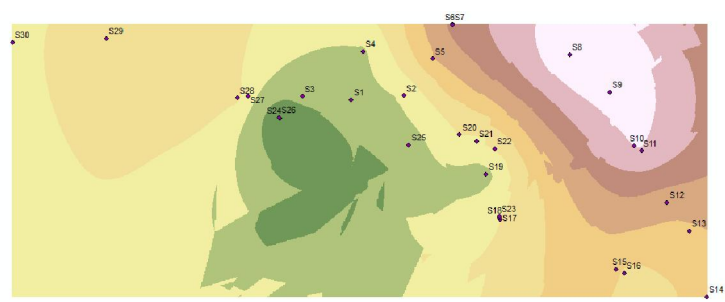
خاک زیر سطحی

Sand(%)

شن



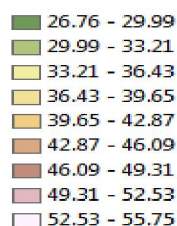
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters



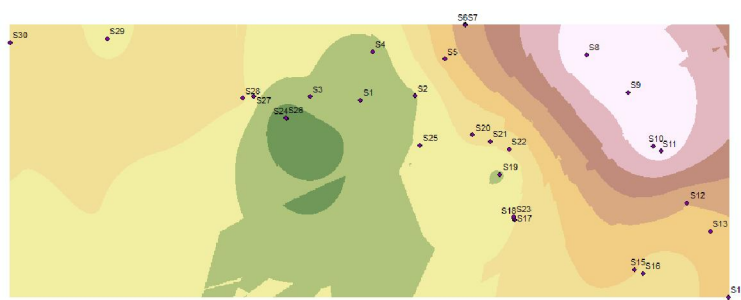
خاک سطحی

Sand(%)

شن

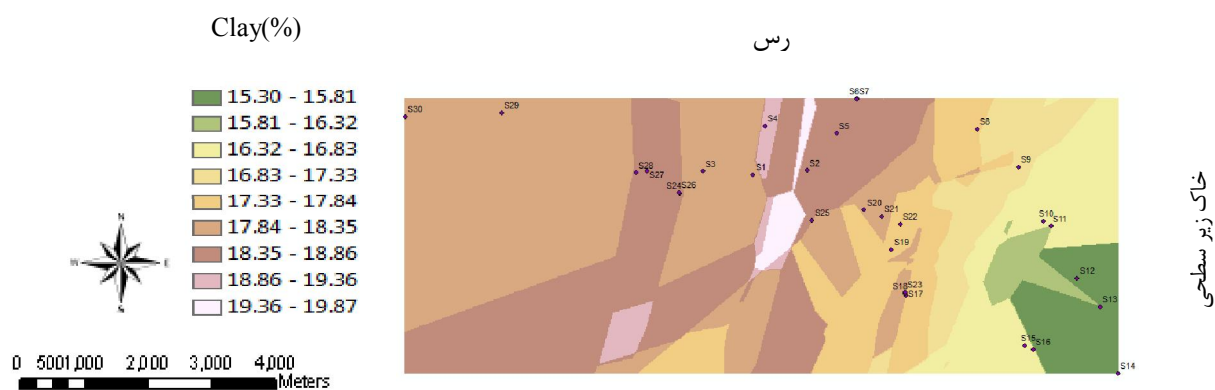
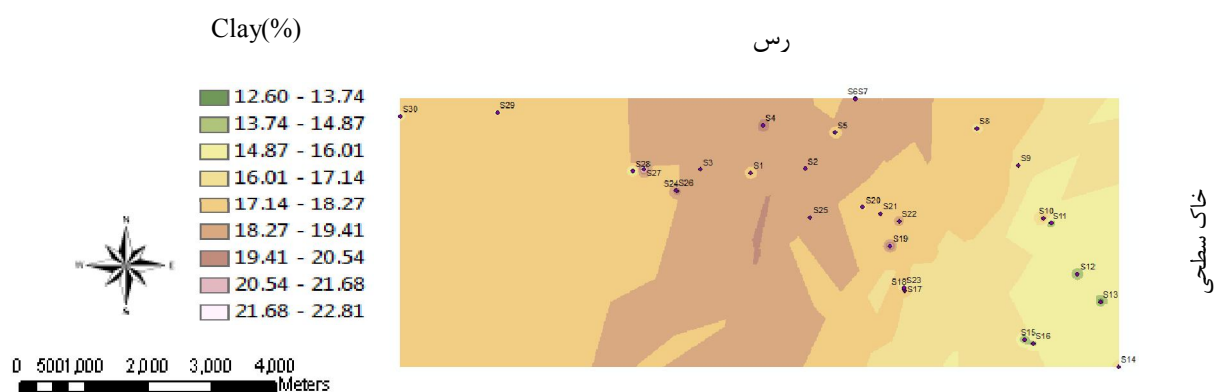
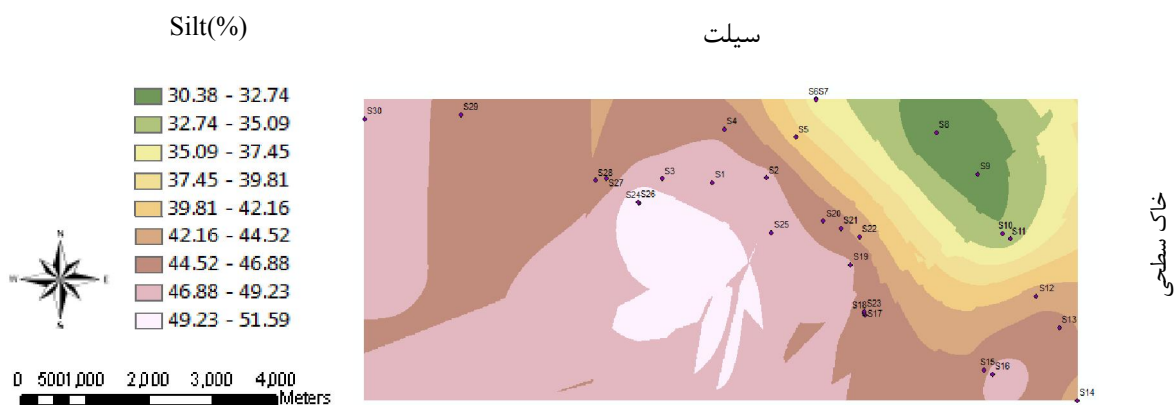


0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters



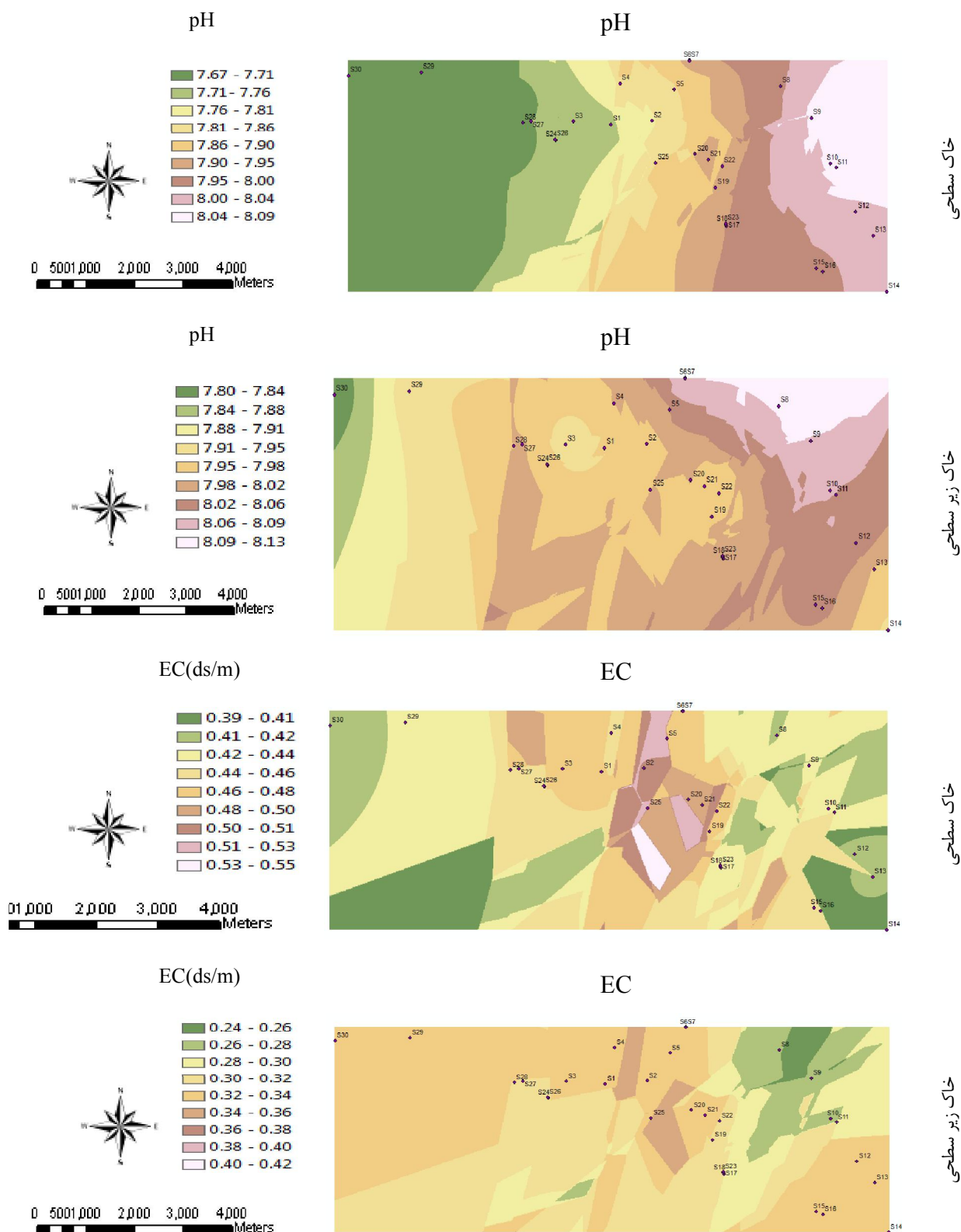
خاک زیر سطحی

ادامه شکل ۴-۷: نقشه های کریجینگ برخی از ویژگی های خاک در منطقه مورد مطالعه (قبل از کشت)



ادامه شکل ۴-۷: نقشه های کریجینگ برخی از ویژگی های خاک در منطقه مورد مطالعه (قبل از کشت)

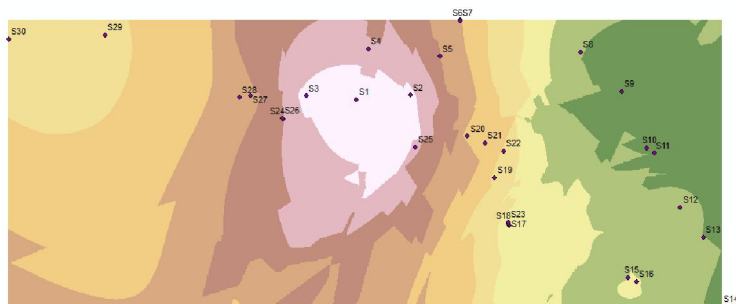
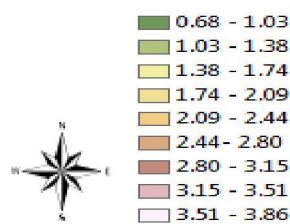
ب) خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول



شکل ۴-۸: نقشه های کریجینگ برخی از ویژگی های خاک در منطقه مورد مطالعه (بعد از کشت)

Ps(mg/kg)

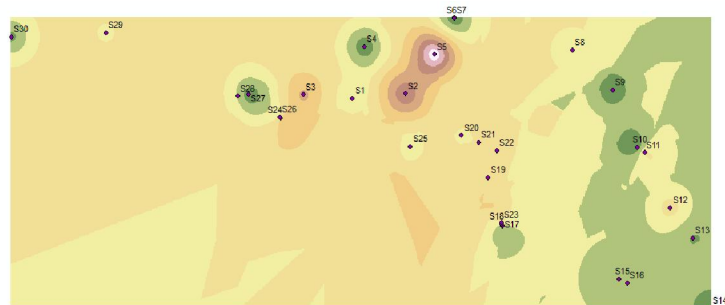
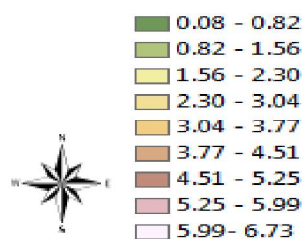
فسفر محلول



خاک سطحی

Ps(mg/kg)

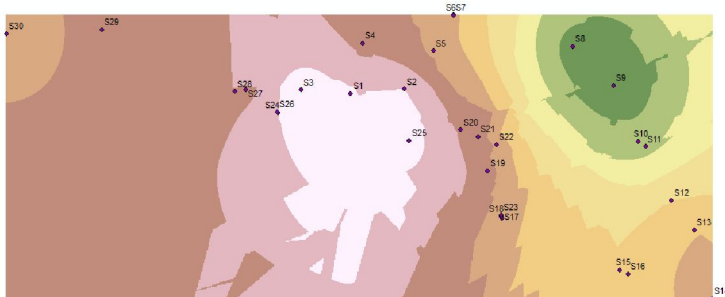
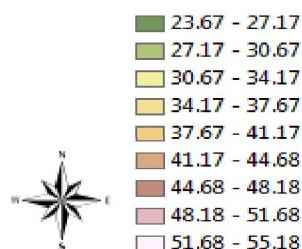
فسفر محلول



خاک زیر سطحی

Pa(mg/kg)

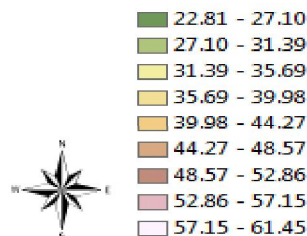
فسفر قابل استفاده



خاک سطحی

Pa (mg/kg)

فسفر قابل استفاده

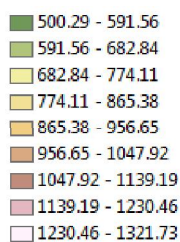


خاک زیر سطحی

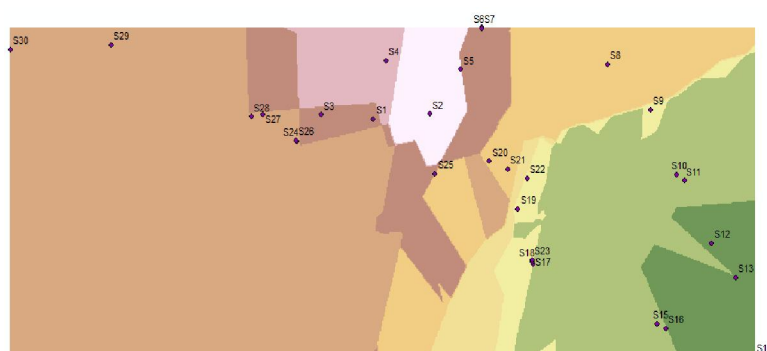
ادامه شکل ۴-۸: نقشه های کریجینگ برخی از ویژگی های خاک در منطقه مورد مطالعه (بعد از کشت)

K(mg/kg)

پتاسیم قابل استفاده



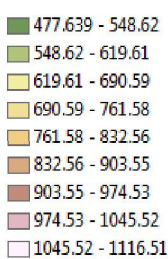
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters



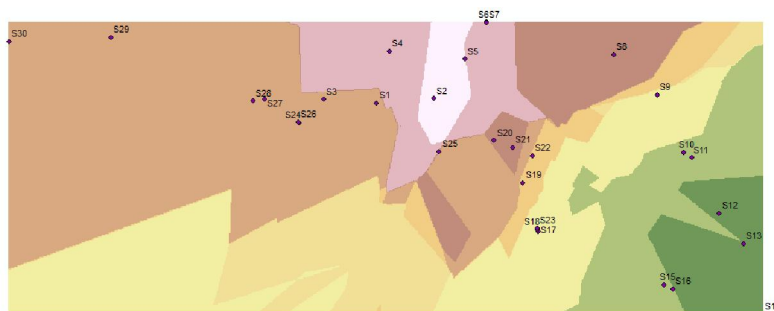
خاک سطحی

K(mg/kg)

پتاسیم قابل استفاده



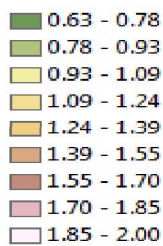
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters



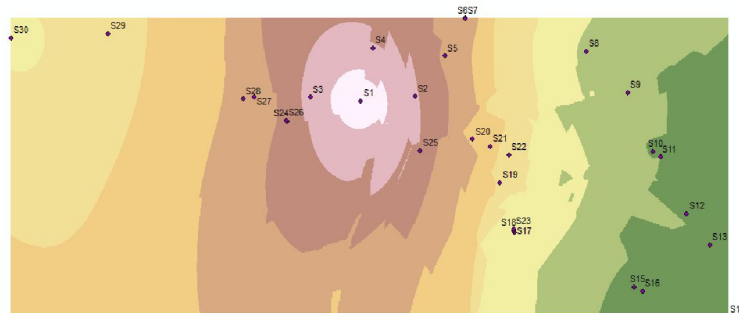
خاک زیر سطحی

OC(%)

کربن آلی



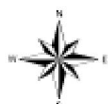
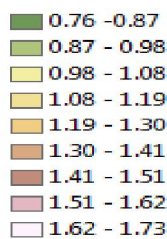
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters



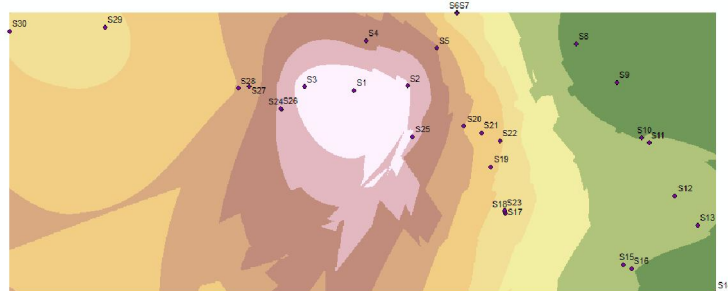
خاک سطحی

OC(%)

کربن آلی



0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 Meters



خاک زیر سطحی

ادامه شکل ۴-۸: نقشه های کریجینگ برخی از ویژگی های خاک در منطقه مورد مطالعه (بعد از کشت)

همانطور که مشاهده می شود، میزان هدایت الکتریکی در کلیه اراضی منطقه زیر ۲ دسی زیمنس بر متر است لذا برای کاشت و پرورش محصولات محدودیت ایجاد نمی کند.

از نظر اسیدیته، بخشی از اراضی دارای محدودیت کم می باشند که به نظر می رسد جذب عناصر میکرو در این محدوده با مشکل مواجه گردد. کاربرد گوگرد به همراه تیوباسیلوس و کود دامی می تواند تأثیر مثبت بر کاهش موضعی اسیدیته خاک در محیط اطراف ریشه و تعدیل این محدودیت داشته باشد (محمدی آریا و همکاران، ۱۳۸۹).

در نقشه حاصلخیزی، کربن آلی به عنوان یک متغیر حائز اهمیت تلقی می شود لذا تهیه نقشه نه تنها وسعت کمبود کربن آلی در اراضی کشاورزی را نشان خواهد داد بلکه محل وقوع کمبود آن را مشخص می کند. علاوه بر آن، با مطالعه این نقشه ها می توان مقدار کل کربن آلی مورد نیاز، بودجه لازم برای رساندن کربن آلی خاک به سطح مطلوب، زمان لازم و مقدار تلاشی که لازم است انجام شود را محاسبه نمود. یکی از خصوصیات مهم نقشه حاصلخیزی خاک در این رابطه فراهم آوردن امکان پایش تغییرات مقدار کربن آلی و در نتیجه امکان بررسی درصد موفقیت یا عدم موفقیت پروژه های افزایش کربن آلی خاک است (نصرت پور، ۱۳۸۹). با توجه به اینکه حداقل مقدار کربن آلی مورد نیاز برای سیب زمینی ۲ درصد می باشد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳)، در مناطقی که غلظت این عنصر کمتر از این مقدار باشد، نیاز به اعمال کودهای آلی است.

میزان فسفر قابل استفاده در کلیه اراضی تحت نمونه برداری بیش از ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم می باشد و طبق استاندارد مؤسسه تحقیقات خاک و آب در محدوده زیاد قرار دارد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۷۹) و به نظر می رسد که کاربرد کودهای فسفاته در این شهر براساس آزمون خاک نبوده و در صورتی که این روند متوقف نشود باعث تجمع بیشتر این عنصر در خاک های زراعی خواهد شد.

بررسی روند تغییرات پتاسیم قابل استفاده نیز حاکی از مقدار خیلی زیاد این عنصر (بیش از ۴۵۰ میلی گرم در کیلوگرم) در اکثر خاکهای منطقه مورد مطالعه می باشد.

به طور کلی بر اساس نقشه های حاصلخیزی تهیه شده برای عوامل و عناصر مورد

بررسی مشخص می شود که در منطقه مورد مطالعه مقادیر عناصر غذائی متغیر بوده و از محدوده کمبود تا سمیت در مورد عناصر مختلف متغیر است که می توانند با ایجاد محدودیت برای رشد گیاه سیب زمینی باعث افت عملکرد شوند. برای جلوگیری از افت عملکرد می توان با توجه به نیاز سیب زمینی در مناطق دارای کمبود با مصرف کود اقدام به رفع کمبودها نمود به نحوی که به عملکرد مطلوب محصول سیب زمینی صدمه وارد نشود.

نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج بدست آمده مطالعات سایر محققان نیز هم خوانی دارد. وانگ و همکاران (۲۰۰۶) پس از پهنه بندی و تهیه نقشه عناصر ازت، فسفر، پتاسیم، درصد ماده آلی خاک و pH، مصرف کودهای حاوی عناصر مورد بررسی شان را تنها در پهنه هایی که کمبود این عناصر دیده شد توصیه کردند. همچنین مندل (۲۰۰۲) نیز پس از تهیه نقشه برخی از عناصر غذایی توصیه نمود مصرف کودهای حاوی این عناصر در مناطقی که عناصر در محدوده کمبود قرار ندارند، اجتناب شود.

### ۴-۴- اندازه گیری فسفر گیاه

در کشاورزی پیشرفته تعیین نیاز کودی گیاه به دو روش آزمون خاک و یا تجزیه شیمیایی گیاه انجام می گیرد. تجزیه شیمیایی گیاه دارای این مزیت است که میزان واقعی عنصر غذایی را در گیاه نشان می دهد. از طرف دیگر نقص تکیه بر این روش به تنهایی در تعیین نیاز کودی، این است که در صورت نشان دادن کمبود، کاهش عملکرد کاملاً قابل جبران نمی باشد (ملکوتی و نفیسی، ۱۳۸۴). مقدار عناصر غذایی که در اختیار گیاهان قرار می گیرد، در غلظت آنها در اندام های گیاهی اثر می گذارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳؛ Fageria, 2009). تحقیقات نشان می دهد که غلظت فسفر در مراحل مختلف رشد گیاهان متفاوت است و این غلظت تحت تاثیر عواملی مانند غلظت فسفر در خاک است (Ziadi, 2008). در مطالعه حاضر نیز به منظور ارزیابی میزان فسفر قابل استفاده گیاه در خاک، میزان فسفر در غده، ریشه و اندامهای هوایی (شامل برگها و ساقه) سیب زمینی های برداشت شده از مزارع

مورد مطالعه، اندازه گیری شد که نتایج حاصل در جدول (۴-۱۴) آورده شده است. ارزیابی آماری حاصل از این داده ها نیز در جدول (۴-۱۵) گزارش می شود.

روش کاربردی تجزیه گیاه، به منظور توصیه کودی، بستگی به تفسیر صحیح و دقیق آن دارد. در تفسیر داده های حاصل از تجزیه گیاه باید به روابط متقابل ۱ و تعاون ۲ عناصر غذایی نیز توجه نمود. روشهای عمده برای تفسیر نتایج تجزیه های گیاهی روش غلظت عناصر غذایی، روش حد کفایت و روش دریس (روش تلفیقی تشخیص و توصیه کودی) می باشند.

در روش غلظت بحرانی فرض بر این است که وقتی غلظت عنصری در بافتهای گیاهی پایین تر از حد بحرانی باشد، جذب عنصر از خاک کافی نبوده است. در این روش زمان و محل نمونه برداری در تفسیر نتایج حاصل از تجزیه گیاه بسیار حائز اهمیت است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). از آنجا که غلظت عناصر غذایی در اندامهای گیاهی با سن فیزیولوژی گیاه تغییر می کند (Fageria, 2009)، لذا وجود ارقام مقایسه ای دقیق الزامی است. حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در برگهای انتهایی سیب زمینی، در خاکهای زراعی کرج و تهران در جدول (۴-۱۶) نشان داده شده است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). تفسیر صحیح نتایج تجزیه های گیاهی با استفاده از روش غلظت بحرانی به دلیل دخالت عوامل پرشمار مؤثر در رشد و شرایط متفاوت اقلیمی، بسیار دشوار و به همین علت، انجام توصیه های کودی دقیق با استفاده از این داده ها چندان امکانپذیر نمی باشد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

یکی دیگر از روشهای تفسیر نتایج تجزیه گیاهی که مورد استفاده کارشناسان تغذیه گیاهی قرار می گیرد، استفاده از حد کفایت است. در این روش غلظت تک تک عناصر غذایی در اندامهای گیاهی رابطه با تفسیر هر دو روش فوق الذکر بسیار اندک است. در هر دو روش، غلظت عناصر غذایی در گیاه به عنوان مبنای تفسیر از مرز کمبود تا حد کفایت مورد استفاده قرار می گیرد.

جدول ۴-۱۴: نتایج حاصل از اندازه گیری فسفر در اندامهای مختلف گیاه سیب زمینی در منطقه مورد مطالعه

---

1 - Antagonistic

2- Synergistic

## فصل چهارم: نتایج و بحث

| شماره   | اندام مورد آزمایش (درصد) |       |             |
|---------|--------------------------|-------|-------------|
|         | غده                      | ریشه  | اندام هوایی |
| 1       | 0.22                     | 0.48  | 0.41        |
| ۲       | *                        | *     | *           |
| ۳       | 0.048                    | 0.19  | 0.07        |
| ۴       | 0.27                     | 0.26  | 0.18        |
| ۵       | 0.29                     | 0.29  | 0.26        |
| ۶       | *                        | *     | *           |
| ۷       | 0.18                     | 0.34  | 0.06        |
| ۸       | 0.15                     | 0.10  | 0.13        |
| ۹       | 0.15                     | 0.19  | 0.24        |
| ۱۰      | 0.20                     | 0.12  | 0.016       |
| ۱۱      | 0.18                     | 0.21  | 0.082       |
| ۱۲      | 0.30                     | 0.33  | 0.39        |
| ۱۳      | 0.19                     | 0.35  | 0.04        |
| ۱۴      | 0.10                     | 0.35  | 0.12        |
| ۱۵      | 0.18                     | 0.36  | 0.20        |
| ۱۶      | 0.24                     | 0.40  | 0.15        |
| ۱۷      | 0.18                     | 0.40  | 0.30        |
| ۱۸      | 0.12                     | 0.34  | 0.16        |
| ۱۹      | 0.15                     | 0.002 | 0.38        |
| ۲۰      | *                        | *     | *           |
| ۲۱      | 0.31                     | 0.35  | 0.09        |
| ۲۲      | 0.25                     | 0.38  | 0.07        |
| ۲۳      | *                        | *     | *           |
| ۲۴      | 0.27                     | 0.36  | 0.40        |
| ۲۵      | 0.45                     | 0.35  | 0.42        |
| ۲۶      | 0.27                     | 0.43  | 0.44        |
| ۲۷      | 0.20                     | 0.23  | 0.38        |
| ۲۸      | 0.30                     | 0.06  | 0.46        |
| ۲۹      | 0.16                     | 0.47  | 0.27        |
| ۳۰      | 0.23                     | 0.43  | 0.49        |
| میانگین | 0.27                     | 0.33  | 0.41        |

\* در سال زراعی مورد بررسی، سیب زمینی کشت نشد

## فصل چهارم: نتایج و بحث

جدول ۴-۱۵: تجزیه آماری نتایج حاصل از اندازه گیری فسفر در بافتهای مختلف سیب زمینی در منطقه مورد مطالعه

| اندام آزمایشی | حداقل | حداکثر | میانگین | میانه | انحراف معیار | چولگی  | کشیدگی | ضریب تغییرات (%) |
|---------------|-------|--------|---------|-------|--------------|--------|--------|------------------|
| غده           | ۰/۰۵  | ۰/۴۶   | ۰/۲۲    | ۰/۲۰  | ۰/۰۸         | ۰/۶۳   | ۱/۷۶   | ۳۶/۳۶            |
| ریشه          | ۰/۰۲  | ۰/۴۸   | ۰/۳۰    | ۰/۳۴  | ۰/۱۳         | -۰/۸۲۲ | -۰/۰۳۰ | ۴۳/۳۳            |
| اندام هوایی   | ۰/۰۲  | ۰/۵    | ۰/۲۴    | ۰/۲۲  | ۰/۱۵         | -۰/۱۷۳ | -۱/۴۶۱ | ۶۲/۵۰            |

جدول ۴-۱۶: غلظت مطلوب عناصر غذایی در برگهای سیب زمینی در خاکهای آهکی (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳)

| نام محصول | درصد |      |        |       | میکروگرم در هر گرم گیاه |     |       |     |
|-----------|------|------|--------|-------|-------------------------|-----|-------|-----|
|           | ازت  | فسفر | پتاسیم | کلسیم | منیزیم                  | آهن | منگنز | روی |
| سیب زمینی | ۴/۵  | ۰/۳  | ۴/۵    | ۱/۵   | ۰/۶۵                    | ۱۵۰ | ۵۰    | ۴۰  |
|           |      |      |        |       |                         |     |       | مس  |
|           |      |      |        |       |                         |     |       | بر  |
|           |      |      |        |       |                         |     |       | ۳۸  |
|           |      |      |        |       |                         |     |       | ۱۱  |

جدول ۴-۱۷: محدوده تشخیص غلظت فسفر در سیب زمینی (Sanches, 2007)

| مرحله رشد        | قسمت نمونه برداری         | درصد  |      |             |
|------------------|---------------------------|-------|------|-------------|
|                  |                           | کمبود | کم   | مطلوب       |
| اوایل رشد        | دمبرگ برگهای کامل جوان    |       |      | ۰/۲۰ - ۰/۴۰ |
| ابتدای تشکیل غده |                           |       |      | ۰/۳۸ - ۰/۴۵ |
| کامل شدن غده ها  |                           |       |      | ۰/۱۴ - ۰/۱۷ |
| اوایل فصل        | دمبرگ چهارمین برگ از بالا |       | ۰/۱۲ | ۰/۲۰        |
| اواسط فصل        | دمبرگ چهارمین برگ از بالا |       | ۰/۸  | ۰/۱۶        |
| اواخر فصل        | دمبرگ چهارمین برگ از بالا |       | ۰/۰۵ | ۰/۱۰        |

برخی عقیده دارند استفاده از روش حد بحرانی از دیدگاه اقتصادی (جلوگیری از مصرف بیش از اندازه کود) به روش حد کفایت برتری دارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). غلظت بحرانی، حد کمبود و کفایت فسفر برای سیب زمینی، با توجه به محل و زمان نمونه برداری، در جدول (۴-۱۷) آورده شده است (Sanches, 2007).

با عنایت به دشواریها و مشکلات این روشها در تفسیر صحیح نتایج، مخصوصاً حساسیت آنها نسبت به زمان و محل نمونه برداری، روشی به نام روش تلفیقی تشخیص و توصیه کودی (دریس) ابداع گردید. در این روش، برخلاف روشهای غلظت بحرانی و حد کفایت، تفسیر نتایج تجزیه بافت به سن فیزیولوژی و محل نمونه برداری بستگی ندارد و از طریق در نظر گرفتن نسبت عناصر غذایی ( $P/K$ ،  $N/P$  و ...) به جای غلظت هر عنصر غذایی ( $N$ ،  $P$ ،  $K$  و ...)، امر تشخیص و توصیه کودی در هر مرحله از رشد در گیاهان یکساله و چندساله امکانپذیر است. کارایی صحیح روش دریس نیز زمانی تحقق می یابد که کلیه عناصر غذایی مؤثر در رشد گیاه مورد استفاده قرار گیرند (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). لذا استفاده از این روش در مطالعه حاضر، که فقط غلظت فسفر تعیین شده است، ممکن نیست.

بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده و روند تغییرات فسفر در اندامهای مختلف گیاه سیب زمینی در منطقه مورد مطالعه (جدول ۴-۱۶ و ۴-۱۷)، می توان گفت که بطور کلی میزان فسفر گیاه در حد مطلوبی قرار دارد و از آنجا که فسفر جذب شده در درون گیاه پویا بوده و برای تأمین نیاز فیزیولوژیکی آن از اندامی به اندام دیگر حرکت می کند (Sanches, 2007)، لذا غلظت آن در اندامهای مختلف گیاه اندکی تفاوت نشان می دهد. لازم به ذکر است که در این تحقیق بین غلظت فسفر در گیاه و خاک رابطه معنی داری مشاهده نشد. زاهدی فر و همکاران (۱۳۹۰) نیز در مطالعات خود، بین غلظت و جذب فسفر و روی با فراهمی این عناصر در خاک در مراحل مختلف رشد گیاه گندم در شرایط مزرعه رابطه معنی داری مشاهده نکردند.

# فصل پنجم

## نتیجه گیری و پیشنهادات

## ۵-۱- نتیجه گیری

ارزیابی خاکهایی که به عنوان مخزن عناصر غذایی عمل می کنند، با اندازه گیری خصوصیات از خاک نظیر غلظت عناصر غذایی ضروری و pH انجام می گیرد. این خصوصیات در واقع توانایی خاک را در تأمین عناصر مورد نیاز گیاه نشان می دهند. با عنایت به نتایج بدست آمده از این تحقیق می توان چنین جمع بندی نمود که:

- خاکهای مورد مطالعه دارای دامنه گسترده ای از نظر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی می باشند. به طور کلی دامنه تغییرات درصد رس، سیلت و شن به ترتیب ۲۷/۷۵-۹/۷۵، ۶۳-۲۵/۵، ۵۸/۵-۱۵/۲۵ می باشد. بافت خاکها از لوم تا لوم شنی متغیر است. خاکهای مطالعه شده آهکی با دامنه pH بین ۷/۰۷-۸/۶۲ می باشند. دامنه تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی خاکها ۱/۷۷-۰/۳ دسی زیمنس بر متر، دامنه تغییرات کربن آلی ۳/۹۷-۰/۳۰ درصد و دامنه تغییرات پتاسیم قابل استفاده ۲۴۹/۲۱-۲۶۳۴/۸۹ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد.

- بیشترین میزان فسفر محلول مربوط به خاکهای سطحی نمونه برداری شده قبل از کشت محصول با میانگین ۴/۰۲ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان، مربوط به خاکهای زیرسطحی نمونه برداری شده بعد از کشت محصول با میانگین ۱/۸۴ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد و این کاهش از یک سو نشان دهنده جذب فسفر توسط گیاه و از طرفی حاکی از برقراری تعادل بین فسفر محلول با فسفر تبادلی است. همچنین میانگین فسفر محلول در خاکهای مورد مطالعه حاکی از پتانسل بالای این خاکها در تأمین نیاز گیاهان به فسفر برای تولید حداکثر محصول می باشد (مناسبترین غلظت برای اکثر محصولات زراعی ۰/۲ تا ۰/۳ میلی گرم در کیلوگرم شناخته شده است). بنابراین توصیه می شود از مصرف بیشتر کودهای فسفره جلوگیری شود.

- بررسی وضعیت پراکنش فسفر قابل استفاده در منطقه نیز نشان می دهد که مصرف بیش از نیاز کودهای شیمیایی فسفاته و کودهای آلی دارای فسفر بالا مانند کود مرغی در سالهای گذشته به نحوی بوده که موجب تجمع بیش از حد فسفر در لایه های خاک گردیده است به طوری که از

حداقل ۱۴/۷۷ تا حداکثر ۶۸/۷۷ میلی گرم در کیلوگرم در تغییر می باشد. در حالی که حد بحرانی فسفر قابل استفاده برای سیب زمینی از سوی مؤسسه تحقیقات خاک و آب ۱۰ تا ۱۲ میلی گرم در کیلوگرم خاک تعیین شده است.

- مقدار EC، پتاسیم قابل استفاده، فسفر محلول و فسفر قابل استفاده، در خاکهای سطحی بیشتر از خاکهای زیر سطحی است اما در مورد pH عکس این موضوع صادق است.

- بر خلاف pH و فسفر محلول، میزان کربن آلی، پتاسیم قابل استفاده، فسفر قابل استفاده در نمونه های بعد از کشت محصول بیشتر از نمونه های قبل از کشت محصول است. این نتایج نشان می دهد که احتمال افزودن کودهای آلی، نظیر کودهای دامی، در خاک زیاد می باشد. همبستگی بالای مواد آلی با پتاسیم قابل استفاده، فسفر محلول و فسفر قابل استفاده نیز بیانگر این نکته است که به خاکها کود آلی داده شده است.

- حلالیت و قابلیت جذب فسفر تابع عوامل بسیار متعددی است که آثار این عوامل همیشه توأم می باشند به طوریکه امکان مطالعه جداگانه آنها بسیار ضعیف است. عواملی مانند pH خاک، کربنات کلسیم، ماده آلی و بافت خاک در بقای فسفر باقی مانده و میزان بازپایی آن مؤثر است.

- بررسی ماتریکس همبستگی خصوصیات خاکها در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که، در اکثر خاکهای مورد مطالعه، بین فسفر محلول و pH همبستگی منفی و با EC همبستگی مثبت وجود دارد. لذا فسفر محلول در مقایسه با فسفر قابل استفاده، بیشتر تحت تأثیر پارامترهای شیمیایی مانند EC و pH قرار می گیرد.

- یافته های متفاوت در مورد همبستگی فسفر محلول و قابل استفاده با کربنات کلسیم در خاکهای مورد مطالعه، نشان دهنده تأثیر اندازه ذرات کربنات کلسیم در ترکیب با فسفر خاک است نه مقدار کل  $\text{CaCO}_3$ .

- همبستگی مثبت و معنی داری که بین فسفر محلول و قابل استفاده با کربن آلی در خاکهای نمونه برداری شده بعد از کشت محصول، مشاهده گردید، نقش مهم ماده آلی را در فراهمی فسفر گیاه

اثبات می کند.

- در مطالعه حاضر بین فسفر قابل استفاده با شن همبستگی منفی و با سیلت همبستگی مثبت معنی داری مشاهده شد. فسفر قابل استفاده نیز هیچ گونه همبستگی با رس نشان نداد. با توجه به اینکه بافت خاکها در منطقه مورد عمدتاً لوم تا لوم شنی هستند، این نتایج دور از انتظار نیست.
- با توجه به غلظت نسبتاً بالای فسفر محلول در خاکهای منطقه و اینکه حد آستانه ایجاد پدیده اوتریفیکاسیون ۰/۰۱-۰/۰۲ میلی گرم در لیتر می باشد، احتمال آلودگی آبهای سطحی و زیر سطحی بسیار زیاد می باشد.
- مقدار فسفر در غده ها بین ۰/۰۵ تا ۰/۴۶ با میانگین ۰/۲۲ درصد، در ریشه بین ۰/۰۲ تا ۰/۴۸ با میانگین ۰/۳۰ درصد و در اندامهای هوایی از حداقل ۰/۰۲ تا ۰/۵ با میانگین ۰/۲۴ تغییر می کند که نشان دهنده تجمع فسفر در غده ها بیشتر از حد مطلوب می باشد.

## ۵-۲- پیشنهادات

- توصیه می شود از کاربرد کودهای فسفره در اراضی این شهر حداقل برای مدت ۲-۳ سال اجتناب نمود و پس از طی این مدت با آنالیز مجدد خاک میزان این عنصر را در خاک کنترل و در صورتیکه میزان آن به زیر ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک تنزل یافت، اقدام به مصرف بهینه فسفر بر اساس توصیه کودی منطقه نمود. همچنین با توجه به غلظت بسیار زیاد فسفر قابل استفاده در خاکهای منطقه، بررسی وضعیت میزان آلودگی محصولات مورد کشت در این اراضی به عناصر سنگین به ویژه کادمیوم و سرب ضروری است.
- با توجه به pH نسبتاً بالا و حضور مقادیر بسیار زیاد کربنات کلسیم در خاکهای مورد مطالعه، بررسی وضعیت جذب آهن، روی، منگنز و بور توسط گیاه نیز ضروری است تا با مصرف متعادل کودهای ماکرو و میکرو، علاوه بر افزایش عملکرد و بهبود کیفیت، غنی سازی غده های سیب زمینی انجام شود.

- استفاده از گوگرد به همراه تیوباسیلوس و کود دامی، به منظور کاهش موضعی اسیدیته خاک در محیط اطراف ریشه و تعدیل محدودیت ناشی از بالا بودن pH، پیشنهاد می شود.
- با توجه به نقش مواد آلی در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاکها و تأثیر آن در افزایش کمی و کیفی محصولات مختلف، لازم است نسبت به افزایش آن در خاکهای زیر کشت سیب زمینی اقدام کرد تا از مصرف بیش از حد کودهای ازته و فسفات کاسته شود.
- با توجه به اینکه حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده برای سیب زمینی حدود ۴۵۰ میلی گرم در کیلوگرم پیشنهاد می شود، بررسی وضعیت پتاسیم قابل استفاده در مزارع نشان می دهد که مقدار این عنصر در برخی مزارع کم و در برخی دیگر بسیار زیاد می باشد. بالا بودن غلظت پتاسیم قابل جذب گیاه در خاک نیز می تواند در دراز مدت باعث شوری خاک شده و این امر با توجه به حساس بودن گیاه سیب زمینی به شوری می تواند ایجاد مشکل نماید. بنابراین توصیه می شود از مصرف کودهای حاوی این عنصر در مناطقی که عناصر در محدوده کمبود قرار ندارند اجتناب شود.
- نقشه های حاصلخیزی می توانند مرجع مناسبی برای توصیه کودی مناطق دارای چنین نقشه هایی باشند. نقشه های حاصلخیزی خاک یک منطقه کشاورزی امکان توصیه مقدار کودهای شیمیایی مورد نیاز را بر پایه تغییرات ساختار مکانی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه برای آن منطقه فراهم می آورد. امروزه نمونه برداری مرتب از خاک، بررسی میزان تغییر پذیری مکانی عناصر و بکارگیری نقشه های حاصلخیزی، در مدیریت حاصلخیزی خاک نقش مهمی دارد.
- زمین آمار می تواند جهت تخمین مقادیر عناصر خاک در نقاط مجهول و تهیه نقشه خاک بکار گرفته شود.
- همانند دیگر روش های تجزیه و تحلیل آماری، زمین آمار نیز دارای نقاط قوت زیاد کاربردی و در عین حال دارای نقاط ضعف چندی است. اگر چه روش های زمین آماری مستقل از مقیاس بوده و بسط آنها به نواحی بزرگتر باعث باطل نمودن فرضیات آن نمی شود، لیکن باید به این نکته توجه داشت که تغییرات مورد نظر را بایستی با توجه به مقیاس مطالعاتی تفسیر نمود و بسته به مقیاس

مطالعاتی، آنها را به ابعاد منطقه ای و یا موضعی مرتبط کرد. در عین حال تجارب نشان داده که با بسط ناحیه مطالعاتی، مطالعه سودمندی و کاربری این روش ها کاهش می یابد.

- روش های ژئواستاتیسٹیک همیشه متقاضی دادهای نسبتاً زیاد هستند، بدیهی است اگر هدف دستیابی به نتایج دقیق تر و مورد اعتماد است، هزینه مالی و زمانی متناسب با آن را باید پرداخت کرد.

## منابع و مآخذ

- آجودان زاده م، (۱۳۸۴)، پایان نامه ارشد: "اثرات موادآلی با کیفیت و مقادیر مختلف بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و عملکرد سیب زمینی"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.
- احمدزاده آ، محمدی قهساره ا. و ایرانی پور ر، (۱۳۸۸)، "تأثیر مصرف همزمان سوپر فسفات تریپل و پودر سنگ فسفات بر عملکرد خشک و قابلیت جذب فسفر در یونجه همدانی"، مجله پژوهش در علوم کشاورزی، جلد ۵، شماره ۱، ص ۱۹-۱۳
- ارشدی م.ج، خزاعی ح.ر، نصیری محلاتی م. و عاقلی ا، (۱۳۸۹)، "اثرات برخی صفات مهم زراعی بر عملکرد سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) و امکان تعیین زمان نیاز گیاه سیب زمینی به کود نیتروژن با استفاده از دستگاه کلروفیل متر"، نشریه بوم شناسی کشاورزی، جلد ۲، شماره ۱، ص ۱۲۸-۱۱۹
- اصغر زاده ا، ملکوتی م.ج، بهرامی ح.ع. و ابراهیمی س، (۱۳۸۴)، "ماده آلی و نقش آن در اصلاح خصوصیات خاکهای کشور"، ص ۲۵۸-۲۱۳، (خاکهای ایران (تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری مؤسسه تحقیقات خاک و آب)، چاپ اول، بنایی م.ج، مؤمنی ع، بایوردی م. و ملکوتی م.ج، انتشارات سنا، تهران.
- اصغری ح.ر، (۱۳۸۶)، "بررسی تاثیر کودهای شیمیایی فسفره بر نقش قارچ های میکوریزا در پایداری ساختمان خاک"، مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۶۱-۶۰، کرج
- افشار ح، صالحی م.ج، محمدی ج. و محنت کش ع.م، (۱۳۸۸)، "تغییرپذیری مکانی ویژگی های خاک و عملکرد گندم آبی در یک نقشه تناسب کمی (مطالعه ی موردی: منطقه شهرکیان، استان چهار محال و بختیاری)"، مجله علوم خاک و آب (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۱، ص ۱۷۲-۱۶۱
- ایوبی ش، خرمالی ف، (۱۳۸۷)، "تغییرپذیری مکانی عناصر غذایی قابل استفاده در خاک سطحی به کمک آنالیز مؤلفه های اصلی و تکنیک زمین آمار (مطالعه موردی در منطقه آپایپولی، ایالت آندراپرادش هند)"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۶ (ب)، ص ۶۲۰-۶۰۹
- باغانی ج، (۱۳۸۸)، "آرایش کاشت و مقادیر آب در زراعت سیب زمینی با آبیاری قطره ای در مشهد"، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۱، ص ۱۵۳-۱۵۹
- بایوردی ا، ملکوتی م.ج، (۱۳۸۳)، "تأثیر سطوح مختلف عناصر فسفر و روی بر میزان کادمیوم در دورقم سیب زمینی در سراب آذربایجان شرقی"، ص ۳۰۹-۲۹۵، (مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی (مجموعه مقالات))، چاپ اول، ملکوتی م.ج، بلالی م.ر، نشر آموزش کشاورزی، کرج.
- بوهن م. و اوکانر م، (۱۳۸۶)، "شیمی خاک"، ترجمه مجللی ح. و کریمزاده م، چاپ چهاردهم، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- بی نام، (۱۳۸۷)، "۲۰۰۸، سال سیب زمینی"، مجله دام و کشت و صنعت، شماره ۱۹۴، ص ۶۸

بیابانکی ف. و حسین پور ع، (۱۳۸۶)، "سینتیک آزاد شدن فسفر و همبستگی ضرایب مدل های سینتیک با برخی ویژگیهای خاک و شاخص های گیاهی در تعدادی از خاکهای همدان"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۲ (ب)، ص ۵۰۳-۴۹۱

توجه م، یثربی ج. و علما و، (۱۳۸۸)، "تاثیر فسفر بر غلظت و مقدار کل اسید فیتیک در دانه سبوس دار در پنج رقم گندم"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۸۲۷-۸۲۵، گرگان.

توحیدی نیا م.ع، (۱۳۸۸)، پایان نامه ارشد: "مطالعه سود مندی نسبی استفاده از منابع و مقادیر مختلف مصرف فسفر در زراعت ذرت (Zea mays L.)"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

توسلی ع، بشارتی ه، رجالی ف. و خاوازی ک، (۱۳۸۳)، "بررسی اثرات مصرف کودهای فسفاته، گوگرد و مایه تلقیح باکتری های تیوباسیلوس بر درصد کلونیزایی قارچهای میکوریز در ذرت"، ص ۳۷-۲۳، (مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی (مجموعه مقالات))، چاپ اول، ملکوتی م.ج و بلالی م.ر، نشر آموزش کشاورزی، کرج.

تیسدل س، نلسون و، (۱۳۷۰)، "کود ها و حاصلخیزی خاک"، ترجمه ملکوتی م.ج. و ریاضی همدانی ع، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران

ثوابی غ.م، ملکوتی م.ج، (۱۳۷۹)، "بررسی نقش روی در کاهش اثرات سوء کادمیوم بر عملکرد و کیفیت دانه گندم"، مجله علمی پژوهشی خاک و آب (ویژه نامه کشاورزی پایدار)، جلد ۱۲، شماره ۹، ص ۷۵-۶۶.

جعفری ا، (۱۳۸۳)، پایان نامه ارشد: "سینتیک رهاسازی و جذب فسفر خاک و ارتباط آن با رشد گیاه در چهار ردیف ارضی از مناطق اصفهان و چهارمحال و بختیاری"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

جعفری م، محمد عسگری ح، معظمی م، بی نیاز م. و طهمورث م، (۱۳۸۷)، "بررسی توزیع مکانی برخی از خصوصیات خاک با کاربرد روش های زمین آماری"، مجله پژوهش سازندگی در زراعت و باغبانی، ص ۱۸۵-۱۷۷

جلالی م، کلاه چی ز، (۱۳۸۴)، "فراهمی فسفر خاک در اثر افزودن مقادیر مختلف کود فسفوری در خاک های استان همدان"، مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۹، شماره یک، ص ۵۹

جوانمرد ا، (۱۳۸۳)، "مطالعه قابلیت جذب فسفر در خاکهای تیمار شده با مواد آلی مختلف"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

چاکرالاحسینی م.ر، رونقی ع.م، مفتون م. و کریمیان ن.ج، (۱۳۸۱)، "پاسخ سویا به کاربرد آهن و فسفر در یک خاک آهکی"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۴، شماره ۴، ص ۹۱-۱۰۱

حبیبی ا، لطف الهی م، گیتی ع.ل، غیبی م.ن، (۱۳۸۸)، "بررسی اثرات اصلی و متقابل روی و فسفر و بذور غنی شده با روی بر غلظت روی در دانه گندم"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۷۷۶-۷۷۴، گرگان

حجازی مهریزی م، (۱۳۸۴)، پایان نامه ارشد: "تأثیر استفاده از کودهای آلی و شیمیایی بر شکلهای فسفر در یک خاک آهکی"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

حسین پور ع، (۱۳۸۷)، "شیمی و حاصلخیزی خاک"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران، ۲۳۰ صفحه

- خورشید م، حسین پور ع.ل. و اوستان ش، (۱۳۸۷)، "تأثیر لجن فاضلاب بر جذب فسفر و فسفر قابل استفاده در برخی از خاکهای آهکی"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۶ (ب)، ص ۸۰۱-۷۹۱
- خوشگفتارمنش ا.ح، (۱۳۸۶)، "مبانی تغذیه گیاه"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۴۶۲ صفحه
- دورودیان ح.ر، بشارتی کلایه ح، فلاح نصرت آباد ع.ر، حیدری شریف آباد ح، درویش ف، اله وردی ع، (۱۳۸۹)، "بررسی امکان تغییر فسفر قابل جذب خاکهای آهکی و اثر آن بر عملکرد ذرت"، مجله دانش نوین کشاورزی، سال ۶، شماره ۱۸، ص ۲۷-۳۵
- دهقان ر، (۱۳۸۲)، پایان نامه ارشد: "بررسی وضعیت فسفر در برخی خاکهای مناطق اصفهان و شهرکرد"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- دی فوٹ ه. و الیس ب، (۱۳۷۶)، "حاصلخیزی خاک"، ترجمه نوربخش ف. و کریمیان اقبال م، انتشارات غزل، اصفهان.
- دیانی، محمود، محمدی، جهانگرد و نادری، مهدی، (۱۳۸۸)، "تجزیه و تحلیل زمین آماری غلظت سرب، روی و کادمیم در خاکهای حومه سپاهانشهر واقع در جنوب اصفهان"، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۴، ۶۷-۶۷
- ذوالفقاری م، بابالار م، نادری ر. و عسگری م.ع، (۱۳۸۸)، "سنگهای فسفات ایران و جایگزینی آنها به عنوان کودهای فسفاته در کشت زئوپونیک"، مجله به زراعی نهال وبذر، جلد ۲-۲۵، شماره ۴، ص ۴۱۴-۴۰۳
- رحمانی ب، احمدالی خ، پارسی نژاد، م و نیک مهر، س، (۱۳۸۸). "استفاده از نظریه ژئواستاتیک در تهیه نقشه حاصلخیزی (مطالعه موردی منطقه بوکان)"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان، ۸۱۹-۸۱۷
- رضائی م. و موحدی نائینی ع.ل، (۱۳۸۸)، "سینتیک جذب و رهاسازی فسفر در خاک رسی ایلاتی، زئولیت و اختلاط آنها"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان، ص ۲۴۳۰-۲۴۲۸
- رضایی م، دواتگر ن، تاجداری خ. و ابولپور ب، (۱۳۸۹)، "بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص های کیفی آبهای زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار"، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۵، ص ۹۴۱-۹۳۲
- رنجبر ر، (۱۳۸۰)، پایان نامه ارشد: "بررسی تاثیر منابع و مقادیر کود های پتاسیمی بر عملکرد و کیفیت سیب زمینی در خاک های آهکی آذربایجان شرقی"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- رونقی ع، ادهمی ا. و کریمیان ن.ع، (۱۳۸۱)، "تأثیر فسفر و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ششم، شماره ۱، ص ۱۱۸-۱۰۵
- زاهدی فر م، کریمیان ن.ج، رونقی ع، یثربی ج. و امام ی، (۱۳۹۰)، "توزیع فسفر و روی در اندام ها و در مراحل مختلف رشد گندم در مزرعه"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۳، ص ۴۴۵-۴۳۶
- زلفی باورینی م. و نوروزی م، (۱۳۸۹)، "تأثیر ماده آلی بر بازیابی فسفر باقی مانده در یک خاک آهکی"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۴، شماره ۵۲

- سالاردینی ع، (۱۳۷۴)، "حاصلخیزی خاک"، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- سالاردینی ع، (۱۳۸۸)، "حاصلخیزی خاک"، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- سپهری م، صالح راستین ن، اسدی رحمانی ه. و علیخانی ح.ع، (۱۳۸۵)، "اثرات آلودگی خاک به کادمیوم بر توان گره زایی و تثبیت نیتروژن سویه های بومی سینوریزوبیوم ملیوتی (*Sinorhizobium meliloti*)"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره ۱، ص ۱۶۲-۱۵۳.
- سکوتی اسکوتی ر، مهدیان م.ح و مسیح آبادی م.ح، (۱۳۸۹)، "ارزیابی تغییرات مکانی عناصر غذایی پر مصرف ازت، فسفر و پتاسیم به منظور مدیریت مصرف کود در خاک"، مجله پژوهشهای آبخیزداری (پژوهش وسازندگی)، شماره ۸۷، ص ۱۱-۱۲.
- سکوتی اسکوتی، ر. و قائمیان، ن، (۱۳۸۸)، "کاربرد زمین آمار برای مدیریت تغذیه گیاه، مطالعه موردی دشت ارومیه"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان، ۷۹۸-۷۹۶.
- سلیمانی درچه ا، (۱۳۷۳)، پایان نامه ارشد: "بررسی جذب و رهاسازی فسفر در تعدادی از خاکهای استان تهران"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- سماواتی م. و حسین پور ع.ر، (۱۳۹۰)، "اجزای مختلف فسفر معدنی و قابلیت فراهمی آن در تعدادی از خاکهای استان همدان"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۵، شماره ۵۵، ص ۱۳۷-۱۲۷.
- طهماسبی ف. و حسین پور ع.ل، (۱۳۸۶)، "سینتیک تغییرات فسفر قابل استخراج در تعدادی از خاک های همدان"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴۲ (ب)، ص ۴۸۸-۴۷۵.
- عباسپور ع، (۱۳۷۹)، پایان نامه ارشد: "بررسی اثر کاربرد لجن کنورتور به عنوان کود آهن و ماده بهساز در خاکهای آهکی و اسیدی"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- عطاردی ب، (۱۳۸۴)، پایان نامه ارشد: "حد بحرانی فسفر برای سورگوم به وسیله عصاره گیرهای متفاوت و شکلهای شیمیایی فسفر در خاکهای منطقه بیرجند"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
- علی احيائي، م. و بهبهانی زاده، ع. ا، (۱۳۷۳)، "شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک (جلد اول)"، نشریه فنی شماره ۸۹۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
- علیزاده ا، (۱۳۸۳)، "فیزیک خاک"، چاپ اول، دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، ۴۳۸ صفحه.
- علیزاده غ.ل، محمودی م. و شهابیان م، (۱۳۸۸)، "بررسی روند تغییرات ریزمغذیها (روی مس منگنز و آهن) در خاکهای تحت کشت پنبه در مازندران"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان،
- فاتحی ش، نعمتی ع. و قادری ج، (۱۳۸۸)، "تهیه نقشه حاصلخیزی خاک ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام آباد غرب با استفاده از تکنیک زمین آمار"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان، ۱۲۴۴-۱۲۴۳.
- فاضلی سنگانی م، (۱۳۸۸)، پایان نامه ارشد: "بررسی تغییرات مکانی و پهنه بندی خصوصیات خاک با استفاده از زمین آمار"، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

فائزیا ف، اخیانی ا، گلزار ح.ر، (۱۳۸۷)، "بررسی مقدماتی وضعیت تغذیه ای مزارع سیب زمینی منطقه مجن"، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان، شاهرود

فرج نیا ا، بایبوردی ا. و کلانتری ع، (۱۳۸۷)، "بکارگیری سامانه های اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه آلودگی خاک های شهرستان مراغه به فسفر"، دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.

فرزانه ق، (۱۳۸۲)، پایان نامه ارشد: "تعیین ضرائب بافری فسفر و همبستگی آن با خصوصیات خاک و شاخصهای گیاهی در شماری از خاکهای همدان"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

فرزانه ن، گلچین ا. و هاشمی مجد ک، (۱۳۸۸)، "تاثیر سطوح مختلف نیتروژن و بور بر عملکرد گوجه فرنگی در محیط کشت پرلیت"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۱۱۹۵-۱۱۹۴، گرگان.

فرشادی راد ا، دودی پور ا، (۱۳۸۸)، "تعیین حد بحرانی فسفر برای گندم و بررسی پاسخ آن به کود سوپرفسفات تریپل در تعدادی از خاکهای لسی استان گلستان"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۱۰۷۹-۱۰۷۷، گرگان.

قربان زاده ن، حق نیا غ.ل، لکزیان ا. و فتوت ا، (۱۳۸۸)، "فراهمی فسفر در یک خاک غنی شده با پودر استخوان"، مجله پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۳، شماره ۱، ص ۶۹-۷۷

کشاورز پ، ملکوتی م.ج. و همایی م، (۱۳۸۴)، "مدیریت حاصلخیزی خاکهای شور"، ص ۳۷۱-۳۴۵، (خاکهای ایران (تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری مؤسسه تحقیقات خاک و آب))، چاپ اول، بنایی م.ج، مؤمنی ع، بای بوردی م. و ملکوتی م.ج، انتشارات سنا، تهران.

کوچک زاده ی، ملکوتی م.ج. و خاوازی ک، (۱۳۸۴)، "نقش گوگرد، تیوباسیلوسس، حل کننده های فسفات در مواد آلی در تأمین فسفر مورد نیاز ذرت از خاک فسفات"، ص ۲۳۲-۲۲۳، (ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور) (مجموعه مقالات چاپ دوم با بازنگری بنیادی)، چاپ اول، خاوازی ک، اسدی رحمانی ه. و ملکوتی م.ج، انتشارات سنا، تهران.

کمکلائی ف، هاشمی مجد ک، محمدیان م، قربانی ا. و خیری ی، (۱۳۸۸)، "بررسی انواع مختلف کودهای فسفات و سطوح آن بر ارتفاع، عملکرد و اجزاء آن در ارقام گیاه برنج (*Oryza sativa* L.)"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۱۱۰۱-۱۱۰۰، گرگان

گراوند م، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد: "ارزیابی آلودگی طبیعی فلزات سنگین در خاکهای حاصل از شیبستهای گرگان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

لغوی م، (۱۳۸۲)، "راهنمای کشاورزی دقیق برای متخصصین کشاورزی"، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، تهران، ۲۹۶ صفحه

محمد زمانی س، ایوبی ش. و خرمالی ف، (۱۳۸۶)، "بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک و عملکرد گندم در بخشی از اراضی زراعی سرخنگلاته، استان گلستان"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴۰ (الف)، ص ۷۹-۹۱

محمد عسگری ح، (۱۳۸۶)، پایان نامه ارشد: "بررسی تغییرات مکانی برخی از خصوصیات خاک با استفاده از زمین آمار و سنجش از دور"، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

محمدی آریا م، لکزیان ا. و حق نیا غ.ج، (۱۳۸۹)، "تأثیر مایه تلقیحی حاوی باکتری تیو باسیلوس و قارچ آسپرژیلوس بر رشد گیاه ذرت"، نشریه پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۸، شماره ۱، ص ۸۹-۸۲

مطلبی فرد ر. و یزدان پناه ع.ر، (۱۳۸۶)، "بررسی راندمان جذب کود روی در شرایط متغیر فسفر و تاثیر آن بر عملکرد و کیفیت سیب زمینی"، مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۴۵۸، کرج.

ملکوتی م.ج. و غیبی م.ن، (۱۳۷۹)، "تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک"، چاپ دوم، نشر آموزش کشاورزی، کرج.

ملکوتی م.ج. و نفیسی م، (۱۳۸۴)، "مدیریت حاصلخیزی خاک"، ص ۳۴۴-۳۱۶، ( خاکهای ایران (تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری مؤسسه تحقیقات خاک و آب) )، چاپ اول، بنایی م.ج، مؤمنی ع، بایوردی م، ملکوتی م.ج، انتشارات سنا، تهران.

ملکوتی م.ج. و همایی م، (۱۳۸۳)، "حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک «مشکلات و راه حلها»" چاپ دوم با بازنگری کامل، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، دفتر نشر آثار علمی، تهران. ۴۸۲ صفحه

ملکوتی م.ج، طباطبائی ج. و بایوردی ا، (۱۳۸۳)، "مصرف بهینه کود روشی مؤثر در افزایش عملکرد و کاهش غلظت نیتрат درغده های سیب زمینی"، ص ۲۹۴-۲۸۳، ( مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی (مجموعه مقالات) )، چاپ اول، ملکوتی م.ج و بلالی م.ر، نشر آموزش کشاورزی، کرج.

ملکوتی م.ج، بایوردی ا، بلالی م.ر، درودی م.س. و مجیدی ع، (۱۳۷۹)، "حد بحرانی عناصر غذایی در خاک و گیاه"، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره ۱۹۷.

مهدیان، م. ح، (۱۳۸۳)، "کاربرد زمین آمار در زهکشی"، سومین کارگاه فنی زهکشی، ۹۴-۷۵

مؤمنی ع، (۱۳۸۴)، "وسعت و پراکنش جغرافیایی خاکهای مسأله دار"، ص ۲۱۲-۲۰۰، ( خاکهای ایران (تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری مؤسسه تحقیقات خاک و آب) )، چاپ اول، بنایی م.ج، مؤمنی ع، بایوردی م. و ملکوتی م.ج، انتشارات سنا، تهران.

مؤمنی ع، رسولی م.ج، بایوردی م، ملکوتی م.ج، (۱۳۸۴)، "لزوم حفظ کیفیت و پایش منابع خاک کشور"، ص ۳۱۵-۲۸۸، ( خاکهای ایران (تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری مؤسسه تحقیقات خاک و آب) )، چاپ اول، بنایی م.ج، مؤمنی ع، بایوردی م. و ملکوتی م.ج، انتشارات سنا، تهران.

میرزا شاهی ک و سعادت س، (۱۳۸۹)، "تأثیر مواد آلی مختلف بر عملکرد کلزا و برخی خصوصیات خاک در شمال خوزستان"، مجله پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۴، شماره ۱، ص ۲۹-۲۱

نصرت پور س، اردلان م، فرج نیا ا. و اسمعیلی عوری ا. (۱۳۸۹). "بررسی توزیع مکانی برخی عناصر غذایی و عوامل مؤثر بر حاصلخیزی خاک در اراضی شهرستان مراغه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی"، مجله پژوهشهای آبخیزداری (پژوهش وسازندگی)، شماره ۸۷، ص ۱۹-۱

نظری زاده ف، صفری سنجانی ع. و مجبویی ع، (۱۳۸۲)، "بررسی س اختار مکانی و تعداد نمونه مورد نیاز در اندازه گیری فسفر و اسپورمیکوریزای آربوسکولار در دو کشت آبی و دییم خاکهای همدان"، مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، جلد اول، صفحه ۹۷-۹۵

نقی زاده اصل ز، دردی پور ا، قلی زاده ع. و کیانی ف، (۱۳۸۸)، "بررسی رابطه بین فسفر قابل جذب گیاه و برخی ویژگیهای خاک در خاکهای جنوب گرگان رود"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۱۴۸۹-۱۴۸۸، گرگان.

نمدمالیان ع، اخوت ز، مؤمن زاده م، (۱۳۷۷)، "فسفات در ایران".

نوری ا.ع. و ملکوتی م.ج، (۱۳۸۳)، "اثر کودهای پتاسیمی و سولفات روی در افزایش کمی و کیفی عملکرد و کاهش غلظت نیترات و کادمیوم در سیب زمینی زنجان"، ص ۳۱۱-۳۲۲، ( مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی (مجموعه مقالات) )، چاپ اول، ملکوتی م.ج و بلالی م.ر، نشر آموزش کشاورزی، کرج.

Acosta, J.A., Faz, A., Mrtinez, S. M., (2009), "**Identification of heavy metal sources by multivariable analysis in a typical Mediterranean city (SE Spain)**", Environ Monit Assess, DOI 10.1007/s10661-1194

Asghari, H. A., Marschner P., Smith, S. E. and Smith, F. A., (2005), "**Growth response of Atriplex nummularia to mycorrhizal inoculation at different salinity levels**", Plant and Soil, 273: 245-256.

Bakhieit-Said, M. and Dakermanji, H., (1993), "**Phosphate adsorption and desorption by calcareous soils of Syria. Commun**". Soil Sci. Plant Anal. 24 :197-210.

Barber, S. A., (1984), "**Soil Nutrient Bioavailability**", John Wiley & Sons Pub., New York.

Boanwn, L. C. and Legget G. E., (2001), "**Phosphorus and zinc concentrations in Russet burbank potato tissue in relation to development of zinc deficiency symptoms**", Soil Sci Am J 28:229- 232

Borlaug, N. E., Dowsell, C., (2000), "**Agriculture in the 21st Century: vision for research and development**", Ref <http://www.agbiowrld.org/biotech.info/borlaug/agriculture/html>

Bridgham, S. D., Johnston, C. A., Schubauer-Berigan J. P. and Weishampel, P., (2001), "**Phosphorus Sorption Dynamics in Soils and Coupling with Surface and Pore Water in Riverine Wetlands**", Soil Sci. Soc. Am. J. 65:577-588

Carreira, J. A., Vinegla, B., and Lajtha, K., (2006), "**Secondary CaCO<sub>3</sub> and precipitation of PCa compounds control the retention of soil P in and ecosystems**", Journal of Arid Environments. 64: 460-473.

Christensen, N. W. ana Jackson T. L., (1981), "**Potential for phosphorus toxicity in zinc-tressed corn and potato**", Soil Sci Soc Am J. 45:904-909

Ciampitti, I.A., García, F. O. Picone, L. I. Rubio. G., (2011), "**Phosphorus Budget and Soil Extractable Dynamics in Field Crop Rotations in Mollisols**", SSSAJ: V. 75, N. 1

Curtina, D. and Syers, J. K., (2009), "**Lime-Induced changes in Indices of Soil Phosphorus Availability**", pp1-18, (In: Soil Chemistry Nutrient and Water Management in Agricultural Soils), TVS Prasad.

Daugelene, N. and Butkute, R., (2008), "**Changes in Phosphorus and Potassium Contents in Soddy-Podzolic Soil under Pasture at the Long-Term Surface Application of Mineral Fertilizers**", Eurasian Soil Science 41(6):638–647

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

Duffera, M., White, J. G., Weisz, R., (2006), "**Spatial variability of southwestern U.S. Coastal plain soil physical properties**", Geoderma 128: 121-133.

Elwan, I. M., (1993), "**Response of nutrient status of plants in calcareous soils receiving Phosphorus fertilization and mycorrhiza**", Annala of Agricultural Science, 38(2): 841-849

Emsley, J., (2001), "**The Shocking History of Phosphorus: A Biography of the Devil's Element**", Pan Books, pp.336

Essington, M.E., (2003), "**Soil and Water Chemistry – An Integrative Approach**", CRC Press, 534p.

Evangelou, V.P., (1998), "**Enviromental soil and water chemistry. Principles and applications**", wiley, J. and sons, INC.

Fageria, N. K., (2009), "**The use of nutrients in plants**", Taylor & Francis Group, CRC Press, 430 p

Foth, H. D., and Ellis, B. G., (1996), "**Soil fertility**", Second edition, 290p

Gavito, M. E. and Miller, M. H., (1998), "**Early Phosphorus nutrients, mycorrhiza development, dry matter partitioning and yield of mize**", plant and soil, 199: 177-186

Ghassemi, F. A., Jakeman J., Nix, H. A., (1995), "**Salinization of land and waterresources**", Centrr for Research Environmental Studies. The Australian National University, Australia, 256p.

Goovaerts, P., (1998), "**Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties**", Biology and Fertility of Soils, 27:315–334

Grego, C. R., Vieria, S. R., Antonio, A. M., Rosa, S.C.D., (2006), "**Geostatical analysis for soil moisture the no tillage cropping system**", Sci, Agric, 63(4):341-350

Gutierrez-Boem, F.H. and Thumas G.W., (1998), "**Phosphorus nutrition effects wheatresponse to water deficit**", Agron, J. 90:166-171

Hapkins, B.G., Ellsworth, J.W., and Fonk, S., (2004), "**Phosphorus-zink intractions in potato production**", American journal of potato research, Vol. 2, No.3

Hasmadi Ismail, M., (2009), "**Determining and Mapping Soil Nutrient Content Using Geostatistical Technique in a Durian Orchard in Malaysia**", Journal of agriculture science, vol. 1. No.1

Hoffmann, C. C., Kjaergaard, C., Uusi-Kamppa, J., Bruun Hansen, H. C., and Kronvang, B., (2009), "**hosphorus Retention in Riparian Buffers: Review of Their Efficiency**", J. Environ Qual. 38:1942–1955

Hong-xia, Z., and Xiao-min, C., (2010), "**Spatial Variability of Soil Phosphorus based on geostatistics**", IEEE

Howard, A. E., Olson, B. M. and Cooke, S.E., (2006), "**Impact of Soil Phosphorus Loading on Water Quality in Alberta: A Review**", Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Alberta Soil Phosphorus Limits Project, 41p

Javid, S., and Rowell, D.L., (2002), "**A Laboratory study of the effect of time and temperature on the decline in Olsen P following phosphate addition to calcareous soils**", Soil use management, 18:127-134.

Jiachun, S., Hazian, W., Jianming X., Jinjun W., Xingmei L., Haiping Z., and Shunlan J. (2006), "**Spatial distribution of heavy metals in soil: A case study of Changng, China**", Environment al Geology Geol, 10:245-264.

Kamaruzaman, J. and Tamaluddin, S., (2001), "**Soil and Leaf Nutrient Spatial Variability of Coastal Oil Palm Plantation**", The Third International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, p151-158.

araman, M. R., Susam, T., Er, F., Yaprak, S. and Karkacier, O., (2009), "**Simulation of Organic Matter Variability on a Sugarbeet Field Using the Computer Based Geostatistical Methods**", World Academy of Science, Engineering and Technology 56:724-727

Klute, A., (1986), "**Method of soil analysis**", Part I., Chemical and microbiological methods, Madison, Wisconsin, USA.

Krishna, K. R., (2002), "**Soil fertility and crop production**", Published by Scienc Publishers Inc, Enfield, NH, USA, India, 465pp

Kronvang, B., Rubak, G. H., and Heckrath, G., (2009), "**International Phosphorus Workshop: Diff use Phosphorus Loss to Surface Water Bodies-Risk Assessment, Mitigation Options, and Ecological Eff ects in River Basins**", J. Environ. Qual. 38:1924–1929

Kuczak, C. N., Fernandes, E. C. M., Lehmann, J., Rondon M. A. and. Luoza, F. J., (2006), "**Inorganic and organic phosphorus pools in earth worm cats (Glossos-colecidue) and a Brazilian rainforest oxisol**". Soil Biology and Biochemistry, 38:553-560.

Legendre, P., Legendre, L., (1998), "**Numerical Ecology**". Elsevier, Amsterdam, 870pp.

Lopez-Granados, F., Jurado-Exposito, M., Atenciano, S., Garcia-Ferrer, A., De la Orden, M. S. and Garcia-Torres, L., (2002). "**Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain**". Plant and Soil 246:97-105

Maliwal, G. I. and Paliwal, K.V., (1971), "**Effect of manure and fertilization on the growth and chemical composition of pear millet irrigated with different qualities of water**", Indian. J. Agri. Sci., 41:136-142

Mandal, S., (2002). "**An inventory of current soil fertility status of Mahottary district, Nepa**". Available at URL:<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/sol/067.pdf>

Marschner, H., (1995), **"Mineral nutrition of higher plants"**, Second edition, Academic Press, London

McBratney, A. B. and R. Webster, (1983), **"Mapping soil fertility at Broom's Barn by simple kriging"**, J. Sci Food Agric, 38:97-115

Morghan, J. T. and Mascagni, H. J., (1991), **"Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicity's"**, pp. 317-325. (In: J. Mortvedt, et al. (eds.). Micronutrient in Agriculture), Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI

Moshi, A. O., Wild, A., Greenland, D. J., (1974), **"Effect of organic matter on the charge phosphate adsorption characteristics of Kikuyu red clay from Kenya"**. Geoderma, 11: 275-285

Mueller, T. G., Pusuluri, N. B., Mathias, K. K., Cornelius, P. L. and Barnhisel, R. I., (2004), **"Site-Specific Soil Fertility Management A Model for Map Quality"**, Published in Soil Sci. Soc. Am. J. 68:2031-2041

Najib, L. A. and Ramli, O., (1996), **"Suggested maturing schedule of rubber plantation for timber production"**, Planter, 72:483-500

Nayanaka, V. G. D, Vitharana, W. A. U., Mapa, R. B., (2010), **"Geostatistical Analysis of Soil Properties to Support Spatial Sampling in a Paddy Growing Alfisol"**, Tropical Agricultural Research, 22 (1): 34 - 44

Needelman, B.A., Gburek, W.J., Sharpley, A. N., Petersen, G. W., (2001), **"Environmental Management of Soil Phosphorus: Modeling Spatial Variability in Small Fields"**, Soil Sci. Soc. Am. J. 65:1516–1522

Ohno, T. and Crannell B. S., (1996), **"Green and animal manure-derived dissolved organic matter effects on phosphorus sorption"**. J. Environ. Qual. 25:1137-1143

Olsen, S. R., Watanabe, F.S., Cole, C. V., (1960), **" Phosphorus in calcareous soils as affected by natural salts"**. Tran. 7<sup>th</sup> .intern. Conger. Soil Sci., 2:397-403

Pena, F., Torrent, J., (1990). **"Predicting phosphate sorption in soils of Mediterranean Ferti"**, Res 23: 173-179.

Peterson, G. A., (1981), **"A new look at row and broadcast recommendation of winer weat"**, Agronomy Journal 73:407-417.

Prasad, R. and Power, J. F., (1997), **"Soil fertility management for sustainable agriculture"**, CRC , New York, 384 p.

Ramaekers, L., Remans, R., Rao, I. M., Blair, M. W., Vanderleyden J., (2010), **"Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants: Review"**, Field Crops Research, Elsevier, pp 1-8

Rayan, J., Curtin, D., Cheema, M. A., (1985), **"Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils"**, Soil Sci. Soc. Amer. J. 48:74-76.

Rees, R. M., Ball, B. C., Campbell, C. D. and Watson, C. A., ( 2001), **"Sustainable management of soil organic matter"**, British Society of Soil Science. CAB pub.

Riemersma, S., Little, J., Ontkian G., and Moskal-Hébert, Tanya., (2006), "**Phosphorus Sources and Sinks in Watersheds: A Review**", Alberta Soil Phosphorus Limits Project

Rodriguez, H. G., Popp, J., Gbur, E., Chaubey, I., (2011), "**Environmental and economic impacts of reducing total phosphorous runoff in an agricultural watershed**", Agricultural Systems, 104 :623–633

Rodriguez, J.A., Nanos, N., Grav J. M., and Gil, L., (2008), "**Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsolis**", Chemosphere, 70:1085-1096.

Rubio, G., Cabello, M. J., Gutiérrez Boem, F. H., (2008), "*Estimating Available Soil Phosphorus Increases after Phosphorus Additions in Mollisols*", Soil Sci. Soc. Am. J. 72:1721-1727

Ryan, P.R., Delhaize, E. and Jonse, D.L., (2001), "**Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots**", Plant Mol. Biol. 52:527-60

Samadi, A. and R. J. Gilkes, (1999), "**Phosphorus transformations and their relation ships with calcareous soil properties of south Western Australia**", Soil Sci. Soc. Am. J. 69: 809-815.

Sanches, C.A., (2007), "**Phosphorus**", pp51-82, (In: *Hand book of plant nutrition*), Barker A.V. and Pilbeam, D.J., Taylor and Francis Group.

Scott, J. T., Condrón. L. M., (2003), "**Dynamics and availability of phosphorus in the rhizosphere of a temperate silvopastoral syste**", Biol Fertil Soils 39:65–73

Shober, A. L., Sims, J. T., (2007), "**Integrating Phosphorus Source and Soil Properties into Risk Assessments for Phosphorus Loss**", SSSAJ, 71( 2):551-560

Sims, J. T., (2000), "**Soil Test Phosphorus: Olsen P**", pp5-9,( In *Methods for P Analysis*), Pierzynski (ed) G.M., North Carolina State University, 102p

Singh, B., Jones, P., (1976), "**Phosphorus sorption and dessorption characteristics of soil as affected by organic residues**", Soil Sci. Soc. Amer. J. 40:389-394.

Slansky, M., (1986), "**Geology of sedimentary phosphates**", Noth Oxford Academic, London, 210 P

Solomon, D., Lehman, J., Mamo, T., Fritzsche, F. and Zech, W., (2002), "**Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands**", Geoderma 50: 21-48.

Somani L. L. and Kanthaliya P.C., (2004), "**Soil and fertilizers at a glance**", first edition, Mrs.Geeta Somani Agrotech Publiching Academy, India

Stevenson F. J. and Cole, M. A., (1999), "**Cycles of Soil- Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients**", Second Edition, Wiley J. and sons, INC, Canada

Sui, Y. and Thompson, M. L., (2000), " **Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids-amended Mollisol**". Soil Science Society of America Journal, 64: 164-169.

Sys, C., Ranst, E.V., Debaveye, J., (1991), "**Land evaluation. Part 1: Principles hn land evaluation and crop production calculations**". Agricultural publ. no7, Ghent University, Belgium, 274 pp.

Vance, C. P., Uhde-Stone, C. and Allan, D. L., (2003), "**Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource**", *New Phytol*, 157:423–448.

Wang, H. T. , Jin, J. and Wang, B., (2006), "**Improvement of soil nutrient management via information technology**" .*Better crops*, vol. 90, No.3

Westermann , D. T., (2005), "**Nutration requirements of potatoes**", *Amer J of Potato Res* 82:3001-3007

Whalen, J. K. and Chang, C., (2002). "**Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years**", *Commun, Soil Sci, Plant Anal*, 33: 1011-1026

Xiang-wen, P., Wen-bin, L., Qiu-ying, Z., Yan-hua L., and Ming-shan L., (2008), "**Assessment on Phosphorus Efficiency Characteristics of Soybean Genotypes in Phosphorus-Deficient Soils**", *Agricultural Sciences in China* 7(8): 958-969

Yerokun, A. O., (2008), "**Chemical characteristics of phosphorus in some representative benchmark soils of Zambia**", *Geoderma*, 147:63-68

Yi-chang, W., You-lu, B., Ji-yun, J., Fang, Z, Li-ping, Z., and Xiao-qiang, L., (2009), "**Spatial Variability of Soil Chemical Properties in the Reclaiming Marine Foreland to Yellow Sea of China**", *Agricultural Sciences in China*, 8(9): 1103-1111

Zhang, F., Kang, S., Zhang, J., Zhang, R., and Li, F., ( 2004), "**Nitrogen fertilization on uptake of soil inorganic phosphorus fractions in the wheat root zone**", *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1890-1895.

Zhou, M. and Yuncong L., (2001), "**Phosphorus-Sorption Characteristics of Calcareous Soils and Limestone from the Southern Everglades and Adjacent Farmlands**", *Soc. Am. J.* 65:1404–1412

Ziadi N., Blanger G., Cambouris A. N., Tremblay N., Nolin M. C., and Claessense A., (2008), "**Relationship between phosphorus and nitrogen concentration in spring wheat**", *Agronomy Journal* 100(1): 80-86.

## Abstract

Potato (*Solanum tuberosum*) plays an important role in human nutrition due to high produce and an alternative for some grain such as wheat, rice, and its compatibility with different soils and climates. Phosphorus is one of the most important elements required for potato and after nitrogen and potassium, its proper application is necessary. On the other hand, the application of excessive phosphate fertilizers to create problems such as Poisoning Plant, imbalance in nutrient uptake, decrease in growth and yield, contamination of surface and subsurface waters and imbalance in biological of Soil. Therefore, due to the importance and positive and negative effects of phosphorus in plant nutrition and in human nutrition and health, this research was done to study the quantity of available and soluble phosphorus in soil. It was also performed for improvement and amendment of nutrition management and proper fertilizer recommendation and reduce environmental hazards that caused by use of excessive phosphate fertilizers in agricultural lands around Mojen city. It located 35 km from the Shahroud city. For this purpose, Soil samples were collected from 30 fields under cultivation of potato in two stages ( the first stage was before planting and the second stage was after the crop harvest). From each site, soil samples were collected from two depths: 0–25 and 25–50 cm, a total of 120 soil samples were collected and global position system (GPS) was used to determine the sampling locations. The soil samples were analyzed to measure for solution and available phosphorus and the amounts of pH, EC, K, %OC, CaCO<sub>3</sub>. Statistical evaluation was performed on all results and was used Pearson correlation method to investigate the correlation between variables. For geostatistical analyses the elements semivariograms were developed and then the suitable theory model fitted to the experimental semivariograms. The information generated from the fitted models were applied to make the use of ordinary kriging for estimating the value of elements in the unknown locations. All above mentioned steps were performed with GS+ software and preparing maps were carried in GIS environment. Spatial distribution map of factors was do basis on standards of research institute of soil and water.

The results showed that the soil samples had slightly high alkalinity, high calcium carbonate and Potassium available, relatively suitable organic carbon and very high available phosphorus concentrations. Therefore, in this study, it is suggested to avoid the application of phosphate fertilizers in lands around the city for at least 2 -3 Years.

**Key words:** potato, available phosphorus, soluble phosphorus, Mojen



Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

Department of Water and Soil

## **Evaluation of phosphorous availability in some potato fields of Mojen**

by

**Elham Mirbagheri**

Supervisor:

**Dr. A. Abbaspour**

Advisors:

**Dr. A. Rohani**

**Dr. H. Ghorbani**

February 2012