فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

مقدمه..... ۲

فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های انجام شده

۲-۱- شوری و سدیمی بودن..... ۶
۲-۲- ماده آلی..... ۷
۲-۳- آهک..... ۷
۲-۴- گچ..... ۸
۲-۵- زمین‌آمار..... ۸
۲-۵-۱- تئوری زمین‌آمار..... ۹
۲-۶- مطالعات تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های خاک..... ۹

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- معرفی منطقه..... ۱۴
۳-۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه..... ۱۴
۳-۱-۲- آب و هوای منطقه..... ۱۵
۳-۲- نمونه‌برداری..... ۱۷
۳-۳- تجزیه‌های آزمایشگاهی..... ۱۸
۳-۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها..... ۱۹
۳-۴-۱- توصیف آماری داده‌ها..... ۱۹
۳-۴-۲- تجزیه و تحلیل زمین‌آماری..... ۲۰

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- توصیف متغیرها..... ۲۲

۴-۱-۱- شوری..... ۲۸

۴-۱-۱-۱- شوری در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر..... ۲۸

۴-۱-۱-۲- شوری در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر..... ۳۶

۴-۱-۱-۳- مقایسه شوری در دوعمق مورد نظر..... ۳۹

۴-۱-۲- واکنش خاک (pH) ۳۹

۴-۱-۲-۱- واکنش خاک در عمق اول..... ۳۹

۴-۱-۲-۲- واکنش خاک در عمق دوم..... ۴۲

۴-۱-۲-۳- مقایسه واکنش خاک در دو عمق مورد نظر..... ۴۴

۴-۱-۳- نسبت جذب سدیم (SAR) ۴۵

۴-۱-۳-۱- نسبت جذب سدیم در عمق اول..... ۴۵

۴-۱-۳-۲- نسبت جذب سدیم در عمق دوم..... ۴۹

۴-۱-۳-۳- مقایسه نسبت جذب سدیم در دو عمق مورد نظر..... ۵۲

۴-۱-۴- ماده آلی..... ۵۲

۴-۱-۵- فسفر..... ۵۶

۴-۱-۶- پتاسیم..... ۶۲

۴-۱-۷- کربنات کلسیم معادل..... ۶۷

۴-۱-۸- گچ..... ۷۲

۴-۱-۹- درصد وزنی سنگریزه..... ۷۸

۴-۱-۱۰- درصد شن..... ۸۳

۴-۱-۱۱- درصد سیلت..... ۸۸

۴-۱-۱۲- درصد رس..... ۹۲

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۹۹
۵-۲- پیشنهادها..... ۱۰۰

منابع

منابع فارسی..... ۱۰۲
منابع لاتین..... ۱۰۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه..... ۱۶
شکل ۳-۲-شمایی از نقاط نمونه‌برداری در منطقه‌ی مورد مطالعه..... ۱۸
شکل ۴-۱- هیستوگرام داده‌های اولیه شوری در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر..... ۲۹
شکل ۴-۲- هیستوگرام شوری پس از تبدیل لگاریتمی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر..... ۲۹
شکل ۴-۳- واریوگرام سطحی شوری در عمق اول..... ۳۰
شکل ۴-۴- واریوگرام همه جهته‌ی شوری در عمق اول..... ۳۱
شکل ۴-۵- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی شوری خاک در عمق اول..... ۳۲
شکل ۴-۶- نمودار پراکندگی داده‌های واقعی شوری در برابر داده‌های تخمینی در عمق اول..... ۳۵
شکل ۴-۷- هیستوگرام داده‌های اولیه شوری در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر..... ۳۷
شکل ۴-۸- هیستوگرام داده‌های شوری پس از تبدیل لگاریتمی در عمق دوم..... ۳۷
شکل ۴-۹- واریوگرام همه جهته‌ی شوری در عمق دوم..... ۳۸
شکل ۴-۱۰- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی شوری در عمق دوم..... ۳۸
شکل ۴-۱۱- هیستوگرام داده‌های pH خاک در عمق اول..... ۴۰
شکل ۴-۱۲- واریوگرام همه جهته‌ی pH خاک در عمق اول..... ۴۱
شکل ۴-۱۳- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی pH خاک در عمق سطحی..... ۴۱
شکل ۴-۱۴- هیستوگرام داده‌های pH خاک در عمق دوم..... ۴۳
شکل ۴-۱۵- واریوگرام همه جهته‌ی pH خاک در عمق دوم..... ۴۳
شکل ۴-۱۶- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی pH خاک در عمق دوم..... ۴۴
شکل ۴-۱۷- هیستوگرام نسبت جذب سدیم در عمق اول..... ۴۵
شکل ۴-۱۸- واریوگرام همه جهته‌ی نسبت جذب سدیم در عمق اول..... ۴۶
شکل ۴-۱۹- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی نسبت جذب سدیم در عمق اول..... ۴۶
شکل ۴-۲۰- نمودار پراکندگی داده‌های اولیه شوری و نسبت جذب سدیم در عمق اول..... ۴۸

شکل ۴-۲۱- نمودار پراکندگی داده‌های جذر گرفته شده‌ی شوری و داده‌های لگاریتمی نسبت جذب سدیم در عمق اول..... ۴۸
شکل ۴-۲۲- هیستوگرام نسبت جذب سدیم در عمق دوم..... ۵۰
شکل ۴-۲۳- هیستوگرام نسبت جذب سدیم پس از تبدیل لگاریتمی در عمق دوم..... ۵۰
شکل ۴-۲۴- واریوگرام همه جهته‌ی نسبت جذب سدیم در عمق دوم..... ۵۱
شکل ۴-۲۵- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی نسبت جذب سدیم در عمق دوم..... ۵۱
شکل ۴-۲۶- هیستوگرام درصد ماده آلی در عمق اول..... ۵۳
شکل ۴-۲۷- هیستوگرام درصد ماده آلی در عمق دوم..... ۵۳
شکل ۴-۲۸- واریوگرام همه جهته‌ی ماده آلی در عمق اول..... ۵۴
شکل ۴-۲۹- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی ماده آلی در عمق اول..... ۵۴
شکل ۴-۳۰- واریوگرام همه جهته‌ی ماده آلی در عمق دوم..... ۵۵
شکل ۴-۳۱- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی ماده آلی در عمق دوم..... ۵۵
شکل ۴-۳۲- هیستوگرام فسفر در عمق اول..... ۵۷
شکل ۴-۳۳- هیستوگرام داده‌های اولیه فسفر در عمق دوم..... ۵۸
شکل ۴-۳۴- هیستوگرام فسفر پس از تبدیل لگاریتمی در عمق دوم..... ۵۸
شکل ۴-۳۵- واریوگرام همه جهته‌ی فسفر در عمق اول..... ۵۹
شکل ۴-۳۶- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی فسفر در عمق اول..... ۵۹
شکل ۴-۳۷- واریوگرام همه جهته‌ی فسفر در عمق دوم..... ۶۰
شکل ۴-۳۸- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی فسفر در عمق دوم..... ۶۱
شکل ۴-۳۹- هیستوگرام پتاسیم در عمق اول..... ۶۳
شکل ۴-۴۰- هیستوگرام پتاسیم در عمق دوم..... ۶۳
شکل ۴-۴۱- واریوگرام همه جهته‌ی پتاسیم در عمق اول..... ۶۴
شکل ۴-۴۲- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی پتاسیم در عمق اول..... ۶۴
شکل ۴-۴۳- واریوگرام همه جهته‌ی پتاسیم در عمق دوم..... ۶۵
شکل ۴-۴۴- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی پتاسیم در عمق دوم..... ۶۶
شکل ۴-۴۵-هیستوگرام کربنات کلسیم معادل در عمق اول..... ۶۸
شکل ۴-۴۶- هیستوگرام کربنات کلسیم معادل در عمق دوم..... ۶۸

شکل ۴-۴۷- واریوگرام همه جهته‌ی کربنات کلسیم معادل در عمق اول.....۶۹
شکل ۴-۴۸- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی کربنات کلسیم معادل در عمق اول.....۶۹
شکل ۴-۴۹- نمودار پراکندگی مقادیر تخمینی کربنات کلسیم در برابر مقادیر واقعی در عمق اول.....۷۰
شکل ۴-۵۰- واریوگرام همه جهته‌ی کربنات کلسیم معادل در عمق دوم.....۷۱
شکل ۴-۵۱- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی کربنات کلسیم معادل در عمق دوم.....۷۱
شکل ۴-۵۲- هیستوگرام داده‌های اولیه گچ در عمق اول.....۷۱
شکل ۴-۵۳- هیستوگرام گچ پس از تبدیل لگاریتمی در عمق اول.....۷۳
شکل ۴-۵۴- هیستوگرام داده‌های اولیه گچ در عمق دوم.....۷۴
شکل ۴-۵۵- هیستوگرام گچ پس از تبدیل لگاریتمی در عمق دوم.....۷۴
شکل ۴-۵۶- واریوگرام همه جهته‌ی گچ در عمق اول.....۷۵
شکل ۴-۵۷- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی گچ در عمق اول.....۷۵
شکل ۴-۵۸- واریوگرام همه جهته‌ی گچ در عمق دوم.....۷۶
شکل ۴-۵۹- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی گچ در عمق دوم.....۷۷
شکل ۴-۶۰- هیستوگرام درصد وزنی سنگریزه در عمق اول.....۷۹
شکل ۴-۶۱- هیستوگرام درصد وزنی سنگریزه در عمق دوم.....۷۹
شکل ۴-۶۲- واریوگرام همه جهته‌ی درصد وزنی سنگریزه در عمق اول.....۸۰
شکل ۴-۶۳- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی درصد وزنی سنگریزه در عمق اول.....۸۰
شکل ۴-۶۴- نمودار پراکندگی مقادیر تخمینی و مقادیر واقعی درصد وزنی سنگریزه در عمق اول.....۸۱
شکل ۴-۶۵- واریوگرام همه جهته‌ی درصد وزنی سنگریزه در عمق دوم.....۸۲
شکل ۴-۶۶- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی درصد وزنی سنگریزه در عمق دوم.....۸۲
شکل ۴-۶۷- هیستوگرام درصد شن در عمق اول.....۸۴
شکل ۴-۶۸- هیستوگرام درصد شن در عمق دوم.....۸۴
شکل ۴-۶۹- واریوگرام همه جهته‌ی درصد شن در عمق اول.....۸۵
شکل ۴-۷۰- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی درصد شن در عمق اول.....۸۵
شکل ۴-۷۱- واریوگرام همه جهته‌ی درصد شن در عمق دوم.....۸۶
شکل ۴-۷۲- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی درصد شن در عمق دوم.....۸۷
شکل ۴-۷۳- هیستوگرام درصد سیلت در عمق اول.....۸۸

شکل ۴-۷۴- هیستوگرام داده‌های اولیه درصد سیلت در عمق دوم.....۸۹
شکل ۴-۷۵- هیستوگرام درصد سیلت پس از تبدیل لگاریتمی در عمق دوم.....۸۹
شکل ۴-۷۶- واریوگرام همه جهته‌ی درصد سیلت در عمق اول.....۹۰
شکل ۴-۷۷- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی درصد سیلت در عمق اول.....۹۰
شکل ۴-۷۸- واریوگرام همه جهته‌ی درصد سیلت در عمق دوم.....۹۱
شکل ۴-۷۹- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی درصد سیلت در عمق دوم.....۹۱
شکل ۴-۸۰- هیستوگرام داده‌های اولیه درصد رس در عمق اول.....۹۳
شکل ۴-۸۱- هیستوگرام درصد رس پس از تبدیل لگاریتمی در عمق اول.....۹۳
شکل ۴-۸۲- هیستوگرام درصد رس در عمق دوم.....۹۴
شکل ۴-۸۳- واریوگرام همه جهته‌ی درصد رس در عمق اول.....۹۴
شکل ۴-۸۴- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی درصد رس در عمق اول.....۹۵
شکل ۴-۸۵- واریوگرام همه جهته‌ی درصد رس در عمق دوم.....۹۵
شکل ۴-۸۶- نقشه‌ی کریجینگ دو بعدی درصد رس در عمق دوم.....۹۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱- خلاصه‌ی آماری برخی ویژگی‌های خاک منطقه کوثرریز رفسنجان.....۲۳
جدول ۴-۲- مدل واریوگرام‌ها و پارامترهای آن برای ویژگی‌های مختلف خاک.....۲۶
جدول ۴-۳- آزمون کولموگروف- اسمیرنف مربوط به شوری خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر....۳۰
جدول ۴-۴- آزمون کولموگروف- اسمیرنف شوری خاک در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر.....۳۶
جدول ۴-۵- آزمون کولموگروف- اسمیرنف واکنش خاک در عمق اول.....۴۰
جدول ۴-۶- آزمون کولموگروف- اسمیرنف واکنش خاک در عمق دوم.....۴۲
جدول ۴-۷- آزمون کولموگروف- اسمیرنف نسبت جذب سدیم در عمق اول.....۴۵
جدول ۴-۸- آزمون کولموگروف- اسمیرنف نسبت جذب سدیم در عمق دوم.....۴۹
جدول ۴-۹- آزمون کولموگروف- اسمیرنف ماده آلی در دو عمق.....۵۲
جدول ۴-۱۰- آزمون کولموگروف- اسمیرنف فسفر در دو عمق.....۵۷
جدول ۴-۱۱-- آزمون کولموگروف- اسمیرنف پتاسیم در دو عمق.....۶۲
جدول ۴-۱۲- آزمون کولموگروف- اسمیرنف کربنات کلسیم معادل در دو عمق.....۶۷
جدول ۴-۱۳- آزمون کولموگروف- اسمیرنف گچ در دو عمق.....۷۲
جدول ۴-۱۴- آزمون کولموگروف- اسمیرنف درصد وزنی سنگریزه در دو عمق.....۷۸
جدول ۴-۱۵- آزمون کولموگروف- اسمیرنف درصد شن در دو عمق.....۸۳
جدول ۴-۱۶- آزمون کولموگروف- اسمیرنف درصد سیلت در دو عمق.....۸۸
جدول ۴-۱۷- آزمون کولموگروف- اسمیرنف درصد رس در دو عمق.....۹۲

فصل اول

مقدمه

فصل اول

کشاورزی پایدار، نیاز به دانش بنیادی در مورد تغییرات پارامترهای خاک دارد. زیرا پارامترهای خاک فقط در شرایط کنترل‌شده، بدون تغییر می‌باشند و یا به مقدار کم تغییر می‌کنند. بنابراین فقط در مدیریت‌های خاص و در فاصله‌های خیلی کم، پارامترهای خاک تغییر نمی‌کنند (پیرس و نوواک[1]، ۱۹۹۹). تغییرات مکانی خصوصیات خاک، یک موضوع اساسی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (اسچلسینگر[2] و همکاران، ۱۹۹۶). به‌طورمعمول، خصوصیات خاک از توزیع مکانی یکنواختی برخوردار نمی‌باشند. از این‌رو خصوصیاتی ازجمله مواد آلی، معدنی و عناصر غذایی قابل استفاده با تغییرات مکانی تغییر می‌کنند، این عدم توزیع یکنواخت، منعکس‌کننده فرآیندهایی است که در اکوسیستم خاک اتفاق می‌افتد و تغییرات مکانی خصوصیات خاک، اثر زیادی روی مدل‌های فیزیکی و تجربی دارد (لیو[3] و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین شناسایی تغییرات مکانی خاک برای فهم بهتر روابط پیچیده بین خصوصیات خاک و فاکتورهای محیطی ضروری است.

تغییر متغیرهای محیطی از نقطه‌ای به نقطه دیگر به گونه‌ای است که مطالعه‌ی آن به وسیله شیوه‌های معمول تجزیه و تحلیل آماری به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد. لیکن به لحاظ فهم بهتر ارتباطات پیچیده بین خصوصیات خاک و گیاه و نیز ارتباط این دو با پارامترهای محیطی، مشخص کردن تغییرپذیری مکانی صفات مورد ارزیابی، ضروری به نظر می‌رسد.

1. Pierse and Nowak
2. Schlesinger
3. Liu

به دلیل عدم امکان نمونه‌برداری در تمام منطقه‌ی مورد نظر که خود ناشی از عدم وجود امکانات آزمایشگاهی و گران بودن هزینه‌ی انجام آن می‌باشد، مطالعه‌ی تغییرات مکانی صفات در موقعیت‌های نمونه‌برداری نشده ضروری می‌باشد. آمار مکانی، فراهم‌آورنده‌ی چارچوبی نظری و کاربردی به‌منظور تجزیه و تحلیل مکانی داده‌ها است. این شاخه‌ی کاربردی از علم آمار، وظیفه توصیف، تخمین و پیش‌بینی، تفسیر و کنترل فرآیندها و متغیرهای مکانی را به‌عهده دارد. یکی از اهداف اصلی آمار مکانی، ارائه مدلی مناسب برای توصیف متغیر ناحیه‌ای، با درنظر گرفتن مؤلفه‌های تغییرپذیری ساختاری و تصادفی است. این بخش از آمار مکانی را ژئواستاتیستیک یا زمین‌آمار می‌نامند. بنابراین، انتخاب مدل مناسب و تعیین پارامترهای دقیق آن، از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است (محمدی، ۱۳۸۵).

روش‌های ژئواستاتیستک کلاسیک (کریجینگ[1]، واریوگرام[2] و غیره)، داده‌های مکانی مرتبط به‌هم را تخمین می‌زنند (رویل[3]، ۱۹۸۰). این علم با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده، قادر به ارائه‌ی مجموعه وسیعی از تخمینگرهای آماری به‌منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در نقاط نمونه‌برداری نشده می‌باشد (آدریانو[4]، ۱۹۸۶ و واریک و همکاران، ۱۹۸۶). این شاخه از علم آمار، یکی از دقیق‌ترین روش‌هایی است که علاوه بر توصیف تغییرات زمانی و مکانی داده‌ها، قادر به تهیه‌ی نقشه‌های پراکندگی متغیرهای محیطی با حداقل واریانس ممکن می‌باشد.

یکی از تکنیک‌های درون‌یابی زمین‌آماری، کریجینگ نامیده می‌شود. کریجینگ، یک تخمینگر زمین‌آماری می‌باشد که ماترون به افتخار دی. جی. کریج[5] (ابداع کننده‌ی این روش) این نام را بر آن نهاد. این تخمینگر به نام بلو[6] نیز خوانده می‌شود (به معنای بهترین تخمینگر خطی ناریب در مفهوم حداقل پراکندگی واریانس) (کردوانی، ۱۳۸۱).

شهرستان رفسنجان در حاشیه جنوبی کویر لوت و در شمال غربی استان کرمان واقع شده است و در حال حاضر، این منطقه به‌عنوان مهم‌ترین منطقه‌ی پسته‌کاری ایران و جهان محسوب می‌شود (محمدخانی، ۱۳۷۶؛ پناهی،۱۳۸۱). با توجه به آب و هوای خشک منطقه و هم‌چنین کمبود آب‌های با کیفیت مناسب، اراضی زیر کشت پسته دارای مشکلات اساسی از نظر شوری، کمبود و سمیت عناصر غذایی می‌باشند. با توجه به اهمیت اقتصادی پسته و سطح نسبتاً زیاد کشت این محصول در کشور، نیاز به پژوهش‌هایی برای بررسی وضعیت خصوصیاتی نظیر شوری، pH، SAR و ... می‌باشد.

---

1. Kriging
2. Variogram
3. Royel
4. Adriano
5. D. G. Krige
6. Best Liner Unbiased Estimator; BLUE

ارایه‌ی راه‌کارهای مدیریتی برای رفع مشکلات مناطق پسته‌کاری از نظر تولید محصول، نیاز به بررسی تغییرات مکانی این ویژگی‌ها دارد که با استفاده از علم زمین‌آمار، می‌توان اطلاعات پایه‌ای برای مدیریت این فاکتورها در منطقه را به‌دست آورد و بدین وسیله می‌توان به عملکرد بالاتر و بهتر دست یافت. در حقیقت، برای این‌که بتوان نسبت به رفع مشکلات خاک‌های این منطقه و ارایه‌ی روش‌های مدیریتی صحیح اقدام نمود، بایستی ابتدا مطالعات پایه‌ای انجام شود تا وضعیت خاک منطقه از نظر ویژگی‌های مهم و مؤثر بر رشد گیاه مشخص گردد و بر اساس آن‌ها بتوان مدیریت صحیحی را اعمال نمود. در این تحقیق ابتدا به بررسی تغییرات مکانی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه مورد مطالعه پرداخته خواهد شد و در نهایت با تهیه‌ی نقشه‌ی کریجینگ برای خصوصیات ذکر شده فوق، با یکدیگر مقایسه می‌شود.

فصل دوم

مروری بر پژوهش‌های انجام شده

فصل دوم

برخی پارامترهای خاکی مهم که روی رشد و عملکرد گیاه مؤثر بوده و از طریق ژئواستاتیستیک مورد بررسی قرار می‌گیرند، شامل: شوری، درصد سنگریزه، نسبت جذب سدیم (SAR)، مقدار ماده آلی، درصد شن، سیلت، رس، مقدار آهک و گچ می‌باشند.

۲-۱- شوری و سدیمی بودن

شوری، یکی از معضلات مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا و از مهم‌ترین مشکلات کشاورزان در ایران می‌باشد. به‌طور معمول، مشکل شوری در مناطقی با تبخیر زیاد و دمای بالا اتفاق می‌افتد (ملونی[1] و همکاران، ۲۰۰۱). شوری، برخی خصوصیات فیزیکی خاک از جمله مقاومت و استحکام ساختمان خاک، هدایت آبی، نفوذپذیری و فرسایش خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (جردان[2] و همکاران، ۲۰۰۴). بنابراین، بایستی توجه بیشتری به وضعیت شوری و درصد سدیم تبادلی در خاک داشت، زیرا نقش مهمی بر رشد و عملکرد گیاهان موجود در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایفا می‌کنند (جیانگ[3] و همکاران، ۲۰۰۳؛ جردان و همکاران، ۲۰۰۴)

1. Meloni
2. Jordan
3. Jiang

گونه‌های گیاهی مختلف، پاسخ‌های متفاوتی به شوری نشان می‌دهند که به طور معمول رشد، عملکرد، جذب عناصر غذایی و برخی خواص فیزیولوژیک، تحت تأثیر قرار می‌گیرند (شیبلی[1] و همکاران، ۲۰۰۰). تنش شوری، رشد گیاه را از طریق کمبود آب، سمیت یونی (نظیر کلر و سدیم)، عدم توازن یونی (برای مثال نسبت بالای Na/Ca) یا ترکیبی از این فاکتورها، محدود می‌کند (مارشنر[2]، ۱۹۹۵).

۲-۲- ماده آلی

مقدار ماده آلی، عامل مهمی در حاصلخیزی و کیفیت خاک (هونگ[3] و همکاران، ۲۰۰۷) و هم‌چنین نقش مهمی در چرخه کربن ایفا می‌نماید (لال[4] و همکاران، ۱۹۹۵). تعیین و توزیع مکانی ماده آلی برای ارزیابی خاک‌ها و فهم فرایندهای مربوط به کربن آلی اهمیت دارد (ونتریس[5]، ۲۰۰۴؛ ویی[6] و همکاران، ۲۰۰۶).

ماده آلی به‌طور معنی‌داری در زمان و مکان تغییر می‌کند و بستگی زیادی به فاکتورهای اقلیم، توپوگرافی، مدیریت خاک، محصول و سایر شرایط دارد. مواد مادری، اقلیم و زمان بر ذخیره‌ی ماده آلی در مقیاس‌های بزرگ، اثر دارند. توپوگرافی، نوع استفاده از خاک و نوع خاک، ممکن است توزیع ماده آلی را در مقیاس‌های کوچک، تحت تأثیر قرار دهند (سانفورد[7]، ۱۹۹۱).

۲-۳- آهک

اگرچه وجود کربنات کلسیم در خاک، سبب تشکیل خاکدانه و ایجاد ساختمان خاک مناسب می‌شود، ولی مقدار زیاد آن به دلیل ایجاد لایه‌های سخت و غیر قابل نفوذ در خاک و ایجاد ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در گیاه، سبب اختلال در رشد گیاه می‌شود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۱).

بیشتر خاک‌های ایران در گروه خاک‌های آهکی قرار می‌گیرند. یکی از دلایل اصلی بروز مشکلات تغذیه‌ای در باغ‌های میوه، وجود آهک فراوان در خاک است. در خاک‌هایی که مقدار آهک آن‌ها زیاد

1. Shibli
2. Marschner
3. Huang
4. Lal
5. Venteris
6. Wei
7. Sanford

است، قابلیت جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف، به‌خصوص آهن و روی، بسیار پایین می‌باشد، زیرا این خاک‌ها ظرفیت بالایی برای تثبیت عناصر مذکور دارند.

خوش‌گفتارمنش (۱۳۸۳) بیان کرد که با توجه به گسترش سازندهای آهکی و گچی در استان قم در لایه‌های زیرسطحی بسیاری از خاک‌های مناطق پسته‌کاری، لایه‌های سخت و غیر قابل نفوذ آهکی، گچی و یا رسی وجود دارند که مانعی جدی برای رشد و توسعه ریشه‌های درخت و نیز نفوذ عمقی آب محسوب می‌گردند. این عامل سبب می‌شود که بعد از گذشت چند سال از احداث باغ‌ها، ریشه به لایه‌های سخت و غیرقابل نفوذ برخورد و رشد بیشتر ریشه‌ها متوقف شود و همین عامل آسیب‌های زیادی به رشد و باروری درختان وارد می‌سازد.

۲-٤- گچ

گچ ماده‌ای است که به رنگ‌های سفید، شیری و یا زرد کمرنگ دیده می‌شود. خاک‌های نواحی خشک و نیمه‌خشک، به‌دلیل شستشوی کمتر، دارای گچ می‌باشند. وسعت خاک‌های گچی در ایران زیاد و مقدار آن در خاک، تحت تأثیر اقلیم و توپوگرافی است. حضور گچ در خاک مناطقی که بارندگی سالیانه کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر باشد، دیده می‌شود. در خاک اغلب باغ‌های پسته به‌دلیل حلالیت زیاد گچ و شسته شدن آن از پروفیل خاک، تجمع گچ دیده نمی‌شود؛ به‌جز در مواردی که گچ در یک افق خاص تجمع یافته باشد و به‌دلیل وجود سنگریزه، حالت سیمانی و سخت پیدا کرده باشد (صالحی، ۱۳۸۵).

۲-۵- زمین‌آمار

زمین‌آمار، شاخه‌ای از علم آمار کاربردی است و بیش از ۳۰ سال است که وارد علوم خاک شده است (آبرناتی[1]، ۲۰۰۱). این علم با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده، قادر به ارائه‌ی مجموعه‌ی وسیعی از تخمینگرهای آماری به‌منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در نقاط نمونه‌برداری نشده می‌باشد (آدریانو[2]، ۱۹۸۶). این علم هم‌چنین، یکی از دقیق‌ترین روش‌هایی است که علاوه بر توصیف تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها، قادر به تهیه‌ی نقشه‌های کمّی پراکندگی عناصر با حداقل واریانس ممکن می‌باشد.

1. Abernathy
2. Adriano

در آمار کلاسیک، برای برآورد مقادیر متغیر تصادفی و بسط و گسترش آن، موقعیت مکانی داده‌ها و جهت آن، مد نظر نمی‌باشد (مدنی، ۱۳۷۳)، ولی در زمین‌آمار، و تخمین‌های مربوط به آن، این دو فاکتور مورد توجه قرار می‌گیرند. یکی دیگر از ویژگی‌های زمین‌آمار این است که مقدار خطای تخمین را محاسبه نموده و هم‌چنین قادر است که مقدار خطای نمونه‌برداری و آماده‌سازی داده‌ها را محاسبه نماید و به این ترتیب شاخصی برای برآورد استحکام ساختار فضایی و ارتباط مکانی داده‌ها ارایه کند (عالمی و همکاران، ۱۹۸۰). از این تکنیک در سایر زمینه‌های کشاورزی و محیط زیست، به‌طور وسیع استفاده می‌شود.

۲-۵-۱- تئوری زمین‌آمار

در آمار کلاسیک، مقدار کمیت یک نمونه، هیچ‌گونه اطلاعاتی درباره‌ی مقدار آن کمیت در نمونه‌های دیگر به فواصل مختلف به‌دست نمی‌دهد. در حالی که در زمین‌آمار، علاوه بر مقدار کمیت یک نمونه، موقعیت فضایی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. بنابراین، می‌توان موقعیت فضایی نمونه‌ها را همراه با مقادیر کمیت مورد نظر تحلیل نمود. به عبارت دیگر، باید بتوان بین مقادیر مختلف یک کمیت در جامعه‌ی نمونه‌ها و فاصله و جهت قرارگیری نمونه‌ها نسبت به هم ارتباطی برقرار کرد (حسنی پاک، ۱۳۸۶). بنابراین در زمین‌آمار، به بررسی آن دسته از متغیرهایی پرداخته می‌شود که تغییرات ساختار مکانی از خود بروز دهند. بدین معنی که وجود ساختار مکانی، شرط اساسی برای استفاده از روش‌های زمین‌آماری است

۲-٦- مطالعات تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های خاک

اسفندیارپور و همکاران (۲۰۱۰) در بروجن، تغییرات مکانی درصد ماده آلی در افق A، ضخامت افق A، درصد رس، درصد سنگریزه و کربنات کل را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که با توجه به ضریب تغییرات (CV)، درصد رس، و کربنات کل و ضخامت افق A دارای تغییرپذیری متوسط و درصد سنگریزه و ماده آلی دارای تغییرپذیری زیاد می‌باشند. نتایج زمین آماری نشان داد که مدل واریوگرام‌ها برای تمامی پارامترها، مدل کروی بود. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نقشه‌های کریجینگ ماده آلی و ضخامت افق A به هم شباهت دارند و مقدار آن‌ها در قسمت‌های پست و مرطوب با پوشش علفی بیشتر، زیادتر است. نقشه‌های کریجینگ درصد سنگریزه و کربنات کل به هم شبیه بودند که دلیل آن را وجود سنگ آهک و هوادیدگی آن را عنوان کردند. آن‌ها گزارش کردند که مقدار رس در منطقه با کاهش ارتفاع افزایش می‌یابد و دلیل آن را هوادیدگی، فرآیند کلسیم زدایی و تجمع رس را در اثر آبشویی عنوان کردند.

سدیا[1] و همکـاران (۲۰۰۹) در برزیـل تغییـرات مکـانی برخـی خصوصـیات فیزیکـی و شـیمیایی را در عمق‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند. این محققین به این نتیجه رسیدند که همه پارامترها به جز درصد سیلت در هر سه عمق و جرم مخصوص ظاهری در عمق دوم دارای وابستگی مکانی قوی هسـتند و گـزارش کردند که از سطح خاک به عمق، همبستگی بـین خـواص فیزیکـی کـاهش مـی‌یابـد. ریسـت[2] و همکـاران (۲۰۰۸) پژوهشی در مورد اثر مدیریت‌هـای مختلـف سیسـتم‌هـای خـاک‌ورزی بـر خصوصـیات فیزیکـی و شیمیایی خاک با استفاده از زمین‌آمار در خاک‌های برلین انجام و به این نتیجـه رسـیدند کـه انتخـاب یـک خاک‌ورزی مناسب موجب می‌شود که شرایط خاک مساعدتر و حاصلخیزی خـاک بیشـتر شـود. اسـتفاده از سیستم بی‌خاک‌ورزی و یا خاک‌ورزی حفاظتی مزایایی از جمله: کاهش فرسایش خاک، افزایش کـربن آلـی، افزایش نفوذپذیری خاک و فعالیت میکروبی خاک و کاهش تبخیر را دارد.

رن[3] و همکاران (۲۰۰۸) توزیع و تغییرات مکانی ماده آلی را در ارتباط با خصوصـیاتی شـامل توپـوگرافی، نوع خاک، نوع استفاده از خاک، بافت خاک و سایر متغیرهـای خـاک در چـین مـورد مطالعـه قـرار دادنـد. الگوهای توزیع مکانی ماده آلی به‌وسیله‌ی کریجینگ نشان داد که ماده آلی از غرب به شرق در منطقه مورد مطالعه افزایش یافت و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدار مـاده آلـی و نیتـروژن خـاک و همبسـتگی منفی بین ماده آلی و مقدار شن وجود داشت. هم‌چنین همبستگی کمی بین کربن آلـی، pH و EC دیـده شد.

مطالعه‌ی تغییرات مکانی خصوصیات شیمیایی و بافت خاک در دو عمق مختلف در جنوب ایـران توسـط یثربی و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد. سیزده پارامتر شیمیایی شامل فسفر، پتاسیم، کلسـیم، منیـزیم، مـس، منگنز، CEC، pH، شوری و گچ مـورد مطالعـه قـرار گرفتنـد. بـر اسـاس نتـایج حاصـل، فسـفر کمتـرین تغییرپذیری و کربنات کلسیم معادل (آهک)، بیشترین تغییرپـذیری را دارا بـود. تغییـرات مکـانی شـوری، درصد سدیم تبادلی (ESP) و pH خاک برای اصلاح چمنزار در شمال شرق چین مورد بررسی قـرار گرفـت (لیو[4] و همکاران، ۲۰۰۷). در این تحقیق از نقشه‌های کریجینگ بـرای نشـان دادن الگوهـای توزیـع مکـانی خصوصیات خاک استفاده شد.

ایوبی (۲۰۰۷) توزیع مکانی ۴۰ خصوصیت فیزیکی و شیمیایی خاک را در یک مزرعـه گنـدم در اسـتان گلستان بررسی کردند. در این تحقیق توزیع اولیه‌ی داده‌ها برای همه پارامترهـا نرمـال بـود. آن‌هـا بـه ایـن نتیجه رسیدند که دامنه وابستگی مکانی خیلی متفاوت است، به طوری که نیترات کم‌ترین دامنـه و پتاسـیم بیشترین دامنه را در بین پارامترها دارد. ۸ پارامتر شامل: pH، EC، درصد شن، سیلت، رس، فسفر، کربنـات

1 .Ceddia
2 . Resat
3 . Ren
4 . Liu

کلسیم معادل و ماده آلی دارای وابستگی مکانی متوسط و پتاسیم، نیترات، CEC و ESP وابستگی مکانی قوی را نشان دادند. آن‌ها هم‌چنین گزارش کردند که نیترات خاک به شدت تحت‌تأثیر مدیریت مزرعه قرار دارد. جوشی[1] و همکاران (۲۰۰۶) تغییرات مکانی قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌های تحت آبیاری با آب شور در مناطق خشک هند را بررسی و اظهار نمودند که نمک و کربنات سدیم موجود در آب زیرزمینی، منبع اصلی شور شدن خاک‌های تحت آبیاری در این منطقه می‌باشد. آن‌ها نتیجه گرفتند که تغییرپذیری نمک در خاک زیاد بود و تجمع نمک یکنواخت نبود.

ورونیس جونیور[2] و همکاران (۲۰۰۶)، تغییرات مکانی مقاومت خاک در برابر فشار و حجم آب ثقلی را در خاکی در برزیل مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق ۹۷ نمونه خاک به صورت منظم در ۴ عمق مختلف از سطح تا ۴۰ سانتی‌متری برداشته شد. در این مطالعه مقاومت مکانیکی خاک در عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری ساختار فضایی از خود نشان داد، در حالی که حجم آب ثقلی در همه عمق‌ها به جز صفر تا ۱۰ سانتی‌متری، ساختار فضایی از خود نشان داد که وجود آب زیرزمینی را علت آن اعلام کردند.

فررو[3] و همکاران (۲۰۰۵) مطالعه‌ای را برای بررسی اثر ترافیک ادوات کشاورزی بر خصوصیات خاک انجام دادند. این مطالعه بر روی تاکستان‌های ایجاد شده در اراضی شیب‌دار در جنوب غرب ایتالیا انجام شد. در این مطالعه حجم آب خاک، مقاومت خاکدانه‌ها در برابر فشار و وزن مخصوص خاک دارای روند بودند. بیشترین تغییرپذیری را مقاومت خاک و کمترین آن را وزن مخصوص ظاهری نشان داد. در نقشه‌های سه بعدی، بیشترین مقاومت خاکدانه‌ها در مناطقی مشاهده شد که ماشین‌آلات زنجیردار کمتر از آن عبور کرده بودند. این مناطق شامل نواحی بالایی پشته‌هایی که کشت در آن‌ها انجام شد، بودند. حجم آب خاک نیز در قسمت‌های تحتانی و داخلی شیارها و مناطقی که شیار کمتری در آن ایجاد شده بود بیشترین مقدار بود. مدل‌های واریوگرام در هر سه متغیر کروی بودند و بیشترین دامنه تأثیر مربوط به حجم آب خاک و کمترین آن مربوط به مقاومت مکانیکی خاکدانه‌ها بود.

هونگ[4] و همکاران (۲۰۰۴) تغییرات مکانی خصوصیاتی از دو عمق خاک را شامل pH، فسفر، کربن آلی در دو عمق در طول یک برش عرضی و در دو مزرعه در کانادا مورد مطالعه قرار دادند و واریوگرام‌ها را تهیه نمودند. این محققان با استفاده از آنالیزهای زمین‌آماری، نقشه‌های توزیع مکانی این خصوصیات را ترسیم نمودند. لوپزگرانادوس[5] و همکاران (۲۰۰۲) پژوهشی در مورد تغییرات مکانی پارامترهای خاک‌های کشاورزی در جنوب اسپانیا انجام دادند. این پارامترها شامل شوری، پتاسیم، فسفر، آمونیوم، اکسیدهای

1. Joshi
2 . Veronese Junior
3 . Ferrero
4 . Huang
5. Lopez Granados

نیتروژن و بافت خاک بودند که در دو عمق مختلف، این مطالعه انجام شد و داده‌ها به‌وسیله زمین‌آمـار و بـر اساس واریوگرام آنالیز گردیدند و ضریب تغییرات برای همه پارامترها به‌دست آمد. کمترین ضریب تغییرات مربوط به شوری و ماده آلی بود. در نهایت به این نتیجه رسیدند کـه تغییـرات مکـانی پـارامترهـا در عمـق بالایی، بیشتر از عمق پایینی بود. وارنوسینگروم و دیسترا[1] (۲۰۰۲) مطالعه‌ای را به منظور بررسـی تغییـرات مکانی خصوصیات هیدرولیکی خاک انجام دادند. آنها مطالعات خود را بر روی یک ترانسکت به طول ۵۰ متر با خاک لومی شنی سیلتی در جنوب شرق نروژ انجام دادند. پارامترهایی که در ایـن مطالعـه مـد نظـر قـرار گرفت، هدایت هیدرولیکی اشباع، سرعت نفوذپذیری و حجم آب خاک در عمق ۵ سانتی‌متری از سطح بـود. نتایج نشان داد که هدایت هیدرولیکی خاک به مقدار زیادی تغییرات تصادفی از خود نشان داد که آن را بـه ناهمسانی در تشکیل خاک و حجم نمونه‌ها نسبت دادند.

هانک لایوس[2] و همکاران (۱۹۹۸) بیان نمودند که نقشه‌برداری دقیق از پارامترهای مؤثر بر حاصلخیزی خاک با استفاده از تکنیک زمین‌آمار، می‌تواند اطلاعات مناسـبی از وضـعیت عناصـر غـذایی، زمـان و مقـدار استفاده از کودها در اختیار قرار دهد. اکبرزاده و همکاران (۱۹۹۱) تغییرات مکانی ماده آلی در طول چندین برش عرضی در یک واحد نقشه خاک را مطالعه نمودند و به این نتیجه رسیدند که تغییـرپـذیری مـاده آلـی کم می‌باشد. بوچتر[3] و همکاران (۱۹۹۱) خصوصـیات خـاک شـامل منحنـی رطـوبتی، توزیـع انـدازه ذرات، هدایت آبی اشباع و جرم مخصوص ظـاهری را در طـول دو بـرش عرضـی و مـوازی بـا فواصـل صـد متـری اندازه‌گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات مکانی پارامترها در طول پنجاه متر، دارای تفاوت‌های چشمگیری می‌باشد.

1. Kvaerno singram and Deestra
2 Haunklause
3.Buchter