دانشکده علوم کشاورزی

گروه علوم خاک
(گرایش فیزیک و حفاظت خاک)

عنوان:

تأثیر عملیات خاکورزی برتغییرات زمانی و مکانی برخی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک

از:

هاجر علی نیای آهندانی

استادان راهنما:

دکتر محمود شعبانپور

دکتر محمدرضا خالدیان

بهمن ۱۳۹۰

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده فارسی ..... د
چکیده انگلیسی ..... ذ
مقدمه ۱

فصل اول: کلیات و بررسی منابع

۱-۱- کشاورزی پایدار ۴
۱-۲- زمین ۴
۱-۳- خاک ۴
۱-۴- خاکورزی و تأثیر آن بر خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک ۵
۱-۴-۱- تاریخچه خاکورزی ۵
۱-۴-۲- تعریف خاکورزی و اهداف آن ۵
۱-۵- تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک ۶
۱-۵-۱- تأثیر بر جرم مخصوص ظاهری خاک ۷
۱-۵-۲- تأثیر بر سرعت نفوذ و هدایت هیدرولیکی ۸
۱-۵-۳- تأثیر بر تخلخل کل خاک ۱۱
۱-۵-۴- تأثیر بر ضریب جذبی خاک ۱۲
۱-۶- ماهیت تغییرات خاک ۱۲
۱-۶-۱- تغییرات تصادفی ۱۳
۱-۶-۲- تغییرات ساختاری ۱۴
۱-۷- روش‌های رایج برای تشریح تغییرات خاک ۱۴
۱-۷-۱- طبقه‌بندی و ارزیابی خاک‌ها ۱۴
۱-۷-۲- تجزیه و تحلیل آماری ۱۵
۱-۷-۳- تجزیه و تحلیل تغییرات به روش آمار کلاسیک ۱۵
۱-۸- تاریخچه زمین آمار ۱۹
۱-۸-۱- توصیف مکانی داده‌ها ۲۰
۱-۸-۲- پیوستگی مکانی ۲۱
۱-۸-۳- تغییرات مکانی ۲۱
۱-۸-۴- متغیرهای ناحیه‌ای ۲۱
۱-۸-۵- مدل‌سازی تغییرات مکانی ۲۲
۱-۸-۶- فرضیات ایستایی ۲۲
۱-۹- نیم‌تغیرنما ۲۳

۱-۹-۱- برازش تغیرنما توسط مدل‌های نظری ۲۴
۱-۹-۲- مدل‌های نظری معتبر ۲۴
۱-۹-۳- مدل‌های فاقد آستانه ۲۵
۱-۹-۴- مدل‌های دارای حد آستانه ۲۵
۱-۹-۴-۱- مدل خطی دارای حد آستانه ۲۵
۱-۹-۴-۲- مدل مدور ۲۵
۱-۹-۴-۳- مدل کروی ۲۶
۱-۹-۴-۴- مدل نمایی ۲۶
۱-۹-۴-۵- مدل گوسی ۲۷
۱-۹-۴-۶- مدل اثر قطعه‌ای محض ۲۷
۱-۹-۴-۷- برازش تغیرنما با رفتار تناوبی ۲۷
۱-۱۰- مروری بر تحقیقات صورت گرفته ۲۸

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱- ویژگی‌های طبیعی استان گیلان ۳۱
۲-۲- منطقه مورد مطالعه ۳۱
۲-۳- عملیات تهیه زمین و استخراج پارامترها ۳۳
۲-۴- اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و هیدرودینامیکی خاک ۳۵
۲-۴-۱- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی به روش بیرکن ۳۵
۲-۴-۱-۱- معرفی روش بیرکن ۳۵
۲-۴-۱-۲- تئوری روش بیرکن ۳۶
۲-۴-۱-۳- ارزیابی پارامتر مقیاس از طریق مدل‌سازی نفوذ توسط برنامه BEST ۳۹
۲-۴-۲- اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری ۴۵
۲-۴-۳- اندازه‌گیری بافت خاک ۴۵
۲-۴-۴- اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی ۴۶
۲-۴-۵- محاسبه تخلخل خاک ۴۶
۲-۴-۶- محاسبه ضریب جذبی خاک ۴۷
۲-۵- تجزیه و تحلیل‌های آماری ۴۷
۲-۵-۱- آمار توصیفی ۴۷
۲-۵-۲- آمار مکانی ۴۸
۲-۵-۲-۱- محاسبه نیم‌تغییرنما و برازش مدل‌های تئوری بر آن ۴۸

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱- مقایسه اثر شخم بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی مورد بررسی ۵۰
۳-۲- بررسی توزیع مکانی ویژگی‌های مورد بررسی ۵۲
۳-۲-۱- توزیع فراوانی ویژگی‌های مورد بررسی ۵۲
۳-۲-۲- برازش و انتخاب مدل نیم‌تغییرنما ۶۱
۳-۲-۳- تفسیر مؤلفه‌های نیم‌تغییرنماهای برازش داده شده بر ویژگی‌های خاک ۶۵

۳-۲-۴- بررسی توزیع صفات مورد استفاده از نقشه‌های توزیع مکانی ۶۷
۳-۳- بررسی روند تغییرات زمانی پارامترها ۷۱
۳-۴- نتیجه‌گیری کلی ۷۸
۳-۵- پیشنهادها ۷۸
منابع ۷۹

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۲-۱- شرایط جوی محل اجرای تحقیق در سال ۱۳۸۹..... ۳۴
جدول ۳-۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی..... ۵۰
جدول ۳-۲- مقادیر میانگین پارامترهای مورد بررسی قبل و بعد از عملیات خاکورزی..... ۵۰
جدول ۳-۳- خلاصه آماری صفات مورد مطالعه قبل از تبدیل..... ۵۳
جدول ۳-۴- خلاصه آماری صفات مورد مطالعه بعد از تبدیل..... ۵۷
جدول ۳-۵- پارامترهای مدل‌های برازش داده شده بر نیم‌تغییرنماهای صفات مورد مطالعه..... ۶۶

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱- نیم‌تغیرنما ایده‌آل به همراه پارامترهای آن ۲۳
شکل ۱-۲- اشکال مختلف تغیرنما ۲۸
شکل ۲-۱- نقشه منطقه نمونه‌برداری ۳۲
شکل ۲-۲- نمایی از باغ کیوی قبل و بعد از خاکورزی ۳۴
شکل ۲-۳- استونه و ابزار مورد استفاده در روش بیرکن ۳۹
شکل ۲-۴- نحوه استخراج هدایت هیدرولیکی با برنامه‌نویسی فرترن ۴۴
شکل ۳-۱- منحنی توزیع تجمعی هدایت هیدرولیکی قبل از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۵۴
شکل ۳-۲- منحنی توزیع تجمعی هدایت هیدرولیکی بعد از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۵۴
شکل ۳-۳- منحنی توزیع تجمعی جرم مخصوص ظاهری قبل از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۵۵
شکل ۳-۴- منحنی توزیع تجمعی جرم مخصوص ظاهری بعد از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۵۵
شکل ۳-۵- منحنی توزیع تجمعی ضریب جذبی قبل از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۵۶
شکل ۳-۶- منحنی توزیع تجمعی ضریب جذبی بعد از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۵۶
شکل ۳-۷- نمودار توزیع فراوانی هدایت هیدرولیکی قبل از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۵۸
شکل ۳-۸- نمودار توزیع فراوانی هدایت هیدرولیکی بعد از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۵۸
شکل ۳-۹- نمودار توزیع فراوانی جرم مخصوص ظاهری قبل از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۵۹
شکل ۳-۱۰- نمودار توزیع فراوانی جرم مخصوص ظاهری بعد از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۵۹
شکل ۳-۱۱- نمودار توزیع فراوانی ضریب جذبی قبل از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۶۰
شکل ۳-۱۲- نمودار توزیع فراوانی ضریب جذبی بعد از شخم (الف) قبل از تبدیل و (ب) بعد از تبدیل ۶۰
شکل ۳-۱۳- مدل نیم تغییرنمای برازش داده شده (الف) هدایت هیدرولیکی قبل از شخم ۶۲
شکل ۳-۱۴- مدل نیم تغییرنمای برازش داده شده (ب) هدایت هیدرولیکی بعد از شخم ۶۲
شکل ۳-۱۵- مدل نیم تغییرنمای برازش داده شده (الف) جرم مخصوص ظاهری قبل از شخم ۶۳
شکل ۳-۱۶- مدل نیم‌تغییرنمای برازش داده شده (ب) جرم مخصوص ظاهری بعد از شخم ۶۳
شکل ۳-۱۷- مدل نیم‌تغییرنمای برازش داده شده: (الف) ضریب جذبی قبل از شخم ۶۴
شکل ۳-۱۸- مدل نیم‌تغییرنمای برازش داده شده: (ب) ضریب جذبی بعد از شخم ۶۴
شکل ۳-۱۹- نقشه توزیع مکانی هدایت هیدرولیکی قبل از شخم ۶۸
شکل ۳-۲۰- نقشه توزیع مکانی هدایت هیدرولیکی بعد از شخم ۶۸
شکل ۳-۲۱- نقشه توزیع مکانی جرم مخصوص ظاهری قبل از شخم ۶۹
شکل ۳-۲۲- نقشه توزیع مکانی جرم مخصوص ظاهری بعد از شخم ۶۹
شکل ۳-۲۳- نقشه توزیع مکانی ضریب جذبی قبل از شخم ۷۰
شکل ۳-۲۴- نقشه توزیع مکانی ضریب جذبی بعد از شخم ۷۰
شکل ۳-۲۵- موقعیت سه نقطه شاخص میانگین، میانگین منهای انحراف معیار و میانگین بعلاوه انحراف معیار ۷۱
شکل ۳-۲۶-روند تغیرات زمانی هدایت هیدرولیکی در نقطه شاخص میانگین ۷۲

شکل ۳-۲۷- روند تغیرات زمانی هدایت هیدرولیکی در نقطه شاخص میانگین منهای انحراف معیار..... ۷۲
شکل ۳-۲۸- روند تغیرات زمانی هدایت هیدرولیکی در نقطه شاخص میانگین بعلاه انحراف معیار..... ۷۳
شکل ۳-۲۹- روند تغیرات زمانی ضریب جذبی در نقطه شاخص میانگین..... ۷۴
شکل ۳-۳۰- روند تغیرات زمانی هدایت هیدرولیکی در نقطه شاخص میانگین منهای انحراف معیار..... ۷۵
شکل ۳-۳۱- روند تغیرات زمانی هدایت هیدرولیکی در نقطه شاخص میانگین بعلاوه انحراف معیار..... ۷۵
شکل ۳-۳۲- روند تغیرات زمانی جرم مخصوص ظاهری در نقطه شاخص میانگین..... ۷۶
شکل ۳-۳۳- روند تغیرات زمانی جرم مخصوص ظاهری در نقطه شاخص میانگین منهای انحراف معیار..... ۷۷
شکل ۳-۳۴- روند تغیرات زمانی جرم مخصوص ظاهری در نقطه شاخص میانگین بعلاوه انحراف معیار..... ۷۷

چکیده

تأثیر عملیات خاکورزی بر تغییرات زمانی و مکانی برخی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی

هاجر علی‌نیای آهندانی

مطالعه تغییرات زمانی و مکانی مشخصات هیدرولیکی خاک در مدیریت بهینه سامانه‌های آبیاری و زهکشی و کشاورزی دقیق ضروری است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر خاکورزی بر تغییرات مکانی و زمانی برخی پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی خاک با استفاده از زمین آمار و با داده‌های مزرعه‌ای نفوذسنج بیرکن اندازه‌گیری شده در ۳۵ نقطه در باغ کیوی واقع در دانشگاه گیلان انجام و نقشه پهنه‌بندی آن رسم شد. برازش مدل‌های نیم‌تغییرنما نشان داد که خصوصیات مورد مطالعه پس از برازش چندین مدل نیم‌تغییر نما به داده‌ها، از مدل کروی پیروی می‌کند. نتایج، همبستگی مکانی قوی را برای خصوصیات هدایت هیدرولیکی مورد مطالعه در باغ موردنظر نشان داد. مطالعه روند تغییرات زمانی هدایت هیدرولیکی نیز در سه نقطه شاخص شامل میانگین، میانگین منهای انحراف معیار و میانگین به‌علاوه انحراف معیار و در طی هفت دوره زمانی بعد از شخم انجام شد. نتایج نشان می‌دهند که هدایت هیدرولیکی پس از عملیات شخم به‌علت افزایش خلل و فرج درشت بالا بوده و سپس به‌دلیل فرونشست خاک در نتیجه آبیاری کاهش یافته و در ادامه به‌دلیل فازهای تر و خشک روندی افزایشی داشته است. دو پارامتر جرم مخصوص ظاهری و ضریب جذبی نیز روندی مشابه هم داشته، در ابتدا پس از عملیات خاکورزی افزایش و در ادامه روندی کاهشی نشان دادند. در خاتمه توصیه می‌شود چنین مطالعاتی جهت روشن شدن چگونگی توزیع خصوصیات هیدرولیکی و به‌خصوص هدایت هیدرولیکی قبل از احداث هرگونه سیستم آبیاری و زهکشی در باغات و مزارع انجام شوند.

کلمات کلیدی: تغییرات زمانی، تغییرات مکانی، روش بیرکن، زمین آمار، هدایت هیدرولیکی

Abstract

The impacts of soil operation on the temporal and spatial variations of some soil physical and hydraulic properties

Hajar Alinia

Assessing spatial and temporal variations in soil hydraulic properties is crucial to optimize the management of irrigation and drainage systems and furthermore to develop precision farming. The aim of this research was to determine the impact of soil preparation operation on some soil physical and hydraulic properties as well as their spatial and temporal variations.Hence, infiltration tests in 35 points using Beerkan method were done in a kiwi garden in University of Guilan. Using geostatistics methods, map of soil properties variations were prepared. Spherical models were properly fitted to the variograms of studied properties. The results showed a strong spatial correlation in measured soil characteristics. Temporal variations in saturated hydraulic conductivity at three sampling points (average, average+standard deviation and average-standard deviation) were studied 7 times after tillage and during irrigation season. Results showed that after tillage operation, hydraulic conductivity was high due to the increase in macropores and after that it decreased because of soil compaction produced by irrigation and it increased again due to wetting and drying phases. Both sorptivity and bulk density had a similar variation, soon afterward the tillage they increased and then during the irrigation season they showed a decreasing trend. It is recommended to do such studies before the construction of any irrigation and drainage systems in gardens and farms.

Keywords: Hydraulic conductivity, Geostatistics, Spatial variability, Temporal variability

مقدمه

کشاورزی دقیق نگاهی است اجمالی به آینده کشاورزی، آینده‌ای که در آن مدیریت نهاده‌های تولید محصولات زراعی، نظیر کود شیمیایی، علف‌کش، بذر و دیگر عوامل براساس ویژگی‌های مکانی مزرعه با هدف کاهش ضایعات و افزایش درآمد و حفظ محیط زیست اجرا می‌گردد. اگرچه کشاورزی دقیق هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالایی می‌خواهد اما بهینه‌سازی تولید محصول بر مبنای تغییرات درون کشتزار آن‌چنان اساسی و بنیادین است که این فناوری را در آینده‌ای نزدیک فراگیر و پایدار می‌سازد. یکی از موضوعات قابل بررسی در کشاورزی دقیق سیستم‌های مکان‌یابی، سنجش و آشکارسازی و پهنه-بندی ویژگی‌های خاک و محصول است. تغییرپذیری مکانی عبارت است از تغییر در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده محصول و خاک، در سطح و عمق، اما افزون برآن این ویژگی‌ها در طول زمان نیز تغییر می‌کنند. مدیریت مناسب مزرعه، نیازمند شناخت تغییرات زمانی و مکانی پراکنش خصوصیات فیزیکی و به‌خصوص هیدرولیکی خاک می‌باشند [Shi et al., 2007]. عموماً مقادیر این خصوصیات به‌ویژه هدایت هیدرولیکی خاک، الگوی مکانی پیچیده‌ای را نشان می‌دهند. لذا دانستن مقدار و پراکنش مکانی آن در منطقه مورد مطالعه ضروری است. یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت هیدرولیکی منطقه عدم‌امکان نمونه‌برداری از تمام نقاط می‌باشد. بدین‌منظور، استفاده از راهکارهای مناسب برای تعمیم نتایج حاصل از نقاط اندازه‌گیری شده به سایر نقاط توصیه می‌گردد [Tao, 1995]. تحقیقات صورت گرفته تاکنون عموماً با آمار کلاسیک انجام شده، این‌درحالی است که این علم قادر به توصیف تغییرات مکانی و زمانی نمی‌باشد. از اواسط قرن بیستم میلادی شاخه‌ای از علم آمار به نام زمین‌آمار[1] پا به عرصه علوم نهاد که امکان پردازش داده‌ها و زمینه توصیف مکانی آن‌ها را به وجود آورد [Zhang et al., 2000]. این علم یکی از دقیق‌ترین روش‌هایی است که علاوه بر توصیف تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها، قادر به تهیه نقشه‌های کمی پراکنش خصوصیات خاک با حداقل واریانس ممکن می‌باشد [Shi et al., 2007].

در سیستم آب- خاک- گیاه، ویژگی‌های انتقالی لایه سطحی خاک در طول فصل رشد تغییر می‌کنند. این گوناگونی زمانی احتمالاً وابسته به تغییر شرایط سطحی خاک در نتیجه عملیات شخم [Cameira et al., 2003] و اثرات سیستم‌های ریشه [Iqbal et al., 2005] می‌باشد. سیکل‌های متناوب خشک و مرطوب شدن و سیستم های آبیاری نیز می‌توانند ساختمان خاک را تغییر دهند. ماپا و همکاران [Mapa et al., 1986] نشان دادند که خصوصیات هیدرولیکی در یک خاک لومی رسی سیلتی و لومی رسی بعد از فقط یک سیکل خشک و مرطوب شدن به طور برجسته‌ایی تغییر کرده است. اخیراً مطالعات زیادی در زمینه‌ی ارزیابی کمی و مدل‌سازی تغییرات مکانی خصوصیات هیدرولیکی انجام شده‌است [Mubarak et al., 2009]. باوجود این، تغییرات زمانی خصوصیات هیدرولیکی به علت پرهزینه و زمان‌بر بودن چندان در مدل‌سازی وارد نشده‌اند [Angulo-Jaramillo et al., 1997]. در خاک‌های کشاورزی، عملیات خاکورزی یکی از مهمترین منابع

[1] - Geostatistics

تغییرات خصوصیات هیدرولیکی خاک در زمان و مکان است [Khaledian et al., 2007]. ساختمان، تخلخل، پخشیدگی بقایای گیاهی و زبری سطحی خاک با عمل مکانیکی ابزارهای خاکورزی اصلاح می‌شوند. به طور کلی هدایت هیدرولیکی و نفوذ بعد از اعمال خاکورزی افزایش می‌یابد و سپس در طول فصل رشد به علت فرونشست ساختمان خاک ایجاد شده توسط عملیات خاکورزی، کاهش می‌یابد [Alleto and Coquet, 2009]. رادکلیف و همکاران [Radcliffe et al., 1988] در یک مطالعه ده ساله بر روی سیستم‌های مختلف شخم گزارش نمودند که سیستم‌های بدون‌شخم در مقایسه با شخم برگردان، نفوذپذیری بیشتری داشتند. آنها اظهار نمودند که ذرات ریز خاک در سیستم شخم برگردان‌دار باعث مسدود شدن منافذ ریز خاک شده و در نتیجه باعث کاهش نفوذ آب می‌شود. میک و همکاران [Meek et al., 1990] نفوذ بیشتر آب در سیستم بدون‌شخم را به منافذ زنده آن نسبت می‌دهند. اهلرز [Ehlers, 1985] نیز نفوذ بیشتر آب در سیستم بدون شخم را به منافذ ایجاد شده توسط کرم های خاکی نسبت داده است. کوکت و همکاران [Coquet et al., 2005] نشان دادند که عملیات خاکورزی، مخصوصاً دیسک با ایجاد منافذ درشت در طی زمان، هدایت هیدرولیکی اشباع و نزدیک اشباع را افزایش می‌دهد. ماپا و همکاران [Mapa et al., 1986] گزارش نمودند که مقدار نفوذ آب در لایه‌های شخم خورده بلافاصله پس از شخم بسیار زیاد است ولی به مرور زمان در اثر سله بستن و نشست کردن زمین کاهش می-یابد. راسناک و همکاران [Rasnak et al., 1986] عقیده دارند که شخم برگردان‌دار و سایر سیستم‌های شخم که خاک را بر می‌گردانند مقدار نفوذ آب به داخل خاک را در کوتاه‌مدت افزایش می‌دهند ولی بعد از چند نوبت بارندگی معمولاً سطح خاک سله می‌بندد و باعث کاهش نفوذ آب در داخل خاک می‌شود. هم‌چنین قطرات باران در اثر ضربه زدن به‌ذرات خاک، آنها را پراکنده کرده و باعث می‌شوند که منافذ خاک بسته شده و روان آب به وجود آید. با وجود مطالعات زیاد در این زمینه، اثرات عملیات خاکورزی روی خصوصیات فیزیکی هیدرولیکی خاک چندان واضح و آشکار نیست [Strudley et al., 2008] . گاهی نتایج بدست آمده با توجه به اینکه اندازه‌گیری در ابتدای فصل رشد بوده یا انتهای آن کاملاً متفاوت است. بخشی از این نتایج متناقض در ارتباط با تغییرات مکانی بالای خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌باشد که در طول فصل رشد تحت‌شعاع قرار گرفته و کم‌رنگ‌تر می‌شود [Borman and Klaassen, 2008]. تحقیق حاضر با هدف توصیف و بررسی اثر عملیات خاکورزی و شخم بر برخی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک، مقدار و روند تغییرات زمانی و مکانی این خصوصیات و تهیه‌ی نقشه پهنه‌بندی انجام شده‌است.

فصل اول

کلیات و بررسی منابع

۱-۱-کشاورزی پایدار

اکیگبو [Okigbo, 1991] بعد از تجزیه و تحلیل تعاریف مختلفی که از کشاورزی پایدار توسط محققین دیگر انجام شده است، سیستم کشاورزی پایدار را بدین صورت تعریف کرد: عملیاتی است که سطح باروری را بالا و در حد قابل قبول نگه داشته و با برآورده ساختن نیازها و احتیاجات، با نیازهای آتی بشر نیز براساس افزایش ظرفیت منابع پایه تطبیق داده شود. پایداری فقط در حالتی ایجاد می‌گردد که منابع، نهاده‌ها و فن‌آوری در اختیار کشاورزی بوده و با افزایش بهره‌وری از آنها، تولید به سطح مطلوبی برسد بدون اینکه اثرات زیان‌آوری بر منابع پایه، زندگی بشر و محیط زیست داشته باشد.

۱-۲- زمین

واژه زمین به تمام سیمای محیط اطلاق می‌گردد که بخشی از پوسته زمین را در وسعتی که اثر عمده‌ای بر پتانسیل آن‌ها برای استفاده توسط بشر دارد، در بر می‌گیرد. بنابراین زمین فقط در برگیرنده زمین‌شناسی، تغییرات سطح زمین و خاک‌ها نیست، بلکه در برگیرنده اقلیم، پوشش گیاهی وموجودات زنده نیز می‌باشد [کردوانی، ۱۳۷۹].

۱-۳- خاک

خاک از نظر رده‌بندی عبارت از مجموعه‌ای از پیکره‌های طبیعی بر روی پوسته خارجی زمین می‌باشد. این خاک تا حدودی تحت تأثیر بشر و یا حتی ساخته دست بشر از مواد خاکی می‌باشد که دارای موجودات زنده بوده و قادر به نگهداری گیاه در صحرا می‌باشد [صادق نژاد و اسلامی، ۱۳۸۵]. اجزاء تشکیل دهنده خاک عبارتند از:

۱- فاز جامد: تشکیل شده از مواد معدنی و مواد آلی. مواد معدنی به نوبه خود از ذرات شن، سیلت و رس تشکیل شده است که در اغلب خاک‌ها، بیشترین میزان جرم و حجم خاک را تشکیل می‌دهد. مواد آلی شامل مواد آلی مرده که به عنوان غذا برای ریزجانداران قابل دسترس می‌باشند و هوموس یا مواد آلی کاملاً کمپوست شده، می‌باشد. اگرچه هوموس به عنوان غذا برای ریز جانداران قابل دسترس نیست، اما در ذخیره عناصر غذایی و آب نقش بسیار مهمی ایفا می‌نماید.

۲- فاز گازی: که شامل اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای موجود در هوا می‌باشد که در فاصله بین ذرات خاک که توسط آب پر نشده‌اند، قرار گرفته‌اند. ریشه‌های گیاه و سایر موجودات زنده در خاک، برای زنده ماندن به اکسیژن نیاز دارند.

۳- فاز مایع: که شامل آب بوده و در سه مکان در خاک یافت می‌شود، روی سطح خاک، در فضای بین ذرات و در ارتباط با مواد آلی خاک. همه موجودات زنده خاک برای زنده ماندن به آب نیاز دارند.

۴- موجودات زنده خاک: که شامل کرم‌های خاکی، حشرات، نماتدها، باکتری‌ها، قارچ‌ها و سایر موجودات خاکزی می-باشند.

۱-۴- خاکورزی و تأثیر آن بر خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک

۱-۴-۱- تاریخچه خاکورزی

هزاران سال پیش، بشر به‌منظور افزایش تولید مواد غذایی و رفع احتیاجات غذایی اقدام به خاک‌ورزی نمود. در آغاز برای انجام عملیات خاک‌ورزی از ادوات چوبی استفاده می‌شد. گاوآهن‌هایی که به‌طور پیوسته مورد استفاده قرار می‌گرفت فاقد چرخ یا صفحه برگردان بود و فقط یک شیار باریک در خاک ایجاد می‌کرد. با وجود این به‌منظور خرد و نرم نمودن خاک‌های سطحی، مخلوط کردن و بالاخره پوشاندن بذر با خاک از آن‌ها استفاده می‌شد [شهیدی و احمدی مقدم، ۱۳۸۴].

بیش از دو هزار سال قبل در شمال چین اولین گاوآهن فلزی اختراع شد. در ابتدا این ابزارها ادوات دستی کوچکی مشتمل بر یک قطعه فلزی V شکل بوده‌اند که به آن دسته‌های چوبی اتصال داشت. کمی بعد از آن، گاوآهن‌های فلزی به تیغه‌های برشی مجهز شدند، ولی هنوز فاقد صفحه برگردان بودند. چرخ‌ها، قسمت‌های برشی و صفحه برگردان همگی در حدود سال ۱۵۰۰ بعد از میلاد به گاوآهن اضافه شد. این ادوات به خوبی خاک را مخلوط کرده و یک شیار و بستر مناسب برای بذر آماده می‌کردند. ادواتی که امروز ساخته می‌شوند بسیار شبیه به ادواتی هستند که در حدود سال ۱۷۰۰ میلادی در انگلیس و هلند ساخته می‌شد. اصولاً طراحی این ابزارها از آن زمان بدون تغییر مانده‌است [شهیدی و احمدی مقدم، ۱۳۸۴].

۱-۴-۲- تعریف خاکورزی و اهداف آن

خاکورزی شامل عملیات مکانیکی است که طی آن با به‌هم زدن، برگرداندن و مخلوط کردن خاک شرایط تغذیه و رشد بهتر گیاه فراهم می‌گردد. بنابراین براثر عملیات فوق می‌بایست شرایط محیطی مناسبی برای رشد بذر و نهایتاً استفاده بهتر آن از نهاده‌های تولید حاصل گردد. هدف‌های اصلی عملیات سالانه خاکورزی عبارتند از ایجاد شرایط مطلوب و پایدار در خاک که ضمن ایجاد بستری مناسب برای بذر، زمینه مطلوبی برای تکامل ساقه و ریشه یا غده گیاه فراهم کند. علاوه بر این، در انجام این عملیات اختلاط کامل بقایای گیاهی و کودهای مختلف با خاک، سهولت حرکت و کار ماشین‌های کاشت و داشت و نیز مبارزه با عوامل زیان‌آور برای گیاه موردنظر است. به‌طور خلاصه می‌توان ایجاد و حفظ نرمی یا پوکی خاک را مهمترین هدف خاکورزی دانست. با توجه به موارد فوق در اجرای یک مدیریت علمی و درست زراعی معمولاً از معیارها و

شاخص‌های زیر به‌عنوان اهداف مورد نظر در ارزیابی کارائی عملیات تهیه زمین استفاده می‌شود. بسته به شرایط موجود هر منطقه، ممکن است همگی و یا تعدادی از این اهداف در ملحوظ داشتن یک روش خاکورزی به‌کار گرفته شود.

۱- مدیریت بقایای محصول مانده از قبل مانند کلش، ریشه و غیره از نظر زیر خاک کردن و مخلوط نمودن به منظور بهبود خاصیت فیزیکی خاک.
۲- رشد خوب بذر، نشاء و یا نهال با فراهم آوردن محیطی مناسب.
۳- تهویه خاک با ایجاد خلل و فرج مناسب توسط عملیات شخم در جهت کمک به رشد بهتر ریشه و کاهش رشد علفهای هرز.
۴- کنترل علفهای هرز و رقیب گیاه اصلی با زیر خاک کردن و از ریشه در آوردن آنها.
۵- مخلوط کردن کودهای شیمیایی یا آلی با خاک به‌منظور حفظ و افزایش حاصلخیزی آن.
۶- حفظ رطوبت وارده در خاک از طریق نزولات آسمانی و یا آبیاری با ایجاد نفوذپذیری بهتر خاک.
۷- کنترل حشرات و آفات با زیر خاک کردن و یا از هم پاشیدن سیکل زندگی آنها.
۸- کنترل حرارت خاک و تغییر رنگ خاک بر اثر عملیات خاک در خرد کردن لایه تراکم و جذب بیشتر حرارت.
۹- بهسازی خواص فیزیکی و کاربردی خاک.
۱۰- ایجاد مکان تماس بیشتر بذر با ذرات خاک و تبادلات یونی و گازی بهتر با ایجاد دانه‌بندی مناسب در خاک.
۱۱- جلوگیری و کنترل عمل فرسایش آبی و بادی. کنترل فرسایش خاک از طریق ایجاد سطحی سست و مالچ مانند، تراس بندی، یا باقی گذاشتن بقایای گیاهی در سطح خاک [عاکف و باقری، ۱۳۷۸].

۱-۵- تأثیر روشهای مختلف خاکورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک

بهبود کیفیت خاک به‌منظور تداوم تولید بیشتر و کاهش اثرات منفی محیطی برای استراتژی تولید تناوبی محصول جهت مقبولیت جهانی و پایداری طولانی مدت ضروری است [Arshad et al., 1999].

اطلاعات عمومی درباره محیط اطرافمان در حال گسترش است. اخیراً گزارش‌های متعددی برای روشن ساختن اهمیت کیفیت خاک در رسیدن به سیستم‌های کشاورزی پایدار منتشر شده است که سعی در توازن حاصلخیزی خاک، سودبخشی و حفاظت محیط دارند. کیفیت خاک می‌تواند با هدف بهبود عملکرد خاک در سیستم کشاورزی پایدار موثر باشد [Acton and Gregorich,1995].

دو وظیفه مهم خاک نگهداری و انتقال آب است که مستقیماً تولید گیاه و محیط را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ذخیره آب در پروفیل خاک برای گیاهان و سایر موجودات زنده به منظور زنده ماندن در شرایط بدون بارندگی ضروری است. حرکت آب در پروفیل خاک، بر خلاف رواناب فواید محیطی مهمی در جهت بالا آمدن سطح ایستابی آب زیرزمینی، کاهش فرسایش و کاهش شواهد رسوب خارجی را فراهم می‌آورد. ذخیره و حرکت آب در خاک عمدتاً توسط خصوصیات

ساختمانی خاک، مخصوصاً در نزدیکی سطح که سله سطحی سخت و تراکم موجب مسدود شدن منافذ می‌شود، کنترل می‌گردد [Morin et al., 1989].

فرآیندهای بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی پیوسته با زمان اثر متقابل دارند که ناشی از درجات اختلاط مواد معدنی خاک، ماده آلی و اندازه منافذ، که به اتفاق ساختمان خاک را تعریف می‌کنند، می‌باشد [Juma, 1993].

شخم مکانیزه، در کنار تهیه بستر بذر و کنترل علف هرز، می‌تواند توازن آب و هوای خاک را که برای رشد بهینه گیاه ضروری است، تغییر دهد. با وجود فواید بسیار زیاد شخم برای استقرار گیاه و تولید در گذشته، علف‌کش‌های جدید و روش‌های مدیریتی کم‌خاکورزی به‌طور موثری روشهای امروزی تولید محصول را تغییر داده است. تجمع بقایای سطحی با روش بدون شخم در حال حاضر تقلیدی از اکوسیستم‌های طبیعی است، گرچه اندازه مداخله بیولوژیکی در بهبود خصوصیات ساختمان خاک در این روش مدیریتی نیاز به توضیح بیشتری دارد [Arshad et al., 1999].

ساختمان خاک یک ویژگی متغییر و بسیار تأثیرپذیر است که فرآیندهای مختلف بر آن مؤثرند. از جمله این فرآیندها می‌توان خاکورزی و کاربرد کودهای آلی را نام برد که از موارد مهم در مدیریت زراعی می‌باشند. ساختمان خاک اغلب با واژه‌های اندازه، شکل و پایداری منافذ توصیف می‌شود که ویژگی‌های هیدرولیکی خاک شامل ذخیره رطوبتی و انتقال آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد [صفادوست و همکاران، ۱۳۸۶ و همت و همکاران،۱۳۸۰].

۱-۵-۱- تأثیر بر جرم مخصوص ظاهری خاک

عمل شخم‌زنی موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در لایه شخم خورده شده و با گذشت زمان به علت فشردگی تدریجی خاک بر اثر بارندگی و ته نشینی مجدد ذرات، جرم مخصوص ظاهری خاک دوباره افزایش می‌یابد. اگر شخم‌زنی در رطوبت مناسبی از خاک انجام شود، موجب افزایش رضایت‌بخش هوای خاک و نرم شدن لایه شخم خواهد شد [Osunbitan et al., 2005].

نتایج متفاوتی در زمینه مقایسه تأثیر سیستم‌های شخم مرسوم و بدون شخم روی جرم مخصوص ظاهری وجود دارد. در اغلب این مطالعات، جرم مخصوص ظاهری در سیستم بدون شخم و در عمق۱۰- ۵ سانتی‌متر یا بیشتر بوده است [Soracco et al., 2010; Strudley et al., 2008; Moret and Arrue, 2007; Osunbitan et al., 2005] در دیگر مطالعات، هیچ تفاوت معنی‌داری در جرم مخصوص ظاهری سیستم‌های مختلف شخم مشاهده نشد [Logsdion et al., 1999].

اسکوین و همکاران [Schwen et al., 2011] در تحقیق خود در زمینه اثر شخم در زمان و مکان، به این نتیجه رسیدند که جرم مخصوص ظاهری در تیمار بدون شخم به‌علت تراکم طبیعی خاک و نرم نشدن خاک در اثر شخم، بالاتر بود.

آلتو و کوکت [Alletto and Coquet , 2009] تغییرات جرم مخصوص ظاهری تحت دو نوع شخم حفاظتی و مرسوم را طی زمان‌های مختلف بررسی کردند. آنها به‌این نتیجه رسیدند که زمان مهمترین عامل تغییرات جرم مخصوص ظاهری سطحی و زیرسطحی است؛ اگرچه سیستم‌های شخم سبب افزایش جرم مخصوص ظاهری طی فصل رشد می‌شوند. در خاک زیرسطحی نیز تقابل زمان و سیستم شخم نقش به‌سزایی در این تغییرات دارد. در مطالعه‌ای که توسط جابرو و همکاران [Jabro et al., 2007] در مدت ۲۲ سال انجام شد این نتیجه حاصل گردید که عملیات شخم در دراز مدت تأثیری بر جرم مخصوص ظاهری ندارد. این یافته‌ها با نتایج انکن [Anken, 2004] و لمپرلینز و سانترو- مارتینز [Lampurlanes and Cantero-Martinez, 2003] مشابه ولی با نتایج گزارش شده توسط هیل و کروس[.Hill and Cruse, 1985] و امسی وی و همکاران [McVay et al., 2006] متفاوت بوده است.

اوسان بیتن و همکاران [Osunbitan et al., 2005] نتیجه گرفتند بیشترین جرم مخصوص ظاهری با اختلاف معنی داری مربوط به تیمار بدون شخم در مقایسه با شخم دستی، شخم مرسوم و شخم و دیسک بود، همچنین اختلاف بین سه تیمار نیز معنی‌دار بود. هاسجک و همکاران [Husnjak et al, 2002] به‌این نتیجه رسیدند که سیستم‌های مختلف خاکورزی شامل خاکورزی مرسوم، کم‌خاکورزی و خاکورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک اثر معنی‌داری آماری ندارند. رسولی شریبانی و عباسپور [۱۳۸۷] در تحقیق خود کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و در نتیجه افزایش تخلخل خاک بعد خاکورزی را مشاهده کردند.

۱-۵-۲- تأثیر بر سرعت نفوذ و هدایت هیدرولیکی

یکی از نقش‌های مهم خاک انتقال آب است که مستقیماً تولید گیاه و محیط را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در روش بدون شخم بیشترین سرعت نفوذ به منافذ درشت ساخته شده توسط میکروارگانیسم‌های خاک، کرم‌ها و ریشه گیاهان مربوط می‌شود. به‌هرحال تأثیر شخم و مدیریت بر خصوصیات انتقال خاک مشابه نبوده و نتیجه برخی مطالعات نشان داده که در روش بدون شخم در مقایسه با شخم مرسوم سرعت نفوذ بیشتر [Arshad et al., 1999; Chan and Mead, 1989; Freebarin et al., 1989]، مشابه [Ankeny,1990] و یا کمتر [Rasmussen, 1999; Heard et al., 1988] بوده است.

در منابع علمی نتایج ضد و نقیضی درباره تأثیر روش‌های خاکورزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک گزارش شده است [صفادوست و همکاران،۱۳۸۶].

افیونی و مصدقی [۱۳۸۰] در یک پژوهش شش ساله گزارش کردند که در مزرعه‌ای با خاک لوم شنی، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) تحت سیستم بی‌خاکورزی به‌علت اثر مفید این سیستم در بهبود ساختمان خاک، بیشتر از خاکورزی مرسوم بود. ولی در مزرعه‌ای با خاک لوم رس شنی، K_s در سیستم بی خاکورزی کمتر بود که علت آن را به‌هم-نخوردن و درهم‌فرورفتگی خاک سنگین تحت این روش دانستند.

خالدیان و همکاران [Khaledian et al., 2007] اثرات سیستم بی‌خاکورزی و شخم مرسوم بر خصوصیات هیدرولیکی خاک سطحی را بعد از برداشت محصول و همچنین بعد از کشت بررسی کرده و نتیجه گرفتند بعد از برداشت محصول اختلاف هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بین دو تیمار بدون شخم و شخم مرسوم معنی دار نبوده ولی مقدار K_s در شخم مرسوم بیشتر از تیمار بدون شخم می‌باشد که دلیل آن را بالا بودن تراکم ریشه و کانالهای حاصل از پوسیدگی ریشه در تیمار بدون شخم نسبت به تیمار شخم مرسوم بیان کردند. در تحقیقی که اوسان بیتن و همکاران [Osunbitan et al., 2005] انجام دادند به‌این نتیجه رسیدند،که هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، در هشت هفته پس از انجام عملیات شخم زنی با افزایش شدت عملیات خاکورزی کاهش یافته و بیشترین هدایت هیدرولیکی در روش بدون شخم اندازه‌گیری شد. تحلیل رگرسیونی نشان داد، همبستگی قوی و مثبت بین هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل کل خاک در داخل تکرارهای یک تیمار خاص وجود دارد در حالی که همبستگی ضعیف بین هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل کل خاک در مقایسه بین تیمارهای مختلف شخم مشاهده شد. این محقیقین به‌این نتیجه رسیدند که تخلخل کل عامل مهم و تعیین کننده در هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نبوده و کمیت آن را به میزان بهم‌خوردگی و پیوستگی منافذ درشت خاک در روش شخم مرسوم نسبت دادند.

کوکت و همکاران [Coquet et al., 2005] نشان دادند که عملیات خاکورزی، مخصوصاً دیسک با ایجاد منافذ درشت طی زمان، هدایت هیدرولیکی اشباع و نزدیک اشباع را افزایش می‌دهد.

محبوبی و همکاران [Mahboubi et al., 1993] گزارش کردند که استفاده درازمدت سیستم‌های خاک‌ورزی مرسوم باعث کاهش K_s نسبت به روش بی‌خاکورزی می‌شود. آنها K_s بیشتر خاک در روش بی‌خاکورزی را به کانال‌های حاصل از فعالیت کرم‌های خاکی نسبت دادند. با گذشت زمان پس از خاکورزی به‌دلیل رسوب مجدد ذرات خاک، تراکم ناشی از بارندگی و رواناب سطحی تخلخل خاک و هدایت هیدرولیکی اشباع کم می‌شود [Kribaa, 2001].

رادکلیف و همکاران [Radcliffe et al.,1988] در یک مطالعه ده ساله در مورد سیستم‌های مختلف شخم گزارش نمودند که سیستم‌های بدون شخم در مقایسه با شخم برگردان، اثر بیشتری بر نفوذپذیری داشتند. آنها اظهار نمودند که

ذرات ریز خاک در سیستم شخم برگردان‌دار باعث مسدود شدن منافذ ریز خاک شده و در نتیجه باعث کاهش نفوذ آب می‌شود. میک و همکاران [Meek et al., 1990] نفوذ بیشتر آب در سیستم بدون شخم را به منافذ زنده آن نسبت می-دهند. اهلرز [Ehlers,1985] نیز نفوذ بیشتر آب در سیستم بدون شخم را به منافذ ایجاد شده توسط کرم‌های خاکی نسبت داده است.

شیرمحمدی و اسکگز [Shirmohammadi and Skaggs, 1984] مشاهده کردند که هدایت هیدرولیکی در خاک-های تحت کشت، به‌علت وجود سیستم‌های ریشه در مقایسه با خاک های لخت بسیار بالاتر است. نتایج مشابهی توسط کمیرا و همکاران [Cameira et al., 2003] و اقبال و همکاران [Iqbal et al., 2005] به دست آمده است. محققان دیگر نیز نشان دادندکه سیستم ریشه‌ای محصول منجر به افزایش جریان آب در نتیجه مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع بالاتر و خلل و فرج مویینه ایجاد شده می‌گردد. تغییر خلل و فرج ساختمانی خاک از منافذ درشت ایجاد شده توسط شخم به شبکه منافذ ریز به هم‌پیوسته در نتیجه فعالیت موجودات زنده خاک، هدایت هیدرولیکی را قدری کاهش داده است [Angulo-Jaramillo et al., 1997]. افزایش فعالیت بیولوژیکی موجب افزایش هدایت هیدرولیکی می‌شود [Mubarak et al., 2009]. اینکه مدیر مزرعه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را در چه مقطعی برای آبیاری و کوددهی انتخاب کند تاثیر بسزایی در افزایش یا کاهش هدررفت آب و مواد غذایی از طریق نفوذعمقی و خروج از منطقه توسعه ریشه دارد.

بسیاری از محققین گزارش کردند که ضریب آبگذری اشباع و غیر اشباع به طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر روش بی‌خاکورزی قرار می‌گیرد و این امر به‌علت پیوستگی بیشتر منافذ یا حرکت آب از میان منافذ درشت‌تر می‌باشد [Allmaras et al., 1967]

بنابراین با وجود مطالعات زیاد در این زمینه، اثرات عملیات خاکورزی بر خصوصیات هیدرولیکی خاک چندان واضح و آشکار نیست [Strudley et al., 2008]. نتایج ضد و نقیض حاصل از تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را می‌توان ناشی از وضعیت ناپایدار خاک پس از خاکورزی، سابقه (تاریخچه) کاربری اراضی، شرایط اقلیمی، میزان رطوبت اولیه و نهایی خاک، زمان نمونه‌برداری و به‌هم‌خوردگی خاک دانست [صفادوست و همکاران،۱۳۸۶].

گاهی نتایج بدست آمده با توجه به‌اینکه اندازه‌گیری در ابتدای فصل رشد باشد یا انتهای آن کاملاً متفاوت است. بخشی از این نتایج متناقض در ارتباط با گوناگونی‌های مکانی بالای خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌باشد که در طول فصل رشد تحت الشعاع قرار گرفته و کم‌رنگ‌تر می شود [Borman and Klaassen, 2008].

۱-۵-۳- تأثیر بر تخلخل کل خاک

اساساً سرعت نفوذ توسط توزیع و پیوستگی منافذ در خاک کنترل می‌شود [Kutílek et al., 2006]. لین و همکاران [Lin et al., 1996] گزارش کردند که ۱۰ درصد منافذ درشت (>۰/۵ میلی‌متر) و در حدود ۸۹ درصد از منافذ متوسط (۰/۵- ۰/۰۶ میلی‌متر) در جریان کل آب مشارکت دارند. شخم به‌طور گسترده‌ای توزیع اندازه منافذ را تغییر می‌دهد. به‌طور کلی خاک‌های تحت شخم مرسوم، تخلخل کل بیشتری در لایه شخم‌خورده در مقایسه با خاکهای شخم‌نخورده دارا هستند. تغییر در تخلخل کل در ارتباط با دگرگونی توزیع منافذ می‌باشد. اسکوین و همکاران [Schwen et al., 2011] در تحقیقات خود در زمینه مقایسه دو نوع روش بدون شخم و شخم مرسوم و تغییرات خصوصیات هیدرولیکی از جمله تخلخل خاک در زمان و مکان، به‌این نتیجه رسیدند که روش بدون شخم منجر به اتصال بیشتر و اعوجاج کمتر منافذ، احتمالاً وابسته به ساختمان بهتر و فعالیت بیولوژیکی بیشتر می‌شود. روش بدون شخم همچنین منجر به پایداری موقتی بهتری در شبکه منافذ و خصوصیات هیدرولیکی اما تغییرپذیری مکانی بالا در منافذ درشت می‌شود. مورت و آرو [Moret and Arrue. 2007] با بررسی اثر سه تیمار مرسوم، کم‌خاکورزی و بدون شخم به این نتیجه رسیدند که در تیمار بدون شخم بیشترین میانگین اندازه‌ی منافذ بزرگ (۰/۹۹، ۰/۹۵ و ۲/۰۸ میلی‌متر) برای شخم مرسوم، شخم کاهشی و بدون شخم) اما کمترین تعداد منافذ هدایت کننده‌ی آب در واحد سطح (۷۴/۱، ۱۱۸/۵ و ۱/۴ منافذ درشت در متر مربع) وجود دارد. نتایج تحقیقات وال و همکاران [Whal et al., 2004] نشان دهنده‌ی اتصال و پیوستگی بیشتر منافذ درشت برای خاکهای سیلتی تحت شخم حفاظتی بود. آنها به این نتیجه رسیدند که در خاکهای لومی سیلتی، شخم حفاظتی سبب کاهش تولید رواناب و سیلاب در زمین‌های کشاورزی می‌شود. صفادوست و همکاران [۱۳۸۶] گزارش کردند که با افزایش شدت خاکورزی، درصد تخلخل خاک افزایش و جرم مخصوص ظاهری کاهش یافته است. نتایج افیونی و مصدقی [۱۳۸۰] نیز تخلخل بیشتر خاک تحت سیستم خاکورزی مرسوم نسبت به بی‌خاکورزی را نشان می‌دهد.

آهوجو و همکاران [Ahuja et al., 1989] دریافتند که بین K_s و اندازه مؤثر خاک ارتباط مستقیم وجود دارد. همچنین گزارش شده است که خاکورزی مرسوم تخلخل کل خاک را افزایش می‌دهد، ولی تعداد، پایداری و پیوستگی منافذ درشت (منافذ مؤثر در انتقال مواد) را کاهش می‌دهد [Rosberg and McCoy, 1992].