

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت منابع خاک

تاثیر بیوچار بر ویژگی های فیزیکی خاک آبگریز

نگارنده: زهرا جاجرمی

اساتید راهنما

دکتر وجیهه درستکار

دکتر هادی قربانی

استاد مشاور

دکتر علی عباسپور

بهمن ۱۳۹۹

شماره: ۲۰۴

تاریخ: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

شماره:

تاریخ:

پایه علمی:



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای زهرا حاجرمی با شماره دانشجویی ۹۶۰۰۰۲۴ رشته مدیریت منابع خاک، گرایش فیزیک و حفاظت خاک، تحت عنوان تأثیر بیوجار بر برخی ویژگی های خاک های آگریز که در تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۲۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۸/۹۹ ☒
 ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹ ☐
 ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
 نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☒

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر وحیده دستکار	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر عادی قربانی	دانشیار	
۳- استاد مشاور	دکتر علی تناسیور	دانشیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر اسمعیل محمودی	استادیار	
۵- استاد مستحق اول	دکتر یاسر صفری	استادیار	
۶- استاد مستحق دوم	دکتر روزه مودن زاده	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر علی درخشان شادمهری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم اثر

تقدیم به اسطوره های زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم

پدر و مادر عزیزم

اثر می کوچک است، خیلی کوچک و شاید هیچ امانه یاد عهد قدیم و رسم ندیم

تقدیم می شود به: بهترین دوستم

همه کسانی که لحظه ای بعد انسانی و وجدانی خود را فراموش نمی کنند و بر آستان کران
سنگ انسانیت سرفرودمی آورند و انسان را با همه تفاوت هایش ارج می نهند

تشکر و قدردانی

باسپاس فراوان از پروردگاری که نعمت قدرشناسی را به من آموخت، وظیفه خود می‌دانم از کسانی که به هر نحو ممکن، دسیمودن مسیر پر تلاطم علم و دانش به یاری اینجانب شتافتند؛ تقدیر و تشکر کنم. در ابتدا از زحمات بی‌شائبه استاد راهنمای بزرگوارم، سرکار خانم دکتر وحیده دستکار که در تهیه و تکمیل این پژوهش، همواره از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های سودمندشان بهره‌برده‌ام و با ایشان بودن افتخاری برای من بود، صمیمانه تقدیر و تشکر میکنم و از خداوند منان برایشان سلامتی و توفیق در تمامی مراحل زندگی را خواهم.

و همچنین از جناب آقای دکتر هادی قربانی سپاسگزارم چرا که بدون راهنمایی ایشان تأمین این پایان‌نامه بسیار مشکل می‌بود.

از استاد مشاور گرامی جناب آقای دکتر علی عباسپور سپاسگزارم.

تعمدنامه

اینجانب **زهرا جاجرمی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مدیریت منابع خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه . تاثیر بیوچار بر ویژگی های فیزیکی خاک آبگریز تحت راهنمایی دکتر وجیهه درستکار و دکتر هادی قربانی متعهد می شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک با مشکلات زیادی همراه است و در سال‌های اخیر آبریزی در این مناطق به یک مشکل جدی تبدیل شده است. آبریزی باعث کاهش ظرفیت نفوذ آب به خاک، افزایش رواناب سطحی، کاهش سطح تماس خاک و آب و همچنین باعث کاهش قابلیت خیس‌خوردگی خاک می‌شود. از روش‌های اصلاح آبریزی می‌توان استفاده از بیوپار، استفاده از کانی‌های رسی، زیست‌پالایی و آهک‌دهی را نام برد. در پژوهش حاضر، به منظور بررسی اثر بیوپار در کاهش آبریزی خاک، از بیوپار نیشکر به میزان صفر تا ۱۰ درصد در سه سطح آبریزی شامل خاک بدون آبریزی، خاک با آبریزی زیاد و خیلی شدید استفاده شده است. در بخش اول پژوهش تاثیر بیوپار در اصلاح سطوح مختلف آبریزی خاک به وسیله آزمایش نفوذ قطره آب و تست مولاریته قطره اتانول بررسی شده است. همچنین تاثیر بیوپار در حضور آب شور با غلظت‌های مختلف کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر این پارامترها مطالعه شده است. در بخش دوم تاثیر بیوپار بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آبریز شامل منافذ خاک، تخلخل و منحنی مشخصه رطوبتی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مقدار و اندازه بیوپار و اثر متقابل آن‌ها روی آزمون زمان نفوذ قطره و آزمون مولاریته اتانول در هر دو خاک با دو سطح آبریزی معنی دار بوده است. به طور کلی در دو سطح خاک آبریز، کاربرد ۱ تا ۳ درصد بیوپار سبب تغییر کلاس آبریزی شده است. زمان نفوذ در سطح آبریزی زیاد در هر دو اندازه بیوپار به کمتر از ۶۰ ثانیه تغییر کرده و کلاس آبریزی به جزئی آبریز تغییر کرده است؛ اما در سطح آبریزی خیلی شدید اثر کاربرد بیوپار با اندازه ۰/۲۵ < میلی‌متر بیش‌تر بوده و کاربرد ۲ درصد بیوپار علاوه بر کاهش زمان نفوذ باعث تغییر کلاس آبریزی از خیلی شدید به شدید شده است. همچنین کاربرد آب شور، در هر دو سطح خاک آبریز سبب افزایش آبریزی خاک شد. بررسی منحنی مشخصه رطوبتی نشان داد که افزایش بیوپار از صفر تا ۵ درصد در همه سطوح آبریزی سبب افزایش نگهداشت آب در خاک شده است، افزایش بیوپار باعث افزایش رطوبت حجمی در همه نقاط اندازه‌گیری به ویژه در مکش ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر اولیه شده است زیرا در این دامنه از مکش، عمدتاً منافذ درشت و متوسط در جریان آب در خاک اهمیت داشته و استفاده از بیوپار باعث افزایش منافذ درشت و در نتیجه افزایش نگهداشت آب خاک در این مکش می‌شود. همچنین افزودن بیوپار به خاک سبب افزایش رطوبت در ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک برای گیاه شده است. این اطلاعات می‌تواند در مدیریت کاربرد بیوپار در خاک به منظور کاهش آبریزی خاک استفاده شود.

کلمات کلیدی: بیوپار، آبریزی، تست نفوذ قطره آب، منحنی مشخصه رطوبتی

فهرست مطالب

فصل ۱- مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- ضرورت انجام پژوهش	۳
۳-۱- اهداف مطالعه	۳
فصل ۲- کلیات و بررسی منابع	۵
۲-۱- آبریزی	۶
۲-۲- درجات مختلف آبریزی	۶
۲-۳- تاریخچه مطالعات آبریزی خاک	۷
۲-۴- پراکندگی خاک‌های آبریز در جهان	۸
۲-۵- عوامل ایجاد آبریزی در خاک	۸
۲-۵-۱- ماده آلی خاک	۸
۲-۵-۲- مقدار مواد آلی	۹
۲-۵-۳- نوع مواد آلی	۹
۲-۵-۴- pH خاک	۱۰
۲-۵-۵- آبریزی حاصل از آبیاری با پساب	۱۰
۲-۵-۶- فرایندهای مرطوب و خشک شدن خاک	۱۱
۲-۵-۷- سوزاندن خاک	۱۱
۲-۵-۷-۱- گرم شدن خاک	۱۱
۲-۵-۷-۲- آتش سوزی پوشش گیاهی روی خاک	۱۲
۲-۵-۸- پوشش گیاهی	۱۲
۲-۵-۹- فعالیت زیستی موجودات خاک	۱۳
۲-۵-۱۰- مدیریت خاک	۱۳
۲-۵-۱۱- کاربری اراضی	۱۳

۱۴	۲-۶- اثر ویژگیهای خاک بر آبگریزی.....
۱۴	۲-۶-۱- ساختمان خاک.....
۱۴	۲-۶-۲- مقدار رطوبت خاک.....
۱۷	۲-۶-۳- مقدار رس خاک و بافت خاک.....
۱۷	۲-۶-۴- شوری.....
۱۸	۲-۷- ترمودینامیک مرطوب شدن خاک.....
۲۰	۲-۸- اثرات آبگریزی.....
۲۱	۲-۸-۱- نفوذپذیری اندک خاک.....
۲۱	۲-۸-۲- افزایش جریانهای سطحی و فرسایش آبی و بادی خاک.....
۲۲	۲-۸-۳- ایجاد مسیرهای ترجیحی.....
۲۲	۲-۸-۴- توزیع پویای رطوبت خاک (جبهه رطوبتی ناپایدار).....
۲۳	۲-۸-۵- افزایش سیلاب و جریان رودخانه ای.....
۲۳	۲-۹- اثرات سودمند آبگریزی خاک.....
۲۳	۲-۱۰- روش های اندازه گیری آبگریزی خاک.....
۲۴	۲-۱۰-۱- روش زمان نفوذ قطره آب به درون خاک (WDPT).....
۲۴	۲-۱۰-۲- روش مولاریته قطره اتانول (MED).....
۲۵	۲-۱۰-۳- روش قطره سیال چسبیده به سطح (SDM).....
۲۶	۲-۱۰-۴- روش نسبت ضریب جذب.....
۲۶	۲-۱۰-۵- روش صعود مویینه (CRM).....
۲۷	۲-۱۱- ویژگیهای هیدرولیکی خاکهای آبگریز.....
۲۸	۲-۱۲- اصلاح خاک های آبگریز.....
۲۹	۲-۱۲-۱- روشهای شیمیایی مستقیم.....
۲۹	۲-۱۲-۱-۱- آهک دهی.....
۲۹	۲-۱۲-۱-۲- کاربرد کودهای کند رها.....
۳۰	۲-۱۲-۲- روشهای بیولوژیک مستقیم.....
۳۰	۲-۱۲-۲-۱- زیست پالایی.....
۳۰	۲-۱۲-۲-۲- تحریک فعالیت کرمهای خاکی.....
۳۱	۲-۱۲-۳- روشهای فیزیکی مستقیم.....

۳۱	۲-۱۲-۴- روش‌های غیر مستقیم فیزیکی
۳۲	۲-۱۲-۵- روش‌های غیر مستقیم شیمیایی
۳۲	۲-۱۲-۵-۱- استفاده از سورفاکتانت‌ها
۳۲	۲-۱۲-۵-۲- افزودن کانی‌های رسی به خاک
۳۳	۲-۱۲-۵-۳- استفاده از قارچکش‌ها
۳۳	۲-۱۲-۵-۴- استفاده از بیوچار
۳۴	۲-۱۳- تاثیر بیوچار بر ویژگیهای هیدرولیکی خاک
۳۷	فصل ۳- مواد و روش‌ها
۳۸	۳-۱- مشخصات محل نمونه برداری
۳۸	۳-۲- تهیه خاک آبریز
۳۹	۳-۳- تهیه بیوچار
۴۰	۳-۴- بررسی خصوصیات مورفولوژی بیوچار
۴۰	۳-۵- طیف سنجی (FTIR) بیوچار
۴۱	۳-۶- بخش اول
۴۱	۳-۶-۱- اثر بیوچار در اصلاح سطوح مختلف آبریزی خاک
۴۲	۳-۶-۲- اثر بیوچار در اصلاح سطوح مختلف آبریزی خاک در حضور آب شور
۴۲	۳-۶-۱-۲- آزمایش زمان نفوذ قطره (WDPT)
۴۲	۳-۷- بخش دوم
۴۲	۳-۷-۱- اثر بیوچار بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آبریز
۴۳	۳-۷-۲- اندازه‌گیری و مدل‌سازی منحنی مشخصه رطوبتی خاک
۴۳	۳-۷-۳- توزیع اندازه منافذ خاک
۴۳	۳-۷-۴- ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک
۴۵	فصل ۴- بحث و نتایج
۴۶	۴-۱- ویژگیهای بیوچار
۴۸	۴-۲- بخش اول
۴۸	۴-۲-۱- اثر بیوچار در اصلاح سطوح مختلف آبریزی خاک
۴۸	۴-۲-۱-۱- آبریزی در خاک شنی با آبریزی زیاد
۵۱	۴-۲-۱-۲- تاثیر شوری بر زمان نفوذ قطره در خاک شنی با آبریزی زیاد

۵۷	۴-۲-۱-۳- آبگریزی در خاک شنی با آبگریزی خیلی شدید
۵۹	۴-۲-۱-۴- تأثیر شوری بر زمان نفوذ قطره در خاک شنی با آبگریزی خیلی شدید
۶۴	۴-۳- بخش دوم
۶۴	۴-۳-۱- اثر بیوچار بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آبگریز
۶۴	۴-۳-۱-۱- منافذ خاک
۶۶	۴-۳-۱-۲- منحنی مشخصه رطوبتی
۷۰	۴-۳-۱-۳- پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی
۷۳	۴-۳-۱-۴- ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک
۷۷	۵- نتیجه گیری
۷۸	۵-۱- نتیجه گیری کلی
۷۹	۵-۲- پیشنهادات
۸۰	فهرست منابع

فهرست جداول

جدول ۱-۲- گروه بندی آب پذیری و آبریزی خاک ها بر اساس روش تست نفوذ قطره آب (WDPT).....	۲۴
جدول ۲-۲- گروه بندی آبریزی خاک ها بر اساس روش MED.....	۲۵
جدول ۱-۳- مقادیر اسید استناریک مصرفی برای ایجاد سطوح مختلف آبریزی در خاک	۳۸
طبقه ۲-۳ طبقه بندی زمان نفوذ پذیری قطره آب با توجه به خصوصیات آبریزی خاک	۳۹
جدول ۱-۴- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل میزان و اندازه بیوچار بر زمان نفوذ قطره و مولاریته اتانول در خاک با آبریزی زیاد.....	۴۸
جدول ۲-۴- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل میزان و اندازه بیوچار بر زمان نفوذ قطره و مولاریته اتانول در خاک با آبریزی خیلی شدید	۵۷
جدول ۳-۴- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل آبریزی و بیوچار بر حجم منافذ درشت، متوسط، ریز و حجم کل منافذ خاک.....	۶۴
جدول ۴-۴- مقایسه میانگین اثر اصلی آبریزی بر میانگین حجم منافذ درشت، متوسط، ریز و حجم کل منافذ خاک	۶۵
جدول ۵-۴- مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار بر میانگین حجم منافذ درشت، متوسط، ریز و حجم کل منافذ خاک	۶۵
جدول ۶-۴- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل آبریزی و بیوچار بر پارامترهای برازش یافته مدل منحنی مشخصه رطوبتی خاک ون گنوختن-معلم	۷۱
جدول ۷-۴- مقایسه میانگین اثر اصلی آبریزی بر میانگین پارامترهای برازش یافته مدل منحنی مشخصه رطوبتی ون گنوختن-معلم	۷۱
جدول ۸-۴- مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار بر میانگین پارامترهای برازش یافته مدل منحنی مشخصه رطوبتی ون گنوختن-معلم	۷۱
جدول ۹-۴- اثر متقابل آبریزی و بیوچار بر رطوبت حجمی اشباع و رطوبت حجمی باقیمانده	۷۲
جدول ۱۰-۴- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل آبریزی و بیوچار بر ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک.....	۷۳
جدول ۱۱-۴- مقایسه میانگین اثر اصلی آبریزی بر میانگین رطوبت در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک	۷۵
جدول ۱۲-۴- مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار بر میانگین رطوبت در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک.....	۷۵

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- شماتیک درجات مختلف آبریزی خاک بر اساس زوایه تماس آب و خاک..... ۷
- شکل ۲-۲- شماتیک دگرگونی ویژگی آبریزی به آب‌پذیری به دنبال تماس بلند مدت خاک با آب..... ۱۶
- شکل ۳-۲- شماتیک چگونگی آرایش ذرات آلی آمفیپاتیک در خاک خشک و مرطوب..... ۱۶
- شکل ۴-۲- شماتیک اثر زاویه سیال-جامد (Θ) بر خیز مویینه ای (h) در یک لوله مویینه..... ۲۰
- شکل ۵-۲- شماتیک رابطه بین نفوذ تجمعی آب به خاک (l) و زمان (t)..... ۲۶
- شکل ۱-۳- شماتیک آزمایش نفوذ قطره بر روی خاک با آبریزی شدید (الف) و بدون آبریزی (ب)..... ۳۹
- شکل ۲-۳- بیوپار نیشکر مورد مطالعه..... ۴۰
- شکل ۱-۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی بیوپار نیشکر..... ۴۶
- شکل ۲-۴- تصویر FTIR - بیوپار مصرفی..... ۴۷
- شکل ۳-۳- تصویر آزمایش نفوذ قطره بر روی بیوپار نیشکر..... ۴۷
- شکل ۴-۴- اثر اندازه و مقدار بیوپار بر زمان نفوذ قطره (WDPT) در خاک با آبریزی زیاد (60mesh):
 $0.25 < \text{میلی متر}$ ، 10mesh: ۲-۲۵ میلی متر)..... ۴۹
- شکل ۵-۴- اثر اندازه و مقدار بیوپار بر آزمون مولارینه قطره اتانول (MED) با آبریزی زیاد (60mesh):
 $0.25 < \text{میلی متر}$ ، 10mesh: ۲-۲۵ میلی متر)..... ۵۰
- شکل ۶-۴- اثر شوری ناشی از نمک کلرید کلسیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوپار با اندازه
 $0.25 < \text{میلی متر}$ در خاک با آبریزی زیاد..... ۵۱
- شکل ۷-۴- اثر شوری ناشی از نمک کلرید کلسیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوپار با اندازه ۲-
 $0.25 < \text{میلی متر}$ در خاک با آبریزی زیاد..... ۵۲
- شکل ۸-۴- اثر شوری ناشی از نمک کلرید سدیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوپار با اندازه
 $0.25 < \text{میلی متر}$ در خاک با آبریزی زیاد..... ۵۲
- شکل ۹-۴- اثر شوری ناشی از نمک کلرید سدیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوپار با اندازه ۲-
 $0.25 < \text{میلی متر}$ در خاک با آبریزی زیاد..... ۵۳
- شکل ۱۰-۴- اثر اندازه و مقدار بیوپار بر زمان نفوذ قطره (WDPT) در خاک با آبریزی خیلی
 شدید (60mesh: $0.25 < \text{میلی متر}$ ، 10mesh: ۲-۲۵ میلی متر)..... ۵۸
- شکل ۱۱-۴- اثر اندازه و مقدار بیوپار بر آزمون مولارینه قطره اتانول (MED) با آبریزی خیلی
 شدید (60mesh: $0.25 < \text{میلی متر}$ ، 10mesh: ۲-۲۵ میلی متر)..... ۵۹
- شکل ۱۲-۴- اثر شوری ناشی از نمک کلرید کلسیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوپار با اندازه
 $0.25 < \text{میلی متر}$ در خاک با آبریزی خیلی شدید..... ۶۰
- شکل ۱۳-۴- اثر شوری ناشی از نمک کلرید کلسیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوپار با اندازه
 0.25 تا 2 میلی متر در خاک با آبریزی خیلی شدید..... ۶۰
- شکل ۱۴-۴- اثر شوری ناشی از نمک کلرید سدیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوپار با اندازه
 $0.25 < \text{میلی متر}$ در خاک با آبریزی خیلی شدید..... ۶۱

- شکل ۴-۱۵- اثر شوری ناشی از نمک کلرید سدیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوچار با اندازه ۰/۲۵ تا ۲ میلی‌متر در خاک با آبگریزی خیلی شدید..... ۶۱
- شکل ۴-۱۶- اثر متقابل آبگریزی و بیوچار بر تخلخل کل خاک..... ۶۶
- شکل ۴-۱۷- اثر بیوچار بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در خاک بدون آبگریزی ۶۷
- شکل ۴-۱۸- اثر بیوچار بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در خاک با آبگریزی زیاد ۶۷
- شکل ۴-۱۹- اثر بیوچار بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در خاک با آبگریزی شدید..... ۶۸
- شکل ۴-۲۰- اثر آبگریزی بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در تیمار بیوچار صفر درصد..... ۶۸
- شکل ۴-۲۱- اثر آبگریزی بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در تیمار ۲ درصد بیوچار..... ۶۹
- شکل ۴-۲۲- اثر آبگریزی بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در تیمار ۵ درصد بیوچار..... ۶۹

فصل ۱: مقدمه

۱-۱- مقدمه

کشاورزی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک همواره با مشکلات زیادی رو به رو بوده است. از جمله مشکلات اساسی در این زمینه می‌توان به کمیت و کیفیت آب آبیاری، شوری و کمبود ماده آلی خاک اشاره نمود (حاجی بلند ۲۰۱۳ و ریسی و آقابابایی ۲۰۱۱). در سال‌های اخیر آگریزی خاک (Soil water repellency) نیز به عنوان یکی از مشکلات جدی در این مناطق شناخته شده است (هلت ۲۰۰۷). پدیده آگریزی اولین بار در کالیفرنیا توسط سرینر و شوری (۱۹۱۰) گزارش شد. در خاک‌های آگریز اجازه ورود آب به داخل خاک داده نشده و یا نفوذ با کندی صورت می‌گیرد (هلت ۲۰۰۷). توجه به پدیده آگریزی قبل از قرن بیستم شروع شد البته در آن زمان این پدیده به صورت کنونی شناخته نشده بود. توسعه روز افزون خاک‌های آگریز در علفزارها، جنگل‌ها و باغ‌های مرکبات به عنوان یک مشکل جدی شناخته شده است. وجود خاک‌های آگریز بیش از ۶۰ سال است که به عنوان یک مشکل اصلی در مدیریت زمین‌های چمن گلف (که از نظر اقتصادی ارزش بالایی دارند) شناخته می‌شود (یورک و کنوای ۲۰۰۰). انجمن گلف آمریکا از سال ۱۹۶۰ توصیه نمود که ترکیب خاک رویی زمین گلف باید حاوی حداقل ۹۰ درصد شن باشد. از آن زمان تاکنون علائم آگریزی در این چمنزارها مشاهده شده است (کارنوک ۲۰۰۰). دبانو (۲۰۰۰) پیشنهاد نمود که به علت شناسایی سطح وسیع خاک‌های آگریز در طول قرن گذشته، آگریزی باید به صورت یک موضوع با اهمیت از علم خاکشناسی مورد مطالعه قرار گیرد. از معایب آگریزی می‌توان به کاهش ظرفیت نفوذ آب به خاک، افزایش روناب سطحی، کاهش پیوستگی خاک و آب، کاهش قابلیت خیس خوردگی خاک اشاره نمود (ولیس و هرن ۱۹۹۰).

به دلیل اهمیت تأمین آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک هر عاملی که از نفوذ آب به داخل خاک جلوگیری کند، راندمان مصرف آب را کاهش می‌دهد. به همین دلیل اصلاح آگریزی خاک از طریق روش‌های مختلف بسیار مهم می‌باشد. کاهش آگریزی خاک علاوه بر بهبود تأمین آب مورد نیاز گیاه، از ایجاد جریان‌های سطحی و فرسایش خاک نیز جلوگیری می‌نماید (دبانو ۲۰۰۰). به طور کلی از میان روش‌های اصلاح آگریزی خاک‌ها می‌توان به شخم زدن و هوادهی، آبیاری و خشک کردن، زیست پالایی، استفاده از کانی‌های رسی و آهک دهی اشاره نمود (استینبسی و همکاران ۲۰۰۹).

افزودن بیوپار به خاک به عنوان اصلاح‌کننده به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. بیش‌تر پژوهش‌های صورت گرفته به کاربرد بیوپار در ترسیب کربن و نگهداری آب و عناصر غذایی برای بهبود ویژگی خاک‌های کشاورزی پرداخته است (سوهی و همکاران ۲۰۱۰). همچنین در سال‌های اخیر تولید و کاربرد بیوپار برای اصلاح خاک‌های آلوده مورد توجه قرار گرفته است. به طور کلی افزودن مستقیم مواد

آبدوست به خاک‌های آبگریز به عنوان یک راه کار مناسب برای بهبود نفوذ آب به این خاک‌ها معرفی شده است. بیوچار نیز به عنوان یک ماده آبدوست شناخته شده و کاربرد آن به عنوان اصلاح کننده در خاک‌های آبگریز امکان‌پذیر است (هلین و همکاران ۲۰۱۵).

۱-۲- ضرورت انجام پژوهش

تغییرات اقلیمی در دهه‌های گذشته منجر به توسعه خشکسالی در ایران شده است. این خشکسالی‌های پی در پی با خشکی خاک و توسعه پدیده آبگریزی در خاک‌ها همراه بوده است. به علاوه آلودگی وسیع خاک اطراف چاه‌های نفت و پالایشگاه‌ها در ایران منجر به آبگریز شدن خاک‌ها حتی در اراضی کشاورزی نزدیک به مناطق نفت‌خیز شده است. این آلودگی وسیع نه تنها تولید محصولات کشاورزی را از طریق کاهش نفوذ آب به خاک فراهم نموده، بلکه سبب ایجاد جریان‌های سیلابی و بروز پدیده فرسایش و انتقال آلاینده‌ها در سطح وسیع شده است (فرزادیان ۱۳۹۲). پژوهش‌های صورت گرفته برای اصلاح آبگریزی خاک در ایران به ویژه به کمک بیوچار بسیار محدود است. از سوی دیگر شناخت ویژگی‌های هیدرولیکی این خاک‌ها نیز می‌تواند در مدیریت صحیح‌تر آن‌ها مؤثر باشد. با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر بیوچار بر اصلاح آبگریزی خاک صورت گرفته است.

فرضیات پژوهش:

- ۱- اثرات بیوچار بر کاهش آبگریزی خاک وابسته به اندازه ذرات بیوچار و مقدار بیوچار مصرفی است.
- ۲- کیفیت آب آبیاری بر آبگریزی خاک و اصلاح آن توسط بیوچار مؤثر است.
- ۳- بیوچار با تغییر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک بر کیفیت فیزیکی خاک‌های آبگریز مؤثر است.

۱-۳- اهداف مطالعه

- ۱- بررسی اثر اندازه و مقدار بیوچار بر کاهش آبگریزی خاک
- ۲- بررسی تأثیر کیفیت آب آبیاری بر آبگریزی خاک و اصلاح آن توسط بیوچار
- ۳- بررسی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک آبگریز اصلاح شده با بیوچار

فصل ۲: کلیات و بررسی منابع

۱-۲- آبریزی

از جمله ویژگی‌های فیزیکی مهم خاک، آبریزی و آبدوستی آن است. مقاومت خاک به مرطوب شدن برای دوره‌های زمانی چند دقیقه‌ای، چند ساعته و یا زیاده‌تر را آبریزی خاک می‌گویند (جانگ و همکاران ۱۹۹۹). خاک‌های آبریز، خاک‌هایی هستند که اجازه نفوذ آب به درون خاک را نمی‌دهد (مارشال و هولمز ۱۹۷۹، تیلمن و همکاران ۱۹۸۹).

هیچ سطحی به طور کامل نیروی دافعه بر روی یک مایع ایجاد نمی‌کند. به همین دلیل آبریزی امری نسبی است. به عبارت دیگر همیشه مقداری جاذبه بین یک مایع و هر جامد دیگری وجود دارد. بنابراین، سطح کاملاً آبریز وجود خارجی ندارد (چاپک ۱۹۸۴). یک سطح آبدوست اجازه می‌دهد که مولکول‌های آب در سرتاسر آن به طور پیوسته پخش شود، در حالی که آب در یک سطح آبریز به صورت قطرات منفرد و پیوسته در می‌آید (آدامز ۱۹۶۹). قابلیت خیس شدن از خصوصیات دینامیک خاک است که به بسیاری از خصوصیات بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی خاک بستگی دارد (دکر و همکاران ۲۰۰۵).

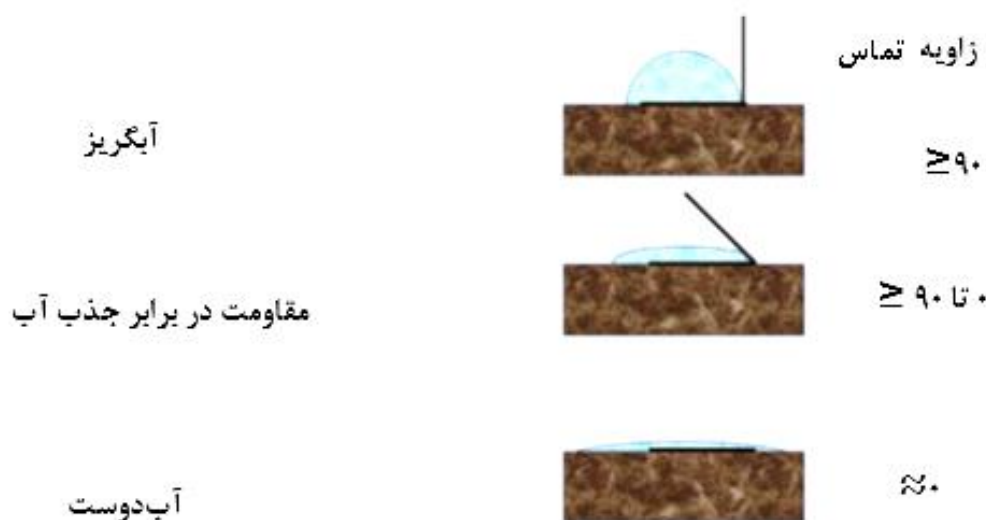
تیلمن و همکاران (۱۹۸۹) به طور کلی خاک را به دو دسته آبریز واقعی و آبریز زیر حد بحرانی تقسیم نمودند. هنگامی که خاک اجازه ورود آب به درون خود را نمی‌دهد، خاک آبریز واقعی بوده و وقتی نفوذ آب به خاک به آهستگی انجام گیرد، آبریزی خاک زیر بحرانی است. به بیان دیگر آبریزی بحرانی خاک یکی از ویژگی‌های فیزیکی خاک است که نفوذ آب در آن به دلیل وجود سطوح آبریز در خاک به کندی انجام می‌گیرد. در بسیاری از خاک‌ها که سطوح آبریز فراوانی ندارند آبریزی زیر بحرانی رخ می‌دهد (تیلمن و همکاران ۱۹۸۹).

دکر و ریتسما (۱۹۹۴) دو مفهوم آبریزی بالقوه و آبریزی واقعی خاک را عنوان کردند. آبریزی بالقوه بالاترین درجه آبریزی است که یک خاک آبریز می‌تواند در شرایط آون خشک داشته باشد. آبریزی واقعی به مقدار آبریزی خاک در شرایط واقعی گفته می‌شود. آبریزی وابسته به زمان بوده و با توجه به مقدار و نوع پوشش گیاهی و مواد آلی خاک متفاوت است (دکر و ریتسما ۱۹۹۴).

۲-۲- درجات مختلف آبریزی

به طور کلی خاک‌ها از نظر اندازه زاویه تماس آب با خاک و میزان آبریزی به سه دسته تقسیم می‌شود. اگر زاویه تماس آب با خاک صفر درجه باشد، خاک به طور کامل توسط سیال خیس شده و خاک آبدوست

نامیده می‌شود. اگر زاویه تماس در دامنه صفر تا ۹۰ درجه قرار داشته باشد، خاک آبگریزی زیر بحرانی داشته و خیس شدن با سرعت کمتر انجام گرفته که این حالت در بیشتر خاک‌ها وجود دارد. در صورتی که این زاویه بزرگ‌تر از ۹۰ درجه باشد، آب نمی‌تواند خاک را خیس نماید و به درون خاک نفوذ نمی‌کند و خاک آبگریز واقعی نامیده می‌شود (شکل ۱-۲) (تیلمن و همکاران ۱۹۸۹).



شکل ۱-۲- درجات مختلف آبگریزی خاک بر اساس زاویه تماس آب و خاک (هلت ۲۰۰۷)

۲-۳- تاریخچه مطالعات آبگریزی خاک

تا قبل از دهه ۱۹۶۰ مطالعات بسیار کمی در رابطه با آبگریزی خاک انجام گرفته بود. از دهه ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۰ تحقیقات مربوط به آبگریزی معطوف به شناسایی گیاهان تولیدکننده مواد آبگریز و نیز ارائه روش‌های مناسب و استاندارد برای اندازه‌گیری این ویژگی در خاک بود (دبانو، ۱۹۸۱). از اواخر دهه ۱۹۵۰، مواد جاذب رطوبت و اصلاح‌کننده‌های رسی برای اصلاح خاک‌های آبگریز مورد بررسی قرار گرفتند. در طول دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ مطالعات مربوط به آبگریزی خاک به طور نمایی افزایش یافت و این مطالعات بر روی بررسی آبگریزی ایجاد شده در اثر آتش‌سوزی جنگل‌ها و روش‌های مدیریتی و اصلاحی برای اصلاح آبگریزی در اراضی معطوف بود (دبانو ۱۹۸۱). بعد از این دهه، تعداد محققین در این زمینه به طور قابل توجهی افزایش یافت و آبگریزی به یک موضوع مورد توجه برای بسیاری از محققین و دانشمندان زمین‌شناسی، کشاورزی، ژئومورفولوژی، ژئوشیمی و هیدرولوژی قرار گرفت.

مطالعات مختلف در ۵۰ سال گذشته نشان می‌دهد که آبریزی خاک در اقلیم‌ها و خاک‌های مختلف تحت کاربری‌های متفاوت اراضی اتفاق می‌افتد (دکر و همکاران ۲۰۰۵).

۲-۴- پراکندگی خاک‌های آبریز در جهان

آبریزی خاک در بسیاری از نقاط دنیا تحت شرایط مختلف آب و هوایی مانند ایالت متحده (دی‌بانو، ۱۹۸۱؛ کارنو و همکاران ۱۹۹۳)، استرالیا (مک‌کیزوک و همکاران ۲۰۰۰)، آلمان (گرک و همکاران ۲۰۰۱، بوسزکو و همکاران ۲۰۰۲ و تومرو همکاران ۲۰۰۵)، کانادا (روی همکاران ۱۹۹۹)، هلند (ریتسما و دکر ۲۰۰۳، دکر و همکاران ۲۰۰۰ و دکر و ریتسما ۱۹۹۴)، پرتغال (شکسبای و همکاران ۱۹۹۴ و دوئر ۱۹۹۸)، نیوزلند (والیس و هورن، ۱۹۹۲)، اسپانیا (رگالادو و ریتز ۲۰۰۵) و ایران (ذولفقاری و حاج عباسی ۱۳۸۷) گزارش شده است.

۲-۵- عوامل ایجاد آبریزی در خاک

با وجود مطالعات صورت گرفته در زمینه شناسایی عوامل ایجاد کننده آبریزی در خاک، هنوز درک کاملی از این عوامل وجود ندارد اما تقریباً همه بر این باورند که خاصیت آبریزی خاک به دلیل تجمع مواد آلی آبریز در سطح خاک ایجاد می‌شود (مولر و همکاران، ۲۰۱۱). از جمله عوامل مؤثر بر آبریزی خاک‌ها می‌توان به مقدار مواد آلی، بافت، ساختمان، مقدار رطوبت بحرانی، فرآیندهای مرطوب و خشک شدن، گرما دادن و آتش‌سوزی، ریزجانداران (قارچ‌ها و باکتری‌ها)، مدیریت (کاربری زمین، کوددهی شیمیایی و آلی) و کربنات کلسیم خاک اشاره کرد (دوئر و همکاران، ۱۹۹۸).

۲-۵-۱- ماده آلی خاک

ماده آلی خاک، تجمعی از یاخته‌های زنده گیاهان، جانوران و ریز جانداران خاک و پسماندهای اندکی پوسیده شده آن‌ها است (صفری سنجانی ۱۳۸۲). دبانو (۱۹۷۱) و والیس و هورن (۱۹۹۱) اظهار داشتند که آبریزی در خاک ناشی از ترکیبات آلی آبریزی است که سطح ذرات خاک را می‌پوشانند. به طور کلی ترکیبات آبریز به دو دسته تقسیم می‌شوند.

الف) هیدروکربن‌های زنجیره غیر قطبی. این مواد غیر قطبی نه بار مثبت و نه بار منفی دارند در نتیجه تقریباً در آب نامحلول‌اند.

ب) هیدروکربن‌های قطبی که دارای ساختار دوگانه بوده و در واقع یک طرف این زنجیره هیدروکربنه خاصیت آب‌دوستی و یک طرف دیگر خاصیت آبگریزی دارند (دوئر و همکاران ۲۰۰۰). تجمع و تولید ماده آلی در خاک‌های ریزبافت به مقدار بیش‌تر انجام می‌گیرد. در این خاک‌ها مواد آلی جذب سطح کانی‌های رسی (با سطح ویژه زیاد) شده و در برابر تجزیه ریز جانداران مقام می‌شوند. همچنین آنزیم‌های تجزیه کننده مواد آلی، جذب کانی‌های رسی شده و به صورت غیر فعال در می‌آیند (هاسینک، ۱۹۹۷ و صفری سنجانی، ۱۳۸۲).

مواد آلی شسته شده از برگ گیاهان (رابرت و کاربن، ۱۹۷۱؛ وانت وود، ۱۹۵۹) و تولیدهای میکروبی آبگریز (باند، ۱۹۶۹) سطح ذرات خاک را فرا می‌گیرند. مواد آلی آبگریز از ترشحات ریشه گیاهان سبز، موم-های روی بشره برگ‌های گیاهان، رزین‌ها و موم‌های تولید شده توسط درختان، تجزیه مواد آلی و ترشحات گونه‌های ویژه قارچ‌ها در خاک پدید می‌آیند (هلت و همکاران، ۲۰۰۶). هلت و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که خاک پیرامون ریشه گیاهان (ریزوسفر)، نسبت به توده خاک، آبگریزی بیش‌تری دارد. مقدار و نوع ماده آلی در خاک بر ظهور و شدت آبگریزی در خاک مؤثر است.

۲-۵-۲- مقدار مواد آلی

بر اساس پژوهش‌های انجام شده، افزایش مقدار ماده آلی و کربن آلی خاک، افزایش آبگریزی خاک را به دنبال دارد (باند، ۱۹۶۴؛ مک گی و پوزنر، ۱۹۸۱؛ والیس و همکاران، ۱۹۹۲) که در این میان نباید اثر پوشش گیاهی را نادیده گرفت (مک گی و پوزنر ۱۹۸۱).

بچمن و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که خاک‌های با مقدار ماده آلی زیاد، معمولاً آبگریز بوده و این عامل از یک سو سبب نامساعد شدن شرایط برای فعالیت میکروبی و کاهش سرعت معدنی شدن مواد آلی و از سوی دیگر سبب پایداری خاکدانه‌ها و بهبود شرایط فیزیکی خاک می‌گردد. روی (۱۹۹۹) گزارش کرد که تجمع مواد آلی آبگریز و توزیع و آرایش دوباره آن‌ها در خاک ضروری است تا آبگریزی پدید آید. پنگ و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که در خاک‌های با اندازه ۱۰ تا ۲۰ میلی متر یک خاک در کاربری‌های گوناگون، با افزایش مقدار کربن آلی، آبگریزی آن افزایش یافت.

۲-۵-۳- نوع مواد آلی

از جمله مواد آلی که در آبگریزی خاک‌ها نقش مهمی دارند، ترکیب‌های آمفیفیلیک است. این ترکیب‌ها دارای دو بخش آب دوست و آبگریز در ساختار خود هستند (والیس و همکاران، ۱۹۹۰؛ فرانکو و همکاران، ۱۹۹۴؛ روی و مک گیل، ۲۰۰۲). ماشوم و همکاران (۱۹۸۸) گزارش کردند که اسیدهای چرب با زنجیره-

های طولانی کارایی بالایی در آبریز نمودن خاک‌ها دارند. همچنین فرانکو و همکاران (۱۹۹۵) بیان کردند که لیپیدها سبب آبریزی خاک می‌گردند.

پژوهش‌ها نشان دادند که مواد هومیکی با تشکیل پیوند هومیک_فلز_رس، به گونه‌ای قوی جذب ذرات خاک شده و سطح آن‌ها را می‌پوشانند. این ترکیبات با افزایش زاویه تماس آب_خاک و نیز افزایش کشش سطحی آب سبب آبریز شدن خاک می‌شوند. موم گیاهان از ترکیبات آلی آبریز بوده که کارایی بالایی در آبریز نمودن خاک دارد (تیت و همکاران ۱۹۸۹ و فرانکو و همکاران ۱۹۹۵).

البروک و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که ماده آلی از راه گروه‌های عامل (مانند کربونیل، هیدروکسل و گروه‌های آمیدی) توسط کاتیون‌های چند ظرفیتی (مانند Ca^{2+} و Fe^{n+}) جذب سطحی ذرات خاک می‌شوند. به گونه‌ای که گروه‌های عامل آب دوست ماده آلی، جذب سطحی ذرات شده و به صورت یک لایه مولکولی درآمده و گروه‌های آبریز ماده آلی در سطح بیرونی لایه مولکولی آرایش می‌یابند. هر چه مقدار ماده آلی بیشتر باشد، سطح بیرونی لایه مولکولی با مواد آلی بیش‌تری ارتباط یافته و گروه‌های عامل آبریز بیش‌تری در سطح ذرات پدید می‌آید. بنابراین میزان و نوع گروه‌های عامل نیز نقش مهمی در آبریزی خاک دارند (البروک و همکاران، ۲۰۰۴).

۲-۵-۴ - pH خاک

روبرت و کاربن (۱۹۷۱) دریافتند که پدیده آبریزی در شرایط قلیایی مشاهده نمی‌شود. کی‌یس و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند رابطه متقابل بین pH و آبریزی احتمالاً وابسته به قابلیت انحلال مواد هیومیک در خاک‌های اسیدی است. لین و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که زاویه تماس آب با اسید هیومیک و اسید فولویک به pH وابسته است و افزایش مقدار pH شدت آبریزی اسید هیومیک را کاهش می‌دهد.

۲-۵-۵ - آبریزی حاصل از آبیاری با پساب

پساب به دلیل مواد آلی محلول در آن باعث تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. از جمله این ویژگی‌ها، آبریزی خاک است (آری و همکاران، ۲۰۱۱). علیزاده و همکاران (۲۰۰۱) طی تحقیقات خود نشان دادند که آبیاری محصول ذرت با استفاده از پساب تصفیه شده شهر مشهد به مدت دو سال و تا پایان سال زراعی، منجر به کاهش ۱۵/۶ درصدی ظرفیت نفوذپذیری خاک در مقایسه با زمان قبل از آغاز آزمایش گردید.

۲-۵-۶- فرآیندهای مرطوب و خشک شدن خاک

فرآیندهای مرطوب و خشک شدن خاک بر آبگریزی آن مؤثر است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند زمانی که خاک‌های مرطوب در معرض خشک شدن قرار گیرند، آبگریزی در آن‌ها پدید می‌آید (کینگ، ۱۹۸۱؛ ماشوم و همکاران، ۱۹۸۵؛ والیس و همکاران، ۱۹۹۱؛ دکر و همکاران، ۱۹۹۸).

اثر پدیده مرطوب و خشک شدن بر آبگریزی خاک به نوع خاک (مقدار مواد آلی و بافت خاک) و درجه آبگریزی اولیه خاک بستگی دارد. معمولاً با مرطوب شدن خاک خشک، بخشی از ترکیبات آلی آبگریز، اکسید شده و آب‌پذیر می‌گردند. در نتیجه مقدار و نوع مواد آلی در فرآیند مرطوب و خشک شدن خاک بر آبگریزی آن مؤثر است. بافت خاک نیز بر الگوی حرکت آب در خاک آبگریز پس از مرطوب و خشک شدن خاک تأثیر بسزایی دارد (کویوم، ۲۰۰۰).

دوئر و توماس (۲۰۰۰) و جکس و همکاران (۱۹۸۵) گزارش کردند که آبگریزی، در صورتی در اثر خشک شدن خاک پدید می‌آید که مواد آلی آبگریز توسط قارچ‌ها، میکروب‌ها، ریزجانداران و فعالیت بیولوژیکی آن‌ها در خاک تولید شده و یا اینکه خاک، نزدیک منطقه فعالیت ریشه باشد.

۲-۵-۷- سوزاندن خاک

۲-۵-۷-۱- گرم شدن خاک

گرما دادن به خاک آبگریز تا دمای معینی، سبب تغییر ویژگی خاک از آبگریزی به آب‌پذیری می‌شود (دبانو، ۱۹۹۱). به گونه‌ای که هنگامی که به خاک آبگریز به اندازه کافی گرما داده شود، مواد آلی موجود در خاک یا قرار گرفته در سطح ذرات خاک بخار شده و به دلیل وجود شیب دمایی در خاک، به لایه‌های زیرین منتقل می‌گردند و یا در اثر گرما، تغییرات شیمیایی در مواد آلی رخ می‌دهد (دبانو، ۱۹۹۱). دبانو (۱۹۹۱) گزارش کرد که اگر مقدار مواد آلی خاکی بیش‌تر از ۳ درصد باشد، گرما دادن خاک سبب افزایش آبگریزی آن می‌گردد.

ناکایا (۱۹۸۲) گزارش کرد که آبگریزی خاک با افزایش دما در دامنه ۲۵۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش و در دماهای بیش از ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. همچنین نایاکا و همکاران (۱۹۸۲) بیان کردند که جذب آب در خاک‌های آبگریز با افزایش دما در دامنه ۲۵۰-۱۰۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. اکثر پژوهش‌ها نشان دادند که مواد آلی خاک در دمای ۳۰۰-۲۷۰ درجه سانتی‌گراد از بین رفته و آبگریزی خاک کم می‌شود (اسکول، ۱۹۷۵؛ ساویج، ۱۹۷۴).

۲-۵-۷-۲- آتش سوزی پوشش گیاهی روی خاک

اسکات (۱۹۹۳) گزارش کرد که آتش سوزی سبب افزایش آبگریزی خاک، از بین رفتن پوشش گیاهی حفاظت کننده سطح خاک، نابود شدن مواد آلی خاک، شکسته شدن و کاهش اندازه خاکدانه‌ها، ایجاد فرسایش شیاری و خندقی و افزایش رواناب می‌شود. دی‌بانو (۱۹۶۶) گزارش کرد که سوزاندن، سبب تبخیر مواد آبگریز از لایه سطحی و تجمع آن‌ها در عمق‌های پایین‌تر که دما کمتر است، می‌شود.

برخی محققین بیان کردند آبگریزی ایجاد شده در اثر آتش سوزی یکی از دلایل تولید رواناب و فرسایش پس از آتش سوزی در منابع طبیعی می‌باشد (مکدانولد و هافمن، ۲۰۰۴).

در گذشته کاهش نفوذپذیری بعد از آتش را عمدتاً به علت از بین رفتن پوشش گیاهی و پر شدن منافذ خاک توسط باقیمانده‌های خاکستر می‌دانستند. در حالی که مطالعات اخیر نشان داده است که لایه آبگریز تشکیل شده در طی آتش موجب کاهش در نفوذپذیری خاک می‌شود (دبانو، ۲۰۰۰b). (دبانو، ۲۰۰۰a) بیان کردند بعد از یک آتش سوزی آبگریزی به صورت لایه‌ای ناپیوسته با ضخامت متغییر در زیر لایه‌ی سطحی و یا در حدود ۵ سانتی متری عمق موازات خاک سطحی رخ می‌دهد.

۲-۵-۸- پوشش گیاهی

وانت وود (۱۹۵۹) در چراگاه‌های دائمی، زاوالا و لوپز (۲۰۰۹) در زمین‌های سوخته، ماتاریکس سولرا و دوار (۲۰۰۴)، هابرت و همکاران (۲۰۰۶) در درختان کاج، ریدر و جونگن‌سن (۱۹۹۷) و بوکرکو و همکاران (۲۰۰۲) در درختان برگ‌ریز، دوار و همکاران (۱۹۹۸) و جوردن و همکاران (۲۰۰۸) در درختان اکالیپتوس آبگریزی را گزارش کردند.

دوار و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند که رابطه بین آبگریزی خاک و گونه‌های گیاهی همیشه به صورت مستقیم نیست. همچنین گونه‌های زیادی از قارچ‌ها و میکروارگانیسم‌ها در خاک ایجاد آبگریزی می‌کنند. بر اساس مطالعات والیز و هورن (۱۹۹۲) بیان شد که نوع غلات و نوع گیاهان کشت شده در زمین بر روی آبگریزی خاک تاثیر دارند. همچنین بر پایه مطالعات صورت گرفته توسط دانشمندان مشخص شده است عموماً مزرعه چمن برای همه مقادیر رطوبت خاک درجه آبگریزی بالاتری را نسبت به خاک‌های مشابه نشان می‌دهد (جونگ و همکاران، ۱۹۹۹).

۲-۵-۹- فعالیت زیستی موجودات خاک

عوامل زیستی نیز از جمله موارد تأثیرگذار بر آب‌گریزی خاک می‌باشند. از میان عوامل زیستی، قارچ‌های میکوریزا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (حاجی بلند ۲۰۱۳). پژوهش‌ها نشان داده است که مواد آب-گریز ترشح شده از هیف‌های این قارچ احتمالاً یکی از عوامل ایجاد آب‌گریزی در خاک می‌باشد (مارتین و همکاران ۲۰۱۲). لیندر (۲۰۰۹) بیان نمود که افزایش آب‌گریزی خاک به مقدار تولید مواد آب‌گریز توسط قارچ‌ها بستگی دارد. ریلیگ و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که بین رشد میسلیم‌های قارچی و آب‌گریزی خاک ارتباط وجود دارد. تعداد قابل توجهی از پژوهش‌ها نیز بیان نمودند که گلیکوپروتئینی به نام گلومالین در هیف‌های قارچی تولید و ترشح شده که دارای طبیعت آب‌گریز می‌باشد (مارتین و همکاران ۲۰۱۲ و ریلیگ و همکاران ۲۰۱۰).

پژوهش‌های باند (۱۹۶۴) در جنوب استرالیا با آب و هوای مدیترانه‌ای (تابستان‌های گرم و خشک و بلند و زمستان‌های مرطوب) بر روی خاک‌های مرتعی، نشان داد که آب‌گریزی خاک پس از اولین بارش سنگین باران در پائیز، افزایش چشم‌گیری داشت که به سبب رشد فعال بازیدیومیست‌ها بود. همچنین با کاهش رشد بازیدیومیست‌ها در فصل تابستان، بیش‌ترین کاهش آب‌گریزی خاک مشاهده شد. درستکار و همکاران (۱۳۹۴) نیز افزایش آب‌گریزی خاک در حضور گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا را گزارش نمودند.

۲-۵-۱۰- مدیریت خاک

کاربری اراضی و کودهی خاک از جمله عوامل مدیریتی خاک بوده که بر آب‌پذیری و آب‌گریزی آن مؤثر هستند (کویوم، ۲۰۰۰).

۲-۵-۱۱- کاربری اراضی

هلت و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که آب‌گریزی خاک‌های زراعی کمتر از خاک چمن‌زار است و علت آن را پایداری ساختمانی کمتر و فروپاشی بیش‌تر خاک‌های زراعی عنوان کردند. تیلمن و همکاران (۱۹۸۹) دلیل آن را سایش ذرات خاک در اثر خاک‌ورزی ذکر کردند. یانگ و ریتز (۲۰۰۰) گزارش کردند که عملیات خاک‌ورزی با افزایش سرعت معدنی شدن بقایای آلی در خاک (به دلیل افزایش تعداد و فعالیت ریزجانداران خاک)، سبب کم شدن فعالیت کربن آلی و در نتیجه کاهش آب‌گریزی خاک می‌گردند.

۲-۶- اثر ویژگی‌های خاک بر آبریزی

۲-۶-۱- ساختمان خاک

آب‌پذیری خاک نه تنها تابع وضعیت پوشش‌های آبریز در خاک بوده، بلکه تحت تأثیر برخی ویژگی‌های خاک از جمله توزیع اندازه منافذ، آرایش، جهت و پیوستگی منافذ خاک، آبریزی دیواره منافذ و پتانسیل ماتریک آب خاک در دوره‌های مرطوب و خشک شدن خاک قرار می‌گیرد (دوئر و همکاران، ۱۹۹۶؛ چنو و همکاران ۲۰۰۰).

اندازه خاکدانه‌ها بر پتانسیل آب خاک و زاویه تماس آب با ذرات خاک مؤثر است. در خاک‌های هواخشک، زاویه تماس آب_خاک برای هر اندازه‌ای از خاکدانه‌ها حدود صفر درجه بوده و آبریزی خاک کم است. در پتانسیل‌های کم آب خاک (مکش‌های ماتریک زیاد)، هر چه اندازه خاکدانه‌ها کوچک‌تر باشد، به سبب جذب آب باقی‌مانده بر روی سطح ذرات، زاویه تماس آب_خاک به ۹۰ درجه نزدیک شده و شدت آبریزی افزایش می‌یابد (بچمن و همکاران، ۲۰۰۰). در حالی که با افزایش اندازه خاکدانه‌ها، تماس مولکول‌های آب با سطوح کاهش یافته و زاویه تماس آب_خاک کم می‌گردد.

بلکول (۱۹۹۳) گزارش کرد که خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۵۰ میلی متر آبریزی بیش‌تری نسبت به خاکدانه‌های با اندازه کوچک‌تر از ۲۰ میلی متر داشتند که به دلیل زاویه تماس آب_خاک نزدیک ۹۰ درجه در خاکدانه‌های بزرگ‌تر بوده است (بچمن و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین اندازه خاکدانه‌ها بر مقدار تخلخل خاکدانه‌ها اثر گذاشته که آبریزی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هلت و یانگ (۱۹۹۹) گزارش کردند که خاکدانه‌های ۵۰-۲۰ میلی متر آبریزی بیش‌تری نسبت به خاکدانه‌های با اندازه کوچک‌تر دارند. همچنین خاکدانه‌های کوچک‌تر نسبت به خاکدانه‌های بزرگ، تخلخل بیش‌تری داشته و آبریزی آن‌ها بیش‌تر است (پنگ و همکاران، ۲۰۰۳). تفاوت در نتایج مشاهده شده به دلیل انجام آزمایشات در شرایط متفاوت خاک به ویژه به لحاظ رطوبتی می‌باشد.

۲-۶-۲- مقدار رطوبت خاک

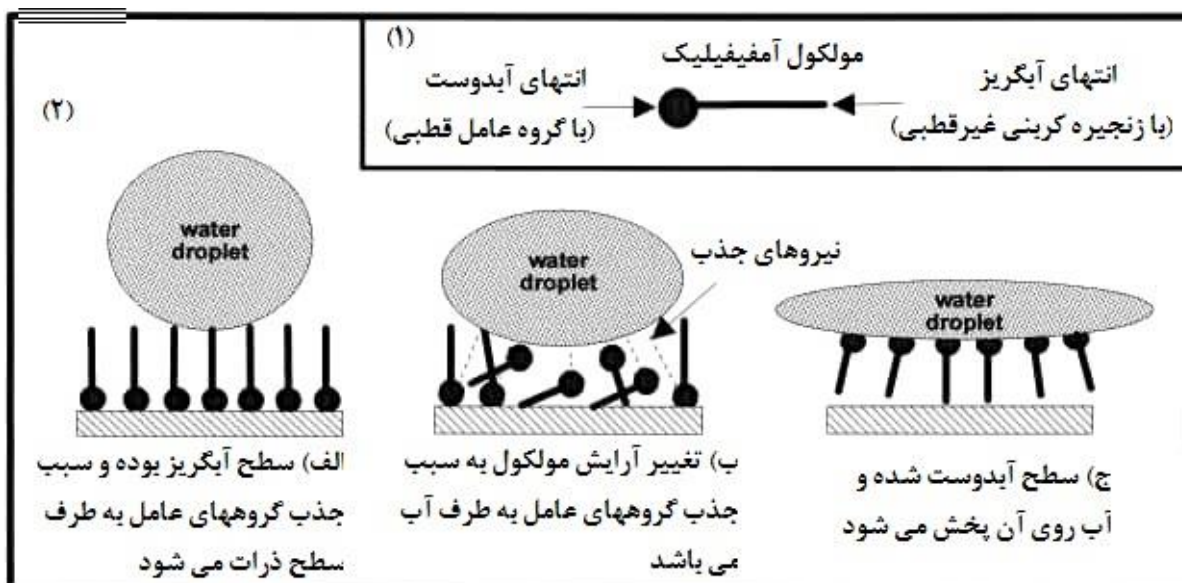
دبانو (۱۹۷۱) و ویترو و همکاران (۱۹۹۱) بیان کردند آبریزی یک ویژگی استاتیک نیست و تا حد زیادی وابسته به تغییرات فصلی است. معمولاً با طولانی شدن شرایط مرطوب، از شدت آن کم می‌شود و یا ناپدید می‌شود و با شروع شدن دوره‌های خشکی بیش‌ترین شدت را پیدا می‌کند. بورچ و همکاران (۱۹۸۹) نتیجه

گرفتند که تحت شرایط خاک خشک، اثر آبگریزی بیش‌تر بوده و سبب محدود شدن نفوذ آب به داخل خاک در ابتدا نفوذ می‌شود.

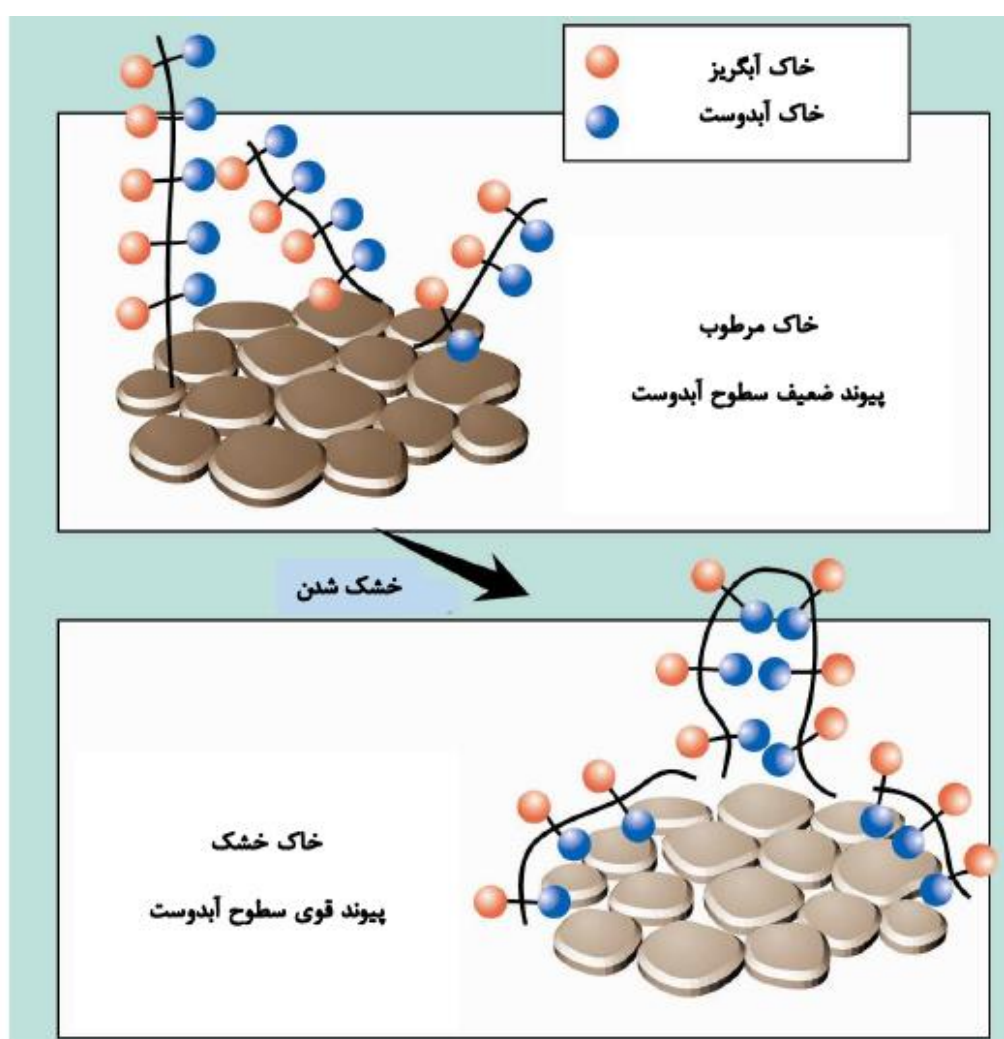
در خاک‌ها مقدار رطوبت بحرانی وجود دارد که در رطوبت‌های کمتر از آن خاک آبگریز می‌شود. به عبارت دیگر رطوبت بحرانی، کم‌ترین مقدار رطوبت خاک است که سبب تغییر ویژگی آبگریزی به آب‌پذیری خاک می‌گردد (دکر و ریتسما، ۱۹۹۴). به همین دلیل دوره‌های خشک و مرطوب شدن فصلی موجب آبگریزی خاک می‌شود (کینگ ۱۹۸۱؛ ماشوم و فارمر ۱۹۸۵؛ ویترو و همکاران ۱۹۹۱؛ دکر و ریتسما ۱۹۹۸). در واقع آبگریزی واقعی در خاک‌ها تابع میزان رطوبت در خاک است (دکر و ریتسما ۱۹۹۴).

کیسار و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند که در اثر تماس بلند مدت خاک با آب، آبگریزی از بین رفته و خاک آب‌پذیر می‌شود. بچمن و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که در مکش‌های ماتریک اولیه بسیار زیاد خاک، آبگریزی کم بوده و علت آن را فقدان مولکول‌های آب کافی برای تماس با ذرات خاک عنوان کردند. با افزایش مقدار رطوبت اولیه خاک به حد معینی، انرژی آزاد سطحی کاهش و زاویه تماس آب-خاک افزایش یافته و آبگریزی خاک به بالاترین میزان می‌رسد. در این پژوهش کاهش دوباره آبگریزی خاک با افزایش بیش‌تر مقدار رطوبت اولیه خاک، به وجود پوسته‌های آزاد آبی روی ذرات خاک نسبت داده شده است.

اگر منشا آبگریزی خاک، ذرات آلی آمفیفیلیک باشند، در زمان خشکی خاک، انتهای قطبی (بخش آب دوست) ذرات آلی جذب ذرات خاک شده و انتهای غیرقطبی (بخش آبگریز) آن‌ها به سمت بیرون قرار می‌گیرند. هنگامی که خاک در تماس بلند مدت با آب باشد، جهت ذرات آلی تغییر کرده و انتهای قطبی آن‌ها با مولکول آب تشکیل پیوند ضعیفی در سطح ذرات خاک می‌دهد، به گونه‌ای که مولکول‌های آب، جایگزین ذرات آلی شده و خاک آب‌پذیر می‌گردد (شکل ۲-۲ و ۳-۲). مدت زمان لازم برای دگرگونی خاک آبگریز به آب‌پذیر مشخص نبوده و ممکن است تا چندین هفته به درازا بکشد (هلت و یانگ، ۱۹۹۹).



شکل ۲-۲- دگرگونی ویژگی آبریزی به آب پذیری به دنبال تماس بلند مدت خاک با آب (ماشوم و فارمر ۱۹۸۵)



شکل ۲-۳- چگونگی آرایش ذرات آلی آمفیفایک در خاک خشک و مرطوب (هلت و یانگ ۱۹۹۹).

۲-۶-۳- مقدار رس خاک و بافت خاک

بافت خاک نیز از ویژگی‌های مهم بوده که بر میزان آبریزی خاک‌ها مؤثر است. پژوهش‌ها نشان داده است که خاک‌های درشت بافت نسبت به خاک‌های ریز بافت به آبریز شدن حساس‌ترند (مک گی و همکاران، ۱۹۸۱؛ دبانو، ۱۹۹۱). بلکول (۱۹۹۳) گزارش کرده است که در خاک‌های درشت بافت، مقدار کمی مواد آلی کافی است تا سطح ذرات خاک پوشیده و خاک آبریز گردد چرا که سطح ویژه این خاک‌ها نسبت به خاک‌های ریز بافت کمتر می‌باشد.

دبانو (۱۹۹۱) بیان کرد که آبریزی در خاک‌های با مقدار رس کمتر از ۱۰ درصد به وجود می‌آید. آبریزی خاک‌های شنی در استرالیا، نیز با پخش نمودن رس روی سطح آن‌ها کاهش چشمگیری یافته است (کارتر و هترینگتن، ۱۹۹۴). آبریزی در خاک‌های نزدیک کوه‌های آلپ در کلمبیا، انگلیس و کانادا که دارای منشا رسوبات آبرفتی، سنگریزه و سنگ بستر گچی بودند، توسط بارت و اسلی‌ماکر (۱۹۸۹) گزارش شده است. همچنین بیسدام و همکاران (۱۹۹۳)، آبریزی خاک را در شن‌های ساحلی هلند گزارش کردند. در نیوزلند، آبریزی در خاک‌های شنی که مقدار سیلت + رس آن‌ها بین ۱ تا ۱۰ درصد و پوشش گیاهی آن‌ها چمن‌زار بود، گزارش گردید (والیس و همکاران، ۱۹۹۱؛ هورن و همکاران، ۲۰۰۰). در استرالیا نیز در خاک‌های شنی سیلیکاته با رشد فعال قارچ‌ها، آبریزی خاک مشاهده شد (کینگ، ۱۹۸۱؛ ماشوم و فارمر، ۱۹۸۵؛ ماشوم و همکاران، ۱۹۸۸).

آدامز و همکاران (۲۰۰۷) با انجام مطالعه‌ای به بررسی آبریزی در دو خاک شنی و رسی آلوده به هیدروکربن‌های نفتی پرداختند و مشاهده کردند که در سطح آلودگی برابر، آبریزی در خاک شنی به مراتب بیش‌تر از خاک رسی بود. آن‌ها مشاهده کردند که در هر دو خاک رابطه مستقیمی بین مجموع هیدروکربن‌های نفتی و آبریزی وجود دارد یعنی هر چه مقدار هیدروکربن‌های نفتی در خاک افزایش یابد شدت آبریزی افزایش می‌یابد.

۲-۶-۴- شوری

خاک‌های شور نزدیک به ۸ درصد از سطح زمین را اشغال نموده و با سرعت بر سطح این اراضی افزوده می‌شود (حاجی بلند ۲۰۱۳). شوری باعث تخریب اراضی و کاهش تولید محصول‌های زراعی می‌شود. کاهش کیفیت فیزیکی خاک از طریق تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذ آب در خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی خاک در اثر ازدیاد نمک‌ها در خاک، گزارش شده است (دانگ لی و همکاران ۲۰۱۴). با این

وجود شوری دارای آثار مثبتی نیز می‌باشد. به طور مثال وجود کاتیون‌های دو ظرفیتی باعث بهبود وضعیت ساختمانی خاک می‌شود. (رونیک و لال ۲۰۰۵). همچنین کاتیون‌های دوظرفیتی با گسترش آبگریزی باعث جلوگیری از تخریب ساختمان خاک می‌شود. در مقابل وجود کاتیون‌های تک ظرفیتی با کاهش آبگریزی باعث بهبود وضعیت نفوذ آب به خاک می‌شود (لیچنر و همکاران ۲۰۰۶).

گربر و همکاران (۲۰۰۹) اثر مثبت یون‌های دوظرفیتی بر توسعه آبگریزی در خاک‌های خنثی و آهکی را گزارش نمودند (گربر و همکاران ۲۰۰۹). پژوهش‌های اندکی نیز اثر مثبت یون‌های تک‌ظرفیتی روی سطح رس‌ها را در کاهش آبگریزی نسبت به یون‌های دوظرفیتی نشان داده است (لیچنر و همکاران ۲۰۰۶). درستکار (۱۳۹۴) نیز اثر شوری خاک در شرایط وجود یون کلسیم را بر افزایش آبگریزی خاک گزارش نموده است.

۲-۷- ترمودینامیک مرطوب شدن خاک

از نظر ترمودینامیکی، آب‌پذیری به واکنش‌های شیمیایی بین سطوح بخش جامد، مایع و گاز گفته شده که منجر به تغییراتی در خاک می‌شوند. عملکرد شیمیایی سطوح خاک‌های آبریز سبب شده که انرژی آزاد بین فازی جامد-گاز (γ_{sg}) نسبت به خاک‌های آب‌پذیر کمتر باشد (برگ ۱۹۹۳).

از آنجایی که اندازه‌گیری مستقیم γ_{sg} امکان‌پذیر نیست، از پارامترهای دیگر ترمودینامیکی برای برآورد آبگریزی خاک استفاده می‌گردد. یکی از این پارامترها، زاویه تماس بین سطوح جامد، مایع و گاز است. هنگامی که سیال بر روی سطح جامدی قرار می‌گیرد، محیط قطره سیال با سطح جامد تشکیل زاویه به نام زاویه تماس می‌دهد (برگ، ۱۹۹۳).

یانگ (۱۸۰۵) رابطه بین زاویه تماس و انرژی‌های آزاد واحد سطح جامد، مایع و گاز را به صورت زیر بیان کرد:

$$\gamma_{lg} \cos \theta = \gamma_{sg} - \gamma_{sl} \quad (۲-۱)$$

در این رابطه θ زاویه تماس یانگ و γ_{lg} ، γ_{sg} و γ_{sl} به ترتیب انرژی آزاد (میلی نیوتون بر متر) در سطح مشترک مایع-گاز، جامد-گاز و جامد-مایع می‌باشد. بر اساس این رابطه اگر انرژی آزاد سطح جامد-گاز ثابت باشد، افزایش انرژی آزاد در سطح مایع-گاز در اثر افزایش غلظت الکترولیت‌ها منجر به افزایش زاویه تماس آب و خاک خواهد شد (یانگ ۱۸۰۵).

برگ (۱۹۹۳) معادله یانگ را به صورت زیر اصلاح نمود:

$$\cos \theta = (\gamma_{sg} - \pi_{sg}) - \gamma_{sl} / \gamma_{lg} \quad (2-2)$$

که در این رابطه، γ_{sg} ، $\pi_{sg} = \gamma_{sv} - \gamma_{sg}$ انرژی آزاد سطح جامد-گاز و γ_{sv} انرژی آزاد سطح جامد با بخار گرفته می‌شود. در این رابطه امکان جذب بخار مایع توسط سطح جامد نیز در نظر گرفته شده و به صورت ویژه در خاک‌های آبگریز که حرکت آب در خاک بیشتر به صورت بخار است، حائز اهمیت می‌باشد (برگ، ۱۹۹۳).

یکی از پارامترهای که برای نشان دادن آبگریزی خاک به کار می‌رود، ضریب پخش شدن سیال بر روی سطح (W_s) و کشش پیوستگی (W_w) است (برگ ۱۹۹۳).

$$W_s = \gamma_{sg} - \pi_{sg} + \gamma_{lg} - \gamma_{sl} \quad (3-2)$$

معادله (۳-۲) انرژی آزاد منفی پخشیدگی مایع بر روی سطح جامد را نشان می‌دهد که از تفاضل نیروهای دگردوستی و هم‌دوستی به وجود می‌آید (زیسمن ۱۹۶۴). اگر $W_s > 0$ باشد، مرطوب شدن خودبه‌خود رخ می‌دهد (برگ ۱۹۹۳). رابطه ضریب پخش شدن (W_s) و زاویه تماس جامد-سیال (θ) به صورت زیر است (برگ ۱۹۹۳):

$$W_s = \gamma_{lg} (\cos \theta - 1) \quad (4-2)$$

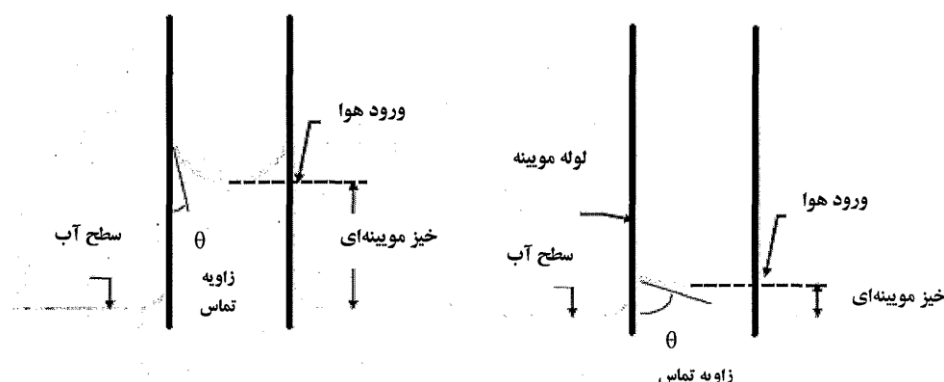
همچنین رابطه کشش پیوستگی (W_w) و زاویه تماس سیال-جامد به صورت زیر است (برگ ۱۹۹۳):

$$W_w = \gamma_{lg} \cos \theta \quad (5-2)$$

روابط بالا معمولاً برای سطوح محیط‌های متخلخل مانند خاک به کار نمی‌رود. زیرا اندازه‌گیری مستقیم زاویه تماس در محیط‌های متخلخل مشکل است. با فرض اینکه محیط متخلخل دارای لوله‌های مویینه با مقطع دایره‌ای بوده و بخش جامد-مایع موازی لوله‌های مویینه قرار گرفته باشد، برای محاسبه ارتفاع جذب سیال در محیط متخلخل معادله زیر به کار می‌رود:

$$H = \frac{2\gamma_{lg} \cos\theta}{pr_g g} \quad (۶-۲)$$

معادله ۶-۲ معادله خیز مویینه‌ای نام دارد که در آن h ، ارتفاع خیز مویینه (متر)، λ_{LG} ، کشش سطحی سیال (میلی ژول بر متر)، θ ، زاویه تماس بین سطوح جامد، مایع و گاز، ρ ، چگالی سیال (کیلوگرم بر متر مکعب)، g ، شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه) و r_e شعاع مؤثر لوله مویینه (متر) می‌باشند (همکاران ۲۰۰۰). با توجه به معادله ۶-۲ و شکل ۴-۲ با کاهش زاویه تماس (یا افزایش $\cos\theta$) ارتفاع خیز مویینه بیش‌تر می‌شود. در خاک‌های آبگریز، خیز مویینه برابر صفر است. همچنین با افزایش شعاع منافذ، خیز مویینه کاهش می‌یابد (هلت و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل ۴-۲- اثر زاویه سیال-جامد (θ) بر خیز مویینه‌ای (h) در یک لوله مویینه (هلت و همکاران ۲۰۰۶)

۸-۲- اثرات آبگریزی

بسته به شرایط و هدف، آبگریزی خاک پدیده‌ای مفید و یا مضر در کشاورزی و منابع طبیعی محسوب می‌شود. اثرات اولیه منفی آبگریزی بر روی خاک عبارتند از:

۱- کاهش نفوذ آب به خاک و ایجاد حالت غرقابی بر سطح خاک

- ۲- تغییر الگوی نفوذ و جریان آب در خاک و در نتیجه توزیع غیر یکنواخت آب در خاک
 - ۳- افزایش رواناب‌های سطحی و فرسایش سطحی خاک و در نتیجه کاهش حاصلخیزی خاک
 - ۴- افزایش حساسیت خاک به فرسایش بادی (دوئر و همکاران ۲۰۰۰)
 - ۵- انتقال آلاینده‌ها در منافذ درشت خاک‌های آبگریز (جریان ترجیحی) و آلودگی آب‌های زیرزمینی (هندریکس و همکاران ۱۹۹۳؛ ریتسما و همکاران ۱۹۹۳)
- البته باید توجه داشت که کاهش نفوذ آب به خاک می‌تواند اثرات ثانویه دیگری نظیر توقف جوانه‌زنی و رشد را به دنبال داشته باشد که این امر نیز به نوبه خود می‌تواند باعث تشدید رواناب و فرسایش شود (دوئر و همکاران ۲۰۰۰).

۲-۸-۱- نفوذ اندک خاک

نفوذ ویژگی است که بیان‌گر ورود آب از سطح خاک و معمولاً به صورت عمودی به درون خاک می‌باشد (هیلل، ۱۹۸۰). این ویژگی در آبیاری اهمیت بسیاری دارد. وندام و همکاران (۱۹۹۰) گزارش کردند که سرعت نفوذ آب به خاک‌های آبگریز کم می‌باشد. دبانو (۱۹۷۱) گزارش کرد که نفوذ خاک‌های آبگریز، ۲۵ برابر کمتر از خاک‌های آب‌پذیر است. والیس و همکاران (۱۹۹۰) بیان کردند که نفوذ خاک‌های شنی آبگریز در حالت خشک، ۶ برابر کمتر از نفوذ آن‌ها در حالت مرطوب است. دبانو (۱۹۸۱) گزارش کرد که در خاک‌های آب‌پذیر، در آغاز ورود آب به خاک، سرعت نفوذ زیاد بوده و با گذشت زمان کاهش می‌یابد. ولی در خاک‌های آبگریز عکس این روند دیده می‌شود. به گونه‌ای که در آغاز ورود آب به خاک، سرعت نفوذ کم بوده و با گذشت زمان و مرطوب شدن خاک از مسیرهای ترجیحی، آبگریزی خاک کاهش یافته و نفوذ آب به خاک افزایش می‌یابد.

۲-۸-۲- افزایش جریان‌های سطحی و فرسایش آبی و بادی خاک

در خاک‌های آبگریز به سبب نفوذ کم آب در خاک، رواناب سطحی و خطر فرسایش آبی و بادی زیاد است. مک‌گیل و همکاران، ۱۹۸۱؛ کروکفورد و همکاران، ۱۹۹۱؛ ویترو و همکاران، ۱۹۹۱. با خشک شدن خاک‌ها و افزایش آبگریزی آن‌ها، رواناب سطحی افزایش می‌یابد (سوینک و همکاران، ۱۹۸۹؛ والش و همکاران، ۱۹۹۴).

فرسایش در خاک‌های آبگریز به درجه آبگریزی آن‌ها بستگی دارد و در خاک‌های با آبگریزی زیاد، جریان‌های سطحی و فرسایش‌های شیلی و خندقی بیش‌تر مشاهده می‌شود (شکسبای و همکاران ۲۰۰۰). صادقی (۱۳۸۶) نیز گزارش کرد که خشکی خاک در اثر آبگریزی آن، سبب کاهش نفوذ آب در خاک، افزایش فرسایش و انتقال بسیار زیاد رسوب در منطقه‌ای در ژاپن شده است.

۲-۸-۳- ایجاد مسیرهای ترجیحی

در خاک‌های آبگریز، حرکت آب انگشت مانند و از مسیرهای ترجیحی می‌باشد (دبانو، ۱۹۷۱؛ ریتسما و همکاران ۱۹۹۳). شکاف‌های ساختمانی مانند درز و ترک‌هایی که در اثر خشک شدن خاک به وجود می‌آیند (گارکاکیش، ۱۹۹۸) و شکاف‌های موجود در خاک (فلیپ و همکاران، ۱۹۸۹)، از مسیرهای ترجیحی جریان آب و آلاینده‌ها (نمک‌ها) می‌باشند. نایکنواختی بافت در نیم‌رخ خاک (کونگ، ۱۹۹۰) و جبهه رطوبتی ناپایدار (راتس، ۱۹۷۳؛ گلاس و همکاران، ۱۹۸۹؛ سلکر و همکاران، ۱۹۸۹) نیز سبب ایجاد مسیرهای ترجیحی می‌گردند.

از عوامل پدید آورنده جبهه رطوبتی ناپایدار لایه‌بندی خاک (بیکر و ویل، ۱۹۹۰)، به دام افتادن هوا در خاک (گلاس و همکاران، ۱۹۹۰) و آبگریزی خاک (واندام و همکاران، ۱۹۹۰؛ هندیرکس و همکاران، ۱۹۹۳؛ ریتسما و همکاران، ۱۹۹۸) می‌باشند.

مسیرهای ترجیحی در خاک به پوشش گیاهی، نوع کاربری اراضی، ساختمان خاک، ضخامت لایه آب دوست قرار گرفته در بین لایه‌های آبگریز، موقعیت و جایگاه لایه آبگریز در خاک و گسترش آبگریزی در منطقه بستگی دارد.

در شرایطی که لایه آبگریز روی لایه‌ای آب‌پذیر و زیر یک لایه سطحی با نفوذپذیری زیاد قرار گرفته باشد ذخیره آب در لایه آب‌پذیر، اشباع شدن لایه آبگریز (حرکت افقی به سمت پایین شیب در بالای لایه آبگریز) و جریان سطحی اشباع وقتی که لایه آب‌پذیر اشباع شود، وجود دارد. حرکت عمودی و رو به پایین آب در خاک، از راه مسیرهای ترجیحی و به گونه انگشت مانند انجام می‌گیرد. ولی در شرایطی که لایه آبگریز در سطح خاک باشد، نفوذ آب در خاک بسیار کم و تنها راه ترک‌ها و شکاف‌های ناشی از فعالیت ریشه گیاهان بوده و جریان‌های سطحی نسبت به حالت قبل بیشتر است (دوئر و همکاران، ۲۰۰۰).

۲-۸-۴- توزیع پویای رطوبت خاک (جبهه رطوبتی ناپایدار)

در خاک‌های آبگریز، موقعیت لایه‌های آبگریز و مسیرهای جریان ترجیحی در پروفیل خاک بر توزیع و پویایی رطوبت مانند فرآیند تبخیر تأثیر می‌گذارد. آبگریزی شدید خاک، منجر به خشک باقی ماندن لایه سطحی خاک و مرطوب شدن لایه‌های زیرین از راه مسیرهای ترجیحی می‌شود (میوئیگ، ۱۹۷۱ و بارچ، ۱۸۹۸).

۲-۸-۵- افزایش سیلاب و جریان رودخانه‌ای

در خاک‌های آبریز به سبب نفوذ کم به خاک، شدت بارندگی بیشتر از نفوذ خاک بوده و هنگام بارندگی، جریان‌های رودخانه‌ای و سیلاب پدید می‌آید (وایت و والیس، ۱۹۸۲).

۲-۹- اثرات سودمند آبریزی خاک

با وجود اینکه آبریزی خاک پیامدهای زیان‌بار بسیاری به همراه دارد، ولی این ویژگی خاک پیامدهای سودمندی نیز دارد. آبریزی سبب افزایش پایداری ساختمان خاک می‌گردد. واژه پایداری ساختمان خاک، به توانایی خاک در نگهداری آرایش ذرات و منافذ بین آن‌ها در هنگام روبه رو شدن با تنش‌های گوناگون گفته می‌شود (انگروز و چن ۱۹۹۶).

هلت و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که آبریزی وابسته به مواد آلی، سبب کاهش سرعت جذب آب در هنگام مرطوب شدن سریع، کاهش فشار هوای به دام افتاده در منافذ و افزایش پایداری ساختمان خاک می‌شود. بنابراین مواد آبریز از سله بستن سطح خاک جلوگیری می‌کنند. تیس‌دال و اودز (۱۹۸۲) ترشحات بیولوژیکی آبریز را از جمله عوامل کارآمد بر پایداری ساختمان خاک معرفی نموده‌اند. چون این ترکیب‌ها با افزایش انرژی پیوند بین ذرات و کاهش آب‌پذیری خاک، سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند.

۲-۱۰- روش‌های اندازه‌گیری آبریزی خاک

آبریزی و آب‌دوستی خاک‌ها ویژگی‌های نسبی بوده و در خاک‌های مختلف مقدار آن‌ها تغییر می‌کند. از جمله روش‌های اندازه‌گیری آبریزی خاک می‌توان به آزمایش زمان نفوذ قطره آب به درون خاک (WDPT) (Water Drop Penetration Time)، آزمایش مولاریته قطره اتانول (MED) (Molarity of Etanol) (Droplet) روش خیز موئینه (Capillary Rise Method) (CRM)، روش سیال چسبیده به سطح (SDM) (Sessile Drop Method)، آزمایش جذب‌پذیری ذاتی و روش اندازه‌گیری پتانسیل یا مکش ورود آب اشاره کرد (هلت ۲۰۰۷، بچمن و همکاران ۲۰۰۰ و هلت و همکاران ۱۹۹۳).

۲-۱۰-۱- روش زمان نفوذ قطره آب به درون خاک (WDPT)

روش زمان نفوذ قطره آب به درون خاک یک روش کیفی است، که در آن مدت زمانی که یک قطره آب به طور کامل در نمونه خاک نفوذ می‌کند (WDPT) اندازه‌گیری می‌شود. در واقع WDPT وابسته به زاویه تماس آب-خاک است به گونه‌ای که اگر زاویه تماس بیش از ۹۰ درجه باشد، قطره آب در خاک نفوذ نکرده، خاک مرطوب نشده و در کلاس آبریز قرار می‌گیرد. ولی اگر زاویه تماس آب-خاک کمتر از ۹۰ درجه باشد، خاک آب پذیر بوده و بسته به زمان نفوذ قطره به درون خاک، گروه‌بندی می‌شود (لتی ۱۹۶۹). در این روش، چند قطره کوچک آب مقطر بر روی نمونه خاک (دست خورده یا دست نخورده) در رطوبت‌های مختلف قرار گرفته و زمان نفوذ قطره آب به درون خاک یادداشت می‌شود. روش WDPT بسیار ساده بوده و می‌توان به آسانی و با سرعت در شرایط آزمایشگاه و مزرعه از آن استفاده کرد (دکر و جانگریوس ۱۹۹۰). بر اساس زمان نفوذ قطره به داخل خاک، خاک‌ها از نظر آبریزی به ۵ دسته مطابق جدول ۲-۱ تقسیم می‌شوند (دکر و جانگریوس ۱۹۹۰).

جدول ۲-۱- گروه بندی آب‌پذیری و آبریزی خاک ها بر اساس روش تست نفوذ قطره آب (WDPT) (دکر و جانگریوس ۱۹۹۰)

تست نفوذ قطره آب (ثانیه)	کلاس
≤ 5	آب پذیر
۵-۶۰	آب پذیر متوسط
۶۰-۶۰۰	آب پذیر کم
۶۰۰-۳۶۰۰	آب پذیر خیلی کم
> 3600	آبریز

۲-۱۰-۲- روش مولاریته قطره اتانول (MED)

در روش مولاریته قطره اتانول، از محلول‌های اتانول با مولاریته‌های مختلف در مخلوط با آب (کشش‌هی سطحی مختلف) استفاده می‌گردد. زاویه تماس خاک_محلول اتانول به کشش سطحی محلول اتانول بستگی دارد، به گونه‌ای که با کاهش کشش سطحی محلول اتانول، زاویه تماس خاک_سیال کم می‌شود (والیس و همکاران ۱۹۹۱).

اندازه‌گیری کشش سطحی بحرانی (γ_c) شاخص مفیدی در این روش است. واژه γ_c به بالاترین کشش سطحی محلول اتانول در زاویه تماس خاک _ محلول اتانول صفر درجه گفته می‌شود به گونه‌ای که خاک در تماس با آن محلول کاملاً مرطوب می‌گردد (زیسمن ۱۹۶۴).

در این روش مانند روش زمان نفوذ قطره، چند قطره از محلول‌های مختلف اتانول بر روی نمونه خاک قرار داده و زمان نفوذ قطره‌ها به درون خاک یادداشت می‌شود. اگر کشش سطحی محلول اتانول بزرگ‌تر از γ_c باشد، زمان نفوذ قطره به خاک زیاد است. زمان نفوذ بحرانی در اکثر پژوهش‌ها حدود ۵ تا ۱۰ ثانیه ذکر شده است. مولاریته (M) قطره‌ای که در زمان ۵ تا ۱۰ ثانیه در خاک نفوذ می‌کند (جدول ۲-۲)، یادداشت شده و به عنوان شاخصی از آبگریزی خاک گزارش می‌شود (روی و مگ گیل ۲۰۰۰).

جدول ۲-۲- گروه‌بندی آبگریزی خاک‌ها بر اساس روش MED (کینگ ۱۹۸۱)

مولاریته قطره اتانول	کلاس آبگریزی
۰	غیرآبگریز
>1	آبگریزی خیلی کم
$1-2/2$	آبگریزی کم
$>2/2$	آبگریزی شدید

روش MED، روش سریعی بوده و چون با کشش سطحی سیال در ارتباط است، دارای مفهوم فیزیکی می‌باشد. عدم امکان اندازه‌گیری زاویه تماس از معایب این روش است. همچنین این احتمال وجود دارد که اتانول بر ویژگی‌های شیمیایی خاک اثر گذاشته و نتایج واقعی نباشد (کینگ ۱۹۸۱).

۲-۱۰-۳- روش قطره سیال چسبیده به سطح (SDM)

در این روش زاویه تماس آب-خاک (دامنه ۱۸۰-۰ درجه)، با قرار دادن قطره آب بر روی یک سطح صاف و یکنواخت از ذرات خاک با اندازه مشخص، مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود (بچمن و همکاران ۲۰۰۰). در این روش به آرامی چند قطره آب بر روی لایه صاف و یکنواختی از خاک‌دانه‌های با اندازه ۶۳-۲۰۰ میکرومتر که بر روی یک سطح چسبانده شده، قرار داده و زاویه تماس آن به طور مستقیم با استفاده از میکروسکوپ و گونیا اندازه‌گیری می‌گردد. ایراد این روش، محدودیت کاربرد آن برای سطوح ناصاف (مانند خاک‌دانه‌ها و خاک‌های طبیعی) است چرا که اندازه ذرات خاک استفاده شده باید از قطره آب کوچک‌تر باشد (بچمن و همکاران ۲۰۰۰).

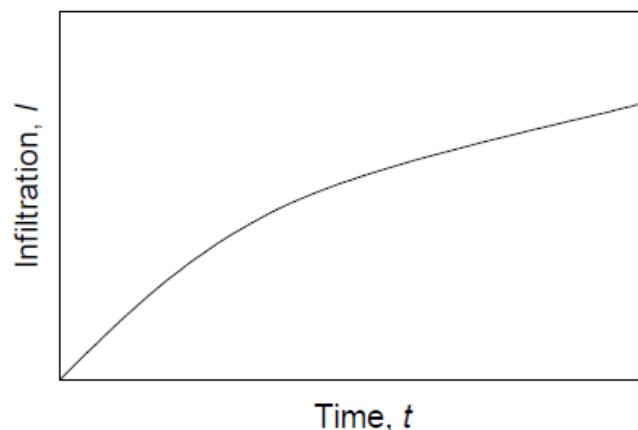
۲-۱۰-۴- روش نسبت ضریب جذب

فلیپ (۱۹۵۷) دریافت که در ابتدای فرایند نفوذ، شیب پتانسیل آب زیاد بوده و سرعت ورود آب به خاک زیاد است ولی با گذشت زمان، سرعت نفوذ آب به خاک کاهش می یابد (شکل ۲-۶).

نفوذ افقی تجمعی آب به خاک توسط فلیپ (۱۹۵۷) به صورت معادله زیر بیان شده است:

$$I = S t^{0.5} \quad (2-7)$$

در این رابطه ۲-۷، I نفوذ تجمعی آب به خاک (سانتی متر)، t مدت زمان نفوذ (ثانیه) و S ضریب جذبی خاک بر حسب سانتی متر بر ثانیه است. در زمان‌های بسیار کوتاه (ابتدایی) نفوذ (۶۰-۱۸۰ ثانیه)، تغییر چندانی در ویژگی‌های آب‌پذیری و آبگریزی خاک ایجاد نشده و رابطه I در برابر $t^{0.5}$ خطی است که بیان‌گر ضریب جذبی اولیه خاک می باشد. پارامتر S ، مقدار آب قابل جذب و دفع از راه نیروهای موئینه را بیان می کند که نشان‌دهنده توان خاک برای ذخیره آب می باشد. ضریب جذبی خاک به شکل فروانی و اعوجاج منافذ خاک و زاویه تماس آب-خاک بستگی دارد، به گونه‌ای که منافذ کوچک خاک، S کمتری دارند. همچنین خاک‌های خشک، S بزرگ‌تری نسبت به خاک مرطوب دارند (هلت و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل ۲-۵- رابطه بین نفوذ تجمعی آب به خاک (I) و زمان (t) (فلیپ، ۱۹۵۷)

۲-۱۰-۵- روش صعود موئینه (CRM)

در این روش با استفاده از داده‌های از میکرونفوذ سنج (روش جذب آب و اتانول) زاویه تماس آب-خاک محاسبه می‌شود. بدین منظور با رسم منحنی‌های توان دوم جرم آب و اتانول جذب شده در برابر زمان و سپس با استفاده از معادله‌های زیر زاویه تماس آب-خاک محاسبه می‌شود:

$$Fw(T) = \eta_w / \lambda_w * \rho_w \quad (2-8)$$

$$FE(T) = \eta_E / \lambda_E * \rho_E \quad (2-9)$$

در معادله ۸-۲ و ۹-۲ F_E و F_W به ترتیب نیروی چسبندگی آب و اتانول است. ρ_E و ρ_W به ترتیب چگالی (میلی گرم بر متر مکعب) آب و اتانول، η_E و η_W به ترتیب گرانروی دینامیکی (پاسکال. ثانیه) آب و اتانول، و λ_E و λ_W به ترتیب کشش سطحی (مگانیوتون بر متر) آب و اتانول می باشند.

پس از محاسبه مقادیر F_E و F_W و بدست آوردن شیب منحنی‌های توان دوم مقادیر آب و اتانول جذب شده‌ی در برابر زمان‌های ابتدایی نفوذ توسط معادله‌ی ۱۰-۲، زاویه تماس آب-خاک (β) محاسبه شد:

$$\cos \beta = m_W * F_W(T) / m_E * F_E(T) \quad (10-2)$$

که در این رابطه m_E و m_W به ترتیب شیب منحنی‌های توان دوم جذب در برابر زمان (g^2/s) برای آب و اتانول می باشند (بچمن و همکاران، ۲۰۰۳).

۱۱-۲- ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌های آبگریز

آبگریزی ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تأثیر دفع آبگریزی خاک بر خصوصیات هیدرولیکی از جمله ظرفیت نفوذ، رواناب سطحی و فرسایش در طی دو دهه گذشته به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. (بچمن و همکاران، ۲۰۱۳).

نفوذ آب به داخل خاک از ویژگی‌های هیدرولیکی مهم بوده که به اندازه منافذ خاک (منافذ درشت و ریز) و توزیع آن‌ها و همچنین آبگریزی خاک بستگی دارد. بنابراین در مطالعه نفوذ آب در خاک باید عواملی که بر اندازه منافذ مؤثر هستند و زاویه تماس آب با خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مورد توجه قرار گیرند. از مهم‌ترین این عوامل مواد آلی و ترکیبات آبگریز می‌باشند که اندازه منافذ خاک را افزایش داده و در عین حال زاویه تماس آب-خاک را افزایش داده و ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند (دبانو، ۱۹۸۱).

یکی از ویژگی‌های هیدرولیکی مهم خاک که آبگریزی روی آن تأثیرگذار است، منحنی مشخصه رطوبتی خاک است (دبانو ۱۹۸۱). رحیم خانی (۱۳۹۱) بیان کرد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک از جمله منحنی رطوبتی خاک تحت تأثیر آبگریزی خاک قرار دارد و با افزایش آبگریزی خاک میزان نگهداشت آب در خاک افزایش می‌یابد، همچنین میزان درصد رطوبت حجمی در یک مکش معین نسبت به خاک آبدوست بیشتر است. بنابراین منحنی‌های مشخصه رطوبتی در خاک‌های با درجات آبگریزی مختلف متفاوت می‌باشد.

بائوترز و همکاران (۲۰۰۰) و بچمن و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نمودند که آبگریزی با کاهشی که در جذب آب توسط خاک دارد، بر شکل منحنی رطوبتی خاک و شیب آن مؤثر باشد. رحیم-خانی (۱۳۹۱)

طی مطالعات خود بیان کرد که خاک‌های آبگریز نسبت به خاک‌های آبدوست دارای دو یا چند نقطه ورودی هوا می‌باشند.

شدت، ضخامت و پیوستگی لایه‌های آبگریز بر جریان آب در منافذ خاک تاثیرگذار هستند (دبانو، ۱۹۸۱). منحنی نگهداشت آب خاک دانسته‌های مفیدی پیرامون ویژگی‌های ساختمانی مانند توزیع اندازه منافذ و میزان رطوبت در مکش‌های مختلف، گنجایش مزرعه (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP) و آب قابل دسترس خاک برای گیاه (AW) ارائه می‌کند (لیچنر و همکاران ۲۰۱۰). بنابراین مطالعه آبگریزی خاک می‌تواند نتایج سودمندی در مورد این پارامترها ارائه دهد.

حرکت آب در خاک‌های آبگریز بیشتر به صورت پخشیدگی بخار آب است (بارت و اسلی ماکر، ۱۹۷۲). حرکت بخار آب و توزیع دوباره آب در خاک تا زمانی که گنجایش خاک برای جذب مولکول‌های آب به بیش‌ترین مقدار برسد، ادامه می‌یابد (میاموتو و همکاران، ۱۹۷۲). دوئر و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که در زمان جذب بخار آب توسط ذرات، برخی از ذرات آبگریز، آب پذیر می‌شوند. حرکت بخار آب در خاک، می‌تواند سبب حل شدن مواد آبگریز شده و آبگریزی خاک را کاهش دهد. از سوی دیگر این امکان وجود دارد که کاهش آبگریزی در اثر حرکت بخار آب در خاک، می‌تواند وابسته به پیدایش ناپیوستگی در مواد آبگریز پوشش دهنده سطح ذرات خاک باشد (دوئر و همکاران، ۲۰۰۰).

نتایج پژوهش‌های وندام و همکاران (۱۹۹۰) در مورد هدایت هیدرولیکی خاک‌های شنی آبگریز و آب-دوست نشان داده که هدایت هیدرولیکی و سرعت نفوذ آب در خاک‌های آبگریز کمتر از خاک‌های آب‌دوست بوده و انتقال آب تنها از راه مسیرهای ترجیحی انجام می‌گیرد. در خاک‌های آبگریز به سبب زاویه تماس خاک-آب بزرگ‌تر از ۹۰ درجه، آب ابتدا منافذ درشت‌تر را پر نموده (هیلل، ۱۹۸۰) و در پشت جبهه رطوبتی، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) بزرگ‌تر از جریان ورودی آب به خاک (q) است. در حالی که در خاک‌های آب دوست، زاویه تماس آب-خاک کوچک‌تر از ۹۰ درجه بوده، آب در ابتدا منافذ ریز را پر نموده و K_s بیشتری نسبت به خاک‌های آبگریز دارند. هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک‌های آب دوست برابر با مقدار آب ورودی به خاک است (هیلل، ۱۹۸۰) و جبهه رطوبتی آن‌ها پایدار است. با افزایش مکش ماتریک، هدایت هیدرولیکی خاک‌های آبگریز بیش‌تر از خاک‌های آب دوست می‌شود که به سبب حرکت آب در منافذ درشت این خاک‌ها می‌باشد (وندام و همکاران، ۱۹۹۰).

۲-۱۲- اصلاح خاک‌های آبگریز

هلت و همکاران (۲۰۰۷) روش‌های اصلاح خاک‌های آبگریز را به سه دسته تقسیم نمودند:

الف) روش‌های شیمیایی (فرانکو و همکاران، ۲۰۰۰)

ب) روش فیزیکی (کوثر و همکاران، ۲۰۰۸)

ج) روش‌های بیولوژیکی (مک کنا و همکاران، ۲۰۰۲).

به طور کلی این روش‌ها را می‌توان به دو دسته مستقیم و غیر مستقیم طبقه بندی نمود. در روش‌های غیر مستقیم هدف مدیریت خاک‌های آبریز به وسیله اصلاح علائم آبریزی می‌باشد. نمونه‌هایی از این روش‌های غیر مستقیم شامل آبیاری منظم خاک همراه و با کاربرد سورفاکتانت است. در حالی که هدف از روش‌های مستقیم حذف و از بین بردن آبریزی در یک منطقه با استفاده از مکانیسم‌های مختلف می‌باشد. یک نمونه از این روش‌های مستقیم، تجزیه مواد آبریز از طریق تلقیح یا تحریک میکروارگانیسم‌ها و جانداران تخصصی است که این استراتژی اصطلاحاً اصلاح زیستی نامیده می‌شود (هلت و همکاران ۲۰۰۷).

۲-۱۲-۱- روش‌های شیمیایی مستقیم

۲-۱۲-۱-۱- آهک‌دهی

آهک باعث افزایش مقدار و فعالیت جمعیت میکروبی مخصوصاً در خاک‌های اسیدی می‌شود (کندی و همکاران، ۲۰۰۴). روپر (۲۰۰۵) مشاهده کرد که افزودن آهک به اکثر خاک‌ها باعث کاهش سریع خاصیت آبریزی خاک در ابتدا و سپس کاهش تدریجی خاصیت آبریزی خاک می‌شود.

روپر (۲۰۰۶) در مطالعات صحرایی در خاک‌های شنی در استرالیا مشاهده کرد که کاربرد آهک در مقادیر بین ۳ تا ۱۵ تن در هکتار به طور قابل توجهی باعث کاهش خاصیت آبریزی خاک می‌شود. وی اظهار داشت که این اثر زمانی قابل توجه‌تر است که آهک حداقل ۴ سال متوالی مصرف شود.

یکی از محدودیت‌های این روش این است که آهک‌دهی باعث تغییر روابط و برهم کنش‌های اکولوژیکی بین کرم‌های خاکی و جمعیت‌های میکروبی می‌شود. خطر بالقوه دیگر این است که آهک‌دهی ممکن است باعث افزایش بسیار زیاد فعالیت میکروبی و در نتیجه کاهش شدید ماده آلی خاک و همچنین افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود (روپر، ۲۰۰۶).

۲-۱۲-۱-۲- کاربرد کودهای کندرها

اساس نظری این روش بر این اصل استوار است که کودهایی که عناصر غذایی را به آهستگی آزاد می‌کنند، از طریق افزایش فعالیت میکروبی و افزایش تجزیه مواد آلی از جمله مواد آلی آبریز باعث کاهش آبریزی خاک می‌شود. این روش به طور موفقیت آمیزی برای اصلاح آبریزی در خاک‌های آلوده به نفت خام مورد استفاده قرار گرفته است (پرینس و همکاران، ۲۰۰۳). فرانکو و همکاران (۲۰۰۰) با انجام آزمایشی مشاهده

کردند که استفاده از کودهای کند رها به مقدار ۰/۵ تا ۲ گرم بر کیلوگرم خاک همراه با رس دادن به مقدار ۵ گرم بر کیلوگرم خاک، میزان آبگریزی را به مقدار قابل توجهی کاهش داد.

۲-۱۲-۲- روش‌های بیولوژیک مستقیم

۲-۱۲-۲-۱- زیست پالایی

مک‌کنا و همکاران (۲۰۰۲) بر اساس تئوری دوثر و همکاران (۲۰۰۰) که خاصیت آبگریزی در خاک را وابسته به مواد مومی دانسته‌اند، تلاش کردند این حقیقت را بررسی کنند که اکتینوباکتری‌ها از محدوده وسیعی از مواد آلی به عنوان منبع کربن برای رشد و انرژی خود استفاده می‌کنند. آن‌ها ایزوله‌های باسیلوس و استرپتومیس را بر روی محیط دارای موم زنبور عسل، به عنوان تنها منبع کربن، کشت و مشاهده کردند که اکتینومیس‌ها توانایی بسیار زیادی برای استفاده از این منبع کربنی دارند. در مطالعات آزمایشگاهی نیز تلقیح اکتینومیس‌ها در خاک‌های آبگریز مقدار این ویژگی را به طور معنی‌دار کاهش داد (مک‌کنا و همکاران، ۲۰۰۲).

روپر (۲۰۰۵) باکتری تجزیه‌کننده موم را از خاک‌های شنی آبگریز و یا خاک‌های تیمار شده با مواد نظیر لجن فاضلاب و کودهای حیوانی که مملو از مواد مومی می‌باشند، جداسازی کرد. روپر و گوپتا (۲۰۰۵) اظهار داشتند که توانایی زیست‌پالایی آبگریزی خاک توسط باکتری‌های تجزیه‌کننده موم به اندازه جمعیت این باکتری‌ها بستگی دارد. بنابراین برای توسعه روش‌های زیست‌پالایی، شناخت و آگاهی از عوامل مؤثر بر جمعیت این باکتری‌ها در خاک ضروری به نظر می‌رسد. آن‌ها روش شمارش بیشترین تعداد احتمالی را برای باکتری‌های تجزیه‌کننده موم توسعه دادند که می‌تواند به عنوان شاخصی از پتانسیل زیست‌پالایی آبگریزی خاک به کار رود. مزیت این روش در مقایسه با سایر روش‌های کشت این است که این روش هم توانایی باکتری‌ها برای رشد در محیط آلوده به مواد مومی و هم توانایی باکتری‌های شمارش شده برای تجزیه موم را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

۲-۱۲-۲-۲- تحریک فعالیت کرم‌های خاکی

جزء مهم دیگر بیولوژی خاک در رابطه با خاصیت آبگریزی آن، کرم خاکی است. جمعیت زیاد کرم خاکی، سه مزیت و اثر سودمند را در رابطه با کاهش خاصیت آبگریزی خاک دارد:

- ۱- کرم‌های خاکی از طریق فعالیت خود، باعث مخلوط شدن خاک آبگریز سطح با خاک غیر آبگریز می‌شوند.

۲- فعالیت کرم‌های خاکی باعث تولید مواد آلی با کیفیت بالا می‌شود که این مواد آلی باعث افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و افزایش تجزیه مواد آلی و از جمله مواد آبه‌گریز می‌شود.

۳- سوراخ‌ها و منافذ ایجاد شده توسط کرم‌های خاکی باعث افزایش سرعت نفوذ آب به خاک و بنابراین کاهش جریان آب در سطح خاک می‌شوند (دکر و ریتسما، ۱۹۹۶). یکی از محدودیت‌های اصلی در رشد و فعالیت کرم‌های خاکی حساسیت زیاد این کرم‌ها به کمبود کلسیم در خاک است. به عنوان مثال استوک دیل (۱۹۶۶) در مطالعه بر روی خاک‌هایی با بیش‌ترین درجه آبه‌گریزی و pH ۳ تا ۴ در نیوزلند، نشان دادند که کرم‌های خاکی قادر به فعالیت در این خاک‌ها نیستند. در حالی که با افزودن مقادیر کافی مواد آلی همراه با آهک، جمعیت کرم‌ها به شدت افزایش و مقدار آبه‌گریزی خاک کاهش یافت.

۲-۱۲-۳- روش‌های فیزیکی مستقیم

آبیاری

کاهش خشکی و حفظ مقدار رطوبت خاک سطحی به وسیله آبیاری مکرر و فراوان، بهترین روش برای جلوگیری از بروز آبه‌گریزی خاک است (سی سار و همکاران ۲۰۰۰). باید توجه داشت که ویژگی آبه‌گریزی خاک بازدهی آبیاری را کاهش داده و باعث توزیع غیر یکنواخت آب در خاک می‌شود (تاراجیتازکی و همکاران ۲۰۰۷). والیس و مک آلیف (۱۹۹۰) اثبات کردند که روش‌های آبیاری با فاصله زمانی زیاد، به دلیل حفظ مقدار آب خاک سطحی در حد بالاتر از مقدار بحرانی، باعث کاهش خاصیت آبه‌گریزی خاک و افزایش رشد گیاهان می‌شوند.

۲-۱۲-۴- روش‌های غیر مستقیم فیزیکی

شخم

به طور کلی شخم برای خاک‌های آبه‌گریز و غیر آبه‌گریز توصیه شده است (هولزی، ۱۹۶۹). در رابطه با خاک‌های شنی آبه‌گریز که بر روی لایه رسی قرار گرفته‌اند، این روش بسیار مؤثر است. شخم عمیق در این خاک‌ها می‌تواند رس را به سطح خاک آورده و در نتیجه باعث کاهش خاصیت آبه‌گریزی خاک شود. شخم از یک طرف با به سطح آوردن مواد آلی خاک و کمک به تهویه خاک و از سوی دیگر با افزایش تجزیه مواد آلی خاک از جمله مواد آلی آبه‌گریز باعث کاهش آبه‌گریزی خاک می‌شود. باید توجه داشت که این موضوع علاوه بر

کاهش خاصیت آبریزی خاک، مقدار مواد آلی خاک را نیز کاهش داده و منجر به کاهش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی نیز خواهد شد (بازکو و همکاران، ۲۰۰۶).

روش‌های شخم حداقل می‌توانند بر روی کاهش خاصیت آبریزی خاک مؤثر باشند. تجمع بقایای گیاهی بر روی سطح خاک می‌تواند خاک سطحی را از خشک شدن محافظت نماید که این امر می‌تواند به جلوگیری از وقوع خاصیت آبریزی کمک کند (مولر و دوئر، ۲۰۱۱).

هوادهی

یکی از روش‌های مؤثر برای کاهش خاصیت آبریزی خاک، هوادهی خاک است. برای این منظور در مزارع و به ویژه در زمین‌های ورزشی با استفاده از ابزارهایی نظیر کلوخ کوب، دیسک و چرخ پرس بذری، سطوح سخت و سفت زمین را خراش داده و شخم می‌زنند تا نفوذ هوا و آب به درون خاک آسان شود. این ابزارهای مکانیکی عمدتاً در مدیریت زمین‌های گلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (فرزادپان، ۱۳۹۲).

۲-۱۲-۵- روش‌های غیر مستقیم شیمیایی

۲-۱۲-۵-۱- استفاده از سورفاکتانت‌ها

سورفاکتانت‌ها مواد دارای سطوح فعالی هستند که می‌توانند کشش سطحی مایع را در محیط کاهش دهند. این ماده از طریق کاهش کشش سطحی آب و کاهش زاویه تماس بین آب و سطح خاک، باعث افزایش نیروی جذب آب به وسیله مواد آبریز خاک می‌شود (مولر و همکاران ۲۰۱۱). همه سورفاکتانت‌ها مولکول‌های آمفی‌فیل هستند، یعنی هم حاوی گروه‌های عاملی شدیداً قطبی (آبدوست) و هم گروه‌های عاملی شدیداً غیر قطبی (آبریز) می‌باشند (مولر و همکاران ۲۰۱۱).

۲-۱۲-۵-۲- افزودن کانی‌های رسی به خاک

رس‌ها از طریق پوشاندن سطوح آبریز باعث اصلاح خاصیت آبریزی می‌شوند. اکثر کانی‌های رسی آبدوست بوده، سطح ویژه زیادی داشته و همچنین دارای بار منفی می‌باشند (بلکول، ۲۰۰۰). موشوم و همکاران (۱۹۸۹) اظهار داشتند قابلیت دیسپرس شدن رس یک عامل تعیین‌کننده و بسیار مهم در کارایی یک رس، در کاهش آبریزی خاک می‌باشد. زیرا رس‌های دیسپرس شونده می‌توانند در خاک آبریز پخش شوند و سطوح آبریز این خاک‌ها را بپوشانند. پراکندگی یا دیسپرس شدن رس به ساختار

بلوری، شکل کانی و خصوصیات شیمیایی محلول خاک نظیر pH، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، غلظت کاتیون‌های تبادلی و غیره بستگی دارد.

استفاده از رس یک روش غیر مستقیم برای اصلاح خاک‌های آبگریز محسوب می‌شود زیرا همان‌طور که قبلاً گفته شد رس باعث پنهان شدن ترکیبات آلی آبگریز می‌شود و این ترکیبات را تجزیه نمی‌نماید. اما نکته قابل توجه این است که افزودن رس به خاک از طریق افزایش حاصلخیزی و به دنبال آن افزایش فعالیت میکروبی، تجزیه مواد آبگریز خاک را در طولانی مدت افزایش می‌دهد (بلکول، ۲۰۰۰).

مطالعات نشان داده است که استفاده از رس تنها زمانی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است که رس در دسترس باشد و همچنین بتوان رس پخش شده در سطح خاک را با شخم عمیق به خوبی با خاک زیرین مخلوط کرد. به منظور دستیابی به اثر طولانی مدت توصیه می‌شود که رس به خوبی تا عمق ۱۰ یا ۱۵ سانتی‌متری خاک مخلوط شود (کن، ۲۰۰۰).

۲-۱۲-۵-۳- استفاده از قارچ‌کش‌ها

یکی از دلایل ایجاد آبگریزی در خاک قارچ‌ها و مواد تولیدی آن‌ها می‌باشد. در این موارد می‌توان با استفاده از قارچ‌کش‌های شیمیایی قارچ‌ها را از بین برده، در نتیجه خاصیت آبگریزی خاک را اصلاح نمود (هلت، ۲۰۰۱).

۲-۱۲-۵-۴- استفاده از بیوچار

یکی دیگر از روش‌های کاهش آبگریزی خاک که در سال‌های گذشته مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از بیوچار به عنوان اصلاح کننده است (هلین و همکاران ۲۰۱۵).

بیوچار همان زغال زیستی است که از دو واژه بیو به مفهوم زیستی و چار به معنی زغال مشتق گردیده است. واژه زغال زیستی بر ماهیت زیستی استوار است و این زیستی بودن، آن را از پلاستیک زغال شده و یا سایر مواد غیرزیستی زغال شده متمایز می‌سازد. زغال‌زیستی نشان‌دهنده‌ی مواد آلی زغال شده‌ای است که از منابع زیستی مختلفی تهیه شده و جهت بهبود ویژگی‌های خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (لای رد، ۲۰۰۸).

بیوچار می‌تواند مواد آلی خاک را در طولانی مدت تامین نماید (استینر و همکاران ۲۰۰۷؛ کیموتو و همکاران ۲۰۰۸). در کشورهای صنعتی در حال توسعه، تخریب خاک با سرعت بی‌سابقه‌ای صورت می‌گیرد. در بسیاری از این مناطق، کاهش بهره‌وری خاک به دلیل استفاده بیش از حد محصولات کشاورزی، همزمان با اثرات نامطلوب محیط زیست بر روی خاک و منابع آب اتفاق می‌افتد (فولی و همکاران ۲۰۰۵؛ رابرتسون و

سوینتن ۲۰۰۵). بیوچار یک فرصت منحصر به فرد برای بهبود باروری خاک و بهره وری مواد مغذی توسط مواد قابل بازیافت را رقم می‌زند. بیوچار با بهبود عملیات‌های مدیریتی، نقشی مهمی در گسترش بهره وری پایدار خاک ایفا می‌کند به طوری که نه تنها سبب بهبودی باروری خاک می‌شوند بلکه سبب کاهش اثرات زیست محیطی بر منابع آب و خاک نیز می‌شوند (لهمان و جوزف، ۲۰۰۹).

۲-۱۳- تاثیر بیوچار بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک

بیوچار علاوه بر خواص شیمیایی، باعث بهبود خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار کلید درک عملکرد و مکانیسم‌های بیوچار در بهبود باروری خاک می‌باشد (جعفری و همکاران، ۲۰۱۱). بیوچار دارای تخلخل کل زیادی است و می‌تواند آب را در منافذ کوچک حفظ کند و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش داده و به نفوذ آب از طریق منافذ بزرگتر پس از بارندگی شدید کمک نماید (آسیا و همکاران، ۲۰۰۹). یکی از مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی خاک که به شدت تولید محصول را هم تحت تاثیر قرار می‌دهد، آب در دسترس گیاه است. مطالعات اخیر نشان دادند که بیوچار سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شود (مارتینسن و همکاران ۲۰۱۴) پیکه و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند که کاربرد بیوچار می‌تواند ظرفیت آب موجود در خاک را بیش از ۲۲ درصد افزایش دهد. باسو و همکاران (۲۰۱۲) با مصرف بیوچار درخت بلوط در سطوح مختلف، متوجه افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خام به میزان ۲۳ درصد شدند.

افزایش ظرفیت نگهداری آب و آب قابل استفاده خاک‌های شنی با افزودن بیوچار توسط چندین پژوهش گزارش شده است (بوچر و همکاران ۲۰۱۰؛ نوک و همکاران، ۲۰۰۹، پیرا ۲۰۱۲). علاوه بر افزایش آب قابل استفاده در خاک، کاربرد بیوچار باعث افزایش میزان آب در نقطه پژمردگی دائمی می‌شود (تریان، ۱۹۴۸). افزایش آب قابل دسترس در اثر افزودن بیوچار به دلیل تغییری است که بیوچار به دلیل سطح ویژه بالایی که دارد در توزیع اندازه ذرات و تخلخل خاک ایجاد می‌نماید. (سانو همکاران ۲۰۱۴). کوید و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که افزودن بیوچار، مقدار آب موجود در خاک را افزایش و باعث بالا بردن مقدار آب موجود در ظرفیتی زراعی در خاک می‌شود.

همچنین افزودن بیوچار سبب کاهش چگالی ظاهری می‌شود (چن و همکاران ۲۰۱۱). اوبیا و همکاران (۲۰۱۶) در یک آزمایش مزرعه‌ای گزارش کردند که افزودن بیوچار تهیه شده از بلال ذرت در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد در یک خاک لومی شنی، چگالی ظاهری را ۳ تا ۵ درصد به ازای هر درصد بیوچار اضافه شده، کاهش و تخلخل خاک را ۲ درصد به ازای هر درصد بیوچار اضافه شده، افزایش می‌دهد. گندل و دل-یوکا (۲۰۰۶) بیان نمودند که بیوچار بسته به مواد اولیه و شرایط تولید، چگالی خاک را از ۰/۰۸ تا ۱/۷ گرم

بر سانتی متر مکعب تغییر می‌دهد. تخلخل کل بیوپار تا ۸۰ درصد حجمی توسط کینی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است. مخرجی و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان نمودند که به کار بردن ۱ تا ۲ درصد بیوپار در خاک تاثیر معنی داری بر بهبود کیفیت فیزیکی خاک از جمله چگالی خاک و ظرفیت نگهداری آب خاک دارد.

یکی از ویژگی‌های مهم بیوپار، پایداری آن پس از افزودن به خاک می‌باشد، که به دمای تولید بیوپار و شرایط و نوع خاک بستگی دارد (لهمن و همکاران، ۲۰۰۹). ساختار مولکولی بیوپارها میزان بالایی از پایداری شیمیایی و میکروبی را نشان می‌دهد.

اخیرا تولید و کاربرد بیوپار برای اصلاح خاک‌های آلوده مورد ارزیابی قرار گرفته است. هارپر و گیلک (۱۹۹۴) دریافتند که آبگریزی خاک با افزایش ۱٪ مقدار رس، کاهش می‌یابد و با افزایش ۵٪ کاهش می‌یابد. بیوپار مانند رس، دارای سطح ویژه زیاد بوده و به عنوان یک جاذب شناخته شده است. بنابراین بیوپار می‌تواند به طور بالقوه خاک آبگریز را مشابه به رس تغییر دهد (لهمن و همکاران، ۲۰۰۹).

هلین و همکاران (۲۰۱۵) کاهش آبگریزی خاک در اثر افزودن بیوپار به خاک را گزارش نموده‌اند. بیوپار ماده‌ای بسیار متخلخل و آبدوست بوده و به سرعت آب را جذب می‌نماید. با افزایش درصد بیوپار، تماس ذرات بیوپار با یکدیگر افزایش یافته و شرایط برای جریان ترجیحی فراهم می‌آید. در نتیجه اثر اسفنجی بیوپار در جذب آب قابل توجه خواهد شد (هلین و همکاران ۲۰۱۵).

آبل (۲۰۱۳) اثر بیوپار (تولید شده از مواد خام ذرت و پیرولیز شده در دمای ۷۵۰ درجه سانتی گراد) را بر حفظ آب خاک و آبگریزی خاک از طریق آزمایش‌های آزمایشگاهی و میدانی ستون‌های خاک مخلوط شده با ۰، ۱، ۲، ۵ و ۵ درصد وزنی/ وزنی بیوپار بررسی کردند. در پایان آزمایش ۶ ماهه آبل و همکاران (۲۰۱۳) نتیجه گیری کردند که بیوپار هیچ تاثیری بر آبگریزی ندارد زیرا آزمون آب هیچ افزایشی در زمان نفوذ نشان نداند.

فصل ۳ : مواد و روش ها

۳-۱- مشخصات محل نمونه برداری

برای تهیه خاک شنی مورد نیاز نمونه برداری از خاک منطقه ابرسیج با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه، ۴۸ دقیقه و ۴۷ ثانیه شمالی و طول ۵۴ درجه، ۹۹ دقیقه و ۸۴ ثانیه شرقی، از عمق صفر تا ۱۵ سانتی متری سطح خاک انجام گرفت. نمونه‌ها ابتدا هوا خشک و به آرامی کوبیده شدند و بعد از عبور از الک ۴ میلی متری درون ظروف پلاستیکی نگه‌داری و جهت تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند.

۳-۲- تهیه خاک آبگریز

خاک شنی مورد نظر پس از نمونه برداری و هوا خشک شدن، از الک ۴ میلی متری عبور داده شدند. برای ایجاد درجات مختلف آبگریزی زیاد و خیلی شدید از غلظت‌های متفاوت اسید استتاریک استفاده شد. با توجه به حلالیت بسیار کم اسید استتاریک در آب (لیلامانیه و همکاران ۲۰۰۸)، از استون به عنوان حلال در اضافه نمودن اسید استتاریک به خاک استفاده شد. ابتدا مقدار اسید استتاریک لازم جهت رسیدن به درجات آبگریزی متفاوت به صورت تجربی تعیین شد (پیچ و همکاران ۱۹۸۲). به این ترتیب که محلول‌هایی با غلظت‌های متفاوت اسید استتاریک در استون تهیه و به مقدار مشخصی از خاک اضافه شد. افزودن محلول به روی لایه نازکی از خاک به کمک یک اسپری انجام گرفت و در نهایت محلول به صورت یکنواخت با خاک مخلوط شد. پس از تبخیر کامل استون که حدود یک هفته طول کشید و خشک شدن خاک، زمان نفوذ قطره برای هریک از این خاک‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت با توجه به گروه‌بندی درجه آبگریزی (دکر و ریتسما ۱۹۹۴) دو خاک با آبگریزی زیاد و شدید انتخاب شد (جدول ۳-۱). اسید استتاریک یکی از فراوان‌ترین ترکیبات آبگریز در بقایای گیاهی بوده که تجمع آن در خاک منجر به آبگریزی خاک‌ها می‌شود. جدول ۳-۱ مقدار اسید استتاریک مصرفی برای ایجاد آبگریزی در خاک را نشان می‌دهد.

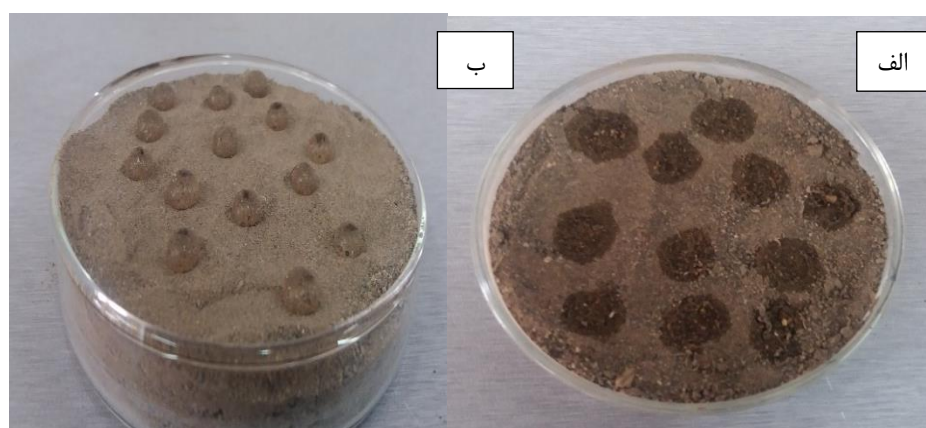
جدول ۳-۱- مقادیر اسید استتاریک مصرفی برای ایجاد سطوح مختلف آبگریزی در خاک

سطح آبگریزی	مقدار خاک مورد استفاده	مقدار اسید استتاریک مصرفی
آبگریزی زیاد	۱ کیلو گرم	۲/۷۵ گرم
آبگریزی خیلی شدید	۱ کیلو گرم	۶ گرم

جدول ۳-۲- طبقه بندی زمان نفوذ پذیری قطره آب با توجه به خصوصیات آبگریزی خاک (دکر و ریتسما ۱۹۹۴)

درجه آبگریزی	WDPT
بدون آبگریزی	۵ ثانیه
آبگریزی جزئی	۵ تا ۶۰ ثانیه
آبگریزی زیاد	۶۰ تا ۶۰۰ ثانیه
آبگریزی شدید	۶۰۰ تا ۳۶۰۰ ثانیه
آبگریزی خیلی شدید	< ۳۶۰۰ ثانیه

در نهایت آزمایش‌های مورد نظر بر روی نمونه‌های خاک با سه درجه بدون آبگریزی، آبگریزی زیاد و آبگریزی شدید انجام گرفت. شکل ۳-۱ نتایج آزمون زمان نفوذ قطره در دو خاک با آبگریزی شدید و بدون آبگریزی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در خاک با آبگریزی شدید (شکل ۳-۱ الف) قطرات با زاویه تماس آب با خاک بیش از ۹۰ درجه بر روی خاک قرار گرفت، در حالی که در خاک آبدوست (شکل ۳-۱ ب) در اولین لحظه تماس قطره با خاک، آب به داخل خاک نفوذ نموده است.



شکل ۳-۱- آزمایش نفوذ قطره بر روی خاک با آبگریزی شدید (الف) و بدون آبگریزی (ب)

۳-۳- تهیه بیوپار

برای تهیه بیوپار از نیشکر مزارع خوزستان استفاده گردید. برای این منظور نیشکر با درجه حرارت ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت پیرولیز شد. سپس بیوپار تولیدی به کمک الک در دو اندازه ۰/۲۵ < و ۰/۲۵-۲ میلی‌متر برای انجام آزمایش‌ها آماده گردید.



شکل ۳-۲- بیوچار نیشکر مورد مطالعه

۳-۴- بررسی خصوصیات مورفولوژی بیوچار

روش تهیه تصاویر به کمک میکروسکوپ الکترونی (SEM) یکی از بهترین روش‌های آنالیزی می‌باشد که امکان بررسی و آنالیز سطح و زیر ساختار داخلی را در بعد میکرونی و نانومتری فراهم کرده است. جهت تصویربرداری از سطح بیوچار مورد مطالعه از دستگاه میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) مدل JEOL-JSM840 در آزمایشگاه شیمی دانشگاه الزهرا تهران استفاده شد.

۳-۵- طیف سنجی (FTIR) بیوچار

از مهم‌ترین و متداول‌ترین روش‌ها جهت شناسایی گونه‌های مولکولی مختلف روش FTIR است. این روش مبتنی بر روش مادون قرمز و جذب یا بازتابش امواج الکترومغناطیسی در ناحیه طیف مادون قرمز می‌باشد. این طیف سنجی می‌تواند گروه‌های عاملی مختلف موجود بر روی ترکیبات مولکولی شناسایی کرده و در نتیجه ساختار احتمالی ترکیبات را مشخص می‌نماید. در علم شیمی به مجموعه‌های معینی از اتم‌ها که در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند و موجب بروز خواص فیزیکی و شیمیایی خاصی می‌شوند، گروه‌های عاملی گفته می‌شود. در طیف‌های مادون قرمز هر پیک نشان‌دهنده میزان جذب در عدد موجی متناظر با آن می‌باشد و توسط یک پیوند شیمیایی مشخص ایجاد می‌شود. در نتیجه عدد موجی هر پیک نشان‌دهنده حضور یک گروه عاملی خاص در نمونه خواهد بود (اسپارکس ۲۰۰۳). در این مطالعه برای تعیین گروه‌های عاملی موجود در بیوچار از دستگاه طیف سنجی مادون قرمز در گروه شیمی دانشگاه الزهرا تهران استفاده شد.

۳-۶- بخش اول

۳-۶-۱- اثر بیوچار در اصلاح سطوح مختلف آبریزی خاک

در قسمت نخست از بخش اول این پژوهش برای بررسی امکان استفاده از بیوچار در اصلاح خاک‌های آبریز آزمایشی با سه سطح آبریزی در خاک شامل خاک آبدوست، آبریزی زیاد و آبریزی شدید، یازده سطح بیوچار شامل صفر، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ درصد با ۵ تکرار انجام شد.

برای انجام آزمایش خاک مورد نظر در هر سطح آبریزی در هر تیمار با بیوچار مخلوط شده و به صورت یک لایه ۰/۵ سانتی‌متری درون پتری ریخته شد. پس از آماده سازی هر واحد، آزمایش زمان نفوذ قطره و آزمایش مولاریته اتانول انجام شد.

۳-۱-۲-۳- آزمایش زمان نفوذ قطره (WDPT)

برای انجام این آزمایش در هر واحد آزمایشی تعداد ۵ قطره آب مقطر به حجم ۲ میلی‌لیتر توسط قطره چکان روی سطح خاک با فاصله ۲ سانتی‌متر قرار گرفت و زمان نفوذ کامل قطره در خاک اندازه‌گیری شد (هلت ۲۰۰۷).

۳-۲-۱-۲-۳- آزمایش مولاریته اتانول (MED)

با استفاده از این روش بر مبنای کشش سطحی محلول‌های اتانول می‌توان زاویه تماس خاک-اتانول را محاسبه نمود. در واقع با کاهش کشش سطحی محلول اتانول، زاویه تماس بین خاک و قطره‌ی اتانول کاهش می‌یابد. بنابراین در خاک‌های با آبریزی شدید با افزایش غلظت محلول اتانول، زمان نفوذ قطره اتانول کاهش می‌یابد. کشش سطحی بحرانی (V_c) بیش‌ترین کشش سطحی محلول اتانول است که با خاک زاویه صفر درجه می‌سازد. زمان نفوذ بحرانی حدود ۵-۱۰ ثانیه است. مولاریته‌ی قطره اتانولی که در زمان ۵-۱۰ ثانیه در خاک نفوذ می‌کند (MED) به عنوان شاخص آبریزی خاک گزارش می‌شود (روی و مک گیل ۲۰۰۱).

در این روش با استفاده از اتانول ۹۶ درصد، ۴۰ محلول اتانول با غلظت‌های ۰ تا ۲۰ مولار ساخته شد. از آن جایی که دقت و صحت نتایج آزمایش به شرایط و چگونگی انجام آزمایش و به ویژه به وضعیت رطوبتی خاک بستگی دارد، نمونه‌های خاک پیش از آزمایش MED به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی-گراد آون خشک شدند. به علاوه آبریزی فرایندی وابسته به دما است، از این رو پیش از انجام آزمایش نمونه‌های خاک و محلول‌های اتانول با دمای محیط به تعادل رسیدند. سپس توسط قطره چکان قطراتی از محلول‌ها بر روی سطح نمونه خاک قرار داده شد و توسط زمان سنج، زمان نفوذ قطرات به خاک یادداشت شد. مولاریته‌ی محلول اتانولی که در مدت ۱۰ ثانیه در خاک جذب شد (MED) به عنوان شاخصی برای

آبگریزی خاک استفاده می شود. یکی دیگر از عوامل موثر در تعیین زاویه تماس توسط این روش زبری سطح خاک است. با افزایش زبری سطح خاک خطای آزمایش افزایش می یابد، بنابراین سعی شد قطره های اتانول روی نقاط صاف نمونه های خاک قرار گیرند (روی و مک گیل ۲۰۰۱).

۳-۶-۲- اثر بیوچار در اصلاح سطوح مختلف آبگریزی خاک در حضور آب

شور

در قسمت دوم از بخش اول این پژوهش برای بررسی امکان استفاده از بیوچار در اصلاح خاک های آبگریز در صورت استفاده از آب شور آزمایشی با سه سطح آبگریزی در خاک شامل خاک آبدوست، آبگریزی زیاد و آبگریزی شدید، ده سطح بیوچار شامل صفر، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ درصد و آب شور دارای کلرید کلسیم و کلرید سدیم با ۵ سطح صفر، ۰/۵، ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ مولار با ۵ تکرار انجام شد. برای انجام آزمایش خاک مورد نظر در هر سطح آبگریزی در هر تیمار با بیوچار مخلوط شده و به صورت یک لایه ۰/۵ سانتی متری درون پتری ریخته شد. پس از آماده سازی هر واحد، آزمایش زمان نفوذ قطره انجام شد.

۳-۶-۲-۱- آزمایش زمان نفوذ قطره (WDPT)

برای انجام این آزمایش در هر واحد آزمایشی تعداد ۵ قطره آب شور در غلظت های مورد مطالعه به حجم ۲ میلی لیتر توسط قطره چکان روی سطح خاک با فاصله ۲ سانتی متر قرار گرفت و زمان نفوذ کامل قطره در خاک اندازه گیری شد (هلت ۲۰۰۷).

۳-۷-۲- بخش دوم

۳-۷-۱- اثر بیوچار بر برخی ویژگی های فیزیکی خاک های آبگریز

در بخش دوم این پژوهش برای بررسی اثر بیوچار بر برخی ویژگی های فیزیکی خاک های آبگریز، آزمایشی با سه سطح آبگریزی شامل خاک بدون آبگریزی، آبگریزی زیاد و آبگریزی شدید و سه سطح بیوچار شامل صفر، ۲ و ۵ درصد در سه تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. به منظور انجام این آزمایش خاک های با سطوح مختلف آبگریزی با بیوچار با سه سطح صفر، ۲ و ۵ درصد مخلوط و به کمک یک اسپری تا ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه آبیاری شد. سپس خاک در استوانه هایی با قطر و ارتفاع ۳ سانتی متر با چگالی ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی متر مربع قرار گرفت. استوانه ها به مدت ۹۰ روز در دمای محیط آزمایشگاه نگهداری شدند. در طول انجام آزمایش استوانه ها بر اساس کاهش وزن در فواصل دو روز یک بار با آب مقطر تا رسیدن به ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه آبیاری شدند. پس از طی شدن زمان انکوباسیون استوانه ها جهت انجام آزمایش های فیزیکی خاک مورد استفاده قرار گرفتند.

۳-۷-۲- اندازه‌گیری و مدل‌سازی منحنی مشخصه رطوبتی خاک

برای اندازه‌گیری منحنی مشخصه رطوبتی خاک در دامنه مکش صفر تا ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر از دستگاه جعبه شن و صفحه فشاری استفاده شد. مدل‌سازی منحنی مشخصه رطوبتی خاک به کمک مدل ون‌گنوختن-معلم و به کمک ابزار Excel Solver صورت گرفت (ونگنوختن و همکاران، ۱۹۹۱).

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) [1 + (\alpha h)^n]^{\left(\frac{1}{n}-1\right)} \quad (1-4)$$

در این رابطه θ_s رطوبت اشباع (سانتی متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، θ_r رطوبت باقی مانده (سانتی متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، α مرتبط با عکس مکش در نقطه عطف (بر سانتی‌متر)، h مکش ماتریک (سانتی‌متر)، n شاخص توزیع اندازه منافذ خاک می‌باشند (ونگنوختن و همکاران، ۱۹۹۱).

۳-۷-۳- توزیع اندازه منافذ خاک

برای تعیین توزیع اندازه منافذ از داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی خاک استفاده گردید. منافذ بزرگتر از ۳۰۰ میکرون منافذ درشت، منافذ بین ۳۰ تا ۳۰۰ میکرون، منافذ متوسط و منافذ کوچکتر از ۳۰ میکرون منافذ ریز نامیده می‌شوند (بیون و جرمن، ۱۹۸۲). بنابراین اختلاف رطوبتی حجمی در حالت اشباع با رطوبت حجمی در مکش ماتریک ۱۰ سانتی‌متر (مکش نظیر اندازه منافذ 300 میکرون) نشان دهنده تخلخل درشت، تفاوت رطوبت حجمی در مکش‌های ماتریک ۱۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر (مکش نظیر اندازه منافذ 30 میکرون) نشان‌دهنده تخلخل متوسط، رطوبت باقیمانده در مکش ماتریک ۱۰۰ سانتی‌متر نشان دهنده تخلخل ریز می‌باشند (صفادوست و همکاران ۱۳۹۷). مقدار تخلخل کل خاک با صرف‌نظر از هوای محبوس در حین اشباع شدن، برابر با رطوبت خاک در حالت اشباع (مکش برابر با صفر) در نظر گرفته شد (کرکهام، ۲۰۰۵).

۳-۷-۴- ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک

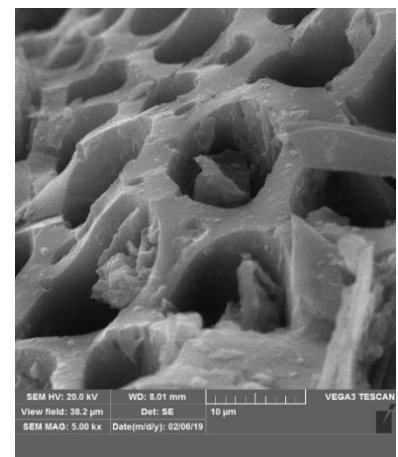
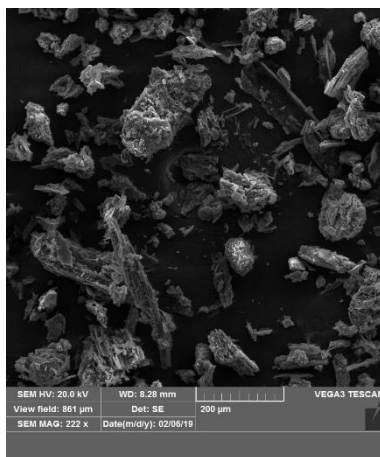
پس از مدل‌سازی منحنی مشخصه رطوبتی خاک، میزان رطوبت در مکش ۱۰۰ سانتی‌متر معادل ظرفیت مزرعه، میزان رطوبت در مکش ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر معادل نقطه پژمردگی دائم و اختلاف این دو به عنوان آب قابل استفاده خاک در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل آماری تجزیه آماری داده‌ها به وسیله نرم افزار آماری statistics انجام و مقایسه میانگین با آزمون LSD صورت گرفت.

فصل ۴ : بحث و نتائج

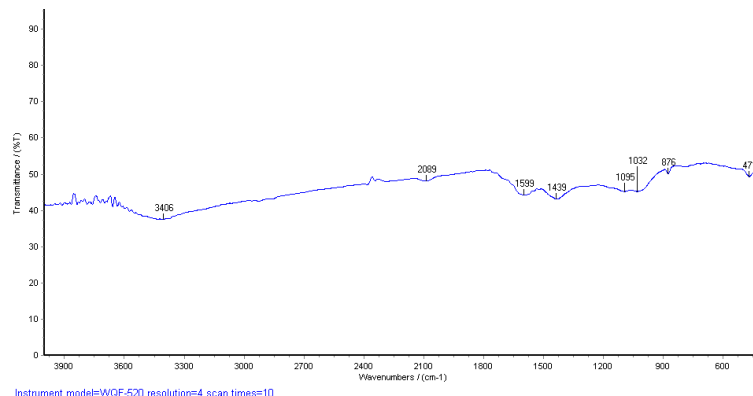
۴-۱- ویژگی‌های بیوچار

بیوچار مورد استفاده در این پژوهش از نیشکر در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد تهیه شده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی بیوچار مصرفی در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. تصاویر نشان دهنده حجم بالای منافذ در بیوچار تولیدی دارد.



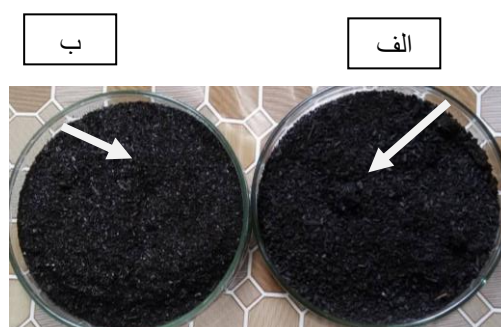
شکل ۴-۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی بیوچار نیشکر

همچنین شکل ۴-۲ نشان دهنده تصویر FTIR مرتبط با بیوچار مصرفی می‌باشد. استفاده از این تکنیک اطلاعات مهمی را در مورد شیمی سطح ذرات بیوچار نشان می‌دهد. از آنجایی که فرآیند آبگریزی علاوه بر این که یک پدیده فیزیکی است، تابع ویژگی‌های سطحی بیوچار نیز می‌باشد، اطلاع از شیمی سطح بیوچار در درک بهتر مکانیسم‌های آبگریزی کمک می‌نماید (کینی و همکاران ۲۰۱۲). تولید بیوچار در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد باعث شده تا بیوچار آبدوست تولید شود. نتایج بررسی تصویر FTIR بیوچار تولیدی نشان می‌دهد که در دامنه طول موج‌های 2800 تا 3000 cm^{-1} هیچ پیک جدی مشاهده نشده است.



شکل ۴-۲- تصویر FTIR بیوچار مصرفی

ناحیه طول موج 2800 تا 3000 cm^{-1} مرتبط با پیوند C-H (کربن-هیدروژن) بوده که عمدتاً مرتبط با گروه عاملی آلکیل در سطح مواد آلی می‌باشد. پژوهش‌ها نشان داده است که این گروه‌های عاملی مهم‌ترین نقش در ایجاد آبگریزی در سطح ترکیبات آلی را داشته و شاخص‌های آبگریزی همبستگی قوی با پیک منحنی در این طول موج را دارد (کینی و همکاران ۲۰۱۲). گروه عاملی آلکیل در اثر پیرولیز ترکیبات آلی در دمای بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد تخریب می‌شود (لهمن ۲۰۰۷). عدم مشاهده این پیک در بیوچار نیشکر تولیدی به معنای آبدوستی آن بوده است. بررسی آبگریزی بیوچار تولیدی توسط آزمایش نفوذ قطره نیز نشان داد که در اولین لحظه تماس قطره آب با سطح بیوچار، آب از سطح بیوچار عبور نموده و سطح را خیس می‌نماید (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۳- تصویر آزمایش نفوذ قطره بر روی بیوچار نیشکر (قطره آب (الف) در اولین لحظه تماس نفوذ کرده و ناپدید شده است (ب))

۴-۲- بخش اول

۴-۲-۱- اثر بیوچار در اصلاح سطوح مختلف آبگریزی خاک

۴-۲-۱-۱- آبگریزی در خاک شنی با آبگریزی زیاد

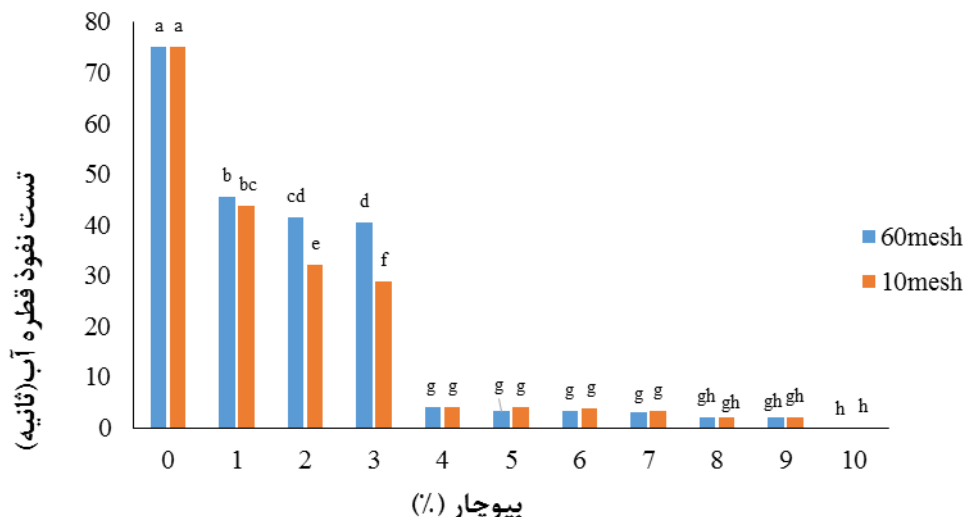
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مقدار و اندازه بیوچار و اثر متقابل آن‌ها روی آزمون زمان نفوذ قطره و آزمون مولاریته قطره اتانول در خاک شنی با آبگریزی زیاد معنی‌دار بوده است (جدول ۴-۱).

جدول ۴-۱- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل میزان و اندازه بیوچار بر زمان نفوذ قطره و مولاریته اتانول در خاک با آبگریزی زیاد

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		زمان نفوذ قطره	مولاریته اتانول
میزان بیوچار	10	۶۱۱۷/۳**	۱۶/۹۵**
اندازه بیوچار	1	۱۰۰/۸**	۶/۶۹**
میزان بیوچار × اندازه بیوچار	10	۴۵/۶۰**	۱/۴۳**
خطا	88	۴/۱۸	۰/۰۶
ضریب تغییرات	-	۱۰/۷۳	۱۵/۲

* و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد. ^{ns} بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

کاربرد بیوچار در دو اندازه ۰/۲۵ < و ۲-۰/۲۵ میلی‌متر باعث کاهش زمان نفوذ قطره در این خاک شده است (شکل ۴-۴). افزودن بیوچار به خاک از طریق مکانیسم‌های مختلفی سبب کاهش آبگریزی خاک شده است. مکانیسم اثر بیوچار در کاهش آبگریزی مشابه با کانی‌های رسی است (مولر و دیورر، ۲۰۱۱). ذرات بیوچار اطراف ذرات خاک را فراگرفته و در نتیجه یک سطح آبدوست را ایجاد می‌نمایند. پژوهش هیلین و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که عامل اصلی کنترل‌کننده تأثیر بیوچار بر آبگریزی خاک، آبدوست بودن ذرات بیوچار است. نتایج پژوهش آنان نشان داد که بیوچار آبدوست سطح ذرات خاک را پوشش داده و باعث ایجاد یک سطح آبدوست می‌شود. بیوچار استفاده شده در مطالعه حاضر نیز همانند کانی‌های رسی آبدوست بوده است و نتایج آزمون زمان نفوذ قطره نشان داد که در اولین لحظه تماس قطره با سطح بیوچار، آب جذب بیوچار شد که نشان‌دهنده آبدوست بودن بیوچار مورد استفاده می‌باشد (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۴ اثر اندازه و مقدار بیوچار بر زمان نفوذ قطره (WDPT) در خاک با آبگریزی زیاد (60mesh: ۰/۲۵ < میلی متر، 10mesh: ۰/۲۵ - ۲ میلی متر)

بیوچار مورد استفاده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شده است. ماهیت آبدوستی بیوچار به دمای پیرولیز و نوع ماده خام اولیه بستگی دارد. پیرولیز مواد خام در دمای بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد منجر به از بین رفتن گروه‌های آلی ایجادکننده آبگریزی شده و در نتیجه بیوچار تولیدی آبدوست می‌گردد (کینی و همکاران ۲۰۱۲). چن و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان دادند که اکسیدشدن گروه‌های آلیفاتیک در دمای زیاد منجر به افزایش گروه‌های قطبی شده و آبگریزی بیوچار را کاهش می‌دهد. کینی و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که بیوچارهای تولیدی از سه منبع مختلف در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به شدت آبگریز بوده، درحالی که با افزایش دمای پیرولیز آبگریزی کاهش یافته و در دمای بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، بیوچار تولیدی آبدوست بوده است.

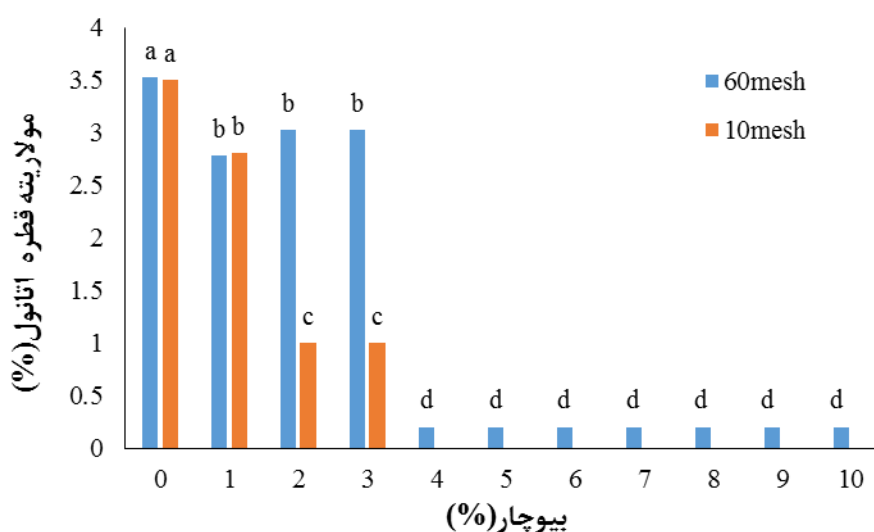
کاربرد بیوچار با اندازه ۰/۲۵ میلی‌متر به میزان ۱ تا ۴ درصد سبب کاهش معنی‌دار این پارامتر از ۳۹/۲ تا ۹۴/۶ درصد شد. همچنین افزودن همین مقدار بیوچار با اندازه ۰/۲۵ - ۲ میلی‌متر باعث کاهش زمان نفوذ قطره به میزان ۴۱/۶ تا ۹۴/۶ درصد شده است. کاربرد ۱ تا ۳ درصد بیوچار در هر دو اندازه مورد مطالعه سبب تغییر کلاس آبگریزی از کلاس آبگریز زیاد به آبگریز جزئی با زمان نفوذ کمتر از ۶۰ ثانیه شده است. در حالی که کاربرد ۴ درصد بیوچار در هر دو اندازه سبب آبدوست شدن خاک با زمان نفوذ کمتر از ۵ ثانیه شده است (دکر و جانگریوس ۱۹۹۰). کاربرد مقادیر بیش‌تر بیوچار در هر دو اندازه مورد آزمایش سبب کاهش معنی‌داری در میزان آبگریزی خاک نشده است (شکل ۴-۴).

تخلخل زیاد و آبدوستی بیوچار باعث شده تا همانند اسفنج عمل نموده و به سرعت آب را جذب نماید. با افزایش درصد بیوچار، تماس ذرات بیوچار با یکدیگر افزایش یافته و شرایط برای جریان ترجیحی فراهم می‌آید. در نتیجه اثر اسفنجی بیوچار در جذب آب قابل توجه خواهد شد (هلین و همکاران ۲۰۱۵). به علاوه بیوچار احتمالاً سطح ویژه مؤثر خاک را افزایش داده است. زمانی که قطره آب در تماس با سطح خاک آبگریز قرار می‌گیرد، می‌تواند جذب هریک از گروه‌های عاملی قطبی سطح ذرات آبگریز شود (بج من و وندریپلاگ ۲۰۰۲، روی و مک گیل ۲۰۰۲). هرچه قطره آب جذب ذرات با آبدوستی بیش‌تری مانند بیوچار

شود، انرژی سطحی در فصل مشترک آب-خاک کاهش یافته و در نهایت بر آبریزی خاک غلبه نموده و روی سطح خاک پخش می‌شود. براساس یافته‌های لیلامانی و کاروب (۲۰۰۹) این پروسه در هریک از لایه‌های خاک تکرار شده تا آب به طور کامل جذب لایه‌های خاک شود.

تفاوت دو اندازه بیوچار مورد استفاده بر کاهش زمان نفوذ قطره در خاک با آبریزی زیاد تنها در تیمارهای کاربرد ۲ و ۳ درصد بیوچار معنی‌دار بوده است. کاربرد بیوچار با اندازه $< 0/25$ میلی‌متر تأثیر کم‌تری در کاهش آبریزی خاک شنی با آبریزی زیاد نسبت به بیوچار با اندازه ۲-۰/۲۵ میلی‌متر داشته است (شکل ۴-۴). هلین و همکاران (۲۰۱۵) نیز کارایی بیوچار در کاهش آبریزی خاک را وابسته به اندازه ذرات بیوچار دانسته‌اند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که کاربرد بیوچار در اندازه ریزتر تأثیر بیشتری در کاهش آبریزی شن با اندازه درشت و متوسط نسبت به کاربرد بیوچار با اندازه درشت‌تر داشته است. به نظر می‌رسد که تأثیر بیوچار بر کاهش آبریزی برایندی از میزان آبدوستی بیوچار، ابعاد بیوچار و اندازه ذرات خاک و یا به عبارتی تأثیر توپوگرافی ایجاد شده توسط بیوچار است. بیوچار با اندازه ذرات بزرگ‌تر به خوبی در خاک مخلوط نشده و بیش‌تر در سطح خاک قرار گرفته و باعث ایجاد زبری و توپوگرافی در سطح خاک می‌شود. این امر می‌تواند احتمال برخورد قطره با سطح آبدوست بیوچار به جای سطح آبریز ذرات خاک را با وجود افزایش کم‌تر سطح ویژه خاک نسبت به بیوچار با ابعاد کوچک‌تر افزایش دهد.

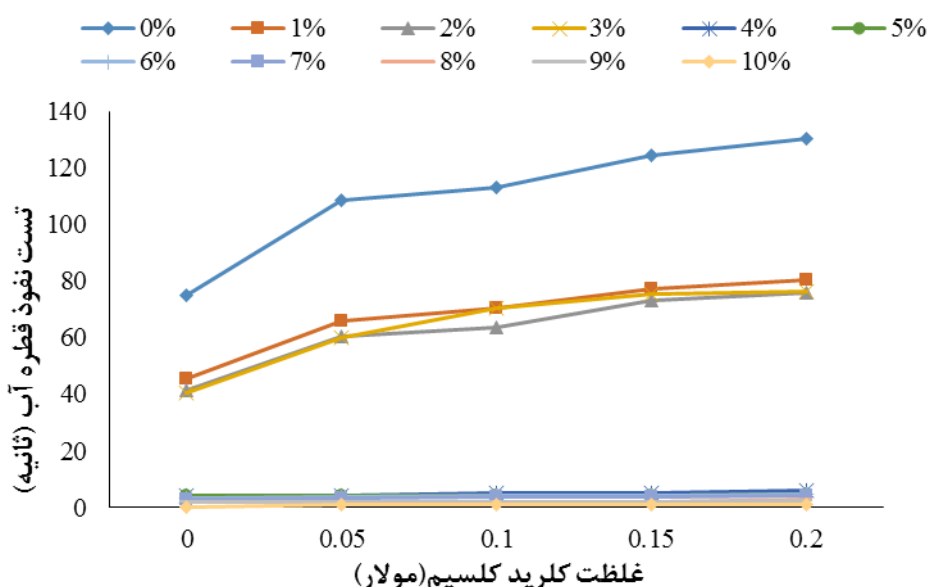
نتایج مربوط به آزمون مولاریته قطره اتانول نیز نشان داد که کاربرد بیوچار در هر دو اندازه مورد مطالعه در خاک با آبریزی زیاد سبب کاهش آبریزی خاک شده است. به گونه‌ای که کاهش درصد اتانول در اثر کاربرد ۱ تا ۳ درصد بیوچار در اندازه $< 0/25$ و ۲-۰/۲۵ میلی‌متر به ترتیب ۱۴ تا ۲۱ درصد و ۲۰ تا ۷۱/۴ درصد بوده است. اما با کاربرد ۴ درصد بیوچار در هر دو اندازه مورد مطالعه درصد اتانول بیش از ۹۴ درصد کاهش داشته است. نتایج این آزمون نیز مشابه با آزمایش زمان نفوذ قطره نشان داد که کاربرد بیوچار با اندازه ۲-۰/۲۵ میلی‌متر سبب کاهش بیش‌تر آبریزی خاک شده است (شکل ۴-۵).



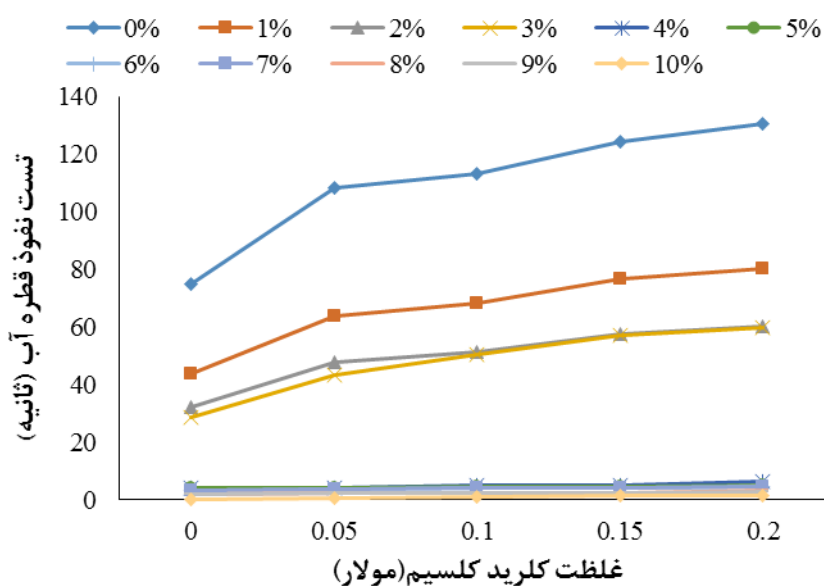
شکل ۴-۵- اثر اندازه و مقدار بیوچار بر آزمون مولاریته قطره اتانول (MED) با آبریزی زیاد (60mesh: $< 0/25$ میلی‌متر، 10mesh: ۲-۰/۲۵ میلی‌متر)

۴-۲-۱-۲- تأثیر شوری بر زمان نفوذ قطره در خاک شنی با آبگریزی زیاد

افزایش غلظت آب شور حاوی کلرید کلسیم سبب افزایش غیرخطی زمان نفوذ قطره به داخل خاک شنی با آبگریزی زیاد در تیمار بدون بیوچار شد. بیش‌ترین افزایش آبگریزی نسبت به آب غیرشور در تیمار بدون بیوچار، به میزان ۷۳/۸ درصد بوده که در شرایط کاربرد ۰/۲ مولار آب شور مشاهده شد (شکل ۴-۶ و ۴-۷).



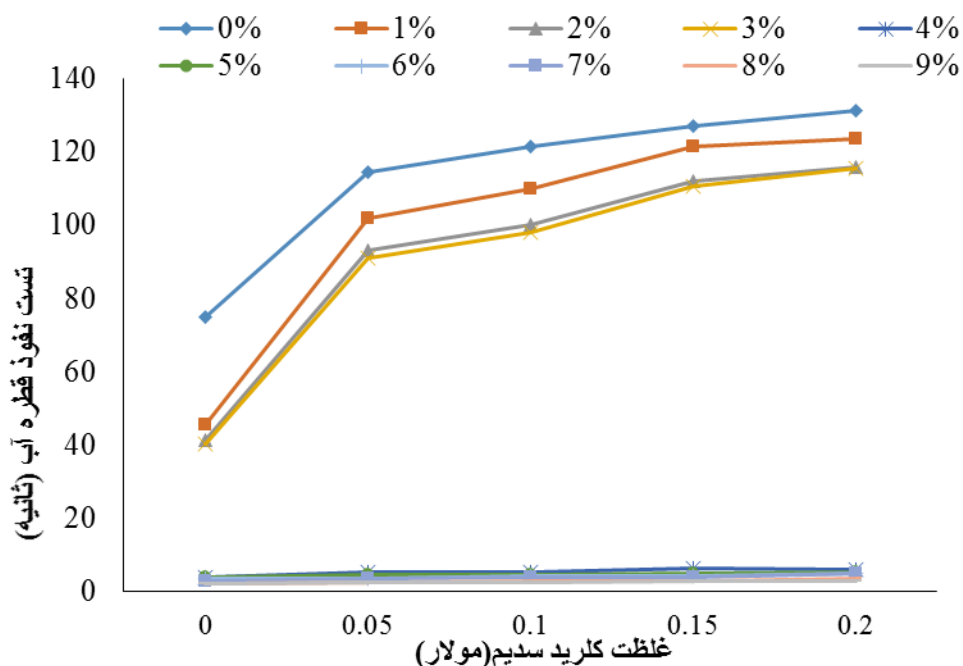
شکل ۴-۶- اثر شوری ناشی از نمک کلرید کلسیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوچار با اندازه ۰/۲۵ < میلی‌متر در خاک با آبگریزی زیاد



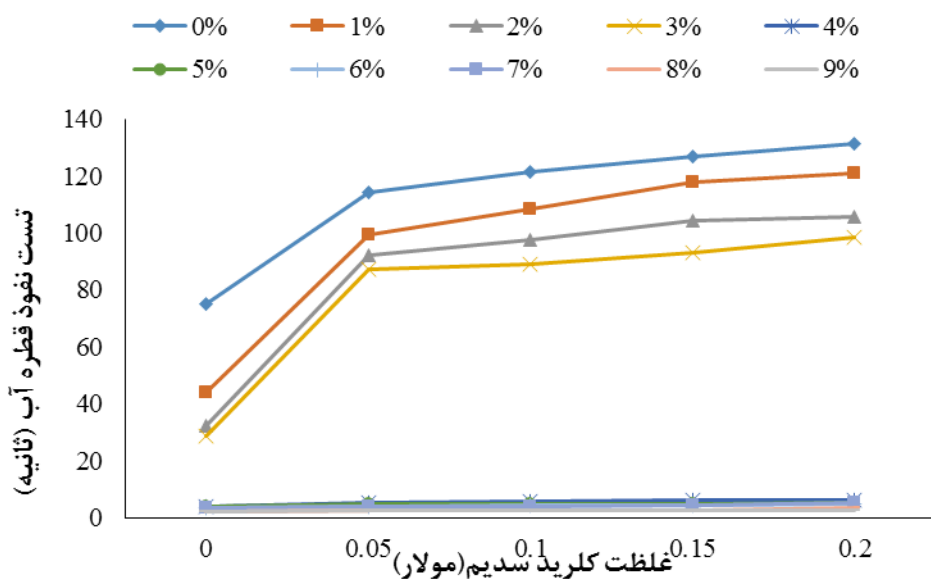
شکل ۴-۷- اثر شوری ناشی از نمک کلرید کلسیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوچار با اندازه ۰/۲۵-۲ میلی‌متر در خاک با آبگریزی زیاد

افزایش غلظت آب شور حاوی کلرید سدیم نیز سبب افزایش غیرخطی زمان نفوذ قطره به داخل خاک شنی با آبگریزی زیاد در تیمار بدون بیوچار شد. بیشترین افزایش آبگریزی نسبت به آب غیرشور در تیمار بدون بیوچار، به میزان ۷۴/۹ درصد بوده که در شرایط کاربرد ۰/۲ مولار آب شور حاوی کلرید سدیم مشاهده شد (شکل ۴-۸ و ۴-۹). با این وجود افزایش آبگریزی با کاربرد هر دو نمک مورد مطالعه، کلاس آبگریزی خاک را تغییر نداده و خاک همچنان در سطح آبگریزی زیاد قرار دارد (شکل ۴-۶، ۴-۷، ۴-۸ و ۴-۹).

افزودن نمک کلرید کلسیم و کلرید سدیم احتمالاً سبب افزایش کشش سطحی آب شده است (متوبایاسی و همکاران ۲۰۱۱، هالتهوزن و همکاران ۲۰۱۲). علت افزایش کشش سطحی آب در اثر افزودن الکترولیت‌ها، دافعه یا جذب منفی یون‌ها در سطح مشترک آب و هوا است. بر اساس معادله جذب گیبس نیز هر نمکی که سبب افزایش کشش سطحی آب شود، احتمالاً دارای جذب منفی در سطح مشترک آب و هوا است (لیلامانی و همکاران ۲۰۱۳). جذب مایعات در سطح جامد با جذب مولکولی در سطح مشترک آب و هوا همراه است. مولکول‌های سطحی مایع با کشش سطحی کم، تمایل بیشتری برای چسبیدن به مولکول‌های سطح خاک نسبت به چسبیدن به مولکول‌های همان مایع دارند و در نتیجه جذب سطح جامد شده و منجر به خیس شدن سطح با زاویه تماس کم می‌شود. در مقابل هرچه کشش سطحی مایع بیشتر باشد، تمایل مولکول‌های آب برای چسبیدن به یکدیگر بیشتر از سطح جامد است. تعادل نیروها در سطح سه فاز قطره الکترولیت، سطح جامد خاک و هوا تعیین کننده کشش سطحی و زاویه تماس قطره الکترولیت با سطح خاک است (لیلامانی و همکاران ۲۰۱۳).



شکل ۴-۸- اثر شوری ناشی از نمک کلرید سدیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوچار با اندازه ۰/۲۵ < میلی‌متر در خاک با آبگریزی زیاد



شکل ۴-۹- اثر شوری ناشی از نمک کلرید سدیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوپچار با اندازه ۲-۰/۲۵ میلی متر در خاک با آبگریزی زیاد

رابطه بین کشش سطحی و زاویه تماس اولین بار توسط یانگ (۱۸۰۵) نشان داده شد. زاویه تماس تابع انرژی آزاد در سطح مشترک مایع-گاز، مایع-جامد و جامد-گاز می باشد. تعادل نیروها در سطوح مشترک تابع رابطه زیر می باشد:

$$\gamma_{lg} \cos \theta = \gamma_{sg} - \gamma_{sl}$$

در این رابطه θ زاویه تماس یانگ و γ_{lg} ، γ_{sg} و γ_{sl} به ترتیب انرژی آزاد (میلی نیوتون بر متر) در سطح مشترک مایع-گاز، جامد-گاز و جامد-مایع می باشد. بر اساس این رابطه اگر انرژی آزاد سطح جامد-گاز ثابت باشد، افزایش انرژی آزاد در سطح مایع-گاز در اثر افزایش غلظت الکترولیت ها منجر به افزایش زاویه تماس آب و خاک خواهد شد (یانگ ۱۸۰۵).

افزایش غلظت آب شور حاوی کلرید کلسیم در تیمارهای اصلاح شده با بیوپچار با هر دو اندازه مورد مطالعه نیز سبب افزایش زمان نفوذ قطره در خاک شنی با آبگریزی زیاد شده است، اما این زمان برای بیوپچار با اندازه ۰/۲۵ < و ۲-۰/۲۵ میلی متر به ترتیب حداکثر ۸۰/۲ و ۸۰ ثانیه بوده و کلاس آبگریزی خاک همچنان زیاد است. افزایش غلظت آب شور حاوی کلرید سدیم نیز در تیمارهای اصلاح شده با بیوپچار با هر دو اندازه مورد مطالعه نیز سبب افزایش زمان نفوذ قطره در خاک شنی با آبگریزی زیاد شده است، اما این زمان برای بیوپچار با اندازه ۰/۲۵ < و ۲-۰/۲۵ میلی متر به ترتیب حداکثر ۱۲۳/۶ و ۱۲۱ ثانیه بوده و کلاس آبگریزی خاک همچنان زیاد است.

در مطالعه گرابر و همکاران (۲۰۰۹) اثر نمک های دو ظرفیتی اسیدهای چرب در حضور غلظت های مختلف کلرید سدیم و کلسیم بر آبگریزی خاک های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آنان نشان داد که افزایش غلظت نمک تا ۰/۱ مولار تأثیری بر آبگریزی خاک نداشته اما در غلظت ۱ مولار نمک زمان نفوذ قطره تحت تأثیر قرار گرفته است. در حالی که در مطالعه لیلامانی و همکاران (۲۰۱۳) افزایش غیر خطی زاویه تماس در

اثر افزودن غلظت الکترولیت مشاهده شد و این افزایش در سطوح کم شوری بیش‌تر بوده است. در مطالعه حاضر نیز با وجود عدم تغییر در کلاس آبریزی در اثر افزودن غلظت الکترولیت‌ها، شیب افزایش زمان نفوذ قطره در اثر افزودن غلظت نمک‌ها در غلظت‌های کم بیش‌تر بوده است. این امر نشان می‌دهد علاوه بر اثر انرژی آزاد در سطح مایع-گاز که تابع غلظت الکترولیت بوده، عامل دیگری در مرز سه‌گانه مایع-جامد-گاز دخیل بوده است. از نقطه نظر ترمودینامیک جذب یون‌ها در سطح سبب کاهش انرژی آزاد در سطح مشترک جامد-مایع شده (چاوهارى و پاريا ۲۰۰۹) و در نتیجه زاویه تماس آب و خاک کاهش می‌یابد. با این وجود با افزایش کشش سطحی مایع در اثر زیاد شدن غلظت الکترولیت بر اثر کاهش آن بر انرژی آزاد در سطح مشترک جامد-مایع غلبه نموده و در نتیجه افزایش زاویه تماس حتی با شیب کم‌تر نسبت به غلظت‌های کم الکترولیت ادامه می‌یابد (لیلامانی و همکاران ۲۰۱۳).

کاربرد بیوپار در هر دو اندازه $0/25 <$ و $2-0/25$ میلی‌متر سبب کاهش آبریزی خاک شنی (با آبریزی زیاد) در زمان استفاده از آب شور حاوی کلرید کلسیم در هر ۴ سطح شوری مورد مطالعه شده است. نتایج مربوط به کاربرد آب شور در تست نفوذ قطره نشان داد که کاربرد ۱ تا ۳ درصد بیوپار با اندازه $0/25 <$ میلی‌متر سبب کاهش قابل توجه زمان نفوذ قطره شده اما کلاس آبریزی همچنان زیاد می‌باشد. در حالی که در کاربرد آب غیرشور کلاس آبریزی با کاربرد ۱ تا ۳ درصد بیوپار به جزئی آبریز کاهش یافت. این مطلب نشان می‌دهد که شوری آب می‌تواند اثرات مثبت کاربرد بیوپار تا ۳ درصد را کاهش دهد (شکل ۴-۶).

همچنین کاربرد ۱ تا ۳ درصد بیوپار با اندازه $2-0/25$ میلی‌متر نیز سبب کاهش قابل توجه زمان نفوذ قطره در همه تیمارهای آب شور حاوی کلرید کلسیم شده به گونه‌ای که با کاربرد ۲ و ۳ درصد بیوپار کلاس آبریزی خاک از آبریزی زیاد به جزئی آبریز تغییر یافته است (شکل ۴-۷). در نتیجه به نظر می‌رسد اندازه ذرات بیوپار مصرفی نقش مهمی در کاهش آبریزی خاک داشته و در خاک با آبریزی زیاد در حضور آب شور نیز تأثیر کاربرد بیوپار با اندازه $2-0/25$ میلی‌متر از اندازه $0/25 <$ میلی‌متر بیش‌تر بوده است. کاربرد ۴ درصد بیوپار در هر دو اندازه، در هر ۴ سطح شوری مورد مطالعه (ناشی از کلرید کلسیم) سبب کاهش قابل توجه آبریزی شده است. این کاهش در تیمار شوری $0/05$ مولار سبب تبدیل خاک با آبریزی زیاد به یک خاک آبدوست شده، در حالی که در سه تیمار $0/1$ تا $0/2$ مولار آب شور این کاهش کم‌تر بوده و کلاس آبریزی به آبریزی جزئی تغییر یافته است. این مطلب نیز نشان می‌دهد که شوری آب می‌تواند اثرات مثبت اصلاح خاک آبریز توسط بیوپار را کاهش دهد (شکل ۴-۶ و ۴-۷). کاربرد مقادیر بیش‌تر بیوپار در همه غلظت‌های کلرید کلسیم مورد مطالعه سبب تغییر خاک شنی با آبریزی زیاد به خاک آبدوست شده است.

همچنین زیاد شدن زمان نفوذ قطره در اثر کاربرد آب شور دارای کلرید کلسیم در مقایسه با آب غیرشور تحت تأثیر میزان بیوپار مصرفی قرار گرفته و افزایش مقدار بیوپار از ۱ تا ۳ درصد سبب توسعه بیش‌تر آبریزی با افزایش شوری شد (شکل ۴-۶ و ۴-۷). به عنوان نمونه در تیمارهای بدون بیوپار افزایش شوری آب از غلظت $0/05$ تا $0/2$ مولار سبب افزایش $44/5$ تا $73/8$ درصدی آبریزی نسبت به تیمار آب غیرشور شده است، در حالی که در تیمار کاربرد ۳ درصد بیوپار (اندازه $0/25 <$ میلی‌متر) با افزایش شوری، زمان نفوذ

قطره از ۴۸/۵ تا ۸۸/۶ درصد نسبت به تیمار آب غیرشور افزایش یافته است. کاهش آبگریزی در اثر افزودن بیوچار باعث شده تا تأثیر شوری آب در افزایش آبگریزی بیش تر شود. به نظر می‌رسد تأثیر غلظت الکترولیت آب مصرفی در خاک‌های آبدوست و یا با آبگریزی کم، بیش تر خواهد بود.

اسقایر و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر غلظت نمک کلرید سدیم بر زاویه تماس قطره حاوی این نمک بر روی سطوح مختلف شامل سطوح شیشه‌ای آبدوست و آبگریز، پلکسی گلاس و سیلیکون را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش غلظت نمک، زاویه تماس تنها بر روی سطوح آبدوست افزایش یافت.

زیاد شدن زمان نفوذ قطره در اثر کاربرد آب شور در مقایسه با آب غیرشور علاوه بر میزان بیوچار تحت تأثیر اندازه بیوچار مصرفی قرار گرفت. به عنوان مثال افزایش آبگریزی در تیمار کاربرد ۳ درصد بیوچار با اندازه ۲-۰/۲۵ میلی‌متر با افزایش شوری از ۵۰/۶ تا ۱۰۶/۹ درصد و در نتیجه بیش تر از تیمار ۳ درصد بیوچار با اندازه ۲۵/۰ میلی‌متر بوده است (شکل ۴-۸ و ۴-۹). این نتایج نشان می‌دهد که اثر افزایشی شوری در زمان نفوذ قطره در تیمار بیوچار با اندازه ۲-۰/۲۵ میلی‌متر بیش تر از ۲۵/۰ میلی‌متر بوده است که احتمالاً به دلیل اثر بیش تر ذرات بیوچار بزرگتر در کاهش آبگریزی خاک با آبگریزی زیاد در مقایسه با ذرات بیوچار ریزتر بوده است.

تأثیر نمک کلرید سدیم در افزایش آبگریزی خاک در همه سطح کاربرد بیوچار در هر دو اندازه ۲۵/۰ < و ۲-۰/۲۵ میلی‌متر در خاک با آبگریزی زیاد بیش تر از نمک کلرید کلسیم بوده است. به عنوان مثال در سطح ۲ درصد بیوچار با اندازه ۲۵/۰ < میلی‌متر با افزایش شوری در تیمارهای کلرید کلسیم، زمان نفوذ قطره به میزان ۴۶/۴ تا ۸۳/۶ درصد افزایش یافته در حالی که در همین تیمار با کاربرد آب شور حاوی کلرید سدیم، زمان نفوذ قطره ۱۲۴/۴ تا ۱۸۰/۲ درصد افزایش یافته است (شکل ۴-۶ و ۴-۸).

در محلول‌های با قدرت یونی زیاد، اثر یون‌ها بر ساختار آب باعث شده که تأثیر نمک‌های مختلف بر کشش سطحی متفاوت باشد (رالستون و هیلی ۱۹۷۳). انحلال نمک‌ها سبب ایجاد کاتیون‌ها و آنیون‌ها می‌شود. هر گونه یونی نیروهای جذب و واجذب متفاوتی را در نزدیک سطح مشترک آب و هوا تجربه نموده و مجموعه این نیروها سبب افزایش یا کاهش غلظت در این سطح می‌شود. این تغییرات غلظت در سطح سبب افزایش کشش سطحی می‌شود (لیلامانی و همکاران ۲۰۱۳).

به طور کلی جذب یون‌ها در سطح مشترک جامد-مایع باعث کاهش انرژی آزاد سطح مایع-جامد شده و طبق رابطه یانگ زاویه تماس قطره و آبگریزی کاهش می‌یابد. افزایش کشش سطحی ($\gamma\Delta$) در اثر افزودن نمک به آب متناسب با غلظت نمک ($\gamma\Delta = \Omega C$) می‌باشد. معمولاً Ω مقداری مثبت بوده و مقدار آن به نوع کاتیون یا آنیون وابسته است (بوسترون و همکاران ۲۰۰۱). جذب یون‌های تک ظرفیتی و دو ظرفیتی بر روی سطح جامد متفاوت است (چاوهار و پاریا ۲۰۰۹). جذب یون کلسیم بر سطح جامد به دلیل بار بیش تر نسبت به سدیم با قدرت بیش تری صورت گرفته و در نتیجه انرژی آزاد سطح مایع-جامد را کاهش بیش تری می‌دهد. بنابراین افزایش غلظت الکترولیت در محلول دارای کلرید سدیم تأثیر بیش تری بر افزایش آبگریزی نسبت به محلول دارای کلرید کلسیم دارد. مشابه با این نتایج لیلامانی و همکاران (۲۰۱۳) نیز

افزایش اولیه بیش‌تر زاویه تماس آب با خاک را در محلول دارای کلرید سدیم نسبت به کلرید کلسیم مشاهده نمودند.

در حالی که گرابر و همکاران (۲۰۰۹) نتایج متفاوتی را در مورد اثر یون کلسیم و سدیم با غلظت‌های متفاوت از پژوهش حاضر بر آبگریزی گزارش نمودند. طبق نتایج آنان کاربرد ۱ مولار محلول حاوی کلسیم تأثیر بیش‌تری بر آبگریزی خاک در مقایسه با محلول دارای سدیم داشته است. آنان دلیل این پدیده را کاهش ثابت تفکیک اسید در غلظت‌های بالای الکترولیت و تشکیل کمپلکس‌های کلسیم-اسیدچرب بر سطح خاک بیان نمودند.

کاربرد بیوچار در هر دو اندازه $0/25 <$ و $2-0/25$ میلی‌متر سبب کاهش آبگریزی خاک شنی (با آبگریزی زیاد) در زمان استفاده از آب شور حاوی کلرید سدیم در هر ۴ سطح شوری مورد مطالعه شده است. نتایج مربوط به کاربرد آب شور در تست نفوذ قطره نیز نشان داد که کاربرد ۱ تا ۳ درصد بیوچار با اندازه $0/25 <$ و $2-0/25$ میلی‌متر سبب کاهش قابل توجه زمان نفوذ قطره شده اما کلاس آبگریزی همچنان زیاد می‌باشد. در حالی که در کاربرد آب غیرشور کلاس آبگریزی با کاربرد ۱ تا ۳ درصد بیوچار به جزئی آبگریز کاهش یافت. این مطلب نشان می‌دهد که شوری آب حاوی کلرید سدیم نیز همانند کلرید کلسیم می‌تواند اثرات مثبت کاربرد بیوچار تا ۳ درصد را کاهش دهد (شکل ۴-۸ و ۴-۹).

کاربرد ۴ درصد بیوچار در هر دو اندازه و در هر ۴ سطح شوری مورد مطالعه (ناشی از کلرید سدیم) سبب کاهش قابل توجه آبگریزی شده تا جایی که کلاس آبگریزی خاک با آبگریزی زیاد به جزئی آبگریز تغییر یافته است. افزودن مقادیر بیش‌تر بیوچار، خاک شنی با آبگریزی زیاد را به یک خاک آبدوست تغییر داده است (شکل ۴-۸ و ۴-۹).

اندازه ذرات بیوچار مصرفی نقش مهمی در کاهش آبگریزی خاک داشته و در شرایط استفاده از آب شور دارای کلرید سدیم نیز تأثیر کاربرد بیوچار با اندازه $2-0/25$ میلی‌متر از اندازه $0/25 <$ میلی‌متر در کاهش آبگریزی خاک با آبگریزی زیاد بیش‌تر بوده است. به عنوان نمونه در تیمار آب شور $0/15$ مولار کاربرد ۳ درصد بیوچار با اندازه $0/25 <$ و $2-0/25$ میلی‌متر باعث کاهش زمان نفوذ قطره از ۱۲۷ ثانیه به ترتیب به ۱۱۰ و ۹۳ ثانیه شده است (شکل ۴-۸ و ۴-۹) که احتمالاً به دلیل اثر بیش‌تر بیوچار درشت‌تر در کاهش آبگریزی با درجه زیاد بوده است.

همچنین زیاد شدن زمان نفوذ قطره در اثر کاربرد آب شور حاوی کلرید سدیم در مقایسه با آب غیرشور نیز تحت تأثیر میزان بیوچار مصرفی قرار گرفته و افزایش مقدار بیوچار از ۱ تا ۳ درصد سبب توسعه بیش‌تر آبگریزی با افزایش شوری نسبت به تیمار بدون بیوچار شد (شکل ۴-۸ و ۴-۹). به عنوان نمونه در تیمارهای بدون بیوچار افزایش شوری آب از غلظت $0/05$ تا $0/2$ مولار سبب افزایش $52/5$ تا $74/9$ درصدی آبگریزی نسبت به تیمار آب غیرشور شده است، درحالی‌که در تیمار کاربرد ۳ درصد بیوچار (اندازه $0/25 <$ میلی‌متر) با افزایش شوری، زمان نفوذ قطره از $125/2$ تا $186/1$ درصد نسبت به تیمار آب غیرشور افزایش یافته است. همچنین این افزایش در تیمار کاربرد ۳ درصد بیوچار با اندازه $2-0/25$ میلی‌متر با افزایش شوری از $202/7$ تا $242/3$ درصد بوده است. این نتایج نیز نشان می‌دهد که زیاد شدن زمان نفوذ قطره در اثر کاربرد آب شور در مقایسه با آب غیرشور علاوه بر میزان بیوچار تحت تأثیر اندازه بیوچار مصرفی قرار گرفته

است و اثر افزایشی شوری در زمان نفوذ قطره در تیمار بیوچار با اندازه ۲-۰/۲۵ میلی متر بیش تر از ۰/۲۵ میلی متر بوده است.

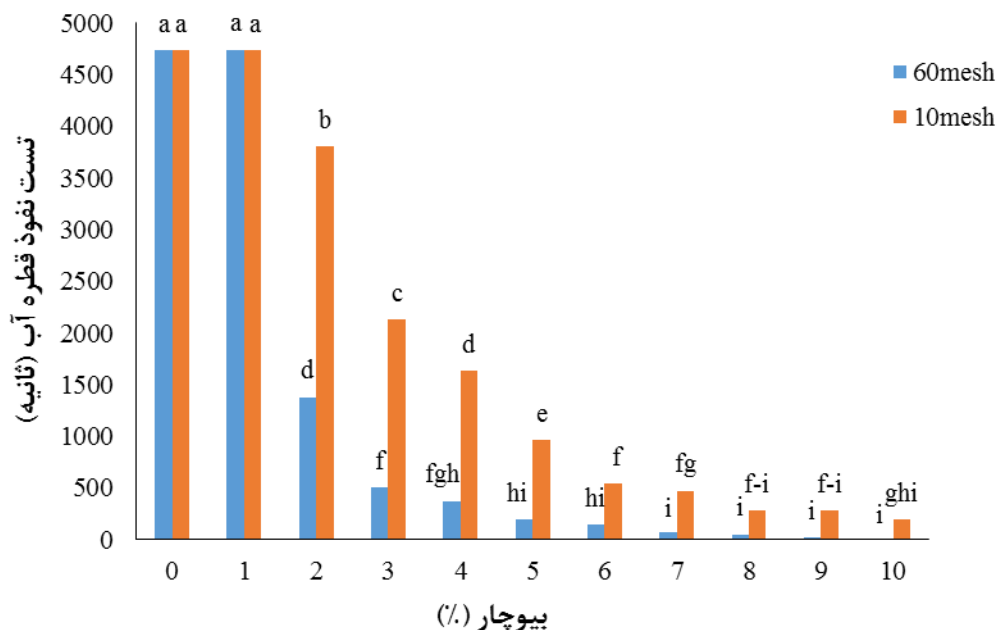
۴-۲-۱-۳- آبگریزی در خاک شنی با آبگریزی خیلی شدید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مقدار و اندازه بیوچار و اثر متقابل آن ها روی آزمون زمان نفوذ قطره و آزمون مولاریته قطره اتانول در خاک شنی با آبگریزی خیلی شدید معنی دار بوده است (جدول ۴-۲). کاربرد بیوچار در خاک با آبگریزی خیلی شدید در دو اندازه ۰/۲۵ و ۲-۰/۲۵ میلی متر باعث کاهش زمان نفوذ قطره در این خاک شده است. کاربرد بیوچار با اندازه ۰/۲۵ میلی متر به میزان ۲ درصد سبب کاهش معنی دار ۷۰/۸ درصدی این پارامتر و تغییر کلاس آبگریزی از خیلی شدید به شدید شد. همچنین آبگریزی در اثر کاربرد ۲ تا ۷ درصد بیوچار با اندازه ۰/۲۵ میلی متر به میزان ۷۰/۸۸ تا ۹۸/۴۴ درصد کاهش یافت و کلاس آبگریزی خاک از خیلی شدید به زیاد تغییر یافت. افزودن مقادیر بیش تر بیوچار با این اندازه تا ۱۰ درصد سبب کاهش این پارامتر به میزان ۹۸/۴ تا ۹۹/۷ درصد شده و کلاس آبگریزی خاک را از خیلی شدید به جزئی آبگریز تغییر داده است (شکل ۴-۱۰).

جدول ۴-۲- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل میزان و اندازه بیوچار بر زمان نفوذ قطره و مولاریته اتانول در خاک با آبگریزی خیلی شدید

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		زمان نفوذ قطره	مولاریته اتانول
میزان بیوچار	10	3/12E+07**	۱۷۴/۶۳**
اندازه بیوچار	1	1/30E+07**	۶۱/۲۸**
میزان بیوچار × اندازه بیوچار	10	1477918**	۵/۰۷**
خطا	88	۴۹۱۷۵/۷	۰/۰۲۲
ضریب		۱۵/۲۳	۲/۵۳
تغییرات	-		

* و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد. ^{ns} بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار می باشد.



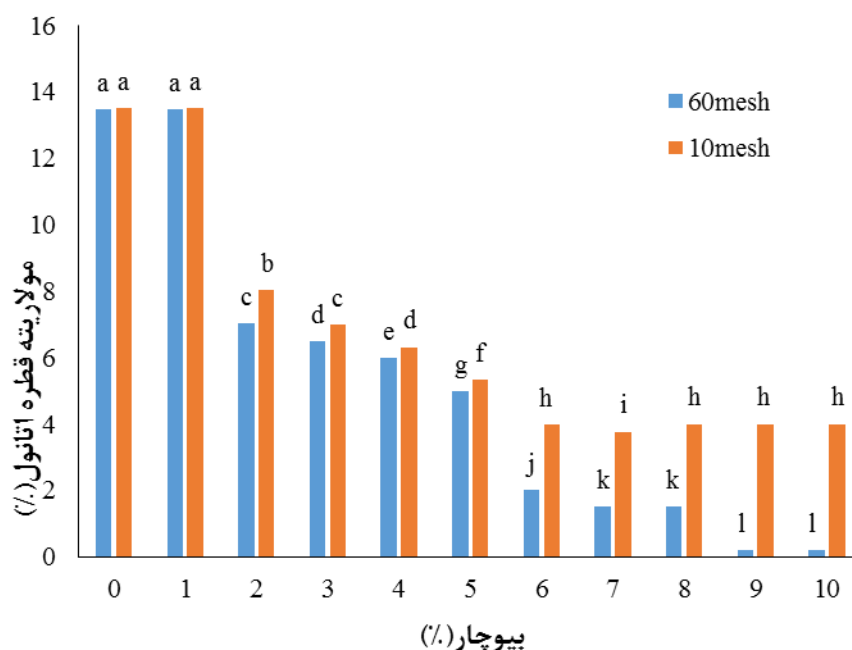
شکل ۴-۱۰ اثر اندازه و مقدار بیوچار بر زمان نفوذ قطره (WDPT) در خاک با آبگریزی خیلی شدید (60mesh: ۰/۲۵ < میلی متر، 10mesh: ۰/۲۵ - ۲ میلی متر)

تفاوت دو اندازه بیوچار مورد استفاده بر کاهش زمان نفوذ قطره در خاک با آبگریزی خیلی شدید در تیمارهای کاربرد ۲ تا ۷ درصد بیوچار معنی دار بوده است. کاربرد بیوچار با اندازه ۰/۲۵ < میلی متر تأثیر بیشتری در کاهش آبگریزی خاک شنی با آبگریزی خیلی شدید نسبت به بیوچار با اندازه ۰/۲۵ - ۲ میلی متر داشته است. به گونه ای که افزودن بیوچار با اندازه ۰/۲۵ - ۲ میلی متر تا ۲ درصد کلاس آبگریزی خاک را تغییر نداده است. افزودن ۳ تا ۵ درصد بیوچار با تغییر کلاس آبگریزی به شدید سبب کاهش زمان نفوذ قطره به میزان ۵۵/۱ تا ۷۹/۵ درصد شد. افزودن مقادیر بیوچار بیش تر در اندازه ۰/۲۵ - ۲ میلی متر تا ۱۰ درصد سبب کاهش ۸۸/۵ تا ۹۵/۸ درصدی آبگریزی و تغییر کلاس خاک به آبگریزی زیاد شد (شکل ۴-۱۰).

تأثیر بیش تر بیوچار با اندازه کوچک تر در کاهش آبگریزی خاک به دلیل توزیع بهتر آن در زمینه خاک و پوشش بهتر ذرات با آبگریزی خیلی شدید بوده است. مشابه این مکانیسم در رس ها توسط مولر و دیورر (۲۰۱۱) گزارش شده است. رس های یک به یک قابلیت پراکندگی بیشتری دارند، سطح ویژه خاک را افزایش داده و منجر به کاهش بیش تر آبگریزی در مقایسه با رس هایی شده که تمایل به همآوری دارند. هلین و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان دادند که تأثیر بیوچار با اندازه کوچک تر بر کاهش آبگریزی خاک بیش تر است.

نتایج مربوط به آزمون مولاریته قطره اتانول نشان می دهد که استفاده از بیوچار به میزان ۲ درصد و بیش تر در هر دو اندازه ۰/۲۵ < و ۰/۲۵ - ۲ میلی متر باعث کاهش آبگریزی خاک در خاک شنی با آبگریزی خیلی شدید شده است. به گونه ای که در اندازه ۰/۲۵ < و ۰/۲۵ - ۲ میلی متر کاهش درصد اتانول در کاربردهای ۲ تا ۵ درصد بیوچار به ترتیب ۴۷/۹ تا ۶۳ درصد و ۴۰/۸ تا ۶۰/۶ درصد بوده است. با کاربرد بیوچار به میزان ۶ درصد و بیش تر در هر دو اندازه ۰/۲۵ < و ۰/۲۵ - ۲ میلی متر، درصد اتانول به ترتیب بیش از ۸۵ و ۷۰ درصد

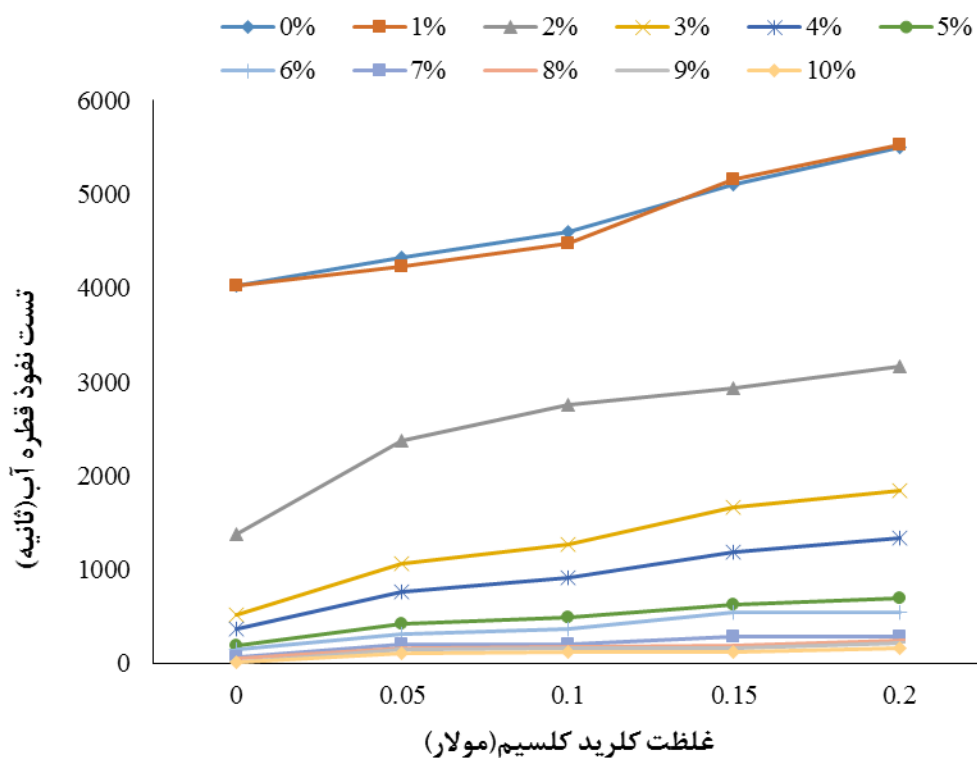
کاهش یافت. نتایج این آزمون نیز نشان داد که کاربرد بیوچار با اندازه $0/25 <$ میلی‌متر باعث کاهش بیش‌تر آبگریزی نسبت به کاربرد بیوچار با اندازه $0/25-2$ میلی‌متر شده است (شکل ۴-۱۱).



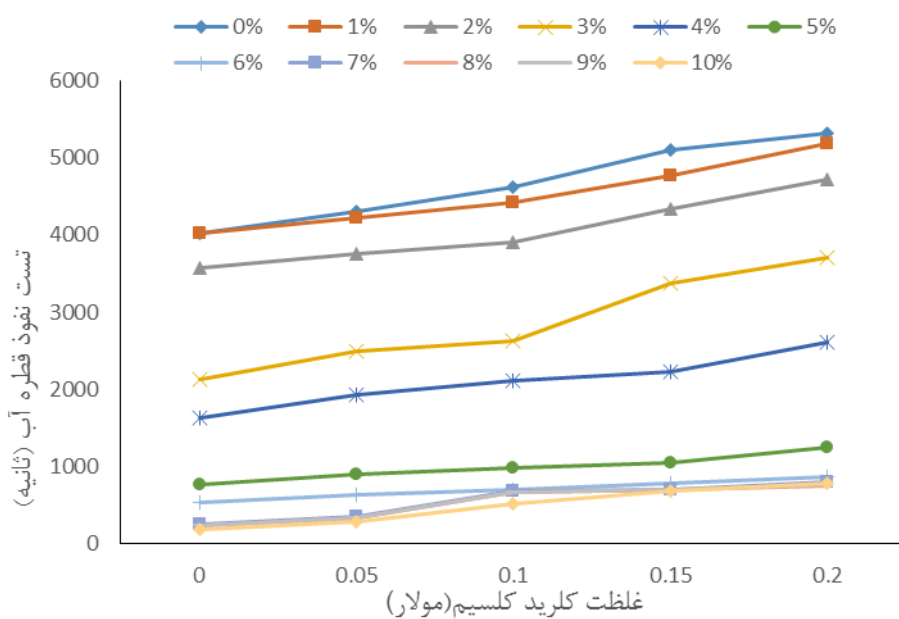
شکل ۴-۱۱- اثر اندازه و مقدار بیوچار بر آزمون مولاریته قطره اتانول (MED) با آبگریزی خیلی شدید (60mesh: $0/25 <$ میلی‌متر، 10mesh: $0/25-2$ میلی‌متر)

۴-۱-۲-۴- تأثیر شوری بر زمان نفوذ قطره در خاک شنی با آبگریزی خیلی شدید

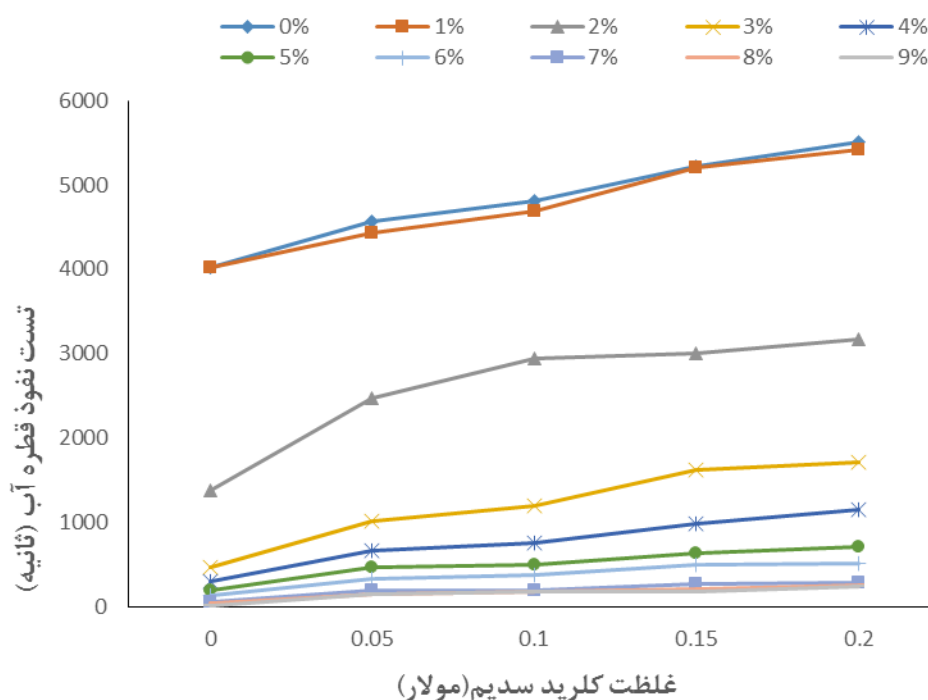
افزایش غلظت آب شور حاوی کلرید کلسیم و کلرید سدیم سبب افزایش معنی‌دار زمان نفوذ قطره به داخل خاک شنی با آبگریزی خیلی شدید در تیمار بدون بیوچار شد. با این وجود این افزایش، کلاس آبگریزی خاک تغییر نیافته و خاک همچنان در سطح آبگریزی خیلی شدید قرار دارد. همچنین افزایش غلظت آب شور حاوی کلرید کلسیم و کلرید سدیم در تیمارهای اصلاح شده با بیوچار با هر دو اندازه مورد مطالعه نیز سبب افزایش زمان نفوذ قطره در خاک شنی با آبگریزی خیلی شدید شده است (شکل ۴-۱۲، ۴-۱۳، ۴-۱۴ و ۴-۱۵).



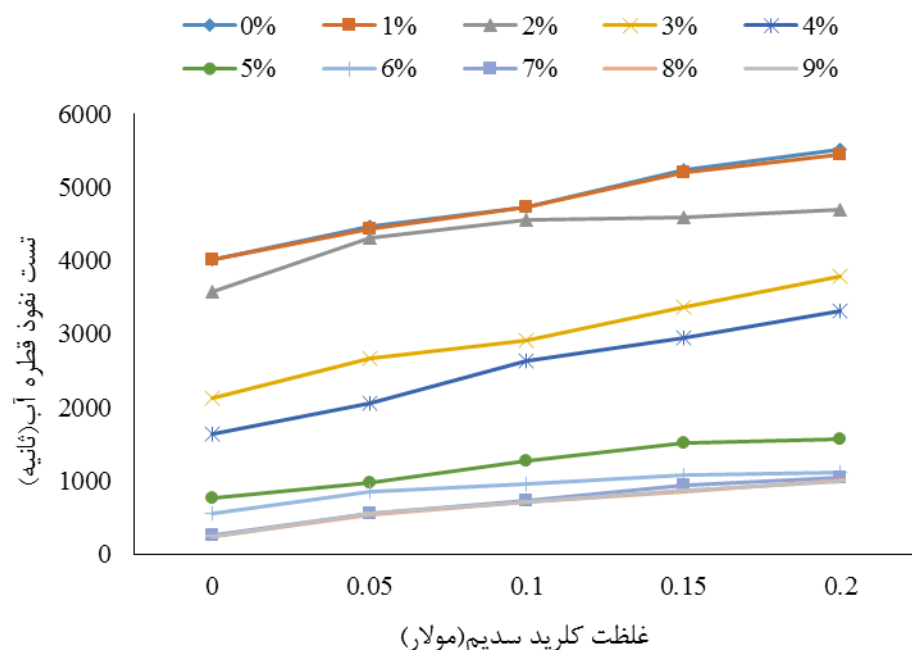
شکل ۴-۱۲- اثر شوری ناشی از نمک کلرید کلسیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوچار با اندازه ۰/۲۵ < میلی متر در خاک با آبگریزی خیلی شدید



شکل ۴-۱۳- اثر شوری ناشی از نمک کلرید کلسیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوچار با اندازه ۰/۲۵ تا ۲ میلی متر در خاک با آبگریزی خیلی شدید



شکل ۴-۱۴- اثر شوری ناشی از نمک کلرید سدیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوپار با اندازه ۰/۲۵ < میلی متر در خاک با آبگریزی خیلی شدید



شکل ۴-۱۵- اثر شوری ناشی از نمک کلرید سدیم بر زمان نفوذ قطره در سطوح مختلف بیوپار با اندازه ۰/۲۵ تا ۲ میلی متر در خاک با آبگریزی خیلی شدید

همانگونه که در خاک با آبگریزی زیاد نیز بیان شد افزودن نمک کلرید کلسیم و کلرید سدیم احتمالاً سبب افزایش کشش سطحی آب شده و در نتیجه باعث افزایش آبگریزی خاک شده است (متوبایسی و همکاران ۲۰۱۱).

آبرامزون و گاخرگ (۱۹۹۳) افزایش کشش سطحی در اثر افزایش غلظت کلرید سدیم تا ۳ مولار را با یک روند نزدیک به خطی گزارش نموده‌اند. متوبایاسی و همکاران (۲۰۱۱) نیز افزایش خطی کشش سطحی در اثر افزایش غلظت کلرید کلسیم تا ۱ مولار را گزارش نموده‌اند.

بیش‌ترین افزایش آبگریزی نسبت به آب غیرشور در تیمار بدون بیوچار در شرایط کاربرد ۰/۲ مولار آب شور دارای نمک کلرید کلسیم در خاک با آبگریزی زیاد و خیلی شدید، به ترتیب ۷۳/۸ و ۳۶/۸ درصد بوده است. همین مقایسه در زمان استفاده از آب شور دارای کلرید سدیم نیز نشان داد که بیش‌ترین افزایش آبگریزی در شرایط کاربرد ۰/۲ مولار آب شور در خاک با آبگریزی زیاد و خیلی شدید، به ترتیب ۷۴/۹ و ۳۷/۱ درصد بوده است (شکل ۴-۱۲، ۴-۱۳، ۴-۱۴ و ۴-۱۵). مقایسه اثر افزایشی غلظت نمک‌های مورد مطالعه در خاک با آبگریزی زیاد و خیلی شدید نشان داد که تأثیر این نمک‌ها در خاک آبدوست‌تر، بیش‌تر بوده است. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد اثر الکترولیت‌ها در سطوح آبدوست بیش‌تر است (اسقایر و همکاران ۲۰۰۶).

کاربرد بیوچار در هر دو اندازه ۰/۲۵ < و ۰/۲۵-۲ میلی‌متر سبب کاهش آبگریزی خاک شنی با کلاس آبگریزی خیلی شدید، در زمان استفاده از آب شور حاوی کلرید کلسیم و کلرید سدیم در هر ۴ سطح شوری مورد مطالعه شده است (شکل ۴-۱۲، ۴-۱۳، ۴-۱۴ و ۴-۱۵).

نتایج مربوط به کاربرد آب شور دارای کلرید کلسیم در تست نفوذ قطره نشان داد که کاربرد ۲ تا ۴ درصد بیوچار با اندازه ۰/۲۵ < میلی‌متر سبب کاهش قابل توجه زمان نفوذ قطره شده و کلاس آبگریزی از خیلی شدید به شدید تغییر یافت. کاربرد ۵ درصد بیوچار در دو سطح شوری ۰/۰۵ و ۰/۱ مولار کلرید کلسیم سبب کاهش آبگریزی از کلاس خیلی شدید به کلاس آبگریزی زیاد شد، در حالی که در غلظت‌های بیش‌تر کلرید کلسیم با وجود کاهش آبگریزی نسبت به سطوح قبلی بیوچار، خاک در کلاس آبگریزی شدید قرار داشت. کاربرد مقادیر بیش از ۵ درصد بیوچار در اندازه ۰/۲۵ < میلی‌متر سبب تغییر کلاس آبگریزی به آبگریزی زیاد در هر ۴ غلظت کلرید کلسیم مورد مطالعه شده است.

نتایج مربوط به کاربرد آب شور دارای کلرید سدیم در تست نفوذ قطره نشان داد که کاربرد ۱ درصد بیوچار با اندازه ۰/۲۵ < و کاربرد ۱ و ۲ درصد بیوچار با اندازه ۰/۲۵-۲ میلی‌متر سبب کاهش زمان نفوذ قطره شده اما کلاس آبگریزی همچنان خیلی شدید می‌باشد (شکل ۴-۱۴ و ۴-۱۵).

کاربرد ۲ تا ۴ درصد بیوچار در اندازه ۰/۲۵ < میلی‌متر و در هر ۴ سطح شوری مورد مطالعه (ناشی از کلرید سدیم) و کاربرد ۵ درصد بیوچار در غلظت‌های ۰/۱۵ و ۰/۲ مولار سبب کاهش قابل توجه آبگریزی شده تا جایی که کلاس آبگریزی خاک با آبگریزی خیلی شدید به آبگریزی شدید تغییر یافته است. افزودن مقادیر بیش‌تر بیوچار در اندازه ۰/۲۵ < میلی‌متر تا ۹ درصد، خاک شنی با آبگریزی خیلی شدید را به یک خاک با آبگریزی زیاد تبدیل نموده است (شکل ۴-۱۴).

مقایسه اثر کاهشی بیوچار در تیمارهای آب شور و غیر شور نشان می‌دهد که در کاربرد آب غیرشور کلاس آبگریزی با کاربرد ۳ تا ۷ درصد بیوچار (با اندازه ۰/۲۵ < میلی‌متر) به آبگریزی زیاد و با کاربرد مقادیر بیش‌تر به جزئی آبگریز کاهش یافته در حالی که در تیمارهای آب شور دارای کلرید کلسیم و کلرید سدیم میزان کاهش کم‌تر بوده و کلاس آبگریزی با کاربرد ۹ درصد بیوچار نیز همچنان زیاد بوده است (شکل ۴-۱۲ و ۴-۱۴).

۱۴). این نتایج نشان می‌دهد که شوری آب می‌تواند اثرات مثبت کاربرد بیوپار در کنترل آبگریزی خاک را کاهش دهد.

همچنین کاربرد ۳ تا ۶ درصد بیوپار با اندازه ۲-۲۵/۰ میلی‌متر نیز سبب کاهش قابل توجه زمان نفوذ قطره در همه تیمارهای آب شور حاوی کلرید کلسیم شده و کلاس آبگریزی خاک از آبگریزی خیلی شدید به آبگریزی شدید تغییر یافته است. تنها در تیمار کاربرد ۳ درصد بیوپار (۲-۲۵/۰ میلی‌متر) با کاربرد ۰/۲ مولار کلرید کلسیم کلاس آبگریزی همچنان خیلی شدید است. در مقادیر بیوپار بیش از ۶ درصد تنها در تیمار استفاده از آب شور با غلظت ۰/۰۵ مولار کلرید کلسیم کلاس آبگریزی از خیلی شدید به زیاد تغییر یافته و در سایر تیمارهای شوری خاک همچنان آبگریز شدید است (شکل ۴-۱۳). کاربرد ۳ تا ۶ درصد بیوپار با اندازه ۲-۲۵/۰ میلی‌متر سبب کاهش قابل توجه زمان نفوذ قطره در همه تیمارهای آب شور حاوی کلرید سدیم شده و کلاس آبگریزی خاک از آبگریزی خیلی شدید به آبگریزی شدید تغییر یافته است. با افزودن مقادیر بیش‌تر بیوپار با این اندازه تنها در تیمار ۰/۰۵ مولار آب شور کلاس آبگریزی به زیاد تغییر یافته و در سایر سطوح شوری آبگریزی شدید است (شکل ۴-۱۵).

مقایسه زمان نفوذ قطره در اثر کاربرد بیوپار با اندازه ۲-۲۵/۰ میلی‌متر در تیمارهای آب شور و غیر شور نیز مشابه نتایج این مقایسه در کاربرد بیوپار با اندازه کوچک‌تر بوده و کاهش اثرات مثبت بیوپار بر اصلاح خاک آبگریز به دلیل شوری آب را مورد تأکید قرار می‌دهد.

تأثیر نمک کلرید سدیم در افزایش آبگریزی خاک در همه سطوح کاربرد بیوپار در هر دو اندازه ۲۵/۰ < و ۲-۲۵/۰ میلی‌متر در خاک با آبگریزی زیاد بیش‌تر از نمک کلرید کلسیم بوده است. به عنوان مثال در سطح ۵ درصد بیوپار با اندازه ۲۵/۰ < میلی‌متر با افزایش شوری در تیمارهای کلرید کلسیم، زمان نفوذ قطره به میزان ۱۱۴/۵ تا ۲۵۶/۵ درصد افزایش یافته در حالی که در همین تیمار با کاربرد آب شور حاوی کلرید سدیم، زمان نفوذ قطره ۱۴۴/۹ تا ۲۶۹/۲ درصد افزایش یافته است. این نتایج مشابه نتایج به دست آمده در مورد اثر دو یون کلسیم و سدیم در خاک با آبگریزی زیاد بوده است.

همچنین زیاد شدن زمان نفوذ قطره در مقایسه با آب غیرشور در اثر کاربرد آب شور حاوی کلرید کلسیم و کلرید سدیم تحت تأثیر میزان بیوپار مصرفی قرار گرفته و افزایش مقدار بیوپار سبب توسعه بیش‌تر آبگریزی با افزایش شوری نسبت به خاک غیر شور شد (شکل ۴-۱۲، ۴-۱۳، ۴-۱۴ و ۴-۱۵) به عنوان نمونه در تیمارهای بدون بیوپار افزایش شوری آب دارای کلرید کلسیم از غلظت ۰/۰۵ تا ۰/۲ مولار سبب افزایش ۷/۴ تا ۳۶/۸ درصدی آبگریزی نسبت به تیمار آب غیرشور شده است، در حالی که در تیمار کاربرد ۶ درصد بیوپار (اندازه ۲۵/۰ < میلی‌متر) با افزایش شوری، زمان نفوذ قطره از ۱۱۳/۲ تا ۲۷۱/۸ درصد نسبت به تیمار آب غیرشور افزایش یافته است (شکل ۴-۱۲). مشابه با همین نتایج در مورد کلرید سدیم نیز قابل مشاهده است. احتمالاً کاهش آبگریزی خاک در اثر کاربرد بیوپار سبب شده تا آبگریزی خاک به افزایش شوری پاسخ بیش‌تری دهد (لیلامانی و همکاران ۲۰۱۳).

نتایج نشان داد که زیاد شدن زمان نفوذ قطره در اثر کاربرد آب شور در مقایسه با آب غیرشور علاوه بر میزان بیوپار تحت تأثیر اندازه بیوپار مصرفی قرار گرفته است. اثر افزایشی شوری در زمان نفوذ قطره در تیمار بیوپار با اندازه ۲۵/۰ < میلی‌متر بیش‌تر از ۲-۲۵/۰ میلی‌متر بوده است. به عنوان نمونه افزایش شوری آب

(ناشی از کلرید سدیم) در تیمار کاربرد ۶ درصد بیوپار با اندازه ۲-۰/۲۵ میلی‌متر سبب افزایش زمان نفوذ قطره به میزان ۵۵ تا ۱۰۳ شد، در حالی که این افزایش شوری در همین تیمار با اندازه بیوپار ۰/۲۵ < میلی‌متر ۱۴۹ تا ۲۷۸ درصد بوده است. پراکندگی بهتر بیوپار با اندازه کوچک‌تر در خاک و پوشش یکنواخت‌تر ذرات آبگریز باعث شده تا آبگریزی خاک کاهش یافته و بیشتر تحت تأثیر افزایش شوری قرار گیرد. در واقع تأثیر بیوپار بر کاهش آبگریزی خاک برآیندی از میزان و اندازه بیوپار و میزان شوری آب و نوع نمک موجود در آب است (هلین و همکاران ۲۰۱۵، لیلامانی و همکاران ۲۰۱۳).

۴-۳- بخش دوم

۴-۳-۱- اثر بیوپار بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آبگریز

۴-۳-۱-۱- منافذ خاک

جدول ۴-۳ نتایج تجزیه واریانس اثر آبگریزی و بیوپار بر حجم منافذ درشت، متوسط و ریز و همچنین حجم کل منافذ خاک را نشان می‌دهد. اثر اصلی و متقابل آبگریزی و بیوپار بر حجم منافذ درشت، متوسط و ریز و همچنین حجم کل منافذ خاک معنی‌دار بوده است.

جدول ۴-۳- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل آبگریزی و بیوپار بر حجم منافذ درشت، متوسط، ریز و حجم کل منافذ خاک

میانگین مربعات				درجه آزادی	منبع تغییرات
تخلخل کل منافذ	تخلخل ریز	تخلخل متوسط	تخلخل درشت		
۰/۰۲۸ **	۰/۰۰۳۹ **	۰/۰۰۵۶ **	۰/۰۰۱۰ *	۲	آبگریزی
۰/۰۵۷ **	۰/۰۰۶۰ **	۰/۰۱۲۹ **	۰/۰۰۲۵ **	۲	بیوپار
۰/۰۰۲ **	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۱۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۴	آبگریزی × بیوپار
۳ × ۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۱۸	خطای آزمایش
۰/۳۱	۲/۵۶	۱۲/۶	۱۸/۸		ضریب تغییرات

* و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد ^{ns} بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

تغییر میزان آبگریزی خاک بر حجم منافذ در خاک تأثیرگذار بوده است. به طور کلی افزایش سطح آبگریزی سبب کاهش حجم منافذ خاک شده است. (جدول ۴-۴).

جدول ۴-۴- مقایسه میانگین اثر اصلی آبگریزی بر میانگین حجم منافذ درشت، متوسط، ریز و حجم کل منافذ خاک.

آبگریزی	تخلخل درشت (cm ³ cm ⁻³)	تخلخل متوسط (cm ³ cm ⁻³)	تخلخل ریز (cm ³ cm ⁻³)	تخلخل کل منافذ (cm ³ cm ⁻³)
غیرآبگریز	۰/۰۵۱ ^a	۰/۱۶۴ ^a	۰/۴۲۸ ^a	۰/۶۴۵ ^a
آبگریزی زیاد	۰/۰۴۵ ^a	۰/۱۴۶ ^b	۰/۴۱۴ ^b	۰/۶۰۶ ^b
آبگریزی شدید	۰/۰۳۰ ^b	۰/۱۱۵ ^c	۰/۳۸۷ ^c	۰/۵۳۳ ^c

در هر ستون حروف یکسان بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

تأثیر آبگریزی بر کاهش منافذ درشت خاک بیش از منافذ ریز خاک بوده است. به گونه‌ای که در دو سطح آبگریزی زیاد و شدید حجم منافذ درشت به ترتیب ۱۱/۷ و ۴۱ درصد نسبت به خاک غیر آبگریز کم‌تر بوده در حالی که این کاهش در منافذ متوسط به ترتیب ۱۱ و ۳۰ درصد و در منافذ ریز تنها به ترتیب ۳/۲ و ۹/۵ درصد بوده است (جدول ۴-۴). کاهش حجم منافذ خاک به ویژه منافذ درشت به دلیل وجود ترکیبات آبگریز در خاک و پر شدن منافذ خاک در پژوهش صفادوست و مصدقی (۱۳۹۷) نیز مشاهده شده است. افزودن بیوپار به خاک نیز بر حجم منافذ خاک تأثیرگذار بوده و توزیع اندازه منافذ خاک با کاربرد بیوپار در خاک تغییر یافته است. به طور کلی افزایش میزان بیوپار مصرفی سبب افزایش حجم منافذ درشت، متوسط و ریز در خاک شده است. (جدول ۴-۵). تأثیر بیوپار بر افزایش منافذ درشت خاک بیش از منافذ ریز خاک بوده است. به گونه‌ای که در دو سطح آبگریزی زیاد و شدید حجم منافذ درشت به ترتیب ۴۴ و ۱۲۲ درصد نسبت به خاک غیر آبگریز کم‌تر بوده در حالی که این کاهش در منافذ متوسط به ترتیب ۵۰ و ۷۵ درصد و در منافذ ریز تنها به ترتیب ۶/۲ و ۲۴ درصد بوده است (جدول ۴-۵).

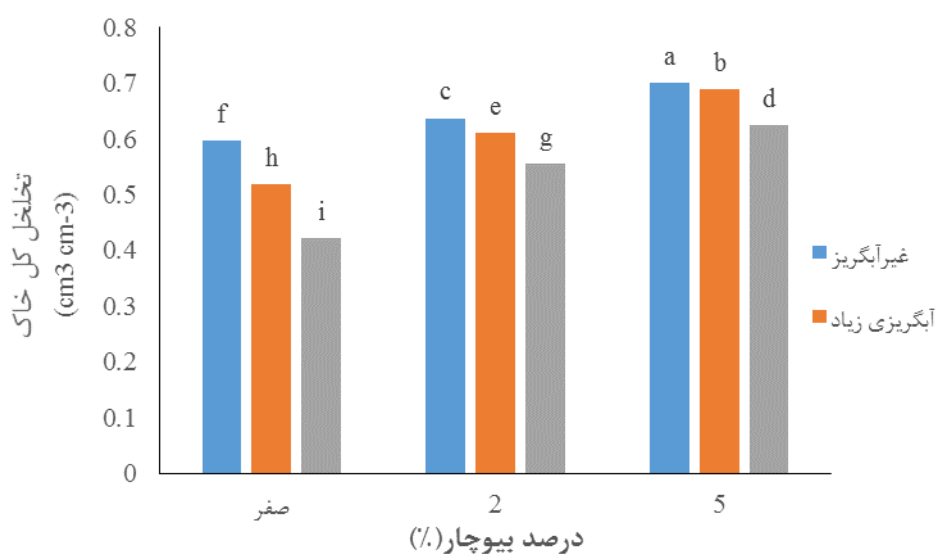
جدول ۴-۵- مقایسه میانگین اثر اصلی بیوپار بر میانگین حجم منافذ درشت، متوسط، ریز و حجم کل منافذ خاک.

بیوپار (درصد)	تخلخل درشت (cm ³ cm ⁻³)	تخلخل متوسط (cm ³ cm ⁻³)	تخلخل ریز (cm ³ cm ⁻³)	تخلخل کل منافذ (cm ³ cm ⁻³)
صفر	۰/۰۲۷ ^b	۰/۱۰۰ ^c	۰/۳۸۷ ^c	۰/۵۱۲ ^c
۲	۰/۰۳۹ ^b	۰/۱۵۰ ^b	۰/۴۱۱ ^b	۰/۶۰۱ ^b
۵	۰/۰۶۰ ^a	۰/۱۷۵ ^a	۰/۴۸۳ ^a	۰/۶۷۱ ^a

در هر ستون حروف یکسان بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

بررسی اثر متقابل آبگریزی خاک و بیوپار بر تخلخل کل خاک نشان داد که در همه سطوح بیوپار بیش-ترین تخلخل در خاک غیر آبگریز دیده شده و افزایش آبگریزی سبب کاهش تخلخل خاک شده است. به علاوه تأثیر آبگریزی بر کاهش تخلخل خاک با افزایش میزان بیوپار کاهش یافته است. به گونه‌ای که در خاک بدون بیوپار کاهش تخلخل با تغییر خاک بدون آبگریزی به خاک با آبگریزی شدید ۲۹/۴ درصد بوده در حالی که در کاربرد ۲ و ۵ درصد بیوپار به ترتیب ۱۳ و ۱۱ درصد بوده است (شکل ۴-۱۶).

به طور کلی بیوپار یک ترکیب متخلخل بوده که به دلیل تخلخل زیاد می‌تواند توزیع اندازه منافذ در خاک را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. مشابه با این نتایج آبرد و همکاران (۲۰۱۳) نیز کاهش منافذ درشت و تخلخل خاک را در خاک‌های آبگریز آلوده به ترکیبات نفتی گزارش نموده‌اند. هاردی و همکاران (۲۰۱۴) نیز افزایش تخلخل خاک اصلاح شده با بیوپار را به دلیل افزایش منافذ درشت نشان داده‌اند. همچنین هرات و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش معنی‌دار منافذ درشت و غیر معنی‌دار منافذ متوسط و ریز را پس از افزودن بیوپار به خاک را گزارش نمودند. همچنین بیوپار به عنوان یک اصلاح کننده در خاک‌های آبگریز مطرح بوده و سبب افزایش حجم کل منافذ در این خاک‌ها نیز می‌شود. به همین علت اثر کاهشی آبگریزی بر تخلخل کل خاک در صورت کاربرد بیوپار کم‌تر شده است.



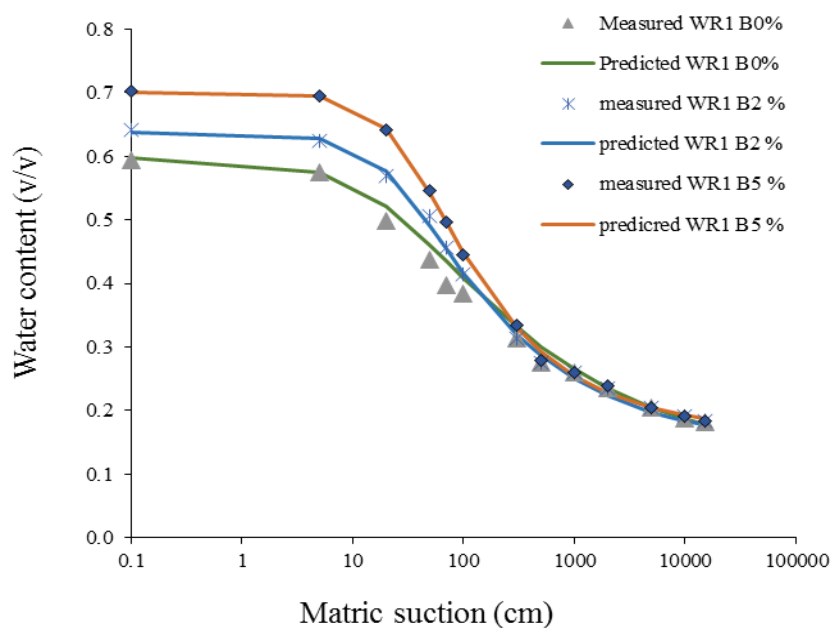
شکل ۴-۱۶- اثر متقابل آبگریزی و بیوپار بر تخلخل کل خاک

۴-۳-۱-۲- منحنی مشخصه رطوبتی

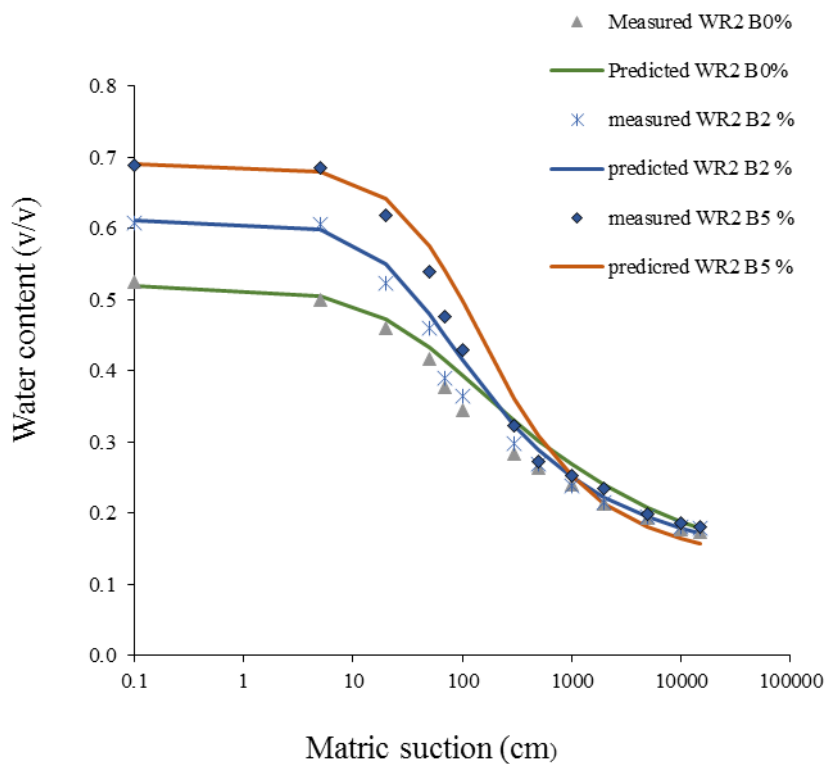
شکل ۴-۱۷-۴، ۴-۱۸-۴، ۴-۱۹-۴، ۴-۲۰-۴، ۴-۲۱-۴ و ۴-۲۲-۴ برازش مدل ونگنوختن-معلم بر داده‌های رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده در منحنی مشخصه رطوبتی را نشان می‌دهد. در همه موارد مدل ونگنوختن توانسته است با دقت زیاد بر داده‌های اندازه‌گیری شده برازش یابد.

اثر میزان بیوپار مصرفی بر منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک در سه سطح آبگریزی خاک مورد مطالعه در شکل‌های ۴-۱۷-۴، ۴-۱۸-۴ و ۴-۱۹-۴ نشان داده شده است. افزایش کاربرد بیوپار از صفر تا ۵ درصد در همه سطوح آبگریزی سبب افزایش نگهداشت آب در خاک شده است. به گونه‌ای که افزایش بیوپار باعث افزایش میزان رطوبت حجمی خاک در نقاط اندازه‌گیری شده به ویژه در مکش‌های صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر اولیه شده، در حالی که در مکش‌های بیش‌تر شکل منحنی‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر شده و اثر بیوپار کاهش یافته است. دامنه مکش‌های صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر خاک بیش‌تر متأثر از منافذ درشت و متوسط بوده که کاربرد بیوپار سبب افزایش این منافذ بیش از منافذ ریز خاک شده و در نتیجه نگهداشت آب خاک در این دامنه مکشی بیش‌تر تحت تأثیر بیوپار قرار گرفته است (جدول ۴-۵). نقش مثبت بیوپار در بهبود ویژگی‌های

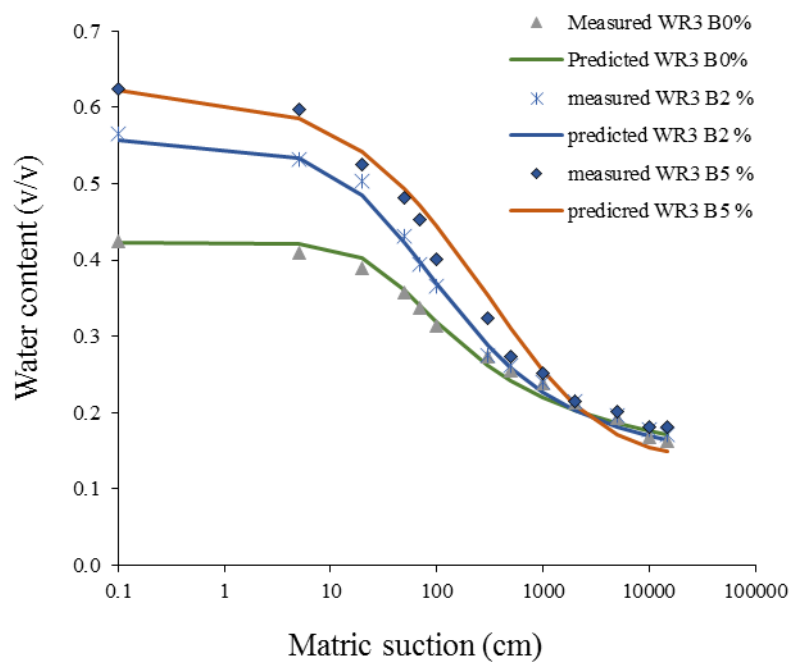
فیزیکی از جمله افزایش نگهداری آب در خاک و زهکشی خاک توسط خادم و همکاران (۱۳۹۶) و ما و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش شده است.



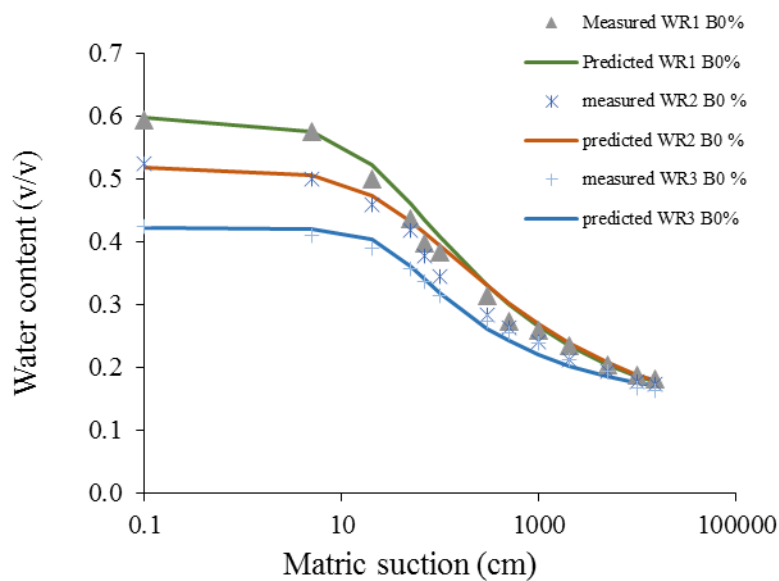
شکل ۴-۱۷- اثر بیوپار بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در خاک بدون آبگریزی (WR1: خاک بدون آبگریزی، B: بیوپار)



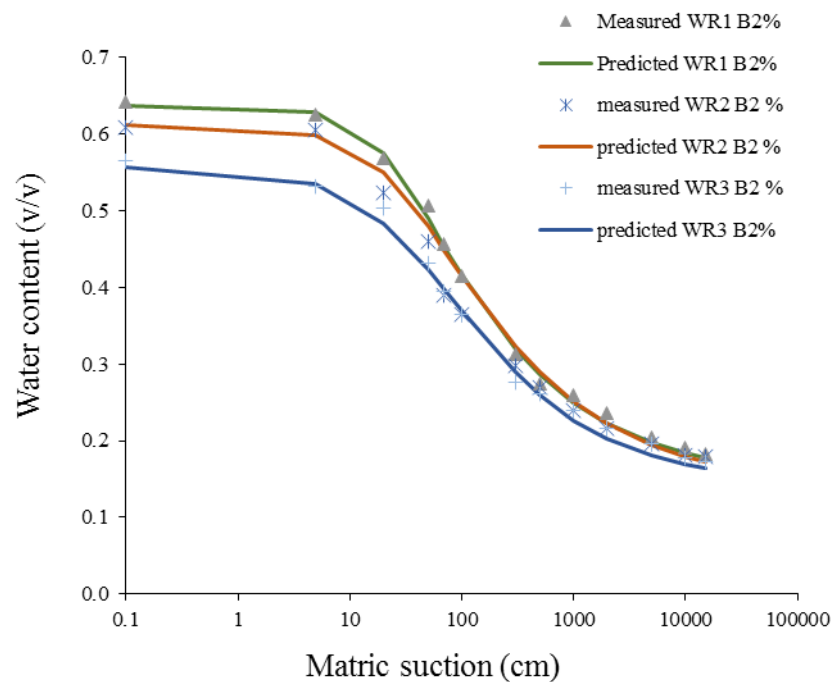
شکل ۴-۱۸- اثر بیوپار بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در خاک با آبگریزی زیاد. (WR2: آبگریزی زیاد، B: بیوپار)



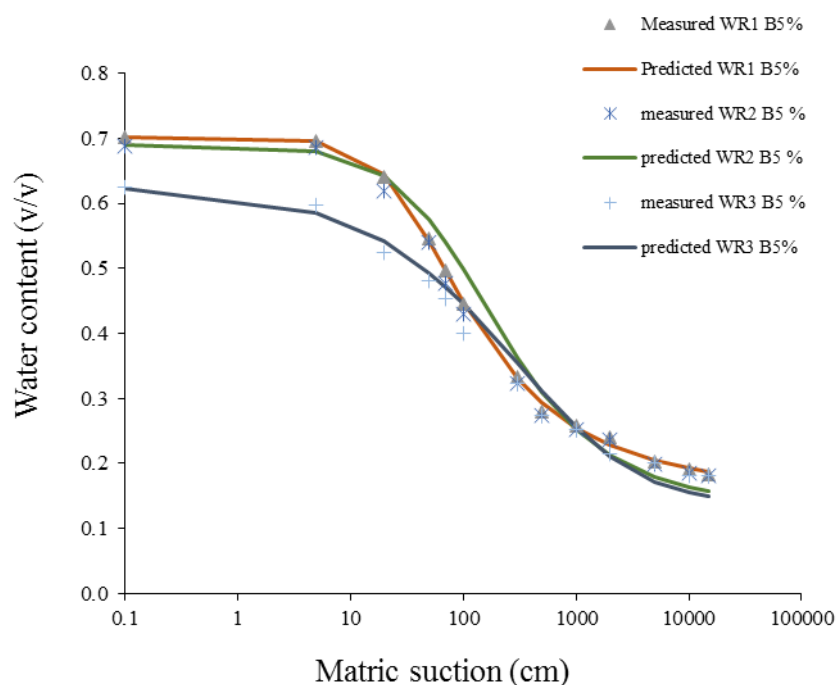
شکل ۴-۱۹- اثر بیوچار بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در خاک با آبگریزی شدید. (WR2: آبگریزی شدید، B: بیوچار)



شکل ۴-۲۰- اثر آبگریزی بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در تیمار بیوچار صفر درصد. (WR1: بدون آبگریزی، WR2: آبگریزی زیاد، WR3: آبگریزی شدید، B: بیوچار)



شکل ۴-۲۱- اثر آبگریزی بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در تیمار ۲ درصد بیوچار.
(WR1: بدون آبگریزی، WR2: آبگریزی زیاد، WR3: آبگریزی شدید، B: بیوچار)



شکل ۴-۲۲- اثر آبگریزی بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک در تیمار ۵ درصد بیوچار.
(WR1: بدون آبگریزی، WR2: آبگریزی زیاد، WR3: آبگریزی شدید، B: بیوچار)

اثر میزان آبگریزی خاک بر منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک در سه سطح بیوچار مورد مطالعه در شکل-های ۴-۲۰، ۴-۲۱ و ۴-۲۲ نشان داده شده است. تغییر سطح آبگریزی خاک سبب تغییر شکل منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک شده است. افزایش آبگریزی به طور میانگین باعث کاهش رطوبت نگهداشته شده در خاک در هر سه سطح بیوچار شده، به گونه‌ای که در منحنی‌های مشخصه رطوبتی در شکل ۴-۲۰، ۴-۲۱ و ۴-۲۲ در همه نقاط اندازه‌گیری شده رطوبت در تیمارهای با آبگریزی شدید کم‌تر از آبگریزی زیاد و در آبگریزی زیاد کم‌تر از خاک بدون آبگریزی بوده است.

بیش‌ترین تأثیر آبگریزی خاک بر شکل منحنی در مکش‌های ماتریک کم رخ داده و بیش‌ترین کاهش نگهداشت آب در خاک در اثر آبگریزی در مکش‌های صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر خاک بوده است. شکل منحنی مشخصه رطوبتی در مکش‌های کم بیش‌تر تحت تأثیر ساختمان خاک بوده و با افزایش مکش در خاک نقش منافذ بافتی اهمیت می‌یابد (سیلرز و همکاران ۲۰۰۱، کوتلیک و همکاران ۲۰۰۶). نتایج بررسی تغییرات اندازه منافذ خاک نیز نشان داد که منافذ درشت و متوسط که بیش‌ترین تأثیر را در مکش‌های کم بر شکل منحنی مشخصه دارند در اثر آبگریزتر شدن خاک کاهش یافته و تأثیر آبگریزی بر کاهش این منافذ بیش‌تر از منافذ ریز بوده است. بنابراین به نظر می‌رسد تأثیر بیش‌تر آبگریزی بر منحنی در مکش‌های کم به دلیل اثر بیش‌تر آبگریزی بر منافذ درشت و متوسط باشد (جدول ۴-۴). در راستا این نتایج، پژوهش صفادوست و مصدقی (۱۳۹۷) نیز نشان داده است که تأثیر آبگریزی ناشی از ترکیبات نفتی در مکش‌های کم منحنی مشخصه رطوبتی بیش‌تر بوده و با افزایش مکش شکل منحنی‌ها در تیمارهای مختلف آبگریزی به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شود.

مقایسه اثر آبگریزی بر منحنی‌های مشخصه رطوبتی در مقادیر مختلف بیوچار نشان داد که افزایش میزان بیوچار سبب کاهش اثر آبگریزی بر نگهداشت آب در خاک شده و کاهش نگهداشت آب در خاک در اثر افزایش سطح آبگریزی از خاک بدون آبگریزی به خاک با آبگریزی شدید در اثر کاربرد مقادیر بیش‌تر بیوچار کاهش یافته است (شکل ۴-۲۰، ۴-۲۱ و ۴-۲۲). احتمالاً افزایش بیش‌تر منافذ درشت در اثر کاربرد بیوچار کاهش منافذ ناشی از آبگریزی را تا حدی جبران نموده و سبب بهبود نگهداشت آب در خاک شده است.

۴-۳-۱-۳- پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی

جدول ۴-۶ نتایج تجزیه واریانس اثر آبگریزی و بیوچار بر پارامترهای برازش‌یافته مدل ون گنوختن-معلم بر اساس داده‌های رطوبت حجمی را نشان می‌دهد. اثر اصلی و متقابل آبگریزی و بیوچار بر θ_s (رطوبت حجمی اشباع)، θ_r (رطوبت حجمی باقیمانده) و n در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بوده است. در حالی که تنها اثر اصلی آبگریزی و بیوچار بر α (مرتبط با عکس مکش ماتریک در نقطه عطف) معنی‌دار بوده است.

مقایسه اثر اصلی آبگریزی بر میانگین رطوبت اشباع و رطوبت باقی‌مانده خاک نشان داد که با افزایش آبگریزی θ_s و θ_r کاهش یافته که احتمالاً به دلیل کاهش منافذ خاک در اثر کاربرد ترکیبات آبگریز بوده

است (جدول ۴-۷). کاهش رطوبت حجمی اشباع و رطوبت حجمی باقیمانده در خاک در اثر کاربرد ترکیبات آبگریز توسط بیرامی و همکاران (۱۳۹۴) و صفادوست و مصدقی (۱۳۹۷) گزارش شده است. همچنین مقایسه اثر اصلی بیوچار بر میانگین رطوبت اشباع و رطوبت باقی‌مانده خاک نشان داد که با افزایش میزان بیوچار مصرفی، θ_s و θ_r به صورت معنی‌داری افزایش یافته است. کاربرد بیوچار در خاک سبب افزایش حجم کل منافذ خاک شده و در نتیجه رطوبت نگهداری شده در حالت اشباع خاک و همچنین رطوبت باقی‌مانده در خاک را افزایش می‌دهد (جدول ۴-۸).

جدول ۴-۶- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل آبگریزی و بیوچار بر پارامترهای برازش یافته مدل منحنی مشخصه رطوبتی خاک و نگوختن-معلم

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			n
		θ_s	θ_r	α	
آبگریزی	۲	۰/۰۲۸ **	۰/۰۰۲۰ **	۰/۰۰۱ **	۰/۹۱۷ **
بیوچار	۲	۰/۰۵۷ **	۰/۰۱۵۸ **	$۵/۹۵ \times 10^{-۴}$ **	۰/۱۱۷ **
آبگریزی $\times$ بیوچار	۴	۰/۰۰۲ **	۰/۰۰۰۹ **	$۶/۳۹ \times 10^{-۵}$ ns	۰/۱۹۷ **
خطای آزمایش	۱۸	۳×10^{-۶}	۰/۰۰۰۷	$۱/۵۹ \times 10^{-۶}$	۰/۰۰۴
ضریب تغییرات		۰/۳۱	۶/۸۵	۵/۱۸	۵/۸

* و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد. ns بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۴-۷- مقایسه میانگین اثر اصلی آبگریزی بر میانگین پارامترهای برازش یافته مدل منحنی مشخصه رطوبتی و نگوختن-معلم.

آبگریزی	θ_s ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	θ_r ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	α (cm^{-1})	n
غیرآبگریز	۰/۶۴۵ ^a	۰/۱۳۷ ^a	۰/۰۳۷ ^a	۱/۴۷ ^a
آبگریزی زیاد	۰/۶۰۶ ^b	۰/۱۲۹ ^a	۰/۰۲۳ ^b	۱/۰۸ ^b
آبگریزی شدید	۰/۵۳۳ ^c	۰/۱۰۸ ^b	۰/۰۱۲ ^c	۰/۸۳ ^c

در هر ستون حروف یکسان بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۴-۸- مقایسه میانگین اثر اصلی بیوچار بر میانگین پارامترهای برازش یافته مدل منحنی مشخصه رطوبتی و نگوختن-معلم.

بیوچار (درصد)	θ_s ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	θ_r ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	α (cm^{-1})	n
صفر	۰/۵۱۲ ^c	۰/۰۷۹ ^c	۰/۰۳۰ ^a	۱/۰۱ ^c
۲	۰/۶۰۱ ^b	۰/۱۳۳ ^b	۰/۰۲۷ ^b	۱/۲۴ ^a
۵	۰/۶۷۱ ^a	۰/۱۶۲ ^a	۰/۰۱۵ ^c	۱/۱۴ ^b

در هر ستون حروف یکسان بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

بررسی اثر متقابل آبریزی خاک و بیوپار نشان داد که در همه سطوح بیوپار بیشترین رطوبت اشباع خاک در خاک غیر آبریز دیده شده و افزایش آبریزی سبب کاهش رطوبت اشباع خاک شده است. با این وجود تأثیر آبریزی بر کاهش رطوبت اشباع خاک با افزایش میزان بیوپار کاهش یافته است. به گونه‌ای که در خاک بدون بیوپار کاهش رطوبت اشباع با تغییر خاک بدون آبریزی به خاک با آبریزی شدید ۲۹/۴ درصد بوده در حالی که در کاربرد ۲ و ۵ درصد بیوپار به ترتیب ۱۳ و ۱۱ درصد بوده است. نتایج بخش اول این پژوهش نشان داد که کاربرد بیوپار در خاک‌ها از میزان آبریزی خاک کم می‌نماید. همچنین بررسی اثر متقابل آبریزی خاک و بیوپار نشان داد که در همه سطوح بیوپار بیشترین رطوبت باقیمانده خاک در خاک غیر آبریز دیده شده و افزایش آبریزی سبب کاهش رطوبت باقیمانده خاک شده است. با این وجود تأثیر آبریزی بر کاهش رطوبت باقیمانده خاک با افزایش میزان بیوپار کاهش یافته است. به گونه‌ای که در خاک بدون بیوپار کاهش رطوبت باقیمانده با تغییر خاک بدون آبریزی به خاک با آبریزی شدید ۶۲ درصد بوده در حالی که در کاربرد ۲ و ۵ درصد بیوپار به ترتیب ۱۱ و ۳ درصد بوده است و کاهش رطوبت باقیمانده در سطح ۵ درصد بیوپار معنی‌دار نبوده است.

بیوپار مورد استفاده در این پژوهش در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد تهیه شده و آبدوست بوده است. بیوپار آبدوست سطح ذرات خاک را پوشش داده و باعث ایجاد یک سطح آبدوست در خاک‌های آبریز شده است. تخلخل زیاد، سطح ویژه زیاد و آبدوستی بیوپار باعث شده تا به سرعت آب را جذب نماید و در خود نگه دارد (هلین ۲۰۱۵). در نتیجه به نظر می‌رسد اصلاح خاک آبریز توسط بیوپار به بهبود نگهداشت آب در خاک کمک نماید.

جدول ۴-۹- اثر متقابل آبریزی و بیوپار بر رطوبت حجمی اشباع و رطوبت حجمی باقیمانده

آبریزی	θ_s (cm ³ cm ⁻³)			θ_r (cm ³ cm ⁻³)			n		
	بیوپار (درصد)			بیوپار (درصد)			بیوپار (درصد)		
	صفر	۲	۵	صفر	۲	۵	صفر	۲	۵
غیر آبریز	۰/۵۹۷ ^f	۰/۶۳۷ ^c	۰/۷۰۱ ^a	۰/۱۰۶ ^d	۰/۱۴۲ ^b	۰/۱۶۵ ^a	۱/۱۰ ^{cd}	۱/۵۸ ^b	۱/۷۴ ^a
آبریزی زیاد	۰/۵۱۹ ^h	۰/۶۱۱ ^e	۰/۶۸۹ ^b	۰/۰۹۳ ^d	۰/۱۳۲ ^{bc}	۰/۱۶۳ ^a	۱/۰۰ ^{de}	۱/۱۵ ^c	۱/۱۰ ^{cd}
آبریزی شدید	۰/۴۲۱ ⁱ	۰/۵۵۵ ^g	۰/۶۲۴ ^d	۰/۰۴۰ ^e	۰/۱۲۶ ^c	۰/۱۵۹ ^a	۰/۹۴ ^e	۰/۹۹ ^{de}	۰/۵۷ ^f

در هر ستون حروف یکسان بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

مقایسه اثر اصلی آبریزی بر میانگین پارامتر α (مرتبط با عکس مکش ماتریک در نقطه عطف) خاک نشان داد که با افزایش آبریزی α کاهش یافته است (جدول ۴-۷). همچنین مقایسه اثر اصلی بیوپار بر میانگین پارامتر α منحنی مشخصه رطوبتی نشان داد که با افزایش میزان بیوپار مصرفی، α به صورت معنی‌داری کاهش یافته، به گونه‌ای که کاربرد ۵ درصد بیوپار پارامتر α را به میزان ۵۰ درصد در مقایسه با تیمار بدون بیوپار کاهش داده است (جدول ۴-۸).

از آنجایی که پارامتر α مرتبط با عکس مکش ورود هوا در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی می‌باشد، کاهش در آن نشان دهنده افزایش مکش ورود هوا و کاهش منافذ درشت خاک می‌باشد (سیلرز و همکاران

۲۰۰۱). در نتیجه با افزایش آبگریزی و افزایش بیوپار مصرفی، آزادسازی رطوبت در خاک در مکش‌های ماتریک بیش‌تری آغاز می‌شود.

بررسی اثر متقابل آبگریزی خاک و بیوپار نشان داد که در هر سه سطح بیوپار مصرفی، افزایش آبگریزی سبب کاهش پارامتر n شده است. این پارامتر در مدل ونگنوختن نشان دهنده شیب ناحیه غیر اشباع شدن در منحنی مشخصه رطوبتی بوده و در ارتباط با توزیع اندازه منافذ خاک می‌باشد. پر شدن منافذ در اثر کاربرد ترکیبات آبگریز سبب کاهش کلی اندازه منافذ خاک و غیریکنواختی بیش‌تر اندازه منافذ شده و در نتیجه مقدار این پارامتر را کاهش می‌دهد (نورمهند و همکاران ۱۳۹۴). صفادوست و مصدقی (۱۳۹۷) نیز کاهش α و n در اثر آبگریز شدن خاک و کاهش منافذ درشت خاک را گزارش نمودند.

بررسی روند پارامتر n در اثر افزایش مقدار بیوپار در خاک نشان داد که در خاک غیر آبگریز افزایش بیوپار به دلیل افزایش منافذ درشت خاک سبب افزایش پارامتر n شده است. در حالی که در دو خاک با آبگریزی زیاد و شدید بیش‌ترین میزان n در سطح ۲ درصد بیوپار بوده و کاربرد مقادیر بیش‌تر بیوپار پارامتر n را کاهش داده است (جدول ۴-۹). به نظر می‌رسد آبگریز نمودن خاک با کاهش بخشی از منافذ درشت خاک اثرات مثبت بیوپار را کاهش می‌دهد. همچنین نوروزی و همکاران (۱۳۹۵) نیز کاهش α در اثر کاربرد بیوپار و عدم تأثیر بیوپار بر شاخص n را گزارش نموده‌اند.

۴-۳-۱-۴- ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک

جدول ۴-۱۰ نتایج تجزیه واریانس اثر آبگریزی و بیوپار بر ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک را نشان می‌دهد. اثر اصلی آبگریزی بر هر سه فاکتور مورد مطالعه معنی‌دار بوده است.

جدول ۴-۱۰- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل آبگریزی و بیوپار بر ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		ظرفیت مزرعه	نقطه پژمردگی دائم
آب قابل استفاده			
آبگریزی	۲	۰/۰۰۳۹ **	۷/۲۴ × ۱۰ ^{-۴} **
بیوپار	۲	۰/۰۰۶۰ **	۱/۲۲ × ۱۰ ^{-۴} **
آبگریزی × بیوپار	۴	۰/۰۰۰۲ ns	۲/۹۵ × ۱۰ ^{-۵} ns
خطای آزمایش	۱۸	۰/۰۰۰۱	۱/۹۸ × ۱۰ ^{-۵}
ضریب تغییرات		۲/۵۶	۲/۶۲
		۴/۸۵	

* و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد. ns بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

افزایش میزان آبگریزی خاک سبب کاهش رطوبت در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم شده است. افزایش آبگریزی در خاک و ایجاد خاک با آبگریزی زیاد و شدید به ترتیب سبب کاهش ۳/۲ و ۹/۵ درصدی

ظرفیت مزرعه شده است. در حالی که همین تغییر آبریزی تنها سبب کاهش $1/6$ و $3/3$ درصدی نقطه پژمردگی دائم شده است (جدول ۴-۱۱). همانطور که در شکل‌های ۴-۲۰، ۴-۲۱ و ۴-۲۲ نشان داده شده است تأثیر آبریزی بر منحنی مشخصه رطوبتی در مکش‌های ماتریک صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر بیش‌تر بوده که به دلیل تأثیر بیشتر آبریزی بر منافذ درشت خاک است. این منافذ میزان رطوبت خاک در مکش دامنه صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر خاک را کنترل می‌نمایند و هر تغییر در آن‌ها منجر به تغییر رطوبت نگهداری شده در این دامنه می‌شود. به همین علت رطوبت در ظرفیت مزرعه نسبت به رطوبت در نقطه پژمردگی دائم بیش‌تر تحت تأثیر آبریزی است.

همچنین افزایش آبریزی در خاک به سطح زیاد و شدیداً آبریز باعث شده تا آب قابل استفاده خاک به ترتیب $4/5$ و 14 درصد در مقایسه با خاک غیر آبریز کاهش یابد (جدول ۴-۱۱). در واقع کاهش شدیدتر رطوبت در ظرفیت مزرعه نسبت به نقطه پژمردگی دائم سبب کاهش آب قابل استفاده در اثر آبریزتر شدن خاک شده است. با این وجود تنها در تیمار شدیداً آبریز آب قابل استفاده دارای تفاوت معنی‌دار با خاک غیر آبریز بوده است. مشابه با این نتایج بیرامی و همکاران (۱۳۹۴) نیز کاهش بیش‌تر رطوبت در ظرفیت مزرعه نسبت به رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و در نتیجه کاهش آب قابل استفاده خاک را در اثر افزایش آبریزی در خاک در اثر کاربرد اسیداستئاریک گزارش نموده‌اند.

جدول ۴-۱۱- مقایسه میانگین اثر اصلی آبگریزی بر میانگین رطوبت در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک.

آبگریزی	ظرفیت مزرعه ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	نقطه پژمردگی دائم ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	آب قابل استفاده ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
غیرآبگریز	۰/۴۲۸ ^a	۰/۱۸۰ ^a	۰/۲۴۸ ^a
آبگریزی زیاد	۰/۴۱۴ ^b	۰/۱۷۷ ^b	۰/۲۳۷ ^a
آبگریزی شدید	۰/۳۸۷ ^c	۰/۱۷۴ ^b	۰/۲۱۳ ^b

در هر ستون حروف یکسان بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

افزودن بیوپار به خاک به دلیل تخلخل و سطح ویژه زیاد سبب افزایش رطوبت در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم شده است. افزایش میزان بیوپار مصرفی در خاک به میزان ۲ و ۵ درصد به ترتیب سبب افزایش ۷/۳ و ۱۳ درصدی ظرفیت مزرعه شده است. در حالی که همین تغییر آبگریزی تنها سبب افزایش ۱/۱ و ۳ درصدی نقطه پژمردگی دائم شده است (جدول ۴-۱۲).

جدول ۴-۱۲- مقایسه میانگین اثر اصلی بیوپار بر میانگین رطوبت در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک.

بیوپار (درصد)	ظرفیت مزرعه ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	نقطه پژمردگی دائم ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	آب قابل استفاده ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
صفر	۰/۳۸۳ ^c	۰/۱۶۷ ^b	۰/۲۱۶ ^c
۲	۰/۴۱۱ ^b	۰/۱۶۹ ^b	۰/۲۴۱ ^b
۵	۰/۴۳۵ ^a	۰/۱۷۴ ^a	۰/۲۶۱ ^a

در هر ستون حروف یکسان بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

همچنین افزودن میزان ۲ و ۵ درصد بیوپار در خاک باعث شده تا آب قابل استفاده خاک برای گیاه به ترتیب ۱۱/۵ و ۲۱ درصد در مقایسه با تیمار بدون بیوپار افزایش یابد. در واقع افزایش بیش‌تر رطوبت در ظرفیت مزرعه نسبت به نقطه پژمردگی دائم سبب افزایش آب قابل استفاده خاک برای گیاه در اثر افزودن بیوپار به خاک شده است (جدول ۴-۱۲).

نوروزی و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که بیوپار با تشکیل منافذ ثانویه و تغییر در اندازه و تراکم خاکدانه‌های، منافذ موثر بر ذخیره و انتقال آب در خاک را افزایش داده و از این طریق باعث بهبود آب قابل استفاده برای گیاه شده، اما تأثیر چندانی بر منافذ باقی‌مانده در خاک ندارد. از سوی دیگر تأثیر کم‌تر بیوپار بر منافذ ریز باعث شده تا رطوبت در نقطه پژمردگی دائم کم‌تر از رطوبت در ظرفیت مزرعه تحت تأثیر افزودن بیوپار در خاک قرار گیرد (خادم و همکاران ۱۳۹۶ و دهقانی احمدآبادی و همکاران ۱۳۹۷).

فصل ۵: نتیجه گیری

۵-۱- نتیجه گیری کلی

در این فصل به بیان نتایج کلی بدست آمده از این پژوهش در مورد ویژگی‌های فیزیکی خاک آبریز و اثر کلی بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک آبریز و تغییر کلاس آبریزی پرداخته خواهد شد. در ادامه نیز پیشنهاداتی جهت کاربرد نتایج این پژوهش و کامل شدن بررسی در رابطه با موضوع پژوهش در مطالعه‌های آینده بیان شده است.

۱- بیوچار مورد استفاده در این پژوهش در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد تهیه شده و آبدوست بوده است. بیوچار آبدوست سطح ذرات خاک را پوشش داده و باعث ایجاد یک سطح آبدوست در خاک‌های آبریز شده است. اندازه ذرات بیوچار مصرفی نقش مهمی در کاهش آبریزی خاک داشته است. تأثیر بیش‌تر بیوچار با اندازه کوچک‌تر در کاهش آبریزی خاک به دلیل توزیع بهتر آن در زمینه خاک و پوشش بهتر ذرات با آبریزی خیلی شدید بوده است.

۲- در خاک با آبریزی زیاد کاربرد ۱ تا ۳ درصد بیوچار در هر دو اندازه مورد مطالعه سبب تغییر کلاس آبریزی از کلاس آبریز زیاد به آبریز جزئی شده است.

۳- در خاک با آبریزی خیلی شدید کاربرد بیوچار با اندازه ۰/۲۵ < میلی‌متر تأثیر بیش‌تری در کاهش آبریزی خاک شنی داشته است. در این سطح آبریزی کاربرد بیوچار با اندازه ۰/۲۵ < میلی‌متر به میزان ۲ درصد سبب تغییر کلاس آبریزی از خیلی شدید به شدید شد. همچنین آبریزی در اثر کاربرد ۲ تا ۷ درصد بیوچار کاهش یافت و کلاس آبریزی خاک از خیلی شدید به زیاد تغییر یافت. افزودن مقادیر بیش‌تر بیوچار با این اندازه تا ۱۰ درصد کلاس آبریزی خاک را از خیلی شدید به جزئی آبریز تغییر داده است.

۴- در هر دو سطح خاک آبریز، کاربرد آب شور سبب افزایش آبریزی خاک شد. افزایش آبریزی با کاربرد هر دو نمک مورد مطالعه، کلاس آبریزی خاک را تغییر نداده است. تأثیر نمک کلرید سدیم در افزایش آبریزی خاک در همه سطوح کاربرد بیوچار در هر دو اندازه بیوچار مصرفی در هر دو سطح خاک با آبریز بیش‌تر از نمک کلرید کلسیم بوده است.

۵- کاربرد بیوچار در هر دو اندازه ۰/۲۵ < و ۰/۲۵-۲ میلی‌متر سبب کاهش آبریزی خاک شنی (با آبریزی زیاد) در زمان استفاده از آب شور حاوی کلرید کلسیم در هر ۴ سطح شوری مورد مطالعه شده است. شوری آب اثرات مثبت اصلاح خاک آبریز توسط بیوچار را کاهش داد به گونه‌ای که با کاربرد ۱ تا ۳ درصد بیوچار کلاس آبریزی همچنان زیاد است.

۶- در همه سطوح بیوچار مصرفی بیش‌ترین تخلخل در خاک غیر آبریز دیده شده و افزایش آبریزی سبب کاهش تخلخل خاک به ویژه در منافذ درشت شده است. به علاوه تأثیر آبریزی بر کاهش تخلخل خاک با

افزایش میزان بیوپار کاهش یافته است. به طور کلی بیوپار یک ترکیب متخلخل بوده که به دلیل تخلخل زیاد می‌تواند توزیع اندازه منافذ در خاک را به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

۷- افزایش کاربرد بیوپار از صفر تا ۵ درصد در همه سطوح آبریزی سبب افزایش نگهداشت آب در خاک شده است. به گونه‌ای که افزایش بیوپار باعث افزایش میزان رطوبت حجمی خاک در نقاط اندازه‌گیری شده به ویژه در مکش‌های صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر اولیه شده است.

۸- تغییر سطح آبریزی خاک سبب تغییر شکل منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک شده است. افزایش آبریزی به طور میانگین باعث کاهش رطوبت نگهداشته شده در خاک در هر سه سطح بیوپار شده است.

۹- افزایش میزان بیوپار سبب کاهش اثر آبریزی بر نگهداشت آب در خاک شده و کاهش نگهداشت آب در خاک در اثر افزایش سطح آبریزی از خاک بدون آبریزی به خاک با آبریزی شدید، در اثر کاربرد مقادیر بیش‌تر بیوپار کاهش یافته است.

۱۰- افزودن بیوپار به خاک به دلیل تخلخل و سطح ویژه زیاد سبب افزایش رطوبت در ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل استفاده خاک برای گیاه شده است.

۱۱- افزایش آبریزی در خاک به سطح زیاد و شدیداً آبریز باعث شده تا آب قابل استفاده خاک به ترتیب ۴/۵ و ۱۴ درصد در مقایسه با خاک غیر آبریز کاهش یابد.

۵-۲- پیشنهادات

۱- با توجه به اثرات مثبت بیوپار بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌های آبریز و اصلاح آبریزی در خاک، استفاده از این ماده به عنوان اصلاح کننده به ویژه در مناطق با کاربرد آب شور توصیه می‌شود.

۲- نکته بسیار مهم در استفاده از بیوپار به عنوان اصلاح کننده خاک آبریز، مقدار بیوپار مصرفی می‌باشد. کاربرد بیش از اندازه بیوپار در خاک سبب نامساعد شدن وضعیت بافتی خاک شده و شرایط را برای رشد گیاه ناممکن و یا دشوار می‌سازد. بنابراین کاربرد مقادیر بیش از ۵ درصد بیوپار در شرایط زمین‌های کشاورزی منطقی نبوده و یا نیاز به بررسی آسیب‌های احتمالی به سایر ویژگی‌های خاک دارد.

۳- با توجه به این که اصلاح خاک‌های آبریز به کمک بیوپار در کنار تغییر ویژگی‌های فیزیکی، سبب تغییر ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی آن می‌شود، پیشنهاد می‌شود جهت تعیین سطح بهینه بیوپار در مطالعات آینده ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک نیز بررسی شود.

۴- با توجه به اثرات مثبت بیوپار بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌های آبریز پیشنهاد می‌شود تا تأثیر بیوپار در کنار سایر کودهای رایج مورد مطالعه بررسی شود.

فهرست منابع (فارسی و لاتین)

- بیرامی، ح، نیشابوری، م، عباسی، ف، ناظمی، ا.ح. (۱۳۹۴) "تأثیر آبریزی خاک بر منحنی نگهداری رطوبت و شاخص کیفیت فیزیکی شاخص (S) در دو خاک با بافت متفاوت" نشریه دانش آب و خاک. ۲۵(۴): ۱۷-۲۶.
- خادم، ا، رئیسی، ف، بشارتی، ح. (۱۳۹۶) "اثر دمای پیرولیز بر ویژگی‌های شیمیایی بیوجار حاصل از باگاس نیشکر و بقایای پسته" تحقیقات کاربردی خاک. ۱۰۳: ۱۳-۱.
- درستکار، و. (۱۳۹۴) "تأثیر آربوسکولار میکوریزا بر پایداری ساختمان خاک، آب قابل استفاده برای گیاه و کیفیت فیزیکی خاک در سطوح مختلف شوری" رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ذوالفقاری، ع.ا، حاج‌عباسی، م.ع، (۱۳۸۱) "تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات فیزیکی و آبریزی خاک در مراتع فریدون‌شهر و جنگلهای لردگان" آب و خاک علوم و صنایع کشاورزی، جلد 22، شماره 2، صفحه-های 251 تا 262
- رحیم خانی، ی. (۱۳۹۱) "کارایی منحنی رطوبتی اندازه‌گیری شده با دستگاه صفحات فشاری برای شبیه سازی حرکت آب در خاک آبریز" پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهرکرد. ایران.
- صادقی، ح.ر. (۱۳۸۶) "ارتباط آبریزی بر فرسایش خاک در حوزه آبخیز کوچک جنگلی در کشور ژاپن" مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، ۶-۴ شهریور، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی کرج، ۱۰۱۳-۱۰۱۲.
- صفادوست، آ، مصدقی، م، ر، کامل، ا. (۱۳۹۱) "اثرات آلودگی نفتی بر آبریزی و منحنی مشخصه رطوبتی دو خاک با بافت متفاوت" نشریه پژوهش‌های خاک (علوم آب و خاک). جلد ۲۳، شماره ۱.
- صفری سنجانی، ع.ا. (۱۳۸۲) "بیولوژی و بیوشیمی خاک" جلد اول، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان. ص ۳۸۳.
- علیزاده، ا. (۱۳۸۰) "رابطه آب خاک و گیاه" جلد اول، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه قدس رضوی. مشهد- ایران. صفحه ۴۷۲.
- فرزادیان، م. (۱۳۹۲) "کاهش خاصیت آبریزی دو نمونه خاک آلوده به نفت و مشتقات آن (گل چایه روغنی) با استفاده از تیمارهای مختلف (کانی‌های رسی، باکتری و هوادهی)" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

نورمهناد، ن، طباطبائی، ح، نوری امام زدهی، م.ر، قربان دشتی، ش، و هوشمند، ع.ر.(۱۳۹۴) "تاثیر کاربرد لجن فاضلاب شهری بر آبگریزی و منحنی رطوبتی خاک" نشریه دانش آب و خاک. ۲۵.(۳): ۷۵-۹۰.

نوروزی، م، طباطبایی، س.ح،، نوری، م.ر و متقیان، ح.ر.(۱۳۹۵) "اثرات کوتاه مدت بیوچار حاصل از برگ خرما بر حفظ رطوبت خاک لومی شنی" نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۶. ۲: ۱۵۰-۱۳۷

Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M. & Wessolek, G.(2013) " Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil" *Geoderma*, 202–203.

Abosedo, E.E. (2013) " Effect of crude oil pollution on some soil physical properties" *Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 6:14–17.

Abramzon A, Gaukhberg RD (1993) " Surface tension of salt solutions" *Russian J. Appl. Chem.*, 66, 1473–1480.

Adams, P., De-Leij, F. and Lynch J. (2007) " Mediates growth promotion of crack willow (*Salix fragilis*) saplings in both clean and metal- contaminated soil". *Microbial Ecology*, 54: 306-313.

Adams, S., Strain, B. and Adams M (1969) " Water-repellent soils and annual plant cover in a desert scrub community of Southeastern California" *Ecology*, 51(4): 696-700

Angers, A.D. and Chenu, C. (1997) "Dynamics of soil aggregation and C sequestration". In Lal. R(Eds.) "Soil Processes and the Cycle". *Adv. Soil Sci. pp.* 199_206.

Arye G. Tarchitzky J. and Chen Y. (2011) " Treated wastewater effects on water repellency and soil hydraulic properties of soil aquifer treatment infiltration basins" *Journal of Hydrology* 397: 136-145.

Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., & Horie, T. (2009) " Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield" *Field Crops Research*, 111(1), 81-84.

Bachmann J, Rienk R and Ploeg V, (2002) " A review on recent developments in soil water retention theory; interfacial tension and temperature effects" *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165: 468-478.

Bachmann, J., Goebel, M.-O., Woche, S.K., (2013) " Small-scale contact angle mapping on undisturbed soil surfaces" *J. Hydrol. Hydromech.* 61 (1), 3–8.

Bachmann, J., Horton, R, van der Ploeg, R.R, and Woche, S.K. (2000) “ Modified sessile drop method for assessing initial soil-water contact angle of sandy soil” *Soil Sci.Soc. Am. J.*64:564_567.

Bachmann, J., S.K. Woche and M.O. Goebel.(2003)“ Extended methodology for determining wetting properties of porous media” *Water Resour. Res.* 39: 11-11–11-14.

Bachmann, J., Woche, S.K. Goebel, M.O., and Kirkham, M.B and Horton, R.(2004). “Extended methodology for determining properties of porous media”. *Water Resour.Res.* 1353.

Baker, R.S, and Wel, D. (1990). “Laboratory tests of a theory fingering infiltration into layered soils”.*Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:20_30.

Barrett, G., and Slaymaker, O. (1972) “Identification, characterization and hydrological implications of water repellency in mountain soils, Southern British Columbia”. *Catena.* 16:477_489.

Barrett, G., and Slaymaker, O. (1989) “Identification, characterization and hydrological implications of water repellency in mountain soils, Southern British Columbia”. *Catena.* 16:477_489.

Basso, A. S. (2012) “Effect of fast pyrolysis biochar on physical and chemical properties of a sandy soil”.*Master’s Thesis, Iowa State University, Ames, 69 pp.*

Bauters TWJ, Steenhuis TS, DiCarlo DA, Nieber JL, Dekker LW, Ritsema CJ, Parlange JY and Haverkamp R,(2000) “ Physics of water repellent soils”. *Journal of Hydrology* 231–232: 233–243.

Bauters TWJ, Steenhuis TS, DiCarlo DA, Nieber JL, Dekker LW, Ritsema CJ, Parlange JY and Haverkamp R, (2000) “Physics of water repellent soils”. *Journal of Hydrology* 231–232

York.Young, T. (1805) “An essay on the cohesion of fluids”. *Philos. Trans. Roy. Soc.London.* 95:65_87.

Berg, J.C. (1993) “Role of acid-base interactions wetting and related phenomena”.In: Berg, J.C. (Ed.), “Wettability”. *Surf. Sci. Ser. Vol. 49. Marcel Dekker, New York, PP:75_148.*

Beven, K., and Germann, P. (1982) “ Macropores and water flow in soils”. *Water Resources Research.* 18: 1311–1325

Bisdorf, E.B.A., Dekker, L.W., and Schoute, J.F. (1993). “Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure”. *Geoderma.* 56: 105_118.

Blackwell, P. (2000) “ Management of water repellency in Australia, and risks associated with preferential flow, pesticide concentration and leaching”. *Journal of Hydrology,* 231: 384-395.

Blackwell, P.S. (1993) “Improving sustainable production from water repellent sands” *West.Aust.J.Agric.*34: 160_167.

- Blanco-Canqui, L. and R. Lal. (2008) "Corn stover removal impacts on micro-scale soil physical properties" *Geoderma*. 145: 335–346.
- Bond, R.D. (1964) "The influence of the microflora on the physical properties of soil: II. Field studies on water repellent soils". *Aust. J. Soil Res.* 2: 123_131.
- Bond, R.D. (1969) "The occurrence of water-repellent soils in Australia". In: DeBano, L.F., and Letey, J. (Ed.) Proc. Symp. Water Repellent Soils. Univ. Calif. May 1968. Pp: 259_263.
- Bostrom, M, Williams DRM, Ninham BW. (2001) "Surface tension of electrolytes: Specific ion effects explained by dispersion forces" *Langmuir*, 17, 4475–4478.
- Bronick, C. J. and R. Lal. (2005) "Soil structure and management: a review" *Geoderma*. 124: 3–22.
- Bryant, R., Doerr, S. Hunt, G. and Conan S. (2007) "Effects of compaction on soil surface water repellency" *Soil Use and Management*, 23: 238-244.
- Buczko U, Bens O, Fischer H and Huttel RF, (2002) "Water repellency in sandy luvisols under different forest transformation stages in northeast Germany" *Geoderma* 109: 1–18.
- Buczko, U., Bens, O. and Durner W. (2006) "Spatial and temporal variability of water repellency in a sandy soil contaminated with tar oil and heavy metals" *Journal of Contaminant Hydrology*, 88: 249-268.
- Burch, G., Moore, I. and Burns J. (1989) "Soil hydrophobic effects on infiltration and catchment runoff" *Hydrological Processes*, 3: 211-222.
- Buczko, U., O. Bens, H. Fischer and R.F. Huttel. (2002) "Water repellency in sandy luvisols under different forest transformation stages in northeast Germany" *Geoderma* 109: 1-18.
- Burch, G.J Moore, I.D. and Burns, J. (1989) "Soil hydrophobic effects on infiltration and catchment runoff". *Hydrol. Proc* 3:211_222.
- Burch, G.J., Moore, I.D., Burns, J. (1989) "Soil hydrophobic effects on infiltration and catchment runoff" *Hydrol. Process.* 3: 211–222.
- Busscher, W., Novak, J., Evans, D., Watts, D., Niandou, M., Ahmedna, M., (2010) "Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand" *Soil Science* 175 (1), 10–14.
- Calace, N., F. Fiorentini and B.M. Petronio. (2001) "Effects of acid rain on soil humic compounds". *Talanta* 54: 837–846.
- Cann, M. and Lewis D. (1994) "The use of dispersible sodic clay to overcome water repellent in sandy soils in the south-east of South Australia, Proceedings of the 2nd National Water Repellency Workshop" *Perth, Western Australia*, pp. 161-167.
- Carter, D.J., Hetherington, R.E. (1994) "Claying of water repellent soils on the South Coast of Western Australia". Proc. 2nd National Water Repellency Workshop, 1_5 August, Perth, Western Aust. PP: 49_57.
- Chan, K.Y., L. Van Zwieten., I. Meszaros., A. Downie., and S. Joseph. (2007) "Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment" *Australian Journal of Soil Research*. 45:629–634.

Chaudhuri RG, Paria S(2009)” Dynamic contact angles on PTFE surface by aqueous surfactant solution in the absence and presence of electrolytes” *J. Colloid Interface Sci.*, 337,555–562.

Chen, H.X., Du, Z.L. Guo, W. and Zhang, Q.Z. (2011)“ Effects of biochar amendment on cropland soil bulk density, cation exchange capacity, and particulate organic matter content in theNorth China Plain”. *The Journal of Applied Ecology*, 22:2930-2934.

Chenu, C., Le Bissonnais, Y., and Arrouays, D. (2000) “Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability”. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1479_1486.

Cisar, J., Williams, K., Vivas, H. and Haydu J.(2000) “ The occurrence and alleviation by surfactants of soil-water repellency on sand-based turfgrass systems” *Journal of Hydrology*, 231: 352-358.

Cisar, J.L., Williams, K.E., Vivas, H.E. and Haydu,J.J. (2000) “The occurrence and alleviation by surfactants of soil-water repellency on sand-based turf grass systems”. *J. Hydrol.*231/232:352_358.

Crockford, S., S. Topalidis and D.P. Richardson. (1991) “Water repellencyin a dry sclerophyll forest measurements and processes” *Hydrological Processes* 5: 405–420.

Czachor, H., S.H. Doerr and L. Lichner. (2010) “Water retention of repellent and subcritical repellent soils: New insights from model and experimental investigations”. *J. Hydrol.* 380: 104–111.

de Jonge, L.W., Jacobsen, O.H. and Moldrup P. (1999) “Soil water repellency: effects of water content, temperature, and particle size” *Soil Science Society of America Journal*, 63: 437-442.

DeBano, L.F. (1971) “The effect of hydrophobic substances on water movement in soil during infiltration” *Soil Science Society of America Journal*, 35: 340-343.

DeBano, L.F. (1981) “Water repellent soils: a state-of-the-art”. *USDA, Forest Service,General Technical Report, RSW-46, Berkeley, California*, pp21.

DeBano, L.F. (1991) “The effect of fire on soil properties, Proceedings of Management and productivity of western-Montane” *J of Hydrology*, 231: 134-147.

DeBano, L.F. (1991) “The effect of fire on soil properties”. *US Department of Agriculture Forest Service General Technical Report. INT-280*.

DeBano, L.F. (2000a.) “Water repellency in soils: a historical overview”. *J. Hydrol.* 231-232: 4–32.

DeBano, L.F. (2000b.) The role of fire and soil heating on waterrepellency in wildland environments: a review” *J. Hydrol.* 231-232: 195–206.

DeBano, L.F., and Krammes, J.S. (1966) “Watervrepellent soils and their relation to wildfire tempratures”. *Intern. Bull.Assoc.Hydrol.Sci.* 2:14_19.

Dekker, L.W. and P.D. Jungerius. (1990) "Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands" *Catena Suppl.* 18: 173-183.

Dekker, L.W. and Ritsema C.J. 1(996) " Uneven moisture patterns in water repellent soils" *Geoderma*, 70: 87-99.

Dekker, L.W., and Ritsema, C.J. (1994) "How water moves in a water-repellent sandy soil: 1. Potential and actual water-repellency". *Water Resour. Res.* 30:2507_2517.

Dekker, L.W., Ritsema, C.J., Oostindie, K., and Boersma, O.H. (1998) "Effect of drying temperature on the severity of soil water repellency ". *Soil Sci.* 163:780_796.

Dekker, L.W., Ritsema, C.J., Wendroth, O., Jarvis, N., Oostindie, K., Pohl, W., Larsson, M. and Gaudet J.-P. (2000) " Moisture distributions and wetting rates of soils at experimental fields in the Netherlands, France, Sweden and Germany" *J of Hydrology*, 215: 4-22.

Dekker, L.W., Oostindie, K. and Ritsema C.J. (2005) "Exponential increase of publications related to soil water repellency" *Soil Research*, 43: 403-441.

Dekker, L.W., and Ritsema, C.J. (1994) "How water moves in a water-repellent sandy soil: 1. Potential and actual water-repellency". *Water Resour. Res.* 30:2507_2517.

Doerr S.H. (1998) " On standardizing the 'water drop penetration time' and the 'molarity of an ethanol droplet' techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils". *Earth Surface Processes and Landforms* 23: 663–668.

Doerr, S., Shakesby, R. and Walsh R. (2000) " Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance" *Earth-Science Reviews*, 51: 33-65.

Doerr, S., Shakesby, R. and Walsh R. (2000) " Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, 51: 33-65. McKenna, F., El-Tarabily, K., Petrie, S., Chen, C. and Dell B. 2002 " Application of actinomycetes to soil to ameliorate water repellency". *Letters in Applied Microbiology*, 35: 107-112.

Doerr, S.H. (1998) "On standardizing the water drop penetration times and the molarity of an ethanol droplets techniques to classify soil water repellency" a case study using medium textured soils". *Earth Surface Proc. Landf.* 23:663_668.

Doerr, S.H. (1998) " On standardizing the 'Water Drop Penetration Time' and 'Molarity of an Ethanol Droplet' techniques to classify soil hydrophobicity: A case study using medium textured soils. *Earth Surf. Process*". *Landforms* 23: 663–668.

Doerr, S.H., A.D. Thomas. (2000) " The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal" *J of Hydrology* 231–232: 134–147.

Doerr, S.H., Shakesby, R.A., and Walsh, R.P.D. (1996) "Soil water repellency variations with depth and particle size fraction in burned unburned *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster* forest terrain in the A gueda basin, Portugal ". *Catena*. 27(1):25_47.

Doerr, S.H., Shakesby, R.A., and Walsh, R.P.D. (1998). "Spatial variability of soil water repellency in fire-prone eucalyptus and pine forests, Portugal". *Oil Sci.* 163: 313_324.

Doerr, S.H., Shakesby, R.A., and Walsh, R.P.D. (1998). "Spatial variability of soil water repellency in fire-prone eucalyptus and pine forests, Portugal". *Oil Sci.* 163: 313_324.

Dongli, S., G. Xuemei, W. Peng, X. Wentao, L. Yingying and L. Yi. 2014. Comparison of soil hydraulic properties with different levels of soil salinity and sodicity. *Arab J. Geosci.* 1: 1–10.

Ellerbrock, R.H., and Gerke, H.H. (2004) "Characterizing organic matter of soil aggregate coatings and biopores by Fourier transform infrared spectroscopy". *Eur. J. Soil Sci.* 55: 219_228.

Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., & Helkowski, J. H. (2005) "Global consequences of land use" *Science*, 309(5734), 570- 574.

Franco, C., Clarke, P., Tate, M. and Oades J. (2000) "Hydrophobic properties and chemical characterisation of natural water repellent materials in Australian sands" *J of Hydrology*, 231: 47-58.

Franco, C.M., Tate, M.E. and Oades J.M. (1995) "Studies on non-wetting sands. 1. The role of intrinsic particulate organic-matter in the development of water-repellency in non-wetting sands". *Soil Research*, 33: 253-263.

Franco, C.M.M., Tate, M.E., and Oades, J.M. (1994) "The development of water repellency in sands: studies on the physico-chemical and biological mechanisms". In: Carter, D., House, K.M.W., (Eds.), *Proc the 2nd National Water Repellency Workshop*, 1_5 August, Perth, Aust. PP. 18_30.

Fster, S.S.D. and Chilton, P.J., (2003) "Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series*" :*Biological Sciences*, 358(1440), pp.1957-1972.

Garkaklis, M.J., Bradley, J.S., and Wooler, R.D. (1998) "The effects of Woylie (*Bettongia penicillata*). Foraging on soils in southwestern Australia". *Aust. J. Ecol.* 23:492_496.

Gee, G.W. and J.W. Bauder. (1986) "Particle size analysis" pp. 383–411. In: Klute, A. (Ed.), *Method of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Handbook No 9. ASA and SSSA, Madison, WI

Gerke HH, Hangen E, Schaaf W and Huttl RF, (2001) "Spatial variability of potential water repellency in a lignitic mine soil afforested with *Pinus nigra*". *Geoderma* 102: 255–274.

Giovannini, G and S. Lucchesi. (1984) "Differential thermal analysis and infra-red investigations on soil hydrophobic substances" *Soil Sci.*, 137: 457-463.

Glass, R.J., Parlange, J.Y. and Steenhuis, T.S. (1989) "Wetting front instability 1. Theoretical discussion and dimensional analysis". *Water Resour. Res.* 25(6): 1187_1194.

Glass, R.J., Parlange, J.Y. and Steenhuis, T.S. (1990) "Wetting front instability 2. Experimental determination of relationships between system parameters two dimensional unstable flow field behavior in initially dry porous media". *Water Resour. Res.* 25:1195_1207.

Graber ER, Tagger S, Wallach R, (2009)“ Role of divalent fatty acid salts in soil water repellency”. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73,541–549.

Graber, E. R., S. Tagger and R. Wallach. (2009)“ Role of divalent fatty acid salts in soil water repellency”. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 541–549.

Grelewicz., A and W.Plichta. (1985)“ The effect of the physical state of the surface of organic soil material on its wettability” *For. Ecol. Manage.* 11: 245-256.

Gundale, M., DeLuca, T.,(2006)“ Temperature and source material influence ecological attributes of ponderosa pine and Douglas-fir charcoal” *Forest Ecology and Management* 231 (1–3), 86–93.

Hajiboland, R. (2013)“Role of Arbuscular Mycorrhiza in Amelioration of Salinity” In: Ahmad, P., Azooz, M.M., and Prasad, M.N.V. (Eds). *Salt Stress in Plants: Signalling, Omics and Adaptations*. Springer, New York. pp: 301–354.

Hallett, P., Baumgartl, T. and Young I.M.(2001)“ Subcritical water repellency of aggregates from a range of soil management practices” *Soil Science Society of America Journal*, 65: 184- 190.

Hallett, P.D. and Gaskin, R.E., (2007)“ August. An introduction to soil water repellency” *International Society for Agrochemical Adjuvants*50: 35–40.

Hallett, P.D., Dexter, A.R., and Seville, J.P.K. (1993) “Identification of preexisting cracks on soil fracture surfaces using dye”. *Soil Till.Res.*33:163-184.

Hallett, P.D., Gordon, D.C., and Bengough, A.G. (2003) “Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturized infiltrometer”. *New Phyt.* 157: 597–603.

Hallett, P.D., I.M. Young. (1999)“Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity”. *Eur. J. Soil Sci.* 50: 35–40.

Hallett, P.D., White, N.A, and Ritz, K. (2006) “Impact of basidiomycete fungi on the wettability of soil contaminated with a hydrophobic polycyclic aromatic hydrocarbon”. *Biologia.* 61: S334_S338.

Hallett, P.D., White, N.A, and Ritz, K. (2006) “Impact of basidiomycete fungi on the wettability of soil contaminated with a hydrophobic polycyclic aromatic hydrocarbon”. *Biologia.* 61: S334- S338.

Hallin, I.L., Douglas, P., Doerr, S.H. and Bryant, R., (2015)“. The effect of addition of a wettable biochar on soil water repellency”*European journal of soil science*, 66(6), pp.1063-1073.

Hardie, M., B. Clothier, S. Bound, G. Oliver, D. Close. (2014)“ Does biochar influence soil physical properties and soil water availability *Plant and Soil*, 376: 347–361.

Harper, R.J. & Gilkes, R.J. (1994)“ Soil attributes related to water repellency and the utility of soil survey for predicting its occurrence”. *Australian Journal of Soil Science*, 32, 1109–1124.

Hassink, J. (1997) "The capacity of soils preserve organic C and N by their association with clay and silt particles". *Plant Soil*. 191: 77_87.

Hendrickx, J.M.H., Dekker, L.W., and Boersma, O.H. (1993) "Unstable wetting fronts in water repellent field soils". *J. Environ. Qual.* 22:109_118.

Herath, H., Camps-Arbestain, M. and Hedley, M. (2013) "Effect of Biochar on Soil Physical properties in Two Contrasting Soils" *An Alfisol and an Andisol. Geoderma*. 209-210: 188-197.

Hillel, D. (1980). "Application of Soil Physics". *Academic Press, New York*. P:58.

Holzhey, S. (1969) "Soil morphological relationships and water repellence. In Proceedings of a Symposium on Water Repellent". University of California Soils .pp: 281-288.

Horne, D.J. and Mchosh, J.C. (2000) "Hydrophobic compounds in sands in New Zealand-extraction, characterization and proposed mechanisms for repellency expression". *J. Hydrol.* 231/232:35_46.

Hubbert, K.R., H.K. Preisler, P.M. Wohlgemuth, R.C. Graham and M.G. Narog. (2006) "Prescribed burning effects on soil physical properties and soil water repellency in a steep chaparral watershed, southern California, USA". *Geoderma* 130: 284-298.

Jaramillo, D.F. and F.E. Herron. (1991) "Evaluación de la repelencia al agua de algunos andisols antioqueños bajo cobertura de pinus pastula". *Acta Agron.*, 41: 79-85.

Jeffery, S., Verheijen, F. G., Van Der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011) "A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using metaanalysis" *Agriculture, ecosystems & environment*, 144(1), 175-187.

Jex, G.W., Bleakley, B.H., Hubbel, D.H., and Munro, L.L. (1985) "High humidity-induced increase in water-repellency in some sandy soils". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1177_1182.

Jordan, A., L. Martínez-Zavala and N. Bellinfante. (2008) "Heterogeneity in soil hydrological response from different land cover types in southern Spain" *Catena* 74: 137-143.

Karnok, K. (2000) "Water repellency Movement into a Water-Repellent and Non-Water repellent soil profile as Affected by cascade plus". University of Georgia Department of crop & Soil

Karnok, K.A., Rowland, E.J. and Tan K.H. (1993) "High pH treatments and the alleviation of soil hydrophobicity on golf greens". *Agronomy Journal*, 85: 983-986.

Kennedy, J. and Peetz R. (2004) "Novel hybrid polyurethanes" *US Patent App.* 10/858,710.

Kimetu, J. M., Lehmann, J., Ngoze, S. O., Mugendi, D. N., Kinyangi, J. M., Riha, S., & Pell, A. N. (2008). "Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient". *Ecosystems*, 11(5), 726.

King, P.M. (1981) "Comparison of methods for measuring severity of water repellency of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement". *Aust. J. Soil Res.* 19: 275_285.

Kinney, T., Masiello, C., Dugan, B., Hockaday, W., Dean, M., Zygourakis, K., Barnes, R., (2012)“ Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures” *Biomass and Bioenergy* 41, 34–43.

Kinney, T.J., Masiello, C.A., Dugan, B., Hockaday, W.C., Dean, M.R., Zygourakis, K. and Barnes, R.T., (2012)“ Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures”. *Biomass and Bioenergy*, 41, pp.34-43.

Kirkham, M.B. (2005)“Principles of soil and plant water relations”. *Elsevier Academic Press*. 500 pp.

Koide, R. T., Nguyen, B. T., Skinner, R. H., Dell, C. J., Peoples, M. S., Adler, P. R., & Drohan, P. J. (2015) “ Biochar amendment of soil improves resilience to climate change” *Gcb Bioenergy*, 7(5), 1084-1091.

Kostka, S.J. (2000) “ Amelioration of water repellency in highly managed soils and the enhancement of turfgrass performance through the systematic application of surfactants” *J of Hydrology*, 231–232, 359–368.

Kung, K.J.S. (1990) “Preferential flow in a sandy vadose zone: field observations”.*Geoderma*. 46:51_58.’

Kutilek, M., L. Jendele, K.P. Panayiotopoulos. (2006) “ The influence of uniaxial compression upon pore size distribution in bi-modal soils” *Soil and Tillage Research*, 86:27–37.

Laird, D. A. (2008). “The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality All rights reserved. No part of this periodical may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher” *Agronomy journal*, 100(1), 178-181.

Leelamanie DAL, Karube J and Yoshida A, (2008) “ Characterizing water repellency indices: Contact angle and water drop penetration time of hydrophobized sand”. *Soil Science and Plant Nutrition* 54:179–187.

Leelamanie DAL, Karube J and Yoshida A, (2009) “ Characterizing water repellency indices: Contact angle and water drop penetration time of hydrophobized sand” *Soil Science and Plant Nutrition* 54:179–187.

Leelamanie, D.A.L., Karube, J., and Samarawickrama, U.I. (2013) “ Stability analysis of aggregates in relation to the hydrophobicity of organic manure for Sri Lankan Red Yellow Podzolic soils” *Soil Science and Plant Nutrition*. 59: 683-691.

Lehmann J(2007)“ Bio-energy in the black”. *Front Ecol Environ*.5(7):381e7.

Lehmann, J. and S. Joseph.(2009) “ Biochar for Environmental Management: Science and Technology” *Earthscan, London & Sterling, VA*. 416p.

Lehmann, J., & Joseph, S. (2009) “ Biochar for Environmental Management” *Science and Technology*; Earthscan: London.

Letey, J (1969) "Measurement of contact angle, water drop penetration time, and critical surface tension". In: DeBano, L.F., and Letey, J Proc. Symp. Water-Repellent Soils, Unive. Californ., May 1968. PP:43_47.

Lewis, S.A., P.R. Robichaud, B.E. Frazier, J.Q. Wuc and D.Y.Y. Laes.(2008) " Using hyperspectral imagery to predict post-wildfire soil water repellency" *Geomorphology* 95: 92–205.

Lichner, L., P. Dlapa, S. H. Doerr and J. Mataix-Solera. (2006) " Evaluation of different clay minerals as additives for soil water repellency alleviation" *Appl. Clay Sci.* 31: 238–248.

Lin, C.Y., W.C. Chou, J.S. Tsai and W.T. Lin. (2006) " Water repellency of Casuarina windbreaks (*Casuarina equisetifolia* Forst.) caused by fungi in central Taiwan". *Ecological Engineering* 26: 283–292.

Linder, M. B. (2009) " Hydrophobins: proteins that self assemble at interfaces". *Curr. pin. Colloid In.* 14: 356–363.

Ma shum, M., and Farmer, V.C. (1985) "Origin and assessment of water repellency of a sandy Australian soil". *Aust. J. Soil Res.* 23: 623_626.

Ma, N., I. Zhang, Y. Zhang, L. Yang, C. Yu, G. Yin, T.A. Doane, Z. Wu, P. Zho, X. Ma. (2016) "Biochar improves soil aggregate stability and water availability in a mollisol after three years of field application". *Public Library of Science*, 11(5): 113-118.

MacDonald, L.H and E.L. Huffman. (2004) " Post-fire Soil Water Repellency": *Persistence and Soil Moisture Thresholds. Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1729–1734.

Mallik, A.U., Rahman, A.A. (1985) "Soil water repellency in regularly burned calluna heathlands: comparison of three measuring techniques". *Environ. Manag.* 20:207_218.

Manciu M, Ruckenstein E(2005) " On the interactions of ions with the air/water interface" *Langmuir*, 21, 11312– 11319.

Marshall, T.J., and Holmes, J.W. (1979) "Soil physics". Cambridge Univ. Press Cambridge.

Martin, S. L., S. J. Mooney, M. J. Dickinson and H. M. West. (2012) " The effects of simultaneous root colonisation by three *Glomus* species on soil pore characteristics" *Soil Biol. Biochem.* 49: 167–173.

Martinsen, V., Mulder, J. Shitumbanuma, V. Sparrevik, M. Børresen, T. and Cornelissen, G. (2014) " Farmer-led maize biochar trials: Effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming" *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177: 681-695.

Ma'shum, M., M.E. Tate, G.P. Jones and J.M. Oades. (1988) " Extraction and characterization of water repellent material from Australian soils". *Soil Science.* 39: 99-110.

Ma'Shum, M., Oades, J. and Tate M. (1989) " The use of dispersible clays to reduce water repellency of sandy soils" *Soil Research*, 27: 797-806.

Mataix-Solera, J and S.H. Doerr. (2004) " Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forest in the southeastern Spain" *Geoderma* 118: 77–88.

Matubayasi N, Takayama K, Ito R, Takata R (2011)“Thermodynamic quantities of surface formation of aqueous electrolyte solutions X” Aqueous solution of 2:1 valence-type salts. *J. Colloid Interface Sci.*, 356, 713–717.

McGhie, D.A and A.M. Posner. (1981)“ The effect of plant top material on the water Repellence of fired sands and water repellent soils”*Australian Journal of Agricultural Research*32: 609–620.

McGhie, D.A., and Poner, A.M. (1981) “The effect of plant top material on the water repellence of fired sands and water-repellent soils”. *Aust. J. Agric. Res.* 32: 609_620.

McKenna, F., El-Tarabily, K., Petrie, S., Chen, C. and Dell B. (2002)“ Application of actinomycetes to soil to ameliorate water repellency” *Letters in Applied Microbiology*, 35: 107-112.

McKissock I, Walker EL, Gilkes RJ and Carter DJ, (2000)“. The influence of clay type on reduction of water repellency by applied clays: a review of some West Australian work” *J of Hydrology* 231–232:323–332.

Meeuwig, R.O. (1971). “Infiltration and water repellency in granitic soils”. USDA. Forest. Serv. Res. Paper INT-111, Ogden, Utah, 22 pp.

Miyamoto, S., Letey, J., and Osdorn, J. (1972) “Water vapor adsorption by water-repellent soils at equilibrium”. *Soil Sci.* 114:180_184.

Mukherjee, A., Lal, R., & Zimmerman, A. (2014) “Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil”. *Science of the Total Environment*, 487, 26-36.

Müller, K. and Deurer M. (2011)“ Review of the remediation strategies for soil water repellency” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144: 208-221.

Nakaya, N. (1982)“Water repellency in soils”. *Jap. Agric. Res. Quart.* 16: 24-28.

Novak, J., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J., Steiner, C., Das, K., Ahmedna, M., Rehrah, D., Watts D., Busscher, W., et al., (2009)“ Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand”. *Annals of Environmental Science* 3, 195–206 .

Obia, A., Mulder, J. Martinsen, V. Cornelissen, G. and Børresen, T. 2016“ In situ effects of biochar on, water retention and porosity in light-textured tropical soils”. *Soil and Tillage Research*, 155:35-44.

Peake, L. R., Reid, B. J., & Tang, X. (2014) “Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. *Geoderma*, 235, 182-190. Amezketa, E. (1999). Soil aggregate stability: a review. *Journal of sustainable agriculture*, 14(2-3), 83-151.

Peng, X., Zhang, B., Zhao, Q., Horn, R., and Hallett, P.D. (2003) “Influence of types of restorative vegetation on the wetting properties of aggregates in a severely degraded clayey Ultisol in subtropical China”. *Geoderma*. 115 (12):313_324.

- Pereira, R., Heinemann, A., Madari, B., Carvalho, M., Kliemann, H., Santos, A., (2012) “Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar” *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47 (5), 716–721.
- Philip, J.R, Knight, J.H., and Waechter, R.T. (1989) “Unsaturated seepage and subterranean holes: conspectus, exclusion problems for circular cylindrical cavities”. *Water Resour. Res.* 25:16-28.
- Philip, J.R. (1957) “The theory of infiltration: 4 .Sorptivity and algebraic infiltration equations”. *Soil Sci.* 15:257-264
- Prince, R.C., Garrett, R.M., Bare, R.E., Grossman, M.J., Townsend, T., Suflita, J.M., Lee, K., Owens, E.H., Sergy, G.A. and Braddock J.F.(2003)“ The roles of photooxidation and biodegradation in long-term weathering of crude and heavy fuel oils” *Spill Science and Technology Bulletin*, 8: 145-156.
- Quéré, D. and Reyssat M. (2008)“Non-adhesive lotus and other hydrophobic materials. Philosophical Transactions of the Royal Society A” *Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366: 1539-1556.
- Quéré, D., Lafuma, A. and Bico J. (2003)“Slippy and sticky microtextured solids”. *Nanotechnology*, 14: 1109.
- Quyum, A., (2000) “Water migration through hydrophobic soils”. *The Univ. Calg.* 0_612_65008_1.
- Raats.P.A.C. (1973) “Unstable wetting front in uniform non-uniform soils” *Soil Sci.Soc.Am. Proc.* 37:681_685.
- Raiesi, F., and Aghababae, F. (2011)“The decomposability of some plant residues and their subsequent influence on soil microbial respiration and biomass, and enzyme activity”. *Journal of Water and Soil*, 25: 863–873.
- Ralston J, Healy TW (1973) “ Specific cation effects on water structure at the air-water and air-octadecanol monolayer-water interfaces” *J. Colloid Interface Sci.*, 42,629–644.
- Reeder, C.J., and M.F. Jurgensen. (1979) “ Fire-induced water repellency in forest soils of upper Michigan”. *Canadian Journal of Forest Research* 9: 369–373.
- Regalado CM and Ritter A, (2005) “ Characterizing water dependent soil repellency with minimal parameter requirement”. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1955–1966.
- Rillig, M. C., N. F. Mardatin, E. F. Leifheit and P. M. Antunes. (2010) “ Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi increases soil water repellency and is sufficient to maintain water-stable soil aggregates” *Soil Biol. Biochem.* 42: 1189–1191.
- Ritsema CJ and Dekker LW,(2003)“ Soil water repellency: occurrence, consequences and amelioration”.Elsevier, New York, USA, 352 p.
- Ritsema, C.J and L.W. Dekker. (1996) “ Three-dimensional patterns of moisture, water repellency, bromide and pH in a sandy soil” *Jornal of Contaminant Hydrology* 31: 295- 313.

Ritsema, C.J., Dekker, L.W., Hendrickx, J.M.H., and Hamminga, W. (1993) "Preferential flow mechanism in a water repellent sandy soil". *Water Resour. Res.*29: 2183_2193.

Robert, F.J and B.A. Carbon. (1972) "Water repellency in sandy soils of southwestern Australia. some chemical characteristics of hydrophobic skins". *Aust. J. Soil Res.*, 10: 35-42.

Roberts, F.J., and Carbon, B.A. (1971) "Water repellence in sandy soils of south-western Australia: 1. Some studies related to field occurrence". *Aust. J. Soil Res.* 10:30_20.

Robertson, G. P., & Swinton, S. M. (2005) " Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture" *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(1), 38-46.

Roper, M.M.(2005)" Managing soils to enhance the potential for bioremediation of water repellency". *Soil Research*, 43: 803-810.

Roper, M.M. (2006) " Potential for remediation of water repellent soils by inoculation with wax-degrading bacteria in south-western Australia". *Biologia*, 61: S358-S362.

Roper, M.M. and Gupta V. (2005) " Enumeration of wax-degrading microorganisms in water repellent soils using a miniaturised Most-Probable-Number method" *Soil Research*, 43: 171-177.

Roy, J.L. and McGill W.B. (2002) "Assessing soil water repellency using the molarity of ethanol droplet (MED) test". *Soil Science*, 167: 83-97.

Roy, J.L., W.B. McGill. (2000) " Investigation into mechanisms leading to the development, spread and persistence of soil water repellency following contamination by crude oil. *Can J. Soil Sci.* 595–606.

Roy, J.L., W.B. McGill. (2001)"Observation on the chemistry of organic materials in water-repellent soils" *J. Intern. Turfgrass Res. Soc.* 9: 428–436.

Roy, J.L.(1999) "Soil water repellency old crude oil spill sites" . Ph.D. Thesis, Univ. Alberta, Canada.

Roy, J.L., McGill, W.B. and Rawluk, M.D. (1999) "Petroleum residues as water-repellent substances in weathered non wattleable oil-contaminated Soils". *Can. J. Soil Sci.* 79:367_380.

Savage, S.M., Osborn, J., Letey, J., and Heton, C. (1974). "Substances contributing to fire induced water repellency in soils". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*36:674_678.

Scholl, D.G. (1975) "Soil wettability and fire in Arizona chaparral" *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*39:356_361.

Schreiner, O and E.C. Shorey. (1910)"Chemical nature of organic matter" *USDA Bur Soil Sci.* 74: 2-48.

Scott, D.F. (1993) "The hydrological effects of fire in south African mountain catchments". *J. Hydrol.* 150: 409_432.

Selker, J.S., Steenhuis T.S., and Parlange J.Y. (1989) "Preferential flow in homogenous soils without layering homogenous". *Inter Winter Meeting, The Am. Soc. Agric. Eng. Louisi.*

Sevink,J., A.C. Imeson and J.M. Verstraten., (1989) “Humus form development and hillslop runoff and effects of fire and management, under Mediterranean forest in NE Spain”*Catena* 16: 461-475.

Sghaier N, Prat M, Nasrallah SB (2006) “ On the influence of sodium chloride concentration on equilibrium contact angle. *Chem. Eng. J.*, 122, 47–53.

Shakesby, R., Doerr, S. and Walsh R. (2000)“ The erosional impact of soil hydrophobicity: current problems and future research directions. *Journal of Hydrology*, 231: 178-191.

Shakesby, R.A., Coelho, C.O.A., Ferreira, A.D., Terry, J.P., and Walsh, R.P.D. (1994) “FIRE, post-burn land management practices and soil erosion response curves in eucalyptus and pine forests, north-central Portugal”. IN:Sala, M., and Rubio, J.L. (Eds.), “Soil Erosion as a Consequence of Forest Fires”.*Geoforma Edic. Logro*no. pp:15_27.

Shiels,G. (1982) “Dry pacht-a new problem an Britain fine turf”. *Turf. Manag.*5: 18_19.

Sillers W.M., Fredlund D.G., and Zakerzadeh, N. (2001)“Mathematical attributes of some soil-water characteristic curves models”. *Geotechnical and Geological Engineering.* 19: 243–283.

Sparks, D. L. (2003) “ Environmental soil chemistry. Academic press.

Steinbeiss, S., G. Gleixner., and M. Antonietti. (2009)“ Effect of biochar amendment onsoilcarbon balance and soil microbial activity”. *Soil Biology and Biochemistry.*41:1301–1310.

Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J. L. V., Blum, W. E., & Zech, W. (2007) “Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil”. *Plant and soil*, 291(1-2), 275-290.

Stockdill, S. and Cossens G., (1966) “ The role of earthworms in pasture production and moisture conservation, *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, pp. 168-183.

Sun, Z., Bruun, E.W. Arthur, E. De Jonge, L.W. Moldrup, P. Hauggaard-Nielsen, H. and Elsgaard, L. (2014)“Effect of biochar on aerobic processes, enzyme activity, and crop yields in two sandy loam soils”. *Biology and Fertility of Soils*, 50:1087-1097.

Tarchitzky, J., Lerner, O., Shani, U., Arye, G., Lowengart-Aycicegi, A. and Brener A., Chen, Y. (2007)“ Water distribution pattern in treated wastewater irrigated soils: hydrophobicity effect”. *European Journal of Soil Science*, 58: 573-588.

Tate, M.E., Oades, and Ma shum, M. (1989) “Non-wetting soils, natural and induced: an overview and future developments. In: the Theory and Practices of Soil Management for Sustainable Agriculture”. *A Workshop. Water Res. Coun.*PP: 70_77.

Tillman RW, Scotter DR, Wallis MG, Clothier BE (1989)“ Water-repellency and its measurement by using intrinsic sorptivity. *Aust. J. Soil Res.* 27: 637-644

Tillman, R.W., Scotter, D.R., Wallis,M.G. and Clothier, B.E. (1989). " Water repellency and its measurement by using intrinsic sorptivitiy". *Aust. J. Soil res.* 27:637_644.

Tisdall, J.M. and Oades, J.M. (1982) "Organic matter and water-stable aggregates in soil". *J. Soil Sci.* 33:141_163.

Tryon, E., (1948) "Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils". *Ecological Monographs* 81–115.

Tschapek, M. (1984) "Criteria for Determining the hydrophilicity-hydrophobicity of Soils". *Zeitschrift Für Pflanzenernährung Und Bodenkunde*, 147: 137-149.

Tumer K, Stoffregen H and Wessolek G, (2005) "Determination of repellency distribution using soil organic matter and water content". *Geoderma* 125: 107–115.

USGA (1973) "Refining the greens section specifications for putting green construction" *USGA Green Section Record*, 11, 1–8.

Van Dam, J.C., Hendrickx, J.M.H., Van Ommen, H.C., Bammink, M.H., Van Genuchten, M.T., and Dekker, L.W. (1990) "Water and solute movement in a coarse-textured water repellent field soil". *J. Hydrol.* 120:359_379.

Van Genuchten, M.T., Leij, F.J., and Yates, S.R. (1991) "The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils". *Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory*, 91 p.

Van't Woudt, B.D. (1959). "Particle Cwring Afecting Wettability of Soils". *JJ. Geophys. Res.* 64: 263_267.

Wallis, M., Horne, D. and McAuliffe K. (1990) "A study of water repellency and its amelioration in a yellow-brown sand: 1. Severity of water repellency and the effects of wetting and abrasion". *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 33: 139-144.

Wallis, M., Horne, D. and McAuliffe K. (1990) "A study of water repellency and its amelioration in a yellow-brown sand: 1. Severity of water repellency and the effects of wetting and abrasion". *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 33: 139-144.

Wallis, M., Horne, D. and McAuliffe K. (1991) "A study of water repellency and its amelioration in a yellow-brown sand: 1. Severity of water repellency and the effects of wetting and abrasion" *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 33: 139-144.

Wallis, M.G. and Horne, D.J. (1992) "Soil water repellency". *Adv. Soil Sci.* 20:91_146.

Wallis, M.G., D.R. Scotter and D.J. Horne. (1991) "An evaluation of the intrinsic sorptivity water repellency index on a range of New Zealand soils" *Australian Journal of Soil Research* 29: 353-362.

Walsh, R.P.D., Boakes, D., Coelho, C.O.A., Goncalves, A.J.B., Shakesby, R.A., and Thomas, A.D. (1994) "Impact of fire-induced water repellency Post-fire forest litter on overland flow in northern and central Portugal". *Proc. Second Intern. Conf. Forest Fire Res.* 2:1149_1159.

Walter, U., Baryer, M., Klein, J., and Rehm, H.S. (1991) "Degradation of pyrene by *Rhodococcus* sp". *UWI Appl. Microbiol. BIOOTECHN.* 34:671_676.

White, W.D., and Wells, S.G. (1982) "Forest-fire devegetation and drainage basin adjustments in mountainous terrain". *Proce. 10th GEO.Symp.* 199_223.

Yaobing S.M. Thompson L. and Shang C. (1999) “ Fraction of phosphorus in a mollisol amended with biosoilids”. *Soil Science Society of America Journal* 63: 1174-1180.

York, C.A and P.M. Canaway. (2000) “Water repellency soil as they occur on UK greens”*J.Hydrology*.231-232: 126-133 .

Young, I.M., and Ritz, K. (2000) “Tillage, habitat space and function of soil micrbes”.*Soil Till.Res.* 53: 201_213.

Zavala, M.L and A. Jordan-Lopez. (2009) “ Influence of different plant species on water repellency in Mediterraneanheathland soils”*Catena* 76: 215–223.

Zisman, W.A. (1964) “Relation of the equilibrium contact angle to liquid and solid constitution”. In: Gould, R.F. (Ed.). *Adv. Chem. Ser.*, 43: 1_51 Am. Chem. Soc. Soc.PP:1_51.

Abstract

Agriculture in arid and semi-arid regions has many problems and soil hydrophobicity has become a serious problem in these areas in recent years. Hydrophobicity reduces the capacity of water infiltration into the soil, increases the surface runoff, reduces soil and water cohesion, and also reduces drenching ability. Remediation methods of soil hydrophobicity include the use of biochar, clay minerals, bioremediation and liming. In order to investigate the role of biochar in reducing the hydrophobicity, 10 level of sugarcane biochar (zero to 10%) in three soil water repellency (soil without hydrophobicity, soil with high and very severe hydrophobicity) were studied. In the first part of the research, water droplet penetration time and ethanol droplet molarity were measured. Then the effect of biochar in the presence of saline water with different concentrations of sodium chloride and calcium chloride were investigated on these parameters. In the second part, the effect of biochar on some physical properties of hydrophobic soils, including soil pores, porosity and moisture feature curve were studied. The results of variance analysis showed that the amount and size of biochar effect and their interaction on droplet penetration time test and ethanol molarity test in studied soils were significant. In general, application of 1 to 3% of biochar in two levels of hydrophobic soil has changed the hydrophobicity class. The water penetration time at the high hydrophobicity level in both biochar sizes has changed to less than 60 seconds and the hydrophobicity class has changed to slightly hydrophobic, but at the very severe hydrophobic level, using finer biochar (<0.25 mm) had greater effect on reducing hydrophobicity and at the application of 2%, hydrophobicity class has changed from very severe to severe. Also, the use of saline water in both hydrophobic soil levels increased soil hydrophobicity. The investigation of the soil moisture characteristic curve showed that increasing the biochar from zero to 5% in all levels of hydrophobicity increased water retention in the soil. An increase of biochar caused the increase of the volumetric moisture in all measuring points, especially in the initial suction of 0 to 100 cm, because the existence of large and medium pores are important in the water flow in the soil in this range of suction, and using biochar increases the large pores and as a result increases the retention of soil water in this suction. Also, adding biochar to the soil increased the moisture in the field capacity, permanent wilting point and soil plant available water. In addition, increasing soil hydrophobicity also reduces water retention in the soil and soil plant available water. This information can be used to manage the application of biochar in soil to reduce soil hydrophobicity.

Keywords: Biochar, hydrophobicity, water droplet penetration test, soil moisture characteristic curve



**Shahrood University of
Technology**

Faculty of Agriculture

M.Sc Thesis in Soil resource management

Effect Of Biochar On Physical Properties Of Water Repellent Soil

By: Zahra Jajarmi

Supervisor:

Dr. Vajiheh Dorostkar. Hadi Ghorbani

Advisor:

Dr. Ali Abbaspour

February, 2021