بررسی کاربرد بالقوه بیوچار بر خصوصیات حفظ آب خاک با بافت‌های مختلف در سازه‌های مهندسی ژئوتکنیک

مقاله علمی – پژوهشی

واحد قیاسی*، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
پریسا مولائی تاری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: V.ghiasi@malayeru.ac

دریافت: ۱٤۰٤/۰۱/۲٤- پذیرش: ۱٤۰٤/۰۵/۰۱
صفحه ۲۸٤-۲۷۱

چکیده

بیوچار یک محصول پایدار غنی از کربن است که از طریق تجزیه در اثر حرارت زیست توده گیاهی و حیوانی به دست می‌آید. خاک اغلب به دلیل ویژگی‌های مفیدی مانند ترسیب کربن، بهبود رشد و عملکرد محصول با افزایش حاصلخیزی خاک، حذف یک آلاینده آلی و معدنی از خاک و بهبود خواص نگهداری آب در خاک، با بیوچار اصلاح می‌شود. اساساً اصلاح خاک با بیوچار خصوصیات نگهداری آب خاک را تغییر می‌دهد. این موضوع در درجه اول به دلیل خواص ذاتی بیوچار است که شامل سطح ویژه بزرگ، توسط منافذ درون ذره و گروه‌های عاملی موجود در سطح بیوچار است. آب خاک برای خاک کشاورزی و خاک در سازه‌های مهندسی ژئوتکنیک یا ژئومحیط زیست به دلیل وجود پوشش گیاهی حیاتی است. اثر بیوچار بر روی آب خاک، خاک کشاورزی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفت. با این حال، به ندرت برای خاک در سازه‌های مهندسی ژئوتکنیک یا ژئومحیط، مانند پوشش دفن زباله، شیب مهندسی زیستی، خاکریز، بام سبز و غیره مورد مطالعه قرار می‌گیرد. خاک در این سازه‌ها از نظر وضعیت تراکم و عمر طراحی در شرایط مشخصی نسبت به خاک کشاورزی قرار دارد. بنابراین، یک جمع‌آوری جامع اطلاعات در مورد تأثیر بیوچار بر روی آب خاک و عوامل کنترل کننده تأثیر بیوچار برای بررسی بالقوه و کاربرد اصلاحیه بیوچار برای خاک در سازه‌های مهندسی ژئوتکنیک یا ژئومحیطزی مورد نیاز است. در این مقاله، با در نظر گرفتن عوامل مختلف کنترل کننده تاثیر بیوچار بر روی آب خاک، اثر اصلاح بیوچار بر روی آب خاک خاک بررسی و خلاصه شده است. بررسی ادبیات نشان داد که اصلاح خاک با بیوچار می‌تواند آب خاک را بهبود بخشد در حالی که موارد کمی بر آب خاک تأثیر نمی‌گذارد. عواملی مانند نوع ماده اولیه و دمای حرارت، اندازه ذرات بیوچار، نوع خاک و حالت تراکم بر تأثیر بیوچار بر روی آب خاک نقش دارند.

واژه‌های کلیدی: پیرولیز، خصوصیات حفظ آب خاک، منافذ درون ذره‌ای، منافذ بین ذره‌ای، بیوچار

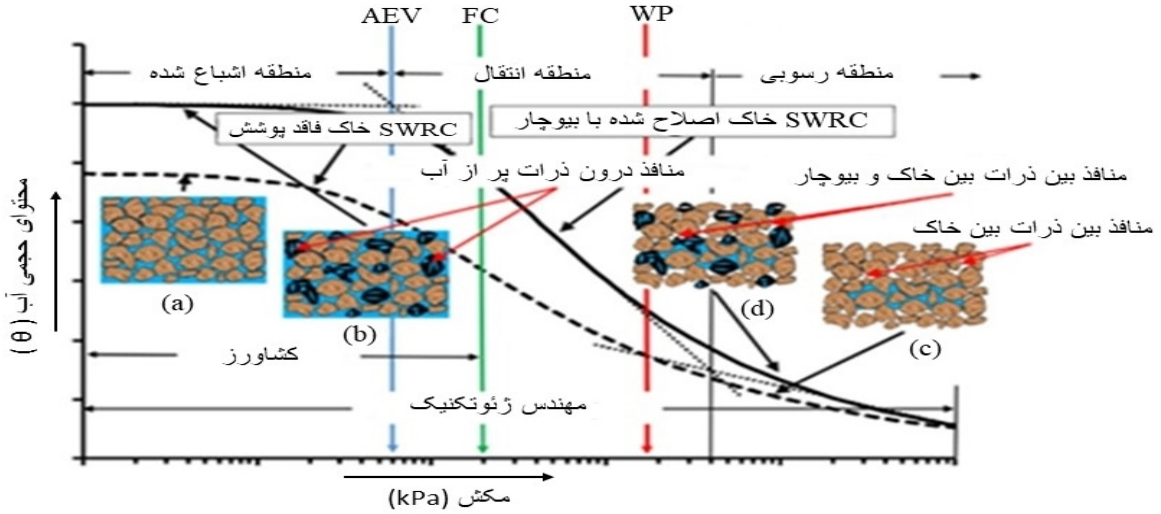
۱-مقدمه

اصلاح خاک با بیوچار به دلیل سازگاری با محیط زیست (از نظر ترسیب کربن)، مقاومت در برابر تخریب میکروبی و بسیاری از جنبه‌های مفید دیگر محبوبیت پیدا کرد. بیوچار یک ماده غنی از کربن (٦۰ تا ۸۰ درصد سانتی‌گراد) است که از طریق تجزیه در اثر حرارت زیست توده (مواد اولیه) در دمایی بین ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد (شایع‌ترین بیوچار گزارش‌شده در این محدوده دمایی) در شرایط کمبود اکسیژن به دست می‌آید (Wong et al,2017). زمانی که فشار آب حفره‌ای خاک افزایش پیدا می کند، تنش موثر خاک صفر می‌شود و تنش کل برابر با فشار آب حفره‌ای می‌شود. در این صورت خاک هیچ مقاومتی از خود نشان نمی‌دهد و ماسه مانند مایع به حالت روان در می‌آید، که باعث خسارت به زمین‌های

دارای پتاسیل روانگرایی می‌شود. در اینصورت برای بهبود پارامترهای مقاومتی خاک نیاز به بهسازی در این گونه خاکها می باشد.(Ghiasi, Najafi,2022)

این بررسی براساس جمع آوری اطلاعات از طریق منابع اسنادی، کتابخانه‌ای، تجربی و روش تحلیل محتوا صورت گرفته است (Ghiasi et al.,2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025). بصورت کلی نتایج حاکی از آن است که برای کنترل این پدیده باید الگوی مصرف آب عوض شود. فاضلاب‌ها تصفیه شده و مجدداً به مصرف کشاورزی برسد. کشاورزی در بعضی نقاط متوقف شود. از کشت محصولات پرآب بر، در مناطق کم آب جلوگیری بعمل آید تمام چاه‌های غیرمجاز بسته و پلمپ شود و برداشت آب زیرزمینی در مناطق ممنوع شود و برنامه نگهداشت ذخیره آب در دستور قرارگیرد.(Ghiasi, dashti famili,2022)

علاوه بر این، بیوچار دارای تخلخل بالا، سطح خاک را کنترل می‌کند. خصوصیات نگهداری آب خاک، رابطه مکش خاک و محتوای آب است. مکش خاک یک متغیر اصلی حالت تنش در رفتار مکانیکی خاک است. در توصیف خاک در ساختارهای مهندسی ژئوتکنیکی یا ژئومحیطی که شامل خاک تا حدی اشباع شده است، درک ویژگی‌های نگهداری آب خاک ضروری است. اصلاح خاک با بیوچار پتانسیل تغییر ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک را دارد (Ahmad et al., 2014). این موضوع به صورت مفهومی در شکل ۱ مشخص شده است(Paetsch et al., 2018).



شکل ۱. نمودار مفهومی نشان دهنده اثر بیوچار بر وضعیت اشباع تا خشک خاک در امتداد ویژگی‌های نگهداری آب خاک (Paetsch et al., 2018)

سطح خاص بزرگ بیوچار به دلیل تخلخل بالا یا وجود منافذ درون ذره‌ای (منافذ درون اسکلت بیوچار،) توزیع اندازه منافذ یا تخلخل کل را در کامپوزیت‌های خاک-بیوچار تغییر می‌دهد(Liu et al., 2017).

علاوه بر این، توزیع اندازه منافذ نیز ممکن است با تغییر منافذ بین ذره‌ای (منافذ بین ذرات بیوچار خاک-خاک یا خاک)، که به اندازه نسبی ذرات بیوچار، بافت خاک و پایداری سنگدانه‌ها بستگی دارد، تغییر کند. خاک تغییر در اندازه منافذ یا تخلخل بر عملکرد مویرگی خاک تأثیر می‌گذارد، در نتیجه ویژگی‌های نگهداری آب خاک را تغییر می‌دهد. توانایی مرطوب، یعنی ویژگی‌های آب دوست یا آبگریز بیوچار، که توسط گروه‌های عاملی سطح (کربوکسیل، هیا) کنترل می‌شود. در بیوچار نیز می‌توانند بر ویژگی‌های نگهداری آب خاک تأثیر بگذارند. که با پارامترهایی مانند نوع ماده اولیه و شرایط پیرولیز تعیین می‌شود(Tan et al., 2018).

در گذشته نه چندان دور، اثر بیوچار بر روی ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک کشاورزی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. برخی از محققین گزارش کردند که ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک اصلاح شده با بیوچار با ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک اصلاح نشده متفاوت است در حالی که برخی دیگر هیچ تغییری در ویژگی‌های نگهداری آب خاک به دلیل افزودن بیوچار گزارش نکردند.

با این حال، اثر بیوچار بر روی ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک در سازه‌های مهندسی ژئوتکنیک یا ژئومحیط‌زیست به ندرت مورد مطالعه قرار می‌گیرد (Yargicoglu et al., 2015). این سازه‌ها عمدتاً از خاک و پوشش گیاهی تشکیل شده‌اند و پوشش گیاهی عمدتاً پایداری این سازه‌ها را تضمین و کنترل می‌کند. در عین حال، رشد و عملکرد پوشش گیاهی تنها به ویژگی‌های خاک، به ویژه، ویژگی‌های نگهداری آب خاک، یعنی وضعیت آب بستگی دارد. در مقایسه، خاک‌ها در سازه‌های مهندسی ژئوتکنیک یا ژئومحیط با تراکم بالا با عمر طراحی طولانی‌تر ۲۰ تا ۳۰ سال آماده می‌شوند و از این رو، تأثیر بیوچار بر روی ویژگی های نگهداری آب خاک خاک در سازه‌های مهندسی ژئوتکنیک یا ژئومحیط می‌تواند متفاوت از خاک کشاورزی. بنابراین، یک بررسی جامع از کار تحقیقاتی گذشته در مورد خاک اصلاح‌شده با بیوچار در مورد ویژگی های نگهداری آب خاک و عوامل مؤثر بر آن برای بررسی بالقوه و کاربرد خاک اصلاح‌شده با بیوچار در سازه‌های مهندسی ژئوتکنیک یا ژئومحیط‌زیست مورد نیاز است Wong (et al., 2017). بنابراین، هدف مقاله مروری حاضر، خلاصه کردن اثر بیوچار بر روی ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک و عوامل کنترل کننده تأثیر بیوچار بر روی ویژگی‌های نگهداری آب خاک است.

۲- خصوصیات بیوچار

بیوچار یک محصول غنی از کربن است که پس از تجزیه در اثر حرارت زیست توده در یک محفظه بسته با اکسیژن کم یا بدون اکسیژن به دست می‌آید. مفهوم اصلاح خاک با بیوچار در منطقه آمازون که به طور محلی به عنوان " terra preta de indio" نامیده می‌شود، سرچشمه گرفته است، جایی که خاک‌های سیاه تیره از طریق تکنیک‌های بریده بریده و ذغال تهیه می‌شدند. نویسندگان مختلف بیوچار را متفاوت تعریف کردند. با این حال، ابتکار بین المللی بیوچار تعریف بیوچار را به عنوان "ماده جامد به دست آمده از تبدیل ترموشیمیایی زیست توده در محیطی با اکسیژن محدود" استاندارد کرد (IBI, 2015). خوراک برای تولید بیوچار از منابع بسیاری مانند چوب سخت، کود حیوانی، پوسته برنج، کاه، باگاس، بامبو، بقایای گیاهی، ضایعات جامد شهری و غیره تشکیل شده است. مواد آلی زنده یا اخیراً زنده مواد اولیه گیاهی عمدتاً از سه جزء اصلی مانند سلولز، همی سلولز و لیگنین تشکیل شده است که به تدریج در طی پیرولیز تجزیه می‌شود. فرآیندهای تبدیل ترموشیمیایی برای تولید بیوچار شامل گازی شدن و پیرالیز می‌باشد. فرآیند پیرولیز مانند پیرولیز آهسته و سریع به طور معمول برای تولید بیوچار استفاده می‌شود، جایی که پیرولیز آهسته برای تولید بیوچار بیشتر (۱۵ تا ۸۹ درصد) موثر است و پیرولیز سریع به نفع تولید روغن زیستی است (تان و همکاران، ۲۰۱۵). خواص فیزیکی (مانند توزیع اندازه ذرات، وزن مخصوص، چگالی، تخلخل و مساحت سطح) و خواص شیمیایی (مانند pH، هدایت الکتریکی، پتانسیل زتا، کربن آلی، PAH، فلز سنگین، ترکیب عنصری (C، H و N)، و محتوای مواد مغذی (P، Na، K، Ca و Mg)) بیوچار بسته به نوع ماده اولیه، دمای تجزیه در اثر حرارت و فرآیند پیرولیز، یعنی سریع یا آهسته متفاوت است(Fredlund et al., 2012).

در میان مواد اولیه گیاهی، تجزیه در اثر حرارت توده زیستی چوب سخت، محتوای کربن بالاتری را در مقایسه با سایر مواد اولیه گیاهی ایجاد می‌کند. محتوای فراوان لیگنوسلولز در زیست توده چوب سخت منجر به محتوای کربن بالاتر پس از تجزیه در اثر حرارت می‌شود (Abel et al., 2013). در حالی که، بیوچار مشتق شده از کود حیوانی نشان داده شده است که محتوای مواد مغذی (N، P، K) و ظرفیت تبادل کاتیونی در مقایسه با بیوچار به دست آمده از خوراک گیاهی بالاتری دارد. افزایش دمای پیرولیز بیوچار باعث افزایش غلظت مواد مغذی، تخلخل، محتوای سطح خاص، کربن و در نتیجه کاهش غلظت O و H، بهبود pH و کاهش غلظت مواد فرار می‌شود. افزایش سطح خاص با دمای پیرولیز به دلیل شکستن گروه‌های آلکیل و استر آلیفاتیک است که باعث از بین رفتن مواد فرار (سلولز و همی سلولز) و در نتیجه تشکیل ساختارهای کانال یا ریز منافذ (منافذ درون ذره) می‌شود. با این حال، سطح خاص بیوچار تولید شده از کود حیوانی و ضایعات جامد به دلیل عدم وجود ترکیب لیگنوسلولزی کمتر تحت تأثیر دمای تجزیه در اثر حرارت قرار می‌گیرد. در واقع، سطح خاص کمتری را در مقایسه با بیوچار گیاهی که در دمای بالا معادل آن پیرولیز می‌شود، نشان می‌دهد. افزایش pH با افزایش دمای پیرولیز می‌تواند به دلیل آزاد شدن مواد مغذی یا نمک‌های قلیایی در طول فرآیند گرمایش باشد(Liu et al., 2017).

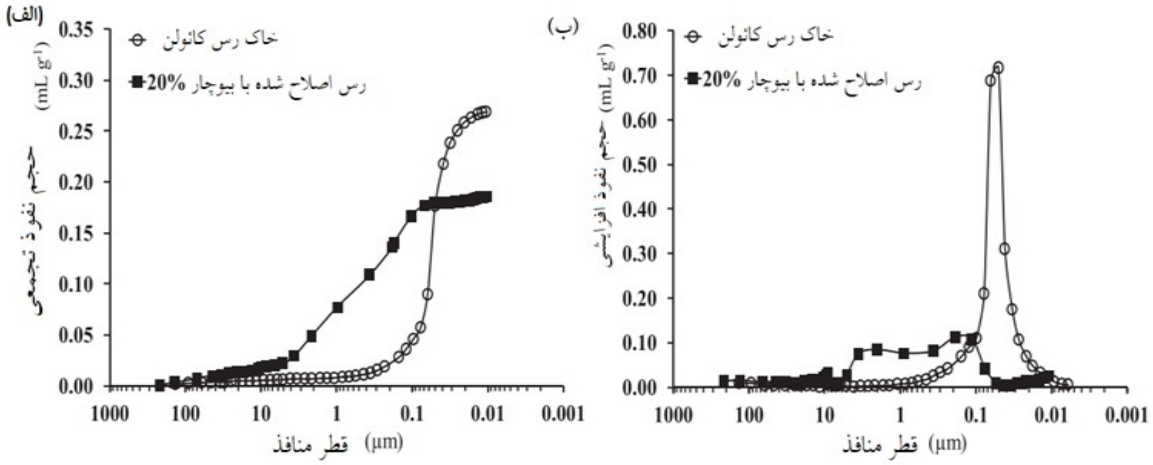
ظرفیت تبادل کاتیونی نشان دهنده بار سطحی منفی بیوچار است و ممکن است با دمای تجزیه در اثر حرارت بسته به گروه‌های عملکردی با بار منفی خالص موجود در بیوچار کاهش یا کاهش یابد. علاوه بر این، کاربردهای متنوع و پایداری بیوچار و شرایط تجزیه در اثر حرارت تعیین می‌شود. به عنوان مثال، بیوچار پیرولیز شده در دمای بالا (> ۴۰۰ درجه سانتی گراد) برای جذب آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین ترسیب کربن و بهبود خواص خاک به دلیل برای جفت گیری

منافذ سطح بالا و درون ذره با تخریب بیشتر مواد فرار در دمای بالا مناسب است. علاوه بر این، الکترواستاتیک در کشش بین سطح بیوچار باردار و آلاینده یونی با دمای تجزیه در اثر حرارت تغییر می‌کند و می‌تواند به دلیل تغییر گروه‌های عاملی بیوچار مسئول عمل بار با دما باشد. به طور مشابه، بیوچار پیرولیز شده در دمای پایین به دلیل کاهش کمتر مواد فرار در دمای پایین برای رشد پوشش گیاهی مناسب است. بنابراین، انتخاب ماده اولیه مناسب و دمای تجزیه در اثر حرارت از طریق خصوصیات قبل از کاربرد در یک هدف خاص بسیار مهم است. (Paetsch et al., 2018)

۳- تأثیر بیوچار بر خصوصیات حفظ آب خاک

۳-۱- مفهوم اساسی در مورد تغییر ویژگی‌های نگهداری آب خاک با اصلاح بیوچار

منحنی حفظ آب خاک را می‌توان به سه حوزه یا ناحیه (شکل ۱) تقسیم کرد که عبارتند از: منطقه اشباع، منطقه انتقال، و منطقه باقیمانده. این حوزه‌ها با برخی پارامترها تعریف می‌شوند، به عنوان مثال، منطقه اشباع شده با محتوای آب اشباع (θs) و مقدار ورودی هوا تعریف می‌شود، منطقه انتقال با شیب "n" (یعنی نرخ اشباع یا اشباع) تعریف می‌شود. در خشک کردن و مرطوب کردن)، و منطقه باقیمانده با محتوای آب باقیمانده (θr) تعریف می‌شود. اصلاح خاک با بیوچار می‌تواند به طور جداگانه این پارامترها را تغییر دهد. همانطور که در شکل ۱ مشخص شده است، اصلاح خاک با بیوچار می‌تواند تخلخل را به دلیل وجود منافذ درون ذره‌ای در بیوچار تغییر دهد. با این حال، افزایش یا کاهش تخلخل کل به تأثیر بیوچار بر اندازه منافذ بین ذره‌ای بستگی دارد (شکل ۱) Paetsch et al., 2018). اندازه منافذ بین ذرات توسط اندازه نسبی ذرات بیوچار کنترل می‌شود.



شکل ۲. نتایج MIP خاک رس کائولن و رس اصلاح شده با بیوچار، (الف) حجم نفوذ تجمعی و (ب) حجم نفوذ افزایشی (Wong et al, 2018)

ونگ و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر بیوچار بر تخلخل و توزیع اندازه منافذ خاک رسی را با استفاده از آزمون تخلخل سنجی نفوذ جیوه بررسی کرد. نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است. از شکل ۲(الف) می‌توان مشاهده کرد که خاک رس اصلاح نشده دارای حجم جیوه نفوذی تجمعی بالاتری است (۰,۲۷ میلی لیتر در گرم در ۱) در مقایسه با ۲۰٪ (وزنی/وزنی) اصلاح شده با بیوچار. خاک رس (۰,۱۸ میلی لیتر گرم-۱). این مطلب نشان دهنده کاهش حجم کل منافذ یا تخلخل خاک رس پس از افزودن بیوچار است. در مطالعه دیگری با استفاده از آزمون تخلخل سنجی نفوذ جیوه، محققان افزایش تخلخل کل رس سیلتی را با افزایش نرخ اصلاح بیوچار (تا ٦ درصد وزنی بر وزن) گزارش کردند (Sun and Lu, 2014). افزایش یا کاهش تخلخل کل (بسته به نوع خاک) در خاک اصلاح‌شده با بیوچار می‌تواند θs را به روش مشابه افزایش یا کاهش دهد زیرا θs یک نمایش غیرمستقیم تخلخل کل است. اصلاح خاک با بیوچار نیز می‌تواند توزیع اندازه منافذ خاک را تغییر دهد.

افزایش اندازه کوچکتر (در مقایسه با منافذ بین ذره‌ای) منافذ درون ذره‌ای در خاک و تغییرات در اندازه منافذ بین ذرات پس از افزودن بیوچار منجر به تغییر در توزیع اندازه منافذ می‌شود. افزودن ۲۰ درصد (وزن / وزن) بیوچار در یک خاک رس کائولن، توزیع اندازه منافذ خاک رس را از منافذ غالب ۰,۰۵-۰,۰٦ میکرومتر به منافذ ۰,۱-٤ میکرومتر تغییر داد،

یعنی اندازه منافذ را افزایش داد (شکل ۲-ب). به طور مشابه، برخی محققان افزایش تعداد ریز منافذ، مزوپورها و ماکرو منافذ را بسته به نوع بیوچار ذکر کردند که سه بیوچار مختلف مانند بیوچار نی (SB)، بیوچار تراشه‌های چوب (WCB) و بیوچار لجن فاضلاب (WSB) با خاک رس سیلتی اصلاح شدند.(Sun and Lu, 2014)

علاوه بر این، اصلاح خاک با بیوچار فراوانی و فعالیت میکروبی را افزایش می‌دهد. میکروب‌ها در منافذ یا سطح بیوچار زندگی می‌کنند و از مواد مغذی (N، P، K، Mg و Na) یا گاهی اوقات ترکیبات معطر موجود در بیوچار برای رشد خود استفاده می‌کنند. در نتیجه، تغییراتی در توزیع اندازه منافذ به دلیل پر شدن یا مسدود شدن منافذ ممکن است رخ دهد. هنگامی که خاک با بیوچار اصلاح می‌شود، تغییر در اندازه منافذ یا توزیع اندازه منافذ بر عملکرد مویرگی خاک تأثیر می‌گذارد، بنابراین مقدار ورودی هوا را تغییر می‌دهد. علاوه بر این، پارامتر یا شیب "n" که به توزیع اندازه منافذ بستگی دارد نیز می‌تواند با تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک تغییر کند. در ناحیه باقیمانده که مکش بالاتری ایجاد می‌شود، آب از منافذ بین ذره‌ای خارج می‌شود.

با این حال، منافذ درون ذره مقداری آب را در خود نگه می‌دارد که می‌تواند θr خاک را افزایش دهد Wong et al., (2017). این به دلیل چسبندگی محکم آب در منافذ درون ذره‌ای به دلیل عملکرد مویرگی یا مکش بیشتر توسط منافذ درون ذره‌ای با اندازه کوچکتر در مقایسه با منافذ بین ذره‌ای با اندازه بزرگ در خاک است. بنابراین، منافذ درون ذره‌ای در بیوچار و اندازه نسبی ذرات بیوچار می‌تواند به شدت به تغییر ویژگی‌های نگهداری آب خاک کمک کند. با این حال، تعداد و بزرگی منافذ درون ذره در بیوچار با نوع ماده اولیه، دمای تجزیه در اثر حرارت و سن بیوچار متفاوت است. به طور مشابه، ویژگی‌های ترشوندگی و نرخ اصلاح بیوچار نیز به همان اندازه برای تغییر ویژگی‌های نگهداری آب خاک مهم هستند. علاوه بر این، تأثیر بیوچار بر روی ویژگی‌های نگهداری آب خاک نیز ممکن است تحت تأثیر وضعیت تراکم و بافت یا نوع خاک باشد (Ajayi and Horn, 2016). از این رو، تأثیر بیوچار بر روی ویژگی‌های نگهداری آب خاک با در نظر گرفتن عوامل مرتبط ذکر شده در بالا در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد.

۳-۲- نوع خاک یا بافت خاک

در عمل مهندسی، خاک‌ها به عنوان خاک ریزدانه (خاک رس (< ۲ میکرومتر) و سیلت (۲-۷۵ میکرومتر)) و خاک درشت دانه (ماسه (۷۵ میکرومتر -٤,۷۵ میلی متر) و شن (بیش از ٤,۷۵ میلی متر)) طبقه بندی می‌شوند. بر اساس توزیع اندازه دانه و محدودیت‌های آتربرگ. خاک‌های درشت دانه از نظر طبیعت بسیار متخلخل هستند، در حالی که خاک‌های دانه ریز تخلخل کمتری دارند. خاک‌های ریزدانه، به‌ویژه رسی، عموماً در مقایسه با خاک‌های درشت دانه، احتباس آب بیشتری دارند (Santamarina et al., 2002). ذرات رس با بار منفی با سطح خاص بالا به دلیل اندازه ذرات کوچکتر، آب بیشتری را جذب می‌کنند که منجر به حفظ آب بیشتر می‌شود. انتظار می‌رود که اثر بیوچار بر حفظ آب خاک در انواع مختلف خاک، به عنوان مثال، در خاک ریزدانه (چسبنده) و خاک درشت دانه (غیر چسبنده) متفاوت باشد(Lim et al., 2017).

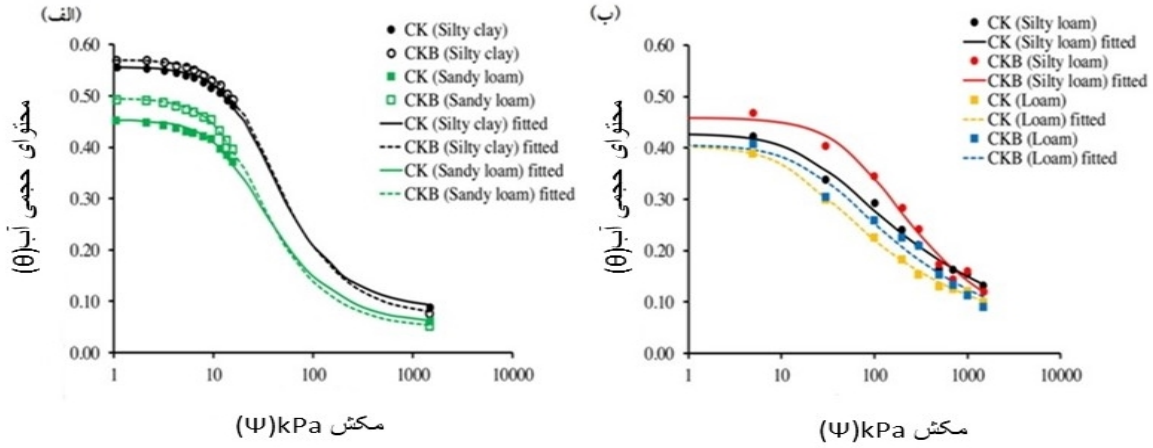
در ادبیات، گزارش شده است که اصلاح خاک درشت دانه با بیوچار باعث افزایش احتباس آب می‌شود. برخلاف خاک ریزدانه (رس)، خاک درشت دانه به دلیل ترکیب معدنی خنثی‌شده، فاقد بار سطحی یا ناچیز است. افزودن بیوچار با بار سطحی (منفی یا مثبت) و داشتن منافذ درون ذره در خاک دانه درشت، اندازه منافذ بین ذرات (ماکرو منافذ) را با پر کردن با بیوچار یا خاک کاهش می‌دهد. ذرات را جذب می‌کند و آب را هم در منافذ درون ذره‌ای و هم در منافذ بین ذره‌ای جذب می‌کند. کاهش اندازه منافذ بین ذرات باعث افزایش عملکرد مویرگی و در نتیجه افزایش احتباس آب می‌شود. بزرگی و تعداد منافذ درون ذره در بیوچار به نوع ماده اولیه بیوچار، دمای تجزیه در اثر حرارت و اندازه ذرات بستگی دارد (Spokas et al., 2014). علاوه بر این، اندازه ذرات بیوچار تأثیر زیادی بر اندازه منافذ بین ذره‌ای دارد، به عنوان مثال، ذرات بیوچار کوچکتر (نسبت به ذرات خاک) شانس بیشتری برای کاهش اندازه منافذ بین ذره‌ای در خاک درشت دانه دارند. بنابراین، اثر بیوچار در خاک درشت دانه با نوع ماده اولیه بیوچار، دمای پیرولیز و اندازه ذرات مرتبط است. اصلاح خاک یا خاک ریزدانه با بیوچار ممکن است منجر به تشکیل کلاندانه شود. نیروی جذب بالاتر ذرات رس به دلیل بار منفی، ذرات بیوچار را به هم متصل می‌کند تا ماکروآگرگگاسیون را تشکیل دهد. تجمع درشت مرتبط با خاک ریزدانه ممکن است تخلخل و در

نتیجه احتباس آب را تغییر دهد یا تغییر ندهد (Wong et al,2017).

بسیاری از محققین خاک اصلاح شده با بیوچار را با در نظر گرفتن نوع یا بافت مختلف خاک مطالعه کرده‌اند. شکل ٤ (الف)، ویژگی‌های نگهداری آب خاکخاک رس سیلتی اصلاح شده با بیوچار و لوم شنی را برجسته می‌کند (Uzoma et al., 2011). داده‌های ارائه شده برای شکل ٤ (الف) افزایش محتوای آب اشباع (θs) و کاهش محتوای آب باقیمانده (θr) برای هر دو نوع خاک، یعنی رس سیلتی و لوم شنی با اصلاح بیوچار است. با این حال، پارامتر "n" (شیب منحنی نگهداری) و AEV (تعریف شده به عنوان یک مقدار مکش خاص که در آن هوا شروع به گیر افتادن در خاک می‌کند) با اصلاح بیوچار برای هر دو نوع خاک یکسان باقی ماندند. مقادیر مکش اندازه گیری شده، یعنی ۱-۱۵ کیلو پاسکال نزدیک به AEV است (جدول ۲)، جایی که خاک اشباع شده در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، نقطه پژمردگی در حالت خشک هوا رخ می‌دهد، که ممکن است برای همیشه صادق نباشد. بنابراین، با مجموعه داده‌های اندازه‌گیری محدود (۱-۱۵ کیلو پاسکال)، ذکر احتباس آب بهبودیافته تا اندازه‌گیری مستمر مجموعه داده بسیاری از محققین به اندازه کافی شایسته نیست. ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک اصلاح شده با بیوچار را با در نظر گرفتن نوع یا بافت مختلف خاک مطالعه کرده‌اند. شکل ٤ (الف) ویژگی های نگهداری آب خاک خاک رس سیلتی اصلاح شده با بیوچار و لوم شنی را برجسته می‌کند (Uzoma et al., 2011).

از شکل می‌توان مشاهده کرد که احتباس آب در هر دو نوع خاک با اصلاح بیوچار افزایش یافته است. افزایش نسبتاً بیشتر در خاک لوم شنی در مقایسه با خاک رس سیلتی مشاهده می‌شود. پارامتر "n" (شیب منحنی نگهداری) و AEV (تعریف شده به عنوان یک مقدار مکش خاص که در آن هوا شروع به گیر افتادن در خاک می‌کند) با اصلاح بیوچار برای هر دو نوع خاک یکسان باقی ماندند.

شکل ٤ (ب) همچنین ویژگی‌های نگهداری آب خاک دو خاک مختلف (لوم سیلتی و لوم) اصلاح شده با بیوچار را نشان می‌دهد (پس از اصلاح). بر اساس پارامترهای برازش، افزایش θs با افزودن بیوچار برای خاک لوم سیلتی قابل مشاهده است. با این حال، هیچ گونه تغییری برای خاک لومی مشاهده نمی‌شود.



شکل ۳. ویژگی های نگهداری آب خاک خاک‌های مختلف اصلاح شده با بیوچار
(الف) (Uzoma et al., 2011) و (ب) (Du et al., 2016)

علاوه بر این، AEV برای هر دو نوع خاک با اصلاح بیوچار افزایش یافت و افزایش در خاک لوم سیلتی برجسته‌تر است. AEV بالاتر نشان‌دهنده تنش اضافی حالت اشباع یا منطقه برای خاک اصلاح‌شده با بیوچار در مقایسه با خاک اصلاح‌نشده است. پارامتر 'n' در خاک لوم سیلتی افزایش و در لوم به دلیل اصلاح بیوچار کمی کاهش یافت.

افزایش 'n' در خاک لوم سیلتی اصلاح شده با بیوچار نشان دهنده زهکشی سریع (غیر اشباع) آب پس از AEV در مقایسه با خاک اصلاح نشده است(Du et al., 2016.).

علاوه بر این، هاردی و همکاران (۲۰۱٤) ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک لومی شنی اصلاح شده با بیوچار را بررسی کرد و گزارش داد که افزودن بیوچار هیچ تاثیر قابل توجهی بر پارامترهای حفظ آب ندارد. مطالعه دیگری توسط ماژور و همکاران (۲۰۱۲) در خاک رسی اصلاح شده با بیوچار نیز نتیجه مشابهی را از عدم تغییر قابل توجه در پارامترهای نگهداری آب به دلیل اصلاح بیوچار ذکر کردند. بنابراین، تاثیر بیوچار بر ویژگی‌های نگهداری آب خاک وابسته به خاک است. علاوه بر این، از ادبیات موجود، مقایسه تأثیر بیوچار بر روی ویژگی‌های نگهداری آب خاک انواع مختلف خاک به دلیل تغییر در نرخ اصلاح بیوچار، دمای تجزیه در اثر حرارت، مدت زمان آزمایش و نوع ماده اولیه دشوار است. از این رو، با در نظر گرفتن همان نوع و نرخ اصلاحی بیوچار و اندازه‌گیری دامنه مکش بالاتر با ابزار دقیق مناسب، تحقیقات بیشتری برای بررسی تأثیر نوع خاک (به‌ویژه بر اساس درصد محتوای ریز) بر ویژگی های نگهداری آب خاک ضروری است.

٤- مقدار یا نرخ اصلاح بیوچار

اثر بیوچار بر ویژگی‌های نگهداری آب خاک به شدت به نرخ اصلاح بیوچار وابسته است. جست‌وجوگران نرخ اصلاح پایینی از biochar را اتخاذ کرده‌اند که گاهی اوقات برای تغییر ویژگی‌های نگهداری آب خاک کافی، در حالی که برخی دیگر نرخ اصلاح بالاتری را در نظر گرفتند که ممکن است برای کاربردهای بزرگ امکان‌پذیر یا مؤثر نباشد، به ویژه، در زمینه کشاورزی، شیب مهندسی زیستی، پوشش دفن زباله و غیره. بنابراین، شناسایی نرخ اصلاح بهینه برای استفاده موثر از بیوچار بسیار مهم است. متون گسترده‌ای در دسترس هستند، که در آن اثر نرخ اصلاح بیوچار بر روی ویژگی‌های نگهداری آب خاک مورد بررسی قرار گرفت. برخی از ادبیات افزایش احتباس آب با نرخ اصلاح بیوچار را مستند کرده‌اند، در حالی که برخی دیگر اثر ناچیز افزایش نرخ اصلاح را بر احتباس آب ذکر کرده‌اند(Du et al., 2016). آبل و همکاران (۲۰۱۳) در حین بررسی ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک شنی اصلاح شده با ۱، ۲,۵ و ۵ درصد (وزن بر وزن) بیوچار مشتق شده از ذرت و چوب راش، افزایش احتباس آب را با افزایش نرخ اصلاح بیوچار مشاهده کردند. افزایش احتباس آب با افزایش نرخ اصلاح را می‌توان به تعداد بیشتر منافذ درون ذره نسبت داد. از آنجایی که افزایش محتوای زغال زایی باعث افزایش تعداد منافذ درون ذره و سطح خاص می‌شود. در نتیجه، احتباس آب افزایش می‌یابد.

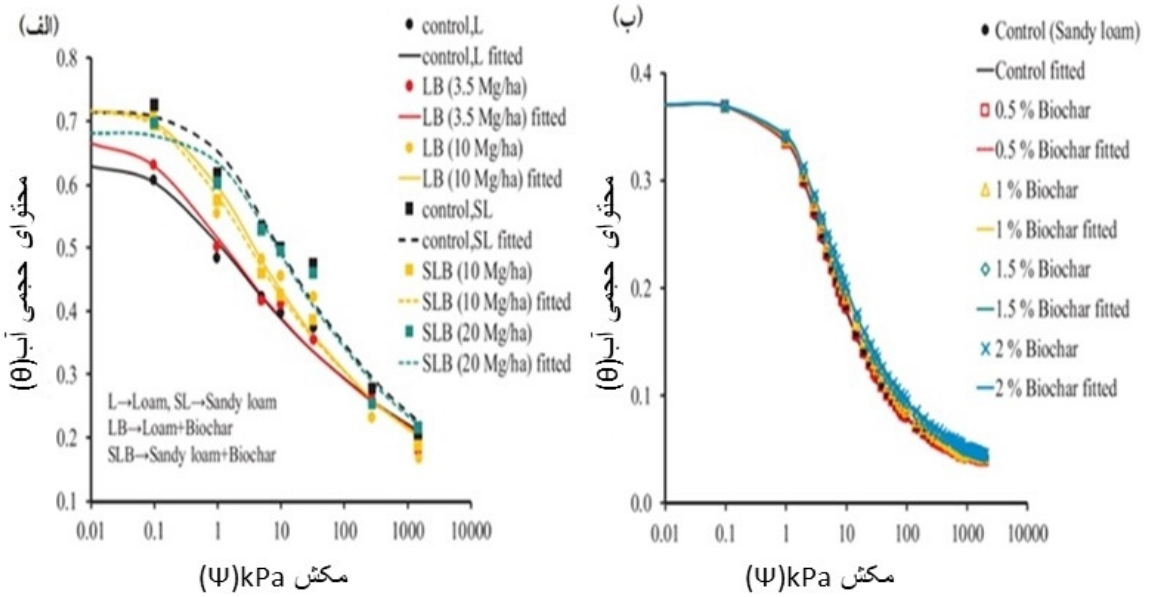
شکل٤ (الف) ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک لومی و خاک لومی شنی اصلاح شده با بیوچار را با نرخ‌های مختلف نشان می‌دهد(Moragues-Saitua et al., 2017). از شکل مشاهده می‌شود که θs در خاک لومی با افزایش نرخ اصلاح به طور قابل توجهی افزایش یافته است، در حالی که تغییری در خاک لومی شنی مشاهده نمی‌شود (در واقع به میزان ۲۰ میلی گرم در هکتار کاهش یافته است. خاک اصلاح شده با بیوچار). علاوه بر این، یک تغییر جزئی در AEV و شیب 'n' نیز می‌تواند به دلیل افزایش نرخ اصلاح مشاهده شود. وونگ و همکاران (۲۰۱۷). در ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک رسی اصلاح شده با ۵٪ و ۲۰٪ (وزنی/وزنی) بیوچار مورد بررسی قرار گرفت و به این نتیجه رسید که اصلاح ۵٪ بیوچار تاثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های نگهداری آب خاک ندارد. با این حال، اصلاح نرخ بالاتر (۲۰٪) به طور قابل توجهی حفظ آب را در مقایسه با خاک اصلاح نشده افزایش داد. در مقابل، برخی محققان در بررسی خواص هیدروفیزیکی خاک اصلاح شده با ۲، ۵ و ۱۰ درصد (وزنی/وزنی) نرخ اصلاح بحرانی ۵ درصد را ذکر کردند که پس از آن افزایش بیشتر محتوای بیوچار افزایش قابل توجهی ندارد. بیوچار. به طور مشابه، شکل ٦(ب) ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک لومی شنی اصلاح شده با بیوچار را به ترتیب در ۰,۵، ۱، ۱,۵ و ۲ درصد (وزنی/وزنی) نشان می‌دهد.

بر اساس پارامترهای برازش، می‌توان مشاهده کرد که θs و AEV برای همه موارد یکسان هستند، در حالی که کاهش جزئی در پارامتر 'n' با افزایش نرخ اصلاح مشاهده می‌شود. کاهش جزئی 'n' به معنی افزایش بسیار کم در احتباس آب است و این می‌تواند به دلیل نرخ اصلاح شده کم (۲٪) بیوچار باشد(Santamarina et al., 2002).

بنابراین، نرخ اصلاح بیوچار تأثیر زیادی بر ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک اصلاح‌شده با بیوچار دارد. تحقیقات بیشتری برای شناسایی نرخ اصلاح بهینه بیوچار برای کاربردهای بالقوه در مقیاس بزرگ در این زمینه مورد نیاز است.

گذر زمان در بیوچار

ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک اصلاح شده با بیوچار ممکن است به طور بالقوه با گذشت زمان یا با سن استفاده از بیوچار تغییر کند. این مطلب می‌تواند به دلیل تغییرات در خصوصیات فیزیکوشیمیایی، مانند اندازه ذرات، تخلخل و ویژگی‌های ترشوندگی بیوچار توسط فرآیند خشک کردن، تر شدن و گرم کردن، ذوب شدن، رشد میکروارگانیسم‌ها و جذب مواد معدنی و آلاینده‌ها با گذشت زمان یا پیری باشد. بازآرایی خاص بیوچار در مزرعه به دلیل فرآیند خشک کردن، خیس شدن یا گرمایش، ذوب در طول زمان ممکن است منجر به تجزیه ذرات بیوچار به ذرات کوچکتر شود (Spokas et al., 2014). در نتیجه، تغییر در تخلخل و از این رو، ویژگی‌های نگهداری آب خاک می‌تواند به دلیل تخریب یا از بین رفتن منافذ درون ذره در طول تجزیه و مسدود شدن منافذ بین ذرات با ذرات ریز رخ دهد (Liu et al., 2017). بنابراین، سن بیوچار به خودی خود با تمام خواص یا عوامل بیوچار که در بخش‌های فرعی قبلی مورد بحث قرار گرفت، مهم یا مرتبط است. دونگ و همکاران (۲۰۱۷) اثر پیری بیوچار را بر خواص فیزیکوشیمیایی خاک پس از اصلاح بیوچار به مدت ۵ سال در یک مزرعه زراعی بررسی کرد. افزایش SSA با کاهش اندازه منافذ و کاهش تقریباً ٤۰ درصدی توده بیوچار پس از ۵ سال پیری در مقایسه با بیوچار تازه مشاهده شد. از طریق یک مطالعه سطح میکروسکوپی، ماخرجی و همکاران (۲۰۱٤) تشکیل ذرات کروی شکل را در منافذ بیوچار با پیری نشان داد که مورفولوژی مشابهی با میکروب‌های کوکوئیدی مانند قطر ۲ تا ۵ میکرومتر نشان می‌دهد. ویژگی‌های ترشوندگی، یعنی آبگریزی یا آب‌گریزی، با سن اصلاح بیوچار کاهش می‌یابد. اوجدا و همکاران (۲۰۱۵) کاهش ٦۹,۵ درصدی زاویه تماس یا آبگریزی بیوچار را پس از ۱ سال اصلاح با خاک ذکر کردند. در بیشتر متون موجود، مدت زمان کمتری (در عرض ۱ سال به جز چند ۵ سال) پیری برای مطالعه اثر پیری بر خصوصیات خاک به دلیل دوره برداشت کمتر (ماه تا یک سال) پوشش گیاهی در کشاورزی در نظر گرفته شده است. خاک با این حال، در عمل مهندسی ژئوتکنیک یا ژئومحیط، عمر طراحی سازه‌ها حداقل از ۲۰ تا ۳۰ سال متغیر است (وال و زایس، ۱۹۹۵). بنابراین، مطالعه طولانی مدت (> ۱ سال) ویژگی‌های نگهداری آب خاک اصلاح شده با بیوچار برای درک اثر پیری بیوچار بر ویژگی‌های نگهداری آب خاک ضروری است. مطالعاتی در دسترس است که در آن اثر پیری بیوچار بر خواص فیزیکوشیمیایی خاک، تولید یا مصرف گازهای گلخانه‌ای و جذب آلاینده مورد بررسی قرار گرفت. با این حال، اثر پیری بر ویژگی‌های نگهداری آب خاک به ندرت در نظر گرفته می‌شود. پاتسچ و همکاران (۲۰۱۸) اثر پیری بیوچار را بر روی ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک لومی اصلاح شده با بیوچار به مدت ۳ سال بررسی کرد. احتباس آب افزایش یافته (که به عنوان آب در دسترس گیاه تعیین می‌شود) در خاک اصلاح شده بیوچار قدیمی در مقایسه با خاک اصلاح شده با بیوچار تازه گزارش شده است. با این حال، مکانیسم افزایش احتباس آب پاک نشد. در واقع، این فرضیه وجود داشت که تشکیل ترک‌ها و شکستگی‌های جدید توسط تکه تکه شدن و تنش‌های مکانیکی چرخه‌های ذوب یخ در طول قرار گرفتن در معرض میدان، اتصال منافذ بیوچار قدیمی را در مقایسه با بیوچار تازه که منجر به افزایش احتباس آب می‌شود، بهبود بخشید. از این رو، مطالعات بیشتری برای درک بهتر اثر پیری بیوچار بر روی ویژگی‌های نگهداری آب خاک با در نظر گرفتن انواع مختلف خاک و بیوچار مورد نیاز است.



شکل ٤. ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک اصلاح شده با biochar در نسبت‌های مختلف (الف) پس از اصلاح Moragues-Saitua et al,2017 و (ب) Ebrahim et al,2013

اهمیت ویژگی‌های نگهداری آب خاک و کاربرد چشم انداز خاک اصلاح شده بیوچار در ساختار مهندسی ژئوتکنیک یا ژئومحیط زیست

سازه‌های مهندسی ژئوتکنیک یا ژئومحیط زیست، مانند پوشش دفن زباله، شیب‌ها و خاکریزهای مهندسی شده زیستی، بام سبز و غیره عمدتاً شامل یا ساخت این سازه‌ها به خاک و پوشش گیاهی متراکم شده نیاز دارد. بر خلاف خاک کشاورزی، خاک در این سازه‌ها برای دستیابی به پایداری ساختاری در حین تحمل پوشش گیاهی با تراکم بالاتری فشرده می‌شود. پوشش گیاهی در این ساختارها از طریق تقویت مستقیم ریشه و فرآیند هیدرولوژیکی (تبخیر و تعرق) پایداری بیشتری ایجاد می‌کند. ریشه‌های گیاهی در خاک به عنوان یک تقویت کننده کششی عمل می‌کنند و با استفاده از استحکام کششی آن، پایداری را بهبود می‌بخشند. (Paetsch et al., 2018)

تعرق تبخیر از طریق پوشش گیاهی باعث مکش در خاک می‌شود که به نوبه خود استحکام و پایداری خاک را افزایش می‌دهد. رشد و توسعه کافی پوشش گیاهی برای ایجاد پایداری بیشتر ضروری است که به خواص خاک، به ویژه ویژگی‌های نگهداری آب خاک بستگی دارد. ویژگی‌های نگهداری آب خاک اطلاعاتی در مورد وضعیت آب در خاک ارائه می‌دهد. جذب آب ریشه توسط ریشه‌های گیاهی عمدتاً به وضعیت آب خاک بستگی داردبه عنوان مثال، هر گونه تغییر در محتوای آب خاک مستقیماً بر جذب آب ریشه و در نتیجه رشد پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، دانش ویژگی‌های نگهداری آب خاک برای نظارت یا حفظ رشد و توسعه کافی پوشش گیاهی حیاتی است. در ادبیات، بیوچار برای بهبود احتباس آب در خاک و ترویج رشد پوشش گیاهی و میکروب‌های مفید در خاک (بیشتر خاک کشاورزی) پس از اصلاح گزارش شده است. بنابراین، خاک اصلاح‌شده با بیوچار می‌تواند به ساختارهای مهندسی ژئوتکنیک و ژئوین محیط، گسترش یابد(Du) et al., 2016).

۵- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، اثر بیوچار بر روی ویژگی‌های نگهداری آب خاک خاک با در نظر گرفتن عوامل مرتبط مختلف کنترل کننده تاثیر بیوچار بر ویژگی‌های نگهداری آب خاک مورد بررسی و خلاصه قرار گرفت. گروه خاصی از محققان قابلیت بیوچار را در بهبود ویژگی‌های نگهداری آب خاک نشان داده‌اند در حالی که برخی دیگر از گروه‌ها به این نتیجه رسیدند که بیوچار تأثیری بر ویژگی‌های نگهداری آب خاک ندارد. به طور خاص با در نظر گرفتن پارامترهای ویژگی‌های نگهداری آب خاک، ظرفیت نگهداری آب (θs)، AEV و محتوای آب در حالت

خشک (θr) به طور قابل توجهی با اصلاح بیوچار بهبود می‌یابد. هر گونه تغییر در ویژگی‌های نگهداری آب خاک به دلیل اصلاح بیوچار عمدتاً به دلیل تغییر در سیستم منافذ (یعنی منافذ درون ذره‌ای و منافذ بین ذره‌ای) و ویژگی‌های ترشوندگی بیوچار است که به نوبه خود توسط عوامل خاک کنترل می‌شود. نوع یا بافت، شرایط تراکم خاک، پایداری خاکدانه‌ها، نوع بیوچار و شرایط پیرولیز، اندازه ذرات بیوچار، سرعت اصلاح و پیری بیوچار. علاوه بر این، همبستگی‌هایی بین خواص بیوچار و پارامترهای ویژگی‌های نگهداری آب خاک توسعه و ارائه شد که پیش‌بینی پارامترهای ویژگی‌های نگهداری آب خاک از برخی خواص بیوچار و خاک شناخته شده را ارائه می‌دهد. بنابراین، مطالعه حاضر دانشی را در مورد رفتار خاک اصلاح‌شده با بیوچار و وابستگی آن به چندین عامل تأثیرگذار ارائه می‌کند که برای گسترش خاک اصلاح‌شده با بیوچار در سازه‌های مهندسی ژئوتکنیک یا ژئومحیط‌زیست مفید خواهد بود.

٦-مراجع

- 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*, 183–191.

-Ahmad, M., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S., Ok, Y.S., (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere 99*, 19–33.

-Ajayi, A.E., Horn, R., (2016). Modification of chemical and hydrophysical properties of two texturally differentiated soils due to varying magnitudes of added biochar. *Soil Tillage Res. 164,* 34–44.

- Dong, X., Li, G., Lin, Q., Zhao, X., (2017). Quantity and quality changes of biochar aged for 5 years in soil under field conditions. *Catena 159,* 136–143.

- Du, Z., Chen, X., Qi, X., Li, Z., Nan, J., Deng, J., (2016). The effects of biochar and hoggery biogas slurry on fluvo-aquic soil physical and hydraulic properties: a field study of four consecutive wheat–maize rotations. *Int. J. Soil Sediment 16 (8),* 2050–2058.

- Fredlund, D.G., Rahardjo, H., Fredlund, M.D., (2012). Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice.

-Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver, G., Close, D., (2014). Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? *Plant Soil 376 (1-2),* 347–361.

-Ibrahim, H.M., Al-Wabel, M.I., Usman, A.R., Al-Omran, A., (2013). Effect of Conocarpus biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. *Soil Sci. 178 (4),* 165–173.

-International Biochar Initiative, 2015. Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar that is used in Soil. *IBI Biochar Standards.*

-Liu, Z., Dugan, B., Masiello, C.A., Gonnermann, H.M., (2017). Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties. *PLoS One 12 (6),* e0179079.

-Moragues-Saitua, L., Arias-González, A., Gartzia-Bengoetxea, N., (2017). Effects of biochar and wood ash on soil hydraulic properties: a field experiment involving contrasting temperate soils.

-Mukherjee, A., Zimmerman, A.R., Hamdan, R., Cooper, W.T., (2014). Physicochemical changes in pyrogenic organic matter (biochar) after 15 months of field aging. *Solid Earth 5 (2),* 693-694.

-Ojeda, G., Mattana, S., Àvila, A., Alcañiz, J.M., Volkmann, M., Bachmann, J., (2015). Are soil–water functions affected by biochar application? *Geoderma 249,* 1–11.

-Ouyang, L., Wang, F., Tang, J., Yu, L., Zhang, R., (2013). Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *J. Soil Sci. Plant Nutr. 13 (4),* 991–1002.

-Paetsch, L., Mueller, C.W., Kögel-Knabner, I., Lützow, M., Girardin, C., Rumpel, C., (2018). Effect of in-situ aged and fresh biochar on soil hydraulic conditions and microbial C use under drought conditions. *Sci. Rep-UK 8 (1),* 6852.

-Santamarina, J.C., Klein, K.A., Wang, Y.H., Prencke, E., (2002). Specific surface: determination and relevance. *Can. Geotech. J. 39 (1),* 233–241. 1310.

-Spokas, K.A., Novak, J.M., Masiello, C.A., Johnson, M.G., Colosky, E.C., Ippolito, J.A., Trigo, C., (2014). Physical disintegration of biochar: an overlooked process. *Environ. Sci. Tech. Let. 1 (8),* 326–332.

Ghiasi, V. and Mostafaeifar, A. (2023). Assessment of the effects of geosynthetics on geotechnical soils behavior. *Road,* 31(115), 67-80.
doi: 10.22034/road.2022.323429.2015
-Ghiasi, V. and Najafi, F. (2022). Investigation of liquefiable soils improvement methods. *Road,* 30(110), 41-56.
doi: 10.22034/road.2023.112863
-Ghiasi, V., Koushki, M. Numerical and artificial neural network analyses of ground surface settlement of tunnel in saturated soil. *SN Appl. Sci. 2,* 939 (2020).
doi:10.1007/s42452-020-2742-z
-Ghiasi, V., Ghiasi, S. and Prasad, A. (2012). Evaluation of tunnels under squeezing rock condition. *Journal of Engineering, Design and Technology,* Vol. 10 No. 2, 168-179.
doi:10.1108/17260531211241167
-Ghiasi, V., Ghasemi, S.A.R. & Yousefi, M. (2021). Landslide susceptibility mapping through continuous fuzzification and geometric average multi-criteria decision-making approaches. *Nat Hazards 107,* 795–808.
doi:10.1007/s11069-021-04606-y
-Ghiasi, V., & Mozafari, V. (2018). Seismic response of buried pipes to microtunnelling method under earthquake loads. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering,* 113, 193-201.
doi:10.1016/j.soildyn.2018.05.020
-Ghiasi, V., & Moradi, M. (2018). Assessment the effect of pile intervals on settlement and bending moment raft analysis of piled raft foundations. *Geomechanics and Engineering,* 16(2), 187–194.
doi:10.12989/GAE.2018.16.2.187
-Ghiasi, V., Omar, H., & Huat, B. K. (2009). A study of the weathering of the Seremban granite. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering,* 14(9).
-Ghiasi, V., & Eskandari, S. (2023). Comparing a single pile's axial bearing capacity using numerical modeling and analytical techniques. *Results in Engineering,* 17, 100893.
doi:10.1016/j.rineng.2023.100893
-Ghiasi, V., Heydari, F. and Behzadinezhad, H. (2021). Numerical analysis and back calculation for embankment dam based on monitoring results (Case study: Iran-Lurestan Rudbar). *Scientia Iranica,* 28(5), 2519-2533.
doi: 10.24200/sci.2021.56159.4579
-Mousapoor, E., Ghiasi, V., & Madandoust, R. (2020, October). Macro modeling of slab-column connections in progressive collapse with post-punching effect. *In Structures, Elsevier,* Vol. 27, 837-852.
doi:10.1016/j.istruc.2020.06.025
-Sun, F., Lu, S., (2014). Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore□space properties of clayey soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci. 177 (1),* 26–33.
- Tan, Z., Zou, J., Zhang, L., Huang, Q., (2018). Morphology, pore size distribution, and nutrient characteristics in biochars under different pyrolysis temperatures and atmospheres. *J. Mater. Cycl. Waste 20 (2),* 1036–1049.
- Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Zahoor, A., Nishihara, E., (2011). Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *J. Food Agric. Environ. 9 (3-4),* 1137–1143.
- Wong, M.H., (2017). Soil-water retention behavior of compacted biochar-amended clay: a novel landfill final cover material. *Int. J. Soil Sediment 17 (3),* 590–598.
-Yargicoglu, E.N., Sadasivam, B.Y., Reddy, K.R., Spokas, K., (2015). Physical and chemical characterization of waste wood derived biochars. *Waste Manage.* 36, 256–268.
-Ghiasi, V., dashti famili, S. (2022). A review of the factors that cause Sinkhole and the effect of soil type on its formation. *Road.*
doi: 10.22034/road.2022.323699.2017
-Ghiasi, V., Najafi, F. (2022). Investigation of liquefiable soils improvement methods. *Road,* 30(110), 41-56.
doi: 10.22034/road.2023.112863
Ghiasi, V. and Madah, S. (2024). Investigation of Increasing Shear Strength of Dispersive Clays Using Additives. Road, 32(121), 361-384.
doi: 10.22034/road.2022.324512.2023
Ghiasi, V. and Nazhdghorbani, A. (2024). An Overview of the Use of Fly Ash for Soil Stabilization. Road, 32(120), 455-488.
doi: 10.22034/road.2022.333556.2034
Ghiasi, V. and Kamalabadi Farahani, M. (2024). Feasibility Study of Soil Pollution Removal Using the Electrokinetic Method. Road, 32(119), 507-528.
doi: 10.22034/road.2022.323983.2018
Ghiasi, V. and Eskandari, S. (2024). Improvement of Alluvial Soils Using Cement Injection Method. Road, 32(118), 209-232.
doi: 10.22034/road.2022.323689.2016
-Ghiasi, V. and Zakavi, I. (2023). Geosynthetics of Stone Columns- A Review. *Road*, 31(117), 143-170.
doi: 10.22034/road.2022.333550.2033
-Ghiasi, V., Haghtalab Joraghani, M. and Rashno, S. (2023). An Overview of Chemical Soil Stabilization Methods. *Road,* 31(116), 151-166.
doi: 10.22034/road.2022.312705.1988

-Ghiasi, V., Alborzi Moghadam, M. and Koushki, M. (2022). Optimization of Invasive Weed for Optimal Dimensions of Concrete Gravity Dams. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 6(4), 95-111.
doi: 10.22115/scce.2022.340697.1432

-Ghiasi, V., Smaeili, K. and Arzjani, D. (2021). Pile- Tunnel Interaction in Subway Tunnels under Seismic Loads. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 51(104), 149-157.
doi: 10.22034/jcee.2020.9813

–Ghiasi, V. and Koushki, M. (2021). Numerical investigation of ground surface settlement due to circular tunnelling influenced by variations of geometric characteristics of tunnel and mechanical properties of saturated soil and its prediction in the artificial neural network. *Journal of Modeling in Engineering*, 19(64), 27-39.
doi: 10.22075/jme.2019.18022.1735

–Ghiasi, V., Jalalvand, A., & Saeidijam, S. (2014). Diaphragm Wall-Tunnel Interaction in Saturated Soil. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 19.

–Ghiasi, V., Omar, H., Yusoff, Z. B. M., Huat, B. K., Muniandy, R., & Alias, M. N. (2010). A New Model of Microcracks Propagation in Granite Rock. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(1), 1-23.

–Rahimpour, H., Ghiasi, V., Fahmi, A., & Marabi, Y. (2023). Geopolymer vs ordinary portland cement: review of the 3-d printing of concrete. *Applied Engineering and Technology*, 2(2), 133-152. **doi:10.31763/aet.v2i2.1010**

–Ghiasi, V., & Yousefi, M. (2020). Development of Prediction-Area charts to improve the output of landslide potential models. *Modares Civil Engineering Journal*, 20(6), 127-131.

–Ghiasi, V. (2012). Effects of Weak Rock Geomechanical Properties on Tunnel Stability (Doctoral dissertation, U*niversiti Putra Malaysia).*

–Ghiasi, V., & Farzan, A. (2020). Numerical Study of the Effects of Groundwater and Bed Resistance Conditions on the Behavior of Geosynthetic Soil Walls.

-Ghiasi, V. and Azami, M. (2022). Earth Dam Behavior under Earthquake Movements- An Overview. *Reliability Engineering and Resilience*, *4*(1), 1-30.
doi: 10.22115/rer.2022.340458.1046

-Ghiasi, V. and Sohrabi, F. (2022). Optimization of the Bearing Capacity of Shallow Foundation. *Reliability Engineering and Resilience*, 4(2), 1-17.
doi: 10.22115/rer.2022.360789.1049

– Ghiasi, V., Omar, H., Rostami, J., Yusoff, Z. B. M., Ghiasi, S., Huat, B. K., & Muniandy, R. (2011). Geotechnical and geological studies of NWCT tunnel in Iran focusing on the stabilization analysis and design of support: A case study. *Scientific Research and Essays*, 6(1), 79-97.
doi: 10.5897/sre10.704

–Ghafari, M., Nahazanan, H., Yusoff, Z.M. et al. (2021). Effect of soil cohesion and friction angles on reverse faults. *Earthq. Eng. Eng. Vib. 20*, 329–334.
doi:10.1007/s11803-021-2023-x

–Pourkeramat, P., Ghiasi, V. & Mohebi, B. (2021). The Effect of Post-Earthquake Fire on the Performance of Steel Moment Frames Subjected to Different Ground Motion Intensities. *Int J Steel Struct 21*, 1197–1209.
doi:10.1007/s13296-021-00496-9

–Ghiasi, V., Farzan, A. (2019). Numerical study of the effects of bed resistance and groundwater conditions on the behavior of geosynthetic reinforced soil walls. Arab J Geosci 12, 729.
doi:10.1007/s12517-019-4947-2.

–Ghiasi, V., & Omar, H. (2011). Analysis of shotcrete lining of underground tunnels. Pertanika Journal of Science & Technology, 19(2), 249-257.

–Ghiasi, V., Ghiasi, S., Omar, H., Ebrahimi, B., & Ghiasi, M. (2010, March). A review of metro tunnel safety parameters and role of risk management, Tehran Metro. *In Fourth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Frankfurt am Main, Germany*, 511-515.

–Ghiasi, V., Omar, H., Kim Huat, B.B., Muniandi, R., Zainuddin, B. and Yusof (2011). Risk management overview of tunnels using numerical modeling. *Journal of Engineering, Design and Technology*, Vol. 9 No. 1, 110-124.
doi:10.1108/17260531111121495

–Ghiasi, V., Valipour, M. R., Mohammadirad, A. R., & Baharipour, S. (2013). Methods of retrofitting the foundation of unreinforced masonry buildings. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18, 5747-5758.

-Jafarzadeh Marandi, M., Ghiasi, V., & Badv, K. (2023). Numerical Evaluation of Two-dimensional Multi-layer Cover System to Regulate Acid Mine Drainage of Tailing Dams. *International Journal of Engineering*, 36(10), 1839-1856.

-Ghiasi, V., Pauzi, N. I. M., Karimi, S., & Yousefi, M. (2023). Landslide risk zoning using support vector machine algorithm. *Geomechanics and Engineering*, 34(3), 267–284.
doi:10.12989/GAE.2023.34.3.267

-Ghiasi, V. and Azami, M. (2022). An Overview of Earth Dam behavior Under Earthquake Movements. *New Approaches in Civil Engineering*, *6*(3), 1-31.
doi: 10.30469/jnace.2022.166901
-Ghiasi, V., Mousapoor, E. and madandoust, R. (2021). The effect of compressive membrane force and surrounding slabs on the behavior of flat slab structures in progressive collapse. *Journal of Structural and Construction Engineering,* 8(8), 128-143**.**
doi: 10.22065/jsce.2020.240430.2197

-Ghiasi, V., Mahmoodi, A. and Yousefi, M. (2023). Landslide risk potential mapping by using continuously-weighted spatial criteria and convolution artificial neural network. *Scientia Iranica.*
doi: 10.24200/sci.2023.60988.7088
-Ghiasi, V., Marabi, Y., Fahmi, A., Maleki, H. R., & Rahimpour, H. (2025). Compressive strength of geopolymer brick samples based on sand-washing waste with different particle sizes. *Advances in Materials Research,* 14(1), 31–42.
doi:10.12989/amr.2025.14.1.031

Evaluating Biochar's Role in Improving Soil Water Retention for Geotechnical Structures

Vahed Ghiasi, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil and Architecture Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.

Prisa Molai Tari, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil and Architecture Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.

E-mail: v.ghiasi@malayeru.ac.ir

Received: May 2025- Accepted: August 2025

ABSTRACT

Biochar is a carbon-rich, sustainable material produced through the thermal decomposition of plant and animal biomass. It is commonly applied to soil because of its advantageous properties, including carbon sequestration, enhanced crop growth and yield through improved soil fertility, removal of organic and inorganic contaminants, and increased soil water retention. The addition of biochar alters the soil water retention characteristics (SWRC), largely due to its inherent features such as high specific surface area from internal pores and functional groups on its surface. SWRC plays a crucial role not only in agricultural soils but also in soils used for geotechnical and geoenvironmental engineering applications where vegetation is present. While the impact of biochar on SWRC in agricultural soils has been widely researched, there is limited study on its effects in geotechnical or geoenvironmental structures such as landfill covers, bioengineered slopes, embankments, and green roofs. These engineered soils often face unique conditions related to compaction and design life, distinguishing them from agricultural soils. Therefore, a comprehensive understanding of how biochar influences SWRC and the factors that govern its effects is necessary to evaluate its potential applications in these contexts. This article reviews and synthesizes findings on the influence of biochar on SWRC, considering key factors such as feedstock type and pyrolysis temperature, biochar particle size, soil type, and compaction level. The literature indicates that biochar generally enhances SWRC, though some studies report negligible effects.

Keywords: Pyrolysis, Soil Water Retention Properties, Intra-Particle Pores, Inter-Particle Pores, Biochar