

بررسی مقاومت برشی خاک کشاورزی تحت تأثیر فرآیند یخبندان و ذوب

مجتبی جابری معز^۱، علی جعفری^{۲*}، علیرضا کیهانی^۳، مهدی شرفا^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

۲. استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۴. دانشیار، گروه خاک‌شناسی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۲۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۲/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۲/۱۲)

چکیده

خاک به‌عنوان بستر تولید محصولات زراعی و باغی یکی از مهم‌ترین عوامل تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. خاک از ذرات ریز خاک‌دانه‌ها تشکیل شده است که فضای بین این ذرات توسط آب یا هوا پر شده است. وجود ترکیب مناسب ذرات خاک، آب و هوا برای رشد محصولات کشاورزی لازم و ضروری است. یکی از عوامل طبیعی که باعث بهبود ساختمان خاک می‌گردد فرآیند یخبندان و ذوب می‌باشد. فرآیند یخبندان و ذوب برخی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک را تغییر می‌دهد. به منظور بررسی اثر فرآیند یخبندان و ذوب بر روی استحکام برشی خاک آزمایش‌هایی بر روی نمونه‌های خاک تحت تأثیر یخبندان و ذوب انجام گرفت. در این پژوهش دمای ۱۰- سانتی‌گراد برای یخبندان خاک با دو سطح رطوبتی ۱۰ و ۱۵ درصد با سه سطح دانسیته به عنوان متغیر در نظر گرفته شد و استحکام برشی خاک به عنوان متغیر وابسته مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها بیانگر این مطلب است که فرآیند یخبندان و ذوب باعث کاهش استحکام برشی خاک می‌گردد. در دامنه تغییرات چگالی در این پژوهش، هر اندازه چگالی خاک افزایش یافت، اثر یخبندان و ذوب بر کاهش استحکام برشی خاک بیشتر شد. کاهش مقاومت برشی در برخی نمونه‌ها بیش از ۴۰ درصد بود. با کاهش مقاومت برشی خاک، نیرو و توان لازم برای برش خاک در نتیجه نیرو توان لازم جهت انجام خاک‌ورزی در زمین‌های زراعی پس از فرآیند یخبندان و ذوب کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت برشی خاک، دما، رطوبت، دانسیته

مقدمه

افزایش حجم خاک یخ زده مناسب است. ذرات خاک فاقد پوشش گیاهی در اثر تکرار پدیده انجماد و ذوب ساختمان مناسبی پیدا کرده که می‌توان آن را به شخم ناشی از یخبندان تعبیر کرد. از طرفی با ظهور پدیده یخبندان، آب لایه‌های زیرین تحت شرایط خاک به سمت لایه یخ زده حرکت کرده و با گرم شدن هوا رطوبت خاک در معرض هوا قرار گرفته و امکان از دست رفتن رطوبت افزایش می‌یابد. لذا از لحاظ حفظ رطوبت نیز پدیده یخبندان در مناطق کم‌آب بسیار حایز اهمیت است. در مناطقی که در زمستان لایه‌ای از برف سطح زمین را می‌پوشاند، نگهداری رطوبت بهتر انجام می‌گیرد. در مناطقی که دما به زیر صفر می‌رسد و زمین فاقد پوشش گیاهی مناسب و پوشش برف است، پدیده یخبندان می‌تواند باعث از دست رفتن رطوبت خاک در ماه‌های سرد سال نیز گردد.

پدیده یخبندان در خاک، پدیده پیچیده‌ای است که ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. میزان اثر پدیده یخبندان و چرخه ذوب و یخبندان به نوع خاک،

با کاهش دما و رسیدن آن به نقطه صفر درجه، آب با آزاد کردن انرژی حرارتی، شروع به یخ بستن می‌کند. آب ماده‌ای استثنایی است که با کاهش دما زیر نقطه انجماد، حجم آن افزایش می‌یابد. یخبندان در خاک پدیده‌ای کاملاً متفاوت است و از چندین جنبه برای کشاورزی مهم و حیاتی می‌باشد. هنگامی که آب موجود در لایه بالایی خاک یخ می‌زند، علاوه بر افزایش حجم آب موجود در خاک، آب لایه زیرین و بخار آب به سمت لایه‌های یخ زده حرکت می‌کند و حجم یخ افزایش می‌یابد. بنابراین هر چه حجم یخ افزایش یابد، فضای بین ذرات خاک نیز افزایش خواهد یافت. لذا حرکت آب از لایه‌های زیرین به سمت لایه خاک یخ زده حایز اهمیت است. در زمین‌های کشت نشده این امر از لحاظ ایجاد تخلخل بیشتر در خاک و

* نویسنده مسئول: jafarya@ut.ac.ir

مقاومت برشی خاک تحت تاثیر یخبندان و ذوب به طور معنی-داری تحت تاثیر فرآیند یخبندان و ذوب قرار می‌گیرد ولی چرخه‌های بعدی اثر کمتری بر مقاومت برشی خاک دارد. (Andersland and Ladanyi., 2004) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که وقتی خاک تحت تاثیر یخبندان و ذوب قرار می‌گیرد آب خالص به یخ تبدیل می‌شود به دلیل این‌که آب خالص پس از یخبندان افزایش حجم پیدا می‌کند، وقتی یخ ذوب می‌شود فضای خالی افزایش یافته به طور کامل پر نمی‌شود و فضای خالی بین ذرات خاک بیشتر شده و چسبندگی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

زمانی که دمای خاک به زیر صفر درجه سانتی‌گراد افت می‌کند ذرات آب سرد شده و پس از تشکیل یخ، ذرات یخ به‌درون حفرات نفوذ می‌کنند در طول این تغییر فاز آب چیزی حدود ۹ درصد از ساختار کریستالی شش ضلعی خود منبسط می‌شود. این ذرات کریستالی تازمانی که ذرات کریستالی دیگر مانع شوند یا به ذرات خود خاک نزدیک شوند رشد می‌کنند (Taylor and Luthin, 1987). زمانی که دمای سطحی خاک زیر صفر درجه سانتیگراد است جبهه یخ زده در خاک پیشروی می‌کند. یخ زدگی باعث افزایش فشار یخ و کاهش در فشار آب حفره ای می‌شود. به دلیل کاهش فشار آب حفره ای در جبهه یخ زده، آب از لایه های زیرین به طرف مرزهای یخ زده و درون خاک های یخ زده حرکت می‌کند حتی اگر هیچ راه دسترسی به آب های خارجی نداشته باشد (Williams perfect, 1980).

and

آنچه مهم است حفظ ساختمان بهینه خاک‌های کشاورزی برای رشد و نمو محصولات زراعی و باغی است که متاسفانه استفاده بیش از اندازه و ناصحیح بکارگیری ماشین‌ها و ادوات کشاورزی باعث تخریب ساختمان خاک های کشاورزی مخصوصا در دهه‌های اخیر شده است. به نظر می‌رسد فرآیندهای طبیعی مانند یخبندان و ذوب راهی مناسب و بی‌هزینه برای اصلاح خاک‌های کشاورزی باشد.

مواد و روش‌ها

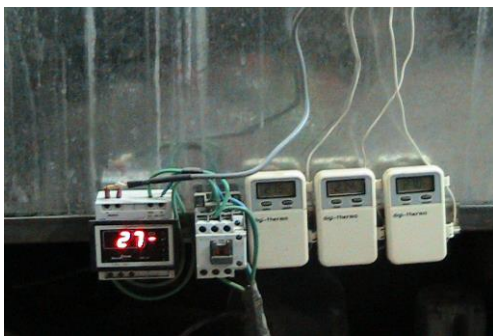
در این تحقیق از خاک زراعی عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری مزرعه آموزشی و پژوهشی عباس آباد دانشگاه بوعلی استفاده شد. خاک مورد نظر در ۱۰ سال گذشته کود دهی نشده بود. بعد از تهیه خاک مورد نظر خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و سپس به صورت یک لایه نازک در سطحی که با پلاستیک پوشیده شده بود پهن شد. بعد از اطمینان از خشک شدن کامل

دمای محیط، رطوبت خاک، خواص فیزیکی خاک و برخی شرایط دیگر بستگی دارد. آب موجود در خاک در هنگام انجماد افزایش حجم پیدا کرده در حالی که برخی اجزای دیگر خاک کاهش حجم پیدا می‌کنند. این دوگانگی باعث ایجاد فشار بالایی شده که می‌تواند پیوند بین اجزای خاک را بگسلد و خاک را نفوذپذیر کند (Tsytoich, 1973; Qi et al., 2004) در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که خواص مکانیکی خاک به شدت تحت تاثیر پیوند یخ با اجزاء خاک در طی دوره یخبندان و همچنین آب حاصل از ذوب یخ می‌باشد. (Qi et al., 2008) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که چرخه ذوب و یخبندان یک پدیده فصلی است که به طور قابل ملاحظه‌ای خواص مهندسی خاک را تغییر می‌دهد. بنابراین بررسی اثرات چرخه ذوب و یخبندان می‌تواند به عنوان کلیدی برای مدل کردن رفتار تنش-کرنش و آنالیز پایداری و تغییر شکل و استحکام برشی خاک در مناطق سردسیر مورد بررسی قرار گیرد. (Eigenbrod, 1996) در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که خاک هایی که به دلیل پوشش لایه بالایی خود در معرض چرخه ذوب و یخبندان قرار نگرفته‌اند، وقتی تحت تاثیر این پدیده قرار می‌گیرند، ظرفیت تحمل بار آنها کاهش پیدا کرده و خاک آسیب می‌بیند. (Qi et al., 2008) طی آزمایش-هایی به این نتیجه رسیدند که در اثر یخبندان خاصیت چسبندگی خاک کاهش پیدا کرده و هر اندازه دمای خاک پایین‌تر باشد، خاصیت چسبندگی نیز کاهش خواهد یافت ولی ضریب اصطکاک داخلی خاک به آرامی افزایش می‌یابد. در نتیجه استحکام برشی خاک که منتج از این دو مولفه است کاهش می‌یابد. همچنین ایشان دریافتند که با افزایش جرم حجمی خاک چسبندگی خاک بعد از چرخه ذوب و یخبندان ابتدا تا حد معینی افزایش یافته و بعد از آن کاهش می‌یابد. ایشان بیان نمودند که یک حد بحرانی برای جرم حجمی خاک وجود دارد که چسبندگی خاک در آن حد تحت تاثیر چرخه ذوب و یخبندان قرار نمی‌گیرد. این حد بحرانی برای تغییرات ضریب اصطکاک داخلی نیز وجود دارد. زاویه اصطکاک داخلی در جرم حجمی کمتر خیلی آرام تغییر می‌کند تا حد بحرانی و بعد از آن با افزایش جرم حجمی نسبت به خاک تیمار نشده افزایش پیدا می‌کند. (Van Klaveren, 1987) نشان داد که استحکام برشی خاکی که تحت تاثیر چرخه یخبندان و ذوب قرار گرفته، کمتر از خاکی است که هرگز تحت تاثیر این فرآیند قرار نگرفته است. (Yong et al., 1985) مشاهده نمودند که



شکل ۱. نمای داخلی فریزر با سیستم سرمایشی واقع در بالای آن

فریزر مورد نظر به یک ترموستات دیجیتالی مجهز بود که قادر بود دما را تا ۲۵- درجه سانتی گراد با دقت یک درجه تنظیم کند و طوری تنظیم شده بود که دما را در دامنه ۱۰- تا ۱۱- درجه سانتی گراد ثابت نگه می‌داشت. شکل ۲ ترموستات مذکور را نشان می‌دهد. برای اندازه گیری دما در داخل فریزر از ۵ عدد ترمومتر دیجیتالی استفاده شد که سه عدد از آنها در شکل ۲ قابل مشاهده می‌باشد. در این تحقیق نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت تحت تاثیر فرآیند یخبندان قرار گرفته و سپس از فریزر خارج شده تا خاک یخ زده ذوب شود. این فرآیند هفت مرتبه تکرار شد. سنسور کنترل دما نزدیک به سطح نمونه در داخل فریزر قرار داده شد تا تنظیم دما بر اساس دمای بالای نمونه داخل فریزر انجام گیرد.



شکل ۲. سیستم کنترل دمای فریزر (ترموستات دیجیتالی)

نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت داخل فریزر قرار داده می‌شد و سپس از فریزر خارج شده تا خاک یخ زده ذوب شود. این عمل هفت بار تکرار شد. برای جلوگیری از کاهش رطوبت، نمونه‌ها با لایه پلاستیکی کاملاً پوشیده می‌شد. بعد از آخرین بار یخبندان و ذوب نمونه تحت آزمایش برش با دستگاه پره برشی قرار می‌گرفت. نمونه‌های شاهد (بدون یخبندان) دقیقاً شبیه به نمونه‌های تیمار یخبندان تهیه شد. نمونه‌های شاهد به عنوان یک سطح از دو سطح دما در نظر گرفته شد. دستگاه پره برشی

خاک با نمونه برداری‌های متعدد، خاک خشک شده جمع‌آوری شده و داخل کیسه‌های پلاستیکی به صورت چند لایه قرار داده شد تا از تبادل رطوبتی جلوگیری شود. در هر مرحله از آزمایش به مقدار لازم از خاک خشک برداشته می‌شد. در این تحقیق خاک با دو سطح رطوبتی ۱۰ و ۱۵ درصد رطوبت بر پایه وزن خشک تهیه شد و مورد آزمایش قرار گرفت. برای تهیه نمونه‌ها با رطوبت مورد نظر یک سینی فلزی گالوانیزه با لبه‌هایی به ارتفاع ۵ سانتی‌متر برای جلوگیری از پراکنده شدن خاک مورد آزمایش ساخته شد. بعد از وزن کردن خاک خشک و با در نظر گرفتن درصد رطوبت، میزان آب مورد نیاز برای تهیه نمونه‌ها محاسبه می‌شد. خاک به صورت لایه نازک در سطح سینی پخش می‌شد و آب با آب‌پاش دستی بر روی خاک اسپری می‌شد و با خاک کاملاً مخلوط می‌گردید و این عمل تا زمانی که نمونه‌ها به رطوبت مطلوب برسند ادامه پیدا می‌کرد. بعد از پایان کار برای اطمینان از درستی کار نمونه‌های مرطوب شده کاملاً از سطح سینی جمع‌آوری شده و وزن می‌شد. بعد از حصول اطمینان از درستی کار، نمونه‌ها داخل پاکت‌های پلاستیکی قرار داده می‌شد و در ب پاکت‌ها کاملاً بسته می‌شد. نمونه‌ها در داخل چند لایه پلاستیک دیگر قرار داده می‌شد تا رطوبت نمونه‌ها حفظ شود. نمونه‌ها برای تعادل رطوبتی به مدت ۲۴ ساعت داخل پاکت‌ها پلاستیکی می‌ماند و نمونه‌ها برای مراحل بعدی آماده می‌شد. در این تحقیق سه سطح چگالی خاک (۱،۱۵، ۱،۲۶۵ و ۱،۳۹) گرم بر سانتی متر مکعب استفاده شد که چگالی ۱،۲۶۵ نماینده چگالی خاک مزرعه، ۱،۱۵ نماینده یک خاک نرم (خاک شخم خورده) و چگالی ۱،۳۹ نماینده یک خاک متراکم شده می‌باشد.

برای ایجاد شرایط یخبندان نمونه‌ها از یک دستگاه فریزر با قابلیت کاهش دما تا ۲۴- درجه سانتی گراد استفاده شد. سیستم سرمایشی مورد استفاده مطابق شکل (۱) در سطح بالای فریزر قرار داده شده تا جریان هوای سرد از بالا بر نمونه‌ها اثر کند.

دانسیتته خاک است. هرچه خاک متراکم‌تر باشد، نیروی لازم برای برش خاک بیشتر است. آنچه در این پژوهش نیز مشخص شد، هرچه خاک تراکم بیشتری داشته باشد، مقاومت برشی آن بیشتر است. اگر نمونه‌ای از خاک تحت جابجایی برشی قرار گیرد، نقش جابجایی در اندازه‌گیری‌های استحکام برشی شدیداً به حالت تراکم خاک وابسته است (Johnson *et al.*, 1987). مقاومت اصطکاکی خاک در برابر برش نه تنها به علت اصطکاک بین ذراتی است که بر هم لغزش می‌کنند، بلکه بخشی از این مقاومت به دلیل حرکت غلت مانند بین ذرات مجاور و بخشی نیز به علت قفل شدن دانه‌ها در یکدیگر می‌باشد. بنابراین مقاومت اصطکاکی خاک بستگی به شکل دانه‌ها و درجه تراکم (به عبارت دیگر دانسیته کلی خاک) دارد. هر چه درجه تراکم خاک بیشتر باشد، درگیری و تماس بین ذرات بیشتر شده و مقاومت برشی افزایش می‌یابد (Aghili nategh, 2008).

پارامتر دیگری که بر مقاومت برشی خاک مورد مطالعه اثرگذار بود، رطوبت نمونه‌ها بود. رطوبت نمونه‌ها در سطح ۱ درصد معنی دار بود. هر چه رطوبت نمونه‌ها در این مطالعه بیشتر شد، تنش برشی کاهش پیدا کرد. از آنجایی که آب داخل خاک به عنوان روان کننده عمل می‌کند، تا حدی باعث کاهش پیوند اجزاء خاک شده و اصطکاک خاک را نیز کاهش می‌دهد. با افزایش رطوبت زاویه اصطکاک داخلی شروع به کاهش می‌کند و آب بین ذرات مانند روان کننده عمل کرده که از تماس ذرات با یکدیگر جلوگیری و اصطکاک کاهش می‌یابد. در خاک‌های رسی افزایش درصد رطوبت باعث کاهش چسبندگی می‌شود (Jones, 1976). از آنجا که مقاومت برشی خاک حاصل از دو مولفه چسبندگی بین ذرات خاک و مقاومت حاصل از اصطکاک است، هر عاملی که این دو مولفه را تحت تاثیر قرار دهد، مقاومت برشی خاک را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد.

مقاومت خاک به علت چسبندگی دانه‌ها حاصل از مقاومت مولکولی (نیروی جاذبه الکترو شیمیایی) بین ذرات ریز و پیوندهای کلئیدی-آبی است. بنابراین، این مقاومت بستگی به تعداد ذره‌ها در واحد حجم، مقدار آب بین ذرات خاک، نوع مواد محلول در آب منفذی و نیز ترکیب و نوع کانی‌های تشکیل دهنده ذرات دارد (Aghili nategh, 2008).

عامل سوم که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفت، فرآیند یخبندان و ذوب بود. این عامل با احتمال ۹۹ درصد بر مقاومت برشی خاک اثرگذار بود. فرآیند یخبندان و ذوب در اکثر نمونه‌هایی که تحت تاثیر این فرآیند قرار گرفته بودند،

با سرعت دورانی ۱/۴ دور در دقیقه مورد آزمایش قرار گرفت و نمودار گشتاور برشی و کرنش برشی یا زمان برش رسم گردید. تنش برشی معادل در هر لحظه با توجه به رابطه بین گشتاور و ابعاد پره برشی و تنش برشی محاسبه می‌گردد.

$$\tau = \frac{6T}{7\pi D^3} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه D قطر پره برشی می‌باشد که طبق استاندارد ASTM2005، ۵۰/۸ میلی‌متر و ارتفاع این پره ۲D یا ۱۰۱/۶ میلی‌متر می‌باشد

در این تحقیق برای به حداقل رسانیدن به هم خوردگی خاک مورد آزمایش، از دستگاه پره برشی استفاده شد. دلیل دیگر استفاده از این دستگاه برای محاسبه تنش برشی، حساسیت این دستگاه نسبت به چسبندگی خاک بود و خاک تحت تاثیر یخبندان و ذوب بیشتر چسبندگی‌اش تغییر می‌کرد. برای معرفی هر کدام از نمونه‌ها از کد vst(a-b.c) استفاده شد که vst نمایش دهنده آزمون پره برشی، a نمایش دهنده چگالی بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب، b نشان دهنده دمای یخبندان بود که اگر b برابر صفر قرار داده شد یعنی نمونه شاهد است و تیمار یخبندان روی آن اعمال نشده است و c نشان دهنده درصد رطوبت نمونه‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

جدول شماره ۱ نتیجه تجزیه واریانس اثر فاکتورهای متغیر (دما، دانسیته و رطوبت) را بر گشتاور مورد نیاز برای برش خاک را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول تجزیه واریانس مشخص است، اثر هر سه فاکتور بر روی گشتاور مورد نیاز جهت برش خاک (در نتیجه استحکام برشی خاک) در سطح یک درصد معنی دار است.

جدول ۱. تجزیه واریانس مطالعه اثر سه فاکتور دما، رطوبت و دانسیته بر گشتاور لازم برای برش خاک

| F | میانگین مربعات | درجه آزادی | منبع تغییر |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|
| ۱۱۶۷** | ۱۱۶۷ | ۱ | دما |
| ۴۷۷** | ۴۷۷ | ۱ | رطوبت |
| ۴۸۴۳** | ۹۶۸۶ | ۲ | دانسیته |
| ۱۶۹ ^{ns} | ۰/۶۹ | ۱ | دما*رطوبت |
| ۳۳۴** | ۶۶۷ | ۲ | دما*دانسیته |
| ۲۲۸** | ۴۵۵ | ۲ | رطوبت*دانسیته |
| ۲۰۵** | ۴۰۹ | ۲ | دما*رطوبت*دانسیته |

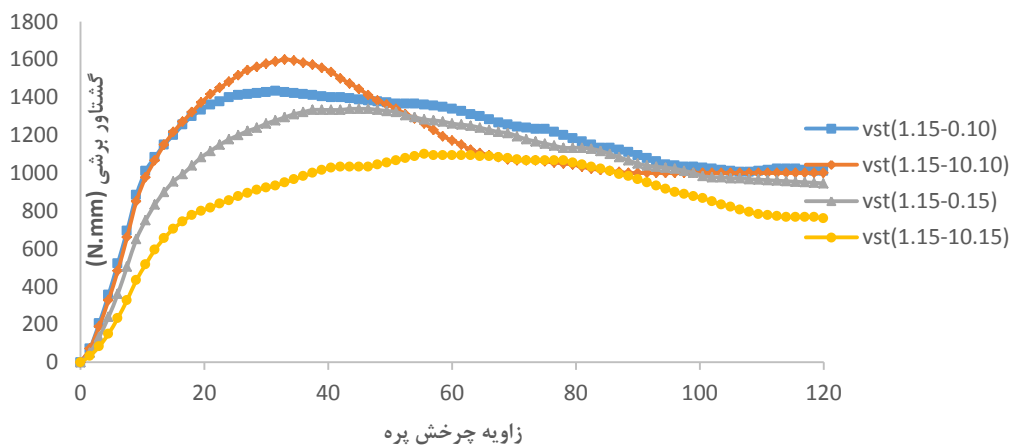
** در سطح ۱ درصد معنی دار ns: غیر معنی دار

یکی از عوامل موثر بر استحکام برشی خاک،

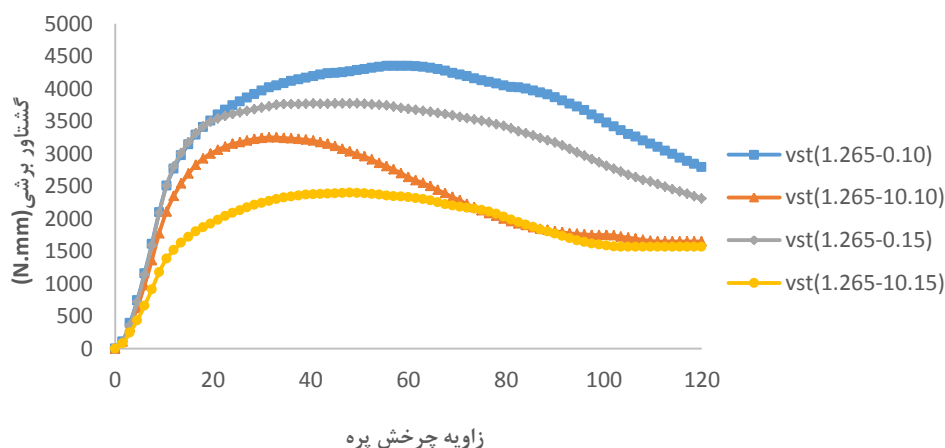
رسیدند که در اثر یخبندان خاصیت چسبندگی خاک کاهش پیدا کرده و هر اندازه دمای خاک پایین تر باشد، خاصیت چسبندگی نیز کاهش خواهد یافت ولی ضریب اصطکاک داخلی خاک به آرامی افزایش می‌یابد. ایشان بیان نمود که یک حد بحرانی برای جرم حجمی خاک وجود دارد که چسبندگی خاک در آن حد تحت تأثیر چرخه ذوب و یخبندان قرار نمی‌گیرد. این حد بحرانی برای تغییرات ضریب اصطکاک داخلی نیز وجود دارد. زاویه اصطکاک داخلی در جرم حجمی کمتر خیلی آرام تغییر می‌کند تا حد بحرانی و بعد از آن با افزایش جرم حجمی نسبت به خاک تیمار نشده افزایش پیدا می‌کند.

اشکال ۳، ۴ و ۵ روابط گشتاور برشی با زاویه چرخش پره برشی را در شرایط مختلف خاک مورد آزمایش نشان می‌دهد.

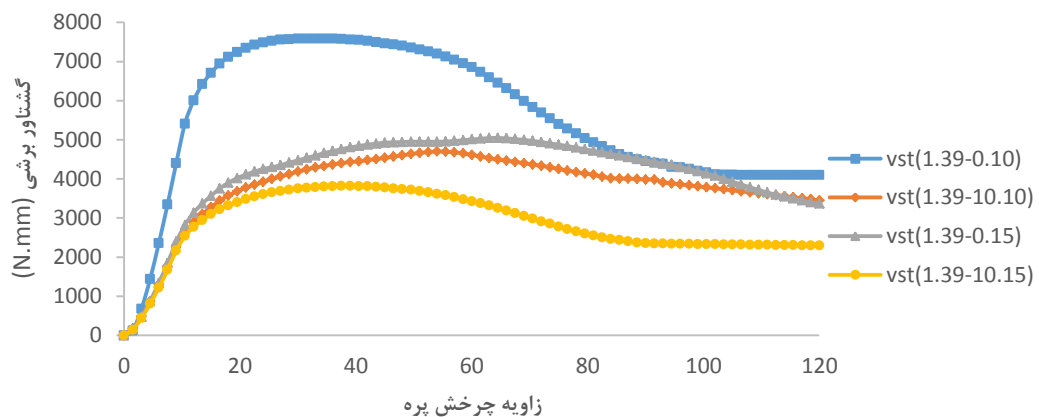
باعث کاهش مقاومت برشی خاک شد. مورد استثنا در این پژوهش، نمونه با چگالی ۱٫۱۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب با رطوبت ۱۰ درصد بود که افزایش در مقاومت برشی را نشان می‌داد. (Qi et al., 2008) طی آزمایش‌هایی تغییرات خواص مهندسی ناشی از یخبندان و ذوب یک خاک مشخص را مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس این پژوهش مشخص گردید که تحت شرایط انجماد یکسان، یک وزن واحد خشک بحرانی وجود دارد که وقتی وزن واحد خشک نمونه مورد نظر معادل وزن بحرانی باشد، چسبندگی، دانسیته و فشار پیش تحکیم پس از چرخه انجماد و ذوب بدون تغییر باقی می‌ماند. هنگامی وزن واحد خشک بیشتر از آن حد بحرانی بود، این سه پارامتر کاهش می‌یافت و با وزن واحد خشک اولیه کمتر، این پارامترها افزایش می‌یافتند. (Qi et al., 2008) در مطالعه خویش به این نتیجه



شکل ۳. نمودار رابطه گشتاور برشی با درجه چرخش پره خاک با چگالی ۱٫۱۵ گرم بر سانتی متر مکعب



شکل ۴. نمودار رابطه گشتاور برشی با درجه چرخش پره خاک با چگالی ۱٫۲۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب



شکل ۵. نمودار رابطه گشتاور برشی با درجه چرخش پره خاک با چگالی ۱.۳۹ گرم بر سانتی متر مکعب

فرآیند در دامنه تغییرات پارامترهای مورد مطالعه می‌تواند تا بیش از ۴۰ درصد باعث کاهش استحکام برشی خاک گردد. در هنگام انجام عملیات خاکورزی، استحکام برشی خاک جزء پارامترهای اصلی و تاثیر گذار بر مصرف انرژی است و در تولید یک محصول زراعی بیشترین مصرف انرژی در هنگام انجام عملیات خاکورزی است، انتخاب وسیله مناسب خاکورزی و انجام عملیات خاکورزی در زمان مناسب با توجه به شرایط اقلیمی، می‌تواند در کاهش مصرف انرژی و هزینه های تولید، مناسب باشد. انجام یک عملیات خاکورزی سبک مانند بکارگیری گاواهن چیزل قبل از شروع بارندگی ها جهت افزایش نفوذپذیری خاک و جذب رطوبت بیشتر یک راهکار مناسب جهت استفاده بهینه از این فرآیند می‌تواند باشد. زیرا در این شرایط انرژی زیادی مصرف نشده و شرایط برای استفاده حداکثری از فرآیند یخبندان و ذوب به وجود می‌آید.

REFERENCE

- Aghili nategh, N. (2008). Long-term effects of adding organic matter to the soil bearing capacity and shear resistance, mechanical master's thesis Machines Agriculture, University of Technology, Esfahan. (In Farsi).
- Andersland, O. B., and Ladanyi, B. (2004). *Frozen ground engineering*. John Wiley & Sons.
- Eigenbrod, K. D. (1996). Effects of cyclic freezing and thawing on volume changes and permeabilities of soft fine-grained soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 33(4), 529-537.
- Johnson, C. E., R. D. Grissio, T. A. Nicholas and A. C. Bailey. (1987). Shear measurement for agricultural soil-A Review. *Transe. ASAE*. 30:935-938.
- Jones, A. (1971). Soil piping and stream channel initiation. *Water Resources Research*, 7(3), 602-

طبق نتایج به دست آمده در این پژوهش اثر متقابل هر سه پارامتر یخبندان، رطوبت و میزان تراکم خاک (دانسیتة خاک) بر روی مقاومت برشی خاک در سط. ٪۱ معنی دار شد که نشان می‌دهد بین تیمارهای رطوبت*دما*چگالی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در این پژوهش مشخص شد که با افزایش چگالی اثر یخبندان و ذوب بر مقاومت برشی خاک بیشتر است و در چگالی بالاتر تحت تاثیر یخبندان و ذوب بر کاهش مقاومت برشی خاک بیشتر است.

نتیجه گیری

هدف از این مطالعه بررسی اثر فرآیند یخبندان و ذوب بر مقاومت برشی خاک مورد مطالعه در دو سطح رطوبتی و سه سطح دانسیته بود. در این پژوهش مشخص گردید فرآیند یخبندان و ذوب اثر معنی‌داری بر روی کاهش مقاومت برشی خاک دارد. این

610.

- Qi, J.L., Zhang, J.M., Zhu, Y.L. (2004). Influence of freezing-thawing on soil structure and its soils mechanics significance, *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering* (Supp. 2), 2690-2694.
- Qi, J., Ma W., Song C., (2008). Influence of freeze-thaw on engineering properties of silty soil. *Cold Regions science and technology*. 53: 397-404.
- Taylor GS and Luthin JN, (1978). A model for coupled heat and moisture transfer during soil freezing. *Canadian Geotechnical Journal* 15: 548-555.
- Tsytoovich, H.A., (1973). *Mechanics of Frozen Ground*. Science Press, Beijing. Translate d by Zhang Ch. Q. and Zhu Y.L. (1985) (in Chinese).
- Yong, R.N., Boonsinsuk, P., Yin, C.W.P., (1985). Alteration of soil behavior after cyclic freezing

and thawing. In: Kinosita, S., Fukuda, M. (Eds.), *Proceedings of the 4th International Symposium on Ground Freezing*, 5-7 August 1985, Sapporo, Japan. A.A.Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands, pp. 187-195.

Van Klaveren, R.W., (1987). Hydraulic erosion resistance of thawing soil. Ph.D. Dissertation, Department of Agricultural Engineering,

Washington State University, Pullman, Washington (1987).

Williams PJ and Perfect E, (1980). Investigation of thermally actuated water migration in frozen soils. Eotechnical Science Laboratories, Department of Geography, Carleton University, Ottawa, Canada.