

Effect of Depth and Puddling Intensity on Engineering Properties of Clay Loam Soil

NAHID AGHILI NATEGH^{1*}, MAHTAB REZAEI², REZA TABATABAEKOLOOR³

1. Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Sonqor Agriculture Faculty, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Senior Expert, Department of Mechanic, Aligoudarz, Branch, Islamic Azad University, Aligoudarz, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Mazandaran, Iran

(Received: July. 8, 2018- Revised: Dec. 17, 2018- Accepted: Dec. 29, 2018)

ABSTRACT

Engineering properties of soils besides the chemical and biological properties can be a tool for justifying the behavior of soil. In this study bulk density, hydraulic conductivity, soil penetration resistance and Shear strength were measured. Different levels of depth and puddling intensity and their interactions on the properties in randomized complete design with three replications in a factorial experiment was investigated. Results indicated puddling intensity decreased the soil hydraulic conductivity, bulk density, penetration resistance, shear strength and with increasing depth, bulk density, penetration resistance and shear strength increased. The changes in bulk density were 0.68-1.32. The highest and lowest hydraulic conductivity were reported 0.3 and 8.5 in treatment P0 depth 10 cm and treatment P2 depth 30 cm respectively. It can be said that puddling treatment P1 is more suitable than treatment P2 to keep moisture, reduce physical and mechanical damage, energy required to prepare the paddy fields.

Key words: Puddling, shear strength, penetration resistance, Hydraulic conductivity, bulk density.

بررسی سطوح مختلف عمق و شدت پادلینگ بر خواص مهندسی خاک لومی رسی

ناهید عقیلی ناطق^{۱*}، مهتاب رضایی^۲، و رضا طباطبایی کلور^۳

۱. استادیار، گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی سنقر، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲. کارشناس ارشد، گروه مکانیک واحد الیگودرز، دانشگاه آزاد اسلامی الیگودرز، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۹/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۸)

چکیده

خصوصیات مهندسی خاک در کنار خواص شیمیایی و بیولوژیکی می‌توانند وسیله‌ای برای توجیه رفتار خاک باشند. در این تحقیق، جرم مخصوص ظاهری خاک، رسانایی هیدرولیکی، مقاومت به نفوذ و مقاومت برشی تحت تاثیر سطوح مختلف عمق و پادلینگ با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد جرم مخصوص ظاهری خاک، مقاومت به نفوذ، مقاومت برشی و رسانایی هیدرولیکی با افزایش سطح پادلینگ کاهش و با افزایش عمق همه به غیر از رسانایی هیدرولیکی، افزایش یافتند. رنج تغییرات جرم مخصوص ظاهری ($1/32 \text{ gr/cm}^3$) - $0/68$ بود. کمترین و بیشترین رسانایی هیدرولیکی $8/5$ و $0/3$ بود که به ترتیب در تیمار P_0 در عمق ۱۰ سانتی‌متری و تیمار P_2 در عمق ۳۰ سانتی‌متری گزارش شدند. می‌توان گفت تیمار پادلینگ P_1 برای حفظ رطوبت، کاهش تخریب خواص فیزیکی، مکانیکی خاک و کاهش انرژی مورد نیاز برای آماده سازی اراضی شالیزاری مناسب‌تر از تیمار P_2 می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پادلینگ، مقاومت برشی، مقاومت به نفوذ، رسانایی هیدرولیکی، جرم مخصوص ظاهری خاک

مقدمه

پادلینگ یکی از روش‌های معمول آماده‌سازی بستر برای نشاکاری برنج در اراضی شالیزاری می‌باشد. این عملیات با تخریب ساختار خاک، بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیک خاک از جمله، جرم مخصوص ظاهری خاک، تخلخل، تبادل گاز، نگهداری آب، رسانایی هیدرولیکی، دما و مقاومت مکانیکی اثر می‌گذارد و موجب تشکیل لایه سخت در خاک می‌شود که این تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیک خاک بر رشد برنج موثر است. (Bajpai and Tripathi (2000 در تحقیقی که روی خاک لومی رسی سیلنتی انجام دادند نتیجه گرفتند که پادلینگ به طور معنی‌داری سبب کاهش جرم مخصوص خاک در عمق ۶-۰ سانتی‌متری سطح خاک می‌گردد. (Sharma et al. (1998 اثر پادلینگ را بر روی دو نوع خاک رسی و لومی رسی بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند که در خاک لومی رسی رسانایی هیدرولیکی خاک پس از انجام پادلینگ از $0/637$ تا $0/133$ میلی‌متر در ساعت کاهش یافت. در حالی‌که در خاک رسی تغییر ناچیزی مشاهده شد. (Mohanty et al. (2004 اثر دفعات مختلف پادلینگ را بر روی مقاومت به نفوذ خاک بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پس از پادلینگ مقاومت به نفوذ کاهش یافت و این کاهش در دفعات بالاتر بیشتر بود. از طرفی با افزایش عمق در تمام دفعات

پادلینگ مقاومت به نفوذ خاک افزایش یافت. پادلینگ با نرم کردن سطح خاک و کاهش چسبندگی داخلی لایه‌های خاک موجب تسهیل عملیات نشاءکاری برنج می‌شود. همچنین با حذف منافذ بزرگ که آب را انتقال می‌دهند و افزایش منافذ کوچک یک ساختار باز و سست در خاک ایجاد می‌کند که دارای رسانایی هیدرولیکی پایین می‌باشد (Kukul, 2003). پادلینگ علاوه بر تمام مزایای ذکر شده معایبی نیز دارد. بسیاری از تحقیقات نشان داده که حداکثر نیاز آبی در آبیاری برنج، اغلب در زمان انجام پادلینگ است، به ویژه در جایی که این عمل در مدت زمان خیلی کوتاه، که هیچ گونه بارندگی نیز اتفاق نیفتد، انجام گیرد. همچنین تخریب خواص فیزیکی خاک باعث ایجاد مشکلاتی در اراضی می‌شود، که کشت دوم در آن‌ها صورت می‌گیرد. بنابراین، این عملیات در سطحی مورد نیاز است که موجب بهبود شرایط رشد برنج شده ضمن این‌که شرایط فیزیکی مطلوب خاک حفظ شود (Mohanty, 2004). بنابراین بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک پادل شده در عمق‌های مختلف با توجه به تاثیر عمق بر خواص فیزیکی و مکانیکی خاک، کارکرد ماشین‌های کشاورزی و رشد محصول در کشت دوم در این زمین‌ها لازم است. تحقیق حاضر برای تعیین خواص مهندسی خاک شالیزار و بررسی اثر این عملیات و تغییر عمق بر روی این خواص به منظور ایجاد محیط

افزایش طول تا ۵۰۰ میلی متر است. این سه پره مقدارهای متفاوتی از مقاومت برشی را بر حسب کیلو پاسکال اندازه گیری می کنند. مقدار ماکزیمم توسط درجه چرخاندن اندازه گیری می شود که قبل از هر اندازه گیری جدید به مقدار صفر باز گردانده می شود (شکل ۲).



شکل ۱- آزمایش تعیین مقاومت به نفوذ خاک



شکل ۲- آزمایش تعیین مقاومت برشی با دستگاه برش پره ای

اندازه گیری رسانایی هیدرولیکی خاک (ضریب نفوذپذیری خاک)

رسانایی هیدرولیکی یعنی سرعت حرکت آب در محیط خاک است. در آزمایشگاه این ضریب با دو روش بار افتان و بار ثابت تعیین می شود. معمولاً روش بار افتان برای تعیین رسانایی هیدرولیکی خاک های ریز دانه به کار می رود (شکل ۳). نمونه خاک دست نخورده در داخل لوله نمونه گیر قرار داده شد. از همان لوله نمونه گیر به عنوان ظرف آزمایش در تمام مدت آزمایش استفاده شد. صافی درشتی در ابتدا و انتهای لوله نمونه گیر قرار

مطلوب برای بهبود شرایط رشد برنج و کاهش تخریب خواص فیزیکی و مکانیکی خاک در عمق های مختلف انجام گرفت.

مواد و روش ها

ویژگی های خاک و تیمارهای پادلینگ آزمایش ها در زمینی به مساحت ۲۰۰۰ متر مربع واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. محصول قبلی کاشته شده برنج بود و زمین مورد نظر به سه کرت ۵۰۰ متر مربعی تقسیم شد و داده برداری در سه تکرار صورت گرفت. بافت خاک لومی رسی بود. عملیات پادلینگ در ابتدای هر تیمار زمانی که ارتفاع آب بر روی خاک غرقاب شده ۵ سانتی متر بود انجام شد. تیمارهای پادلینگ شامل: P₀ بدون انجام شخم، P₁: یک بار عبور روتیواتور، P₂: سه بار عبور روتیواتور بود. بیست و چهار ساعت پس از شخم خاک و ته نشین شدن کامل ذرات خاک متفرق شده شاخص های جرم مخصوص ظاهری خاک، مقاومت به نفوذ، مقاومت برشی و رسانایی هیدرولیکی در سه عمق ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متری اندازه گیری شدند.

اندازه گیری رطوبت و جرم مخصوص ظاهری خاک

جهت تعیین رطوبت و جرم مخصوص ظاهری خشک خاک نمونه های دست نخورده به آزمایشگاه منتقل و وزن شدند و سپس داخل آون در دمای ۱۱۰ درجه به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند. بعد از خشک شدن، نمونه ها مجدداً وزن شدند. از تقسیم اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از خشک شدن بر وزن نمونه بعد از خشک شدن رطوبت بر مبنای خشک بدست آمد. همچنین از تقسیم وزن نمونه بعد از خشک شدن به حجم نمونه جرم مخصوص ظاهری تعیین گردید.

وزن خاک خشک (gr) = جرم مخصوص ظاهری (gr/cm³) حجم ظرف نمونه برداری (cm³)

اندازه گیری مقاومت به نفوذ خاک

مقادیر مقاومت به نفوذ خاک توسط یک دستگاه نفوذسنج دستی مدل SL 138 با زاویه مخروط ۳۰ درجه و سطح مقطع مخروط ۱۳۰ میلی متر مربع در سه عمق ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متری در ۵ نقطه مختلف در محدوده ای نزدیک به مکانی که مقاومت برشی اندازه گرفته شده بود مطابق با استاندارد ASAE اندازه گیری گردید (ASAE, 2004a). این دستگاه مجهز به لودسل حلقوی با قرائت مستقیم نیروی نفوذ می باشد (شکل ۱).

اندازه گیری مقاومت برشی خاک

جهت اندازه گیری مقاومت برشی خاک در عمق ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متری، از یک دستگاه برش پره دستی مدل H 605 در مزرعه استفاده شد. این دستگاه دارای سه پره قابل تعویض با میله های

تصادفی در سه تکرار انجام گردید. فاکتورها شامل سطح پادلینگ در سه سطح (P0: بدون انجام شخم، P1: یک بار عبور روتواتور، P2: سه بار عبور روتواتور) و عمق در سه سطح (۱۰، ۲۰، ۳۰ سانتی‌متری) بود. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار آماری SPSS و برای مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل از نرم افزار آماری MSTATC استفاده گردید. میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ و با استفاده از آزمون LSD با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

جرم مخصوص ظاهری خاک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان می‌دهد که تغییر عمق، سطح پادلینگ و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر جرم مخصوص ظاهری خاک معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین-ها کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک را با انجام عملیات پادلینگ روی لایه‌های پادل شده در سه عمق (۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک) نشان داد. این کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک با افزایش درجات پادلینگ افزایش یافت. بیشترین و کمترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک به ترتیب در تیمار P₀ در عمق ۳۰ سانتی‌متری و در تیمار P₂ در عمق ۱۰ سانتی‌متری بود. کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک پس از پادلینگ توسط دیگران نیز گزارش شد (Sharma, & De Datta, 1985). شکل (۴) اثر متقابل عمق و عملیات پادلینگ را بر روی جرم مخصوص ظاهری خاک نشان می‌دهد. در هر سه عمق کمترین جرم مخصوص ظاهری در تیمار P₂ و بیشترین جرم مخصوص ظاهری در تیمار P₀ مشاهده گردید. که دلیل آن تغییرات بیشتر ایجاد شده در ساختار خاک با افزایش درجه پادلینگ می‌باشد (Mohanty et al., 2004; Sharma, & De Datta, 1986). پادلینگ معمولاً باعث تشکیل ساختمان بازتری شده و بنابراین جرم مخصوص ظاهری خاک را کاهش می‌دهد. از آن‌جا که خاک لومی-رسی دارای درصد بالایی از رس مونت موریلونیت بود، کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در نتیجه انجام پادلینگ ممکن است به دلیل تورم رس و ایجاد یک ساختمان باز از یک ساختمان بسته باشد (Mohanty et al., 2004). وقتی که مونت موریلونیت مرطوب می‌شود آماس قابل توجهی در بین لایه‌ها ایجاد می‌کند و در نتیجه چسبندگی بین خاک دانه‌ها کم می‌گردد. همچنین در هر سه سطح پادلینگ با افزایش عمق، جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش یافت. این امر نشان دهنده این است که با افزایش عمق، خاک متراکم‌تر شده و مقدار تخلخل آن کمتر می‌شود.

گرفت. به قسمت بالای نمونه لوله شیشه ای با سطح مقطع معین وصل گردید و این لوله با آب پر گردید. پس از اشباع نمونه به مدت ۴۸ ساعت، ضمن نفوذ آب در نمونه در زمان‌های مختلف، ارتفاع آب در لوله شیشه ای اندازه‌گیری شد. این ارتفاع در هر لحظه عبارت است از اختلاف ارتفاع سطح آب در لوله شیشه ای نسبت به سطح آب مخزن خروجی نمونه. سپس با استفاده از قانون داریسی رسانایی هیدرولیکی نمونه با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Shrivastava et al., 2006).

$$K = 2.3 \frac{La}{At} \log \frac{h_1}{h_2}$$

A, a (cm²): سطح مقطع نمونه خاک و سطح مقطع لوله

t(s): زمان پایان آزمایش

L(cm): طول نمونه

h₁, h₂(cm): ارتفاع آب نسبت به سطح مبنا در لوله به ترتیب

در زمانهای ۰ و t



شکل ۳- آزمایش نفوذپذیری با روش بار افتان.

اندازه‌گیری شاخص پادلینگ

یک ساعت پس از انجام عملیات پادلینگ، نمونه خاک با حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر از دو تیمار پادل شده با سه تکرار جمع آوری شد و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها داخل استوانه مدرج ۲۵۰ میلی لیتری قرار داده شدند. حجم نمونه‌های خاک پس از ۴۸ ساعت و ته نشین شدن خاک قرائت گردید و سپس شاخص پادلینگ با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Salokh et al., 1993):

$$\%PI = (V_s / V) \times 100$$

V_s: حجم خاک پادل شده پس از ته نشین شدن (cm³)

V: حجم خاک پادل شده قبل از ته نشین شدن (cm³)

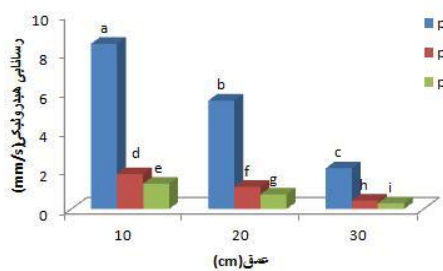
تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش‌ها به صورت آزمایش فاکتوریل (۲×۳) در قالب طرح کاملاً

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده

منابع تغییر	درجه آزادی	جرم مخصوص ظاهری خاک (gr/cm ³)	مقاومت برشی (kpa)	مقاومت به نفوذ خاک (Mpa)	رسانایی هیدرولیکی (cm/s)
سطح پادلینگ	۲	۰/۱۳۵**	۴۰۵۱/۴۵۶**	۳/۰۹۲**	۵۹/۷۸**
عمق (cm)	۲	۰/۲۷۴**	۱۰۵۴/۶۰۲**	۳/۸۹**	۱۸/۸۶**
سطح پادلینگ × عمق	۴	۰/۰۲۸**	۹۳/۲۴**	۰/۲۳۹**	۶/۹۶**
خطای آزمایش	۱۸	۰/۰۰۰۳	۵/۴۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال 5% و 1% ns فاقد اختلاف معنی‌دار

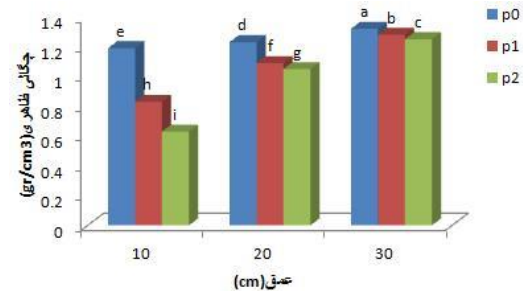


شکل ۵- اثر متقابل عمق و پادلینگ بر رسانایی هیدرولیکی خاک

در هر سه تیمار پادلینگ، مقادیر رسانایی هیدرولیکی با افزایش عمق کاهش یافت. به طوری که بیشترین مقدار این پارامتر در عمق ۱۰ سانتی‌متری در هر یک از تیمارهای پادل شده مشاهده شد. این امر ممکن است به علت افزایش تراکم خاک و کاهش تخلخل در عمق‌های پایین‌تر خاک باشد (Zhuang, et al; Zhao, 2010, et al., 2001). نتیجه به دست آمده با نتایج حاصل از تحقیقات دیگر محققین هم خوانی دارد. (Aimrun et al., 2004; Thierfelder et al., 2009) می‌توان بیان داشت که رابطه قوی بین رسانایی هیدرولیکی خاک و تخلخل موثر وجود دارد، از این رو با افزایش عمق خاک و کاهش تخلخل رسانایی هیدرولیکی خاک کاهش یافت. رسانایی هیدرولیکی خاک (ضریب نفوذپذیری خاک)

مقاومت به نفوذ خاک

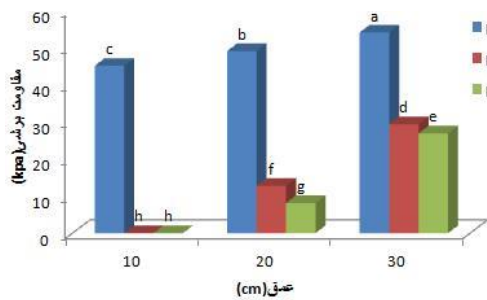
نتایج تجزیه واریانس داده‌های مقاومت به نفوذ خاک (جدول ۱) نشان داد که اثر پادلینگ، عمق و اثر متقابل آن‌ها بر مقاومت به نفوذ خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. شکل (۶) اثر متقابل این دو عامل را بر مقاومت به نفوذ خاک نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این پارامتر با افزایش درجه پادلینگ کاهش و با افزایش عمق افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین مقدار مقاومت به نفوذ در تیمار P₀ در عمق ۳۰ سانتی‌متری و کمترین مقدار در تیمار P₂ در عمق ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها کاهش معنی‌دار مقاومت به نفوذ را پس از پادلینگ در هر سه عمق (۱۰، ۲۰ و ۳۰) سانتی‌متری نشان داد. که این نشان دهنده سست شدن



شکل ۴- اثر متقابل عمق و پادلینگ بر جرم مخصوص ظاهری خاک

تأثیر تیمارهای مختلف پادلینگ، عمق و اثر متقابل آن‌ها بر رسانایی هیدرولیکی خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها تغییرات رسانایی هیدرولیکی خاک را برای سطوح مختلف پادلینگ در سه عمق نشان داد. رسانایی هیدرولیکی خاک پس از پادلینگ کاهش یافت. در هر سه عمق خاک، کاهش رسانایی هیدرولیکی خاک در تیمار P₂ بیشتر از کاهش دو تیمار دیگر است که سبب سریع تر خشک شدن خاک پادل نشده و حفظ رطوبت در خاک پادل شده می‌گردد. رسانایی هیدرولیکی خاک به طور گسترده به مقدار تخلخل خاک وابسته است. پس از عملیات پادلینگ جرم مخصوص ظاهری خاک لایه‌های پادل شده خاک کاهش و تخلخل افزایش یافت. در خاک‌های پادل شده بیشتر حجم منافذ توسط خلل و فرج ریز اشغال شده است که خود عامل کاهش رسانایی هیدرولیکی خاک می‌باشد. همچنین با رسوب تدریجی ذرات خاک معلق در محلول آب و خاک پس از پادلینگ لایه‌ای از رسوب نرم بر روی سطح خاک تشکیل شده که این لایه رسوب نرم خود دلیلی دیگر بر کاهش رسانایی هیدرولیکی خاک می‌باشد. رسوب ذرات رس داخل محلول معلق آب و خاک پس از پادلینگ دلیل دیگر کاهش رسانایی هیدرولیکی خاک، پس از پادلینگ می‌باشد (Shrivastava et al., 2006; Kukul, Aggarwal., 2003). شکل (۵) اثر متقابل عمق و پادلینگ را بر روی رسانایی هیدرولیکی خاک نشان می‌دهد. کمترین مقدار رسانایی هیدرولیکی در تیمار P₂ در عمق ۳۰ سانتی‌متری و بیشترین مقدار آن در تیمار P₀ در عمق ۱۰ سانتی‌متری مشاهده گردید.

مقاومت برشی خاک پس از پادلینگ کاهش یافت. با افزایش درجه پادلینگ از P_1 تا P_2 کاهش ناچیزی در مقاومت برشی نسبت به افزایش درجه پادلینگ از P_0 تا P_1 مشاهده شد. در خاک‌های پادل شده در لایه‌های سطحی (۱۰ سانتی‌متری) مقدار مقاومت برشی خاک صفر بود و این احتمالاً به دلیل سست شدن ذرات خاک پس از عملیات پادلینگ و شرایط اشباع خاک می‌باشد. در واقع خاک پادل نشده نسبت به خاک پادل شده دارای مقاومت برشی بیشتری است. (Ringrosevoasa et al., 2004) در پژوهشی بیان داشتند که با انجام عملیات پادلینگ مقاومت مکانیکی خاک کاهش می‌یابد. این امر ممکن است به این دلیل باشد که در طی عملیات پادلینگ و سست شدن خاک لومی رسی، جرم مخصوص ظاهری خاک لایه‌های پادل شده خاک کاهش و رطوبت افزایش می‌یابد. خواص مکانیکی خاک به جرم مخصوص ظاهری خاک و میزان رطوبت خاک بستگی زیادی دارند. به طوری که با افزایش رطوبت و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک مقاومت برشی خاک کاهش می‌یابد. شکل (۷) اثر متقابل عمق و پادلینگ را بر روی مقاومت برشی خاک پادل شده را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود کمترین مقدار مقاومت برشی در تیمار P_1 و P_2 در عمق ۱۰ سانتی‌متری و بیشترین مقدار در تیمار پادل نشده در عمق ۳۰ سانتی‌متری بود.

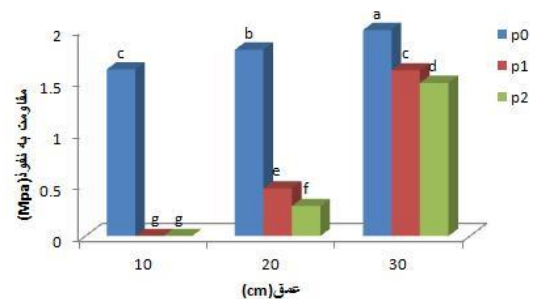


شکل ۷- اثر متقابل عمق و پادلینگ بر مقاومت برشی خاک برآورد شده با روش برش پره

در هر سه تیمار پادلینگ مقادیر مقاومت برشی خاک با افزایش عمق افزایش یافت. به طوری که بیشترین مقدار این پارامتر در عمق ۳۰ سانتی‌متری در هر یک از تیمارهای پادل شده مشاهده شد. این امر ممکن است به علت رسوب ذرات سنگین تر در عمق‌های پایین تر خاک‌های پادل شده و در نتیجه افزایش تراکم خاک، کاهش تخلخل، افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک و افزایش نیروهای کشش سطحی با افزایش عمق می‌باشد که در نتیجه باعث افزایش مقاومت خاک می‌شود (Bachman et al., 2006). افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک نشان دهنده تراکم زیاد ذرات خاک می‌باشد و در نتیجه نیروی بیشتری برای از هم

خاک پس از پادلینگ می‌باشد. دلیل این کاهش مقاومت خاک را می‌توان افزایش رطوبت خاک پس از عملیات پادلینگ بیان نمود (Ringrose- Voasa et al., 2002). تغییر مقاومت به نفوذ خاک در تیمار P_1 نسبت به P_0 زیاد بود در صورتی که در P_2 نسبت به P_1 تغییر ناچیزی مشاهده شد.

در خاک پادل شده در لایه سطحی (۱۰ سانتی‌متر) مقدار مقاومت به نفوذ خاک صفر بود و این ممکن است به دلیل سست شدن ذرات خاک پس از پادلینگ و شرایط اشباع خاک باشد. در هر سه تیمار پادلینگ، مقاومت به نفوذ با افزایش عمق خاک افزایش یافت. که این احتمالاً به دلیل رسوب کردن ذرات سنگین تر در عمق‌های پایین تر لایه‌های پادل شده و تراکم بیشتر خاک در لایه‌های پایینی خاک می‌باشد. کم بودن مقاومت به نفوذ خاک در لایه سطحی ممکن است به دلیل بیشتر بودن ترک‌های خاک ناشی از کاهش رطوبت و خشک شدن خاک در این لایه باشد (Mohanty et al., 2004). محققین دیگری نیز تغییرات مقاومت به نفوذ خاک را تحت سطوح مختلف پادلینگ بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پس از عملیات پادلینگ، سرعت افزایش مقاومت به نفوذ با افزایش عمق کاهش می‌یابد (Johnson et al., 1987; Bachman et al., 2006; Yousefi-Moghadam et al., 2009). پادلینگ با کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و سست کردن خاک مقاومت به نفوذ را کاهش می‌دهد و با افزایش درجات پادلینگ و صرف انرژی بیشتر برای این عملیات میزان تغییر ساختار خاک بیشتر شده و این خود موجب کاهش بیشتر در مقاومت به نفوذ خاک می‌شود (Aggarwal et al., 1995; Kirchof et al., 2000).



شکل ۶- اثر متقابل عمق و پادلینگ بر مقاومت به نفوذ خاک

مقاومت برشی خاک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) داده‌های مقاومت برشی خاک در مزرعه نشان داد که تاثیر تیمارهای مختلف پادلینگ، عمق و اثر متقابل آن‌ها بر مقاومت برشی خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها تغییرات مقاومت برشی را برای سطوح مختلف پادلینگ در سه عمق مختلف نشان دادند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد جرم مخصوص ظاهری خاک، رسانایی هیدرولیکی، مقاومت به نفوذ و مقاومت برشی با انجام عملیات پادلینگ کاهش یافتند که این مسئله احتمالاً به دلیل سست شدن خاک و ضعیف بودن نیروهای بین ذرات خاک می‌باشد. این کاهش در سطوح بالاتر پادلینگ بیشتر بود. به عبارت دیگر، درجات بالاتر پادلینگ باعث شدند که خاک سست‌تر شده و میزان رسانایی هیدرولیکی آن کاهش یافت که این خود موجب گردید خاک رطوبت را برای مدت بیشتری در خود حفظ کند. این نشان دهنده این است که تغییرات ایجاد شده در ساختار خاک در تیمار P₂ بیشتر از تیمار P₁ است. پادلینگ با کاهش رسانایی هیدرولیکی خاک و افزایش میزان رطوبت خاک برای مدیریت آب مورد نیاز در خاک شالیزار مناسب می‌باشد. سطوح بالاتر پادلینگ به دلیل آن‌که رسانایی هیدرولیکی خاک را کاهش می‌دهد برای آماده سازی اراضی شالیزاری مناسب‌تر می‌باشد. از طرفی به نظر می‌رسد که پادلینگ در سطح کم به دلیل کاهش انرژی مصرفی و کاهش تخریب ساختار خاک برای آماده سازی اراضی شالیزار با بافت لومی-رسی مناسب‌تر باشد و سبب کاهش کار کارگری و تخریب ساختار خاک می‌گردد.

REFERENCES

- Aggarwal, G.C., Sidhu, A.S., Sekhon, N.K., Sandhu, K.S. & Sur, H.S. (1995). Puddling and N management effects on crop response in a rice-wheat cropping system. *Soil and Tillage Research*, 36, 129-139
- Aimrun, W., Amin, M.S.M. & Eltaib., S.M. (2004). Effective porosity of paddy soils as an estimation of its saturated hydraulic conductivity. *Geoderma*, 121, 197-203.
- ASAE Standards, 2004a. ASAE S313.3 FEB04: soil cone penetrometer. In: Hahn, R.H., Purschwitz, M.A., Rosentreter, E.E. (Eds.), and ASAE Standards 2004. ASAE, St. Joseph, MI.
- Bachman, J., Contreras, K., Hartage, K.H. & MacDonald R. (2006). Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. *Soil and Tillage Research*, 87, 112-118.
- Bajpai, R.K. & Tripathi, R.P. (2000). Evaluation of non-puddling under shallow water tables and alternative tillage methods on soil and crop parameters in a rice-wheat system in Uttar Pradesh. *Soil and Tillage Res*, 55, 99-106
- Kirchhof G., Priyono S., Utomo, W.H., Adisarwanto, T., Dacannay, E.V. & So, H.B. (2000). The effect of soil puddling on the soil physical properties and the growth of rice and post-rice crops. *Soil and Tillage Research*, 56, 37-50.
- Kukul, s.s., & Aggarwal, G.C. (2003). Puddling depth

and intensity effects in rice-wheat system on a sandy loam soil I. Development of subsurface compaction. *Soil and Tillage Research*, 72, 1-8.

Johnson, C. E., Grisso, R. D., Nichols, T. A. & Bailey, A. C. (1987). Shear measurement for agricultural soils-A Review. *Trans. ASAE*, 30, 935-938.

Mohanty, M., Painuli, D.K. & Mandal, K.G. (2004). Effect of puddling intensity on temporal variation in soil physical condition and yield of rice (*Oryza sativa* L.) in a Vertisol of central India. *Soil and Tillage Research*, 76, 83-94.

Motavalli, P.P., Anderson, S.H., Pengthamkeerati, P. & Gantzer, C.J. (2003). Use of soil cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils. *Soil and Tillage Research*, 74, 103-114.

Ringrose-Voase, A.J., Kirby, J. M., Gunomo Djoyowasito, W.B. Sanidad, C. Serrano & Tabran M. L. (2002). Changes to the physical properties of soils puddled for rice during drying. *Soil and Tillage Researc*, 56, 83±104.

Salokhe, V. M., Hanifmiah, M. & Hoki, M. (1993). Effect of blade type on power requirement and puddling quality of a rotavator in wet clay soil. *Terramechanics*, 30, 337- 350.

Sharma, P.K. & De Datta S.K. (1985). Effect of puddling on soil physical propertice and processes. *Soil physical and Rice*. IRIR, Los Banos, Philippines, PP. 23-217. www.SID.ir

گسیختگی آن نیاز می‌باشد (Motavalli et al., 2003). این نتایج با نتایج تحقیقات Zhao et al (2009) هم‌خوانی دارد که بیان می‌دارد که تنش برشی معمولاً با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک و عمق افزایش می‌یابد.

شاخص پادلینگ

افزایش سطح پادلینگ، موجب افزایش شاخص پادلینگ شد. میزان شاخص پادلینگ در تیمار P₀ صفر، در تیمار P₁ ۴۳/۰۷ و در تیمار P₂ ۵۰/۲ درصد بود (جدول ۲). این به علت افزایش میزان انرژی برای انجام عملیات پادلینگ در درجات بالاتر بود. در درجات بالاتر پادلینگ به دلیل افزایش به هم خوردگی خاک شالیزار، شاخص پادلینگ افزایش یافت. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش شاخص پادلینگ میزان رطوبت خاک افزایش یافت. این نشان دهنده تغییر ساختار خاک با انجام عملیات پادلینگ و افزایش تغییر ساختار خاک در درجات بالاتر پادلینگ می‌باشد (Salokh et al., 1993).

جدول ۲ - تاثیر شدت پادلینگ بر روی شاخص پادلینگ

تیمارها	شاخص پادلینگ (%)	رطوبت (%)
P ₀	.	۳۱
P ₁	۴۳/۰۷	۵۵/۷
P ₂	۵۰/۲	۵۸/۳

- Sharma, P.K. & De Datta, S.K. (1986). Puddling influence on soil rice development and yield. *soil science. Soc. Am. J*, 49, 451-1457.
- Sharma, P.K., De Datta, S.K. & Redulla, C.A. (1988). Tillage effect on soil physical properties and wetland rice yield. *Agron. J*, 80, 34-39.
- Shrivastava, A.K. & Datta, R.K. (2006). Effect of animal drawn puddling implements on hydraulic conductivity of lateritic sandy clay loam soil in West Bengal, India., 43(2), 205-212
- Thierfelder, C. & Wall, P.C. (2009). Effects of conservation agriculture techniques on infiltration and soil water content in Zambia and Zimbabwe. *Soil and Tillage Research*, 105, 217-227
- Yousefi-Moghadam, S., Mousavi, S.F., Mostafazadeh-Fard, B., Hemmat, A. & Yazdani, R. (2009). Effect of puddling intensity on physical properties of a silty clay soil under laboratory and field conditions. *Paddy Water Environment*, 7, 45-54. (In Farsi)
- Zhao, X., Zhou, G. & Tian, Q. (2009). Study on the shear strength of deep reconstituted soils. *MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 19, 0405-0408.
- Zhao, L. Wu. L. Li .Y., Sarkar, A., Zhu, D. & Uphoff, N. (2010). Comparison of yield, water use efficiency and soil microbial biomass as affected by the system of rice intensification. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41, 1-12.
- Zhuang, J., Nakayama, K., Yu, G.R. & Miyazaki, T. (2001). Predicting unsaturated hydraulic conductivity of soil based on some basic soil properties. *Soil and Tillage Research*, 59, 143-154.