

مطالعه تاثیر سرعت لغزشی بر روی ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک در سه بافت خاک

فرشته حسن خانی قوام¹، یوسف عباسپور گیلانده² و غلامحسین شاهقلی²

1- دانشجوی کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

2- استادیار، گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

F.hasankhani2@gmail.com

چکیده

با توجه به اهمیت خاک از یک طرف به عنوان مصالح مورد توجه مهندسیین و طراحان و از سوی دیگر به عنوان یک محیط طبیعی جهت کشت محصولات زراعی، تعیین مقادیر ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک ها و مطالعه اثرات عوامل اصلی بر آن لازم و ضروری به نظر می رسد. در حالت کلی سه نوع اصطکاک در مطالعات مربوط به دینامیک خاک پیش می آید: (الف) اصطکاک خاک با فلز، (ب) اصطکاک خاک روی خاک و (ج) اصطکاک داخلی خاک. ولی نکته مهمی که باید بدان اشاره کرد اصطکاک خاک روی ادوات خاک ورزی می باشد که موجب فرسایش تیغه های خاک ورزی می شود. بومی سازی ادوات و ماشینهای کشاورزی در منطقه نیاز به تعیین دقیق هر یک از پارامترهای اشاره شده دارد. در مدل سازی رابطه بین ماشین و خاک تغییرات مقادیر ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک پارامترهای تاثیرگذار همواره مورد توجه محققین و طراحان بوده است. در این تحقیق اثر سرعت لغزشی قطعه ی لغزنده روی ضریب اصطکاک خارجی سه خاک لومی، لومی شنی و شنی لومی در رطوبت های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق جهت اندازه گیری ضریب اصطکاک خاک و فلز و چسبندگی از یک سیستم اندازه گیری دقیق استفاده گردید. در این سیستم اندازه گیری، مخزن خاک توسط الکتروموتور روی دو ریل موازی به حرکت در آمده و حاصل این حرکت، تماس قطعه فلزی ثابت با سطح مماسی خاک داخل مخزن می باشد. از یک دیتالاگر متصل به لودسل برای اندازه گیری مستقیم نیروی کششی حاصل از نیروی اصطکاکی استفاده شد. قطعه ی لغزنده آزمایشی در این مطالعه فولاد معمولی بود. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت ضریب اصطکاک خاک و فلز نیز روند افزایشی داشته و هم چنین این داده های آزمایشی نشان می دهند که الگوی منحنی های اصطکاک- محتوای رطوبتی خاک ها در سرعت های لغزشی مورد آزمایش (0/5، 2/5 و 3/5 سانتی متر بر ثانیه) یکسان بود. نتایج نشان داد که اثر سه سطح سرعت لغزشی بر مقدار چسبندگی خاک در سطح احتمال 1٪ معنی دار بود. بیشترین مقدار میانگین چسبندگی خاک مربوط به سرعت 3/5 سانتی متر بر ثانیه با مقدار $1316/667 \text{ N/m}^2$ در خاک لومی، مقدار $1442/47 \text{ N/m}^2$ در خاک لومی شنی و $1815/807 \text{ N/m}^2$ در خاک شنی لومی و کمترین آن مربوط به سرعت بارگذاری 0/5 سانتی متر بر ثانیه با مقدار $1052/267 \text{ N/m}^2$ در خاک لومی، مقدار $958/58 \text{ N/m}^2$ در خاک لومی شنی و $1458/467 \text{ N/m}^2$ در خاک شنی لومی می باشد.

کلمات کلیدی: خاک، دگرچسبی، سرعت لغزشی، ضریب اصطکاک خارجی.

مقدمه

در حالت کلی سه نوع اصطکاک در مطالعات مربوط به دینامیک خاک پیش می آید: (الف) اصطکاک خاک با فلز (μ')، (ب) اصطکاک خاک روی خاک (μ) و (ج) اصطکاک داخلی خاک ($\tan \phi$).

- وقتی دو قسمت سخت خاک نسبت به یکدیگر حرکت می کنند، در سطوح تماسی دو طرف نیروهایی عمل می کنند. به عبارت دیگر هنگام عبور دو قطعه یا تکه خاک از کنار هم اصطکاک ایجاد می گردد. در این گونه مواقع، قوانین کلی اصطکاک کلمب به کار گرفته می شود، اما ماهیت دقیق این نوع نیروهای اصطکاکی هنوز ناشناخته است. روش معمول و متداول جدا کردن فعالیت نیروها به دو حالت عمود و مماس بر سطح است (شکل 1). مطابق نظریه کلمب ضریب اصطکاک به صورت زیر تعریف می شود:

$$\mu = \frac{F}{N} = \tan \psi \quad (1)$$

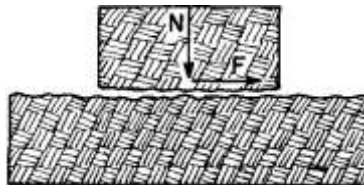
که در این رابطه:

μ = ضریب اصطکاک (خاک بر روی خاک)

F = نیروی اصطکاکی مماس بر سطح (N)

N = نیروی عمودی (عمود بر سطح) (N)

ψ = زاویه اصطکاک (زاویه ای که تانژانت آن برابر است با μ) (Gill & Vanden berg, 1968، شفییعی، 1384)

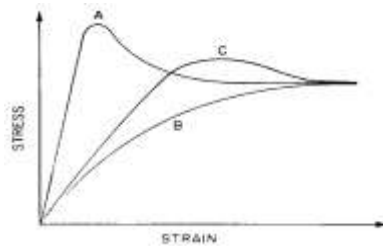


شکل 1: نیروی عمودی و نیروی اصطکاکی بین دو قسمت سخت خاک

در پدیده اصطکاک خاک با خاک، خاک مانند یک جسم سخت روی قطعه ی دیگر خاک حرکت می نماید. در حالیکه اصطکاک داخلی در هنگام شکست خاک تحت نیروی برشی تجلی می کند، بنابراین در آزمون های مربوط به مقاومت خاک، وقتی خاک شکسته شد و شروع به حرکت کرد، اصطکاک خاک با خاک پدید می آید که نتیجه سرش یک قطعه خاک روی قطعه ی دیگر می باشد. ولی تا قبل از شکست خاک، اصطکاک داخلی خاک می باشد که در مقابل نیرو مقاومت می کند [Srivastava, 2006، شهیدی و احمدی مقدم، 1387] و زمانی که یک قسمت از خاک با مواد دیگری از قبیل ادوات فولادی کشاورزی جایگزین می شود اصطکاک به صورت اصطکاک خاک-فلز نمایان می شود. همین اصطکاک است که موجب فرسایش تیغه های خاک ورزی می شود [شهیدی و احمدی مقدم، 1387].

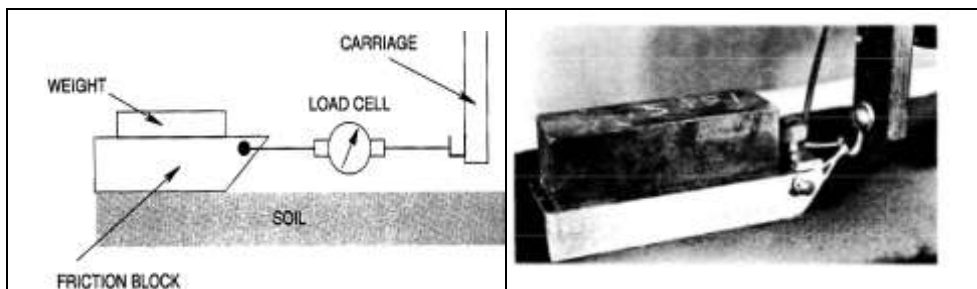
تعیین زمانی که جدایی کامل اتفاق می افتد و جسم سخت شروع به حرکت می کند، ممکن است خیلی مشکل باشد. سختی اندازه گیری اصطکاک خاک با خاک همانطور که در م عادله (1) بیان شده، تمیز دادن بین زاویه اصطکاک خاک با خاک و زاویه اصطکاک برشی که شیب خط مماس در مدل های ریاضی مربوط به خود هستند، می باشد. این دو زاویه بر دو پدیده ی متمایز اشاره دارند. با توجه به این تمایز، معمولاً توسط کشیدن یک قسمت صلب خاک که دارای سطح مقطع عرضی معلوم در بالای سطح خاک در یک وضعیت مشابه است، اندازه گیری می شود. روش هایی که برای اندازه گیری گسیختگی ناشی از برش وجود دارد، اساساً به اندازه گیری اصطکاک خاک معطوف می شود و به طور کلی فشار و کشش مماسی همزمان با هم در بارها ی عمودی مختلف اندازه گیری می شوند نتایج در شکل 2 نشان داده شده اند، و مقادیر عددی معادله 1 می توانند بعد از اینکه تنش

برشی به یک سطح مسطح میرسد جاییکه به نظر میرسد جدایی روی صفحه شکست اتفاق افتاده است، تعیین شوند [Gill & Vandenberg, 1968].



شکل 2: نمودار تنش کرنش برای خاکها در سه حالت A: سیمانی، B: سست و C: متراکم هر نمودار تحت یک بار عمودی قرار دارد [Srivastava, 2006]

- اصطکاک خاک روی ادوات خاک ورزی معمولاً بین خاک و فولاد و یا گاهی بین خاک و پلاستیک عمل می کند [شفیعی، 1384]. ضریب اصطکاک خاک و مواد اساساً به همان روش تعیین ضریب اصطکاک خاک با خاک تعیین می شود با این تفاوت که یک جسم لغزنده جایگزین بخش بالایی خاک می شود. برای تمایز ضرایب، این ضریب با یک علامت بالانویس نشان داده می شود. بنابراین اصطکاک لغزشی خاک با خاک توسط یک پارامتر دینامیکی به نام μ و یا $\tan \psi$ بیان شده و اصطکاک خاک با فلز می تواند به عنوان زاویه اصطکاک لغزشی δ یا تانژانت زاویه ($\tan \delta = \mu'$) بیان شود و از اندازه گیری هایی که روی سیستم لغزش دینامیکی انجام شده، بدست بیاید. اندازه گیری واقعی با استفاده از یک سیستم ساده لغزنده همانطور که در شکل (2) نشان داده شده و رابطه ی (3) بدست می آید.



شکل 3: سیستم ساده لغزنده به کار رفته برای تعیین ضریب اصطکاک لغزشی (الف) شکل واقعی (ب) شکل شماتیک

$$\mu' = \frac{F}{N} = \tan \delta \quad (2)$$

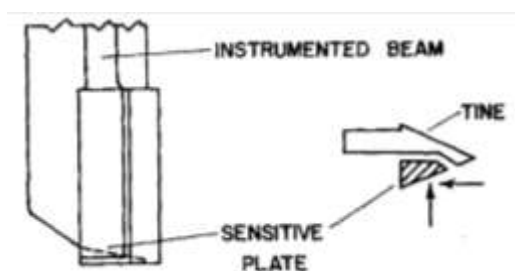
که در این رابطه:

- μ' : ضریب اصطکاک لغزشی (خارجی)
- F: نیرویی که سبب ایجاد لغزش می شود (N)
- N: نیروی عمودی روی سطوح لغزش (N)
- δ : زاویه اصطکاک خاک و فلز

لغزندی نشان داده شده در شکل (3) ممکن است با ورقه هایی از جنس پلی تترافلورواتیلن یا ماده ی دیگری که به خاک نچسبد، پوشانده شده باشد. این تکنیک ساده لغزنده توسط تعدادی از محققین به عنوان وسیله ای برای اندازه-

گیری اصطکاک فلز با خاک استفاده شده است [Gill & Vanden berg, 1968]. بر روی قطعه فلزی وزنه هایی اضافه می کنیم تا نیروی عمودی (N) لازم ایجاد گردد، سپس توسط نیروی F، دستگاه روی خاک کشیده می شود. اگر آزمایش با وزنه های مختلف انجام گیرد، نیروی اصطکاک حاصل از فشارهای مختلف عمودی اندازه گیری و نسبت به بارهای عمودی رسم می شود. شیب خط حاصله، ضریب اصطکاک خاک و فلز و عرض از مبدا آن ضریب دگرچسبی خاک می باشد [Srivastava, 2006].

پاین (1956) از یک لغزنده عمودی برای آزمایشات مزرعه ای استفاده کرد که احتمالاً با چنین وسیله ای ضریب μ قابل اندازه گیری می باشد. این وسیله شبیه یک چیزل عمودی است که می تواند توسط یک دینامومتر متحرک درون خاک کشیده شود. طرح کلی دستگاه در شکل (4) نشان داده شده است (پاین، 1956؛ راگرز و تانر، 1955).



شکل 4: قسمت نفوذپذیر تحت تاثیر نیروهایی که با سرش خاک ایجاد می شوند (راگرز و تانر، 1955)

نیروی عمودی روی سطح لغزش (سطحی از وسیله که با خاک در تماس است) می تواند با تغییر زاویه سطح یا به وسیله افزایش سرعت عمل تغییر یابد. بیشتر وسایل پیچیده ای که توسعه داده شده اند، یا از یک سطح فلزی رینگ شکل تشکیل شده اند یا از یک دیسک دوار. اینها در روی خاک قرار داده شده و در محل استقرار چرخانده می شدند. شون (1953) برای این هدف و منظور از یک حلقه استفاده کرد در حالیکه رو و بارنس (1961) از یک دیسک دوار استفاده کردند.

وقتی که خاک بر روی فلز سر می خورد، نیروهای دگرچسبی بین خاک و فلز اثر بارزی بر نیروی اصطکاک می گذارند. این نیروها در درجه اول زائیده لایه های رطوبتی در خاک بوده و مقدار آنها با محتوی رطوبتی تغییر می کند. اثر نیروی دگرچسبی عبارت است از افزایش بار عمودی روی سطوح که این امر باعث افزایش نیروی اصطکاک می گردد [شفیعی، 1384]. برای تشریح اصطکاک ماکزیمم و چسبندگی بین یک سطح فلزی سخت و خاک، معادله زیر، که توسط ترزاقی (1966) پیشنهاد شده می تواند استفاده شود:

$$\tau_{f \max} = C_a + p \tan \delta \quad (3)$$

که در آن:

$\tau_{f \max}$: تنش اصطکاک ماکزیمم (N/m^2)

C_a : چسبندگی سطوح تماسی (N/m^2)

p: فشار عمودی (نرمال) (N/m^2)

δ : زاویه اصطکاک بین سطح لاستیکی و خاک (درجه)

هینز و نیکولز فرقی بین اصطکاک و چسبندگی قائل نشدند ولی فاکتورهای موثر روی نیروی برشی را مورد توجه قرار دادند. پایین و فانتاین معادله (3) را استفاده کردند و مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک خاک و فلز را پیدا کردند و آنها را با چسبندگی داخلی خاک و زاویه اصطکاک داخلی خاک مقایسه کردند. فانتاین این کار را ادامه داد و نشان داد که چسبندگی فقط به تنش آبی در خاک و زاویه اصطکاک خاک و فلز بستگی دارد. نیل (1966) نشان داد که ضریب اصطکاک خاک و لاستیک اختلاف کمی از ضریب مقاومت برشی خاک دارد و چسبندگی بین لاستیک و خاک خیلی کمتر از چسبندگی داخلی خاک است. اما خیلی شبیه به نوعی است که بین فلز و خاک است. بنابراین تئوری فانتاین به طور مناسب روابط بین چسبندگی و محتوای رطوبتی را توصیف میکند. همچنین در یک خاک دانه ریز خوب تغییرات زاویه اصطکاک خاک با خاک و زاویه اصطکاک خاک با فلز تابع روان کاری مشروط بر محتوای رطوبتی خاک است. بین پایین تر از حد پلاستیک و اشباع هر دوی این پارامترها یک مقدار خیلی کوچک دارند. اما در محدوده رطوبتی زیر محدوده پلاستیک پایین تر آنها به سرعت به مقادیر بالاتر افزایش می یابند [Neal, 1966].

استافورد و تانر (1983) اثر سرعت لغزشی را روی اصطکاک خاک و فلز در خاک رسی و لومی رسی شنی و قطعه لغزنده فولاد نرم مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که در فاز اصطکاک، زاویه اصطکاک به صورت لگاریتمی همراه با رنجهای مختلف سرعت و محتوای رطوبتی خاک افزایش پیدا می کند.

یوسو و دچاو (1990) بلبرسی رابطه ی بین اصطکاک خاک - فلز و سرعت لغزشی به این نتیجه دست یافتند که الگوی منحنی های اصطکاک و محتوای رطوبتی خاک در سرعتهای لغزشی بالا شبیه سرعت های لغزشی پایین بود. به طور کلی هدف از این تحقیق مطالعه تاثیر سرعت لغزشی بر روی ضرایب اصطکاک خارجی و دگرچسبی خاک در سه بافت خاک مورد مطالعه می باشد.

مواد و روشها

در این تحقیق جهت اندازه گیری ضریب اصطکاک خاک و فلز و چسبندگی از سیستم اندازه گیری ساخته شده در دانشگاه محقق اردبیلی که نمایی از آن در شکل 5 دیده می شود، استفاده شد. دستگاه فوق می تواند مقادیر ضرایب اصطکاک خارجی را به صورت خودکار در حافظه کامپیوتر و یا دیتالاگر متصل به آن ثبت و ضبط نماید. مخزن خاک روی دو ریل موازی به حرکت در آمده و حاصل این حرکت تماس قطعه فلزی ثابت با سطح مماسی خاک داخل مخزن می باشد. قطعه فلزی به صورت مکعب مستطیل از جنس فولاد، با ابعاد سطح مقطع 5 در 5 سانتی متر ساخته شد. همچنین از یک دیتالاگر مدل DT800 متصل به لودسل S شکل برای اندازه گیری مستقیم نیروی کششی استفاده شد.



شکل 5: نمایی از دستگاه مورد استفاده برای تعیین ضریب اصطکاک خاک و فلز و چسبندگی

توان موردنیاز برای به حرکت درآوردن جعبه خاک از طریق یک گیربکس حلزونی با نسبت کاهش دور 1 به 80 از یک الکتروموتور سه فاز جریان متناوب با توان 180 وات تامین شده، و برای کاهش دور موتور و تامین سرعت های مورد نیاز در آزمایشات از یک اینورتر مدل SS-021-1.5K نیز استفاده گردید. آزمایشات با سرعت های متوسط 0/5، 2/5 و 3/5 سانتی متر بر ثانیه انجام شد. بافت خاکها به روش هیدرومتری و به کمک مثلث بافت خاک تعیین شد (جدول 1).

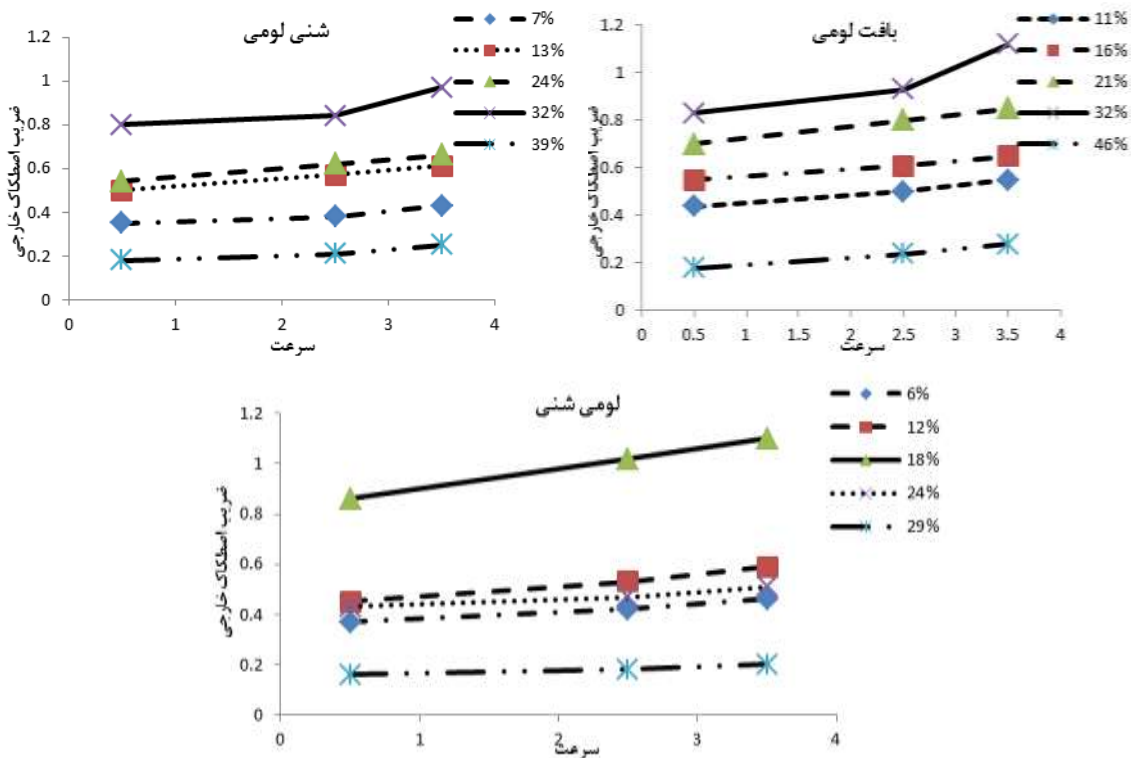
جدول 1: بافت خاکهای مورد آزمایش

بافت	درصد سیلت	درصد شن	درصد رس
لومی	29/336	45/666	25/008
لومی شنی	23/5	55	11/5
شنی لومی	17/5	73/5	9

با تنظیم فرکانس اینورتر برای تامین سرعت های کاری مورد آزمایش، در هر سرعت مخزن را با خاک های مرطوب ذکر شده تا ارتفاع 6 سانتی متر و چگالی 1/3 گرم بر سانتی متر مکعب پر و سطح آن را با ماله دستی مسطح کردیم. بار های عمودی 5 تا 20 نیوتن را روی قطعه مزبور گذاشته و بعد از هر بار اعمال بار، مخزن توسط نیروی الکتروموتور کشیده شد و نیروی کششی مورد نیاز توسط لودسل اندازه گیری و در حافظه کامپیوتر ثبت گردید. نمودار تغییرات نیروی کششی در مقابل بار عمودی وارده رسم شده و از روی این نمودار و با توجه به معادله شکست موهر-کلمب (معادله 3) که در این معادله شیب خط و عرض از مبدا به ترتیب معرف ضریب اصطکاک خارجی خاک و چسبندگی خاک هستند، مقادیر این پارامترها بدست آمد.

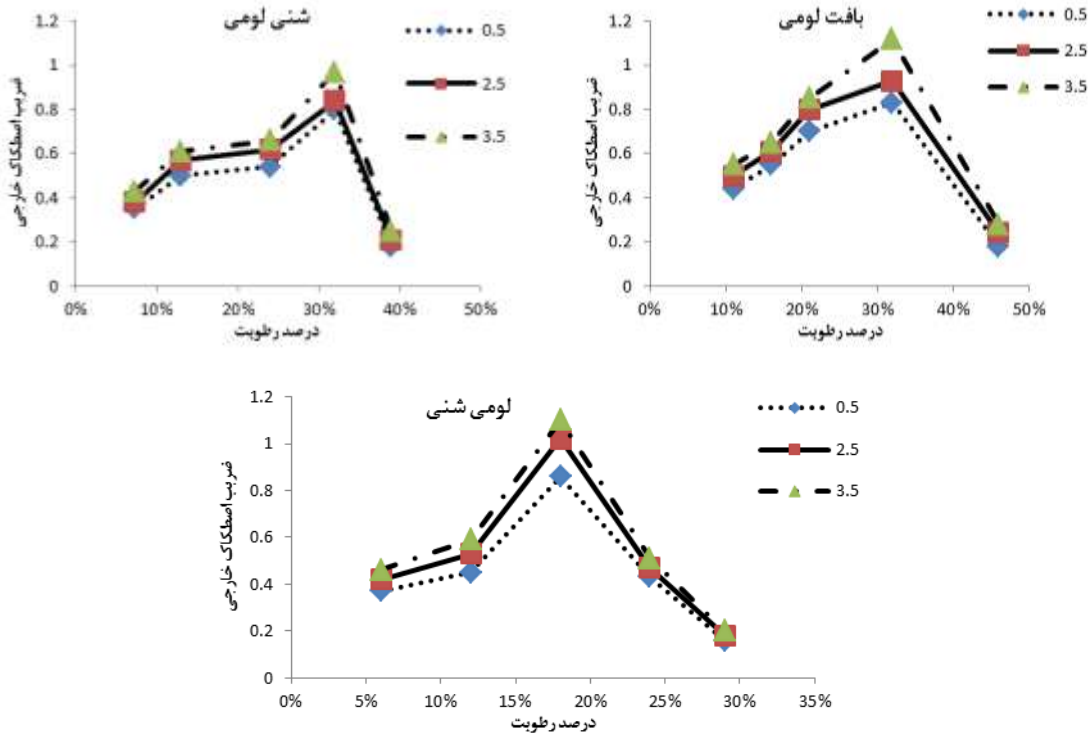
نتایج و بحث

شکل 6 تغییرات مقادیر ضریب اصطکاک خارجی خاک را بر حسب سرعت در سطوح مختلف رطوبت و قطع تماسی فولاد نشان می دهد. مقادیر میانگین ضریب اصطکاک های خارجی به دست آمده نشان می دهد که بین هر سه سطح سرعت در سه بافت خاک در سطح احتمال 1٪ اختلاف معنی داری وجود دارد بطوریکه با افزایش سرعت شاهد افزایش تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک هستیم. بنابراین می توان گفت سرعت بر روی خاک مورد آزمایش با احتمال 99٪ اثرات معنی داری بر مقدار ضریب اصطکاک خارجی خاک داشته است. بیشترین مقدار میانگین ضریب اصطکاک خارجی خاک های آزمایشی مربوط به سرعت 3/5 سانتی متر بر ثانیه با مقدار 0/5583 در بافت لومی، 0/4408 در بافت لومی شنی و 0/4695 در بافت شنی لومی و کمترین آن مربوط به سرعت بارگذاری 0/5 سانتی متر بر ثانیه با مقدار 0/4276 در بافت لومی، 0/3509 در بافت لومی شنی و 0/3629 در بافت شنی لومی می باشد. همان طور که در شکل ها مشخص است با پیشروی سرعت از 0/5 سانتی متر بر ثانیه به سمت 3/5 سانتی متر بر ثانیه شاهد افزایش تغییرات بین دو سرعت مجاور هم هستیم.



شکل ۶: تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب سرعت در سه بافت و قطعه‌ی فولادی

نمودارهای ضریب اصطکاک خارجی - رطوبت برای فولاد در سه سرعت آزمایشی در سه بافت خاک نشان می‌دهد که با افزایش سرعت ضریب اصطکاک نیز روند افزایشی داشته و این روند کمابیش در 5 سطح رطوبتی یکسان است. هم‌چنین در این نمودار مشاهده می‌شود که ضریب اصطکاک با افزایش رطوبت تا حد مشخصی افزایش یافته و به حد ماکزیمم می‌رسد و پس از آن افت چشمگیری داشته که این سطوح رطوبت می‌تواند معرف فاز روان‌کاری برای این خاک‌ها باشد. یاو یوسو و زنگ دچاوا (1990) با بررسی رابطه‌ی بین اصطکاک خاک-فلز و سرعت لغزشی در دو بافت خاک لومی و بافت رسی به این نتیجه دست یافتند که در این دو نمونه بافت خاک الگوی منحنی‌های اصطکاک و محتوای رطوبتی خاک در سرعت‌های لغزشی بالا شبیه سرعت‌های لغزشی پایین بود.



شکل ۷: تغییرات ضریب اصطکاک خارجی خاک بر حسب رطوبت درسه بافت و قطعه فولادی

منابع

- 1- احمدی مقدم، پ.، عطائیان، پ.، عظیمی، س. 1385. طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه اندازه گیری دگرچسبی و زاویه اصطکاک داخلی خاک . مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون، مشهد، ایران.
- 2- شفیعی، س.ا. 1384. اصول ماشین های کشاورزی (جلد اول). موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- 3- شهیدی، ک.، احمدی مقدم، پ. 1387. رابطه ماشین و خاک : فیزیک و مکانیک خاک و خاکورزی _ ارومیه : جهاد دانشگاهی، واحد ارومیه.
- 4- Fountaine, E.R., Payne, P.C.J. 1954. Causes of non-scouring in soil working implements. Fifth internatl. Cong. Soil Sci. Trans. (Leopoldville) 2: 3545.
- 5- Gill, W.R., Vanden Berg, G.E. 1968. Assessment of the Dynamic Properties of Soils. Chapter 3 in Soil Dynamics in Tillage and Traction, Agriculture Handbook No. 316, pp. 55-116. Washington, D.C.:U.S. Government Printing Office.
- 6- Gill, W.R., Vanden Berg, G.E. 1968. Dynamic Properties of soils. Chapter 2 in Soil Dynamics in Tillage and Traction, Agriculture Handbook No. 316, pp. 14-116. Washington, D.C.:U.S. Government Printing Office.
- 7- Srivastava, A.K., Goering, C.E., Rohrbach, R.P., Buckmaster, D.R. 2006. Soil tillage. Chapter 8 in Engineering Principles of Agricultural Machines, 2nd ed., 169-230. St. Joseph, Michigan: ASABE. Copyright American Society of Agricultural and Biological Engineers.

- 8- Stafford, J.V., Tanner, D.W. 1983. Effect of rate on soil shear strength and soil-metal friction II. Soil-metal friction. Soil and Tillage Research, 3(4): 321-330.
- 9- Neal, M.S. 1966. Friction and adhesion between soil and rubber. Jour. Agri. Engin. Rese, 11(2):108-112.
- 10- Payne, P.C.J. 1956. A field method of measuring soil-metal friction. Jour. Soil Sci. 7 : 235-241.
- 11- Yusu, Y.,Dechao,Z. 1990. Investigation of the relationship between soil-metal friction and sliding speed. Journal of Terramech, 27(4): 283-290.