

## طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه اندازه‌گیری دگرچسبی و زاویه اصطکاک خارجی خاک (۶۴۰)

پرویز احمدی مقدم<sup>۱</sup>، پریسا عطائیان<sup>۲</sup>، سوسن عظیمی<sup>۳</sup>

### چکیده

تعیین دقیق پارامترهای فیزیکی خاک شامل اصطکاک داخلی، چسبندگی، دگرچسبی، اصطکاک خاک-فلز و ... در طراحی ادوات کشاورزی، محاسبه نیروی کششی و بررسی عملکرد و سائیدگی آنها اهمیت اساسی دارد. جهت تعیین اصطکاک خاک با فلز، دستگاه ساده‌ای طراحی و ساخته شد. این دستگاه در داخل خاک در حالی که تحت نیروهای عمودی قرار داشت کشیده شد و نیروی کششی لازم اندازه‌گیری گردید. نمودار تغییرات نیروی کششی نسبت به بارهای عمودی وارده تهیه گردید. شیب منحنی این نمودار برابر زاویه اصطکاک بین خاک و فلز و عرض از مبدا منحنی، میزان دگرچسبی خاک را نشان می‌دهد. از آنجایی که رطوبت در میزان اصطکاک بین خاک و ابزار تاثیر عمده‌ای دارد، لذا آزمایش در پنج سطح رطوبتی مختلف انجام گرفت. بافت خاک و نیز حد خمیری آن تعیین گردید. آزمایش با بارهای عمودی ۱ الی ۵ کیلوگرمی، به صورت بار گسترده انجام گرفت که برای افزایش دقت آزمایش، هر مرحله بارگذاری، سه بار تکرار شد. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت خاک از مقدار 0.3PL تا 1PL مقدار ضریب اصطکاک خاک-فلز از ۳۵٪ تا ۶۱٪ افزایش یافت.

**کلید واژه:** خاک، اصطکاک، دگرچسبی، رطوبت، حد خمیری<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> - عضو هیئت علمی گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

<sup>۲</sup> - دانشجوی رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

<sup>۳</sup> - دانشجوی رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

<sup>۴</sup> - Plastic limit (PL)

#### مقدمه:

خاک یک ماده گرانوله شامل ترکیب متغیری از مواد آلی، سنگریزه و مقادیر مختلف آب و هوا می باشد. سیستم فیزیکی خاک پیوسته در معرض نیروهای خارجی دینامیکی قرار دارد که این نیروهای خارجی می توانند ناشی از نیروهای محیطی (آب و هوا، گیاهان، حیوانات و میکروارگانیسم ها) یا نیروهای مکانیکی باشند. (۴)

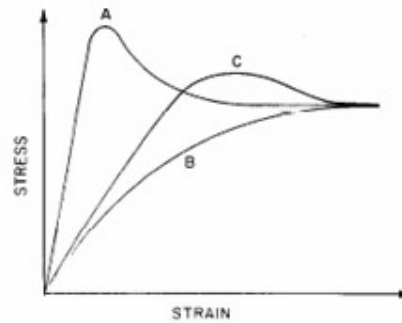
خاک در مقابل نیروهای وارده واکنش نشان می دهد. اگر نیروهای وارده در حدی باشند که موجب جابجائی در آن نگردند و خاک آنها را تحمل کند واکنش مزبور غیر فعال و اگر برعکس، نیروهای وارده زیاد و موجب تغییر و جابجائی در خاک گردند این نوع واکنش خاک را فعال نامند. (۴)

در هر لحظه از زمان، نیروهائی مانند آنچه که توسط آب و هوا وارد می شود، می تواند سبب یک واکنش غیر فعال شود. ورود آب به درون خاک یک مثال می باشد. وقتی درصد رطوبت خاک افزایش می یابد، همین نیروها می توانند همزمان سبب یک واکنش موثر، مانند تورم شوند. بنابراین حالات خاک اغلب استاتیکی نیست؛ البته با توجه به زمان، که در حقیقت هر یک از نیروها با گذشت زمان تغییر خواهند کرد. پس وضعیت خاک به چنین کمیت های نامعلوم و متغیری مثل آب و هوا، فعالیت میکروبی، آیش بندی محصول و رشد محصول نسبت داده شده است. ناتوانی در تعریف نیروها و معادلات بارگذاری دو عاملند که بطور عمده تشریح رفتار را پیچیده تر می کنند. (۴)

هر معادله ای که یک خاصیت دینامیکی را تعریف کند، یک یا چند پارامتر ریاضی را در بر خواهد داشت که توسط خصوصیات دینامیکی اندازه گیری می شوند. بنابراین خاک در یک وضعیت خاص، دارای پارامترهای ثابت است. اما چون وضعیت خاک به دلیل بعضی عوامل مانند رطوبت تغییر می کند، مقدار عددی پارامتر هم ممکن است متغیر باشد. به عبارت دیگر، پارامترهای دینامیکی خاک توسط خصوصیات دینامیکی تعیین می شوند، اگر چه رابطه دقیقی قابل دست یابی نباشد. (۳)

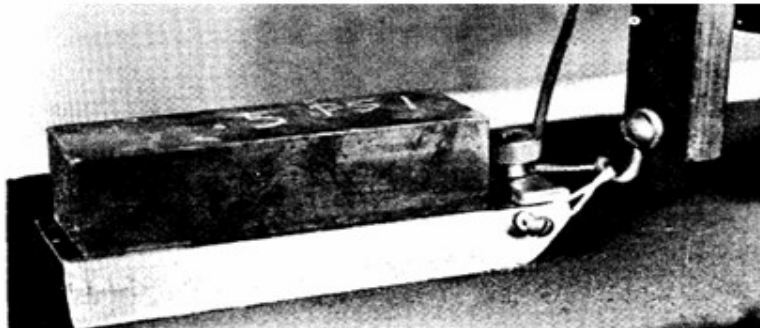
خواص دینامیکی برش، تنش، فشار و حالت پلاستیکی همگی مربوط به یک وضعیت شکست، مطابق با رطوبت خاک می باشند. اما اصطکاک یک خاصیت دینامیکی است که در جابجائی جسم صلب روی خاک مورد بحث قرار می گیرد. اصطکاک زمانی به عنوان اصطکاک خاک با خاک مطرح می شود که دو قسمت صلب خاک مورد بحثند و زمانی به عنوان اصطکاک بین خاک و فلز مطرح می شود، که یک رویه خاک با بعضی از مواد دیگر مثل ابزار فولادی کشاورزی جایگزین شود. (۳)

هنگام اندازه گیری اصطکاک خاک با خاک، تمیز دادن زاویه اصطکاک خاک روی خاک و زاویه گسیختگی ناشی از برش که شیب خط مماس در معادله ریاضی خود هستند، دشوار است. این دو زاویه به دو پدیده متمایز اشاره دارند. با توجه به این تمایز، زاویه معمولاً توسط کشیدن یک بدنه ثابت روی خاک که دارای سطح مقطع معلوم در بالای سطح خاک است، اندازه گیری می شود. در یک وضعیت مشابه، روش ها برای اندازه گیری گسیختگی ناشی از برش، برای اندازه گیری اصطکاک خاک معطوف شدند و بطور کلی تنش مماسی و کششی همزمان توسط نیروهای قائم متغیر اندازه گیری شدند. نتایج تحقیقات طبق شکل ۱ بیان شدند و مقادیر عددی مورد نیاز برای معادله شکست کولمب تعیین شدند. (۴)



شکل شماره ۱. رابطه تنش-فشار نوعی تیغه برای خاکها در سه حالت: A: سیمانی، B: سست، C: متراکم هر منحنی تحت یک بار عمودی ثابت قرار دارد.

بنابراین اصطکاک لغزشی خاک با خاک توسط یک پارامتر دینامیکی به نام  $\alpha$  و یا  $\tan \psi$  بیان شده و اصطکاک خاک با فلز می‌تواند به عنوان زاویه اصطکاک لغزشی  $\alpha'$  و یا  $\tan \psi'$  که از اندازه‌گیری‌های روی سیستم لغزش دینامیکی انجام شده، بدست بیاید. پس از آن برای ایجاد ارتباط بین خط مماس بر منحنی، بر طبق نیروی مماسی و نیروی قائم در طول تعادل دینامیکی، می‌توان مقادیر عددی مورد نیاز را فراهم کرد. لغزنده‌ای که در شکل ۲ نشان داده شده، ممکن است با ورقه‌هایی از جنس پلی‌تترا فلوروئورو اتیلن یا ماده دیگری که به خاک نچسبد، پوشانده شده باشد. در این صورت لغزشی بین فلز و خاک رخ نخواهد داد. یک چنین تکنیک لغزنده‌ای که در بعضی موارد استفاده شده، به عنوان وسیله‌ای برای اندازه‌گیری اصطکاک فلز با خاک بکار می‌رفته‌است. پاین<sup>۱</sup> از یک لغزنده عمودی نیز برای آزمایشات مزرعه‌ای استفاده کرد که احتمالاً با چنین وسیله‌ای  $\alpha'$  قابل اندازه‌گیری می‌باشد. این وسیله به یک چیز عمودی شبیه است که می‌تواند توسط یک نیروسنج متحرک درون خاک کشیده شود. نیروی عمودی روی سطح لغزش با تغییر زاویه سطح یا به وسیله افزایش سرعت عمل تغییر می‌یابد. (۴)



شکل شماره ۲. سیستم ساده لغزنده بکار رفته برای تعیین ضریب اصطکاک لغزشی

اندازه‌گیری چسبندگی مشابه اصطکاک، نیازمند اندازه‌گیری همزمان بار اصطکاک، جابجایی خاک مماس به سطح و نیروی عمودی روی سطح می‌باشد. پاین و فانتاین<sup>۲</sup> چسبندگی خاک را به عنوان یک پارامتر اضافی در معادله اصطکاک خاک با فلز تصور کردند که براین اساس خواهیم داشت:

$$s' = c_a + \sigma \tan \delta \quad (1)$$

$$s' = \text{تنش برشی (پاسکال)}$$

Payne<sup>1</sup>  
Fountain<sup>2</sup>



$$c_a = \text{چسبندگی (پاسکال)}$$

$$\sigma = \text{تنش عمودی ناشی از اصطکاک سطح (پاسکال)}$$

$$\delta = \text{زاویه اصطکاک خاک با فلز}$$

چون معادله ۱ دارای شکل کلی یکسانی با معادله کولمب است، نتایج مورد نظر بدست خواهد آمد. به عنوان یک قانون عمومی، خط مستقیم یا خطی با شیب ملایم می تواند از بین این نقاط کشف شده شود. عرض از مبدا، نشان دهنده یا  $c_a$  چسبندگی و در نتیجه پارامتر مورد نظر است. شیب خط نشان دهنده تانژانت زاویه  $\delta$  یا زاویه اصطکاک لغزشی است. پایین و فانتاین از معادله ۱ به عنوان یک مدل ریاضی برای نشان دادن چسبندگی استفاده کردند. (۴)

چسبندگی می تواند بر اصطکاک بین خاک و فلز تاثیر بگذرد. در معادله عمومی شکست کولمب از چسبندگی صرف نظر شده است و اثر آن به ضریب اصطکاک لغزشی منتقل شده است. معادله ۱ راهی برای نشان دادن چسبندگی است. اگر نیروهای عمودی افزوده شده که از چسبندگی بدست آمدند و سبب افزایش نیروی اصطکاک شدند، بتوانند تعیین شوند، معادله کولمب می تواند به این شکل نوشته شود:

$$s' = (\sigma_1 + \sigma_2) \tan \delta \quad (2)$$

$$s' = \text{تنش برشی}$$

$$\sigma_1 = \text{تنش عمودی در نتیجه چسبندگی}$$

$$\sigma_2 = \text{تنش مکانیکی}$$

$$\delta = \text{زاویه اصطکاک خاک با فلز}$$

چنین نظریه ای بطور کامل اثبات نشده است؛ چون تعادل چسبندگی و نیروهای مکانیکی اصطکاک برطبق محدوده های خاصی توسط پایین و فانتاین نشان داده شده اند، معادله ۲ به راه مستقیمی برای نشان دادن تاثیر چسبندگی روی اصطکاک لغزشی اشاره دارد. (۴)

پایین و فانتاین پارامتر دگرچسبی را برای برآورد مقدار تقریبی زاویه  $\delta$  که مرتبط با خاک و ابزار خاکورزی است، بکار بردند. در نقطه ای که سایش متوقف می شود، نقطه ای که برش خاک شروع می شود، مقدار تنش برشی داخل خاک و تنش برشی خاک و فلز برابر است. جدای از کاربرد چسبندگی برای سایش، سابقا استفاده کمی از پارامترهای چسبندگی می شد. راوی<sup>۱</sup> پارامتر چسبندگی را داخل مکانیزم یک سیستم خاک- ابزار ساده مطرح کرد اما نتوانست نتایج را با دقتی مانند دیگران بدست بیاورد. (۴)

چسبندگی دارای دو شکل مهم رفتاری است که باید در روابط خاک و ماشین نشان داده شود. اولین شکل در رابطه با اصطکاک برشی است. دومین شکل در رابطه با خود چسبندگی - stickiness - است. اگرچه خاک های بهم چسبیده دارای مواد مختلفی هستند اما این نیروها باید خاک را بطور مماس روی سطوح متفاوتی حرکت دهند. یک موقعیت مشابه می تواند در مثالی از دو سطح شیشه ای نشان داده شود که توسط لایه نازکی از آب بهم چسبیده اند. زمانیکه خاک به فلزات یا مواد دیگر می چسبد، برای حفظ سطح ابزار عاری از خاک مشکلی بوجود می آید؛ بنابراین فاز دوم چسبندگی مهم می شود. اندازه گیری پارامتر چسبندگی  $c_a$ ، چسبندگی را برای خاکی که در برابر یک سطح نگاه داشته شده، نشان نمی دهد. این نیرو زمانی مهم می شود که تحت بعضی حالات، خاک بین ابزار کششی یا قسمتهای دیگر ابزار و ماشین آلات می چسبد. تحت این حالات چسبندگی ممکن است باعث عدم حرکت حمل کننده یا کاهش عملکرد استاندارد ماشین شود. (۴)

سال ها پیش، پس از اینکه چسبندگی شناخته شد، نیاز به یک روش برای تعیین نقطه چسبندگی ضروری بود. مقدار رطوبت در خاکی که به کاردک می چسبد، به عنوان نقطه چسبندگی خاک محسوب می شود که روشی برای تعیین داده های کمی نیست اما

<sup>1</sup> Rowe

ویژگی نگهداری رطوبت خاک را منعکس می کند. فانتاین، کابوراک<sup>۱</sup> و کیسو<sup>۲</sup> روش هایی را بکار بردند که در آنها پس از اینکه نیروی لازم برای کشیدن صفحه روی خاک تعیین گردید، یک صفحه فلزی صاف به خاک فشرده شد. این مقدار بر حسب نیرو در واحد سطح بیان شد و چسبندگی نامیده شد. (۴)

نیروی چسبندگی تحت تاثیر دو فاکتور تعیین می شود: ابتدا، استحکام کشش در واحد سطح پیوند؛ دوم، سطح واقعی که پیوندها در آن رخ می دهند. فشار اعمال شده به سطح فلز هر دو کمیت را تحت تاثیر قرار می دهد، بطوریکه ارزیابی نتایج مشکل خواهد شد. همانطور که فانتاین در جدول ۱ نشان داده است، نیروی چسبندگی بطور قابل ملاحظه ای توسط فشار اعمال شده جهت برقراری اتصال بین خاک و سطح مورد آزمایش، تغییر کرده است. تعداد زیادی از پارامترهای ویژه خاک که چسبندگی را تحت تاثیر قرار می دهند، به تنهایی برای ایجاد چسبندگی بیشتر کافی نیستند. طبق تحقیقات فانتاین، زمانی که بارگذاری بزرگتری به صفحه اعمال می شود، خاک لوم رسی با رطوبت ۲۴٪، چسبندگی بزرگتری را نسبت به خاک لوم شنی نشان نمی دهد. (۴)

جدول شماره ۱. تاثیر بار فشاری بر روی نیروی چسبندگی بین خاک و صفحه فلزی

بار روی صفحه (گرم)	خاک لومی شنی با یک محتوی رطوبتی... <sup>۲</sup>		خاک لوم رسی با محتوی رطوبتی... <sup>۳</sup>	
	۲۴٪	۱۸٪	۲۹٪	۲۴٪
	گرم بر سانتی متر مربع	گرم بر سانتی متر مربع	گرم بر سانتی متر مربع	گرم بر سانتی متر مربع
۱/۵۹۰	۲۶	۱۶	۲۰	۴۰
۴/۵۹۰	۵۱	۱۷	۵۱	۵۶
۷/۵۹۰	۸۲	۱۹	۷۶	۵۷
۱۰/۵۹۰	۹۶	۳۸	۱۳۲	۶۰
۱۳/۵۹۰	۱۱۱	۳۰	۱۴۶	۶۶
۱۶/۵۹۰	۱۲۲	۳۵	۲۴۶	۸۴

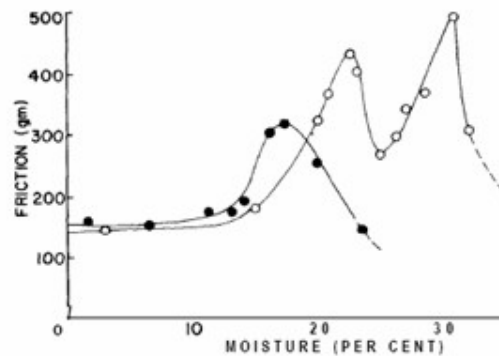
۱. یک صفحه فلزی بسیار صیقلی پوشیده شده با کروم با ضخامت ۵ سانتی متر به عنوان صفحه تست بکار برده شد.

۲. بر اساس رطوبت خشک وره

منبع: فانتاین

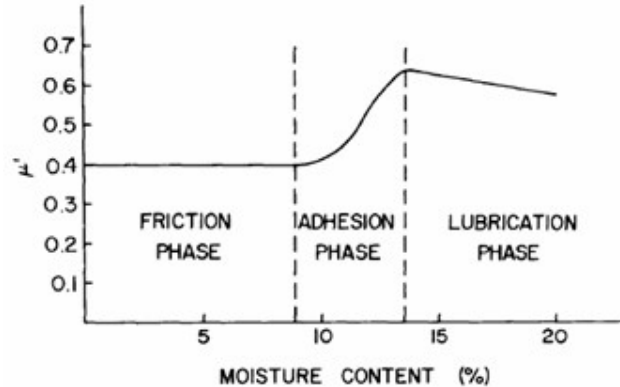
هینز<sup>۳</sup> نیروی لازم برای کشیدن یک لغزنده روی خاک های مختلف را که دارای رطوبت های متفاوتی هستند، اندازه گیری کرد. او ضریب اصطکاک لغزش آشکار شده  $\mu$  را محاسبه کرد. نتایج در شکل ۳ بیان شده است. در اصل منحنی ها بر اساس دگرچسبی<sup>۴</sup> توضیح داده می شود. در خاک شنی قسمت صاف اولیه منحنی به اصطکاک لغزشی واقعی مربوط می شود، همانطور که در معادله کلی کولمب بیان شده است. با افزودن آب، لایه رطوبت بین خاک و لغزنده توسعه می یابد و افزایش دگرچسبی را منجر می شود. افزایش نیروی دگرچسبی با افزایش وزن لغزنده مشاهده می شود، بطوریکه نیروی اصطکاکی افزایش یافته ممکن است بواسطه تغییر  $\mu$  با رطوبت نباشد بلکه بواسطه تغییر در نیروی عمودی ناشی از دگرچسبی باشد. (۵)

<sup>1</sup> Kaburaki  
<sup>2</sup> Kisu  
<sup>3</sup> Hains  
<sup>4</sup> Adhesion



شکل ۳. تاثیر رطوبت خاک بر روی ضریب اصطکاک بین خاک و فلز در خاک شنی (نقاط سیاه) و رسی (نقاط سفید).  
(هینز، مجله کشاورزی، دانشگاه کمبریج)

پایین و فانتاین به طور کلی اثبات کردند که در شرایط اشباع، دگرچسبی با افزایش نیروی عمودی عمل می کند. نیکولز<sup>۱</sup> فازهای اصلی اصطکاک خاک را طبقه بندی کرده که این فازها تا حد زیادی توسط میزان رطوبت خاک تعیین می شوند. (شکل ۴)



شکل ۴. فازهای عمومی اصطکاک خاک بکار رفته برای تعیین واکنش های خاک در در رطوبت های مختلف. (نیکولز)

میزان رطوبت به سطح لایه رطوبتی موجود و کشش رطوبتی مربوط می شود. بنابراین میزان رطوبت برای توضیح رفتار اصلی اصطکاک خاک- فلز مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به طبقه بندی نیکولز، فاز اصطکاک وقتی که خاک خشک است یافت می شود. (۵)

وقتی که رطوبت افزایش می یابد و دگرچسبی شروع می شود، ضریب اصطکاک ظاهر شده افزایش می یابد. فاز دگرچسبی زمانی که آب کافی برای ایجاد چسبندگی بالا وجود دارد، پیدا می شود؛ اما این رطوبت برای اینکه سطح آب روانی را تولید کند کافی نیست. افزایش سریع در ضریب اصطکاک ظاهر شده در گستره چسبناکی از دگرچسبی توضیح داده می شود. (۱)

هنگامی که رطوبت بیشتر افزایش می یابد و کشش رطوبتی کمتر می شود، احتمالاً موقعیتی بوجود می آید که ادهیژن نسبت به افزایش لایه رطوبتی به سرعت کاهش بیابد، بطوریکه کاهش حقیقی در کل بار را ناشی می شود. فاز روان سازی نهایی وقتی که رطوبت کافی برای کاهش کشش رطوبتی وجود دارد و یک سطح آب روان سطح خاک- فلز را فرا می گیرد، اتفاق می افتد و بنابراین کل دگرچسبی کاهش می یابد. (۵)

هتیراچی<sup>۱</sup> و دیگران ثابت کردند که کشش ابزار با افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک، کوهیژن و ادهیژن خاک و زاویه اصطکاک خاک- فلز افزایش می یابد. آنها افزودند که پارامترهای مقاومت خاک اساساً تحت تاثیر وضعیت رطوبت خاک چسبیده قرار دارند. (۵)

<sup>1</sup> Nichols

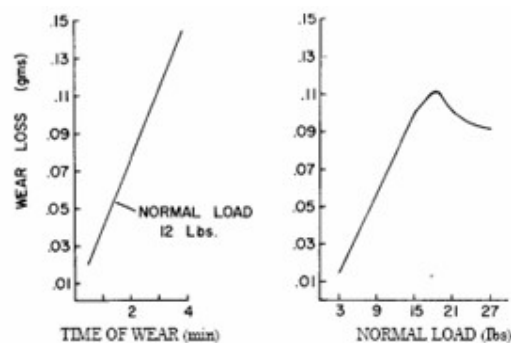


بطور کمی اگر جابجائی در کار نباشد هیچ سائیدگی رخ نمی دهد. اما گذشته از این، سرعت سایش در خاک های ماسه ای دانه ریز نسبت به خاک های شنی بیشتر است. در اینجا باید خواص نیروها و سائیدگی توسط ویژگیهای دینامیکی خاک تشریح شود، اما این خواص تا بحال شناسائی نشده است. (۱)

عمل دینامیکی لغزش خاک روی سطح فلز (سائیدگی) بیشتر شامل کاهش فیزیکی فلز به علت اصطکاک است. تحت نیروهای عمودی بزرگتر، ذرات خاک سطح سائیده شده را خراش داده و می برند. با در نظر گرفتن اینکه در پدیده سایش، یک ماده دوم وجود دارد که معمولاً فلز است، در طول عمل سایش خاک خودش نیز سائیده شده و مهم است که فرسایش این ماده دوم بر حسب مشخصات ساینده خاک ارزیابی شود. (۴)

تعامل خاک و فلز در طول سائیدگی به شدت پیچیده است. معمولاً خاک نمی تواند به عنوان یک بدنه ثابت در نظر گرفته شود و عوامل برش و خراش نشان می دهند که نیروهای خیلی کوچک هم پیچیده بوده و مقادیر متغیری دارند. بنابراین هیچ مدل واقعی، رفتار ایجاد شده را نشان نمی دهد و ارتباط بین تست های تجربی سایش و آزمایش های مزرعه ای برای ارزیابی سائیدگی بکار می روند. عوامل کلیدی که در توسعه و کاربرد تست باید مورد توجه قرار می گرفتند، شامل زمان و نوع تماس بین خاک و مواد، نیروی قائم روی خاک و ساینده، خاک و سطح مواد، دما در سطح مشترک و سرعت عمل لغزش می باشد. (۶)

در طول فرآیند سایش، ذرات ممکن است خرد شوند و سطح صاف را سائیده کنند. زمانی که نیرو روی ذرات خاک از مقاومت ذرات تجاوز کرد، ممکن است خرد شوند و یک الگوی سایش متفاوت مانند شکل ۵ نتیجه شود. تعدادی از روش ها برای ارزیابی سایش انواع متفاوتی از مواد درون خاک طراحی شده اند. در این آزمایش ها سایش بر حسب کمیت مواد از دست رفته برای بعضی حالات استاندارد ارزیابی شد. (۴)



شکل ۵. تاثیر نیروی شکست روی چگونگی سایش ذرات شن در یک تست سایش. (رید و گوردون)

فیربان<sup>۲</sup> و همکارانش سعی کردند سایش تیغه گاواهن را توسط تکنیک رادیواکتیو اندازه بگیرند. مقاطع فلزی کوچکی از تیغه گاواهن جدا شدند و در معرض تشعشع قرار گرفتند تا اینکه رادیواکتیویته شدند. سپس دوباره به جای اولشان جوش شدند. مقدار رادیواکتیویته به دقت تعیین شد تا شاخصی از سائیدگی باشد. روش های دیگر ممکن است نیاز به ترکیب لاستیک یا پلاستیک داشته باشند. (۴)

## مواد و روشها

این تحقیق به منظور اندازه گیری پارامترهای دگر چسبی و زاویه اصطکاک خاک با فلز در آزمایشگاه مکانیک خاک گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. برای اندازه گیری این پارامترها از روش پابن استفاده شد. برای انجام آزمایش ها، جعبه خاک<sup>۳</sup> با ابعاد ۱۱۰×۵۰×۲۰ سانتی متر از جنس نئوپان طراحی و ساخته شد که محوری همراه با پولی بصورت

Hettriaratchi<sup>1</sup>  
Fairbanks<sup>2</sup>  
Soil bin<sup>3</sup>

افقی به جداره بیرونی محفظه متصل شده بود تا مکان کشش قطعه فلزی روی خاک فراهم شود. (شکل شماره ۶)



شکل شماره ۶.

قطعه فلزی که روی خاک کشیده می شود بصورت مکعب مستطیل از جنس ورق فولادی با ابعاد ۴۰ ۲۰۰ ۱۰۰ سانتی متر و بصورت تو خالی ساخته شد. برای اندازه گیری نیروی کششی از یک نیروسنج فنری با دقت ۵ نیوتن استفاده شد که یک انتهای آن توسط سیم فنری غیر قابل کشش به پولی متصل شده و سر دیگر آن توسط قلاب نیروسنج به تسمه روی قطعه فلزی متصل بود. برای اطمینان از یکنواختی سرعت کشش قطعه لغزنده، مدت زمان کشش توسط کرنومتر در هر آزمایش کنترل می شد. آزمایشات با سرعت متوسط ۰/۰۲ متر بر ثانیه انجام شد.

• بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه تعیین شد که شامل ۴۸/۵٪ رس، ۳۰/۶٪ سیلت و ۲۰/۹٪ شن می باشد که جزء کلاس خاک های رسی به شمار می رود. حد خمیری خاک نیز تعیین گردید که مقدار آن ۲۰/۵ درصد وزنی خشک می باشد. با توجه به اینکه رطوبت خاک فاکتور مهمی در تعیین پارامترهای فیزیکی خاک می باشد، آزمایشات در پنج رطوبت مختلف ۰/۳PL، ۰/۶۵PL، ۰/۷۳PL، ۰/۸۸PL و ۱ PL، در شرایطی که میانگین دمای محیط آزمایشگاه ۱۹ درجه سانتیگراد بود، تکرار شد. برای تعیین رطوبت ها، نمونه هایی در طول انجام آزمایش گرفته شد و وزن مرطوب آنها همراه با وزن ظرف، توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم تعیین شد. سپس نمونه ها در کوره با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. پس از این مدت نمونه ها از کوره خارج و دوباره وزن شدند و رطوبت آنها تعیین گردید.

$$MC\% = \frac{S_W - S_D}{S_D} \cdot 100 \quad (3)$$

$MC$  = میزان رطوبت خاک (d.b%)

$S_W$  = جرم خاک مرطوب (gf)

$S_D$  = جرم خاک خشک (gf)

• خاک با رطوبت معین به ارتفاع ۱۰ سانتی متر در داخل جعبه ریخته شد و سطح خاک توسط یک ماله دستی مسطح گردید. قطعه لغزنده روی خاک قرار گرفت و بار عمودی مورد نیاز که برای ۵ بار تکرار، شامل وزنه های ۱ تا ۵ کیلوگرمی بود، به ترتیب بر روی قطعه اعمال گردید. برای افزایش دقت آزمایش، هر اعمال بار سه مرتبه تکرار شد و در نهایت میانگین این سه داده تعیین شد و به عنوان داده نهائی برای آن بار عمودی، ثبت گردید.

• بعد از اعمال بارگذاری عمودی، نیروی کششی مورد نیاز جهت کشیدن قطعه فلزی توسط چرخاندن پولی ایجاد و از روی نیروسنج قرائت گردید؛ از لحظه شروع حرکت قطعه، زمان نیز اندازه گیری شد. مسافت ثابت ۲۰ سانتی متر برای هر کشش در نظر گرفته شده است. قبل از هر مرحله بارگذاری، سطح خاک به حالت اولیه برگردانده شد.

• با استفاده از رابطه پیشنهادی ترزاقی<sup>۱</sup>، که فرم کلاسیک معادله شکست خاک کولمب - موهر می باشد، دگرچسبی و ضریب اصطکاک خاک با فلز تعیین می شود.

<sup>1</sup> Terzaghi



$$\tau = C_a + \sigma \tan \delta \quad (4)$$

$\tau$  = تنش برشی

$\sigma$  = تنش عمودی

$C_a$  = دگرچسبی خاک

$\delta$  = زاویه اصطکاک خاک- فلز

نمودار  $\sigma - \tau$  رسم گردید که شیب نمودار پوش گسیختگی، بیان کننده ضریب زاویه اصطکاک خاک - فلز بوده و عرض از مبدا آن، مقدار  $C_a$  را نمایش خواهد داد. (با رسم نمودار  $N - F$  نیز همین نتایج حاصل خواهد شد).

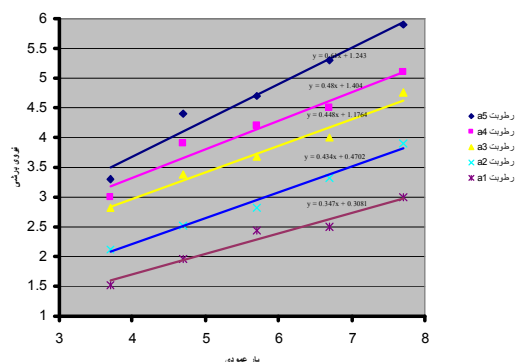
### نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج حاصل از آزمایشات را در رطوبت های مختلف نشان می دهد. همانگونه که مشخص می باشد با افزایش رطوبت خاک تا حدود حد خمیری، مقدار نیروی مورد نیاز برای کشیدن قطعه فلزی افزایش یافته است. نتایج این جدول در شکل ۶ رسم شده است. مقادیر دگر چسبی و زاویه اصطکاک خارجی را می توان از روی این نمودار ها به دست آورد.

جدول ۲. مقادیر نیروی کششی و بار عمودی در رطوبت های مختلف

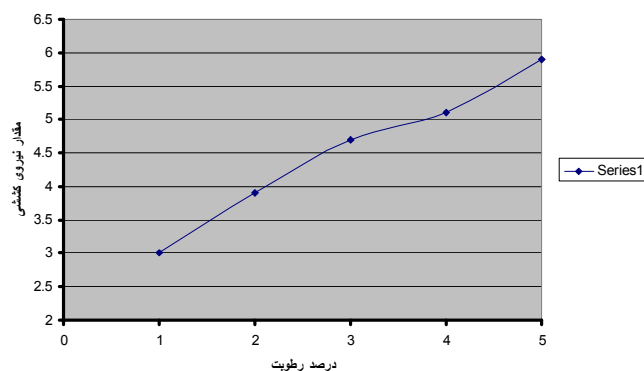
بار عمودی (کیلوگرم)	نیروهای کششی اندازه گیری شده (کیلوگرم)				
	رطوبت ۱ (۰/۳PL)	رطوبت ۲ (۰/۶۵PL)	رطوبت ۳ (۰/۷۳PL)	رطوبت ۴ (۰/۸۸PL)	رطوبت ۵ (۱PL)
۳/۷	۱/۵۳	۲/۱۳	۲/۸۳	۳	۳/۳
۴/۷	۱/۹۷	۲/۵۳	۳/۳۸	۳/۹	۴/۴
۵/۷	۲/۴۳	۲/۸۳	۳/۶۸	۴/۲	۴/۷
۶/۷	۲/۵	۳/۳۳	۴	۴/۵	۵/۳
۷/۷	۳	۳/۹	۴/۷۳	۵/۱	۵/۹

پوش کشش



شکل شماره ۷. تغییرات نیروی کششی در مقابل بار عمودی در رطوبت های مختلف  
شکل ۷. مقادیر ضریب اصطکاک خارجی و دگر چسبی خاک را برای رطوبت های مختلف نشان می دهد. شیب خطوط رسم شده زاویه اصطکاک خارجی و عرض از مبدا دگر چسبی خاک می باشد.  
جدول ۳. مقادیر به دست آمده برای زاویه اصطکاک خارجی و دگر چسبی، خاک.

تغییرات نیروی کششی



رطوبت	$\tan \delta$	$C_a$
۱	۰/۳۵	۰/۳۱
۲	۰/۴۳	۰/۴۷
۳	۰/۴۵	۱/۱۷
۴	۰/۴۸	۱/۴
۵	۰/۶۱	۱/۲۴

شکل شماره ۸. تغییرات نیروی کششی با مقدار رطوبت

جدول ۳ نشان می دهد که این مقادیر با افزایش رطوبت زیاد می شود فقط باید به این نکته توجه داشت که در رطوبت های بالاتر از حد خمیری که در این آزمایشات انجام نشده است، تغییرات این ضرایب ممکن است به گونه ای متفاوت اتفاق افتد.  
همانگونه که شکل ۸ نیز نشان می دهد با افزایش رطوبت خاک مقدار نیروی مورد نیاز برای کشیدن قطعه فلزی افزایش یافته که به دلیل افزایش مقدار دگر چسبی و زاویه اصطکاک خاک با فلز می باشد. اگر آزمایشات در رطوبت های بالاتر تکرار شود مقدار نیروی کششی به دلیل کاهش مقدار دگر چسبی خاک کاهش می یابد.

### پیشنهادات

- ۱- برای اینکه نمودار شکل ۶ بصورت دقیق تر و کامل تر رسم گردد پیشنهاد می شود که آزمایشات در گستره وسیع تری از سطوح رطوبتی انجام شود تا بتوان کاهش دگر چسبی بعد از حد خمیری خاک و نیز تغییرات آن را در سطوح پایین رطوبتی مشاهده کرد.
- ۲- آزمایشات را می توان در خاک های مختلف تکرار کرد و مقادیر این ضرایب را برای بافت های مختلف خاک به دست آورد.



### سپاسگزاری

در پایان جا دارد که از استاد گرامی، جناب آقای دکتر حداد درفشی که در تمام مراحل این پروژه با راهنمایی های سودمند و بی دریغ شان ما را یاری دادند، سپاسگزاری نمائیم.

### منابع

- ۱- شهیدی، کاظم - احمدی مقدم، پرویز \_ ۱۳۸۴ ، رابطه ماشین و خاک: فیزیک و مکانیک خاک و خاکورزی \_ ارومیه : جهاد دانشگاهی، واحد ارومیه
- ۲- بهروزی لار، منصور. ۱۳۸۰. اصول طراحی ماشینهای کشاورزی. مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد.
- ۳- صالح زاده ، حسین. ۱۳۷۲. اصول طراحی خاک (مکانیک خاک). جلد اول و دوم. دانشگاه علم و صنعت ایران.
4. Gill, William R., and Glen E. Vanden Berg. 1968. a) Assessment of the Dynamic Properties of soils. Chapter 3 in Soil Dynamics in Tillage and Traction, Agriculture Handbook No. 316, pp. 55-116.
5. Gill, William R., and Glen E. Vanden Berg. 1968. b) Dynamic Properties of soils. Chapter 2 in Soil Dynamics in Tillage and Traction, Agriculture Handbook No. 316, pp. 14-116.
6. Ferguson.S.A and J.M.Fielke,1998, Wear of Cultivator Shear in Abrasive South Australian Soils, Agr. Eng.