به‌کارگیری روش غیرمستقیم جهت اندازه گیری مقاومت کششی برخی ماشین‌های خاک ورزی

جلال خدائی
استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان
j.khodaei@uok.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی امکان اندازه گیری مقاومت کششی ماشینهای خاک ورزی توسط روش غیر مستقیم با استفاده از شاخص میزان سختی خاک و مقایسه آن با روش مرسوم دینامومتری در سه منطقه مختلف از استانهای کردستان و کرمانشاهان آزمایشاتی صورت گرفت.

در طراحی آزمایش اندازه گیری مستقیم مقاومت کششی ادوات خاک ورزی توسط دینامومتر با ظرفیت حداکثر ۵۰۰۰ کیلوگرم نیرو و دیتالاگر از طرح فاکتوریل استفاده گردید. دراین طرح سرعت پیشروی در سه سطح، عمق کار در سه سطح و متغیر مورد اندازه گیری، مقاومت کششی هر یک از ادوات بود. تعداد تکرارهای هر آزمایش ٤ تکرار در نظر گرفته شد..پس از تعیین مشخصات آماری داده های آزمایشی رابطه مقاومت کششی و ویژه با فاکتورهای زیر تعیین گردید: عمق کار، عرض کار، سختی خاک و سرعت حرکت .

نتایج آزمایش نشان داد که تغییرات سختی خاک (P_m) مطابق با تغییرات مقاومت ویژه در مناطق آزمایشی مختلف است. همچنین این تطابق در داده های بدست آمده از درجه همبستگی بین مقاومت ویژه و سختی خاک مشاهده می گردد. ضرایب همبستگی بدست آمده دارای مقادیر به حد کافی بالایی هستند: ۰/٤۱ تا ۰/۹۹. ضمنا بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش و تحقیقات دیگران مشخص شد که سختی خاک شاخص مرکب و کاملی است که به طور مستقیم روی مقاومت مفید خاک به هنگام شخم تأثیر دارد.

واژه های کلیدی: مقاومت کششی ، ماشینهای خاک ورزی ، دینامو متری ، شاخص سختی خاک

مقدمه

استان کردستان در جغرافیای کشاورزی ایران جایگاه ارزنده ای داشته و یکی از قطبهای مهم کشاورزی ایران ، بخصوص در زمینه تولید محصولات زراعی و باغی ، به حساب می آید . بدیهی است که بهره گیری صحیح از ادوات و ماشینهای کشاورزی از ضروریات رشد و توسعه مکانیزاسیون بوده و این هدف میسر نمی گردد جز آنکه انتخاب و کاربرد ماشینهای کشاورزی و توزیع مناسب آن ، بایستی بر پایه تحقیقات گسترده و اصول علمی صورت گیرد . اگرچه امروزه تقریباً ۱۰۰٪ عملیات خاک ورزی در استان کردستان ، که سخت ترین و پرمصرف ترین عملیات از نظر انرژی محسوب شده ، به صورت کاملاً ماشینی و مکانیزه انجام می شود ، اما ؛ از آنجایی که از ابتدا ، سیل انبوه ماشینهای خاک ورزی بدون مطالعه و تحقیق در اختیار بخش کشاورزی قرار گرفته است و این

انتخاب‌هاپایه درست علمی نداشته و به جرأت می توان گفت که هیچ نوع مطالعه ای تاکنون در این رابطه صورت نگرفته است ، لذا ؛ضرورت بررسی علمی میزان مقاومت کششی خاکها ی استان کردستان و طبقه بندی آنها بر اساس دشواری عملیات خاک ورزی احساس می شود .موضوع تحقیق پیش رو ، پیدا کردن جواب برای مسئله مطرح شده است و سعی شده است که مسئله از دیدگاهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد .

در ارتباط با کاربردهای فرایندهای مکانیزاسیون تولیدات کشاورزی استان کردستان ،سوال مهمی مطرح می شود و آن تهیه نقشه های مقاومت ویژه خاکها هنگام شخم و همچنین دیگر خواص تکنولوژیکی خاک است . دانستن این خواص در بکارگیری صحیح مجموعه تراکتور – ماشین و توزیع تراکتورها و ادوات خاک ورزی بسته به شرایط اقلیمی ضروری است .

به هنگام طراحی، ساخت و روزآمد کردن ماشینهای خاک ورزی، روش دینامومتری برای اندازه گیری نیروهای مقاومت اعمال شده روی عوامل خاک ورز، اهمیت قبل ملاحظه ای دارد. به منظور انتخاب صحیح مجموعه تراکتور و ماشین، تعیین مقدار مصرف سوخت و همچنین تأمین کنترل روی وضعیت فنی تراکتورها و ماشین های کشاورزی و نیز صحت تنظیماتشان، روش دینامومتری را هم در طی اجرای کارهای تحقیقاتی و هم به هنگام بهره گیری از ماشین بکار می برند

اولین دینامومترهای کشش در نیمه دوم قرن ۱۸ ظهور کرده و از آنها برای تعیین مقاومت کششی گاوآهنهای دامی به هنگام اجرای آزمایشات مقایسه ای استفاده می کردند. امروزه استفاده از انواع مختلف و جدید دینامومترها (فنری، هیدرولیکی، الکترونیکی(سنسوردار) باعث می شوند تا داده هایی برای حل مشکلات ناشی از بهره گیری از این ماشینها و بسیاری مسائل نظری بدست آیند. اما بسیاری از محققین تلاش کردند فرمولهای تحلیلی برای محاسبه مقاومت کششی ماشینهای خاک ورزی پیشنهاد کنند.

گاریاچکین امکان بکارگیری فرمولهای مرحله ای را به هنگام تعیین نیروهای کشش گاوآهنها مورد تحقیق قرار داده و به این نتیجه رسید که فرمولهایی از این نوع، برای تعیین نیروهای مقاومت ظاهر شده در طی فرایند خاک ورزی ، مناسب نیستند(Горячкин,1968). بر اساس تحقیقات نظری و کارهای آزمایشی گسترده برای تعیین مقاومت کششی گاوآهنهای دامی و گاوآهنهای تراکتوری با ساختمانهای متفاوت، گاریاچکین فرمول صحیح مقاومت کششی گاوآهنها را پیدا کرد:

$$P = fG + Kab + \varepsilon abv^2 \qquad (۱)$$

درستی این فرمول برای تعیین مقاومت کشش گاوآهنها را گاریاچکین و بسیاری دیگر از محققین از طریق پردازش داده های بدست آمده به روش دینامومتری به اثبات رساندند.اما دامنه وسیع تغییرات مقادیر ضرایب $\boldsymbol{K}$ ، $\boldsymbol{f}$ و $\boldsymbol{\varepsilon}$ مستمسکی شد تا محققین دیگر(Пигулевский,1929 ;Зеленин,1950; Бахтин,1971 ; Ксеневич,2002)به این نتیجه برسند که فرمول منحصر به فردگاریاچکین برای تعیین مقاومت کششی گاوآهن مناسب نیست. زیرا در این فرمول خصوصیات خاک و شکل هندسی عامل خاک– ورز گاو آهن مدنظر قرار نگرفته است.

برای تعیین مقاومت کششی گاوآهن با گذشت زمان تعدادی فرمول پیشنهاد گردید که اساس آنها استفاده از برخی خصوصیات فیزیکی – مکانیکی خاک بود. اولین تحقیق در این رابطه را گالوگورسکی انجام داد که برای تعیین مقاومت کششی گاوآهن تئوری مقاومت موهر را مورد استفاده قرار داد(Гологурский,1917). بر اساس این تئوری می توان مقاومت کششی گاوآهن را محاسبه کرد به شرطی که مقادیر تنشهای عمودی و مماسی و نیز زوایای اصطکاک داخلی و خارجی معلوم باشد.

پاکروفسکی فرمولی را برای تعیین نیروی کششی گاوآهن پیشنهاد کرد که بر اساس آن، به این نتیجه رسید که انواع اصلی تغییر شکلهای خاک در طی عملیات شخم، جابجایی و فشار به وجود می آیند (Покровский,1935). اما این فرمول هم به حد کافی پیچیده است و درعمل کاربرد اندکی دارد. از طرف دیگر ایجاد مشخصات خاک برای این فرمول نیاز به کارهای آزمایشگاهی طولانی مدت و دقیق دارد.

ولکانوفسکی خاطر نشان میکند که به دلیل نبود داد ه هایی در مورد خواص فیزیکی – مکانیکی خاکها، می توان تحقیقاتی را در مورد استفاده از شاخصهای شرطی مشابه با فلزشناسی انجام داد که در آن جا مقیاسهای سختی برای خواص فلزات (بر حسب برینل یا راکول و غیره)را به طوروسیعی به کار می گیرند (Волкановский,1937). وی پیشنهاد می کند که مقاومت خاک را با شاخص مقاومت خاک به نفوذ پلانجر K_sدر جهت افقی یعنی در امتداد لایه های خاک مشخص کرد. اگر نسبت این شاخص را به مقاومت ویژه خاک K_s که در دینامومتری مستقیم بدست آمده، تعیین کنیم پس ضریب مقاومت نسبی $V_r = \frac{K_S}{K_r}$ می تواند مقدار ظرفیت انرژی این یا آن وسیله را مشخص کند. تحقیقات انجام شده نشان دادند که علیرغم نوسانات شدید مقاومت نسبی این یا آن گاوآهن و همچنین مقاومت ویژه در رطوبتهای مختلف مزرعه، ضریب مقاومت نسبی برای هر مارک گاوآهنی عملاً تغییر ناپذیر است. او نتیجه مهمی را بدست می دهد: روش ارزیابی ویژگیهای کششی ادوات خاک ورزی بر اساس مقاومت نسبی به هنگام اجرای تحقیقات مختلف راحت است.

ماروزوف دارای دیدگاهی است که بین سختی خاک و مقاومت آن به هنگام شخم رابطه ای وجود دارد (Морозов,1938). بر اساس نظر وی زمانی می توان به این رابطه مطمئن شد که رطوبت خاک در حد اپتیمم باشد. وی همچنین تأکید کرد که در واکنشهای خاک به هنگام نفوذ سختی سنج و هنگام کار خیش گاوآهن همانندی وجود ندارد. با افزایش رطوبت خاک، سختی آن کاهش می یابد اما مقاومت خاک در آغاز کاهش یافته و سپس به دلیل چسبیدن خاک به عوامل خاک ورز افزایش می یابد.

کاچینسکی همبستگی بالایی را بین سختی خاک و مقاومت ویژه آن در یک خاک شخم خورده با رطوبت نسبی در محدوده ۳۰ تا ۷۵ درصد پیدا کرد(Качинский ,1939 ;Качинский ,1937) . با استفاده از آمار ریاضی و بر اساس معادله رگرسیون او ضریب مقاومت ویژه خاک را هنگام شخم بر اساس سختی خاک محاسبه کرد. مقاومت ویژه تعیین شده توسط این فرمول خیلی نزدیک به مقاومت ویژه تعیین شده به روش دینامومتری بود. شوچکین به طور کامل و به صورت جزئی روش تعیین مقاومت ویژه گاوآهنها را بر اساس ویژگیهای سختی سنج پایه گذاری کرد(Щучкин,1940) .با آنالیز کارهای بیشماری که او انجام داده بود به این نتیجه رسید که عواملی چون ترکیب مکانیکی خاک، ساختمان ، رطوبت، فون و عملیات کشاورزی قبلی و آلودگی مزرعه به علف هرز

روی مقاومت ویژه خاک موثر هستند، اما از میان تمام خواص فیزیکی- مکانیکی خاک، میزان سختی آن کاملترین شاخص است که بیشتر از همه به طور کامل، مقاومت مفید را هنگام شخم مشخص می کند.

در استان کردستان عملیات خاک ورزی عمدتاً در مرحله اولیه توسط گاوآهن برگرداندار سه خیشه و در مرحله ثانویه توسط هرسهای بشقابی (دیسکها) صورت می پذیرد. اما شاخصهایی چون عمق کار، درجه خرد شدن کلوخه ها، برگردان شدن لایه خاک، به زیر خاک بردن بقایای گیاهی و علفهای هرز، تسطیح سطح مزرعه و.... دارای کیفیت لازم نیست و آنهم به دلیل عدم مطالعه بر روی تناسب ادوات مذکور باشرایط زراعی منطقه می باشد. لذا به منظور انتخاب صحیح تراکتورها، گاوآهنها و سایر ادوات خاک ورزی، تعیین نرم کار، مصرف سوخت، قطعات یدکی و نیز انجام محاسبات مهندسی ساختمان ماشینهای خاک ورزی، لازم است خاکهای استان کردستان از لحاظ میزان سختی آنها یعنی بر اساس مقاومت ویژه شخم شناسایی گردند.

مطمئن ترین روش تعیین مقاومت کششی روش دینامومتری مستقیم گاوآهن در شرایط مزرعه است اما اجرای این روش به دستگاههای پیچیده نیاز دارد که کار با آنها نیاز به مهارت بالا داشته و گران قیمت هم هستند. بنابراین برای تعیین مقاومت ویژه خاک لازم است در جستجوی روشهای ساده و مطمئن ارزیابی مشکل بودن عملیات خاک ورزی بود.

مواد و روشها

در تحقیق حاضر با توجه به امکانات موجود جهت اجرای آزمایشات سه منطقه متفاوت در استانهای کردستان و کرمانشاهان شناسایی و انتخاب گردید. این مناطق عبارت بودند از بانه، بیجاردر کردستان و مزرعه آموزشی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه. برخی از خصوصیات فیزیکی خاک محلهای مورد آزمایش در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی خاک مورد مطالعه

محل آزمایش	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک	وزن مخصوص ظاهری
بانه	۵۰	۲۵	۲۵	لوم رس شنی	۱/۳۸۵
بیجار	۳۲	۳۱	۳۷	لومی رسی	۱/۲۷۶
کرمانشاه	۲۲	۳۹	۳۹	لومی رسی	۱/۳۲٤

برای تصحیح و تطبیق تحقیقات نظری در مورد امکان جایگزینی روش مستقیم دینامومتری با روش غیر مستقیم تعیین مقاومت کششی، تحقیقات آزمایشی بر روی گاوآهن سه خیش برگرداندار GAK-14 در منطقه بانه، گاوآهن کششی سه خیش در بیجار و دیسک آفست ۳۲ پره مدل جاندیر ۳٤۰ در مزرعه دانشکده کشاورزی کرمانشاه صورت گرفت. تراکتور مورد استفاده برای کشش دیسک MF390، برای کشش گاوآهن کششی Case 930 و برای کشش گاوآهن GAK-14 از نوع MF285 بود.

در طراحی آزمایش اندازه گیری مستقیم مقاومت کششی ادوات خاک ورزی توسط دینامومتر و دیتالاگر از طرح فاکتوریل استفاده گردید. دراین طرح سرعت به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح، عمق به عنوان فاکتور فرعی در سه سطح و متغیر مورد اندازه گیری، مقاومت کششی هر یک از ادوات بود. برای این منظور کرتهایی به طول ۵۰ متر انتخاب شده و تعداد تکرارهای هر آزمایش ٤ تکرار در نظر گرفته شد. سرعتهای انتخاب شده در آزمایش دیسک جاندیر ۱/۰۱، ۱/۵۲ و ۲/۱۳ متر در ثانیه و عمقهای مورد بررسی ۷، ۱۰ و ۱۳ سانتی متر بود. در آزمایش گاوآهن کششی سرعتها ۱/۰٦، ۱/۱۹ و ۱/۳۳ و عمقها ۲۰، ۲۵ و ۳۵ سانتی متر و در آزمایش گاوآهن سوار GAK-14 از سرعتهای ۱/٦، ۱/۹ و ۲/۱ متر در ثانیه و عمقهای ۲۰، ۲۵ و ۳۵ سانتی متر استفاده شد.

به این منظور در تحقیق انجام شده از یک دینامومتر و یک دیتالاگر با ظرفیت حداکثر ۵۰۰۰ کیلوگرم نیرو برای اندازه گیری و ثبت مقاومت کششی ادوات استفاده شد.

برای انجام آزمایش پس از استقرار دینامومتر در محل اشاره شده ، توسط سیم رابط اتصال بین دینامومتر و دیتالاگر برقرار شده و داده ها ثبت و ضبط گردید. به منظور آنالیز اندازه گیری های انجام شده توسط دینامومتر و دیتالاگر ، اتصال بین دیتا لاگر و کامپیوتر برقرار شده و اطلاعات ذخیره شده در دیتالاگر به کامپیوتر منتقل شده و سپس توسط نرم افزارLab VIEW 8.2 پردازش مورد نظر انجام گرفت. برای آنالیز آماری نتایج آزمایش و رسم گرافها از برنامه های آماری Excel و SPSS استفاده گردید.

اندازه گیری جرم مخصوص ظاهری

برای اندازه گیری جرم مخصوص ظاهری از سیلندرهای نمونه برداری فولادی به قطر و ارتفاع تقریبی ۵ سانتی متر استفاده شد. نمونه های دست نخورده در ظرفهای پلمپ شده به آزمایشگاه ارسال شده و پس از توزین، در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت ۸ ساعت قرار داده شده و سپس در دسیکاتور، قبل از توزین مجدد خنک شده و جرم مخصوص ظاهری خاک خشک شده در آون از رابطه زیر محاسبه گردید (صائبی منفردوهمکاران، ۱۳۸۵).

$$D_b = \frac{M}{\pi R^2 L} \qquad (۲)$$

که M جرم نمونه خشک شده، R- شعاع داخلی استوانه و L- طول نمونه استوانه ای شکل است.

تعیین رطوبت خاک

اندازه گیری رطوبت خاک با موضوع روش نمونه برداری برای محاسبه جرم مخصوص ظاهری مرتبط است. پس از نمونه گیری در مزرعه، خاک مرطوب به همراه استوانه در مزرعه توزین شده و سپس نمونه ها در آزمایشگاه به مدت ۸ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد درون خشک کن قرار داده شده و پس از خنک شدن در دسیکاتور مجدداً توزین شده و رطوبت درون خاک معمولاً به صورت درصدی از وزن خاک خشک مطابق رابطه زیر محاسبه می شود (صائبی منفردوهمکاران، ۱۳۸۵) :

$$\text{درصد وزنی رطوبت خاک} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \qquad (۳)$$

که در آن:

W_1- وزن استوانه ، W_2- وزن خاک مرطوب و استوانه و W_3- وزن خاک خشک و استوانه می باشد.

تعیین مقاومت فروسنجی یا شاخص مخروطی (CI)

برای اندازه گیری مقاومت خاک و میزان سختی آن از دستگاه فروسنج [1] مدل3739-29 EL ساخت شرکت ELE intrnational استفاده شد. این دستگاه از نظر ساختمانی تشکیل شده است از : ۱- نوک مخروطی با زاویه راس ۳۰ درجه و قطر پایه ۲۸ میلیمتر و ارتفاع ۵۳ میلیمتر ،۲- میله نفوذ : این میله از ۳ قطعه جداگانه هر کدام به طول ٤٥ سانتیمتر تشکیل شده که برای حالتهایی که بخواهند از طول بیشتر میله استفاده کنند ، آنها را به هم پیچ می کنند. ، ۳- دسته فشار دهنده و ٤- صفحه مدرج:این صفحه به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده و به ازای هردور گردش عقربه مقدار نیرویی برابر یک kN قرائت می شود . با فشار دا دن میله نفوذ به داخل خاک مقدار سختی خاک بر اساس عمق نفوذ بر روی صفحه مدرج مشخص شده و یادداشت می گردد. میزان نیروی وارده بر انتهای مخروطی میله نفوذ در هنگام حرکت، در هر عمق بستگی به مقدار سختی خاک داشته، تا مرحله تشکیل هسته متراکم خاک در مقابل نوک مخروط رابطه خطی بوده و پس از تشکیل هسته ، نیروی کمتری مورد نیاز بوده و مجددا به محض رسیدن نوک مخروطی شکل به خاک سخت تحت الارض میزان نیرو افزایش خواهد یافت (Адиньяев et al.,2000; Ксеневич et al., 2002; Панов et al., 2005; Gill, W.R. et al., 1968).

برای محاسبه مقاومت نقطه ای یا شاخص مخروطی از فرمول زیر استفاده می گردد:

$$CI = 0.098\left(\frac{F}{A}\right) \qquad (٤)$$

که در آن:

CI- شاخص مخروطی خاک بر حسب مگاپاسکال (MPa)؛ F- نیروی عمودی وارد بر مخروط بر حسب کیلوگرم نیرو (kgf)و سطح مخروط بر حسب سانتی متر مربع (cm^2) می باشد (مصدقی و همکاران، ۱۳۷۸) .

نتایج و بحث

ارزیابی مصرف انرژی ادوات خاک ورزی

پس از انجام آزمایشات مطابق با روشهای بیان شده در بخش مواد و روشها و ضمن استفاده از ابزارهای اندازه گیری و ادوات تعیین شده، به منظور بررسی و آماده نمودن اطلاعات بدست آمده برای ارزیابی مصرف انرژی گاوآهنها و دیسکها، داده های مذکور آنالیز آماری شده و در همین راستا میانگین ها، واریانس ها، ضرایب تغییرات، ضرایب همبستگی و معادلات رگرسیون تنظیم گردید. نتایج ارزیابی مصرف انرژی در جداول ۲و ۳ آمده است.

جدول ۲- نتایج ارزیابی انرژی گاوآهنهای برگرداندار

محل آزمایش	متغیر اندازه گیری شده	واحد	امید ریاضی	واریانس	ضریب تغییرات به درصد
بیجار	مقاومت کششی(P)	kN	١٤/١٢	٤/٩٢	٢/٨٦
	مقاومت کششی ویژه(k)	N/cm^2	٩/٠٤	٢/١٩	٤/١٢
بانه	P	kN	٢١/٤٨	٦/٨١	٣/١٥
	k	N/cm^2	١٣/٢٨	٣/٩٥	٣/٣٦

[1] - DESK proving ring penetrometer

جدول۳- نتایج ارزیابی انرژی دیسک

محل آزمایش	متغیر اندازه گیری شده	واحد	امید ریاضی	واریانس	ضریب تغییرات به درصد
کرمانشاه	مقاومت کششی(P)	kN	۱۸/۰۲	۵/۸۱	۲/۸۰
	مقاومت کششی ویژه(k)	N/cm^2	۵/۹٤	۰/۸۹	۲/۹٤

ارزیابی اطمینان در تمام آزمایشات در جدول٤آمده است .

جدول ٤- فواصل اطمینان مقاومت کششی و ویژه

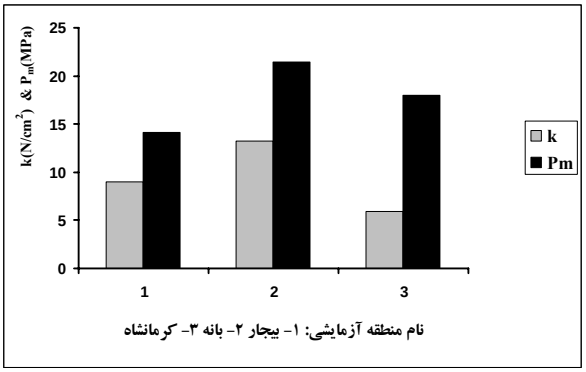
	تیمارهای آزمایش		
	بانه	بیجار	کرمانشاه
نوع وسیله خاک ورزی	گاوآهن سوار	گاوآهن کششی	دیسک
فاصله اطمینان مقاومت کششی(P)برحسب kN	۱۳/٤۰۰ – ۳۱/۵۷۰	٦/۳٦۰ – ۱٦/۲۷۰	۱۹/۰٤۰ – ۷/۸۰۰
فاصله اطمینان مقاومت ویژه K برحسب N/cm^2	۷/۵ – ۱۹/۱	۹/٦ – ۱٤/٤	٦/۲ – ۱۱/۸

پس از تعیین مشخصات آماری داده های آزمایشی رابطه مقاومت کششی و ویژه با فاکتورهای زیر تعیین گردید: عمق کار، عرض کار، سختی خاک، سرعت حرکت. آنالیز همبستگی به تعیین نوع پیوند بین کمیتهای مطالعه شده کمک کرد. رابطه بین هر دو متغیر تصادفی به کمک ضریب همبستگی تعیین شد.مسئله اساسی در آنالیز همبستگی تعیین شکل رابطه همبستگی است یعنی تعیین معادله تحلیلی بین دو یا چند متغیر به کمک معادله رگرسیون. پس از ایجاد میدان همبستگی در محورهای مختصات x و y ، نوع فرمولهای عملی تعیین می شود. با استفاده از روش حداقل مربعات، پارامترهای فرمولهای عملی تعیین می گردند. معادلات رگرسیون، ضرایب همبستگی و اعتبار آنها در جدول ۵ بیان شده است .

آنالیز نتایج روشهای مستقیم و غیر مستقیم تعیین مقاومت کششی ویژه

تغییر شکل بوجود آمده در خاک هنگام نفوذ سنبه سخت به داخل آن، با فرایند تغییر شکل خاک توسط گوه تشابه دارد. بنابراین انتظار می رود که بین شاخصهای نفوذ سنج مخروطی ومقاومت ویژه ادوات خاک ورزی همبستگی وجود داشته باشد.

در شکل ۱ نمودار مقادیر متوسط مقاومت ویژه شخم (k) و سختی خاک (P_m) برای سه منطقه آزمایشی آورده شده است.



شکل ۱- نمودارهای مقادیر متوسط مقاومت ویژه و سختی خاک در مناطق مختلف آزمایشی

جدول ۵ - معادلات رگرسیون، ضریب همبستگی و اشتباه ضریب همبستگی

محل آزمایش	رابطه	نوع معادله	ضریب همبستگی	اشتباه ضریب همبستگی به درصد
بیجار	مقاومت کششی وعمق P(a)	$P = 1735.84 + 1641.11a$	۰/۵۱	۰/۰۷۵
	مقاومت کششی و عرض کار P(b)	$P = 1181.53 + 161.89b$	۰/٤۱	۰/۰۸
	مقاومت کششی و سرعت کار P(v)	$P = 14925.4 - 25060.29v + 12038.18v^2$	۰/۷٦	۰/۰٤۳
	مقاومت ویژه و سرعت K(v)	$K = 3.30 \times e^{(1.169v)}$	۰/۹٦	۰/۰۰۸
	مقاومت ویژه و سختی متوسط خاک$K(P_m)$	$K = 0.52 + 1.6Pm$	۰/۹۹	۰/۰۰۲
بانه	مقاومت کششی وعمق P(a)	$P = 5653.82 + 1327.76a$	۰/۷۹	۰/۰۷۵
	مقاومت کششی و عرض کار P(b)	$P = 3910.62 + 224.31b$	۰/٦۹	۰/۰٤٥
	مقاومت کششی و سرعت کار P(v)	$P = 14327.84 - 19625.62v + 8829.78v^2$	۰/۸۲	۰/۰۳۹
	مقاومت ویژه و سرعت K(v)	$K = 12.04 + 0.25v + 0.325v^2$	۰/۹۳	۰/۰۲۱

	مقاومت ویژه و سختی متوسط خاک(P_m) K ←↓	$K = 2.75 \times 10^{-2} + 2.13Pm$	۰/۹۹	۰/۰۰۳۱
کرمانشاه	مقاومت کششی وعمق P(a)	$P = 14984.05 + 2034.67a$	۰/۵۰	۰/۱۰
	مقاومت کششی و عرض کار P(b)	$P = 11318.65 + 205.29b$	۰/۵۰	۰/۱۰
	مقاومت کششی و سرعت کار P(v)	$P = 12082.25 + 627.5v^2$	۰/۸۵	۰/۰۰٤
	مقاومت ویژه و سرعت K(v)	$K = 4.47 + 1.70v + 0.11v^2$	۰/۹۹	۰/۰۰۳
	مقاومت ویژه و سختی متوسط خاک(P_m) K	$K = 0.89 + 1.25Pm$	۰/۹۸	۰/۰۰۳

همچنانکه از نمودار پیداست تغییرات سختی خاک (P_m) مطابق با تغییرات مقاومت ویژه در مناطق آزمایشی مختلف است. همچنین این تطابق در داده های بدست آمده از درجه همبستگی بین مقاومت ویژه و سختی خاک مشاهده می گردد. ضرایب همبستگی بدست آمده (جدول ۵) دارای مقادیر به حد کافی بالایی هستند: ۰/٤۱ تا ۰/۹۹.اما با این وجود، ضریب همبستگی هنوز رابطه بین (k) و (P_m) را آشکار نمی کند. بنابراین نمودار روابط تابعی این کمیتها ترسیم شد (شکل ۱). طبق نمودار، رابطه(k) و (P_m) یک رابطه خطی است.

تعیین ضرایب تبدیل فروسنجی خاک جهت محاسبه مقاومت ویژه شخم

بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش و تحقیقات دیگران (Качинский ,1939;Бахтин,1971 Николаев,1939; Щучкин,1940;) مشخص شد که سختی خاک شاخص مرکب و کاملی است که به طور مستقیم روی مقاومت مفید خاک به هنگام شخم تأثیر دارد. بنابراین چنین شاخصی می تواند کاملاً در روش تعیین غیر مستقیم مقاومت ویژه شخم ونیز به منظور طبقه بندی خاکها بر اساس دشواری عملیات خاک ورزی مورد استفاده قرار بگیرد.

همچنانکه قبلاً ذکر شد مقاومت کششی ادوات خاک ورزی با فرمول گاریاچکین (Горячкин,1968) بیان می شود. معیار دشواری عملیات خاک ورزی، مقاومت ویژه شخم می باشد(Синеоков et al.,1977). مقدار ضریب K نه تنها تابعی از خواص فیزیکی خاک است بلکه به ساختمان ادوات خاک ورزی (شکل هندسی، ابعاد عوامل خاک ورز، وجود پیش گاوآهن وپیش برهای بشقابی، میزان تیزی لبه های خاک ورز وغیره) هم بستگی دارد.

بر اساس داده های دینامومتری، مقدار ضریب K از فرمول $K = \frac{P}{ab}$ تعیین می شود .اما مقدار K محاسبه شده با این فرمول، نه تنها بیانگر مقاومت تغییر شکل خاک است ، بلکه در برگیرنده اصطکاک کفش ها و مقاومت غلطشی چرخها نیز میباشد، یعنی شامل هم مقاومت مفید و هم مقاومت مضر است. درست تر آن است که ضریب مقاومت ویژه را بر اساس کمیت نیروی «خالص» برش تعیین کرد که فقط در برگیرنده ی مقاومت مفید عوامل خاک ورز است.

$$K_0 = \frac{P_2}{ab} \qquad (۵)$$

P_2 – مقاومت تغییر شکل لایه خاک.

بین ضرایب K_0 و K رابطه زیر برقرار است:

$$K_0 = \eta K \qquad (٦)$$

η – ضریب عمل موثر وسیله خاک ورزی که مقدار متوسط آن ۰/۷ است (Синеоков et al.,1977). با در نظر گرفتن فرمول (٦) ، ضرایب تبدیل به صورت زیر در می آیند:

$$m = \frac{\eta K}{Pm} \qquad (٧)$$

$$n = \frac{\eta K}{c} \qquad (٨)$$

حدود اطمینان با احتمال ۰/۸ برای سختی خاک و ضرایب m و n در جدول ٦ داده شده است:

جدول٦- حدود اطمینان سختی خاک و ضرایب mو n

محل آزمایش	سختی خاک (P_m) بر حسبMPa	ضریب تبدیل m	ضریب تبدیل n
بیجار	٤/٥ – ٣/٠	٢/٧٤– ١/٨٣	٠/٦٤– ٠/٤
بانه	٦/٥ – ٤/٣	١/٩٢–١/٢٧	٠/٧ – ٠/٤
کرمانشاه	٥/٠ – ٢/٩	٢/٨٤–١/٦٥	١/٢ – ٠/٥٨

با جمع بندی داد ه های بدست آمده، مقادیر متوسط ضرایب تبدیل را مطابق جدول ۷ خواهیم داشت:

جدول ۷ – مقادیر متوسط ضرایب m و n

رطوبت خاک به درصد	عمق کار cm	ضرایب					
		m			n بر حسب N/cm^2		
		گاوآهن سوار	گاوآهن کششی	دیسک	گاوآهن سوار	گاوآهن کششی	دیسک
١٠–١٤	٠–١٠	١/٥٨	١/٩	١/٨٢	٠/٣١	٠/٤٠	٠/٥٧
١٤–١٦	١٠–٢٠	١/٧	٢/٢٨٦	٢/٤٤	٠/٥٧	٠/٦٤	٠/٦١
١٦–١٩	٢٠–٣٠	٢/٠٣	٣/٠٢	–	٠/٧	٠/٧٦	–

بر اساس نتایج آزمایشات می توان به این نتیجه رسید که برای بیشتر اراضی زراعی استان کردستان، در رطوبتهای خاک از ١٠ تا ١٩ درصد، هنگام شخم با گاوآهن برگرداندار در عمقهای تا ٣٠ سانتی متر، مقدار ضرایب انتقالی برابر (٣ تا ١/٥) = m و (٠/٧٥ تا ٠/٣) =n N/cm^2 و هنگام دیسک زدن ، (٣ تا ١/٨)=m و (٠/٦١ – ٠/٥٧) = n N/cm^2 می باشد.

نتیجه گیری

تحقیقات آزمایشی در رابطه با دینامومتری گاوآهنهای برگرداندار و دیسکها در خاکهای سه منطقه و بالاخره تعیین سختی خاک توسط نفوذ سنج مخروطی منجر به کسب نتایج ذیل گردید:

۱- گرچه عملیات خاک ورزی در استان کردستان کاملاً مکانیزه است و در تمام نقاط استان از ماشینهای خاک ورزی استفاده می شود اما به دلیل عدم مطالعه در زمینه مطابقت داشتن ادوات مذکور با شرایط اقلیمی و زراعی منطقه و به تبع آن توزیع صحیح تراکتورها و ماشینهای کشاورزی، پایه ریزی شرایط عملیات، مصرف سوخت و توزیع قطعات یدکی، لازم است خاکهای استان از دیدگاه میزان مشکل بودن عملیات یعنی مقاومت ویژه کششی به هنگام عملیات خاک ورزی مورد بررسی قرار بگیرند.

۲- بررسی روشهای مختلف تعیین مقاومت ویژه خاکها بدون استفاده از دینامومتر، نشان دادکه بیشترین توجه و اهمیت را روش غیر مستقیم تعیین مقاومت کششی آن هم با استفاده از پارامتر سختی خاک (فروسنجی) به خود جلب کرده است. این پارامتر بیانگر شاخص مرکب خواص فیزیکی – مکانیکی خاکها ست.

۳- در روش غیر مستقیم تعیین مقاومت ویژه خاک هنگام شخم زدن، مناسبترین شاخص، میزان سختی خاک است، زیرا توسط آن سرعت اعمال بار محاسبه می شود.

٤- آنالیز همبستگی نشان داد که رابطه بین مقاومت کششی (P)، عمق شخم (a) و عرض کار (b) با معادله رگرسیون خطی و مقاومت کششی (P) با مجذور سرعت کار بیان می شود.

رابطه مقاومت ویژه خاک به هنگام شخم (P_m) و سختی خاک(K)با معادله خطی رگرسیون برآورد می شود.

۵- تحقیق نشان داد که سختی خاک، به عنوان شاخص مرکب و کاملی از مقاومت کششی مفید گاوآهنها محسوب شده که می توان آن را برای تعیین ضرایب انتقالی در محاسبه مقاومت ویژه خاک به کار گرفت.

منابع و مآخذ

۱. صائبی منفرد، ه . صداقت حسینی، س.م. ۱۳۸۵ .آزمون و ارزیابی ماشین آلات و تجهیزات کشاورزی (ترجمه) .چاپ اول ، انتشارات نشر آموزش کشاورزی، ٤۱۰ ص.

۲. مصدقی ،م.ر. حاج عباسی،م.ع. همت ، ع . افیونی، م.۱۳۷۸ . اثر رطوبت خاک و کود دامی بر تراکم پذیری خاک مزرعه لورک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ، دانشگاه صنعتی اصفهان . دوره ۳(٤).۲۷-۳۹ .

3. Gill ,W.R. & Vanden Berg ,G.E.1968.Soil dynamics in tillage and traction. Agricultural Handbook No.316.P.512.

4.Бахтин П.У. 1971.Физико-механические и технологические свойства почв.Изд." Знание" , м..

5.Волкановский В.С. .1937.Тяговая характеристика почвообрабатывающих орудий.-Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйсва ,№ I.

6.Гологурский Т.М. 1917. Технологические процессы в почве при её обработке.Пер.с немецкого под ред.М.Х.Пигулевского .Петроград.

7.Горячкин В.П. 1968.Собрание сочинений.Рациональная формула для тяги плугов.-Т.I,2,3,М.:Колос.

8.Зеленин А.Н. . 1950.Физические основы теории резания грунтов .Изд.АН СССР.М.-Л.

9.Качинский Н.А. 1937.Свойства почвы как фактор ,определяющий условия работы сельскохозяйственных машин.-почвоведение, № 8,с.1119-1132.

10.Качинский Н.А. 1939.Определение удельного сопротивления почвы при пахоте по сопротивлению почвы расклиниванию и подрезанию.- почвоведение,ц 9 , с.15-46.
11.Морозов Д.Р. 1938.О методах определения удельного сопротивления почвы.- Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйсва , № 2.
12.Николаев Г.А. 1939.Влияние почвенных условий на тяговое сопротивление плугов.- Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйсва ,№ 2-3 , с.49-52.
13.Панов И.М., Токушев Ж.Е. 2005.Теория конструкция и расчет ротационных почвообрабатывающих машин.-Кокшетау: Изд. Кокшетауского университета, -314 с.
14.Покровский Г.Н. 1935.К теории работы плуга.-Почвоведение ,№ 56, с-863-866.
15.Пигулевский М.Х. .1929.Физико-механические свойства рыхлых дорожных материалов .М.:Транспечать.
16.Сельскохозяйственные машины и оборудование.Машиностроение Энциклопедия.Т.IV-16.И.П.Ксеневич,Г.П.Варламов,Н.Н.Колчин и др.,Под ред.И.П. Ксеневича.2002.-720 с.
17.Сельскохозяйственные машины. Практикум /М.Д.Адиньяев ,В.Е.Бердышев,И.В.Бумбар и др.;Под ред.А.П.Тарасенко.-М.:Колос,2000.-240с.
18.Синеоков Г.Н.Панов И.М. 1977.Теория и расчет почвообрабатывающих машин.М.: Машиностроение, с.6-37.
19.Щучкин Н.В. .1940.Физико-механические свойства почвы и тяговое сопротивление плугов.- Механизация и электрификация соц. сельского хозяйсва ,№ 7,с.22-28.

Measuring draft resistance of some tillage equipments using indirect method

J.Khodaei
Assistant professor, Faculty of agriculture, University of Kurdistan

Abstract

To study indirect method according to cone index in measuring draft resistance of some tillage equipments in comparison with dynamometry method, experiments were conducted in three different regions in Kurdistan and Kermanshahan provinces of Iran. The treatments included velocity in 3 levels and depth in 3 levels in a factorial experiment design with four replications for each machine. Draft resistances were measured using direct method.

After determining statistical characteristics, the relation of draft and specific resistances with depth and width of plowing, cone index and velocity of movement were determined.

The results indicated that changes in cone index consistent with changes in specific resistance. Also this consistency was observed for correlation coefficient between specific resistance and cone index (ranging from 0.41 to 0.99). This study indicated that cone index as an indirect method for measuring draft resistance of equipments is a complete index that directly affect on useful resistance of soil in tillage.

Keywords: Draft resistance, Tillage equipment, Dynamometry, Cone index**.**