DOI: 10.22059/ijbse.2018.237132.664965 مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷ (ص ۳۷۷-۳۶۷)

Suitable Conservation Tillage Machinery for Loam-Silt Soils Based on the Amount of Crop Residue and Principal Component Analysis Method (PCA)

ROGHAYE KASHANIZADEH[1], HASSAN ZAKI DIZAJI[*2], MAHMOOD GHASEMI NEJAD[3], NAVAB KAZEMI[4]

1. M. Sc. student, Biosystems engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Assistant professor, Biosystems engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. Assistant professor, Department of Agricultural Machinery and Mechanization, Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Ahvaz, Iran
4. Assistant professor, Department of Agricultural Machinery and Mechanization, Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan,, Mollasani, Ahvaz, Iran

(Received: July. 8, 2017- Revised: Apr. 2, 2018- Accepted: Apr. 9, 2018)

ABSTRACT

Reduction of tillage operations in conventional systems and its replacement with a reduced tillage and conservation systems is recommended in order to sustainable production in agriculture and preservation of soil and water resources. In this research, the effect of applying three types of conventional tillage machines with different geometry that have less rigidity of soil tillage than conventional tillage machines (Chisel packer, combined tiller and offset disc) on the performance parameters of tillage including Specific draft, specific tillage energy, and weighted average diameter of clods, roughness of soil surface and percent of crop residue on the soil surface. Tillage depth is fixed in 20 cm, forward speed was in three levels (2.5, 4.5 and 6 km/h) and tillage machinery type was in three levels. Double Split plot in Randomized Complete Block Design used in the study in which tillage depth (main factor), forward speed (secondary factor) and the tiller type (sub-secondary factor) were the independent variables. The results showed that the amount of residues remaining on the soil surface after soil tillage was negatively correlated with not only special draft but also with other indices (weighted average diameter of clods and roughness of soil surface), and crop residue after soil tillage was applied as a criterion for comparing soil tillage machinery. The results of the comparison of the ranking of treatments based on two methods (amount of crop residues after soil tillage and the Component Analysis method) showed that the combined tiller and the offset disc at low velocity and Chisel packer at high velocity is recommended for conservation systems of tillage.

Keywords: Special draft, Conservation tillage, Clod diameter, Soil roughness.

[*]Corresponding Author's Email: hzakid@scu.ac.ir

انتخاب خاک‌ورز حفاظتی مناسب خاک‌های لومی- سیلتی بر اساس میزان بقایای گیاهی و روش تحلیل مؤلفه‌ی اصلی (PCA)

رقیه کاشانی زاده[۱]، حسن ذکی دیزجی[۲*]، محمود قاسمی نژاد[۳] و نواب کاظمی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳. استادیار،گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۴. استادیار، گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

(تاریخ ارسال: ۱۷/ ۴/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۱۳/ ۱/ ۱۳۹۷- تاریخ تصویب: ۲۰/ ۱/ ۱۳۹۷)

چکیده

برای تولید پایدار در بخش کشاورزی و حفظ منابع آب و خاک، کاهش عملیات خاک‌ورزی در نظام‌های مرسوم و جایگزینی آن با انواع نظام‌های کم‌خاک‌ورزی و حفاظتی توصیه می‌گردد. در این پژوهش، تأثیر به‌کارگیری سه نوع خاک‌ورز حفاظتی با هندسه متفاوت که از شدت خاک‌ورزی کمتر نسبت به خاک‌ورزهای مرسوم برخوردارند (چیزل پکر، خاک‌ورزمرکب و دیسک خارج از مرکز)، بر پارامترهای عملکردی خاک‌ورزی شامل نیروی کشش ویژه، انرژی ویژه خاک‌ورزی، میانگین وزنی قطر کلوخه، ناهمواری سطح و درصد پوشش بقایای گیاهی بررسی گردید. سرعت پیشروی خاک‌ورزی در سه سطح ۲/۵، ۴/۵ و ۶ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شد. عملیات خاک‌ورزی در عمق ثابت ۲۰ سانتی متری انجام شد. پارامترهای عملکردی شامل سرعت پیشروی واقعی، نیروی مقاوم کششی و توان کششی توسط سامانه جمع‌آوری داده‌های عملکردی تراکتور-خاک‌ورز اندازه‌گیری شد. طرح آزمایشی استفاده شده در این پژوهش، کرت خرد شده در قالب بلوک کامل تصادفی بود که در خاک لومی سیلتی با نه تیمار و سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان دادند که مقدار بقایای به جا مانده بر سطح خاک پس از خاک‌ورزی نه تنها با نیروی ویژه‌ی مقاوم کششی، بلکه با دیگر شاخص‌ها (میانگین وزنی قطر کلوخه و ناهمواری سطح خاک) نیز همبستگی منفی دارد و می‌توان بقایای گیاهی پس از خاک‌ورزی را به عنوان معیاری برای مقایسه‌ی خاک‌ورزها به کار گرفت. نتایج مقایسه‌ی رتبه‌بندی تیمارها بر اساس دو روش (مقدار بقایای به جا مانده پس از خاک‌ورزی و روش آماری تحلیل مؤلفه اصلی) نشان داد که خاک‌ورز مرکب و دیسک خارج از مرکز در سرعت‌های کم و چیزل پکر در سرعت‌های بالا برای خاک‌ورزی حفاظتی توصیه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: مقاومت کششی ویژه، خاک‌ورزی حفاظتی، قطر کلوخه، ناهمواری خاک

* ایمیل نویسنده مسئول: hzakid@scu.ac.ir

مقدمه

در فرآیند تولید محصولات زراعی، عملیات خاک‌ورزی مهم‌ترین و انرژی‌برترین مرحله است، به‌طوریکه حدود ۶۰٪ از کل انرژی مکانیکی مصرفی در کشاورزی مکانیزه، صرف عملیات خاک‌ورزی و تهیه بستر بذر می‌شود (Jacobs *et al*., 1983). مسئله‌ی انتخاب ادوات مناسب با توجه به افزایش روز افزون قیمت سوخت در جهان و آگاهی از اثرات نامطلوب تردد بیش از حد تراکتورها به هنگام اجرای عملیات خاک‌ورزی، روز به روز بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. امروزه آن نوع خاک‌ورزی مورد انتخاب قرار می‌گیرد که با کمترین مصرف انرژی، مناسب‌ترین شرایط را برای بستر بذر و رشد گیاه به‌وجود آورد (Drovicky *et al*., 1998; Loghavi and Hossein Pour, 2004).

نیروی کشش ویژه (نیروی وارد شده بر واحد سطح کار) یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی ادوات است که به شرایط خاک (رطوبت، بقایا، ساختمان، بافت و فشردگی) و هندسه تیغه‌های ادوات خاک‌ورزی بستگی دارد. در تحقیقی با انجام مقایسه نیروی مقاوم کششی در میان خاک‌ورزها اعلام شده است که نه تنها با افزایش عمق خاک‌ورزی بلکه با افزایش سرعت پیشروی، در همه‌ی خاک‌ورزها، افزایش نیروی کشش مشاهده می‌شود. ژئومتری تیغه‌های چیزل در نیروی کششی بسیار مؤثر است به‌طوریکه در اثر طراحی متفاوت با افزایش سرعت از ۲/۸ به ۶/۱ کیلومتر بر ساعت، افزایش نیروی مقاوم کششی دیسک ۱/۵ برابر، خاک‌ورز چیزل نوع اول ۲/۵ برابر و خاک‌ورزچیزل نوع دوم به میزان ۱/۱ برابر مقدار اولیه افزایش یافته است (Al-Suhaibani and Al-Janobi, 1997).

میانگین وزنی قطر کلوخه یکی از پرکاربردترین پارامترهای خاک‌ورزی است که نسبت به ادوات خاک‌ورز، سرعت پیشروی و رطوبت خاک حساسیت بالایی دارد (Hu *et al*., 2007). کیفیت خاک‌ورزی عمدتاً با طراحی و نحوه‌ی به‌کارگیری خاک‌ورز تغییر می‌کند (Hughes and Baker, 1997). عوامل موثر بر تولید کلوخه و خاک‌دانه در خاک‌ورزی شامل، هندسه تیغه (نوع تیغه، زوایای تمایل و حمله، نوع فلز، تیزی تیغه، شکل و انحنای ساق‌ها) و عوامل مدیریتی (سرعت و عمق خاک‌ورزی) است (Reshad Sedghi and Loghavi, 2009). میانگین وزنی قطر کلوخه، یکی از مهم‌ترین اهداف خاک‌ورزی که همان بستر مناسب بذر است را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نسبت خردشدگی خاک (Q≤۲۲ میلی‌متر) را نیز به همین منظور تعریف نموده‌اند. سرعت پیشروی و شرایط خاک اثر معنی‌داری بر اندازه کلوخه‌ها دارند و اندازه‌ی کلوخه‌ها با انرژی مصرفی ویژه در خاک‌ورزی رابطه‌ی عکس دارد (Khaffaf and Khadr, 2008).

یکی دیگر از پارامترهای مهم جهت ارزیابی ادوات خاک‌ورزی، ناهمواری سطح خاک است. ناهمواری‌های سطح خاک با ترکیبی کاملاً تصادفی از کلوخه‌های خاک پدید می‌آید و نقش فعالی در قابلیت نگهداری رطوبت، سرعت نفوذ و جریان آب و همچنین تبخیر و فرسایش بادی و آبی ایفا می‌کند (Stevens *et al*., 2009). افزایش ناهمواری، با آسان‌سازی نفوذ آب به داخل خاک و نیز با کاستن از تبخیر سطحی، موجب افزایش ذخیره‌ی آب در خاک می‌گردد. ادوات خاک‌ورزی باعث ایجاد دو نوع ناهمواری یکنواخت یا قابل پیش‌بینی و غیریکنواخت یا تصادفی می‌گردند (Guzha, 2004). در تحقیقی در بررسی ناهمواری‌های سطح خاک در سه سیستم بی‌خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی عمیق، این نتیجه بدست آمد که ناهمواری سطح خاک با شدت خاک‌ورزی افزایش می‌یابد (Sharratt *et al*., 2006). در تحقیقی دیگر، ناهمواری سطح خاک تحت تاثیر نوع خاک و انباشتگی خاک جلوی تیغه-ی خاک‌ورز تغییر کرد و همچنین نوع خاک‌ورز در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر ناهمواری‌های سطح خاک مؤثر واقع شد (Moreno *et al*., 2008). البته باید به این نکته نیز توجه کرد که هر سطح همواری پس از خاک‌ورزی، ناشی از خاک‌ورزی کاهش یافته نیست و چه بسا در اثر خاک‌ورزی شدید و پودر شدن ذرات خاک نیز سطحی هموار پس از خاک‌ورزی به وجود آید که از نظر فرسایش و فشردگی، بسیار آسیب‌پذیر است (Cresswell *et al*., 1991).

امروزه با شناخت میزان تأثیر مثبت بقایای گیاهی بر تثبیت کشاورزی پایدار، مقدار بقایای گیاهی مبنای ارزیابی نظام‌های خاک‌ورزی و خاک‌ورزها شده است. به گونه‌ای که اگر پس از خاک‌ورزی یا قبل از کاشت ۳۰ درصد سطح زمین پوشیده از بقایای گیاهی باشد خاک‌ورزی را حفاظتی، اگر سطح زمین پوشیده با بقایا بین ۱۵ و ۳۰ درصد باشد، کم‌خاک‌ورزی و برای پوشش کم‌تر از ۱۵ درصد، خاک‌ورزی مرسوم گویند (Gajri and Arora 2006). بقایای گیاهی با طول بیش‌تر، در طی خاک‌ورزی کم‌تر با خاک مخلوط می‌شوند، به‌طوریکه با افزایش طول از ۱۰ به ۱۷/۵ و ۲۵ سانتی‌متر، نسبت پوشش سطح خاک از ۴۰ به ۵۵ و ۶۵ درصد می‌رسد. البته با افزایش طول بقایا از ۵ به ۲۵ سانتی‌متر، به جابه‌جایی بقایا ۲۰٪ افزوده شده و در سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت، بقایای دفن نشده با طول ۲۵ سانتی‌متر نسبت به بقایایی با طول ۵ سانتی‌متر، ۷۵٪

بیش‌تر روی خاک باقی می‌مانند (Liu and Chen, 2010).

همچنین در پژوهشی الگوهای کشت بهینه، مبتنی بر اهداف انفرادی به همراه الگوی کشت چند هدفه و با تأکید بر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در منطقه داراب با استفاده از روش برنامه‌ریزی چند هدفه آرمانی فازی بررسی شدند (Erfani Far *et al.*, 2013). لذا می‌توان با تکیه بر آنالیزهای مختلف آماری چند هدفه (شاخص‌های خاک‌ورزی) خاک‌ورز مناسب را انتخاب کرد. یکی از این روش‌ها، تحلیل مؤلفه‌ی اصلی (PCA[1]) نام دارد که با توجه به مجموع ضرایب همبستگی دو گانه میان متغیرهای مستقل انجام می‌شود. البته اگر بتوان از همبستگی یکی از متغیرها، رفتار دیگر متغیرها را پیش بینی نمود، مقایسه و رتبه‌بندی تیمارها بسیار سریع و آسان صورت می‌پذیرد. لذا هدف این پژوهش بکارگیری دو روش متمایز PCA و میزان بقایای گیاهی پس از خاک‌ورزی، در انتخاب خاک‌ورز حفاظتی مناسب و مقایسه‌ی این دو روش و معرفی میزان بقایای گیاهی پس از خاک‌ورزی، به عنوان روش سریع و آسان در انتخاب خاک‌ورز مناسب است.

1 - Principal component analysis

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان و در تابستان سال ۱۳۹۵ انجام شد. مشخصات خاکی که در آن خاک‌ورزی به عمق ۲۰ سانتی‌متر انجام شد، در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. مشخصات خاک مورد آزمایش

بافت خاک	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	رطوبت (٪)	جرم مخصوص ظاهری g/cm^3
(لوم سیلتی)	۱۹	۵۰	۳۱	۱۵	۱/۵۳

طرح، متغیرهای مستقل و تیمارهای آزمایشی

این طرح به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل ۳ نوع از ادوات خاک‌ورز (T) بکار گرفته شده و ۳ سطح سرعت پیشروی (S) بودند. T_1: گاوآهن چیزل پکر سوار (۵ ساقه با عرض تیغه ۶ سانتی متری، زاویه حمله ۱۷ درجه و عرض کار ۱/۵۰ متر، و غلتک خورشیدی با وزن متغیر). T_2: خاک‌ورز مرکب (۷ ساقه ارتعاشی با فنر مارپیچ، ۶ بشقاب ارتعاشی با فنر تسمه‌ای، عرض بال ۳۷ سانتی‌متری، زاویه حمله ۳۵ درجه، غلتک دندانه‌ای با عرض کار ۲/۱ متر. T_3: دیسک خارج از مرکز (۲۸ بشقابی، دارای بشقاب‌های کروی با قطر ۵۰ سانتی‌متر با عرض کار ۲/۴ متر) که هر سه نوع خاک‌ورز در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

شکل ۱. ادوات خاک‌ورز مورد آزمایش: گاوآهن چیزل پکر سوار (سمت راست) خاک‌ورز مرکب (وسط) و دیسک خارج از مرکز (سمت چپ)

سطوح عامل سرعت پیشروی (S) پژوهش به شرح زیر بود:

S_1: ۲/۵ کیلومتر بر ساعت

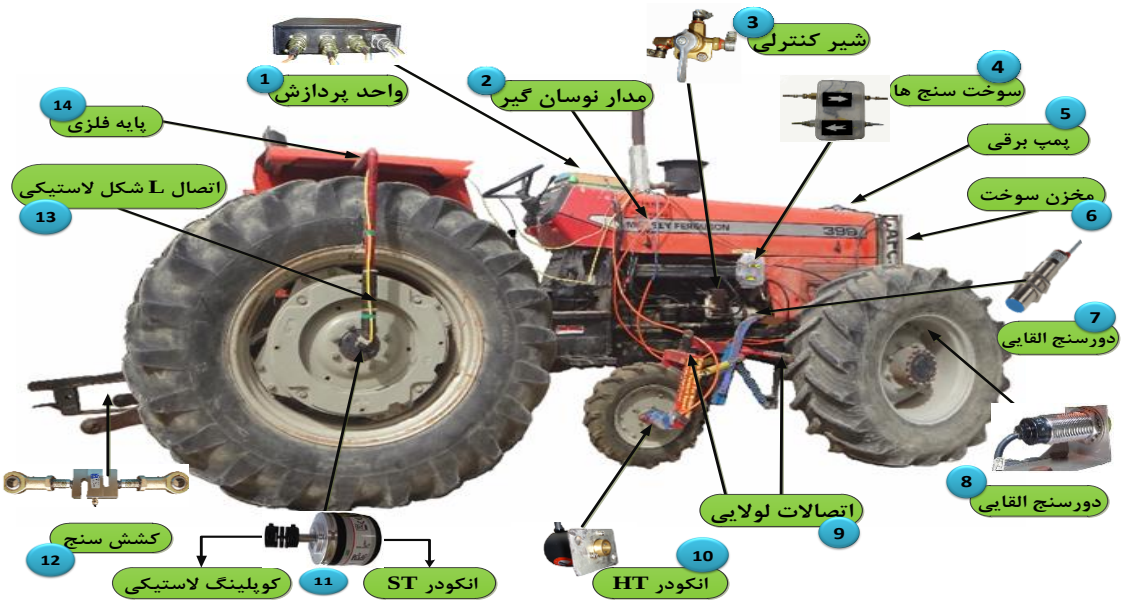
S_2 : ۴/۵ کیلومتر بر ساعت

S_3 : ۶ کیلومتر بر ساعت

ترکیب $S_nT_nR_n$ به عنوان ترکیب هر کرت معرفی شد (R: تکرار) و هر ترکیب در یکی از ۲۷ کرت مورد نظر پیاده شد. در طرح کرت‌های خرد شده برای بررسی بیشتر نوع خاکورز، سرعت به عنوان فاکتور اصلی و نوع خاک‌ورز به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد.

داده‌برداری

از سامانه اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی تراکتور با استفاده از تراکتور مجهز به سامانه RTPM در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین برای داده‌برداری استفاده شد. سامانه مورد استفاده، طی پژوهشی توسط کاظمی و همکاران طراحی و ساخته شده است (Kazemi *et al.*, 2015). این سامانه به طور مختصر از نظر سخت‌افزاری طبق شکل ۲ شامل سه واحد جداگانه است. جمع‌آوری، پردازش و نمایش اطلاعات که به صورت آنی و بی‌سیم انجام شد و کاربر به‌طور همزمان با اجرای عملیات، تغییرات آنی را مشاهده کرده و سپس داده‌ها را با فرمت اکسل ذخیره می‌نمود. با این سامانه می‌توان در هر ثانیه ۱۰۰۰ داده برداشت نمود و بدیهی است که انتخاب زمان‌های خیلی کوتاه حجم نمونه برداری را زیاد و دقت را افزایش می‌دهد و در تحلیل و مدیریت اطلاعات بسیار مفید است. پارامترهایی که سامانه نصب شده روی تراکتور، توانایی اندازه‌گیری و ذخیره اطلاعات آن‌ها را دارد عبارتند از: سرعت دورانی موتور، سرعت دورانی و خطی کلیه چرخ‌های تراکتور، سرعت واقعی پیشروی، نیروی کششی و مصرف سوخت که از این میان برای انجام این پژوهش از پارامترهای نیروی کششی و سرعت پیشروی واقعی که با استفاده از چرخ پنجم به‌دست می‌آید، استفاده شد.



شکل ۲. تراکتور فرگوسن ۳۹۹ مجهز شده به سامانه اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی از راه دور (Kazemi *et al.*, 2015)

پس از اندازه‌گیری نیروی مالنبدی در عمق و سرعت پیشروی مشخص، مقدار نیروی کشش بر واحد سطح کار (SF) از رابطه ۱ به‌دست آمد.

$$SF = \frac{F}{A} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$SE = \frac{E}{V} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$V = A \times L \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$E = W = F \times L \quad \text{(رابطه ۴)}$$

در این معادلات، SF : نیروی کششی ویژه بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع، F: نیروی کششی مالبندی، بر حسب کیلونیوتون، SE: انرژی ویژه خاک‌ورزی بر حسب کیلوژول بر مترمکعب، L: طول مسیر خاک‌ورزی شده بر حسب متر، A: مساحت مقطع خاک‌ورزی بر حسب متر مربع، V: حجم خاک تحت خاک‌ورزی بر حسب متر مکعب و W: کار بر حسب ژول می‌باشد.

کار برابر است با نیرو ضرب در جابجایی (طول مسیر خاک‌ورزی). انرژی نیز توانایی انجام کار است و از جنس همان کار می‌باشد. طبق معادله‌ی زیر، می‌توان نیروی کششی ویژه (بر اساس نیرو بر واحد سطح) را معادل انرژی کششی ویژه (بر اساس نیرو بر واحد حجم) قرار داد.

$$SF = \frac{\frac{E}{L}}{A} = \frac{E}{A \times L} = \frac{E}{V} = SE \quad \text{(رابطه ۵)}$$

برای اندازه‌گیری بقایای گیاهی از قاب چوبی با مساحت ۲ متر مربع و مطابق با شکل ۳ استفاده شد. در عمل، قاب به صورت اتفاقی روی زمین انداخته شد و بقایای جمع شده در

درون قاب جمع‌آوری و (پس از به تعادل رسیدن رطوبت بقایا با محیط) توزین شدند و با نمونه‌ی پیش از خاک‌ورزی مقایسه شده و در نهایت درصد باقی مانده گیاهی محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر کلوخه‌ها، پس از خاک‌ورزی در هر کرت، حدوداً ۱۰-۱۵ کیلوگرم خاک از هرکرت و در سه تکرار برداشته شد و سپس نمونه روی ۱۱ سرند مطبق (از بزرگ به کوچک با اندازه‌ی سوراخ: ۴ اینچ تا ۰/۲۵ اینچ) ریخته شد (شکل ۴) و بدون اینکه حرکت یا لرزشی وارد شود به حال خود رها شدند تا خاک از بالا تا پایین با توجه به ابعاد کلوخه بر روی سرندها ثابت شود.

شکل ۳. اندازه‌گیری درصد پوشش بقایای گیاهی، پیش از خاک‌ورزی (راست) و پس از خاک‌ورزی (چپ)

شکل ۴. سرندهای مطبق (راست)، نمای از بالا، سرندهای مطبق (چپ)

سپس خاک باقیمانده روی هر سرند توزین شد و پس از بدست آوردن وزن کل نمونه از هر کرت آزمایشی، قطر متوسط وزنی کلوخه از طریق رابطه ۶ محاسبه شد.

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} x_i w_i \quad \text{(رابطه ۶)}$$

که در آن، MWD، قطر متوسط وزنی کلوخه (سانتی‌متر)، X_i، قطر متوسط دو سرند متوالی (سانتی‌متر) و W_i، نسبت وزن باقی‌مانده نمونه خاک روی سرند به وزن کل نمونه‌ها است (Martinez *et al*., 2008). در نهایت میانگین وزنی قطر کلوخه محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری ناهمواری سطح خاک، بعد از خاک‌ورزی در هر کرت، ۳ نقطه تصادفی انتخاب و توسط ناهمواری‌سنج (شکل ۵) اقدام به اندازه‌گیری شد. از طریق رابطه ۷ عدد مربوط به ناهمواری به دست آمد.

$$SSR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi-X)^2}{n}} \quad \text{(رابطه ۷)}$$

که در آن، SSR: ناهمواری سطح خاک [1]، X_i: فاصله عمودی میله‌ها تا سطح خاک، X: میانگین داده‌ها و n: تعداد نمونه است.

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

متغیرهای وابسته‌ی مورد بررسی شامل نیروی مالبندی بر حسب کیلونیوتون، نیروی کشش ویژه بر حسب کیلونیوتون بر متر مربع، انرژی ویژه خاک‌ورزی بر حسب کیلوژول بر متر مکعب، قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها بر حسب سانتی‌متر، ناهمواری سطح خاک بر حسب سانتی‌متر و حفظ بقایای گیاهی روی خاک بر حسب درصد بود. تحلیل آماری نتایج به کمک نرم‌افزارهای MSTATC ، SPSS انجام شد و از نرم‌افزار اکسل [2] برای رسم نمودارها استفاده گردید.

1. soil surface roughness
2. Excel

شکل ۵. ناهمواری سنج، نمای کامل (راست) نمای نزدیک از آرایش پین‌ها (چپ)

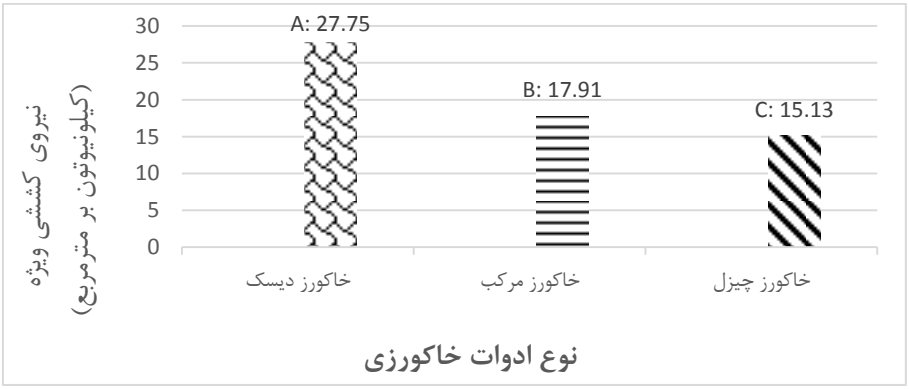
برای استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌ی اصلی (PCA) از نرم افزار SPSS استفاده شد. به گونه‌ای که نرم افزار پس از ورود یافته‌ها و محاسبه‌ی ضرایب همبستگی، برای هر متغیر وابسته با توجه به جهت و میزان تأثیر بر دیگر متغیرها، ضریبی را در نظر می‌گیرد (**a_1 .. a_4**) و از این ضرایب در رابطه ۸ برای به دست آوردن رتبه‌بندی تیمارهای نه گانه استفاده شد.

$$Z = - a_1x_1 - a_2x_2 + a_3x_3 - a_4x_4 \quad \text{(رابطه ۸)}$$

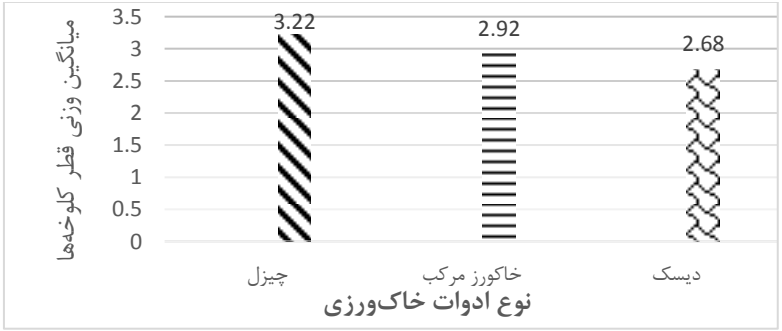
که در آن a_1**:** ضریب نیروی مقاوم کششی، a_2: ضریب میانگین وزنی کلوخه، a_3: ضریب حفظ بقایا، a_4: ضریب ناهمواری سطح خاک،X_1: نیروی مقاوم کششی، X2:میانگین وزنی قطر کلوخه، X3:درصد بقایای حفظ شده و X4: ناهمواری سطح خاک است. در اینجا فقط ضریب فاکتور حفظ بقایا مثبت خواهد بود بقیه ضرایب به خاطر نقش منفی که در تعیین بهترین سیستم خاک‌وزری دارند، منفی است. برای تعیین ضرایب (a_i) از میانگین مجموع قدر مطلق ضرایب همبستگی متغیرها استفاده می‌شود.

نتایج و بحث

با توجه به نمودارها مشاهده می‌شود که خاک‌ورزها ترتیب متفاوتی را در متغیرهای اندازه‌گیری شده پیدا نموده‌اند. برای مثال طبق نمودار ۱ ملاحظه می‌شود که بیشترین و کمترین مقادیر نیروی کششی ویژه به ترتیب مربوط به دیسک و چیزل است در حالیکه طبق نمودار ۲ بیشترین و کمترین مقادیر میانگین وزنی قطر کلوخه را چیزل و دیسک به خود اختصاص داده‌اند و نتیجه‌ی معکوس در این دو نمودار، نمایان است و تصمیم‌گیری برای انتخاب خاک‌ورز مناسب مشکل خواهد شد.



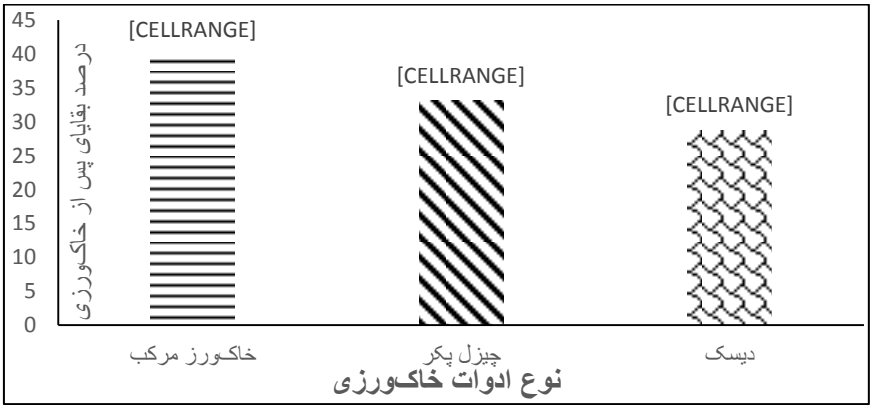
نمودار ۱. تغییرات نیروی کششی ویژه در انواع ادوات خاکورزی حفاظتی



نمودار ۲. تغییرات میانگین وزنی قطر کلوخه در انواع ادوات خاکورزی حفاظتی

تغییرات ناهمواری سطح خاک در خاک‌ورزهای حفاظتی در نمودار ۳ و میزان بقایای گیاهی پس از خاک‌ورزی در نمودار ۴ ترسیم شده است. در هر دو نمودار ۳ و ۴ ترتیب نوع خاک‌ورزها دقیقاً یکسان شده است و بیشترین و کمترین مقادیر به ترتیب متعلق به خاک‌ورز مرکب و دیسک است. اما باید توجه داشت که در نمودار ۳، ناهمواری سطح خاک یک عامل منفی است (یعنی هر چه ناهمواری کمتر باشد مفیدتر است زیرا با افزایش ناهمواری علاوه بر احتمال اضافه شدن یک عملیات تصحیح، کاهش جریان آب آبیاری و افزایش مصرف آب هم به وجود می‌آید) و این در حالیست که در نمودار ۴، مقدار بقایای گیاهی یک عامل مثبت است و هر چه درصد بیشتری از بقایای گیاهی پس از خاک‌ورزی بر سطح خاک باقی بماند، علامتی برای بهتر رعایت شدن اصل خاک‌ورزی حفاظتی است. آشکار است که علی‌رغم رتبه‌بندی یکسان نوع ادوات در هر دو نمودار ۳ و ۴، به دلیل ماهیت منفی ناهمواری سطح خاک و ماهیت مثبت بقایای گیاهی، تصمیم گیری برای انتخاب خاک‌ورز با چالش همراه است.

نمودار ۳. تغییرات ناهمواری سطح خاک در انواع ادوات خاکورزی حفاظتی



نمودار ۴. تغییرات میزان بقایای پس از خاک‌ورزی در انواع ادوات خاکورزی حفاظتی

با توجه به نمودارهای فوق، مشاهده شد که نمی‌توان نتیجه و برآیند جامعی از واکنش خاک‌ورزها به این چهار متغیر به دست آورد. البته این موضوع با اضافه شدن سطوح سه‌گانه سرعت، پیچیده‌تر هم می‌شود و هر خاک‌ورز با تغییرات سرعت واکنش‌های متفاوتی بروز می‌دهد. با این وضعیت منطقی است که با استفاده از یک روش علمی بتوان تحلیل چند عاملی (در این تحقیق چهار گانه) برای رتبه‌بندی تیمارهای نه گانه‌ی خاک‌ورز-سرعت وجود داشته باشد. بر همین اساس با توجه به جدول ۲، همبستگی دوگانه مابین متغیرهای وابسته محاسبه شد. نکته‌ی قابل توجه این است که تمامی ضرایب همبستگی بقایای گیاهی با دیگر متغیرها منفی است.

البته باید در نظر داشت که نتایج جدول ۲ ممکن است برای هر خاک‌ورز نتایج دیگری در بر داشته باشد. از همین رو برای هر خاک‌ورز (به صورت جداگانه) ضرایب همبستگی بقایای گیاهی با دیگر متغیرها محاسبه شد و در جدول ۳ آمده است. مشاهده می‌شود که هر چند نتیجه‌ی جدول ۳ نسبت به جدول ۲ از پراکندگی بیشتری برخوردار است اما همبستگی‌های منفی در این همبستگی جداگانه نیز تکرار شده است.

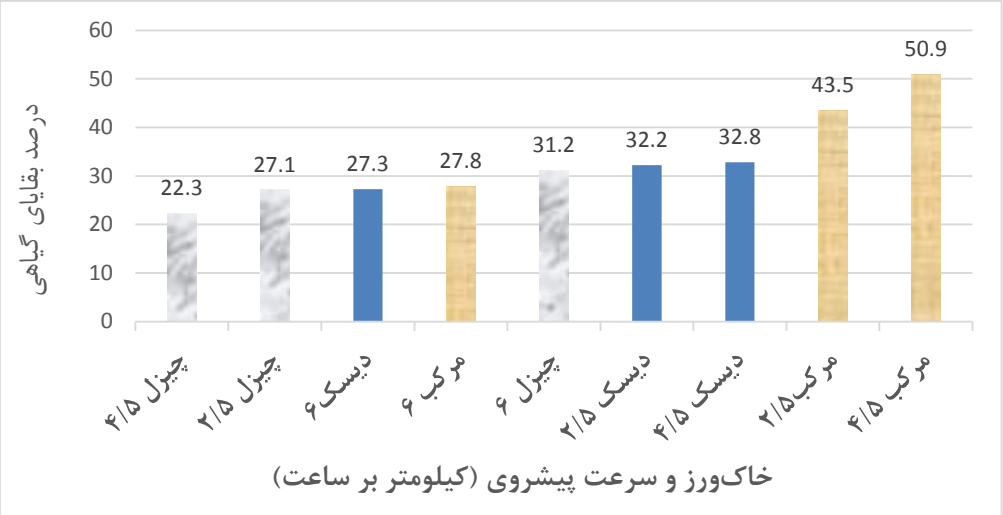
جدول ۲. همبستگی کلی متغیرهای وابسته (هر سه نوع خاک‌ورز)

ضرایب همبستگی (هر سه خاک‌ورز)	نیروی‌کششی (کیلونیوتون)	قطرکلوخه (سانتی‌متر)	ناهمواری‌سطح (سانتی‌متر)	بقایا (درصد)
نیروی‌کششی (کیلونیوتون)	۱	۰/۱۱۸	۰/۰۵۱	-۰/۰۹۳
قطرکلوخه (سانتی‌متر)	۰/۱۱۸	۱	-۰/۰۲۲	-۰/۲۵
ناهمواری‌سطح (سانتی‌متر)	۰/۰۵۱	-۰/۰۲۲	۱	-۰/۱۴
بقایا (درصد)	-۰/۰۹۳	-۰/۲۵	-۰/۱۴	۱

جدول ۳. همبستگی بقایای گیاهی و دیگر متغیرهای وابسته (برای هر سه خاک‌ورز)

ضریب همبستگی	نیروی‌کششی کیلونیوتون	قطرکلوخه سانتی‌متر	ناهمواری‌سطح سانتی‌متر	بقایا درصد
بقایای خاک‌ورزمرکب	-./۳۸	-./۲۸	-./۲۹	۱
بقایای چیزل پکر	-./۲۵	-./۳	-./۲۲	۱
بقایای دیسک خارج از مرکز	-./۱	-./۰۹	-./۱۶	۱

این همبستگی منفی را می‌توان ناشی از عامل اصلی نیروی ویژه‌ی کششی دانست، زیرا هرچه نیروی کمتری از خاک‌ورز بر خاک وارد شود و خاک‌ورزی شدت کمتری داشته باشد، آشفتگی خاک کمتر بوده و بقایای کمتری تحت تأثیر این آشفتگی مدفون می‌گردند. همچنین زیاد بودن قطر کلوخه و ناهمواری سطح خاک، موجب آشفتگی خاک هستند و تأثیر منفی آنها بر بقایای گیاهی توجیه‌پذیر است. دو نتیجه‌ی حاصل: ۱- همبستگی منفی میان بقایای گیاهی و دیگر متغیرهای وابسته و ۲- وجود رابطه‌ی مشابه میان بقایا و سرعت پیشروی را می‌توان اینگونه بیان نمود که بقایای گیاهی به تنهایی دربرگیرنده‌ی تمامی متغیرهای وابسته و حتی سرعت پیشروی (متغیر اصلی) است. به عبارت دیگر با بررسی این متغیر به آسانی، به سرعت و با هزینه‌ی کمتر می‌توان نسبت به ۹ ترکیب تیماری (خاک‌ورز برتر و سرعت پیشروی بهینه) اظهار نظر نمود. این نتیجه، در نمودار ۵، بیان کننده وضعیت تیمارهای نه‌گانه از نظر درصد بقایای گیاهی پس از خاک‌ورزی است.

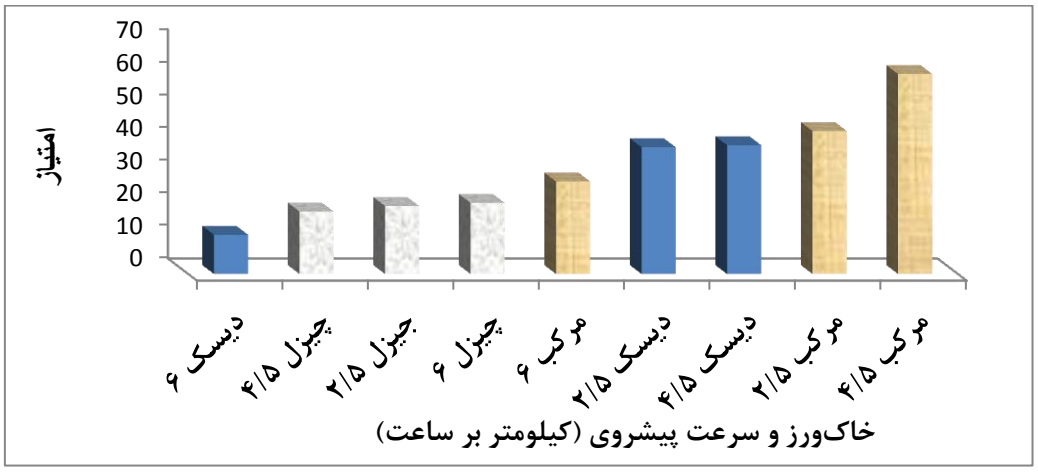


نمودار ۵. ترتیب رتبه‌بندی تیمارها (نوع خاک‌ورز و سرعت پیشروی) بر اساس درصد بقایا پس از خاک‌ورزی

برای آزمون این فرضیه که آیا درصد بقایای گیاهی معیار خوبی برای برآیند کلی از دیگر متغیرها (نیروی کششی ویژه، میانگین وزنی قطر کلوخه و ناهمواری سطح خاک) می‌باشد یا نه، این رتبه‌بندی از طریق روش آماری تحلیل مؤلفه‌ی اصلی (PCA) نیز انجام شد. با توجه به ضرایب همبستگی متغیرها در جدول ۲، از طریق میانگین قدرمطلق ضرایب هر سطر، رابطه مولفه اصلی (Z) به دست آمد:

$$Z = -۰/۳۱x_1 - ۰/۳۵x_2 + ۰/۳۰x_3 - ۰/۳۷x_4$$

سپس با استفاده از روش تحلیل مولفه اصلی امتیاز تیمارها محاسبه شد و نتایج در نمودار (۶) نشان داده شد. آنچه قابل توجه می‌باشد این است که چهار رتبه اول که از ارزش بسزایی هم برخوردارند دقیقاً در نمودارهای ۵ و ۶ تکرار شده‌اند و پنج رتبه دیگر هم غیر از یک مورد با یک رتبه جابه‌جایی از همپوشانی قابل تأملی برخوردارند.



نمودار ۶ . رتبه‌بندی تیمارها بر اساس تحلیل مؤلفه‌ی اصلی (PCA)

با توجه به نمودار ۵، رتبه‌بندی نوع خاک‌ورز و سرعت پیشروی، بر اساس درصد بقایای گیاهی و همچنین نمودار ۶، رتبه‌بندی نوع خاک‌ورز و سرعت پیشروی، بر اساس تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، خاک‌ورز مرکب در چارچوب اصول خاک‌ورزی حفاظتی و با توجه به نوع خاک (لومی سیلتی) و محدوده‌ی سرعت از ۲/۵ تا ۶ کیلومتر بر ساعت، از نتایج بهتری برخوردار است. در رتبه‌ی بعدی دیسک خارج از مرکز قرار گرفته است و نکته مهم آن است که با افزایش سرعت پیشروی (۶ کیلومتر بر ساعت) امتیاز تحلیل مولفه اصلی کاهش یافته است. دلیل این امر می‌تواند ناشی از همزمانی افزایش نیرو و کاهش بقایا در سرعت بالاتر باشد. به نظر می‌رسد که با افزایش سرعت تا ۶ کیلومتر بر ساعت کیفیت خاک‌ورزی حفاظتی زیر سؤال می‌رود و اگر افزایش سرعت به منظور افزایش ظرفیت مزرعه‌ای است، پیشنهاد می‌شود با افزایش عرض خاک‌ورز این هدف تحقق یابد. نکته‌ی مشترک دیگر در خاک‌ورز مرکب و دیسک خارج از مرکز این است که سرعت بهینه ۴/۵ کیلومتر بر ساعت در هر دو روش رتبه‌بندی به‌دست آمده است. همچنین چیزل پکر در هر دو نمودار ۵ و ۶ رتبه خوبی نداشته است و اثر سرعت در رتبه آن، برعکس دو خاک‌ورز دیگر نمایان شده است و اگر کشاورزی ناچار به استفاده از چیزل پکر است، باید از سرعت بالا بهره ببرد.

از نظر مقایسه میان دو خاک‌ورز اسکنه‌ای (مرکب و چیزل پکر) با وجود تشابه عمل و برگردان کمتر نسبت به دیسک، به نظر می‌رسد در خاک‌ورز مرکب به دلیل داشتن باله، افزایش سطح برخورد تیغه و خاک نسبت به چیزل پکر، افزایش زاویه حمله و وجود یک ردیف بشقاب کنگره‌دار که بر شدت خاک‌ورزی می‌افزاید، عامل دیگری موجب شده تا رتبه خاک‌ورز مرکب به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یابد. تنها عاملی که در این دو خاک‌ورز اسکنه‌ای تفاوت عملکردی قابل ملاحظه‌ای را ایجاد نموده است، ارتعاش تیغه است که در خاک‌ورز مرکب با استفاده از ارتعاش غیرالقایی هم در تیغه‌ها و هم در بشقاب‌ها (توسط فنرهای مارپیچی و تسمه‌ای) موجبات افزایش کیفی و کمی انرژی فراهم شده است. به نظر می‌رسد که با استفاده از ارتعاش تیغه خاک‌ورز می‌توان در راستای رسیدن به اهداف خاک‌ورزی حفاظتی (از قبیل: حفظ بقایا در سطح خاک، کاهش نیروی کششی و انرژی مصرفی، کاهش میانگین وزنی قطر کلوخه و سطح یکنواخت پس از خاک‌ورزی)، حرکت نمود. این موضوع با نتایج تحقیقی دیگر (Goudarzi *et al.*, 2015) که ارتعاش را عاملی برای ارتقای کیفیت خاک‌ورزی عنوان نمودند، مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی، عوامل مؤثری نظیر: نوع خاک‌ورز و سرعت پیشروی تأثیرگذارند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که این عوامل بر نیروی کششی ویژه، انرژی مفید خاک‌ورزی و سه شاخص خاک‌ورزی پرکاربرد (درصد بقایای روی سطح خاک، میانگین وزنی قطر کلوخه‌ها و ناهمواری سطح خاک) تاثیر معنی‌داری داشتند. بهترین ترکیب عوامل مذکور، مربوط به کاربرد خاک‌ورز مرکب با سرعت پشروی ۴/۵ کیلومتر

بر ساعت می‌باشد که توسط روش PCA و روش پیشنهادی در این مطالعه (درصد بقایای باقی مانده پس از خاک‌ورزی) تایید شد. خاک‌ورز مرکب با سرعت پیشروی ۲/۵ کیلومتر بر ساعت در جایگاه دوم قرار گرفت. با افزایش سرعت پیشروی تا ۶ کیلومتر بر ساعت، افت قابل توجهی در خاک‌ورز مرکب و دیسک خارج از مرکز مشاهده شد اما با افزایش سرعت در خاک‌ورز چیزل ارتقاء رتبه دیده شد. پیشنهاد می‌شود در صورتی‌که افزایش ظرفیت زراعی مورد توجه است، به جای افزایش سرعت، با لحاظ نمودن جنبه اقتصادی، از افزایش عرض کار در خاک‌ورز مرکب و دیسک خارج از مرکز استفاده شود. در کل خاک‌ورز چیزل و دیسک خارج از مرکز در برابر خاک‌ورز مرکب نتایج ضعیفی نشان داده‌اند. همچنین سرعت پیشروی ۴/۵ کیلومتر بر ساعت، نسبت به دو سرعت پیشروی دیگر (۲/۵ و ۶ کیلومتر بر ساعت) عملکرد بهتری داشته است. به نظر می‌رسد به کار گرفتن ارتعاش تیغه در خاک‌ورز مرکب موجب شده است این خاک‌ورز با نیروی مقاوم کششی میانگین ۱۷/۹۱ کیلو نیوتون در سرعت‌های مختلف، میانگین وزنی کلوخه ۲/۹۲ سانتی‌متر، میزان ناهمواری سطح خاک ۲ سانتی‌متر و درصد بقایای باقی مانده روی خاک با ۳۹/۷۹ درصد، در هر دو روش (۱- روش آماری تحلیل مؤلفه‌ی اصلی PCA و ۲- روش پیشنهادی این مطالعه یعنی: مقایسه بر اساس درصد بقایای گیاهی پس از خاک‌ورزی) به عنوان خاک‌ورز مناسب معرفی شود.

REFERENCES

Al-Suhaibani A S; Al-Janobi A (1997). Draught requirements of tillage implements operating on sandy loam soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66, 177–182.

Cresswell, H. P., Painter, D. J. & Cameron, K. C. (1991). Tillage and water content effects on surface soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 21, 67-83.

Drovicky, N. Z., Halaj, P., Perhacova, K. & Duracikava, L. (1998). Effects of tillage practices on soil properties. Int. Conf. on Agr. Eng., Oslo, Norway.

Erfani Far, S., Zibaei, M. & Kasraei, M. (2013). Application of Ideal-Fuzzy Multi-objective Planning in Optimizing Crop Pattern with Emphasis on Using Conservation Soil Techniques. Agriculture machinery, 28 (2), 118-124.

Gajri, P. R. & Arora, V. R. (2006). Tillage for sustainable cropping. 243p.

Goudarzi, B., Asoodar, A. & Kazemi, N. (2015). Blade vibration impact on the performance of silty clay loam soil cover tillage, Agriculture machinery. 5(2), 357-367. (In Farsi)

Guzha, A. C. (2004). Effects of tillage on soil microrelief, surface depression storage and soil water storage. *Journal of Soil and Tillage Research*, 76, 105-114.

Hu, Z., Yi-zhong, L., Zhi-chen, Y. & Bao-guo, L. (2007). Influence of conservation tillage on soil aggregates features in north China plain. *Agricultural Sciences in China*, 6 (9), 1099-1106.

Hughes, K. A. and Baker, C. J. (1997). The effects of tillage and zero-tillage systems on soil aggregates in a silt loam. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 22, 291-301.

Jacobs, C. O. & Harrel, W. R. (1983). Agricultral Power and Machinery. McGraw – Hill Book Co., New York . 613p.

Kazemi, N., Almasi, M., Bahrami, H., & Sheikhdavoodi, M. J. (2015). Construction and evaluation of a simultaneous monitoring system on the tractor's performance parameters - Remote devices. *Journal of Agricultural Engineering*, 38 (1), 109-125. (In Farsi)

Khaffaf, A., & Khadr, A. (2008). Effect of some primary tillage implement on soil pulverization and specific energy. *Farm Machinery and Power*, 731-745.

Liu, J., & Chen,Y. (2010). Effect of tillage speed and straw Length on soil and straw movement by a sweep. *Journal of Soil and Tillage Research*, 109, 9-17.

Loghavi, M., & Hossein Pour, A. (2004). Attachment of a V-Weel Packer to a Moldboard Plow for Combining Primary and Secondary Tillage Operations. *Iranian Journal Agricultural Science*, 35 (4), 1015-1024. (In Farsi)

Martinez, E., Fuents, J. & Silv, P. (2008). Soil physical and wheat root growth as affected by no tillage and conventional tillage system in a Mediterranean environment of chile. *Soil and Tillage Research*, 99, 22-244.

Moreno, R. g., Alvarez, M. C. D., Alonso, A. T., Barrington, S. & Requenjo. A. S. (2008). Tillage and soil type effects on soil surface roughness at semiarid climatic conditions. *Journal of Soil and Tillage Research*, 98, 35-44.

Reshad Sedghi, A. & Loghavi, M. (2009). Effect of soil moisture in primary tillage and advance speed in disk cutting operation on dipping pruning performance as secondary tillage. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 2, 131-138.

Sharratt, B., Zhang, M. & Sparrow, S. (2006). Twenty years of tillage research in subarctic Alaska, I. Impact on soil strength aggregation, roughness, and residue cover. *Journal of Soil and Tillage Research*, 91, 75-81.

Stevens, C. J., Quintan, J. N., Bailey, A. P., Deasy, C., Silgram, M. & Jackson, D. R. (2009). The effects of minimal tillage, contour cultivation and in-field vegetative barriers on soil erosion and phosphorus loss. *Soil and Tillage Research*, 106, 145-151.