مروری جامع بر روش‌های اندازه‌گیری و عوامل موثر بر میزان خرد شدگی خاک طی عملیات مختلف خاک‌ورزی

رضا صدقی[1]، یوسف عباسپور گیلانده[2]، مهدی نوشیار[3]، غلامحسین شاهقلی[2] و ترحم مصری[2]
1و2- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
3- استادیار، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

Reza.sedgi@yahoo.com

چکیده

عملکرد نهایی محصولات به عوامل موثر رشد در طی دوره رویشی بستگی دار د.شرایط فیزیکی خاک یکی از این عوامل است که غالباً اثر چشم گیری بر عملکرد محصول دارد زیرا این عامل کنترل کننده محیطی است که ریشه ها در آن توسعه می یابند. ایجاد ساختمان مناسب برای خاک به منظور رشد محصول از اهمیت زیادی برخوردار است و یکی از مشخصه های اصلی ساختمان خاک، اندازه خاک دانه‌ها است. ساختمان خاک نحوه قرار گرفتن هر یک از ذرات خاک در کنار یکدیگر و ایجاد واحد بزرگ‌تر یا دانه‌بندی است که واحد ساختمانی یا خاک دانه نامیده می‌شود. راه‌های مختلفی جهت نشان دادن وضعیت پایداری خاک دانه‌ها وجود دارد که از جمله تعیین میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها است. محققین عموماً میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها (MWD) را مهم‌ترین معیار کمی جهت بیان درجه خرد شدن خاک می‌شناسند. مهم‌ترین ویژگی یک خاک با توجه به مخلوط شدن و مرتب شدن ذرات توسط ابزارهای برشی، توزیع اندازه ذرات در خاک است . علاوه بر عوامل وراثتی خاک، مانند بافت که بر پایداری خاک دانه‌ها تأثیر می‌گذارد نحوه خاک‌ورزی، میزان مواد آلی خاک، محتوی رطوبتی خاک، چگالی خاک، سرعت پیشروی و عمق خا ک‌ورزی، خصوصیات مکانیکی خاک و ... نیز بر اندازه و پایداری خاک دانه‌ها موثر است که اثرات این پارامترهای مؤثر در میزان خردشدگی خاک توسط بسیاری از محققان بررسی شده است . به دلیل اینکه عوامل زیادی در افزایش بهره‌وری و به صرفه بودن کاربرد ماشین در کشاورزی به طور عام و استفاده از آن در تهیه بستر برای کشت به طور خاص دخالت دارند، لازم است این عوامل به درستی شناخته شوند. شناخت دقیق عوامل مطرح شده و میزان تأثیرگذاری هر یک از این پارامترها بر میزان خردشدگی خاک و بررسی نتایج تحقیقات انجام شده در دهه های اخیر می‌تواند در بسیاری از اهداف مدیریتی و انتخاب نوع خاک‌ورزی و ادوات مناسب موثر واقع گردد. در این تحقیق روش‌های اندازه‌گیری میزان خردشدگی خاک و میزان خرد شدن خاک تحت تأثیر عوامل مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌است.

کلمات کلیدی: عملیات خاک‌ورزی، خردشدگی خاک، قطر متوسط وزنی(MWD) خاک دانه‌ها،ساختمان خاک

1- مقدمه

حالت فیزیکی خاک نقش مهمی در سبز شدن، رشد و توسعه گیاه و تولید محصول دارد [Aluko and Koolen., 2000]. انجام عملیات صحیح خاک‌ورزی، استفاده از ادوات مناسب و دقت در شرایط اجرای عملیات، باعث می‌گردد تا از تخریب خاک اراضی جلوگیری شده و به حفظ و بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن کمک گردد [آزادگان و همکاران، 1378]. هدف از عملیات خاک‌ورزی ایجاد محیطی مناسب برای جوانه‌زنی

بذر، رشد ریشه، کنترل علف‌های هرز، نرم کردن و تثبیت خاک، به زیر خاک بردن بقایای گیاهی و برهم زدن لوله-های مویین خاک برای کاهش تبخیر می‌باشد [شفیعی، 1384]. یک بستر بذر خوب عموماً به خاکی نسبت داده می‌شود که در اطراف بذر نرم‌تر و تثبیت شده تر باشد [Kepner et al., 1982]. اصولاً ساختمان دانه خاک که موجب نفوذ سریع آب و حفظ و نگهداری صحیح آن، افزایش گنجایش هوا و تسهیل تهویه خاک و تقلیل مقاومت آن در مقابل ریشه دوانی شود، مورد نظر است [منصوری راد، 1386]. خاک از جمله منابع طبیعی دیر تجدید شونده است. حفاظت خاک بستگی به نحوه ی استفاده از آن دارد. تخریب و فرسایش خاک سطحی، باعث کاهش توانایی آن برای ذخیره آب و مواد غذایی و رشد ریشه گیاهان می‌شود.

عملکرد نهایی محصولات به عوامل موثر رشد در طی دوره رویش بستگی دارد . شرایط فیزیکی خاک یکی از این عوامل است که غالباً اثر چشم‌گیری بر محصول دارد. زیرا این عوامل کنترل کننده محیطی است که ریشه ها در آن توسعه می‌یابند. حاصلخیزی خاک از نظر فیزیکی به ساختمان خاک بستگی دارد . به دلیل اینکه عوامل زیادی در افزایش بهره‌وری و به صرفه بودن کاربرد ماشین در کشاورزی به طور عام و استفاده از آن در تهیه بستر برای کشت به طور خاص دخالت دارند، لازم است این عوامل به درستی شناخته شوند. شناخت دقیق عوامل مطرح شده و میزان تأثیرگذاری هر یک از این پارامترها بر میزان خردشدگی خاک و بررسی نتایج تحقیقات انجام شده در دهه - های اخیر می تواند در بسیاری از اهداف مدیریتی و انتخاب نوع خاک ورزی و ادوات مناسب موثر واقع گردد . میزان خردشدگی خاک تابعی از پارامترهای زیر می‌باشد.

- روش‌های مختلف خاک‌ورزی
- شرایط خاک مثل محتوی رطوبتی، بافت خاک و ...
- پارامترهای ابزار مثل عمق، شکل تیغه و ...
- پارامترهای عملیاتی مثل سرعت پیشروی ادوات.

این پارامترها تحت شرایط مختلف تغییر می کنند. با توجه به اهمیت میزان خردشدگی خاک برای تهیه بستر مناسب برای کشت محصولات زراعی تحقیقات بسیاری توسط محققین داخلی و همچنین خارجی صورت گرفته است. که در اکثر این تحقیقات عوامل موثر مختلف بروی میزان خردشدگی خاک مورد بررسی قرار گرفته است. در کنار این تحقیقات توسعه مدل های پیش بینی توسط مدل های رگرسیونی و همچنین روش شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) مد نظر بوده است.

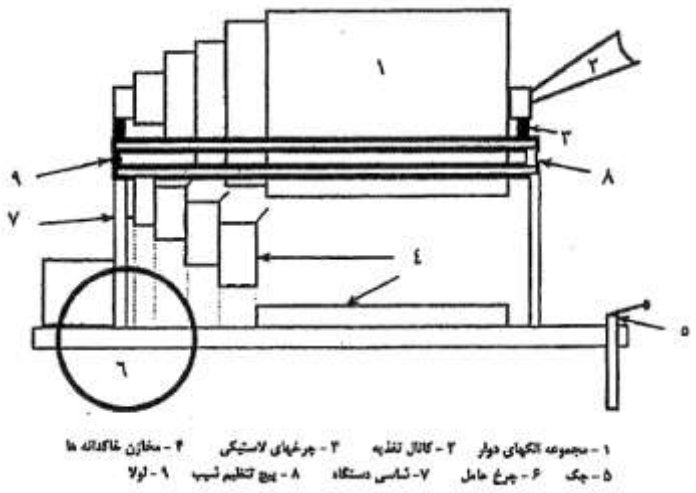
هدف از این مطالعه مروری بر روش‌های بکار رفته به منظور تعیین میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک - ورزی و بررسی عوامل موثر بر آن می‌باشد.

2- روش‌های اندازه‌گیری میزان خردشدگی خاک

راه‌های مختلفی جهت نشان دادن وضعیت پایداری خاک دانه‌ها وجود دارد که از جمله تعیین میانگین وزنی قطر خاک دانه ها است. محققین عموماً میانگین وزنی قطر خاک دانه ها (MWD) را مهم‌ترین معیار کمی جهت بیان درجه خرد شدن خاک می‌شناسند. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مزرعه‌ای و آزمایشگاهی میانگین قطر وزنی توسط محققین ارائه شده است که در زیر به اختصار اشاره می‌گردد.

در روشی که توسط [Gill and Vandenberg,1967; Chepil, 1962] ارائه شده است دستگاهی را که متشکل از الک های دوار به منظور جداسازی کلو خه های حاصل از عملیات خاک ورزی، در گروه ابعادی مختلف، جهت تعیین قطر متوسط وزنی (MWD) طراحی و ساختند (شکل 1). پیکره اصلی دستگاه متشکل از 6 عدد الک

استوانه‌ای هم مرکز، با اندازه شبکه، قطر و ارتفاع مختلف که توسط انگشتی های شعاعی و پیچ و مهره بهم متصل شده، به صورت یک مجموعه با اتکا بر روی چهار عدد چرخ لاستیکی نصب شده بر روی قاب نگهدار نده، قادر به دوران حول محور مرکزی بود. برای حمل و نقل دستگاه و انتقال آن به مزرعه تحقیقاتی، قاب نگهدارنده و مجموعه الک‌ها بر روی یک شاسی چرخ دار قابل اتصال به مالبند تراکتور استفاده شده بود . به منظور تسهیل در تغذیه کلوخه‌ها و خاک دانه های نمونه‌برداری شده از پلات‌ها به درون دستگاه الک های دوار، یک عدد صفحه ناودانی [1] شکل در دهانه داخلی‌ترین استوانه (با درشت‌ترین شبکه) نصب گردیده بود. سپس نمونه خاک به درون الک‌های در حال چرخش تغذیه شده و بر حسب اندازه متوسط در هفت گروه ابعادی تقسیم و درون ظروف واقع در زیر الک ها ریخته می‌شدند. خاک درون این ظروف توزین و قطر متوسط وزنی خاک دانه‌ها محاسبه می‌شد.



شکل 1- تصویر شماتیک از دستگاه مجموع الک‌های دوار

در ایران نیز لغوی و همکاران (1377) با الهام گرفتن از روش گفته شده دستگاهی را در دانشگاه شیراز برای اندازه‌گیری میزان خردشدگی خاک در اثر انجام عملیات خاک‌ورزی طراحی و ساختند.

در روش دیگری که توسط [Gill and Mc Creery, 1960] برای اندازه‌گیری درجه خردشدگی نسبی یک خاک لومی زمانی که از گاوآهن های باریک استفاده شده بود، از تکنیک رها- پودر[2] یک کمیت مستقل را برای توصیف انرژی ورودی ویژه برای یک درجه خاصی از خردشدگی خاک اندازه‌گیری کردند. در این تکنیک توده‌هایی از خاک به هم نخورده زمین به دفعات زیاد از ارتفاع 76 cm بر روی یک سطح صاف رها شدند و سپس انرژی ورودی برای هر بار آزمایش از حاصل ضرب وزن خاک در ارتفاع سقوط و تعداد دفعات سقوط برای هر توده محاسبه شد. به دنبال سقوط هر توده، خاک با غربال دوار غربال شده و وزن کلو خه‌ها جهت تعیین قطر متوسط وزنی اندازه گیری شد. در ایران هیچ‌گونه گزارشی مبنی بر استفاده از این روش برای تعیین قطر متوسط وزنی توسط محققین ارائه نشده است.

1- Chute
2- Drop-shatter

در روش دیگری که بیشتر محققین داخلی [الهی فرد و همکاران، 1388؛ برزگر و همکاران، 2004؛ شربیانی و همکاران، 1385] و محققین خارجی [Russel, 1965; Berntsen and Berre, 2002] در تحقیقات خود از آن استفاده کرده‌اند، روش دانه‌بری خاک بوده است . در این روش نمونه‌های خاک پس از انجام عملیات شخم از سطوح مورد نظر برداشته شده و توسط دستگاه شیکر و به کمک الک های با مش های مختلف دانه بندی شده و سپس خاک باقی‌مانده در روی هر الک به وسیله یک ترازو توزین شده و مقدار قطر متوسط وزنی بدست می‌آید.

3- عوامل موثر بر میزان خردشدگی خاک

3-1- روش‌های مختلف خاک‌ورزی و نوع ادوات و بافت خاک

روش‌های مختلف خاک ورزی و نوع ادوات از جمله عوامل موثر بر میزان خردشدگی خاک می‌باشد. به طوریکه [Gill and Mc Creery, 1960] پژوهش‌های گسترده‌ای را بر روی اثرات عرض ابزار بر روی کیفیت بهم زدن مکانیکی خاک انجام دادند . آنها از گاوآهن‌های برگردان دار برای برش خاک استفاده کردند که این برش در عمق 17 cm و در یک خاک لومی رسی سیلتی دکاتور و با محتوی رطوبت وزنی متوسط 14٪ و با سرعت پیشروی 1/3 m/s انجام گرفت. گاوآهن‌ها دارای 5 عرض مختلف از 2/5 تا 20/3cm بودند. بعد از برش خاک توسط هر یک از این ابزارها، خاک بهم خورده به کمک یک غربال دوار از یکدیگر جدا شدند . نتایج نشان دادند که گاوآهن‌های باریک‌تر ذرات خاک را به واحدهای کوچک‌تری تفکیک کرده‌اند. در تحقیقی دیگر [Siddow., 1963; Tahan et al., 1992] گزارش نمودند که انجام عملیات خاک ورزی توسط گاوآهن بشقابی، کلوخه های کوچک‌تری را در مقایسه با گاوآهن برگردان دار ایجاد می‌نماید. همچنین [Slowinska et al., 1994] تأثیر روش‌های خاک‌ورزی‌های مختلف را بر خصوصیات فیزیکی خاک مورد بحث قرار داده و نتیجه گرفتند که استفاده از ادوات مختلف خاک ورزی باعث تغییر ساختمان خاک از طریق پودر کردن خاک دانه‌ها، تغییر در ساختار و یا اندازه خلل و فرج و نظم و ترتیب ذرات خاک می شود و همه این فرایندها تغییر در دیگر خصوصیات فیزیکی خاک را در پی دارد.

نکته دیگری که باید به آن توجه داشت بازده بهره‌گیری ادوات خاک‌ورزی از انرژی مصرفی در خرد کردن خاک می‌باشد. میزان انرژی مورد نیاز برای ایجاد درجه معینی از خرد شدن خاک، به مقاومت خاک و بازده ادوات خاک - ورزی در بهره‌گیری از انرژی دریافتی از تراکتور بستگی دارد . مقاومت خاک به طبیعت و شرایط فیزیکی آن وابسته است. خاک‌های رسی نسبت به خاک‌های لومی و شنی به انرژی بیشتری برای خرد شدن نیاز دارند. برای یک خاک به خصوص، انرژی مورد نیاز جهت خرد سازی خاک با افزایش جرم مخصوص ظاهری آن فزونی می‌یابد [Batman et al., 1995].

3-2- محتوی رطوبتی خاک

محتوی رطوبتی خاک عامل مهم دیگری است که در میزان خردشدگی خاک نقشی اساسی را ایفاء می کند. در رطوبت‌های پایین، ذرات خاک در اثر بالا بودن نیروهای همدوسی به هم چسبیده و منسجم بوده، مقاومت زیادی در برابر برش نشان می دهند. با افزایش رطوبت، مولکول های آب با تجمع بر سطح ذرات خاک، خاصیت همدوسی [1]

[1] - Cohesion

آنها را کاهش داده و خاصیت تردی [1] و از هم پاشی را در خاک افزایش می دهند [Ojenigi and Dexter, 1979]. رطوبت مناسب جهت اجرای عملیات خاک ورزی را که منجر به تشکیل حداکثر خاک دانه‌های ریز و حداقل کلوخه‌های درشت می‌گردد، در محتوی رطوبت نزدیک به 0/9 حد پایین خمیری[2] خاک گزارش نمودند.
لغوی و همکاران (1996) تأثیر رطوبت خاک را بر شرایط نهایی خاک، پس از انجام شخم تو سط گاوآهن برگردان دار در یک خاک لومی رسی بررسی نموده و خرد شدن بهتر و یکنواخت تر خاک را در دامنه رطوبت 18- 16 درصد گزارش نمودند. همچنین زارعیان (1362) اثر درجه پودر شدن خاک را در اثر رطوبت بررسی کرد و مشاهده نمود که درجه پودر شدن خاک در رطوبت‌های مختلف، متفاوت است و بیشترین درصد خاک دانه‌ها که مناسب‌ترین خاک برای تهیه بستر بذر است در رطوبت بین 16-14 درصد و کمترین درصد خاک دانه ها در رطوبت بین 15-13 درصد به دست می‌آید. در تمامی تحقیقات انجام شده با افزایش محتوی رطوبتی، میزان خردشدگی خاک افزایش یافته است.

3-3- سرعت پیشروی و لایه‌های عمقی شخم خورده

در خصوص اثر سرعت پیشروی و عمق خاک ورزی بر میزان خردشدگی خاک نیز گزارش هایی توسط محققین ارائه شده است. [Woodruff et al., 1986] گزارش کردند زمانی که سرعت گاوآهن چیزل از 0/8 تا 1/4 m/s در یک خاک لومی سیلتی افزایش یاف ت، اندازه قطر کلوخه های بزرگ‌تر از 19 mm با 10٪ کاهش مواجه شد . همچنین با افزایش مقدار عمق خاک‌ورزی طی عملیات نیز میزان خردشدگی خاک به طور معنی‌داری کاهش یافته است.
الهی فرد و همکاران (1387) خرد شدن خاک را در تیلر دوار با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی تحت عوامل سرعت پیشروی، سرعت دورانی روتور، وضعیت استقرار درپوش و محتوای رطوبتی خاک بررسی کردند و دریافتند که با افزایش سرعت پیشروی ، مقدار قطر میانگین وزنی خاک دانه‌ها افزایش می‌یابد زیرا با افزایش سرعت پیشروی، طول لقمه خاک افزایش می‌یابد. افزایش سرعت دورانی روتور منجر به کاهش قطر میانگین وزنی شده بود و علت این امر، تشکیل لقمه های کوچک‌تر در زمان برش می‌باشد. افزایش محتوای رطوبتی ، منجر به افزایش خرد شدن خاک و کاهش قطر میانگین وزنی شده است . علت این امر، کاهش نیرو در بین ذرات خاک و ایجاد حالت تردی در خاک می‌باشد.
رسولی شربیانی و همکاران (1385) خردشدگی خاک را تحت تأثیر ترکیب ادوات مختلف خاک ورزی بررسی کردند. آن‌ها ضمن انجام عملیات خاک‌ورزی با چهار ترکیب الف) گاو آهن برگردان دار (M) ب) گاوآهن برگردان دار و دیسک (MH) ج) زیر شکن و گاوآهن برگردان دار (DM) د) زیر شکن و دیسک (DH) در عمق ثابت 30 سانتیمتر و تحت سرعت پیشروی ثابت در 16 کرت در منطقه جنوب اردبیل در بافت خاک رسی لومی مشاهده کرده‌اند که بین درصد خردشدگی و لایه های عمق شخم رابطه غیر خطی وجود دارد و بهترین وضعیت خاک (دانه بندی) در تیمار MH ایجاد می‌گردد.

[1] - Friability
[2] - Lower plastic limit (LPL)

4- نتیجه‌گیری

1- ایجاد ساختمان مناسب برای خاک به منظور رشد محصول از اهمیت زیادی برخوردار است و یکی از مشخصه های اصلی ساختمان خاک، اندازه خاک دانه‌ها است.

2- راه‌های مختلفی جهت نشان دادن وضعیت پایداری خاک دانه‌ها وجود دارد که از جمله تعیین میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها است. محققین عموماً میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها (MWD) را مهم‌ترین معیار کمی جهت بیان درجه خرد شدن خاک می‌شناسند.

3- به دلیل اینکه عوامل زیادی در افزایش بهره وری و به صرفه بودن کاربرد ماشین در کشاورزی به طور عام و استفاده از آن در تهیه بستر برای کشت به طور خاص دخالت دارند، لازم است این عوامل به درستی شناخته شوند.

4- میزان خردشدگی خاک از پارامتر های مهم و تأثیر گذار بروی کارکرد ادوات خاک‌ورزی است لذا بررسی و دقت در تحلیل این پارامتر می‌تواند در طراحی و بهینه‌سازی این ادوات مدنظر باشد.

5- شرایط خاک (از قبیل محتوی رطوبتی، بافت خاک، مواد آلی خاک و ...)، روش های مختلف خاک ورزی، پارامترهای عملیاتی (مثل سرعت پیشروی ادوات) از جمله عواملی مهمی است که روی میزان خردشدگی تأثیر گذار می‌باشند.

منابع

1. آزادگان، ب.، مجد، ف.، شاهوئی، ص.، رفاهی، ح. (1378). بررسی تأثیر عملیات خاک ورزی به وسیله گاوآهن برگردان دار در میزان حرکت و جابجایی خاک در اراضی زراعی شیب دار (روش ردیابی سزیم-137). مجله علوم کشاورزی ایران، جلد 30، شماره 4: 751-759.

2. الهی فرد، الف .، شکفته، م .، حجتی، م .، رخی، م . (1388). بررسی خرد شدن خاک در یک دوار با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی. پنجمین گنکره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، شهریور ماه 1387، مشهد، ایران.

3. زارعیان، س. (1364). اثر رطوبت خاک ر وی مقاومت کششی گاوآهن و درجه پودر شدن خاک، مجله علوم کشاورزی ایران، جلد 16، شماره 4.

4. شربیانی، و .، عبا سپور، ی .(1385). بررسی تأثیر ترکیب ادوات بر خردشدگی خاک . گزارش نهایی طرح پژوهشی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی.

5. شفیعی، س.ا. (1384). اصول ماشینهای کشاورزی (جلد اول). موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

6. لغوی، م.، بهنام، س. (1377). تأثیر رطوبت خاک و عمق شخم بر عملکرد گاوآهن بشقابی در یک خاک لوم رسی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 2، شماره 4.

7. منصوری راد، داوود. (1386) تراکتورهای و ماشینهای کشاورزی. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا. همدان، ایران.

8. Aluko, O. B. and Koolen, A. J. (2000). The essential mechanics of capillary crumbling of structured agricultural soil. Soil & Tillage Research, 55: 117-126.
9. Barzegar, A.R, Hashemib, A. M., Herbertb, S.J. and Asoodar, M. A. (2004). Intractive effects of tillage system and soil water content on aggregate size distribution for seedbed preparation in Fluvisols in southwest Iran. Soil & Tillage Research. 78: 45-52.
10. Bateman, H. P., Nail, M. P. and Yoerger, R.R. (1995). Energy required to pulverize soil at different degree of compaction. J. Agric. Eng. Res., 10: 132-141
11. Berntsen, R and Berre, B. (2002). Soil fragmentation and the efficiency of tillage implements. Soil & Tillage Research, 67: 137-147.
12. Chepil, W. S. (1962). A compact rotary sieve and the impact of dry sieving in physical soil analysis. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26:4-6.
13. Gill, W. R. and Mc Creery, W. F. (1960). Relation of size of cut to tillage tool efficiency. Ag. eng. 41: 372-374.
14. Gill, W. R. and Vandenberg, G. E. (1967). Soil Dynamics in Tillage and Traction. USDA Agr. Handbook No. 316.
15. Kepner, R. A., Bainer, R. and Barger E. L. (1982). Principles of Farm Machinery. The AVI Publishing Company, Westport, Connecticut.
16. Loghavi , M. and Moradi, A. (1996). Draft and drawbar power requirement of moldboard plow in a clay loam soil. Iran Agric. Res. 15 (2) : 203-214.
17. Ojenigi , . S . O. and A.R. Dexter. (1979). Soil factors affecting the macro structure producted by tillage. Trans . of the ASAE. 22(2) : 339-343.
18. Russel, E. W. (1965). Soil Conditions and Plant Growth. Longmans Green and Co. Ltd., London. 384P.
19. Slowinska, J. A. (1994). Changes in structure and physical Properties of soil during spring tillage operations. Soil and Tillage Research, 29: 397-407.
20. Siddoway, F. H. (1963). Effect of cropping and tillage methods on dry aggregate soil structure. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 452-454.
21. Tahan, Y. H. A. , Hassan, H. A. and Hammadi, I. A. (1992). Effect of plowing depths using differentplow types on som physical properties of soil. AMA, 23(4) : 21-24.
22. Woodruff, D.W. R.T. Lewellen, J.E. and Duffas, E.D. (1986). An investigation into the effects of soil compaction and irrigation on sugar beet infected with rhizomania. Soil and Tillage Research. 21(8) : 353-360.