

## بررسی عوامل مؤثر بر خردشده‌گی خاک طی عملیات خاک‌ورزی و تعیین نقاط بهینه عوامل تأثیرگذار با استفاده از منطق فازی

رضا صدقی<sup>1</sup>، یوسف عباسپور گیلانده<sup>2\*</sup>

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی  
2- نویسنده مسوول: دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی  
([abbaspour@uma.ac.ir](mailto:abbaspour@uma.ac.ir))

تاریخ پذیرش: 1392/12/21

تاریخ دریافت: 1391/09/22

### چکیده

ایجاد ساختمان مناسب در خاک به منظور رشد محصول از اهمیت زیادی برخوردار است و یکی از مشخصه‌های اصلی ساختمان خاک، اندازه‌ی خاک‌دانه‌ها است. راه‌های مختلفی برای نشان دادن وضعیت پایداری خاک‌دانه‌ها و درجه خردشده‌گی وجود دارد که تعیین میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها (MWD) یکی از آن‌ها است. محققان عموماً (MWD) را مهم‌ترین معیار کمی به منظور بیان درجه‌ی خرد شدن خاک می‌شناسند. در این تحقیق تأثیر برخی از عوامل مؤثر بر خرد شدن خاک در ترکیب ادوات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه شامل زیرشکن، گاواهن برگرداندار و دیسک ثانویه (ترکیب خاک‌ورزی مرسوم در منطقه) به منظور تهیه‌ی زمین برای کاشت محصولات زراعی (غلات) مورد بررسی قرار گرفت که شامل محتوی رطوبتی خاک در دو سطح، سرعت پیش‌روی تراکتور در پنج سطح و لایه‌های عمقی شخم نیز در پنج سطح بود. آزمایش‌های مزرعه‌ای در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) با سه تکرار انجام شد. در این مقاله، یک مدل هوشمند، بر اساس رویکرد اصول مدل فازی ممدانی، که برای پیش‌بینی خردشده‌گی خاک طی عملیات خاک‌ورزی توسعه یافته شده، استفاده گردیده است. این مدل فازی شامل 50 قانون بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رطوبت، سرعت پیش‌روی و لایه‌های عمقی شخم به طور مجزا بر روی مقدار خردشده‌گی خاک معنی‌دار بود (سطح احتمال 1%). به طوری که با افزایش سرعت پیش‌روی و لایه‌های عمقی شخم و محتوی رطوبتی خاک، (MWD) به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین نتایج مدل فازی نشان داد که نقاط بهینه عوامل مورد بررسی برای اجرای یک شخم بهینه و مناسب در خاک شن لومی مورد بررسی که در آن تقریباً 50% خاک دانه‌ها در محدوده 0/5 تا 6 میلی‌متر توزیع شده باشند، به ترتیب برای رطوبت 16-12%، سرعت پیش‌روی 5/92 کیلومتر بر ساعت و لایه عمقی شخم 15 سانتی متر به دست آمد.

کلید واژه‌ها: خاک‌ورزی، خردشده‌گی خاک، میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها، رویکرد فازی

### مقدمه

تخریب و فرسایش خاک سطحی، باعث کاهش توانایی آن برای ذخیره‌ی آب و مواد غذایی و رشد گیاه می‌شود. ساختمان خاک عبارتست از نحوه قرار گرفتن هر یک از

خاک از جمله منابع طبیعی دیر تجدید شونده است. حفاظت خاک بستگی به نحوه استفاده از آن دارد.

تلاش شود. با شخم خوب هزینه‌های تولید پایین می‌آید؛ زیرا عملیات خاک‌ورزی کمتری برای آماده سازی بستر بذر مورد نیاز است. هم‌چنین عملکرد محصولات مختلف افزایش می‌یابد. عملکرد ادوات خاک‌ورزی از منظرهای مختلف مانند میزان خردشدن خاک، میزان همواری سطح زمین پس از عملیات خاک‌ورزی و میزان برگرداندن بقایای گیاهی قابل بررسی می‌باشد. از مهم‌ترین عوامل عملکردی ادوات خاک‌ورزی، بازدهی بهره‌گیری آن‌ها از انرژی مصرفی در خرد کردن خاک می‌باشد. میزان انرژی مورد نیاز برای ایجاد درجه‌ی معینی از خرد شدن خاک، به مقاومت خاک و بازدهی ادوات خاک‌ورزی در بهره‌گیری از انرژی دریافتی از تراکتور بستگی دارد. مقاومت خاک به طبیعت و شرایط فیزیکی آن وابسته است. خاک‌های رسی نسبت به خاک‌های لوم و شنی به انرژی بیشتری برای خرد شدن نیاز دارند. برای یک خاک معین، انرژی مورد نیاز جهت خردسازی خاک با افزایش چگالی ظاهری آن افزایش می‌یابد.

میزان خردشدگی<sup>7</sup> خاک تحت تأثیر عوامل مختلف در عملیات خاک‌ورزی است و این عوامل عبارتند از: روش‌های مختلف خاک‌ورزی، بافت خاک، محتوای رطوبتی خاک، مقدار لایه‌های عمقی شخم، سرعت پیشروی ادوات، چگالی خاک و ویژگی‌های مکانیکی خاک و غیره که اثرات این عوامل بر میزان خرد شدگی خاک توسط بسیاری از محققان بررسی شده است.

با توجه به این که رطوبت خاک عامل محدود کننده اصلی برای عملیات خاک‌ورزی می‌باشد، باید محدوده رطوبت قابل قبول برای انجام عملیات خاک‌ورزی مناسب تعیین گردد. محدوده رطوبت خاک‌ورزی باید با توجه به نوع عملیات و بافت خاک تعیین گردد. برای عملیات خاک‌ورزی، از لحاظ رطوبت خاک دو حد قابل تصور است:

ذرات خاک در کنار یکدیگر و ایجاد واحد بزرگتر یا دانه‌بندی که واحد ساختمانی یا خاک‌دانه<sup>1</sup> نامیده می‌شود. حالت فیزیکی خاک نقش مهمی در سبزشدن بذر، رشد و توسعه ریشه گیاه و تولید محصول دارد (آلکو و کولن<sup>2</sup>، 2000). انجام عملیات صحیح خاک‌ورزی، استفاده از ادوات مناسب و دقت در شرایط اجرای عملیات، باعث می‌گردد تا از تخریب خاک اراضی جلوگیری شود و به حفظ و بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن کمک گردد (آزادگان و همکاران، 1378). هدف از انجام 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 لوله‌های 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 شده‌تر باشد. اصولاً ساختمان دانه‌دانه‌ی خاک که موجب نفوذ آب و نگهداری آن، افزایش گنجایش هوا و تسهیل تهویه خاک و تقلیل مقاومت آن در مقابل تحت ریشه‌دوانی شود، مورد نظر است (منصوری راد، 1386). نتایج کلی بسیاری از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که یک بستر بذر خوب برای حبوبات و غلات، بستری است که تقریباً 50% خاک‌دانه‌ها در محدوده 0/5 تا 6 میلی‌متر توزیع شده باشند (برنتسن و بری<sup>3</sup>، 1993؛ گارنر<sup>4</sup>، 1956؛ پرفکت و کی<sup>5</sup>، 1994). راسل<sup>6</sup> (1965) مناسب‌ترین دامنه تغییرات اندازه خاک‌دانه‌ها در یک بستر بذر مطلوب را بین 2 تا 5 میلی‌متر می‌داند.

انجام یک شخم خوب گرچه ممکن است مشکل باشد؛ اما ارزش آن را دارد که برای رسیدن به آن

- 1- Aggregate
- 2- Aluko and Koolen
- 3- Berntsen and Berre
- 4- Gardner
- 5- Perfect and Kay
- 6- Russel

برگردان‌دار در یک خاک لوم رسی بررسی نموده و خرد شدن بهتر و یکنواخت‌تر خاک را در دامنه رطوبت 18-16 درصد گزارش نمودند. وودراف و همکاران<sup>11</sup> (1986) گزارش دادند زمانی که سرعت گاوآهن چیزل از 0/8 m/s به 1/4 m/s در یک خاک لوم سیلینی افزایش یافت، درصد کلوخه‌های بزرگتر از 19 mm با 10% کاهش مواجه شد. هم‌چنین با افزایش مقدار عمق خاک‌ورزی، میزان خردشدگی خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

مصدقی و همکاران<sup>12</sup> (2009) مدلی را برای خردشدگی خاک که توسط آلکو و کولن (2001) ارائه شده بود را برای 10 خاک کشاورزی (از بافت لومی شنی تا بافت رسی) مورد ارزیابی قرار داده و نتایج به‌دست آمده را با محدوده‌های کاری مرسوم مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد مقادیر رطوبت بهینه به‌دست آمده توسط مدل مذکور برای خاک‌های مختلف مورد مطالعه در محدوده 0/79-0/91 حد پلاستیک خاک قرار داشت.

سیستم استنتاج فازی بر اساس قواعد اگر-آن‌گاه بنا نهاده شده است؛ به‌طوری‌که با استفاده از قواعد مزبور می‌توان ارتباط بین ورودی و خروجی را به دست آورد. بنابراین از سیستم استنتاج فازی می‌توان به عنوان یک مدل پیش‌بینی و بهینه‌ساز برای شرایطی که داده‌های ورودی و یا خروجی دارای عدم قطعیت بالایی باشند استفاده نمود زیرا در چنین شرایطی روش‌های کلاسیک پیش‌بینی نظیر رگرسیون نمی‌توانند به خوبی عدم قطعیت‌های موجود در داده‌ها را در نظر بگیرند. چهار واحد اساسی و لازم برای استفاده موفق از هر رویکرد مدل‌سازی فازی وجود دارد که عبارتند از: پایگاه قواعد فازی، موتور استنتاج فازی، فازی ساز، غیرفازی ساز. یکی از فرض‌های برنامه‌ریزی ریاضی، فرض قطعی بودن و مشخص بودن پارامترهای مدل تصمیم است.

11- Woodruff *et al.*12- Mosaddeghi *et al.*

الف- حد بالای خاک‌ورزی<sup>1</sup> (UTL)

ب- حد پایین خاک‌ورزی<sup>2</sup> (LTL)

به نقطه‌ای که بهترین عملکرد عملیات خاک‌ورزی در آن رطوبت روی می‌دهد، رطوبت بهینه خاک برای عملیات خاک‌ورزی<sup>3</sup> ( $\theta_{OPT}$ ) می‌گویند. معادلات مختلفی در نوشته‌ها و مقالات گزارش شده‌اند که رنج و محتوی رطوبت بهینه را برای عملیات خاک‌ورزی با استفاده از داده‌های نگهداری آب و  $\theta_{PL}$  تعیین کرده‌اند (دکستر و بیرد<sup>4</sup>، 2011).

دکستر و بیرد (2011) حد بالای خاک‌ورزی (UTL) را  $\theta_{UTL} = \theta_{PL}$  اظهار کردند. آن‌ها همچنین پیشنهاد کردند که حد پایین خاک‌ورزی (LTL) را می‌توان تقریباً برابر با  $\theta_{LTL} = 0.8\theta_{PL}$  دانست. آنها رطوبت  $\theta_{PL}$  0/9 را به‌عنوان رطوبت بهینه خاک‌ورزی معرفی کردند. جدای از آن، ظرفیت مزرعه‌ای<sup>5</sup> (FC) نقش مهم‌تری را بازی می‌کند، همچنان‌که آن را می‌توان به عنوان شرایط رطوبتی که اغلب در مزرعه با آن مواجه هستیم توصیف کرد. یک خاک با کارپذیری<sup>6</sup> خوب را معمولاً می‌توان به‌صورت  $\theta_{FC} < \theta_{PL}$  بیان کرد (کلر و دکستر<sup>7</sup>، 2012).

برنتسن و بری (2002)، اوچنی و دکستر<sup>8</sup> (1979) رطوبت مناسب برای اجرای عملیات خاک‌ورزی را که منجر به تشکیل حداکثر خاک‌دانه‌های ریز و حداقل کلوخه‌های درشت می‌گردد، در مقدار رطوبت نزدیک به 0/9 حد پایینی خمیری<sup>9</sup> خاک گزارش نمودند. لغوی و مرادی<sup>10</sup> (1996) تأثیر رطوبت خاک را بر شرایط نهایی خاک، پس از انجام شخم توسط گاوآهن

1- Upper Tillage Limit

2- Lower Tillage Limit

3- Optimum Soil Water Content for Tillage

4- Dexter and Bird

5- Field Capacity

6- Workability

7- Keller and Dexter

8- Ojeniyi and Dexter

9- Lower plastic limit (LPL)

10- Loghavi and Moradi

خردشستگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی به‌عنوان یک شاخص مهم در زمینه‌ی کیفیت شخم و تعیین نقاط بهینه عوامل تأثیرگذار با استفاده از منطق فازی بود.

### مواد و روش‌ها

از یک تراکتور مسی فرگوسن مدل MF-285 تک دیفرانسیل 75 اسب بخار و مجهز به سیستم ابزار اندازه‌گیری دقیق به‌منظور انجام عملیات خاک‌ورزی و جمع‌آوری داده‌های سرعت پیشروی حین عملیات خاک‌ورزی استفاده شد. سیستم اندازه‌گیری دقیق تراکتور مجهز به حسگر اندازه‌گیری سرعت از نوع چرخ پنجم و سیستم جمع‌آوری داده بود. یک کامپیوتر کیفی متصل به دیتالاگر DT800 به‌منظور جمع‌آوری داده‌های اندازه‌گیری مبدل‌های مورد اشاره به کار گرفته شد. هم-چنین برای اندازه‌گیری و تعیین عوامل مؤثر بر مقدار خردشستگی خاک، از یک تیغه‌ی زیرشکن با بازوی خمیده استاندارد ساخت شرکت تاکا، گاوآهن برگرداندار سه خیشه و دیسک تاندوم استفاده گردید. آزمایش‌های مزرعه‌ای در مزارع آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. برای انجام عملیات شخم به‌منظور تهیه زمین برای کاشت محصولات زراعی (غلات)، یک قطعه 250 متر مربعی با ابعاد 10×25 متر انتخاب گردید. به‌منظور اندازه‌گیری، این قطعه زمین به 5 کرت کوچکتر با ابعاد 5×10 متر تقسیم شده و از هر کدام 3 نمونه به‌صورت تصادفی انتخاب شد. بعد از آن نمونه‌های خاک از هر کرت به‌منظور به‌دست آوردن بافت خاک جمع‌آوری گردید. به‌منظور تعیین مقدار رطوبتی خاک همزمان با انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای از هر کرت آزمایشی نمونه خاک در عمق‌های 0-10، 10-20، 20-30 سانتی‌متر برداشته شد. ظرفیت نگهداری رطوبت خاک 20/8% بر پایه وزن خشک به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری رطوبت

پرسش اساسی این است که این فرض چه میزان با شرایط دنیای واقعی تطابق دارد. در دنیای واقعی زمانی که یک تصمیم‌گیرنده، تصمیم به بهینه‌سازی می‌گیرد، در واقع ممکن است رسیدن به سطح دلخواهی که تعریف شدنی نیست را به عنوان بیشینه یا کمینه کردن نام‌گذاری نماید. برای مثال در کشاورزی رسیدن به یک شخم مطلوب، از این نمونه است.

تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی نخستین بار توسط زاده<sup>1</sup> (1965) مطرح شد. هدف اولیه‌ی وی در آن زمان، توسعه‌ی مدلی کارآمدتر برای توصیف فرآیند پردازش زبان‌های طبیعی بود. اساس نظریه‌ی فازی را می‌توان به نظریه‌ی مجموعه‌های فازی و در نتیجه انتخاب تابع عضویت مناسب برای این مجموعه‌ها دانست. در مطالعات مختلف و بسته به ماهیت مسأله، از توابع گوناگون استفاده می‌شود (دوبویس و پرید<sup>2</sup>، 1980). بهینه‌سازی به‌صورت سیستمی مجموعه‌ای از هدف‌ها، بهینه‌سازی چند هدفی یا بهینه‌سازی برداری نامیده می‌شود. در اینجا می‌توان از راه حل توافقی نام برد که در اصل فاصله‌ی اقلیدسی بین نقطه‌ی بهینه‌ی بالفعل و نقطه‌ی ایده‌آل را کمینه می‌کند. در عمل دسترسی به نقطه‌ی ایده‌آل ممکن نیست. بهترین کار تعیین پاسخی است که نزدیک‌ترین فاصله‌ی ممکن از نقطه‌ی ایده‌آل را دارد (مارلر و اورار<sup>3</sup>، 2004).

یانگ و همکاران<sup>4</sup> (1991) توانستند مدل بهینه‌سازی سازی فازی (برنامه‌ریزی آرمانی فازی) را با تعداد متغیرهای کمتر حل کنند. مدل آن‌ها ابتدا مجموعه‌ی درجات عضویت آرمان‌ها را کمینه می‌کند و سپس از بین کمینه‌ها، بیشینه را انتخاب می‌کند که این روش را Max-Min می‌نامند.

هدف از این مطالعه، بررسی عوامل مؤثر بر میزان

- 
- 1- Zadeh
  - 2- Dubois and Prade
  - 3- Marler and Arora
  - 4 - Yang *et al.*

جدول 1- مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی اندازه‌گیری شده خاک مزرعه در اعماق مختلف

رطوبت خاک (%)		$\theta_{FC}$	$\theta_S$	$\theta_{PL}$	$\theta_{LL}$	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک	عمق خاک (cm)
وضعیت رطوبتی اول	وضعیت رطوبتی دوم	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
18	14	19/8	38/5	20/5	29	11	17/5	71/5	شن لومی	0-10
17/2	12/5	20/62	41	21	31	9/5	15/5	75	شن لومی	10-20
16	10	21/5	43/5	22/5	33	8	18/5	73/5	شن لومی	20-30

بزرگ‌ترین قطر به کوچک‌ترین قطر روی هم قرار داشتند، انجام گرفت.

نمونه‌برداری از کرت‌ها برای تعیین (MWD) خاک‌دانه‌ها، چند روز پس از انجام شخم انجام گرفت تا کلوخه‌های ایجاد شده در معرض هوا و تابش خورشید، خشک و نسبتاً سخت شده در حین عبور از الک‌ها کمتر دچار شکستگی و کاهش اندازه شوند. برای محاسبه (MWD) در هر کرت آزمایشی، مقدار فوق در سه نقطه که به صورت تصادفی انتخاب گردید، به دست آمد و مقدار میانگین این مقادیر به عنوان نماینده میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها در هر کرت معرفی گردید. نمونه برداری توسط یک قاب چوبی 50×50 سانتی‌متر انجام شد. برای نمونه برداری خاک از لایه‌های عمق مورد نظر یک نمونه‌گیر به شکل استوانه با ابعاد قطر 250 میلی‌متر و ارتفاع 300 میلی‌متر از جنس فولاد طراحی و ساخته شد. به طوری که این نمونه‌گیر درجه‌بندی شده و شامل 5 لایه 50 میلی‌متری بود و بعد از اجرای شخم در نقطه مورد نظر فرو برده می‌شد تا خاک هر لایه‌ی مورد نظر به دست آید. برای تعیین قطر خاک دانه‌ها از الک‌های استاندارد با شماره‌های مختلف استفاده شد. نمونه به دست آمده از سطح مربوط به هر پلات الک شده و برای الک کردن نمونه‌ها از دستگاه شیکر استفاده شد (غربال خشک). الک‌های به کار رفته در این تحقیق دارای اندازه سوراخ 10، 4، 2/36، 1/4، 0/5، 0/18 و 0/106 میلی‌متر بود. سپس خاک باقی مانده در روی هر

خاک از روش رطوبتی وزنی استفاده شد. جدول 1 ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی را که براساس مثلث بافت خاک (USDA) و روش هیدرومتری تعیین شده ارائه می‌کند.

جهت تعیین تأثیر برخی از عوامل موثر بر میزان خرد شدن خاک در ترکیب اشاره شده از طرح آماری طرح کاملاً تصادفی (CRD)، با سه تکرار استفاده شد. عوامل انتخابی مؤثر بر میزان خرد شدن خاک به شرح زیر انتخاب شد:

- مقدار رطوبت خاک (فاکتور A): (در دو سطح)
- سرعت پیشروی (فاکتور B): (در پنج سطح، 3/32، 3/83، 4/25، 5/92، 8/65 کیلومتر بر ساعت)
- لایه‌های عمقی شخم (فاکتور C): (در پنج سطح، 0-5، 5-10، 10-15، 15-20، 20-25 سانتی‌متر) انتخاب سرعت پیشروی این سطوح بر اساس سرعت‌های پیشروی تراکتور برای انجام عملیات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه انجام گرفت. راه‌های مختلفی برای نشان دادن وضعیت پایداری خاک‌دانه‌ها وجود دارد که از جمله تعیین میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها (MWD)<sup>1</sup> است. محققان عموماً (MWD) را مهم‌ترین معیار کمی جهت بیان درجه خرد شدن خاک می‌شناسند. این روش با استفاده از الک‌هایی با قطرهای متفاوت که به طور عمودی از

1- Mean Weight Diameter (MWD)

برای مثال یکی از قوانین را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

اگر رطوبت خیلی کم و لایه‌های عمقی شخم نیز خیلی کم و سرعت پیشروی متوسط باشد، آنگاه قطر متوسط وزنی خاک دانه‌ها خیلی کم خواهد بود.

برای مثال توابع عضویت متغیر ورودی سرعت پیشروی (F.V) در شکل 1 نشان داده شده است.

تصمیم در یک محیط فازی به عنوان محل برخورد تنگناها و هدف‌های فازی است. رابطه‌ی میان تنگناها و هدف‌های فازی در یک محیط فازی، به گونه‌ی کامل متقارن است. پاسخ بهینه را می‌توان با بیشینه کردن درجه عضویت اشتراک تنگناها و هدف‌ها به دست آورد. به بیان دیگر درجه‌ی عضویت در تابع تصمیم فازی که مجموعه‌ای از توابع هدف است، بیشینه نماییم.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اعداد به دست آمده از آزمایش‌ها، اثرات عوامل اصلی و نیز اثرات متقابل آنها در جدول 2 ارائه شده است. با توجه به جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود که اثرات اصلی رطوبت، سرعت پیشروی و لایه‌های عمقی شخم به طور مجزا بر روی میزان خردشدگی خاک (میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها) معنی‌دار است ( $P < 0/01$ ). ضمن این که اثرات متقابل رطوبت در لایه‌های عمقی شخم بر میزان خردشدگی نیز معنی‌دار می‌باشد ( $P < 0/01$ ).

همچنین اثرات متقابل سرعت پیشروی در رطوبت، سرعت پیشروی در لایه‌های عمقی شخم و اثر متقابل سه تایی رطوبت در لایه‌های عمقی شخم در سرعت پیشروی بر میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی معنی‌دار نیستند.

### اثر رطوبت خاک

نتایج مقایسه میانگین اثر رطوبت خاک بر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها در شکل 2 نشان داده شده است.

الک به وسیله یک ترازو با دقت 0/1 گرم توزین شد. محاسبه‌ی مقدار میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها با استفاده از رابطه 1 انجام شد (آدام و ارباخ<sup>1</sup>، 1992). که در این رابطه:

$$MWD = \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{W_t} D_i \quad (1)$$

MWD: میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها بر حسب میلی‌متر،  $W_i$ : خاک باقی‌مانده بر روی غربال مورد نظر بر حسب گرم،  $W_t$ : وزن کل خاک خرد شده در هر نمونه‌ی مورد آزمایش بر حسب گرم و  $D_i$ : قطر متوسط خاک‌دانه‌ها در هر دامنه بر حسب میلی‌متر و  $n$ : تعداد نمونه می‌باشد.

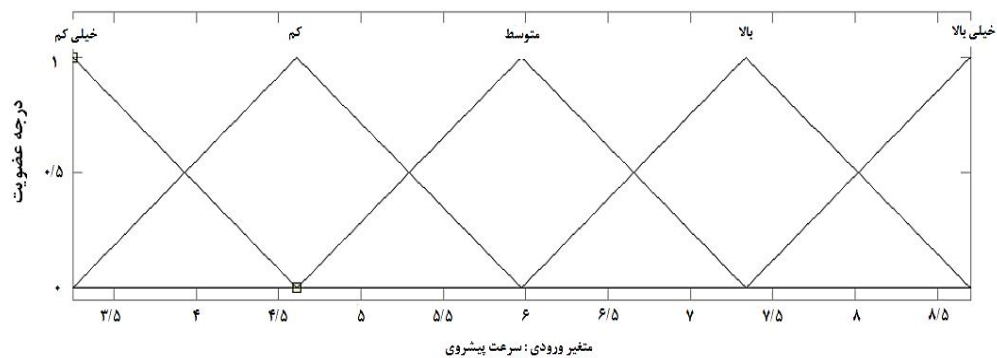
### ساختار مدل فازی

برای پیاده‌سازی تئوری مجموعه فازی<sup>2</sup> به مدل، از جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار MATLAB نسخه 7/12 تحت ویندوز استفاده شد. با استفاده از سیستم خبره فازی (FES)، رطوبت (MC)، لایه‌های عمقی شخم (LWD) و سرعت پیشروی (FV) به عنوان پارامترهای مستقل و میانگین قطر وزنی خاک‌دانه‌ها (MWD) به عنوان پارامتر وابسته مورد استفاده قرار گرفتند.

برای فازی کردن این پارامترها از متغیرهای زبانی، خیلی کم (VL)، کم (L)، متوسط (M)، بالا (H) و خیلی بالا (VH) استفاده شد. در این تحقیق، استنتاج ماکزیمم-مینیمم ممدانی<sup>3</sup> برای استنتاج مکانیزم و روش غیر فازی‌ساز مرکز ثقل<sup>4</sup> برای غیر فازی سازی مورد استفاده قرار گرفت. از توابع عضویت مثلثی<sup>5</sup> شکل برای هر دو متغیر ورودی و خروجی به دلیل دقت بالا استفاده شد.

این مدل فازی شامل 50 قانون می‌باشد که بر اساس شرایط آزمایش و نتایج دیگر محققان نوشته شده است.

- 1- Adam and Erbach
- 2- Fuzzy set theory
- 3- Mamdani max- min
- 4- Center of Gravity Defuzzifie
- 5- Membership Function Triangle

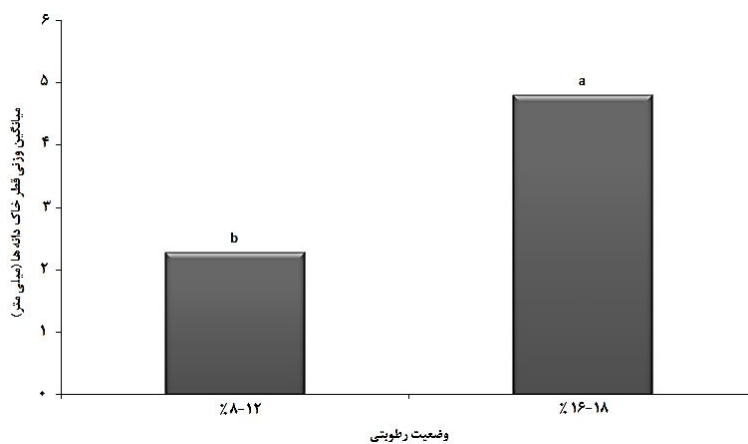


شکل 1- توابع عضویت متغیر ورودی سرعت پیشروی

جدول 2- تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری شده

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
747/1392**	240/014	240/014	1	رطوبت
10/4235**	3/384	13/394	4	لایه‌های عمقی شخم
0/827**	0/266	1/063	4	رطوبت × لایه‌های عمقی شخم
47/3655**	15/216	60/863	4	سرعت پیشروی
8/1444 <sup>ns</sup>	20/616	10/465	4	رطوبت × سرعت پیشروی
1/5071 <sup>ns</sup>	0/484	7/746	16	لایه‌های عمقی شخم × سرعت پیشروی
1/5394 <sup>ns</sup>	0/495	7/912	16	رطوبت × سرعت پیشروی × لایه‌های عمقی
-	0/321	32/124	100	خطا
-	-	373/582	149	مجموع

\*\* معنی دار در سطح احتمال 1%، ns بی معنی



شکل 2- نتایج مقایسه میانگین اثر رطوبت بر میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها

قطر خاک‌دانه‌ها در محدوده‌ی 20-25 سانتی‌متر به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار آن نیز در محدوده 5-10 سانتی‌متر مشاهده شد. میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی در لایه‌های مختلف انتخابی نشان داد که ترکیب ادوات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه شامل زیرشکن، گاوآهن برگرداندار و دیسک ثانویه (ترکیب خاک‌ورزی مرسوم در منطقه) به منظور تهیه زمین برای کاشت محصولات زراعی می‌تواند مفید و مؤثر باشد.

### اثر سرعت پیشروی

نتایج مقایسه میانگین اثر سرعت پیشروی بر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها در شکل 4 نشان داده شده است. با تغییر سطوح مختلف سرعت پیشروی، اختلاف معنی‌داری در میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها وجود دارد؛ هر چند که در برخی سطوح تغییر معنی‌داری نشان نداد که علت این امر را می‌توان در انتخاب نزدیک اندازه سرعت‌های پیشروی نسبت به هم جستجو کرد. میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها با افزایش سرعت پیشروی، دارای روندی افزایشی و برای میزان خردشدگی خاک روندی کاهشی است. علت این امر، تشکیل لقمه‌های بزرگتر خاک در زمان برش توسط ادوات می‌باشد. بیشترین مقدار میانگین قطر وزنی خاک‌دانه‌ها در سرعت پیشروی 5/92 کیلومتر بر ساعت و کمترین مقدار آن در سرعت پیشروی 3/32 کیلومتر بر ساعت به‌دست آمد. این نتایج با نتایج پژوهش‌های کبیری و زارعیان<sup>1</sup> (2002) مطابقت دارد. آنها گزارش کردند که با افزایش سرعت، کیفیت پشته‌های شیار یکنواخت‌تر شده و میزان خرد شدن توده خاک برش خورده بهبود یافته و مدفون شدن پوشش گیاهی سطح خاک زیادتر می‌شود.

همان‌طور که از نمودار پیداست، با تغییر سطوح مختلف رطوبتی، اختلاف معنی‌داری در میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها وجود دارد. با افزایش مقدار رطوبت میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها افزایش یافته است. در واقع با افزایش مقدار رطوبت خاک، میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی مورد نظر کاهش یافته است. انتخاب دامنه مناسب رطوبت، جهت انجام عملیات خاک‌ورزی که منجر به تشکیل حداکثر خاک‌دانه‌های ریز و حداقل کلوخه‌های درشت می‌گردد، از اهمیت زیادی برای تهیه بستر بذر برخوردار است. همان‌طور که از نمودار پیداست، کمترین مقدار میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها در رطوبت پایین‌تر (10-14%) به‌دست آمده است. لغوی و مرادی (1996) و زارعیان (1364) نیز در آزمایش‌های خود نتایج مشابهی دست یافتند. آنها تأثیر رطوبت خاک را بر شرایط نهایی خاک، پس از انجام شخم توسط گاوآهن برگرداندار در یک خاک لوم رسی بررسی نموده و خرد شدن بهتر و یکنواخت‌تر خاک را در دامنه رطوبت 18-16 درصد گزارش نمودند.

### اثر لایه‌های عمقی شخم

نتایج مقایسه میانگین اثر لایه‌های عمقی شخم بر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها در شکل 3 نشان داده شده است. با تغییر سطوح مختلف لایه‌های عمقی شخم، اختلاف معنی‌داری در میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها وجود دارد و فقط در لایه‌هایی که از 0-5 تا 5-10 سانتی‌متر افزایش یافته است اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. علت این امر را می‌توان در انجام عملیات خاک‌ورزی ثانویه با هرس دیسک‌زنی جستجو کرد. چون این عملیات در عمق‌های کمی انجام گرفته است، بنابر این افزایش عمق‌های اولیه (0-10 سانتی‌متر) به‌طور یکسان خرد شده‌اند. میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها با لایه‌های عمقی شخم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و منجر به کاهش خردشدگی خاک شد؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار میانگین وزنی



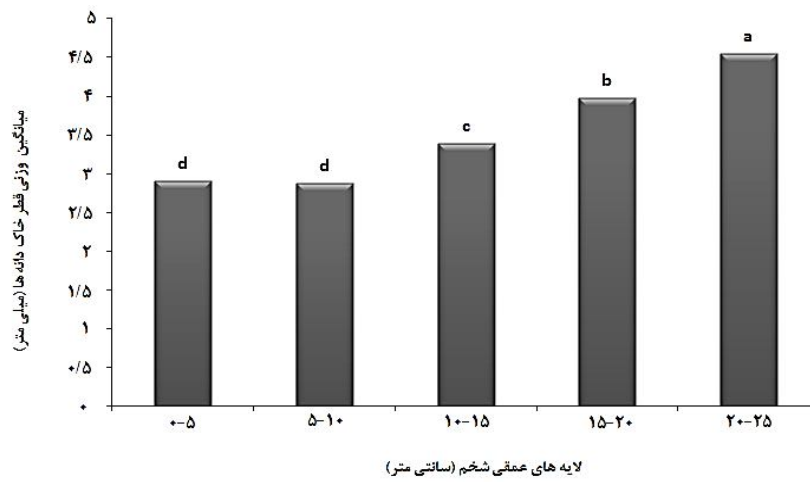
### پیدا کردن نقاط بهینه عوامل موثر

یک بستر بذر خوب برای حبوبات و غلات بستری است که تقریباً 50% خاک دانه‌ها در محدوده‌ی 0/5 تا 6 میلی‌متر توزیع شده باشند. در این مطالعه محدوده‌ی مذکور تقریباً برابر با 2 تا 5 میلی‌متر میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها (MWD) است. نتایج خروجی مدل فازی (شکل 6) بر اساس قوانین نوشته شده و توابع عضویت پارامترهای ورودی و خروجی نشان داد که برای رسیدن به محدوده‌ی مناسب اندازه خاک دانه‌ها (2 تا 5 میلی‌متر) رطوبت 16-12%، سرعت پیشروی 5/92 کیلومتر بر ساعت نسبت به بقیه سرعت‌ها و لایه عمقی شخم 15-10 سانتی‌متر نسبت به بقیه لایه‌ها ارجحیت دارد. در این مدل با اعمال مقادیری برای پارامترهای ورودی که شامل رطوبت، لایه‌های عمقی شخم و سرعت پیشروی است. مقدار (MWD) به‌دست می‌آید. پس به ازای هر مقدار پارامترهای ورودی که محدوده بهینه شخم برای (MWD) (محدوده‌ی مناسب اندازه خاک دانه‌ها 2 تا 5 میلی‌متر) را نشان دهد، مقدار بهینه عوامل به‌دست می‌آید. نتیجه به‌دست آمده برای مقدار بهینه رطوبت خاک با نتایج مصدقی و همکاران (2009) کاملاً مطابقت دارد و نتایج آنها نشان داد مقادیر رطوبت بهینه در محدوده 0/79-0/91 حد پلاستیک خاک قرار می‌گیرد.

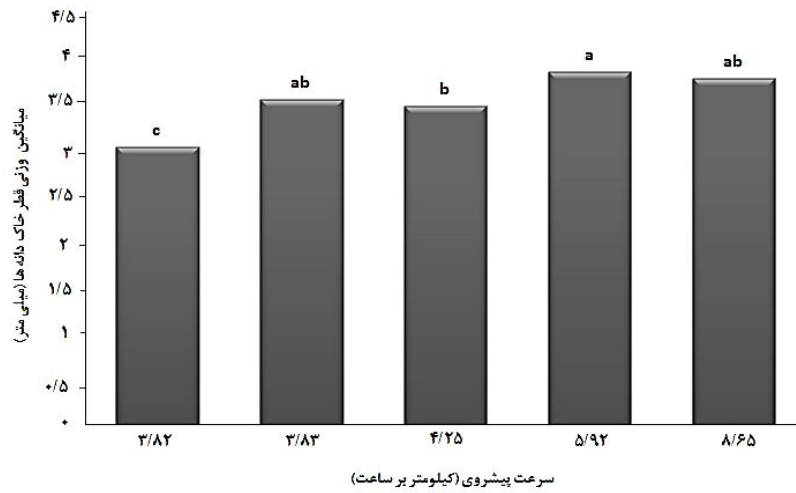
### اثر متقابل رطوبت در لایه‌های عمقی شخم

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت در لایه‌های عمقی شخم میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها در شکل 5 نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که در هر لایه با افزایش مقدار رطوبت میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها افزایش می‌یابد (کاهش خردشدگی خاک). همچنین در هر دو سطح رطوبت با افزایش لایه‌های عمقی شخم میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (کاهش خردشدگی خاک). بیشترین مقدار میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها در خاک 18-16% و در عمق 20 تا 25 سانتی‌متر و برابر با 6/14 میلی‌متر و کمترین مقدار آن برابر با 1/71 میلی‌متر و در خاک 14-10% و در عمق 5 تا 10 سانتی‌متر می‌باشد. علت این نتایج را می‌توان این‌گونه تحلیل کرد که در خاک شن لومی با افزایش عمق، احتمالاً مقدار رطوبت نیز افزایش می‌یابد و با افزایش عمق خاک فشرده‌تر و سخت‌تر می‌شود. بنابر این اندازه کلوخه‌ها در اثر خاک‌ورزی بزرگ‌تر و میزان خردشدگی کم‌تر می‌شود. بنابر این هم با افزایش لایه‌های عمقی شخم و هم با افزایش رطوبت، خردشدگی در خاک شن لومی کاهش می‌یابد. احمدی و ملازاده<sup>1</sup> (2009) در آزمایش‌های خود به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها که به بررسی تأثیر دو عمق شخم 20-15 و 30-25 سانتی‌متر و چهار سطح رطوبت 13-10، 15-13، 18-15، 20-18 درصد بر مبنای وزن خشک بر قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها در عملیات شخم با گاوآهن برگرداندار پرداخته بودند، گزارش کردند که در عمق 20-15 سانتی‌متر و رطوبت 20-18 درصد کوچک‌ترین کلوخه‌ها ایجاد می‌گردد.

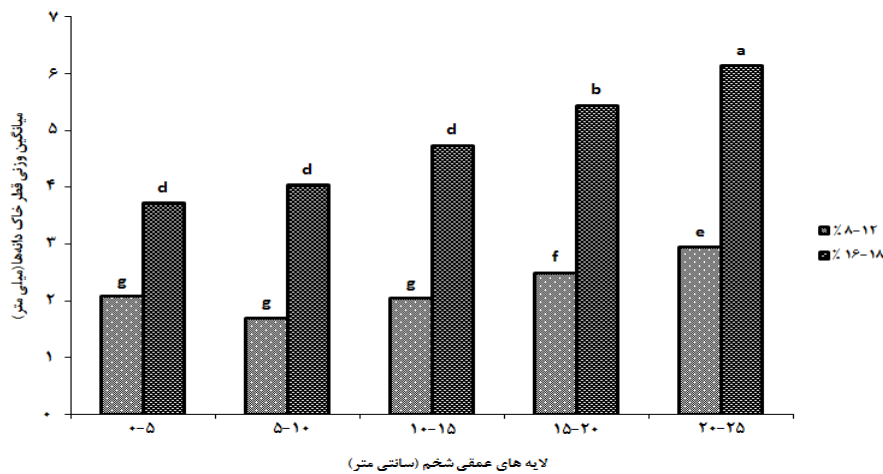
صدقی و عباسپور گیلانده: بررسی عوامل مؤثر بر خردشدگی خاک...



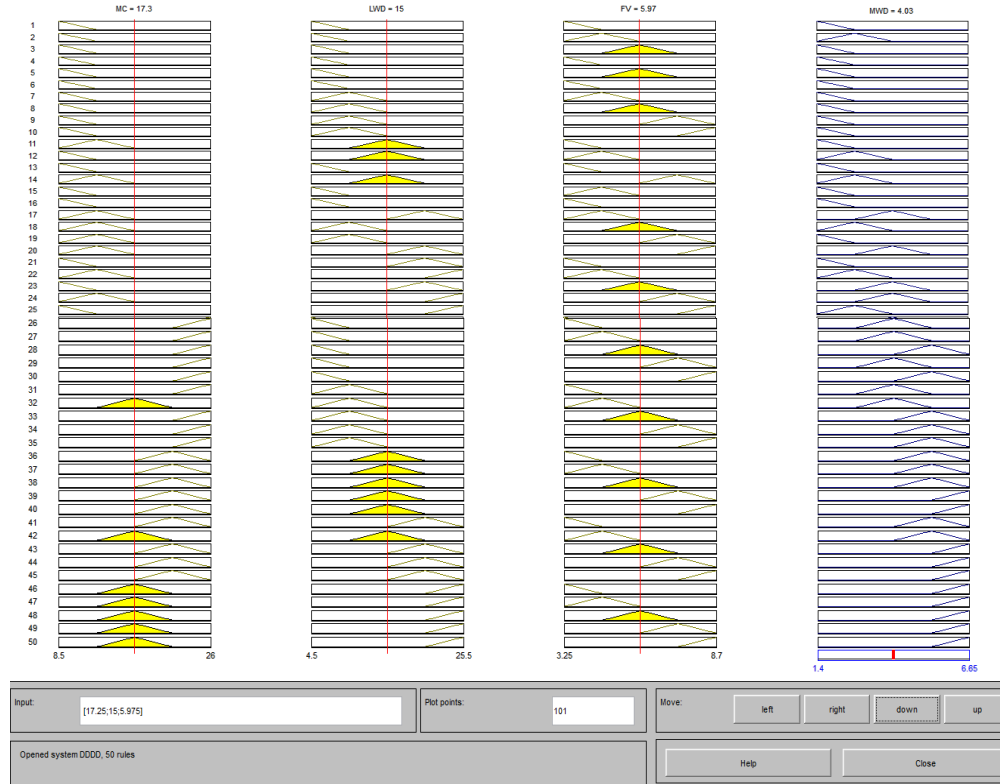
شکل 3- نتایج مقایسه میانگین اثر لایه‌های عمقی شخم بر میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها



شکل 4- نتایج مقایسه میانگین اثر سرعت پیشروی بر میانگین قطر وزنی خاک دانه‌ها



شکل 5- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت در لایه‌های عمقی شخم بر میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها



شکل 6- خروجی سیستم فازی بر اساس قوانین نوشته شده

### نتیجه گیری

اجرای یک شخم مناسب با بهبود حالت فیزیکی خاک نقش مهمی در سبز شدن بذر، رشد و توسعه ریشه گیاه و تولید محصول دارد. براساس نتایج این مطالعه می توان به اهداف یک شخم مطلوب دست یافت. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که برای انجام عملیات خاک ورزی اولیه با گاوآهن برگردان دار بهتر است رطوبت خاک (شن لومی) تا حد امکان نزدیک به حد پایین خمیری (LPL) باشد که در این تحقیق این مقدار 16-18% (0/9LPL) بود. برای سرعت های انتخابی در این تحقیق نیز انجام دیسک زنی با محدوده سرعت 5-8 کیلومتر بر ساعت مناسب تشخیص داده شد. همچنین در

این مطالعه با استفاده از مدل فازی مشخص شد که برای ایجاد یک بستر بذر مناسب استفاده از ترکیب ادوات خاک ورزی اولیه و ثانویه شامل زیرشکن، گاوآهن برگرداندار و دیسک ثانویه (ترکیب خاک ورزی مرسوم در منطقه) مناسب بوده و بایستی عملیات خاک ورزی با استفاده از ترکیب اشاره شده در خاک شن لومی مورد بررسی رطوبت 12-16% و با سرعت پیشروی 5/92 کیلومتر بر ساعت انجام پذیرد تا خاک دانه ها با اندازه های مناسبی (محدوده ی اندازه خاک دانه ها 2 تا 5 میلی متر) در لایه های مختلف عمقی شخم که از جمله در لایه 10-15 سانتی متر توزیع گردند.

### منابع

- 1- آزادگان، ب.، مجد، ف.، شاهوئی، ص. و رفاهی، ح. 1378. بررسی تأثیر عملیات خاک‌ورزی به وسیله گاواهن برگردان‌دار در میزان حرکت و جابجایی خاک در اراضی زراعی شیب دار (روش ردیابی سزیم-137). مجله علوم کشاورزی ایران، 30 (4): 751-759.
- 2- زارعیان، س. 1364. اثر رطوبت خاک روی مقاومت کششی گاواهن و درجه پودر شدن خاک، مجله علوم کشاورزی ایران. 16 (4): 11-17.
- 3- شفیعی، س. 1384. اصول ماشینهای کشاورزی (جلد اول). موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- 4- منصوری راد، د. 1386. تراکتور ها و ماشین های کشاورزی (جلد اول). انتشارات دانشگاه بوعلی سینا. همدان.
- 5- Adam, K. M., and Erbach, D. C. 1992. Secondary tillage tool effect on soil aggregation. Transactions of the ASAE, 35(6): 1771-1776.
- 6- Ahmadi, H., and Mollazade, K. 2009. Effect of plowing depth and soil moisture content on reduced secondary tillage. Agricultural Engineering International: The CIGR E-Journal, 11: 1-9.
- 7- Aluko, O. B., and Koolen, A. J. 2000. The essential mechanics of capillary crumbling of structured soil. Soil and Tillage Research, 55: 117-126.
- 8- Berntsen, R., and Berre, B. 1993. Fract uring of soil clods and the soil crumbling effectiveness of draught tillage implements. Soil and Tillage Research, 28: 79-94.
- 9- Berntsen, R., and Berre, B. 2002. Soil fragmentation and the efficiency of tillage implements. Soil and Tillage Research, 64: 137-147.
- 10- Dexter A. R., and Bird, N. R. A. 2011. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. Soil and Tillage Research, 57: 203-212.
- 11- Dubois, D., and Prade, H. 1980. Fuzzy Sets and Systems. United Kingdom Edition Academic Press Limited.
- 12- Gardner, W. R. 1956. Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution. Soil Science Society of America Proceeding, 20: 151-153.
- 13- Kabiri, K., and Zarean, S. 2002. Evaluation of draft requirement and soil inversion of moldboard plow at different levels of speed and plowing depth. Journal of Agricultural Science and Natural Recourses, 9(2): 129-138.
- 14- Keller, T., and Dexter, A. R. 2012. Plastic limits of agricultural soils as functions of soil texture and organic matter content, Soil Research, 50: 7-17.

- 15- Loghavi, M., and Moradi, A. 1996. Draft and drawbar power requirement of moldboard plow in a clay loam soil. *Iran Agricultural Research*, 15 (2): 203-214.
- 16- Marler, R. T., and Arora J. S. 2004. Survey of multi-objective optimization methods for engineering. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26: 369-395.
- 17- Mosaddeghi, M. R., Morshedizad, M., Mahboubi, A. A., Dexter, A.R., and Schulin, R. 2009. Laboratory evaluation of a model for soil crumbling for prediction of the optimum soil water content for tillage. *Soil and Tillage Research*, 105: 242-250.
- 18- Ojeniyi, S. O., and Dexter, A. R. 1979. Soil factors affecting the macro structure produced by tillage. *Transactions of the ASAE*, 22(2): 339-343.
- 19- Perfect, E., and Kay, B. D. 1994. Statistical characterization of dry aggregate strength using rupture energy. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1804-1809.
- 20- Russel, E. W. 1965. *Soil Conditions and Plant Growth*. Longmans Green and Co. Ltd., London. 384 p.
- 21- Woodruff, D. W., 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.
- 22- Yang, J.P., Ignizio, H., and Kim, H. J. 1991. Fuzzy programming with nonlinear membership function: piecewise linear programming approximation, *Fuzzy Sets and Systems*, 11: 39-53.
- 23- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets. *Information Control*, 8: 338-353.