ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲٤ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

مدلسازی نیروی کشش یک تیغه خاک‌ورز بالدار بر اساس سامانه استنتاج فازی و روش رگرسیون خطی چندمتغیره

اصغر محمدی[۱]، رضا علیمردانی[۲]، رضا لبافی[۱]، عباس اکبرنیا[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران ،۲- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران ،۳- عضو هیئت علمی پژوهشکده کشاورزی سازمان پژوهش‌های علمی وصنعتی ایران

mohammadi.asghar@gmail.com

چکیده

در این تحقیق یک روش مبتنی بر منطق فازی جهت پیش‌بینی عملکرد کششی یک نوع تیغه بالدار مورد ارزیابی و جهت تعیین دقت آن در پیش‌بینی، با روش آنالیز رگرسیون خطی چندمتغیره مورد مقایسه قرار گرفت.آزمایش‌هایی روی تیغه خاک‌ورز در خاکی با بافت لومی- رسی با محتوای رطوبتی ۱۳/۲۳٪ و در عمق‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر انجام شد.اصول مدلسازی فازی بر اساس روش سوگنو به منظور پیش بینی تغییرات نیروی کشش نسبت به عرض و عمق کاری تیغه خاک‌ورز استفاده شد. در داده های آموزش مقادیر ضریب تعیین و خطای نسبی در روش مبتنی بر منطق فازی به ترتیب ۰/۹۷۰ و ٪ ٦/۲۷٤ و در روش آنالیز رگرسیون خطی به ترتیب ۰/۹۵۸ و ٪ ۸/۰۸۳ بدست آمد. این در حالی است که در داده های آزمایش مقادیر ضریب ضریب تعیین و خطای نسبی در روش مبتنی بر منطق فازی به ترتیب ۰/۹۸۱ و ٪ ۵/٦۹ و در روش آنالیز رگرسیون خطی به ترتیب ۰/۹۷۵ و ٪ ٦/۷٦ بدست آمد.

کلیدواژه ها: سامانه استنتاج فازی، رگرسیون خطی چندمتغیره، تیغه خاک‌ورز بالدار، نیروی کشش

مقدمه

همانگونه که ادوات خاک‌ورزی بیش از پیش در حال توسعه هستند، تیغه های بالدار به دلیل مزایای نسبی در مقایسه با ادوات خاک‌ورزی مرسوم نظیر گاوآهن برگرداندار، نقشی فزاینده را در طراحی آنها ایفا مـی کننـد.تحقیقـاتی روی عملکرد ماشین های مرکب توسط محققین مختلف صورت پذیرفته است که از جمله آنها می توان بـه ویـس اشـاره داشت. وی مشاهده کرد که ناخن نقش اصلی را در نیروی کششی مورد نیاز تیغه های بالدار ایفا می کنـد. ویـس در تحقیقات خود روی عملکرد یک نوع ماشین مرکب خاک‌ورزی و کاشت نتیجه گرفت که تیغه های بالدار مهمتـرین مصرف کننده انرژی در این ماشین‌ها هستند و افزایش خطی توان مصرفی تیغه ها رفتار کلی توان مصرفی کـل را در ماشین مرکب تعیین می کنند[Weise G,1997].

تاکنون روش‌های مختلفی برای پیش بینی نیروی لازم برای کشیدن ابزار خاک‌ورز و برش خـاک توسـعه یافتـه انـد. مدل‌های تحلیلی مختلفی برای آنالیز رابطه بین ابزار خاک‌ورز و خاک ارائه شده اند کـه بـر اسـاس روش بـه چهـار دسته تقسیم می‌شوند. مدل‌هایی که بر اساس

۱- گوه آزمایشی
۲- خصوصیات تنش
۳- مکانیک خاک در وضعیت بحرانی
٤- المان محدود

ارائه شده اند. روش گوه آزمایشی به دلیل سادگی بیشتر نسبت به سایر روش‌ها از محبوبیت بیشتری برخوردار است. از جمله مدل‌های ارائه شده در این روش می توان به مدل سوهن[Gill and Vanden Berg,1968]، مدل مک کایز[-Mckyes and Desir,1984] و مدل پرامپرال[Swick and Perumpral,1988] اشاره داشت که نسبت به سایر مدل-های ارائه شده در روش گوه آزمایشی در عین سادگی از دقت بیشتری برخوردار هستند. روش گوه آزمایش تاکنون توسط محققین مختلف توسعه یافته است. دیس‌بویلز و گادوین روشی نیمه تجربی را برای پیش بینی نیروی کشش ادوات خاک‌ورزی مشابه چیزل به کار گرفتند که دارای خطای متوسط ٪۱۰ بود[Desbiolles and Godwin,1996]. مانوا عملکرد تیغه های خاک‌ورزی را در یک آزمایشگاه دینامیک خاک مورد ارزیابی قرار داد و برای تشریح جنبه های خاص عملکرد تیغه ها از تئوری مکانیک خاک و مدل‌های مکانیکی تحلیلی بهره گرفت[Manuwa,2009].

امروزه فناوری های متنوع محاسبه نرم افزاری نظیر آمار،آموزش ماشین، شبکه عصبی و منطق فازی برای آنالیز داده ها مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجا که منطق فازی از انعطاف پذیری بالایی برخوردار بوده و قادر به تخمین مناسب مقادیر نامعلوم داده مدل شده است، می تواند به عنوان یک فرآیند جایگزین جهت پیش بینی نیروی وارد بر ادوات خاک‌ورزی مورد استفاده قرار گیرد.

در سال‌های اخیر هوش مصنوعی در حوزه های مختلفی از جمله کاربردهای کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. کارمان مدلی را بر اساس اصول مدل‌سازی فازی در روش ممدانی[1] جهت پیش بینی تغییرات فشردگی خاک ناشی از تردد تایرهای بادی ارائه کرد که خطای نسبی بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده معادل ٪۳/۳۵ برای مقاومت به نفوذ، ٪۷/۷٦ برای فشار نهایی و ٪۲/۹۸ برای وزن مخصوص خاک بدست آمد[Carman,2008]. ماراک اوقلو و کارمان از یک مدل مبتنی بر منطق فازی به روش ممدانی برای پیش بینی سست شدگی خاک و بازده کشش در خاک‌ورزی استفاده کردند، به نحوی که میزان خطای نسبی مقادیر پیش بینی شده برای تمام پارامترها کمتر از ٪۱۰ محاسبه گردید[Marakoglu,2009].

هدف از این تحقیق بررسی اثر عرض و عمق یک تیغه خاک ورز حفاظتی بالدار بر میزان نیروی کشش آن و ارائه یک مدل مبتنی بر منطق فازی برای پیش بینی نیروی کشش و مقایسه آن با روش آنالیز رگرسیون بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر عمق و عرض کار تیغه خاک‌ورز حفاظتی در نیروی کشش، دو تیغه بالدار به عرض های ٦٦۰ و ٤٤۰ میلی متر طراحی و ساخته شد. به منظور محاسبه نیروی کششی دو مدل تیغه ساخته شده از امکانات مخزن

[1] *Mamdani*

خاک (Soil bin) آزمایشگاه دینامیک خاک موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج استفاده شد. مخزن خاک از کانالی به طول ٢٤ متر، عرض١/٧ متر و عمق ١ متر، حاوی خاک لومی–رسی با محتوای رطوبتی ١٣/٢٣٪ ،یک سامانه اندازه گیری نیروی کششی نصب شده روی تراکتور و یک ماشین آماده کننده خاک جهت تهیه بستر مناسب به منظور انجام عملیات خاک‌ورزی تشکیل شده است. اندازه‌گیری نیروی کششی با یک مبدل نیروی هشت وجهی و سامانه جمع‌آوری داده انجام شد. سامانه جمع‌آوری داده قابلیت اندازه گیری و ثبت ٢٥ داده درهر ثانیه را دارد. سامانه اندازه گیری روی یک شاسی سوار شده که امکان اتصال این شاسی به اتصال سه نقطه تراکتور وجود دارد.

به منظور تهیه بستر خاک قبل از انجام هر آزمایش ابتدا خاک موجود تا عمق کار تیغه ها توسط ماشین آماده‌سازی کاملا برداشته شد و سپس توسط ماله و غلتک این ماشین تسطیح شده و تحکیم یافت. در ادامه خاک به ارتفاع ٥ سانتی متر روی بستر مسطح و تحکیم یافته پیشین ریخته شد و مجدداً عمل تسطیح و تحکیم توسط ماله و غلتک ماشین روی خاک ریخته شده صورت پذیرفت. پس از تهیه بستر شخم برای انجام آزمایش، هر یک از تیغه ها به مبدل نیروی دستگاه اندازه گیری نیروی کششی متصل شدند و توسط تراکتور تحت سرعت ثابت ٠/٤ متربرثانیه که از سوی دستگاه قابل کنترل وثبت بود، تحت کشش قرار گرفتند. این کار برای هر یک از تیغه ها درعمق های ١٠٠، ٢٠٠ و٣٠٠ میلی متر و هریک در سه تکرار انجام پذیرفت. برای انجام هر آزمایش در عمق های ١٠٠، ٢٠٠ و٣٠٠ میلی متر به ترتیب میزان جرم مخصوص ظاهری خاک ١/٣٩، ١/٤٦و ١/٤٧ گرم بر سانتی متر مکعب تامین شد. مقادیر نیروی کششی بدست آمده از هر آزمایش توسط سامانه جمع آوری داده ذخیره گردید تا امکان تجزیه و تحلیل آن فراهم شود. شکل (١) تیغه خاک‌ورز را تحت آزمون کشش نشان می‌دهد.

شکل ١- تیغه خاک‌ورز بالدار تحت تست کشش در مخزن خاک

به منظور مدل‌سازی نیروی کششی بر حسب عمق و عرض کاری از دو روش آنالیز رگرسیون خطی چند متغیره[1] و سامانه استنتاج فازی[2] بهره گرفته شد. قبل از اعمال هر یک از این روش‌ها، به صورت تصادفی دو سوم داده ها برای آموزش(داده های آموزش[3]) و و یک سوم باقیمانده برای آزمایش(داده های آزمایش[4]) اختصاص یافتند.

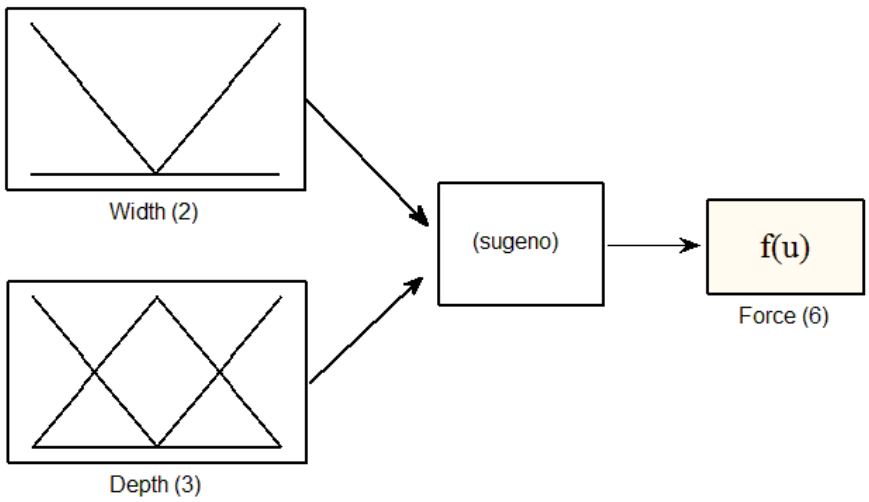
آنالیز رگرسیون: برای انجام تحلیل در این روش از نرم افزار *Matlab7.6* بهره گرفته شد. روی داده های آموزش یک مدل خطی مطابق رابطه(۱) برازش گردید:

$$H = a + bD + cW \qquad (۱)$$

که H نیروی کشش، Dعمق کار خاک‌ورز، W عرض کار خاک‌ورز و a،b،c ضرایب ثابت رابطه هستند.

ضرایب ثابت در این رابطه استخراج گردید تا نسبت به ارزیابی صحت برازش این رابطه به کمک داده های آزمایش اقدام گردد.

سامانه استنتاج فازی: در این سامانه که ساختار آن در شکل(۲) نشان داده شده است، ابتدا یک مدل خطی مرتبه اول سوگنو[5] بر اساس داده های آموزش استخراج گردید. بدین ترتیب برای ورودی‌های مدل که عبارت بودند از عرض و عمق کاری، از توابع عضویت[6] مثلثی استفاده شد.

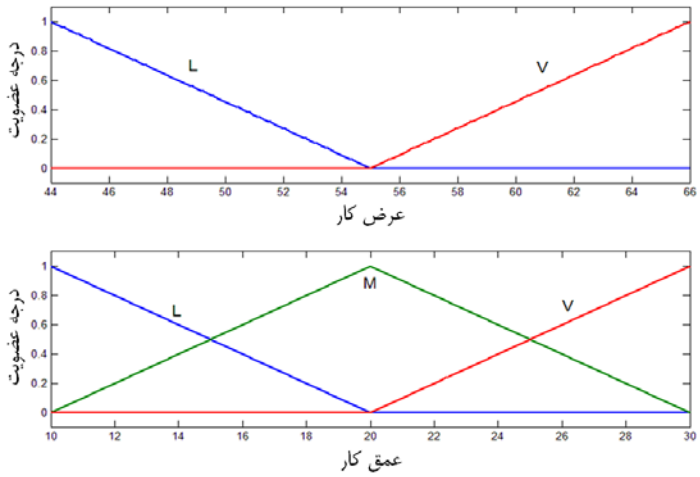


شکل ۲- ساختار مدل فازی استخراج شده در پیش بینی نیروی کشش بر اساس دو ورودی عرض و عمق کاری

برای ورودی عمق کاری سه تابع عضویت و برای ورودی عرض کار دو تابع عضویت در نظر گرفته شد (شکل(۳)).

---

[1] *Multiple linear regression analysis*
[2] *Fuzzy Inference System(F.I.S.)*
[3] *Train data*
[4] *Test data*
[5] *Sugeno*
[6] *Membership functions*



شکل ۳- توابع عضویت استخراج گردیده برای دو ورودی عرض و عمق کاری

برای ارتباط بین خروجی و ورودی ها قوانین فازی تعریف گردید که عبارتند از:

1. If (Width is L) and (Depth is L) then (Force is Very very Low)

2. If (Width is V) and (Depth is L) then (Force is Very Low)

3. If (Width is L) and (Depth is M) then (Force is Low)

4. If (Width is V) and (Depth is M) then (Force is Medium)

5. If (Width is L) and (Depth is V) then (Force is High)

6. If (Width is V) and (Depth is V) then (Force is Very High)

در جدول (۱) مشخصات و جزئیات سامانه استنتاج فازی مورد استفاده ارائه شده است:

جدول ۱- جزئیات سامانه استنتاج فازی

Type	*Sugeno*
andMethod	*prod*
orMethod	*probor*
defuzzMethod	*wtaver*
impMethod	*prod*
aggMethod	*sum*
input	*[1x2 struct]*
output	*[1x1 struct]*
rule	*[1x6 struct]*

خروجی حاصل از دو دوش با داده های آزمایش مقایسه شد که این کار با استفاده از چهار شاخص آماری ضریب تعیین[۱]، ریشه دوم میانگین مربعات خطا[۲]،ضریب همبستگی[۳] و خطای نسبی[۴] صورت پذیرفت.

[1] *Coefficient of determination*
[2] *Root Mean Square of Errors(RMSE)*
[3] *Correlation coefficient*
[4] *Relative error*

نتایج و بحث

میانگین و انحراف معیار حاصل از تکرارهای هر تیمار در جدول(۲) ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج بدست آمده از آزمایش های دو تیغه بالدار

تیغه	عمق کار(mm)	میانگین نیروی کششی(kN)	انحراف معیار(kN)
تیغه باریک	۱۰۰	۰/٤٥	۰/۱٤
	۲۰۰	۰/٥٤	۰/۱۲
	۳۰۰	۰/٦۷	۰/۱۳
تیغه عریض	۱۰۰	۱/۰۱	۰/۲٤
	۲۰۰	۱/۲۱	۰/۲۳
	۳۰۰	۱/٥۳	۰/۳

پس از انجام آزمایش ها به منظور بررسی اثر عوامل عرض و عمق کار تیغه در نیروی کششی مورد نیاز دو تیغه، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی(CRD) بهره گرفته شد. عوامل عرض تیغه و عمق کار به ترتیب در دو و سه سطح و هر یک در سه تکرار مورد ارزیابی و نیز تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که جدول تجزیه واریانس آزمون کشش دو تیغه در جدول(۳) ارائه شده است.

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس آزمون کشش تیغه های خاک‌ورز

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
تیمار	٥	۲/۹۰	۰/٥۸	۲٦/۱۲**
عمق	۱	۲/٤۱	۲/٤۱	۱۰۸/۱۷**
عرض	۲	۰/٤٤	۰/۲۲	۹/۹۲**
عمق×عرض	۲	۰/۰٦	۰/۰۳	۱/۳۰^{ns}
خطای آزمایش	۱۲	۰/۲۷	۰/۰۲	
کل	۱۷	۳/۱۷		

**: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

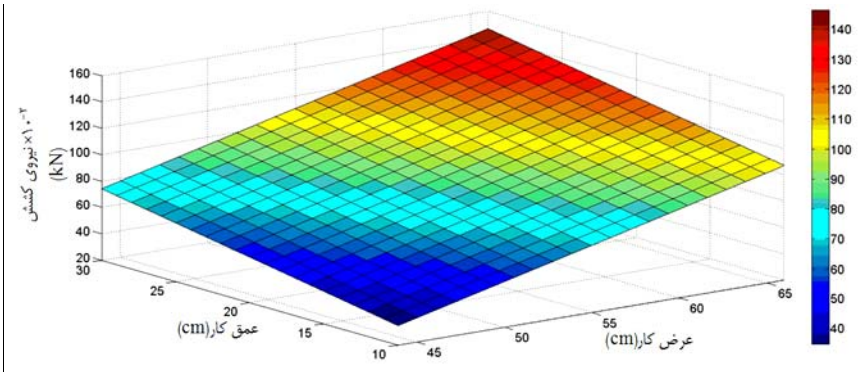
ns: بی معنی در سطح احتمال ٥ درصد

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول(۳) دیده می شود که عمق و عرض کار تیغه خاک‌ورز مورد آزمون اثر بسیار معنی‌داری(در سطح احتمال ۱ درصد) در میزان نیروی کششی وسیله خاک‌ورز دارد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که افزایش عمق یا عرض کار منجر به افزایش معنی‌داری در نیروی کششی خاک‌ورز مختلف گشته است. از آنجا که اثر متقابلی بین دو عامل عمق و عرش کار دیده نشد، می‌توان به این نتیجه دست یافت که تغییرات عرض کار اثر معنی داری در روند تغییرات نیروی کشش ناشی از عمق کار تیغه های خاک‌ورز نخواهد داشت.

رحمان و چن گزارش کردند که عمق کار ادوات خاک‌ورز نسبت به سرعت کار اثر محسوس تری در نیروی کششی آنها دارد[Rahman & Chen,2001]. مک کایز و ماسوار در تحقیقی بـر روی اثـر پارامترهـای طراحـی تیغـه هـای خاک‌ورزی تخت گزارش دادند که نیروی کششی مورد نیاز برای تیغه ها با عمق،عرض و زاویـه ابـزار افـزایش مـی یابد.آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که عموماً نسبت عمق به عرض(نسبت باریکی) بزرگتر درجه سسـت شـدگی خاک را افزایش می دهد[McKyes & Maswaure,1997]. اونی و همکاران در بررسی اثرات پارامترهـای طراحـی روی کشش تیغه های خاک‌ورز دارای باله مشاهده کردند که الگوی شکست خاک به مقدار قابل توجهی به عمق کار و هندسه ابزار وابسته است،در حالی که اثر سرعت پیشروی در این الگو چندان محسـوس بـه نظـر نمـی رسـد.آنهـا گزارش کردند که عمق خاک و زاویه ناخن اثرات معناداری روی کشش خاک‌ورز دارند. همچنین مشاهده کردند کـه داده های آزمایش یک افزایش غیرخطی در نیروی کششی نسبت به عمق کار را نشـان مـی دهـد[Oni et al,1992].
ژانگ و کوشواها گزارش کردند که مکانیزم هایی که نیروی کششی را به عمق کار مرتبط می سازند عبارتنـد از: اثـر اینرسی خاک،آهنگ تغییرات استحکام خاک و اثر انتشار موج گسیختگی در خاک[Zhang & Kushwaha,1999].
به منظور ارائه یک مدل جهت پیش بینی نیروی کشش تیغه خاک‌ورز بر اساس عمق و عرض کاری آن، رابطه(۲) با استفاده از آنالیز رگرسیون استخراج گردید.

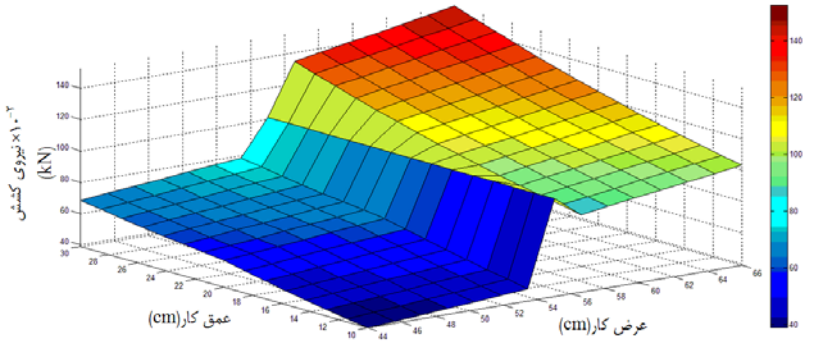
$$H = \left(۱۲۹ + ۱/۹۷D + ۳/۲۷W\right)۱۰^{-۲} \qquad (۲)$$

که H نیروی کشش بر حسب kN، D عمق کار بر حسب cm و W عرض کار بر حسب cm است. همچنین نمودار مدل برازش یافته بر اساس آنالیز رگرسیون خطی در شکل(٤) نشان داده شده است.



شکل ٤: نمودار مدل برازش شده از داده های آزمون بر اساس آنالیز رگرسیون خطی چند متغیره

از طرفی پیش بینی ارائه شده در سامانه استنتاج فازی در شکل(۵) نشان داده شده است.



شکل ۵: نمودار برازش شده از داده های آزمون بر اساس سامانه استنتاج فازی

از شکل‌های(۳) و (٤) می‌توان به راحتی دریافت که با افزایش هر یک از عوامل عمق و عرض کاری، بر میزان نیروی کشش مورد نیاز تیغه خاک‌ورز افزوده خواهد شد.از طرفی با اندکی دقت می‌توان به این نتیجه رسید که روند تغییرات نیروی کشش نسبت به هریک از عوامل عرض یا عمق کاری تقریبا خطی بوده و تغییرات هر یک از این عوامل در روند تغییرات خطی ناشی از عامل دیگر خدشه‌ای وارد نخواهد نمود که مطابق جدول(۳) می‌توان این موضوع را از عدم وجود اثر متقابل بین عمق و عرض کاری در تغییرات نیروی کشش نیز استنباط نمود.

در نمودار برازش شده از سامانه استنتاج فازی علیرغم یکسان بودن روند کلی تغییرات نیروی کشش نسبت به عوامل عمق و عرض کاری، با نمودار استخراج شده از آنالیز رگرسیون خطی، روند تغییرات نیروی کشش نسبت به عامل عرض کاری با شکستگی و غیریکنواختی همراه است. این امر را می‌توان در استخراج سامانه فازی بر اساس تعداد کم قوانین دنبال نمود که با افزایش تعداد سطوح هر یک از عوامل عرض و عمق کاری می‌توان از بروز غیر یکنواختی در مدل برازش یافته ممانعت به عمل آورد. عامل دیگری که می‌توان آن را در بروز شکستگی در مدل استخراج شده از سامانه استنتاج فازی موثر دانست، استفاده از تابع عضویت مثلثی(که تابعی دارای شکستگی است) برای عوامل ورودی و خروجی است. برای رفع این نقیصه نیز می‌توان از توابع عضویت نرم‌تر نظیر تابع گوسی بهره استفاده نمود.البته در این تحقیق از بین ۱۲ نوع تابع عضویت تابع مثلثی دارای بهترین برازش بود که این موضوع در تحقیقات محققین پیشین نظیر ماراک اوقلو نیز تایید شده است[Marakoglu,2009].

همانگونه که از جدول (٤) قابل استنباط است، در عمق ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی متر، تیغه باریک نسبت به تیغه عریض به ترتیب به ۰/٥٦، ۰/٦٧ و ۰/۸٦ کیلونیوتن نیروی کمتری جهت کشش نیاز داشته است. به عبارت دیگر می توان گفت علیرغم اینکه عرض کار تیغه باریک تنها به اندازه یک سوم عرض تیغه عریض کوچکتر شده است ، با این وجود نیروی کششی در آن به کمتر از نصف نیروی کششی تیغه عریض تقلیل یافته است. مطابق جدول (٤) اگر این دو تیغه در واحد خاک‌ورزی اولیه ماشین چندکاره مورد استفاده قرار گیرند تیغه باریک در عرض کار ۱/٥ متری ماشین در عمق های ۱۰۰ ، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی متر به ترتیب منجر به صرف ۰/٦٧، ۰/۸۰ و ۱/۰٥ کیلونیوتن نیروی کشش کمتری نسبت به تیغه عریض خواهد شد.

جدول ٤- مقایسه نیروی کششی دو تیغه در عرض کار ماشین چندکاره

تیغه	تعداد	عمق کار(mm)	میانگین کل نیروی کششی مورد نیاز	نیروی کششی مورد نیاز در واحد خاک‌ورزی

			برای هر تیغه(kN)	اولیه ماشین چندکاره(kN)
تیغه باریک	۳	۱۰۰	۰/٤٥	۱/۳٥
		۲۰۰	۰/٥٤	۱/٦۲
		۳۰۰	۰/٦۷	۲/۰۱
تیغه عریض	۲	۱۰۰	۱/۰۱	۲/۰۲
		۲۰۰	۱/۲۱	۲/٤۲
		۳۰۰	۱/٥۳	۳/۰٦

جهت ارزیابی دقت پیش بینی دو روش، خروجی های حاصل از آنها با مقادیر واقعی مقایسه گردید. برای این منظور از چهار شاخص آماری ضریب تعیین(R^2)، ریشه دوم میانگین مجموع مربعات خطا($RMSE$)،ضریب همبستگی(R) و درصد خطای نسبی($\varepsilon\%$) مطابق روابط زیر استفاده گردید.

$$\mathbf{Error} = \mathbf{y_p} - \mathbf{y_o} \quad (۳)$$

$$\mathbf{SSE} = \sum \mathbf{Error^2} = \sum \left(\mathbf{y_p} - \mathbf{y_o}\right)^2 \quad (٤)$$

$$\mathbf{SST} = \sum \left(\mathbf{y_o} - \overline{\mathbf{y_o}}\right)^2 \quad (٥)$$

$$\mathbf{SSP} = \sum \left(\mathbf{y_p} - \overline{\mathbf{y_p}}\right)^2 \quad (٦)$$

$$\mathbf{MST} = \frac{\mathbf{SST}}{\mathbf{n} - \mathbf{1}} \quad (۷)$$

$$\mathbf{MSE} = \frac{\mathbf{SSE}}{\mathbf{n} - \mathbf{p} - \mathbf{1}} \quad (۸)$$

$$\mathbf{R^2} = \mathbf{1} - \frac{\mathbf{SSE}}{\mathbf{SST}} \quad (۹)$$

$$\mathbf{R} = \frac{\sum \left(\mathbf{y_o} - \overline{\mathbf{y_o}}\right)\left(\mathbf{y_p} - \overline{\mathbf{y_p}}\right)}{\mathbf{SST}} \quad (۱۰)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{n}} \qquad (۱۱)$$

$$e\% = \frac{100}{n}\sum\left|\frac{Error}{y_o}\right| \qquad (۱۲)$$

نتایج ارزیابی دقت دو روش آنالیز رگرسیون خطی چند متغیره و سامانه استنتاج فازی برای داده های آزمون و آزمایش به ترتیب در جداول(۵) و (٦) ارائه شده است.

جدول ۵- شاخص‌های آماری داده های آموزش

ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R^2)	ریشه دوم میانگین مجموع مربعات خطا	خطای نسبی(٪)	روش تحلیل
۰/۹۷۹	۰/۹۵۸	۸/۱۵۷	۸/۰۸۳	رگرسیون خطی چند متغیره
۰/۹۸۵	۰/۹۷۰	٦/۹۱۰	۶/۲۷۴	سامانه استنتاج فازی

جدول ٦- شاخص‌های آماری داده های آزمایش

ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R^2)	ریشه دوم میانگین مجموع مربعات خطا	خطای نسبی(٪)	روش تحلیل
۰/۹۹۵	۰/۹۷۵	۶/۳۹	۶/۷۶	رگرسیون خطی چند متغیره
۰/۹۹۸	۰/۹۸۱	۵/۵	۵/۶۹	سامانه استنتاج فازی

با بررسی جداول(۵) و (٦) می‌توان به این نتیجه دست یافت که سامانه استنتاج فازی در پیش بینی نیروی کشش تیغه خاک‌ورز نسبت به روش آنالیز رگرسیون خطی چند متغیره از دقت و قابلیت بیشتری برخوردار است. دلیل این امر را می توان در انعطاف پذیری بیشتر سامانه استنتاج فازی دنبال نمود.

در پایان می توان گفت که در مقایسه با سایر مدل‌های پیش بینی (نظیر آنالیز رگرسیون کلاسیک)، مدل‌های فازی به دلیل سادگی در برقراری ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی و نیز انعطاف‌پذیری در پیش بینی، دارای مزایای بیشتری هستند. می‌توان سامانه فازی را با افزایش قوانین فازی از یک طرف و تلفیق ان با سایر تکنیک های هوش مصنوعی(از جمله شبکه عصبی) از سویی دیگر توسعه داد و از آن در فرآیندهای کنترلی مرتبط با کشاورزی نظیر کشاورزی دقیق، مکاترونیک و روباتیک در کشاورزی و غیره بهره جست.

منابع و مآخذ

1. Carman K. Prediction of soil compaction under pneumatic tires a using fuzzy logic approach. J Terramech 2008;45:103–8.
2. Desbiolles JMA, Godwin RJ. Draft force prediction of chisel-like primary tillage implements. Conference on engineering in agriculture and food processing, Paper No. SEAg 96/010; 1996.
3. Manuwa S.I., 2009, Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. Soil & Tillage Research, doi:10.1016/j.still.2008.12.004.
4. Marakoglu T, C arman K, ,Fuzzy knowledge-based model for prediction of soil loosening and draft efficiency in tillage, J Terramechanics (2009), doi:10.1016/j.jterra.2009.10.001
5. Mckyes, E., Desir, F.L., 1984. Prediction and field measurements of tillage tool draft and efficiency in cohesive soils. Soil Till. Res. 4, 459±470.
6. McKyes E.; J. Maswaure, 1997, Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil. Soil & Tillage Research, 195-204.
7. Oni K.C.; S.J. Clark; W.H. Johnson, 1992, The effects of design on the draught of undercutter-sweep tillage tools. Soil & Tillage Research, 22, 117-130.
8. Rahman S.; Y. Chen, 2001, Laboratory investigation of cutting forces and soil disturbance resulting from different manure incorporation tools in a loamy sand soil. Soil & Tillage Research,58, 19–29.
9. Gill, W.R., Vandern Berg, G.E., 1968. Soil dynamics in tillage and traction. Agriculture Handbook No. 316. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture (USDA). pp. 126±140.
10. Swick, W.C., Perumpral, J.V., 1988. A model for predicting soiltool interaction. J. Terramechanica 25(1), 43±56.
11. Weise G., 1997, The Application of Mohr-Coulomb Soil Mechanics to the Design of Winged Shares. Journal of Agricultural Engineering Research, 67 , 235 – 247.
12. Zhang Z.X.; R.L. Kushwaha,1999, Operating speed effect on the advancing soil failure zone in tillage operation. Canadian Agricultural Engineering 41 (2), 87–92.

Modeling of draft force of a winged share tillage tool using fuzzy inference system and multiple linear regression analysis

Abstract

A method based on fuzzy logic approach was conducted to predict the draft performance of a winged share tillage tool. To determine the accuracy of this method, we compared it with multiple linear regression analysis method. Experiments were carried out in a soil bin filled with clay loam soil with an average moisture content of 13.23% (dry basis) and soil bulk densities at depths of operation 100, 200 and 300 mm were measured to be 1.29, 1.46 and 1.47 g/cm3, respectively. Fuzzy modeling principles based on sugeno method were used to predict the draft force variations relative to the tillage tool width and working depth. In comparison to classical methods, fuzzy logic had the advantage of being more flexible to experiment data and was more accurate. At train data, the values of coefficient of determination and relative error were obtained to be 0.970 and 6.274%, respectively in fuzzy logic based method and 0.958 and 8.083%, respectively in regression analysis method. Also at test data, the values of coefficient of determination and relative error were obtained to be 0.981 and 5.69%, respectively in fuzzy logic based method and 0.975 and 6.76%, respectively in regression analysis method.

Keywords: Fuzzy inference system, multiple linear regressions, winged share tillage tool, draft force