

بررسی تحلیلی و عملی مقاومت کششی تیغه‌های چیزل با پوشش پلاستیکی

محمد برزگر تبریزی^۱ - سید جعفر هاشمی^{۲*} - رضا کریمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۷

چکیده

در این پژوهش، اثر پوشش‌دهی سطحی تیغه‌های باریک (مانند چیزل و شیار زن) بر مقاومت کششی به‌صورت تحلیلی و عملی مورد بررسی قرار گرفته است. این پوشش‌دهی توسط نوعی پلاستیک نچسب و کم اصطکاک در برابر خاک به نام پلی‌اتیلن فوق سنگین صورت گرفت. لایه‌ای از این پلاستیک بر روی سطح تیغه‌های چیزل پوشش داده شد. برای مقایسه، تیغه‌هایی با همان ابعاد و شکل از جنس فولاد ساخته شدند. مقاومت کششی تیغه‌های پوشش داده شده با پلاستیک و تیغه‌های فلزی که به‌طور جداگانه روی یک میل‌افزار چیزل ۴ خیشه نصب شده بودند در مزرعه تعیین گردید. در قسمت تحلیلی پژوهش از مدل مک‌کیز-علی برای پیش‌بینی اثر اصلاح سطح بر مقاومت کششی استفاده شد. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده از آزمون مزرعه‌ای با نتایج تخمین مقاومت کششی توسط مدل تحلیلی باهم مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مطابق آزمون مقاومت کششی در مزرعه تیغه‌های پوشش داده‌شده با پلی‌اتیلن توانستند تا ۲۷٪ مقدار مقاومت کششی را بهبود بخشند. مدل مک‌کیز-علی مقاومت کششی هرکدام از تیغه‌ها را با دقت ۹۰٪ پیش‌بینی نمود. همچنین طبق این مدل مقدار بهبود مقاومت کششی تیغه‌های پوشش داده‌شده با پلی‌اتیلن ۱۳٪ تخمین زده شد. هرچند مدل مک‌کیز-علی توانست مقاومت کششی را با دقت مطلوبی پیش‌بینی کند اما مقدار کاهش در مقاومت کششی هنگام استفاده از تیغه پوشش داده‌شده با پلاستیک به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده بود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح سطح، پلی‌اتیلن، خاک‌ورزی، مقاومت کششی

مقدمه

تاکنون روش‌های زیادی به‌عنوان راه‌حل‌های احتمالی کاهش چسبناکی و اصطکاک بین تیغه و خاک معرفی شده‌اند. روش‌هایی همانند ایجاد ارتعاش، گرما دادن، روان کاری با مایعات، روش‌های مکانیکی و پوشش دادن سطوح با استفاده از مواد با جنس نچسب و دارای اصطکاک کم در مقابل خاک را می‌توان نام برد (Wang *et al.*, 1998; Nichols, 1931; Chen *et al.*, 1990; Salokhe and Soni., 2005). در این میان روش پوشش دادن سطوح یا اصلاح سطح با استفاده از مواد مختلف مورد توجه بسیاری از محققین بوده است. در پژوهشی گاوآهن برگردان‌دار به‌منظور کاهش مقاومت کششی با تفلون پوشش داده شد و نیروی کششی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Ren *et al.*, 1990). در پژوهشی دیگر، صفحه برگردان یک گاوآهن برگردان‌دار با ماده‌ای از جنس تفلون پوشش داده شد و مقاومت کششی تا ۲۵٪ کاهش یافت (Chen *et al.*, 1990). آن‌ها در گزارش خود اصطکاک بین تفلون و خاک را ۵۰٪ کمتر از اصطکاک بین فولاد ۴۵ و خاک معرفی کردند. در تحقیقی با الهام از شکل پوست نوعی جانور خاکی و استفاده از پلی‌اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا (UHMW-PE^۴) به‌عنوان ماده‌ای با خصوصیات

چسبناکی و اصطکاک بین تیغه و خاک به‌عنوان شاخصی مهم در عملیات خاک‌ورزی شناخته می‌شود. مطابق تخمین‌های صورت گرفته، انرژی موردنیاز برای غلبه بر چسبناکی و اصطکاک مابین تیغه‌های خاک‌ورز و خاک در حدود ۳۰٪ تا ۵۰٪ کل انرژی موردنیاز برای آماده‌سازی بستر کشت است (Qian and Zhang, 1984). سامانه‌ای برای خاک‌ورزی مناسب است که با حداقل انرژی مصرفی حداکثر کارایی را داشته باشد (Singh and Singh, 1986). چسبناکی از کیفیت خاک‌ورزی کاسته و در موارد شدیدتر در حرکت ادوات کشاورزی اختلال ایجاد می‌کند (Qaisrani, 1987). همچنین چسبناکی خاک به ابزار کاشت همانند شیار بازکن‌ها و پوشاننده سطح بذر به‌طور معنی‌داری از قدرت جوانه‌زنی بذر می‌کاهد (Khan *et al.*,

۱ و ۲- به‌ترتیب کارشناس ارشد و دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- کارشناسی ارشد پلیمر، دپارتمان شیمی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

*- نویسنده مسئول: (Email: j.hashemi@sanru.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v7i2.53445

۴- Ultra high molecular weight poly ethylene

اصلاح سطح تیغه چیزل توسط مواد مختلف، مقدار تخمینی مقاومت کششی با مقدار اندازه‌گیری شده واقعی در مزرعه مورد مقایسه قرار گرفت.

هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر اصلاح سطح تیغه‌های باریک (چیزل) توسط پوششی از پلی‌اتیلن فوق سنگین بر مقاومت کششی است. هدف جانبی این پژوهش بررسی دقت مدل مک کیز-علی در تخمین مقدار کاهش مقاومت کششی در صورت اصلاح سطح تیغه‌های باریک توسط پوششی از مواد مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تخمین مقاومت کششی با استفاده از مدل ابزار باریک مک

کیز-علی

از مدل مک کیز-علی (McKyes and Ali, 1977) برای تخمین مقاومت کششی استفاده شد. در این مدل پارامتر سرعت پیشروی تیغه وارد نشده است. با اضافه کردن پارامتر سرعت پیشنهادی آنوالو و واتس (Onwualu and Watts, 1998) به معادله عمومی مکانیک خاک که نخستین بار توسط ریس ارائه شد، می‌توان مقاومت کششی که تابع پارامترهای مختلفی است را به صورت رابطه (۱) بیان کرد (Reece, 1965):

$$P = (\gamma d^2 N_\gamma + cdN_c + c_a dN_{ca} + qdN_q + \gamma v^2 dN_a) w \quad (1)$$

که در آن P نیروی مجموع برحسب kN ، وزن مخصوص خاک برحسب $kN m^{-3}$ ، d عمق کاربرد حسب m ، N ضریب جاذبه، c مقدار چسبناکی داخلی خاک برحسب kPa ، N_c ضریب چسبناکی داخلی خاک، C_c چسبناکی خاک به ابزار برحسب kPa ، N_{ca} ضریب چسبناکی، q سربار وارد بر سطح خاک برحسب kPa ، N_q ضریب سربار وارد بر سطح و w عرض کار تیغه برحسب m ، v سرعت پیشروی برحسب $m s^{-1}$ و N_a ضریب اینرسی می‌باشد که توسط آنوالو و واتس محاسبه شده است (Onwualu and Watts, 1998). ضرایب بی‌بعد (N ، N_c ، N_{ca} ، N_q ، N_a) توسط الگوی هندسی شکست خاک (شکل ۱) که توسط مک کیز و علی ارائه شد محاسبه می‌شوند (McKyes and Ali, 1977).

پارامترهای هندسی شکل ۱ عبارتند از: r فاصله بین تیغه تا صفحه شکست مقابل، بر حسب m ، s عرض کمان جانبی بر حسب m ، مقدار عمق شخم برحسب متر زاویه نفوذ تیغه برحسب درجه، w عرض کار تیغه برحسب m و زاویه گسیختگی برحسب درجه. رابطه برآیند نیروی وارد شده به تیغه به صورت رابطه (۲) بیان شده است (Zhang and Kushwaha, 1995).

چسبناکی و اصطکاک پایین با خاک، سطح گاوآهن برگردان‌دار را با ردیف‌هایی از کره‌های ساخته شده از جنس پلاستیک UHMW-PE پوشش دادند. نتیجه این اصلاح سطح کاهش ۳۶ درصد مقاومت کششی گاوآهن در خاک چسبیده بود (Soni et al., 2007).

از UHMW-PE به دلیل داشتن خواصی همچون ضد خوردگی، آب‌گریزی، چسبناکی پایین، خود تمیز شونده و مقاومت بالاتر در مقابل ضربه در مقایسه با فولاد کربن‌دار، فولاد ضدزنگ و برنز در صنایعی همچون کشاورزی، انتقال دارو، تولید سرامیک و زغال به‌طور وسیعی استفاده شده است (Qian and Zhang, 1984).

ضریب اصطکاک UHMW-PE، از تمامی پلیمرها به‌غیر از تفلون کمتر بوده و مقاومت آن در برابر سایش در محیط خاک و شن و ماسه مرطوب به‌طور معنی‌داری بالاتر از استیل کربن‌دار، استیل ضدزنگ، برنز، سرامیک، پوشش لعابی و تمام پلیمرها است (Ma, 2002; Tong et al., 1994; Tong et al., 1999).

روابط نظری متعددی برای بررسی مقدار عددی مقاومت کششی یک تیغه در خاک توسط دانشمندان ارائه شده است. (Kushwaha et al., 1993)

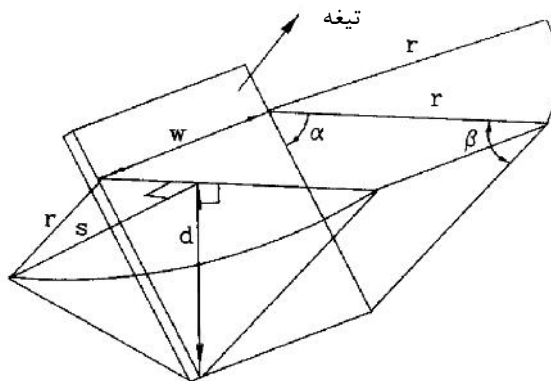
پیش‌بینی دقیق مقدار مقاومت کششی هم برای کشاورزان و هم برای طراحان صنعتی اهمیت ویژه‌ای دارد (Desbiolles et al., 1997). از این‌رو، روش‌های عددی و تحلیلی متعددی برای دستیابی به این مهم ارائه شده است. مقدار مقاومت کششی به شرایط فیزیکی خاک، پارامترهای طراحی ابزار و شرایط محیطی وابسته است (Zhang and Kushwaha, 1995). با در نظر گرفتن خاک به‌عنوان محیط همگن و یکنواخت، شرایط خاک ثابت در نظر گرفته می‌شود لیکن پارامترهای طراحی تیغه و شرایط محیطی کاربر مقدار مقاومت کششی بسیار تأثیرگذار است (Godwin and O'Dogherty, 2007).

روش‌های عددی متعددی برای مدل‌سازی جابه‌جایی خاک توسط تیغه و مقاومت کششی مورد نیاز برای این جابه‌جایی معرفی شده است که از میان آن‌ها استفاده از روش مک کیز و علی به دلیل سادگی و دقت بالا بسیار مرسوم می‌باشد (Zhang and Kushwaha, 1995).

تاکنون در زمینه استفاده از پلیمرها در سطح تیغه گاوآهن چیزل جهت کاهش مقاومت کششی تحقیقات گسترده‌ای صورت نگرفته است که این می‌تواند به دلیل ضعف مکانیکی آن‌ها در برابر سایش و یا دیگر تنش‌های اعمالی (برشی، خمشی و غیره) بر بستر (بالک) پلیمر باشد.

در این پژوهش با هدف کاهش چسبناکی و اصطکاک بین تیغه و خاک، پوششی ضخیمی از جنس پلاستیک UHMW-PE بر روی نوعی چیزل اعمال گردید. اثر این اصلاح سطح در مقاومت کششی با به‌کارگیری این تیغه‌ها در مزرعه مورد آزمون قرار گرفت. همچنین جهت سنجش دقت رابطه تحلیلی مورد استفاده برای پیش‌بینی اثر

$$P = \left[\frac{1}{2} \gamma r \left(1 + \frac{2s}{3w} \right) + c \left(1 + \frac{s}{w} \right) \frac{\cos(\phi)}{\sin(\beta_r) \sin(\beta_r + \phi)} - c_u \frac{\cos(\alpha + \beta_r + \phi)}{\sin(\beta) \sin(\beta_r + \phi)} + q \left(1 + \frac{s}{w} \right) \frac{r}{d} + \gamma v^2 \left(1 + \frac{s}{w} \right) \right] \times \left(\tan(\alpha) + \frac{\cot(\beta_r + \phi)}{\tan(\beta_r) \cot(\alpha)} \right) \frac{dw}{\cos(\alpha + \delta) + \sin(\alpha + \delta) \cot(\beta_r + \phi)} \quad (2)$$



شکل ۱- الگوی هندسی برش خاک (McKyes and Ali, 1977)

Fig. 1. Soil cutting geometrical pattern (McKyes and Ali, 1977)

آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی و تعیین دیگر پارامترهای مدل مک‌کیز- علی

خاک مورد آزمون در این آزمایش‌ها خاک مزرعه تحقیقاتی برنج واقع در دانشگاه علوم کشاورزی ساری بود. سنجش رطوبت خاک با قرار دادن ۳ نمونه از آن در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. آزمون بافت خاک در آزمایشگاه فیزیک و شیمی خاک دانشگاه علوم کشاورزی ساری انجام شد. خواص مکانیکی خاک و سطح مشترک با هدف تعیین چسبناکی و اصطکاک خاک با تیغه‌های فلزی و پلاستیکی تحت استاندارد ASTM-a5321 سنجیده شد (شکل ۲) (ASTM, 2002). آزمون مقاومت مکانیکی خاک به منظور اندازه‌گیری چسبناکی C و اصطکاک داخلی φ خاک تحت استاندارد ASTM-a3080 انجام شد (ASTM, 1994). هر دو آزمون‌های خواص مکانیکی خارجی خاک و خواص مکانیکی داخلی خاک (پارامترهای مقاومت مکانیکی) توسط دستگاه برش مستقیم وایکهام^۳ ساخت انگلستان واقع در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه صنعتی امیرکبیر صورت گرفت (شکل ۲). زاویه وارد شده در رابطه مک‌کیز - علی عبارت است از زاویه نفوذ تیغه در خاک که با تراز کردن شاسی گاواهن روی تراکتور اندازه‌گیری شد.

یا همان زاویه‌ی گسیختگی نامعلوم بوده و تابعی از تمام پارامترهای استفاده شده در رابطه (۲) می‌باشد (Zhang and Kushwaha, 1995) طبق نظریه‌ی فشار غیر فعال زمین^۱، شکست خاک در زاویه‌ای رخ می‌دهد که مقدار نیروی وارد بر تیغه نفوذ حداقل باشد. در صورتی که مشتق رابطه (۲) نسبت به برابر با صفر شود یا به عبارتی مشخص شود که به ازای چه مقداری از مقدار نیرو حداقل می‌شود، می‌توان این زاویه را محاسبه نمود (Zhang and Kushwaha, 1995). مؤلفه‌های افقی P_h (مقاومت کششی) و عمودی P_v نیرو به ترتیب از طریق روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌شوند.

$$P_H = P \sin(\alpha + \delta) + c_a dw \cot(\alpha) \quad (3)$$

$$P_v = P \cos(\alpha + \delta) - c_a dw \quad (4)$$

استفاده از نرم‌افزار متلب برای تخمین مقاومت کششی

برای تخمین مقاومت کششی توسط مدل مک‌کیز- علی از نرم‌افزار متلب^۲ (نسخه ۲۰۱۵) استفاده شد. برنامه محاسبه نیرو در محیط اسکریپت نرم‌افزار متلب نوشته شد. از آنجایی که محاسبه این مشتق مشکل است، نرم‌افزار کامپیوتری متلب مقدار P را بر اساس یک طیف از محاسبه کرد. با بهینه‌سازی P بر اساس حداقل نیرو، زاویه به دست آمد.

۱- Passive earth pressure theory

۲- Matlab

۳- Matlab

۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵ کیلو پاسکال گزارش شده است. در این پژوهش با توجه به شباهت عمق کار (۲۰ cm) با پژوهش انجام گرفته توسط النخیر و همکاران از مقدار ۰/۰۰۲ kPa پیشنهادی آن‌ها استفاده شده است (Al-Kheer et al., 2011). شاخص‌های استفاده شده در مدل مک‌کیز- علی در جدول ۱ آورده شده است. طبق نتایج آزمون بافت خاک، درصد رس، سیلت و شن خاک مزرعه به ترتیب ۴۹، ۱۳ و ۳۳ بوده است و مطابق مثلث بافت خاک، این خاک از نوع رسی است.

در ضمن آزمایش، رطوبت نمونه‌های خاک هم به اندازه رطوبت خاک در آزمون مزرعه‌ای (۱۰/۵٪ جرمی بر پایه خشک) رسانده شد تا داده‌های واقعی از پارامترهای مکانیکی خاک و سطح تیغه‌ها به دست آید. مقدار چگالی خاک توسط ظرف اندازه‌گیری نمونه یک لیتری از خاک مزرعه قبل از عملیات با ۳ مرتبه تکرار به دست آمده آمد. سر بار وارد بر سطح (q) عبارت است از اختلاف فشار هوا در پایین و بالای قطعه برش خورده خاک که در پژوهش‌های قبلی بین

جدول ۱- شاخص‌های وارد شده در مدل مک‌کیز- علی

Table 1- Parameters used in McKyes-Ali Model

شاخص Property	علامت Sign	واحد Unit	UHMW-PE	Steel
شاخص Property	C	kPa	34	34
چسبناکی داخلی خاک Soil cohesion	Cc	kPa	16	18
چسبناکی خاک و ابزار** Soil-Tool adhesion*	γ	gr cm ⁻³	1.17	1.17
وزن مخصوص Specific gravity	δ	degree	19.7	23.7
اصطکاک خاک و ابزار** *Tool friction-Soil	ϕ	degree	31	31
اصطکاک داخلی Internal FrictionI	Q	kPa	0.0002	0.0002
اضافه بار وارد بر سطح Surcharge Pressure	W	m	0.09	0.09
عرض تیغه* *Tool width	D	m	0.2	0.2
عمق کار* *Depth		degree	48	48
زاویه حمله ابزار* *Rake angle of the tool	V	km h ⁻¹	3.5	5.5
سرعت ۱* *Speed I	V	km h ⁻¹	3.5	5.5

* مربوط به پارامترهای هندسی تیغه و تنظیمات میل افزار چیزل هنگام انجام آزمون مزرعه‌ای

** این شاخص‌ها بین پلاستیک و فولاد متفاوت بودند

*Related to the geometric parameters of tine and plough adjustments

** These parameters were different between the Plastic and the Steel tools

ساخت تیغه‌های خاک‌ورزی پر کاربرد است ساخته شد. جهت مقایسه تعداد ۴ عدد تیغه از جنس سطح پلاستیک UHMW-PE با همان ابعاد روی اسکلت فولادی ساخته شد (شکل ۳). مطابق شکل ۳،

آماده‌سازی تیغه‌ها

تعداد ۴ عدد تیغه چیزل قلمی با ابعاد مناسب برای شخم به عرض ۲۵ و عمق ۲۰ سانتی‌متر از جنس فولاد ASTM 210 که در

پلاستیک UHMW-PE به صورت جداگانه روی یک میل‌افزار چیزل نصب گردید. پس از آزمایش نمونه‌های فلزی، نمونه‌های پلاستیکی جایگزین شده و مورد آزمون مقاومت کششی بر اساس مقدار کشش تراکتور در مزرعه قرار گرفتند. برای آزمون مزرعه‌ای از روش کشش تراکتور استفاده شد. تیمارهای مورد مطالعه در این آزمون سرعت پیشروی (محدوده‌های ۳/۵ و ۵/۵ کیلومتر بر ساعت) و نوع جنس سطح تیغه (فلز و پلی‌اتیلن UHMW-PE) بودند.

در این روش از یک تراکتور فرگوسن ۲۸۵ و تایرهای 18.4/15-30 با آج ۴۶ میلی‌متری به‌عنوان کشنده استفاده شد و میل‌افزار چیزل از طریق اتصال سه نقطه بر روی یک تراکتور رومانی نصب شد. این دو تراکتور به‌واسطه یک نیروسنج ۵ تنی مگاسل^۴ (ساخت چین) و ثبات داده امنی اینتسترومنت^۵ (ساخت انگلستان) و سیم بکسل (به‌عنوان منتقل‌کننده نیروی کششی) به یکدیگر متصل شدند.

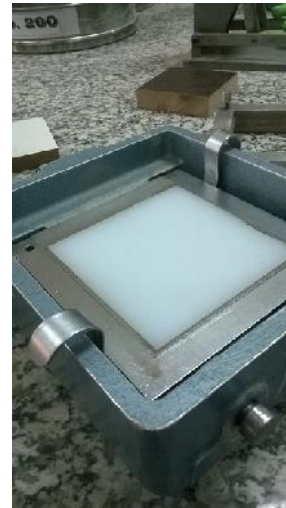
خاک مزرعه قبل از انجام آزمون یک‌بار توسط گاواهن برگردان‌دار شخم‌خورده و توسط دیسک تسطیح شده بود تا فاقد کلوخه با قطر بیش از ۵ سانتی‌متر باشد. آزمون در زمینی به طول ۴۵ متر و با ۳ تکرار برای هر تیمار در نوارهایی به عرض ۳ متر صورت گرفت.

میانگین مقاومت کششی به‌دست‌آمده از ۳ مرتبه عبور، درصد لغزش چرخ و سرعت میانگین در این آزمون به ثبت رسید. زمینی مسطح انتخاب و ۴۵ متر از طول آن علامت‌گذاری شد. آزمایش‌ها همگی در یک روز انجام شدند تا اثر دما بر تغییر میزان رطوبت خاک محسوس نباشد. ابتدا تیغه‌های فلزی بر روی میل‌افزار چیزل چهارخیشه سوار شدند و زاویه نفوذ آن‌ها در عمق ۲۰ سانتی‌متری با رعایت تراز بودن شاسی گاواهن ۴۸ درجه اندازه‌گیری شد.

سرعت‌های مورد مطالعه، سرعت در دور حدی گاورنر در دنده‌های ۳ و ۴ انتخاب شد. مقدار مقاومت کششی اتلافی با اندازه‌گیری مقاومت کششی درحالی‌که گاواهن خارج از خاک است اندازه‌گیری شد. درصد لغزش چرخ تراکتور پیشرو با روش شمارش تعداد دور چرخ اندازه‌گیری و در ادامه با استفاده از این داده‌ها مقادیر خالص نیرو و لغزش چرخ اندازه‌گیری شد. شاخص مخروطی زمین با استفاده از یک فروسنج مخروطی دستی شرکت ایندیامارت^۶ (ساخت هندوستان) به‌دست آمد.

مقایسه میانگین حسابی مقادیر مقاومت کششی، بررسی سطوح معنی‌داری بر اساس روش آزمون تی-استیودنت مستقل^۷ توسط نرم‌افزار اس پی اس اس^۸ نسخه ۲۰۱۰ صورت گرفت. سنجش مقاومت کششی در سه تکرار انجام و در مجموع ۱۲۰ داده مورد

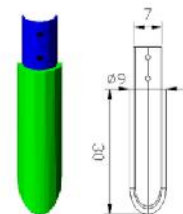
لایه‌ای به ضخامت ۱ سانتی‌متر از جنس پلاستیک UHMW-PE روی نیم لوله‌ای از جنس فولاد به مقطع دایره‌ای با اتصال پیچ خودکار از داخل متصل شده است. نوک تیغه‌ها با زاویه‌ی ۵۰ درجه برش خورد تا عمل نفوذ به خاک در آن‌ها تسهیل شود.



شکل ۲- قطعه پلی‌اتیلن فوق سنگین قرار گرفته در قاب پایینی

دستگاه برش مستقیم به‌منظور سنجش اصطکاک با خاک

Fig.2. Polyethylene sheet placed at the bottom of direct shear apparatus for soil-tool friction test



شکل ۳- تیغه باریک طراحی شده با پوشش پلاستیکی (ابعاد به

cm)

Fig. 3. The plastic coated narrow tine (Dimensions in cm)

شکل هندسی این تیغه‌ها در محدوده نفوذشان در خاک کاملاً یکسان است. لایه‌ی پلاستیکی با خطای ۱۰ میکرومتر ماشین‌کاری شده است. تیغه فولادی به‌صورت لوله‌ای شکل و فرآیند تزریق در کارخانه تولید شده و دارای زبری سطحی در حد ۵ میکرومتر (از خط مبدأ) است.

آزمون مزرعه‌ای

۴ نمونه تیغه فلزی به‌عنوان شاهد و ۴ نمونه تیغه با پوشش سطح

۴- Megacell

۵- Omni Instrument

۶- Indiamart

۷- Independent two tailed student t-test

۸- SPSS

بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

تخمین مقاومت کششی

مقادیر تخمین زده شده مقاومت کششی در جدول ۲ ارائه گردید. مطابق این جدول و بر اساس مدل مک‌کیز - علی و محاسبات تحلیلی مقدار مقاومت کششی برای تیغه فولادی حدود ۱۳٪ بیشتر از تیغه پلاستیکی به دست آمد. همچنین زاویه شکست خاک () در تیغه فولادی حدود ۵۰ درجه و در تیغه پلاستیکی حدود ۴۷ درجه تخمین

زده شد. زاویه شکست خاک بین دو تیغه متفاوت به دست آمده بنابراین از آن جایی که تنها پارامترهای مورد مطالعه و تغییر یافته چسبناکی و اصطکاک هستند که بین دو تیغه متفاوت هستند می‌توان گفت زاویه شکست خاک تابعی از مقدار چسبناکی و اصطکاک بین تیغه و خاک است. بر طبق مدل مک‌کیز - علی افزایش سرعت از ۳/۵ به ۵/۵ km h^{-1} تأثیر معنی‌داری بر مقاومت کششی تخمین زده شده نداشت که این می‌تواند نشان از خطای مدل به کار گرفته شده در تخمین اثر سرعت بر نیروی کششی باشد.

جدول ۲- مقادیر تخمین زده شده مقاومت کششی بر اساس مدل مک‌کیز - علی

Table 2- Predicted draft forces according to McKyes-Ali Model

جنس سطح تیغه Tine surface	نیروی کششی N Draft Force @ 3.5 km h ⁻¹	نیروی کششی N Draft Force @ 5.5 km h ⁻¹	°
پلاستیک UHMW-PE UHMW-PE Plastic	6070.03	6070.07	47.26
فولاد Steel	7050.10	7050.08	49.91

مقدار ۹۵ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده از آزمون مزرعه در جدول ۳ آورده شده است.

نتایج آزمون مزرعه‌ای

در ابتدا تراکم خاک در ۱۰ نقطه از زمین با استفاده از فروسنج دستی قابل حمل اندازه‌گیری شد و شاخص مخروطی (CI) میانگین

جدول ۳- نتایج آزمون کشش در مزرعه

Table 3- Farm draft test results

محدوده سرعت Speed limit	نوع تیغه Tine type	میانگین مقاومت کششی Draft mean value (N)	انحراف معیار مقاومت کششی Draft standard deviation	سرعت اندازه‌گیری شده Measured speed (km h ⁻¹)	لغزش Slip ratio (%)
3.5 km h ⁻¹	فلزی Steel	7390	102	3.85	9
	پوشش پلاستیکی Plastic coated	5450	82	3.89	5
5.5 km h ⁻¹	فلزی Steel	7750	71	5.54	13
	پوشش پلاستیکی Plastic coated	5640	75	5.58	9

دو محدوده سرعت، تیغه اصلاح شده با پوششی از پلاستیک به

بر طبق نتایج به دست آمده از میانگین مقاومت‌های کششی، در هر

احتمال می‌رود تغییر مقاومت کششی با تغییر سرعت از حدود $5/5 \text{ km h}^{-1}$ به $3/5 \text{ km h}^{-1}$ در محدوده خطای آزمون قرار گرفته و قابل بحث نباشد.

مطابق جدول ۳ مشاهده می‌شود که درصد لغزش چرخ در هر دو محدوده‌ی سرعت برای کشیدن تیغه‌های فلزی به مقدار ۴٪ بیشتر از لغزش چرخ هنگام کشیدن تیغه‌های پلاستیکی بوده است. دلیل این می‌تواند افزایش مقدار نیروی مورد نیاز برای کشیدن تیغه‌های فلزی باشد. مقدار درصد لغزش چرخ با محدوده سرعت رابطه مستقیم داشته است. حداقل لغزش در تیغه پلاستیکی در سرعت $3/5 \text{ km h}^{-1}$ و حداکثر لغزش برای تیغه فلزی در سرعت $5/5 \text{ km h}^{-1}$ به ثبت رسید.

بررسی درصد مطابقت نیروی تخمین زده شده و مقدار

واقعی اندازه‌گیری شده

مقایسه نتایج به دست آمده از پیش‌بینی رایانه‌ای و آزمون مزرعه‌ای در جدول ۴ آورده شده است. بر اساس جدول ۴ معادله مک‌کیز-علی توانسته است مقدار مقاومت کششی برای تیغه فلزی را با اختلاف ۹٪ پیش‌بینی کند. مقادیر تخمین زده شده برای مقاومت کششی تیغه فلزی کمتر از مقادیر واقعی در هر دو محدوده سرعت بوده‌اند لیکن در مورد تیغه پلاستیکی مقدار مقاومت کششی با حداقل دقت ۹۰٪ تخمین زده شد.

مقدار نیروی کمتری برای حرکت در خاک نیاز داشت. در محدوده سرعت $5/5 \text{ km h}^{-1}$ تیغه پلاستیکی ۲۶/۷٪ مقاومت کششی را بهبود داده است. همچنین در محدوده سرعت $5/5 \text{ km h}^{-1}$ بهبود مقاومت کششی به ۲۷/۱٪ رسید. با احتساب ۵٪ خطا در آزمون می‌توان گفت تیغه با پوشش پلاستیک مقاومت کششی را به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) کاهش داده است.

این کاهش در مقاومت کششی در تحقیقات انجام گرفته توسط سونی و همکاران (Soni et al., 2007) و قیسیرانی و همکاران (Qaisrani et al., 1993) در اصلاح سطح تیغه خاک‌ورزها با مواد نجسب و کم اصطکاک پلیمری مورد تأیید قرار گرفته است.

افزایش سرعت با افزایش اندکی مقاومت کششی همراه بود به طوری که مقاومت کششی تیغه پلاستیکی با ۳٪ افزایش از ۵۴۵۰ نیوتن به ۵۶۴۰ نیوتن رسید. در تیغه فلزی هم وضع به همین صورت بوده و مقدار مقاومت کششی از ۷۳۹۰ نیوتن با ۴٪ افزایش به ۷۷۵۰ نیوتن رسید. در صورتی که خطای آزمون ۵٪ در نظر گرفته شود می‌توان گفت افزایش سرعت از محدوده $3/5 \text{ km h}^{-1}$ (دنده ۳) به محدود $5/5 \text{ km h}^{-1}$ (دنده ۴) تأثیر معنی‌داری ($P < 0.05$) بر مقاومت کششی نگذاشت این در حالی است که مطابق نتایج تحقیقات چاندان و کوشواها (Chandon and Kushwaha, 2002) مقاومت کششی در گاواهن چپزل تابعی خطی از سرعت معرفی شده است و در واقع سرعت پیشروی اثر معنی‌داری بر مقدار نیروی کششی دارد. بنابراین

جدول ۴- مقایسه مقاومت کششی تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده (واقعی)

Table 4- Comparison of the predicted and the measured draft forces (real)

محدوده سرعت Speed limit (km h^{-1})	نوع تیغه Tine type	مقاومت کششی پیش‌بینی شده Predicted draft (N)	مقاومت کششی اندازه‌گیری شده Measured draft (N)	اختلاف نسبت به پیش‌بینی Differentiation from prediction (%)	بهبود مقاومت کششی (تخمین زده شده)* Improvement in draft (Predicted)* (%)	بهبود مقاومت کششی (اندازه‌گیری شده)* Improvement in draft (Measured)* (%)
3.5	پوشش پلاستیکی Plastic coated	6070.03	5450	-10	13	26.7
	فولاد Steel	7050.1	7390	+4		
5.5	پوشش پلاستیکی Plastic coated	6070.07	5640	-7	13	27.1
	فولاد Steel	7050.08	7750	+9		

* بهبود به معنی کاهش در مقدار مقاومت کششی در صورت استفاده از تیغه با پوشش پلی‌اتیلن فوق سنگین به جای فولاد است.

*Improvement term sets for reduction of draft force when using the UHMW-PE coated tine instead of the steel tine.

نتیجه‌گیری

طبق داده‌های به‌دست‌آمده از آزمون مزرعه‌ای، تیغه‌هایی که توسط پوشش پلاستیک پلی‌اتیلن پوشش داده شده بودند به‌طور معنی‌داری مقدار مقاومت کششی کمتری نسبت به نمونه‌های فولادی نیاز داشتند.

بر اساس آزمون مزرعه‌ای استفاده از پلاستیک UHMW-PE در سطح تیغه‌های مورد آزمون و در شرایط حاکم بر آزمایش (خاک، عمق و غیره) می‌تواند مقاومت کششی را به میزان معنی‌داری بهبود بخشد.

مدل مک‌کیز-علی اثر بهبود مقاومت کششی به‌واسطه اصلاح سطح تیغه فولادی توسط پلاستیک UHMW-PE را به‌طور معنی‌داری کمتر از آن‌چه اندازه‌گیری شد تخمین زد.

با توجه به مقایسه مقادیر تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده می‌توان گفت بررسی مقدار نیروی کششی به‌صورت اندازه‌گیری در مزرعه همچنان روش قابل اعتمادتری از تخمین به کمک رابطه مک‌کیز-علی است.

طبق نتایج تجربی و تحلیلی می‌توان گفت استفاده از پلاستیک UHMW-PE در سطح چیزل‌ها می‌تواند مقاومت کششی را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. کاهش مقاومت کششی ممکن است سبب کاهش انرژی مصرفی و افزایش بازده تولید شود.

ژانر و کوشاها هم خطای معادله مک-کیز علی را در محدوده ۱۴/۷٪ اندازه‌گیری کردند (Zhang and Kushwaha, 1995). اما در مورد تیغه پلاستیکی برعکس تیغه فلزی مقادیر تخمین مقاومت کششی در هر دو محدوده سرعت بیشتر از مقادیر واقعی بود. مقادیر واقعی بازه بیشتری از اختلاف مقاومت کششی برای تیغه‌های پلاستیکی و فلزی را نشان می‌دهند. مقدار درصد بهبود مقاومت کششی در صورت استفاده از تیغه پلاستیکی به‌جای تیغه فلزی حدود ۲۷٪ اندازه‌گیری شد درحالی‌که این مقدار بهبود ۱۳٪ معادل با نصف مقدار بهبود واقعی پیش‌بینی شده بود.

بر اساس مدل مک‌کیز-علی کاهش مقاومت کششی در صورت استفاده از جنس سطح پلاستیک UHMW-PE ۱۳٪ پیش‌بینی شد لیکن مقدار بهبود در مقاومت کششی در آزمون مزرعه‌ای نزدیک به ۲ برابر این مقدار بود. بنابراین می‌توان گفت با وجود این‌که کاهش در مقدار مقاومت کششی در صورت استفاده از پلاستیک UHMW-PE در سطح تیغه‌ها توسط رابطه مک‌کیز-علی پیش‌بینی شده است، آزمون مزرعه‌ای داده‌های دقیق‌تری از مقدار بهبود در اختیار محقق قرار می‌دهد.

References

1. Al-Kheer, A. A., M. G. Kharmanda, A. El Hami, and A. M. Mouazen. 2011. Estimating the variability of tillage forces on a chisel plough shank by modeling the variability of tillage system parameters. *Computers and electronics in agriculture* 78: 61-70.
2. ASTM, D., 2002. 5321. Standard test method for determining the coefficient of soil and geosynthetic or geosynthetic and geosynthetic friction by the direct shear method. In *American Society for Testing and Materials*.
3. ASTM, D., 1994. 3080-90: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. *Annual Book of ASTM Standards*, 4, pp.290-5.
4. Chandon, K., and R. Kushwaha. 2002. Soil forces on deep tillage tools. *The AIC 2002 Meeting CSAE/SCGR program Saskatoon, Saskatchewan*.
5. Chen, B., L. Ren, A. Li, and Q. Hu. 1990. Study on the method of collecting the body surface liquid of earthworms. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 6: 7.
6. Desbiolles, J., R. Godwin, J. Kilgour, and B. Blackmore. 1997. A novel approach to the prediction of tillage tool draught using a standard tine. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66: 295-309.
7. Godwin, R., and M. O'Dogherty. 2007. Integrated soil tillage force prediction models. *Journal of Terramechanics* 44: 3-14.
8. Khan, M. A., R. Qaisrani, and J. Q. LI. 2010. The Techniques of Reducing Adhesion and Scouring Soil by Bionic-Review of Literature. *Advances in Natural Science* 3 (2): 41-50.
9. Kushwaha, R. L., L. Chi, and J. Shen. 1993. Analytical and numerical models for predicting soil forces on narrow tillage tools. *Canadian Agricultural Engineering* 35 (3): 183.
10. Ma, Y. 2002. Biomimetic anti-wear UHMWPE matrix composites and their tribology of components

- of agricultural machinery. PhD Dissertation, China, Jilin University.
11. McKyes, E., and O. Ali. 1977. The cutting of soil by narrow blades. *Journal of Terramechanics* 14: 43-58.
 12. Nichols, M. 1931. The dynamic properties of soil II, Soil and metal friction. *Journal of Agricultural Engineering* 12: 321-324.
 13. Onwualu, A., and K. Watts. 1998. Draught and vertical forces obtained from dynamic soil cutting by plane tillage tools. *Soil and Tillage Research* 48: 239-253.
 14. Qaisrani, A. 1987. The effects of compaction on wheat yield in Pakistan. Master of Engineering Thesis.
 15. Qaisrani, A., J. Tong, L. Ren, and B. Chen. 1993. The effects of unsmoothed surfaces on soil adhesion and draft of bulldozing plates. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 9: 7-13.
 16. Qian, D., and J. Zhang. 1984. Research on adhesion and friction of soil against metallic materials. *Acta Agromechanica* 15: 70-78.
 17. Reece, A. 1965. The Fundamental Equation of Earth Moving Machinery. Proc. Symp. Earth Moving Machinery, Inst. of Mech. Eng. London.
 18. Ren, L., and D. Chen, and J. Hu. 1990. Initial analysis on the law of reducing adhesion of soil animals. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 6: 15-20.
 19. Salokhe, V., and P. Soni. 2005. Physics of soil-tool adhesion: a review of principles involved in reducing adhesive forces. Book review of current problems in agrophysics. Lublin, Poland: Institute of Agro physics PAS: 83-117.
 20. Singh, G., and D. Singh. 1986. Optimum energy model for tillage. *Soil and Tillage Research* 6: 235-245.
 21. Soni, P., V. Salokhe, and H. Nakashima. 2007. Modification of a mouldboard plough surface using arrays of polyethylene protuberances. *Journal of Terramechanics* 44: 411-422.
 22. Tong, J., L. Ren, B. Chen, and A. Qaisrani. 1994. Characteristics of adhesion between soil and solid surfaces. *Journal of Terramechanics* 31: 93-105.
 23. Tong, J., L. Ren, J. Yan, Y. Ma and B. Chen. 1999. Adhesion and abrasion of several materials against soil. *International Agricultural Engineering Journal* 8: 1.
 24. Wang, X., N. Ito, K. Kito, and P. Garcia. 1998. Study on use of vibration to reduce soil adhesion. *Journal of terramechanics* 35: 87-101.
 25. Zhang, J., and R. L. Kushwaha. 1995. A modified model to predict soil cutting resistance. *Soil & Tillage Res.* 34: 157-168.

Analytical and Experimental Draft Force Evaluation of Plastic Coated Chisel Tines

M. Barzegar Tabrizi¹- S. J. Hashemi^{2*}- R. Karimi³

Received: 30-01-2016

Accepted: 17-07-2016

Introduction

Improving the efficiency of all agricultural operations has always been important for farmers and engineers. It is well known that the force required for cutting a soil using narrow blades is a function of soil and environmental physical properties, tool shape geometry and the tool's surface characteristics like soil-tool adhesion and friction. Soil tool adhesion can reduce ploughing efficiency and quality. It may also halt the movement of tillage machines in more severe conditions. Adhesion can also disable some machine abilities, which can result in a significant reduction of machine performance. Adhesion of the soil to seed-bed preparation tools like furrowers can significantly affect the germination rate. Reducing soil tool adhesion of furrowers can reduce draft force and improve ploughing efficiency. Many researchers have worked on methods of reducing draft force by modifying the surface material and/or surface texture of the plough tools. A good prediction on draft force of a tool before producing it has always been important for farmers and engineers. There are some models for predicting the draft force of narrow blades in soil. McKyes-Ali's model is widely used because of its accuracy and simplicity. Ultra-high molecular weight polythene (UHMW-PE) is a polymer with ultra-high weight and long molecular chains and is well known for its outstanding physical and chemical properties and self-cleaning abilities, which reduce soil-tool adhesion. The aim of this study was to investigate usability of UHMW-PE coated furrower tines for draft force. Analytical and experimental investigations were carried out during the research. A comparison was conducted between the analytical and the experimental method. The results of this comparison can be used to determine reliability of the analytical model for predicting the draft force improvement caused by the surface modification on tines using different surface coatings.

Materials and Methods

Eight tines have been built. Four of them had a thick coating layer of UHMW-PE, and the other four were made of pure mild steel. Each set of the tines have been installed on a four shanked chisel plough chassis and then attached to a tractor. The draft force required for pulling the furrowers attached to the tractor has been measured by a simple load meter mechanism connecting two tractors. Draft force has been measured in two different speeds. Slip ratio of the tractor has been recorded. Each test has been repeated three times. McKyes-Ali's proposed model for evaluating the draft force of narrow blades has been chosen to predict draft force of the traditional steel furrower tines and the surface coated ones. To drive the model, a computer program has been coded in the script environment of Matlab software. The model required some of the mechanical properties of the soil and the tool to operate. Specific gravity, cohesion and internal friction angle of the soil have been measured by routine laboratory methods. Soil-tool adhesion and friction of the mild steel and the UHMW-PE plates have been measured using the direct shear apparatus.

Results and Discussions

MkKyes-Ali's model has predicted draft forces with an accuracy of 90%. According to the results of the driven model, applying a UHMW-PE coating layer to the surface of the tines can improve draft force by 13%. The change of tractor speed from 3.5 km h⁻¹ to 5.5 km h⁻¹ have no significant effect on the predicted draft forces. The model also predicted different angles of the soil failure zone for coated and uncoated tines. On the other hand, the improvement of the draft force for the UHMW-PE coated tine in the field test was about 27%. According to The results obtained from the field test, the draft force of the furrower tines had significant correlation with the speed.

1 and 2- Former M.Sc. Student and Associate Professor respectively, Department of Biosystem Engineering; Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Sari, Iran

3- M.Sc. in Polymer, Department of polymer engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: j.hashemi@sanru.ac.ir)

Conclusions

The UHMW-PE coated tines required significantly less draft force to work in compare with the steel tines. McKyes-Ali's model predicted a significant improvement (13%) in draft force for the UHMW-PE coated tines. According to the experimental results, the improvement of the draft force was about 27%, which was almost twice as predicted. Although the McKyes-Ali's model could predict an improvement for draft force of the UHMW-PE coated tine, but the actual improvement was about twice of the prediction. According to analytical and experimental results, applying a layer of UHMW-PE plastic on furrower tines can improve the draft force significantly.

Keywords: Draft force, Polyethylene, Surface modification, Tillage