بسمه تعالی

دانشگاه ارومیه

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

اندازه‌گیری و مدلسازی نیروی موردنیاز ادوات باریک خاکورز

اساتید راهنما:

دکتر سید محمدحسن کماریزاده

دکتر پرویز احمدی‌مقدم

پژوهشگر:

لعیا چراغی تیزخراب

بهمن ۱۳۹۰

حق طبع و نشر این رساله متعلق به دانشگاه ارومیه می‌باشد.

بسم رب الفاطمة

تقدیم به:

پدر و مادر بی‌همتا و خواهر دردانه‌ام

امیدبخشان لحظه‌های ناامیدی‌ام

و تکیه‌گاهم در زندگی،

او که ... آرزوهایش، تحقق آرزوهایم

و

شادیش، همواره شادمانیم

همسر سراسر مهر و فانیم، علی

و

عسل زندگیمان، فاطمه

تقدیر و تشکر:

سپاس خداوند را به خاطر تمام نعمت‌هایی که عطایم نموده و صد هزار سپاس به خاطر نغمت‌هایی که از من دور داشته‌است.

پروردگارم! به خاطر تمام داشته‌ها و نداشته‌هایم سر سجود به درگاهت می‌آورم.

بر خوب واجب می‌دانم از اساتید راهنمای بزرگوارم، آقایان دکتر سید محمدحسن کماریزاده و دکتر پرویز احمدی‌مقدم به خاطر تمام زحماتشان در طول دوره کارشناسی و کارشناسی‌ارشد تشکر نمایم. از دکتر مردانی و دکتر فرخی تیمورلو به‌خاطر داوری این پایان نامه قدردانی می‌نمایم.

از حمایت‌های پدر و مادر مهربان و همراهی و پشتیبانی بی‌دریغ همسرم، مهندس علی ارتانی در طی انجام آزمایشات و هم‌چنین تمامی مراحل زندگی که سنگینی کارهایم را به دیده منّت پذیراست و دلگرمی‌های فراوانش نهایت تشکر را دارم.

از کمک‌های مهندس امین اسمعیلی و مهندس محمدزاده در طی انجام آزمایشات این پایان‌نامه و سایر مراحل پایان‌نامه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

و در نهایت ،تشکر می‌کنم از دختر شیرین زبانم، فاطمه که با تمام نبودنم‌هایم کنار آمد و در مراحل نگارش پایان‌نامه با نقاشی بر روی نوشته‌هایم مرا همراهی نمود و با شیطنت‌ها و بازیگوشی‌هایش گاهی مرا خنداند و گاهی ...

چکیده

جهان در دهه‌های گذشته شاهد نقطه عطفی در انرژی مزرعه‌ای بود. خاکورزی به عنوان گامی مقدماتی و پایه‌ای برای هر تولید کشاورزی، حجم بالایی از انرژی را می‌طلبد. شناسایی صحیح کشش و انرژی مورد نیاز ادوات خاکورزی، به‌عنوان مهمترین پارامتر در طراحی کامل ادوات و انتخاب بهینه وضعیت کار ادوات مطرح گردیده است. طراحی و ساخت ادوات خاکورزی پیشرفته، با در نظر گرفتن الگوهای مختلف شکست خاک، مستلزم برخورداری از دانش کافی از تأثیر متقابل خاک و ابزار می‌باشد.

در تحقیق حاضر، برهم کنش بین تیغه مستقیم و خاک در انباره خاک گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه به روش تجربی مورد بررسی قرار گرفته و داده‌های حاصل با نرم‌افزارهای آماری SPSS و MSTAT-C تحلیل گردیده و نیروهای وارد بر ابزار با داده‌های حاصل از مدل مک‌کیز با شرایط عملیاتی یکسان مقایسه گردید. خاک از نوع ماسه‌ای با دانه‌بندی خوب تعیین شد. آزمایشات به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام پذیرفت. تیمارهای آزمایش شامل عمق کار در سه سطح (۱۰، ۲۰ و ۲۵ cm)، زاویه ابزار در سه سطح (°۶۰، °۷۵، °۹۰) و عرض تیغه در دو سطح (۳ cm و ۶) می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که از نظر کیفی تطابق قابل قبولی بین داده‌های مشاهداتی و مدل مک‌کیز و نیز تحقیق گادوین وجود داشت. با افزایش عمق کار، زاویه نفوذ تیغه و عرض تیغه نیروی کششی و مساحت بهم-خوردگی افزایش یافت. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات تمامی متغیرها و برهم‌کنش متقابل متغیرها بر روی نیروی کششی و مساحت بهم‌خوردگی خاک و بازده نیروی کششی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود، تنها اثر عرض تیغه بر روی بازده نیروی کششی معنی‌دار نبود. بررسی تأثیر متقابل متغیرها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بهترین حالت برای کسب بالاترین بازده نیروی کششی، تیمار $R_1d_1w_1$ (زاویه °۶۰، عمق ۱۰ cm و عرض ۶ سانتی‌متر) و $R_1d_1w_2$ (زاویه °۶۰، عمق ۱۰ cm و عرض ۳ سانتی‌متر) بوده که در یک گروه قرار گرفته‌اند.

کلید واژه‌ها: انباره خاک، برهم‌کنش خاک- تیغه، بازده نیروی کششی، مدل تحلیلی مک‌کیز.

فهرست **صفحه**

چکیده ..... أ
فهرست مطالب ..... ب
فهرست شکل‌ها ..... و
فهرست جداول ..... ط

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه **۱-۷**

فصل دوم: تئوری مسئله و بررسی منابع **۸-۳۹**

۲-۱- پارامترهای خاک ۱۱
۲-۱-۱- خصوصیات فیزیکی خاک ۱۱
۲-۱-۲- خصوصیات دینامیکی خاک ۱۲
۲-۱-۲-۱- مقاومت برشی خاک ۱۳
۲-۱-۲-۲- فشردگی خاک ۱۵

۲-۲- پارامترهای ابزار ۱۶
۲-۲-۱- مکانیک ابزار عمودی ۱۶
۲-۲-۲- اثر پارامترهای ابزار بر کشش مورد نیاز ۱۹

۲-۳- پارامترهای عملیاتی ۲۰
۲-۳-۱- رابطه کشش- عمق و کشش- سرعت ۲۰

۲-۴- واکنش خاک – ابزار ۲۱

۲-۴-۱- دگرچسبی خاک و ابزار ۲۳
۲-۴-۲- اصطکاک فلز- خاک ۲۳
۲-۵- بازده نیروی کششی ۲۴
۲-۶- انرژی خاکورزی ۲۶
۲-۷- مدل‌سازی رابطه خاک- ابزار ۲۸
۲-۷-۱- روش‌های عملی و تحلیلی ۲۹
۲-۷-۱-۱- مدل تحلیلی مک‌کیز ۲۹
۲-۷-۱-۲- روش گادوین ۳۲
۲-۷-۱-۲-۱- تأثیر سرعت تیغه ۳۲
۲-۷-۱-۲-۲- تأثیر زاویه تیغه ۳۳
۲-۷-۱-۲-۳- تأثیر عرض تیغه ۳۴
۲-۷-۱-۲-۴- تأثیر عمق کار ۳۵
۲-۷-۲- روش‌های عددی ۳۵
۲-۷-۲-۱- مدل‌های المان محدود (FEM) ۳۵
۲-۷-۲-۲- روش دینامیک سیالات محاسباتی ۳۶
۲-۷-۲-۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) ۳۶
۲-۷-۲-۴- روش المان مجزا (DEM) ۳۷

فصل سوم: مواد و روش‌ها **۴۰-۵۷**

۳-۱- مواد و تجهیزات مورد استفاده در آزمایشات ۴۰
۳-۱-۱- خصوصیات ابزار خاکورز ۴۰

۳-۱-۲-مشخصات سویل‌بین ۴۱

۳-۲- طرح آزمایشات ۴۴

۳-۳- رویه انجام آزمایشات ۴۵

۳-۳-۱- آماده‌سازی خاک ۴۵

۳-۳-۲- تعیین وضعیت خاک ۴۵

۳-۳-۳- خصوصیات خاک ۴۶

۳-۳-۴- کالیبراسیون لودسل ۴۹

۳-۳-۵- اصول انجام آزمایشات ۵۰

۳-۳-۶- مکانیزم اتصال ابزار ۵۱

۳-۳-۶-۱- مکانیزم اتصال ابزار در زاویه نفوذ ۹۰ درجه ۵۱

۳-۳-۶-۲- مکانیزم اتصال ابزار در زاویه نفوذ α ۵۳

۳-۴- خلاصه فصل ۵۷

فصل چهارم: نتایج و بحث **۵۸-۸۷**

۴-۱- بررسی مدل تحلیلی مک‌کیز ۵۸

۴-۱-۱- تأثیر زاویه و عمق تیغه بر نیروی کشش افقی و عمودی ۶۱

۴-۱-۲- تأثیر عرض تیغه بر نیروی کشش افقی و عمودی ۶۲

۴-۱-۳- بررسی بازده نیروی کششی ۶۲

۴-۲- بررسی آزمایشات انباره خاک ۶۳

۴-۲-۱- نیروی کشش افقی و عمودی ۶۴

۴-۲-۱-۱- تأثیر عمق کار و زاویه برش تیغه ۶۴

۴-۲-۱-۲- تأثیر عرض تیغه ۷۰
۴-۲-۱-۳- تأثیر سرعت حرکت تیغه ۷۱
۴-۲-۲- بهم‌خوردگی خاک ۷۳
۴-۲-۲-۱- شیار ایجاد شده ۷۴
۴-۲-۲-۲- سطح مقطع خاک بهم‌خورده ۷۵
۴-۲-۳- بازده نیروی کششی ۷۷
۴-۳- تحلیل آماری داده‌ها ۷۹
۴-۴- انرژی موردنیاز خاکورزی ۸۷
۴-۵- مدلسازی نیروی کششی ۸۷

۵ فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات **۹۰-۹۳**

۵-۱- نتیجه‌گیری ۹۰
۵-۲- پیشنهادات ۹۲

فهرست منابع و مواخذ **۹۴-۱۰۰**

فهرست شکل‌ها **صفحه**

شکل ۲-۱- نمایش نیروهای وارد بر تیغه ۹

شکل ۲-۲- شماتیک تئوری موهر- کلمب ۱۴

شکل ۲-۳- شکست خاک طبیعی ایجاد شده به‌وسیله ابزار عمودی در خاک (A: دید از پهلو) و (B: دید از بالا) (گیل و وندنبرگ، ۱۹۶۸) ۱۷

شکل ۲-۴- چگونگی حرکت خاک در اثر تیغه باریک عمودی(A)، چگونگی اثر نیروهای برشی در عمق عملیاتی برای تیغه باریک عمودی(B) (گیل و وندنبرگ، ۱۹۶۸) ۱۸

شکل ۲-۵- نمایی از نیروها و چگونگی تأثیر نیروی کششی بر سطح بهم‌خورده خاک ۲۴

شکل ۲-۶- نتایج آزمایشات مزرعه‌ای انجام شده توسط دزیر (○ و ●) در مقایسه با پیش‌بینی‌های تئوریکی (منحنی‌ها) ۲۵

شکل ۲-۷- اثر سرعت بر مؤلفه‌های انرژی (کوشواها و لینک، ۱۹۹۶) ۲۷

شکل ۲-۸- فلوچارت یافته‌های مدلسازی برهم‌کنش خاک – ابزار (کارماکار و کوشواها، ۲۰۰۶) ۲۸

شکل ۲-۹- گوه خاک فرض شده توسط مک‌کیز ۳۰

شکل ۲-۱۰- نمایی از نیروها در مدل تحلیلی مک‌کیز ۳۱

شکل ۲-۱۱- تأثیر سرعت تیغه روی نیروی افقی اندازه‌گیری شده (■) و پیش‌بینی شده (خط پر) و نیروی عمودی اندازه‌گیری شده (▲) و پیش‌بینی شده (خط شکسته) در زاویه °۴۰، عرض ۳۰mm و عمق mm ۲۵۰ در خاک شکننده (نقل از گادوین، ۲۰۰۷) ۳۳

شکل ۲-۱۲- تأثیر زاویه یک تیغه باریک روی نیروی افقی (خط پر) و نیروی عمودی (خط چین) (به نقل از گادوین، ۲۰۰۷) ۳۳

شکل ۲-۱۳- تأثیر نسبت عمق به عرض تیغه روی الگوی شکست خاک (به نقل از گادوین، ۲۰۰۷) ۳۴

شکل ۲-۱۴- تغییرات نیروهای کششی (خط پر) و عمودی (خط چین) نسبت به عرض تیغه (گادوین، ۲۰۰۷) ۳۴

شکل ۲-۱۵- تغییرات نیروهای کششی (خط پر) و عمودی (خط چین) نسبت به عمق کار تیغه در زاویه برش ۹۰ درجه (گادوین، ۲۰۰۷) ۳۵
شکل ۳-۱- ابزار مورد استفاده در آزمایش ۴۱
شکل ۳-۲- نحوه قرارگیری سیستم انتقال مقاومت و موتور بر روی سویل‌بین ۴۲
شکل ۳-۳- نمایی از تابلو برق و اینورتر مورد استفاده سویل‌بین ۴۳
شکل ۳-۴- نمایشگر و دیتالاگر مورد استفاده در آزمایشات ۴۴
شکل ۳-۵- اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک به وسیله پنترومتر مخروطی ۴۶
شکل ۳-۶- دستگاه تست تنش برشی ۴۸
شکل ۳-۷- اندازه‌گیری اصطکاک فلز روی خاک ۴۹
شکل ۳-۸- نمودار پوش گسیختگی خاک ۴۹
شکل ۳-۹- پروفیل ثبت شکل و عمق شیار ۵۰
شکل ۳-۱۰- نحوه اتصال لودسل در مکانیسم طراحی شده بر روی حامل سویل‌بین ۵۱
شکل ۳-۱۱- مکانیزم اتصال ابزار با زاویه نفوذ ۹۰ درجه (A) و دیاگرام آزاد نیروها (B)..... ۵۲
شکل ۳-۱۲- مکانیزم اتصال ابزار با زاویه نفوذ α ۵۴
شکل ۳-۱۳- دیاگرام آزاد نیروها در تیغه با زاویه نفوذ 75° (A) و زاویه نفوذ 60° (B) ۵۵
شکل ۴-۱- نمودار نیروی افقی در زوایای برش و اعماق مختلف با دو تیغه با پهنای متفاوت به روش تحلیلی مک‌کیز ۶۱
شکل ۴-۲- نمودار نیروی عمودی در زوایای برش و اعماق مختلف با دو تیغه با پهنای متفاوت به روش تحلیلی مک‌کیز ۶۱
شکل ۴-۳- نمودارهای نیروی کشش افقی حاصل از مدل مک‌کیز نسبت به عرض‌های مختلف تیغه در زوایا و اعماق مختلف ۶۲
شکل ۴-۴- نمودار تغییرات بازده نیروی کششی نسبت به ضریب لاغری(d/w) در زوایای مختلف در مدل تحلیلی مک‌کیز ۶۳

شکل ۴-۵- نمودار نیروی افقی – جابجایی برای تیغه با عرض۶ cm با زاویه برش °۶۰ در سه عمق ۶۴
شکل ۴-۶- نمودار نیروی افقی – جابجایی برای تیغه با عرض۶ cm با زاویه برش °۷۵ در سه عمق ۶۵
شکل ۴-۷- نمودار نیروی افقی – جابجایی برای تیغه با عرض۶ cm با زاویه برش °۹۰ در سه عمق ۶۵
شکل ۴-۸- نمودار تغییرات نیروی افقی- زاویه برش تیغه برای دو تیغه مورد بررسی در سه عمق مختلف در انباره خاک ۶۷
شکل ۴-۹- نمودار تغییرات نیروی عمودی- زاویه برش تیغه برای دو تیغه مورد بررسی در سه عمق در انباره خاک ۶۷
شکل ۴-۱۰- دیاگرام آزاد نیروها در تیغه با زاویه نفوذ ۹۰ درجه (A) و ۷۵ درجه (B) و ۶۰ درجه (C) ۶۸
شکل ۴-۱۱- نمودار مقایسه‌ای نیروی کشش افقی- عمق در تیغه با عرض ۶ cm در زوایای مختلف بین نتایج آزمایشات و مدل مک‌کیز ۶۹
شکل ۴-۱۲- نمودار نیروی افقی-عرض تیغه در زوایا و اعماق مختلف عملیات در انباره خاک ۷۱
شکل ۴-۱۳- نمودار نیروی افقی – زاویه برش تیغه در اعماق و سرعت‌های مختلف در انباره خاک ۷۲
شکل ۴-۱۴- نمودار نیروی عمودی-زاویه برش تیغه در اعماق و سرعت‌های مختلف در انباره خاک..... ۷۳
شکل ۴-۱۵- منحنی شیارهای ایجاد شده توسط تیغه با پهنای ۶ سانتی‌متر در اعماق و زوایای مختلف ۷۴
شکل ۴-۱۶- منحنی شیارهای ایجاد شده توسط تیغه با پهنای ۳ سانتی‌متر در اعماق و زوایای مختلف ۷۴
شکل ۴-۱۷- مساحت بهم‌خوردگی خاک توسط تیغه در حالت مدل شده و حالت واقعی ۷۵
شکل ۴-۱۸- نمودار مقایسه‌ای بین مساحت تئوری و مساحت واقعی در تیغه با دو پهنای مختلف در زوایا و اعماق مختلف ۷۶
شکل ۴-۱۹- نمودار تغییرات بازده کششی نسبت به ضریب لاغری در زوایای مختلف کاری آزمایشات انباره خاک ۷۸
شکل ۴-۲۰- نمودار مدل بهینه شده نیروی کششی در حالت اول ۸۸
شکل ۴-۲۱- نمودار مدل بهینه شده نیروی کششی در حالت دوم ۸۹

فهرست جداول

صفحه

جدول ۲-۱- کار ویژه(کیلوژول برمترمکعب) برای ادوات خاکورزی اصلی در چدین نوع خاک (پرداک و ورکن، ۱۹۸۲) ۲۶
جدول ۳-۱- متغیّرهای آزمایشات انباره خاک ۴۴
جدول ۳-۲- مقادیر شاخص مخروطی متوسط برای اعماق مختلف خاک ۴۶
جدول ۴-۱- نیروی افقی و عمودی تیغه با پهنای ۶ سانتی‌متری در زاویه برش ۶۰ درجه ۵۹
جدول ۴-۲ - نیروی افقی و عمودی تیغه با پهنای ۶ سانتی‌متری در زاویه برش ۷۵ درجه ۵۹
جدول ۴-۳- نیروی افقی و عمودی تیغه با پهنای ۶ سانتی‌متری در زاویه برش ۹۰ درجه ۶۰
جدول ۴-۴- نیروی افقی و عمودی تیغه با پهنای ۳ سانتی‌متری در زاویه برش ۶۰ درجه ۶۰
جدول ۴-۵- نیروی افقی و عمودی تیغه با پهنای ۳ سانتی‌متری در زاویه برش ۷۵ درجه ۶۰
جدول ۴-۶- نیروی افقی و عمودی تیغه با پهنای ۳ سانتی‌متری در زاویه برش ۹۰ درجه ۶۰
جدول ۴-۷- مقادیر مساحت تئوری و واقعی تیغه با پهنای ۶ cm در زوایا و اعماق مختلف عملیاتی ۷۶
جدول ۴-۸- مقادیر مساحت تئوری و واقعی تیغه با پهنای ۳ cm در زوایا و اعماق مختلف عملیاتی ۷۶
جدول ۴-۹- تجزیه واریانس پارامترهای نیروی کششی، مساحت بهم‌خوردگی و بازده نیروی کششی ۷۹
جدول ۴-۱۰- مقایسه میانگین در تیمارهای عمق و زاویه برش تیغه ۸۰
جدول ۴-۱۱- مقایسه میانگین در تیمارهای عمق و عرض تیغه ۸۲
جدول ۴-۱۲- مقایسه میانگین در تیمارهای زاویه و عرض تیغه ۸۳
جدول ۴-۱۳- مقایسه میانگین‌ها در تیمارهای عرض و عمق و زاویه ابزار ۸۵

۱ فصل اول

مقدمه

یکی از دغدغه‌های مهندسین ماشین‌های کشاورزی بررسی بازده استفاده از انرژی در بخش کشاورزی می‌باشد؛ اگرچه بازده انرژی همواره در حد چشمگیری نبوده امّا اغلب به‌عنوان فاکتور اصلی در بهینه‌سازی دستگاه‌ها، واحدهای انرژی، سیستم‌های آبی، تکامل و شکوفایی سایر تکنولوژی‌ها محسوب می‌گردد. مهندسین مکانیک ماشین‌های کشاورزی همواره در پی یافتن راهکارهایی برای ذخیره‌سازی سوخت و کاهش هزینه‌های عملیات خاکورزی می‌باشند، به عنوان نمونه تحقیقاتی بر روی لاستیک تراکتور به منظور افزایش بازده کششی و نیز به‌تازگی مطالعاتی بر روی بهینه‌سازی بازده انرژی در خشک‌کن محصولات کشاورزی و سیستم فرآوری محصولات غذایی انجام پذیرفته است؛ بنابراین برخی مهندسین ماشین‌های کشاورزی به مهندسان انرژی در بخش کشاورزی تبدیل گشته‌اند (اشرفی زاده، ۲۰۰۶).

با گذشت زمان و طی قرون متمادی به‌دلیل رشد فزاینده‌ی جمعیت کره زمین، اکوسیستم‌های کشاورزی به‌تدریج از حالت معیشتی خارج شده و به سمت اکوسیستم‌های کشاورزی فشرده (مدرن) حرکت نموده‌است؛ سیستم‌های سنتی به دلیل شباهت فراوان با اکوسیستم‌های طبیعی و استفاده از انرژی‌های انسانی و حیوانی، مخارج انرژی کمتری در برداشته، لذا از بازده انرژی بالایی برخوردار می‌باشند، با این حال در این سیستم‌ها عملکرد محصولات کشاورزی پایین بوده و نمی‌تواند پاسخگوی نیاز غذایی جمعیت در حال افزایش دنیا باشد،

بنابراین اکوسیستم‌های مدرن جایگزین اکوسیستم‌های سنتی شده که به دلیل استفاده از تکنولوژی‌های نوین، سوخت‌های فسیلی و نیروی الکتریسیته دارای بازده تولید محصول بیشتری می‌باشند (عامری، ۱۳۷۹). بازدهی بالاتر اکوسیستم‌های مدرن تنها در گرو مصرف مقادیر قابل توجهی انرژی می‌باشد که در مراحل مختلف کاشت، آبیاری، مصرف کود، مبارزه با آفات، امراض و علف‌های هرز استفاده می‌گردد (کوچکی، ۱۳۷۳).

سیستم تولید محصولات کشاورزی در جهان به‌دلیل استفاده از مکانیزاسیون، کودها، سموم شیمیایی و بذرهای اصلاح‌شده به‌طور معناداری تغییر یافته و در نتیجه، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در جریان انرژی مصرفی در بخش کشاورزی ایجاد و موجب وابستگی بیشتر این بخش به انرژی سوخت فسیلی گردیده است. این تغییر الگوی مصرف انرژی، مشکلاتی از قبیل گرم شدن محیط زیست ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی آب و خاک را در پی داشته است (هاتیرلی[1] و همکاران، ۲۰۰۵).

هوادهی مناسب خاک برای فعالیت مطلوب میکروارگانیسم‌های خاک، کنترل علف‌های هرز و بقایای گیاهی سطح مزرعه، جلوگیری از تبخیر سطحی و کنترل فرسایش خاک نتایج حاصل از انجام عملیات خاکورزی می‌باشند. بخش خاکورزی در کشاورزی شامل مراحل برش خاک، برگرداندن خاک، نرم و پودرسازی خاک می‌باشد بنابراین مصرف انرژی بالایی را می‌طلبد که نه تنها بایستی با حجم بالای خاکی که حرکت داده می‌شود متناسب باشد بلکه مقداری از انرژی نیز صرف روش‌های ناکارآمدی می‌گردد که انرژی را به خاک منتقل می‌نمایند. روش‌های مختلفی برای بهینه نمودن انرژی در خاکورزی همچون طراحی ابزارهای خاکورز ارتعاشی و لرزشی ایجاد گردیده است، در هر حال گسترش هرچه بیشتر روش‌های پربازده خاکورزی لزوم شناخت مکانیک ابزارهای خاکورزی را ضروری می‌سازد (فورنستروم[2] و همکاران، ۱۹۷۰). گسترده بودن عملیات خاکورزی، متعدد بودن نوع ادوات خاکورزی و بالا بودن مصرف انرژی ادوات خاکورزی این بخش از کشاورزی را به پرمصرف‌ترین بخش کشاورزی از نظر مصرف انرژی و سرمایه تبدیل نموده است.

[1] Hatirli
[2] Fornstrom

مباحث انرژی و ذخیره‌سازی آن تنها برای کشورهای فاقد منابع نفتی و کشورهای توسعه‌یافته حائز اهمیت نمی‌باشد، بلکه برای تمامی کشورها به‌خصوص به دلیل رقابت قیمتی در سازمان تجارت جهانی (WTO) دارای اهمیت می‌باشد. بسیاری بر این باورند که کشورهای دارای منابع غنی نفتی مانند ایران به دلیل دسترسی آسان و ارزان به نفت، نیازی به تحقیق و بررسی در زمینه انرژی ندارند. این تفکر از دو دیدگاه نادرست می‌باشد زیرا ایران در حال حاضر قسمت عمده‌ای از سوخت دیزل مورد نیاز خود را وارد نموده و سالانه میلیون‌ها دلار هزینه به‌خصوص در بخش کشاورزی پرداخت می‌نماید، هم‌چنین نتایج بدست آمده از بررسی‌ها و مطالعات انرژی، حاکی از کمبودهایی می‌باشد که در کاربرد تکنولوژی با آن مواجه هستیم. مصرف بالای سوخت تراکتور برای انجام یک فعالیت مشخص در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته می‌تواند نشان‌دهنده‌ی ضعف سرویس و تعمیرات، نداشتن دانش کافی کاربر، عدم انتخاب صحیح ادوات و یا بسیاری موارد دیگر باشد.

شناسایی صحیح کشش و انرژی مورد نیاز ادوات خاکورزی، به‌عنوان مهمترین پارامتر در طراحی کامل ادوات، هماهنگی مناسب ادوات با منبع قدرت آن‌ها و انتخاب بهینه وضعیت کار ادوات مطرح گردیده است (ادموسان[1]، ۱۹۹۰). طراحی مناسب و دقیق ادوات خاکورزی، با در نظر گرفتن الگوهای مختلف شکست خاک، مستلزم برخورداری از دانشی کافی از تأثیر متقابل خاک و ابزار می‌باشد. عامل عمده در تعیین بازده عملکردی ادوات، واکنش دینامیکی خاک به ادوات کشاورزی می‌باشد؛ رابطه بین خاک و ابزار یکی از نکات اولیه و قابل توجه در طراحی و استفاده از ادوات خاکورزی برای جابجایی خاک می‌باشد (شین و کوشواها[2]، ۱۹۹۸).

واکنش متقابل ابزار و خاک در مزرعه، طی آزمایشات متعددی بررسی شده و مدل‌های تحلیلی در حدود سال ۱۹۴۰ پدیدار گردید. در طی قرن بیستم تئوری‌های نوینی در مورد مکانیک خاک توسط ترزاغی[3](۱۹۴۳) ارائه گردید و در نیمه دوم این قرن استفاده از کامپیوتر برای اصلاح و گسترش این تئوری‌ها افزایش یافت. روش المان محدود (FEM) در سال ۱۹۵۰ در مهندسی هواپیما مطرح گردید و بعدها توسط یانگ و

[1] Ademosun
[2] Shen and Kushwaha
[3] Terzaghi

هانا[1](۱۹۷۷) در حیطه کشاورزی برای عملیات برش خاک تعمیم داده شد؛ این روش در دهه اخیر مورد توجه فراوان محققان در بررسی اثرات متقابل ابزار و خاک قرار گرفته است.

ساختار خاک به‌عنوان یک ترکیب چند فازی، به‌طور طبیعی مجزا است. برهم‌کنش خاک-ابزار به دلیل تغییرات سه بعدی خاک، تاثیرات دینامیکی، جریان خاک و اختلاطی که در لایه‌های خاک اتفاق می‌افتد، یک فرآیند پیچیده است.

استفاده از نیروی مکانیکی ماشین‌آلات کشاورزی برای مطلوب‌سازی وضعیت خاک در پروسه‌ی تولید محصولات کشاورزی، اولین بهره‌ی حاصل از عملیات خاکورزی می‌باشد. ابزارهای خاکورزی نیروهایی را به خاک اعمال می‌نمایند که سست شدن خاک را برای بهتر نمودن کیفیت محصولات کشاورزی با افزایش رشد ساقه، افزایش ریشه‌دهی گیاه، افزایش نفوذ و کنترل فرسایش خاک در پی دارند؛ طی انجام عملیات خاکورزی به‌دلیل تغییر شرایط خاک از حالتی چون مایع به حالتی آسیب‌پذیر و شکننده، کیفیت سست شدن خاک به میزان بالایی با مهندسی مواد پیوند خورده است. نیروی مورد نیاز برش خاک بر اساس دانه-بندی خاک، مشخصات ابزار و پارامترهای مربوط به عملیات خاکورزی تغییر می‌یابد. امکان تأثیر فاکتورهایی همچون عمق و عرض برش، شکل ابزار، ترتیب آرایش ابزار و سرعت حرکت بر کشش و بازده انرژی در خاکی با شرایط معین، وجود دارد. تأثیرات این پارامترها بسته به نوع ادوات و حالات مختلف خاک تغییر می‌یابد.

فاکتورهایی نظیر بافت و محتوای رطوبتی خاک، فشردگی خاک، شکل هندسی ابزار، عمق کار، سرعت پیشروی و زاویه نفوذ ابزار به وضوح بر انرژی مورد نیاز یک عملیات خاکورزی تأثیرگذار می‌باشند. با وجود یک‌سری محدودیت‌ها در کاربرد این فاکتورها، تحقیقات متعددی در بررسی اثرات این فاکتورها بر انرژی مورد نیاز در حالات مختلف ابزار و خاک انجام گردیده و مورد بحث قرار گرفته است (مک‌کیز و علی[2]، ۱۹۷۷). بررسی اثرات پارامترهایی همچون نوع خاک، نوع ابزار، پهنای تیغه، عمق کاری ابزار، زاویه نفوذ تیغه و سرعت پیشروی ابزار به منظور کسب اهداف مطلوب خاکورزی مانند کاهش مصرف انرژی و افزایش بهم-خوردگی خاک ضروری به نظر می‌رسد.

[1] Yang and Hanna
[2] Mckyes and Ali

علی‌رغم توانایی روش‌های مختلف در مدلسازی رابطه بین ابزار و خاک، به‌دلیل پیچیدگی روش‌های موجود و نادیده انگاشتن برخی جنبه‌های اساسی تأثیرگذار بر انرژی مصرفی، محققان برای جبران نمودن کمبودها و بهینه‌سازی مدل‌های موجود پیوسته بر روی مدل‌های نوین تحقیق می‌نمایند؛ برای نمونه روش‌های تحلیلی، قادر به توجیه تمامی جوانب عملیات خاکورزی واقعی به‌صورت یک پروسه دینامیکی نمی‌باشند. روش‌های آزمایشی به دلیل نیاز به ساخت ابزار به منظور ثبت دقیق داده‌ها، هزینه‌بر بوده و نیز آزمایشات را در هر زمان و مکان دلخواه نمی‌توان اجرا نمود زیرا مستلزم شرایط خاصی از ابزار و امکانات می‌باشند و در اکثر موارد نتایج روش‌های آزمایشی تنها در شرایط محل اجرای عملیات، قابل قبول می‌باشند؛ از سویی دیگر، روش اجزای محدود یک روش بسیار حرفه‌ای بوده و مستلزم برخورداری از علم و شناختی بالا از ریاضیات و رایانه می‌باشد، همچنین پیش‌بینی مدل‌های FEM بر اساس نسبت‌های ویژه‌ای می‌باشد که مستلزم استفاده از روابط بدست‌آمده از تست‌های آزمایشگاهی همچون تست سه محوری می‌باشند، خاک در یک‌چنین تست-های آزمایشگاهی وضعیت شکستی متفاوت از عملیات خاکورزی واقعی را نشان می‌دهد؛ بنابراین تحقیق و بررسی مدل‌های جدید برای درک چگونگی واکنش متقابل خاک و ابزار که نتایج قابل قبولی از کشش و انرژی مورد نیاز ادوات خاکورزی در طی عملیات واقعی خاکورزی را پیش‌بینی نماید، ضروری به‌نظر می‌رسد. سویل‌بین یا انباره خاک محیط کنترل شده‌ای را برای انجام یک چنین تحقیقاتی با شبیه سازی محیط واقعی خاک در اختیار محققان بخش خاکورزی قرار می‌دهد، طرح اساسی این دستگاه به‌گونه‌ای می‌باشد که امکان تغییر و تنظیم پارامترهای مختلف عملیاتی مانند عمق، سرعت، زاویه نفوذ و سایر پارامترها وجود داشته و نیز ثبت و ذخیره داده‌های نیرویی مربوط به شرایط مختلف عملیاتی در فواصل زمانی بسیار کوچک امکان‌پذیر می‌باشد. بهینه‌سازی نیروی کششی ابزارهای خاکورزی، کاهش مصرف انرژی عملیات خاکورزی در کشاورزی، کاهش هزینه‌های تولید، افزایش بهره‌وری و سود را برای کشاورزان به دنبال خواهد داشت.

در تحقیق حاضر برهم کنش بین ابزار و خاک در انباره خاک به روش تجربی مورد بررسی قرار می‌گیرد و داده‌های ثبت شده با روش‌های مختلف آماری تحلیل گردیده و نیروهای وارد بر ابزار با توجه به مکانیسم طراحی شده برای نصب ابزار، به‌دست آمده و با داده‌های نیرویی حاصل از مدل تحلیلی مک‌کیز با شرایط عملیاتی یکسان ارزیابی می‌گردد. آزمایشات با دو تیغه باریک با پهنای مختلف ۳ و ۶ سانتی‌متر در سه عمق

عملیاتی ۱۰، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر و در سه زوایه نفوذ۹۰، ۷۵ و ۶۰ درجه برای تعیین اثرات این فاکتورها بر نیرو و مساحت بهم‌خوردگی و بازده کششی عملیات خاکورزی در دستگاه انباره خاک انجام می‌پذیرد و داده های حاصل از آزمایشات سویل‌بین مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و روابط بین نیرو و پارامترهای مختلف عملیاتی با توجه به نمودارهای ترسیمی استخراج گردیده و نتایج حاصل به منظور تعیین صحت و درستی با مدل های تئوری نظیر مدل تحلیلی مک‌کیز مقایسه می‌گردد و نیز نتایج تحقیق گادوین برای مقایسه بیشتر آورده می‌شود تا نقاط ضعف و قوت تحقیق مشخص گردیده و در پایان پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده ارائه می‌گردد.

اهداف این تحقیق به‌صورت زیر بیان می‌شود:

- تعیین نیروهای عمودی و کششی تیغه در انباره خاک؛
- تعیین مساحت بهم‌خوردگی خاک و بازده کششی عملیات خاکورزی؛
- بررسی تاثیر عرض تیغه، عمق کار و زاویه نفوذ تیغه بر نیروهای کششی و عمودی؛
- بررسی تاثیر عرض تیغه، عمق کار و زاویه نفوذ تیغه بر سطح مقطع خاک بهم‌خورده و بازده کششی؛
- مقایسه نیروهای کششی و عمودی تعیین شده در انباره خاک با نیروهای متناظر توسط روش تحلیلی مک‌کیز (۱۹۸۵)؛
- بهینه‌سازی نیروی کششی؛
- بررسی شیار ایجاد شده بر اثر عبور تیغه در خاک در شرایط مختلف آزمایشاتی؛
- افزایش بهره‌وری ادوات باریک خاکورزی؛
- کاهش مصرف انرژی در بخش خاکورزی؛
- مقایسه نتایج کیفی بدست آمده از آزمایشات سویل‌بین با نتایج ارائه شده توسط گادوین[1] (۲۰۰۷)؛

[1] Godwin

فرضیه‌های تحقیق به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

- تغییرات زاویه نفوذ ابزار اثر معناداری بر مقدار بازده کششی دارد.
- تغییرات پهنای تیغه خاکورزی اثر معناداری بر مساحت بهم‌خوردگی خاک دارد.
- تغییرات سرعت پیشروی ابزار اثر معناداری بر نیروهای وارد بر ابزار دارد.
- تغییرات عمق عملیات خاکورزی اثر معناداری بر نیروی کششی، مساحت بهم‌خوردگی خاک و بازده کششی ابزار دارد.