نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ – کرج

تحلیل سه بعدی نیروهای ابزار خاک ورز پهن با استفاده از روش اجزاء محدود

هدی کارگرپور[۱]، محمودرضا سالار[۲]*، عباس همت[۳]

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس تهران، دانشکده کشاورزی، بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم

۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی، بخش مهندسی مکانیک بیوسیتم

۳- عضو هیئت علمی، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی

ایمیل مکاتبه کننده: msalar_kalej@yahoo.com

چکیده

در سال های اخیـر، روش های عددی از جمـله روش اجزای محـدود، برای شبیه سازی فرایند خاک ورزی استفاده شده است. بیشتر کارهای انجام شده در این زمینه روی آنالیز استاتیکی مسائل خاک ورزی بوده است. این روش قادر به شبیه سازی شکل های مختلف ابزار و اثرات دینامیکی سرعت پیشروی می باشد. هدف از این تحقیق، به دست آوردن اثرات دینامیکی ابزار بر روی خاک با کمک روش اجزای محدود می باشد. ازاین رو، اثر حرکت یک ابزار خاک ورز پهن در خاک با استفاده از نرم افزار Abaqus به دست آمد. ابتدا تیغه خاک ورز و قطعه خاک در نرم افزار شبیه سازی شدند و خصوصیات مواد برای هر یک تعریف شد. پس از مونتاژ قسمتهای مختلف خصوصیات سطح مشترک تیغه و خاک نیز تعریف شد. یک سرعت اولیـه ۳۰ میلیمتر بر ثانیه به تیغه داده شد و جابه جایی به میزان ۱۰ میلیمتر در راستای محور X برای آن درنظر گرفته شد. نتایج حاصل از تحلیل نشان داد که بیشترین میزان بالاآمدگی خاک ۳/۹۱ میلیمتر در ۵/۷۴ میلیمتر پیشروی تیغه می باشد. از دیگر نتایج بدست آمده، کانتور تنش میزز است که براساس آن بیشترین تنش در خاک، در ناحیه تماس با نوک تیغه مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: "روش اجزای محدود"، "ابزار پهن"، "بالاآمدگی خاک".

مقدمه

خاک ورزی، عملیات دادن انرژی به خاک به منظور تغییر وضعیت فیزیکی خاک و برهم زدن خاک برای یک سری اهداف، یکی از اجزای هر سیستمی برای مدیریت خاک می باشد. خاک ورزی همیشه یک موضوع همیشگی در تحقیقات کشاورزی بوده است. عملیات خاک ورزی، عملیات شکستن خاک است و گسیختگی خاک، به خصوصیات خاک، هندسه ابزار و سرعت برش خاک بستگی دارد (Feilke, 1999)

آنالیزهای تئوریک و آزمایشگاهی برای رسیدن به خاک ورزی بهینه یا ابزارهای بهینه که نیاز به انرژی کمتر با ایجاد شرایط مطلوب برای رشد و استقرار محصول دارند، امری ضروری است. آزمایش های مزرعه ای امکان تنوع در نمونه ها و تجهیزات مختلف را می دهد. آنالیزهای تئوریک برای حل اثرات متقابل بین خاک و ابزار به کار می روند. اما بسیاری از این مدل ها دوبعدی بوده و فقط برای ابزارهای خاصی استفاده می شوند و تعداد محدودی مدل سه بعدی برای پیش بینی رفتار ابزاهای باریک در خاک موجود می باشد. اکثر این مدل ها، برای ابزارهای با سرعت کم است و اثرات سرعت در آنها لحاظ نمی شود. درصورتیکه اکثر عملیات های خاک ورزی در محدوده سرعت ۴–۱۰ کیلومتر در ساعت انجام می شود که در آن نیروهای خاک روی ابزار، با تغییر سرعت ابزار تغییر می کند (Mouazen and Neményi, 1999; Abo-Elnor et al., 2003).

مطالعه آزمایشگاهی تاثیرات ابزار و خاک هزینه بر هستند و ممکن است به سرعت ها و عمق ها ی مشخصی محدود شوند و به دقت دستگاه اندازه گیری و شخص بستگی دارند. لذا روش های کامپیوتری و شبیه سازی هاکمک شایانی در این امر می توانند باشند (Abo-Elnor et al., 2004). در سال های اخیر، روش های عددی از جمله روش اجزای محدود، برای شبیه سازی فرایند خاک ورزی استفاده شده است. بیشتر کارهای انجام شده در این زمینه روی آنالیز استاتیکی مسائل خاک ورزی بوده است (Karmaker et al., 2007). این روش قادر به شبیه سازی شکل های مختلف ابزار و اثرات دینامیکی سرعت پیشروی می باشد.

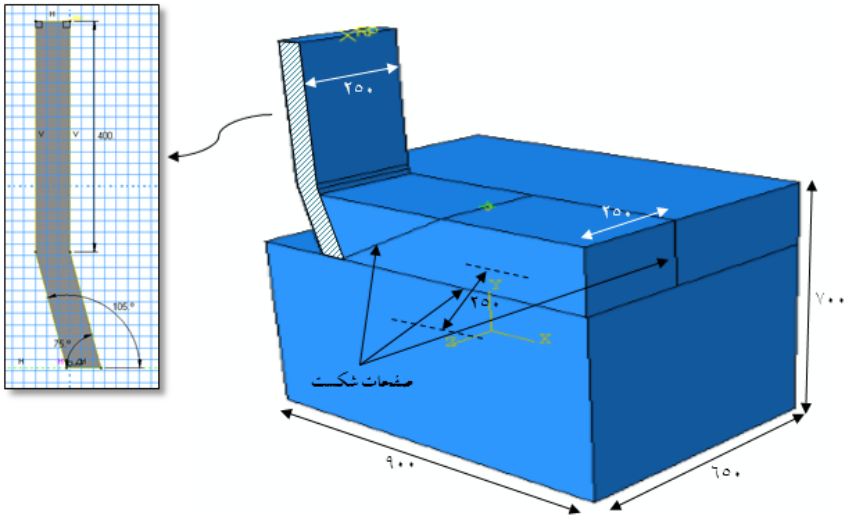
ابو النور و همکاران (۲۰۰۳) استفاده از روش المان محدود و در نظر گرفتن خاک به عنوان یک ماده هیپوپلاستیک ابزار خاکورز پهن را در سرعت ها و شتابهای مختلف شبیه سازی کردند. نتایج تاثیر بالای شتاب برش در حین حرکت ابزار را نشان داد در حالیکه سرعت ابزار تاثیر معناداری روی نیروی برش نداشت (Abo-Elnor et al., 2003)

هدف از این پروژه، به دست آوردن اثرات دینامیکی ابزار بر روی خاک با کمک روش اجزای محدود می باشد. ازاین رو، اثر حرکت یک تیغه پهن در خاک به دست آمد.

مواد و روش‌ها

- مدل سازی در نرم افزار ABAQUS

برای مدلسازی اثرات حرکت تیغه خاک¬ورز پهن، نسبت رعنایی (نسبت عمق کار به عرض کار) برابر است با ۲/۵ که طبق تقسیم بندی ابزارها در محدوده ابزار پهن قرار میگیرد، در خاک در نرم افزار ABAQUS، دو part، یکی برای تیغه و دیگری برای خاک ترسیم گردید که هر دو از نوع 3D deformable بودند. به علت تقارن بارگذاری و تقارن هندسه نیمی از هر part،کشیده شد. در شکل ۱، ابعاد و چگونگی مونتاژ دو قطعه نشان داده شده است. صفحات شکست فرضی برای خاک تعریف شد که در امتداد تیغه و در عرض تیغه واقع شدند.



شکل ۱– ابعاد و نحوه مونتاژ خاک و تیغه (کلیه ابعاد به میلیمتر می‌باشد.)

در مرحله بعد، خصوصیات مواد تعریف شد که برای تیغه فقط خواص پلاستیک و چگالی و برای خاک علاوه بر این مقادیر موهر– کلمب نیز تعریف شد. در جدول ۱ خلاصه ای از خصوصیات آمده است.

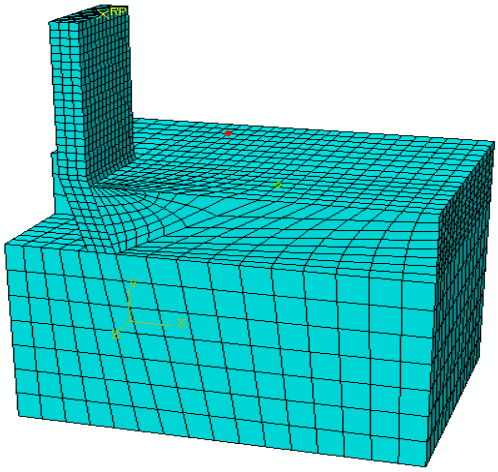
جدول۱– خصوصیات خاک در مدل شبیه سازی شده.

خصوصیات	مقدار
خاک:	
چگالی (ρ)	۱/۸× ۱۰$^{-۹}$ Ton/mm^3
چسبندگی (C)	۰/۰۱۵ MPa
مدول الاستیسیته (E)	۸ MPa
ضریب پواسون (ν)	۰/۳۶
زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)	۳۰°
تیغه:	
چگالی (ρ)	۷/۸× ۱۰$^{-۹}$ Ton/mm^3
مدول الاستیسیته (E)	۲× ۱۰^{۵} MPa
ضریب پواسون (ν)	۰/۳
سطح مشترک:	
چسبناکی (C_a)	۰
زاویه اصطکاک خارجی (Θ)	۲۰°

پس از تعریف خصوصیات مواد، دو جسم مونتاژ شدند و در کنار هم قرار گرفتند. سپس خصوصیات سطوح مشترک اضافه گردید. در این پروژه، تمام سطوح تیغه که با خاک در تماس بودند از نوع تماس صفحه ای و با ضریب اصطکاک ۰/۳۶ در نظر گرفته شد. همچنین در این مرحله تیغه به عنوان جسم صلب معرفی شد که این بدین معنا است که در تحلیل تنش تیغه جسم صلب خواهد بود.

در مرحله بعد، قطعات مش بندی شدند. بدین منظور از المان های چهارضلعی خطی (linear quadrilateral) به تعداد ۱۰۷۰ و برای تیغه ۳۹۲۱ المان شش وجهی خطی (linear hexahedral) ایجاد گشت. برای تحلیل بهتر، المان های نزدیک به تیغه که تحت بار بیشتری بودند را ریزتر و المان های دورتر درشت تر در نظر گرفته شد. نحوه مش بندی در شکل ۲ نشان داده شده است.

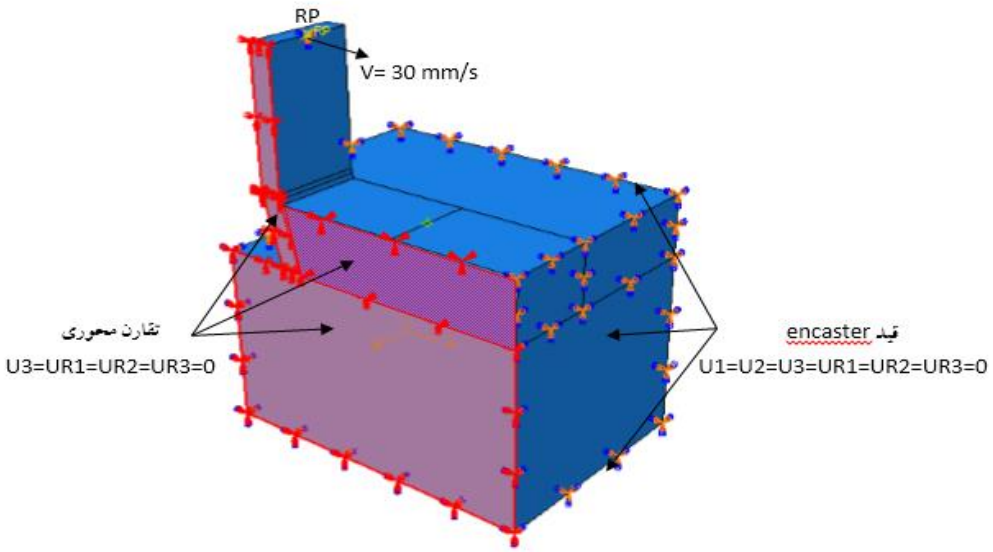
پس از این مراحل، بارگذاری روی جسم انجام شد. براین اساس، ابتدا قیود برای خاک و تیغه مشخص شد. یک سرعت اولیه ۳۰ میلیمتر بر ثانیه به تیغه داده شد و جابه جایی به میزان ۱۰ میلیمتر در راستای محور **x** برای آن درنظر گرفته–شد و جابه جایی در راستای **z** و **y** آن بسته شد. از آنجائیکه تیغه صلب است یک نقطه از آن به عنوان نقطه مرجع معرفی می شود تا این قیود روی آن نقطه قرار گیرد البته محل این نقطه در تحلیل نهایی هیچ اثری ندارد و هر نقطه ای از جسم می تواند به عنوان نقطه مرجع قرار داده شود. در صفحه مشترک تیغه و خاک، قید تقارن محوری قرار داده شد، یعنی حرکت در راستای عمود بر این صفحه، بسته شد. چهار وجه مکعب خاک نیز در تمام جهات بسته شد تا حرکتی نداشته باشد. در شکل ۳ قیود و مکان آنها نشان داده شده است.



شکل ۲– نحوه مش بندی خاک و تیغه خاک ورز.

نوع حلگر در این مسئله، حلگر دینامیکی Dynamic explicit انتخاب شد. از آنجائیکه با حرکت تیغه مش ها باید ریزتر شوند و برای به هم نریختن المان ها لازم است که یک انطباقی بین مش ها ایجاد شود تا با حرکت تیغه آنها هم خود را وقف داده

کوچکتر شوند. لذا در مرحله step از گزینه ALE adaptive mesh domain ، استفاده شد و میزان انطباق در هر مرحله بارگذاری مشخص شد. در مرحله آخر مسئله submit شده و حل آغاز گشت که پروسه زمان بری بود.

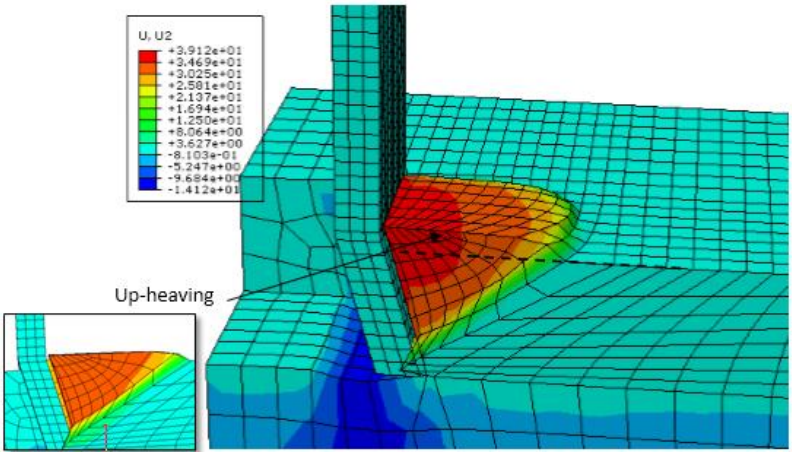


شکل ۳- نوع و نحوه قیدگذاری روی مدل

نتایج و بحث

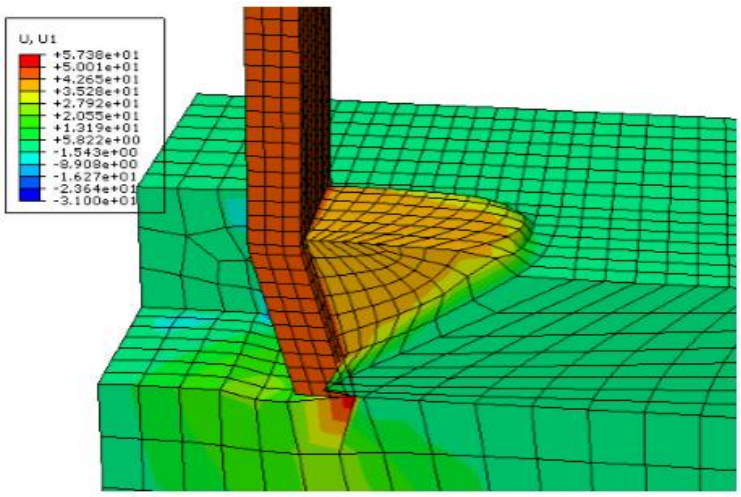
پس از انجام تحلیل توسط نرم افزار نتایج مورد بررسی قرار گرفت. به علت زیاد بودن جابه جایی تیغه یک سری از نقاط تغییر شکل زیادی داشتند و لذا حل پیش از پایان زمان داده شده و با طی تنها نیمی از مسیر تیغه ناتمام رها شد و Error در مسئله ایجاد شد. اما با این حال بالاآمدگی خاک و توزیع تنش تا آن لحظه از جابه جایی نتایج جالبی را ایجاد نمود.

در شکل ۴ نحوه و میزان بالاآمدگی خاک در جلوی ابزار نشان داده شده است.

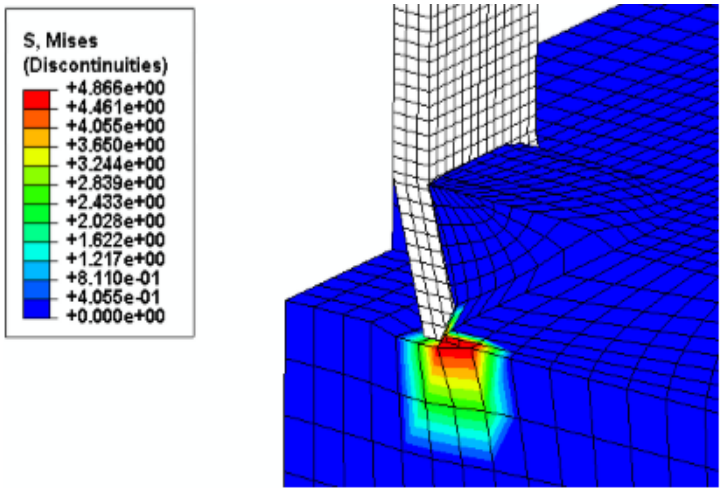


شکل ۴- توزیع جابه جایی خاک و ابزار در راستای y و میزان بالا آمدگی خاک.

بر این اساس بیشترین بالاآمدگی خاک ۳/۹۱ میلیمتر در ۵/۷۴ میلیمتر پیشروی تیغه می باشد. میزان پیشروی تیغه در شکل ۵ آورده شده است. از دیگر نتایج حاصله کانتور تنش میزز است (شکل ۶) که براساس آن بیشترین تنش در نوک تیغه مشاهده شد که با نتایج چی و کوشواها (۱۹۹۰) مطابقت دارد که بیشترین میزان تنش را در نوک تیغه مشاهده کردند و براین اساس می توان گفت بیشترین سایش نیز در ابزار در این نقطه اتفاق می افتد. آنها همچنین دریافتند که میزان تنش روی ابزار با افزایش زاویه تمایل افزایش می یابد (Chi and Kushwaha, 1990)

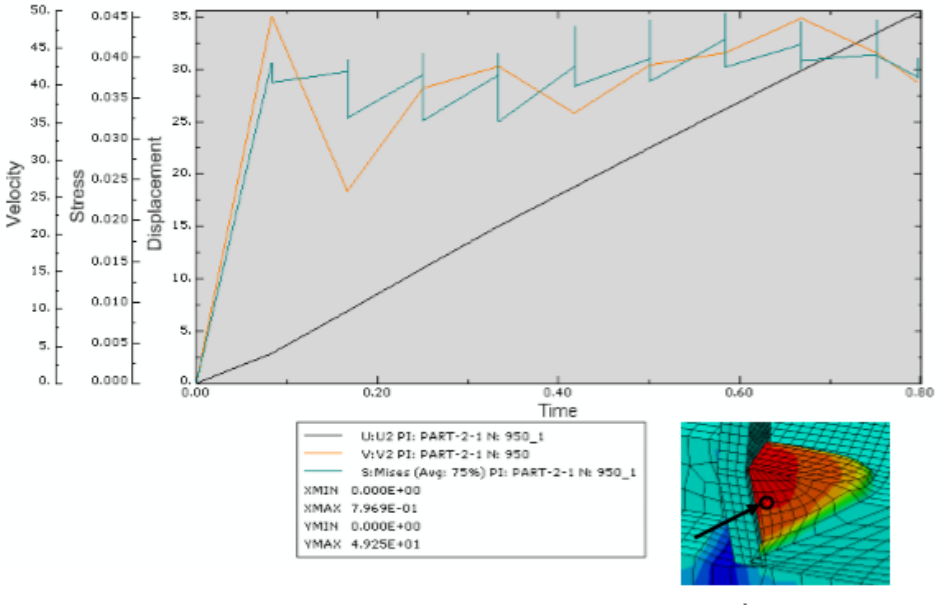


شکل ۵– توزیع جابه جایی خاک و ابزار در راستای x.



شکل ۶– توزیع تنش Von Mises در مدل.

در شکل ۷ نمودار تنش، سرعت و جابه جایی (در جهت عمود بر راستای حرکت) برای یک نقطه از خاک جلوی ابزار نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود کلیه عوامل با افزایش زمان افزایش می یابند هر چند این افزایش در رابطه با سرعت به صورت یکنواخت صورت نمیگیرد اما به طور کل روند افزایش داشته است. می توان گفت سرعت ذره ابتدا یک افزایش چشمگیر داشته و پس از حرکت و شکست خاک این میزان کاهش داشته است.



شکل۷- نمودار جابه جایی، سرعت و تنش برحسب زمان برای نقطه نشان داده شده (با فلش).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پروژه نشان داد که با کمک آنالیز اجزای محدود و نرم افزار ABAQUS به خوبی می توان رفتار خاک و هر نوع ابزاری را شبیه سازی نمود .

با تحلیل نوع فرآیند می توان نتیجه گرفت :

۱- فرض ایجاد صفحه شکست برای خاک یک فرض مناسبی بود .

۲- تحلیل به کمک حلگر دینامیکی برای این مسئله مناسب بود .

۳- فرض شکست موهر-کلمب به نظر می رسد برای اینگونه مسائل مناسب نبوده و بیشتر برای مسائل استاتیکی کاربرد دارد.

منابع و مآخذ

1- Abo-Elnor, M. Hamilton, R. & Boyle, J. T. 2003. 3D Dynamic analysis of soil-tool interaction using the finite element method. Journal of Terramechanics. Vol 40, 51-60.

2- Abo-Elnor, M. Hamilton, R. & Boyle, J. T. 2004. Simulation of Soil-Blade Interaction for Sandy Soil Using Adcanced 3D Finite Element Analysis. Soil and tillage research. Vol 75, 61-73.

3- Chi, L. & Kushwaha, R.L. 1990. A Non-linear 3-D finite element analysis of soil failure with tillage tools. Journal of Terramechanics. Vol 27 (4), 343-366.

4- Feilke, J. M. 1999. Finite element modeling of the interaction of the cutting edge of tillage implements with soil, Journal of Agricultural Engineering Research. Vol 74, 91-101.

5- Karmaker, S. kushwaha, R. L. & Laguë, C. 2007. Numerical modeling of soil stress and pressure distribution on a flat tillage tool using computational fluid dynamics. Biosystems Engineering. Vol 97, 407- 414.

6- Mouazen, A. M. & Neményi, M. 1999. Tillage Tool Design by the Finite Element Method: Part 1. Finite Element Modelling of Soil Plastic Behaviour. Journal of Agricultural Engineering Research. Vol 72, 37-51.

Three-dimensional analysis of the wide tillage blade by using finite element method

Abstract

Recently, numerical methods such as finite element method, is used to simulate the process of tillage. Further work in this field has been on static analysis of tillage problems. This method is able to simulate different shapes and dynamic effects of velocity. The purpose of this study was to obtain dynamic effects of tillage tools on soil by means of the finite element method. Therefore, the effect of moving of the wide tine on the soil were obtained by using Abaqus software. First, tillage tool and soil were simulated and properties of materials were defined for both. After assembling the various parts, the properties of interface between blade and soil were defined. Initial speed and final displacement along x-axis of blade was given 30 mm per second and 10 mm, respectively. The results of the analysis indicated that the highest soil upheaving was 3.91 mm in 5.74 mm of blade moving. Misses stress contour was the other obtained result, based on which the most stress in soil was observed at the contact region with blade tip.

Keywords: “Finite element method”, “Wide tine”, “Soil upheaving”.