تعیین نیروی کششی کولتیواتور با استفاده از روش اجزاء محدود سه‌بعدی پیشرفته

مقداد نصیری[۱]، اسعد مدر مطلق[۲]
۱ و ۲ – به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه
meghdad4275@gmail.com

۱- چکیده

داشتن شناخت صحیح از رفتار دینامیکی خاک می‌تواند به طراحی شکل‌های متنوعی از ابزار منجر شود که موجب کاهش نیروی کششی و انرژی در یک محدوده وسیعی از سرعت‌های مورد تقاضا می‌گردد.

در این تحقیق برای تعیین نیروی کششی کولتیواتور، از روش اجزاء محدود استفاده شده است. از آنجا که حرکت کولتیواتور در داخل خاک وابسته به زمان می‌باشد، نوع تحلیل دینامیکی فرض شده است. برای شبیه‌سازی برهم‌کنش تیغه و خاک، تعیین رفتار مدل خاک از اجزاء اساسی تحلیل به شمار می‌رود. در این بررسی، خاک به صورت یک ماده الاستیک کاملاً پلاستیک فرض شده است که از الاستیسیته خطی برای نشان دادن رفتار الاستیکی و مدل پلاستیسیته دراکر- پراگر[۱] برای نشان دادن رفتار پلاستیک خاک استفاده شده است. از نرم افزار ABAQUS برای شبیه‌سازی برهم‌کنش کولتیواتور و خاک استفاده شده است. خاک انتخاب شده برای بررسی حاضر، خاک منطقه پردیس نازلوی دانشگاه ارومیه است که پارامترهای کولمبی آن توسط آزمایشگاه مکانیک خاک استان آذربایجان غربی تعیین گردید. دراین تحقیق، اثرات سرعت حرکت در عمق ۱۵ cm در میزان نیروی کششی مورد نیاز برای حرکت کولتیواتور تعیین شده است.

در نهایت نیروی کششی مورد نیاز برای حرکت کولتیواتور در سرعت‌های مختلف توسط روش المان محدود تعیین و با آزمایشات مزرعه‌ای و مدل هندریک مقایسه شده است. نتایج المان محدود نزدیکی قابل قبولی با نتایج مزرعه‌ای داشت اما نسبت به روابط هندریک دارای مقادیر بسیار کمتری بود.

واژه‌های کلیدی: نیروی کششی، برهم‌کنش کولتیواتور و خاک، تحلیل دینامیکی، روش اجزاء محدود

1- Drucker and Prager

۲- مقدمه

تاکنون مدل‌های متفاوتی برای شبیه‌سازی برهم‌کنش تیغه و خاک ارائه شده است، اما به علت نادیده گرفتن برخی پارامترهای موثر در این مدلها، تحقیقات برای ارائه یک مدل کاملتر جهت غلبه بر مشکلات مدل‌های کنونی در حال مطالعه و توسعه می‌باشد. به عنوان مثال، روشهای تحلیلی قادر به محاسبه تمامی جنبه‌های شرایط واقعی یک عمل خاکورزی به عنوان یک فرایند دینامیکی نمی‌باشند. نتایج تجربی دارای پاسخ‌های کاملاً واضح و قطعی هستند، اما دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشند:

- به خاطر ابزار مورد استفاده در ثبت دقیق داده‌ها، بسیار گران می‌باشند.
- ممکن است نتایج به دست آمده از این روش، محدود به سرعت‌ها و عمق‌های معینی از برش باشند.
- دقت نتایج به دست آمده نیز بستگی به وسایل اندازه‌گیری دارد.
- روش‌های تجربی را نمی‌توان در هر زمان و مکانی استفاده نمود. همچنین این نتایج تنها در ناحیه مورد آزمایش معتبرند.

هندریک[1] در سال ۱۹۸۸ نیروی کششی گاوآهن‌های قلمی و کولتیواتورهای مزرعه در خاک سخت را موقعی که تیغه‌ها در عمق ۸/۲۶ سانتی‌متر با سرعت پیشروی ۳-۱/۵ متر بر ثانیه کار می‌کردند به دست آورده و به صورت روابط زیر گزارش نمود:

لومی (ساسکاچون): Draft (N) = 520 + 49.2 S (۱)

لومی رسی (ساسکاچون): Draft (N) = 480 + 48.1 S (۲)

رسی (ساسکاچون): Draft (N) = 527 + 36.1 S (۳)

و در عمق d:

$$N = N_{8.26}\left(\frac{d}{8.26}\right)^2 \quad (٤)$$

که در آن $N_{8.26}$ کشش در عمق ۸.۲٦ سانتی‌متر، d عمق کار به سانتی‌متر، S سرعت ابزار برحسب متر بر ثانیه و N کشش ابزار بر حسب نیوتن می باشد (بابایی، ۱۳۸۷).

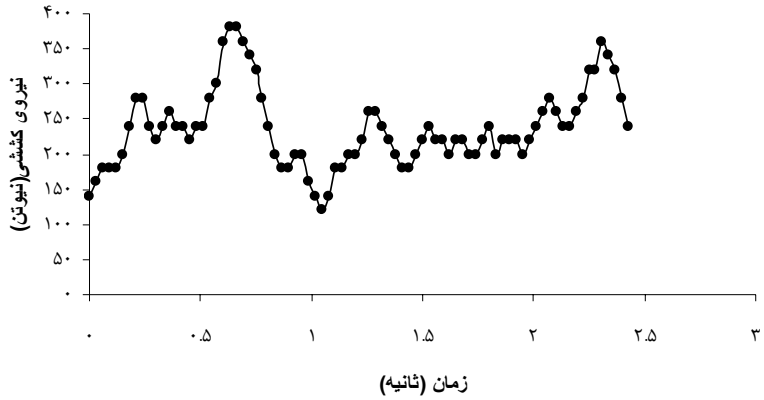
صفدری در سال ۱۳۸۷ به تحلیل مکانیکی و دینامیکی بازوی کولتیواتور با استفاده از روش المان محدود پرداخت. برای این کار نیروی کششی وارد بر بازوی کولتیواتور را در سه سرعت ۰/۸۸، ۱/٦ و ۲/۵ متر بر ثانیه در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری کرد و نمودار نیرو- زمان آن را رسم نمود. نتایج این اندازه‌گیری نشان داد میانگین

1- Hendrik

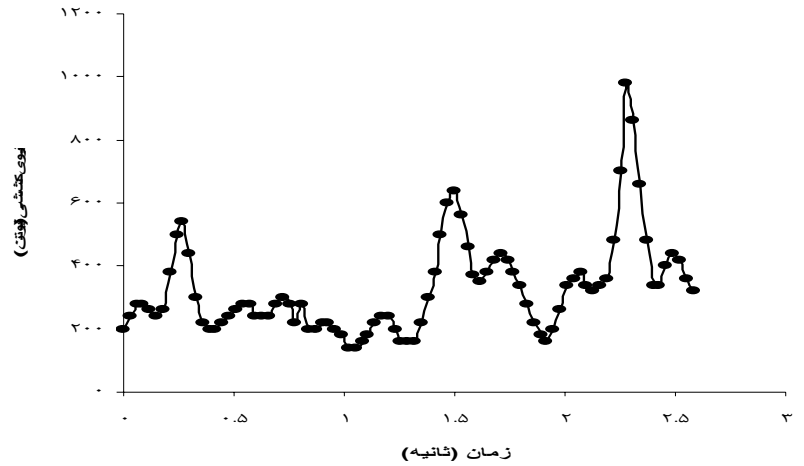
نیروی کششی در سرعتهای ۰/۸۸، ۱/٦ و ۲/۵ متر بر ثانیه به ترتیب برابر ۲۳٤/۷۷، ۳۲۵ و ٦۵۵/۰۵ نیوتن بوده است (صفدری، ۱۳۸۷). نتایج نشان‌دهنده افزایش نیرو همزمان با افزایش سرعت است. مشخصات بازوی کولتیواتور در جدول شماره (۱) آمده است. نمودارهای ۱، ۲ و ۳ به ترتیب منحنی های نیرو- زمان در سرعتهای ذکر شده را نشان می‌دهد. مشخصات نیرو های کششی بازوی کولتیواتور در سرعتهای مختلف نیز در جدول شماره (۲) آمده است.

جدول۱- مشخصات بازوی کولتیواتور

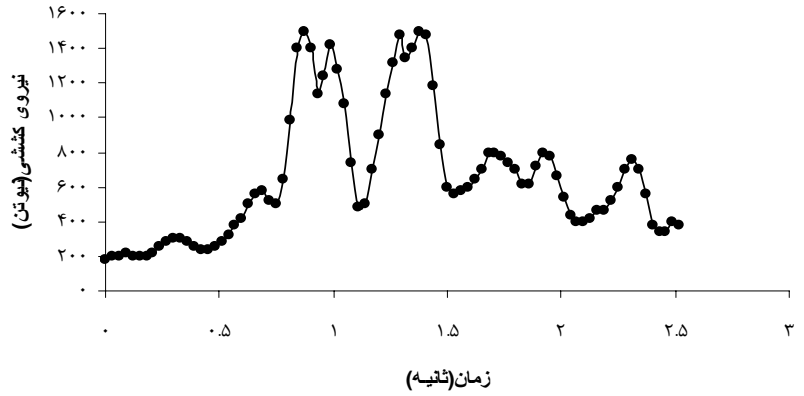
چگالی (ρ)	۷۸۸۰kg/m^3
مدول الاستیسیته (E)	۲۰۰GPa
گشتاور لختی سطح مقطع (I)	٦۹.۳۷× ۱۰-۹ m^4
طول بازو (L)	۰/۷۳ m
سطح مقطع بازو (A)	۰/۰۲۵٤ m^2
ارتفاع شاسی تا زمین	۵۰cm



نمودار ۱- منحنی تغییرات نیروی کششی نسبت به زمان در سرعت ۸۸/. متر بر ثانیه



نمودار ۲- منحنی تغییرات نیروی کششی نسبت به زمان در سرعت ۱/٦ متر بر ثانیه



نمودار ۳- منحنی تغییرات نیروی کششی نسبت به زمان در سرعت ۲/۵ متر برثانیه

جدول۲- مشخصات نیرو های کششی بازوی کولتیواتور در سرعتهای مختلف

مشخصات نیروها				
سرعت	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	انحراف معیار
۲/۵ متر برثانیه	۱٤۸۰	۱۸۰	٦۵۵/۰۵	۳۸۱/٦۹
۱/٦ متر بر ثانیه	۱۰٦۰	۱۸۰	۳۲۵	۱۲۷/۰٦
۸۸/ ۰ متر بر ثانیه	۳۸۰	۱۲۰	۲۳٤/۷۷	۵۹/٤۹

اخیراً با افزایش توان کامپیوترها و پیشرفت مدل‌های ارائه شده برای نشان دادن رفتار خاک، روش‌های عددی از جمله روش المان محدود یک برتری نسبی در تحلیل فاکتورهای موثر بر برهم‌کنش تیغه و خاک نشان می‌دهد.

شایان ذکر است که روش المان محدود روشی حرفه‌ای بوده که استفاده کنندگان از آن باید از دانش بالایی در زمینه ریاضیات و علوم کامپیوتر برخوردار باشند.

مطالعات انجام شده به روش المان محدود از سال ۱۹۷۷ به بعد در حالت دو بعدی در بعد وسیعی انجام گرفته است ولی مطالعات انجام شده در حالت سه بعدی محدود به جابه‌جایی بسیار کم تیغه در خاک بوده است و در بعضی مطالعات نیز برخی ساده‌سازی‌ها مانند انجام تحلیل شبه استاتیکی مسئله و عدم در نظر گرفتن تغییر شکل‌های بزرگ مشاهده می‌شود (موتاز، ۲۰۰۳ و ۲۰۰٤).

از آنجا که ابزار باریک از مهمترین ادوات مصرف کننده انرژی بعد از تیغه‌های پهن خاکورزی به شمار می‌روند و با توجه به افزایش کاربرد ابزارهای باریک در فرایند خاکورزی، تجزیه و تحلیل برهم‌کنش این ابزار با خاک ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به گفته‌های فوق، از آنجا که روش‌های تجربی گران بوده و روش‌های تحلیلی نیز قادر به نمایاندن تمامی جنبه‌های فرایند دینامیکی برهم‌کنش تیغه و خاک نمی‌باشند، در این تحقیق سعی شده تا با استفاده از نرم افزار ABAQUS، یک تحلیل دینامیکی برهم‌کنش کولتیواتور و خاک برای خاک منطقه پردیس نازلوی دانشگاه ارومیه انجام گیرد.

۳- مواد و روشها

در این تحقیق از خصوصیات خاک منطقه نازلوی ارومیه برای شبیه سازی بر هم‌کنش خاک و تیغه برای اندازه‌گیری نیروی کششی کولتیواتور مورد استفاده قرار گرفته است. خصوصیات خاک مورد آزمایش در آزمایشگاه مکانیک خاک آذربایجان غربی تعیین شد. بافت خاک شامل ٤٨/٥ درصد رس، ٣٠/٦ سیلت و ٢٠/٩ شن بوده که با استفاده از مثلث تعیین بافت خاک، در محدوده خاک‌های رسی قرار می‌گیرد.

انرژی مورد نیاز برای ادوات خاکورزی نسبت مستقیمی با نیروی کششی ابزار دارد. تخمین درست نیروی کششی، برای طراحی و بهینه‌سازی ادوات خاکورزی با استفاده از روش المان محدود، امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

مطالعات انجام شده در زمینه بر هم کنش تیغه وخاک، اغلب برای پیش بینی نیرو در خاکها، ابزار و شرایط متفاوت کاری (سرعت، عمق کاری و نوع ابزار) انجام شده است. مطالعات انجام شده عمدتاً به سه صورت تجربی، تحلیلی و روش المان محدود صورت گرفته است. در این تحقیق نتایج به دست آمده از روش المان محدود با دو روش تجربی مقایسه می‌گردد. نیروی کششی مورد نیاز برای کولتیواتور در یک عمق ثابت ۱۵ سانتی‌متری و سرعت-های ۰/۸۸، ١/٦ و ۲/۵ متر بر ثانیه تعیین شده است. علت انتخاب این سرعت‌ها، مقایسه نیروی کششی مورد نیاز کولتیواتور با آزمایشات تجربی صفدری و روابط هندریک می‌باشد.

۳-۱- مدل انتخاب شده برای نشان دادن رفتار خاک :

المان محدود غیرخطی در مکانیک خاک مربوط به رفتار غیرخطی مواد (رابطه بین تنش و کرنش) یا رفتار هندسی (تغییر شکل‌های بزرگ) یا ترکیبی از این دو می‌باشد (سویو، ۲۰۰٦). در بیشتر مطالعات انجام شده برهم‌کنش تیغه و خاک، رفتار الاستیک کاملاً پلاستیک برای خاک در نظر گرفته شده و از سطوح تسلیم و تابع پتانسیل دراگر- پراگر استفاده شده است. از آنجا که فقط پارامترهای کولمبی و الاستیک خاک در دسترس می‌باشد، در این بررسی نیز برای نشان دادن رفتار خاک از مدل الاستیک کاملاً پلاستیک استفاده شده است. همچنین از مدل دراگر- پراگر برای نشان دادن رفتار خاک در برهم‌کنش تیغه و خاک استفاده شده است.

۳-۲- فرضیات به کار گرفته شده در این تحقیق

برای تحلیل عددی برهم‌کنش کولتیواتور و خاک برخی فرضیات به صورت زیر در نظر گرفته شده است :

۱- ابزار باریک در یک عمق ثابتی از خاک با یک سرعت ثابت حرکت می‌کند.

۲- در مکانیک خاک تشخیص دگرچسبی از اصصکاک تقریباً غیر ممکن است. لذا در این بررسی از دگرچسبی بین خاک و ابزار صرف نظر شده و فقط اصطکاک بین خاک و ابزار در نظر گرفته شده است.

۳- از تأثیر فشار وارده از طرف سیال داخل خاک صرف نظر شده است.

٤- خاک به صورت ماده‌ای همگن و بافت خاک در لایه‌های مختلف یکنواخت فرض شده است.

۳-۳- روش المان محدود:

هنگامی که یک سازه یا ابزار برش خاک دارای نسبت عرض به عمق کمتر از ۱۰ باشد (ابزار باریک)، استفاده از تحلیل دو بعدی برای بررسی این ابزار ضعیف خواهد بود، چرا که خاک علاوه بر اینکه به سمت بالا حرکت می‌کند، مقدار قابل توجهی از آن به کناره های لبه تیغه حرکت خواهد کرد (مکیز، ۱۹۸۵). در نتیجه یک تحلیل دو بعدی نمی تواند اثرات حرکت خاک به کناره ها را تشریح نماید، بنابراین از یک مدل سه بعدی برای شبیه سازی برهم کنش تیغه وخاک استفاده شده است. شرایط مرزی انتخابی با استفاده از بررسی های قبلی که در این زمینه انجام شده است، صورت گرفته است.

۳-٤- تحلیل دینامیکی انتخاب شده :

از آنجا تحقیق حاضر یک بررسی دینامیکی از برهم‌کنش خاک و تیغه می‌باشد، نوع تحلیل انتخاب شده نیز باید دینامیکی باشد. در خاک‌های کشاورزی تغییر شکل‌های بزرگ اتفاق می‌افتد در نتیجه در این تحقیق از انتگرال‌گیری مستقیم استفاده شده است.

۳-۵- تعریف برهم‌کنش تیغه و خاک :

در این بررسی از الگوریتم پنالتی برای تعریف تماس بین سطوح کولتیواتور و خاک استفاده شده است. خصوصیات خاک در جدول شماره (۳) آمده است.

۳-٦- گسسته‌سازی مدل هندسی

نخستین مرحله در روش اجزا محدود، گسسته سازی میدان و یا جسم به المان‌های کوچکتر می باشد. این کار معادل آن است که یک سیستم با تعداد درجات آزادی محدود جایگزین سیتمی با تعداد درجات آزادی نامحدود شود. شکل، اندازه، تعداد و ترتیب المانها باید با دقت خاصی انتخاب گردند، بطوریکه شبیه‌سازی جسم اصلی یا میدان، بدون افزایش محاسبات و عملیات کامپیوتری لازم برای حل، با دقت هر چه بیشتر صورت گیرد(مجذوبی، ١٣٧٦).

١- **نوع المان:** در اغلب موارد المانهای مورد استفاده تنها با استفاده از فیزیک مسئله مشخص و تعیین می‌گردد. در مسئله برهم‌کنش بین تیغه و خاک نمی‌توان کل خاک را توسط المانهای محدود مدل‌سازی نمود. از آنجا که تأثیر بارگذاری تیغه بر روی خاک با افزایش مسافت محل تأثیر تیغه کاهش می‌یابد، کل خاک مدل‌سازی نشده و فقط قسمتی از خاک که تیغه در آنجا بیشترین تأثیر را دارد مدل‌سازی شده است. به تبع مدل هندسی سه بعدی باید از المان‌های سه بعدی برای گسسته‌سازی مدل هندسی استفاده شود. در این تحقیق برای شبکه‌بندی خاک و کولتیواتور از المان سه بعدی شش‌وجهی که هشت گره در هشت گوشه آن می‌باشد استفاده شده است. این المان نسبت به المان چهار وجهی که وجوه آن مسطح و دارای چهار گره در چهار گوشه آن می-باشد دارای جوابهای دقیق‌تری بوده ولی به نیاز به زمان بیشتری برای انجام محاسبات توسط کامپیوتر دارد. ابعاد مدل خاک نیز در جدول شماره (٤) آمده است.

٢- **اندازه وتعداد المانها**: اندازه المانها بطور مستقیم بر روی همگرایی جواب مسئله تأثیر می‌گذارد، بنابراین باید در انتخاب آن دقت نمود. اگر اندازه المانها کوچک باشد، جواب نهایی از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود اما باید به خاطر داشته باشیم که استفاده از المانهای کوچکتر زمان محاسبات را افزایش می‌دهد. ممکن است در برخی مواقع در یک جسم معین از المانها با اندازه متفاوت استفاده شود. در این تحقیق مدل‌سازی بر مبنای روش موتاز و همکاران انجام شده است که در این مدل در نزدیکی تیغه و سطوح خرابی قابل پیش‌بینی از شبکه‌بندی ریزتری استفاده شده است. شکل‌های (١و٢) شبکه-بندی کولتیواتور و خاک و جدول شماره (٥) تعداد المان‌ها و گره‌های خاک و تیغه را نشان می‌دهد.

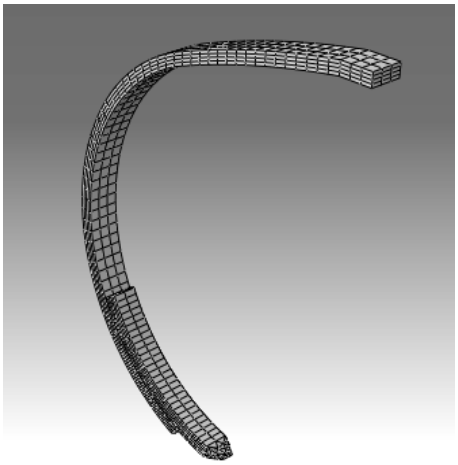
جدول ٣- خصوصیات کولمبی خاک

$\delta(°)$	ν	E(MPa)	$C(kpa)$	$\phi(°)$
٢٣	٠.٤	٣	٢١	٣١

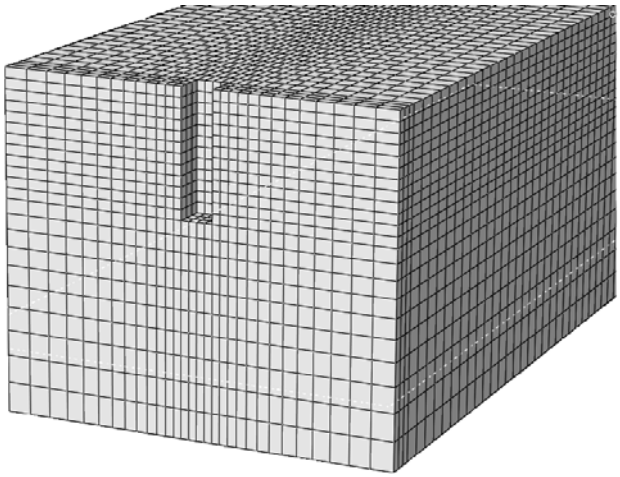
جدول ٤- ابعاد اصلی مدل برهم کنش تیغه وخاک

L(cm)	h(cm)	d(cm)	w(cm)
٢٠٠	٤٠	١٥	٥٠

L :طول نمونه خاک، h: ارتفاع نمونه، d : عمق برش، w: عرض نمونه خاک



شکل ۱- شبکه‌بندی کولتیواتور



شکل ۲- بخشی از شبکه‌بندی خاک

جدول ۵- تعداد المانها وگره های در نظر گرفته شده خاک و تیغه

	کولتیواتو	خاک
تعداد المان	۱۹۱۵	٤۱۹۵۹
تعداد گره	۱۱۹۱	۳۸۱۳٦

۳-۷- شرایط مرزی

مفهوم فیزیکی اعمال شرایط مرزی بر مدل هندسی در مسائل مکانیک جامدات آنست که جسم یا سازه بارگذاری شده می‌تواند آزادانه تحت حرکت نامحدود جسم صلب قرار گیرد، مگر آنکه قیدهای تکیه‌گاهی برای نگهداری جسم یا سازه بارگذاری شده در تعادل، بر آن اعمال کنیم. بنابراین در مسائل المان محدود قبل از متغیر میدان باید تعدادی شرایط مرزی و تکیه‌گاهی برای مسئله تعریف شود (مجذوبی، ۱۳۷٦).

۱- گره های پایینی در $y=0$ کاملاً مقید شده اند.

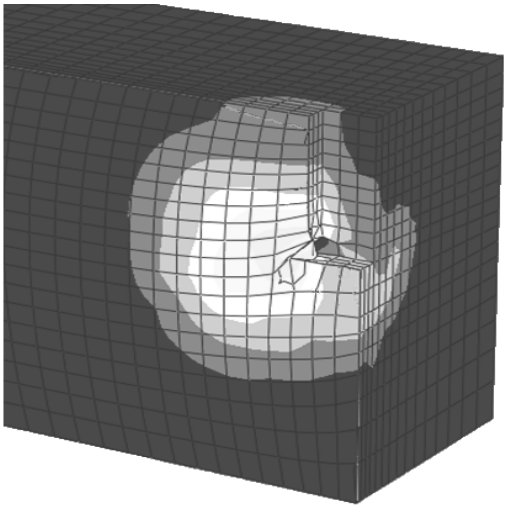
۲- گره های مرزهای عمودی موازی با صفحه x-y در $z=0$ و $z=L$ در جهت افقی محور z مقید شده اند.

۳- گره‌های مرزهای عمودی موازی با صفحه y-z در $x=0$ و $x=w$ در جهت جانبی محور x مقید شده‌اند.

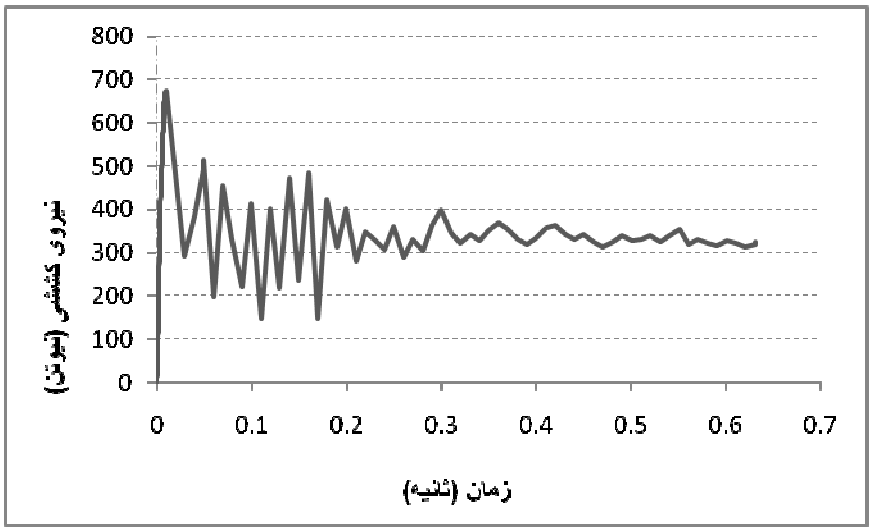
٤- تیغه نسبت به هرگونه چرخش و در جهت x و y مقید شده است اما آزادانه می‌تواند در جهت z جابه‌جا شود.

٤- نتایج حاصل از المان محدود:

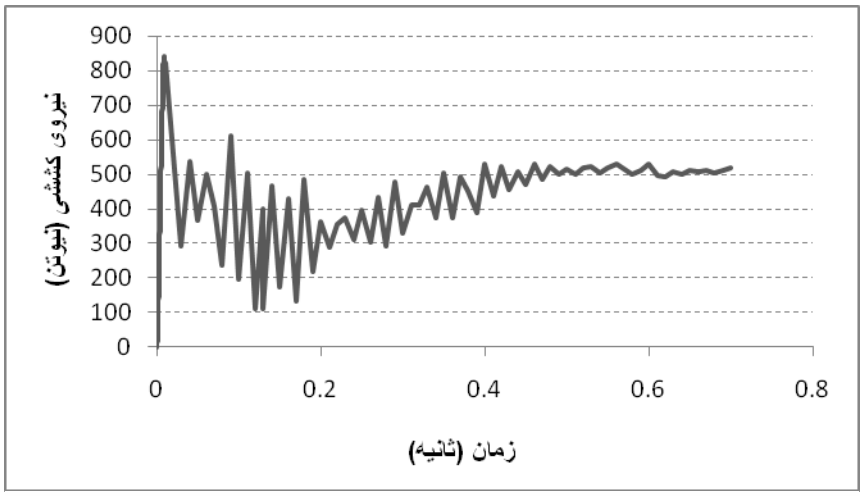
برهم‌کنش پنترومتر و خاک در نرم‌افزار ABAQUS شبیه‌سازی شده و نمودار نیروی کششی- زمان برای سه سرعت ۰/۸۸، ۱/٦ و ۲/۵ متر بر ثانیه رسم گردید (نمودارهای شماره ٤، ۵ و ٦). برای به دست آوردن نیروی مورد نیاز برای کشیدن کولتیواتور در خاک، نیروی وارده از طرف کولتیواتور بر خاک تعیین شده که دارای مقادیر منفی می‌باشد، لذا این مقادیر در عدد ۱- ضرب گردید تا نیروی کششی کولتیواتور به دست آید. در تماس کولتیواتور با خاک به دلیل سرعت اولیه و نیروی اینرسی اولیه‌ای که در کولتیواتور ذخیره شده است، نیروی حاصل از برخورد تیغه و خاک در زمان کوتاهی پس از برخورد، به یک مقدار بیشینه می‌رسد که این امر باعث ارتعاش کولتیواتور و نوسان نیروی کششی می‌گردد. با گذشت زمان این نوسان کمتر شده و به مقادیر مشخصی میل می‌کند. تنش‌های وارده به خاک در شکل (۳) نشان داده شده است.



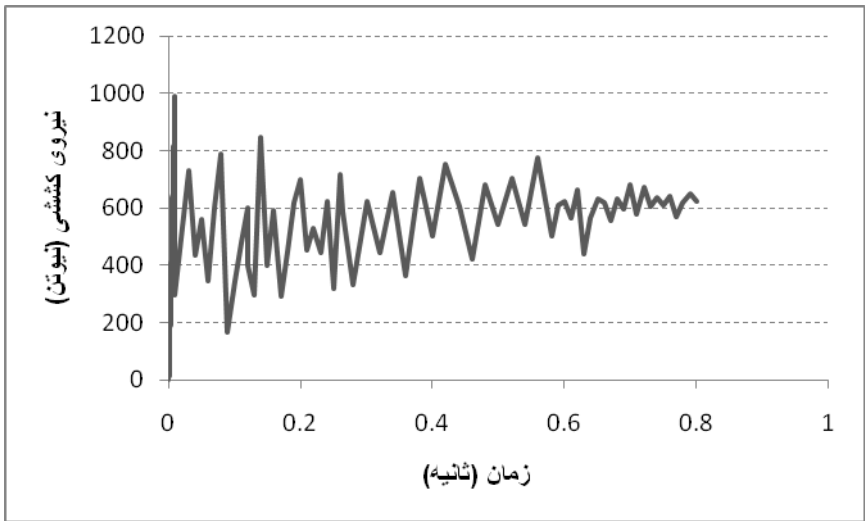
شکل ۳- تنش‌های وارده به خاک



نمودار ٤- نمودار نیروی کششی- زمان در سرعت ۰/۸۸ متر بر ثانیه



نمودار ٥- نمودار نیروی کششی- زمان در سرعت ۱/٦ متر بر ثانیه



نمودار ٦- نمودار نیروی کششی- زمان در سرعت ۲/٥ متر بر ثانیه

۵- بحث و نتیجه‌گیری:

با توجه به روابط شماره ۳ و ٤ هندریک، نیروی کششی برای خاک رسی در سرعت‌های ۰/۸۸، ۱/٦ و ۲/۵ متر بر ثانیه و در عمق ۱۵ سانتی‌متر به ترتیب برابر با ۱۸۲٤/٦۹، ۱۹۲۸/٤۱ و ۲۰۳۵/۵۵ نیوتن به دست می‌آید. با مقایسه این مقادیر با نتایج المان محدود، همانطور که از نمودارهای حاصل از المان محدود مشهود است، نیروی کششی بعد از چند نوسان به مقادیر مشخصی میل می‌کند که بسیار کمتر از مقادیر روش هندریک می‌باشد. دلیل این اختلاف را می‌توان متفاوت بودن بافت خاک‌ها و شرایط آزمایشات بیان کرد. همچنین آزمایش هندریک در خاک‌های سخت انجام گرفت که نیاز به نیروی کششی زیادی داشت.

نتایج المان محدود نزدیکی بیشتری با نتایج آزمایشات صفدری نشان می‌دهد. در کل نتایج المان محدود دارای مقادیری بیشتر از نتایج صفدری می‌باشد اما در بعضی نقاط نتایج مزرعه‌ای بیشتر از المان محدود است که ممکن است به دلیل وجود سنگ، کلوخه، فشردگی موضعی خاک و یا ریشه گیاهان باشد.

منابع:

۱- صفدری، س. ۱۳۸۷. آنالیز دینامیکی و مکانیکی بازوهای کولتیواتور تحت شرایط کاری به روش اجزاء محدود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ارومیه.

۲- بابایی، م. ۱۳۸۷. شبیه‌سازی دینامیکی برهم‌کنش تیغه و خاک در تیغه‌های باریک با استفاده از المان محدود سه-بعدی پیشرفته. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ارومیه.

۳- مجذوبی، غلامحسین. فریبا، فرزاد. ۱۳۷٦. روش اجزاء محدود در مهندسی. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان.

4- McKyes,E.1985.Soil Cutting and Tillage. Amsterdan, the Netherlands: Elsevier.

5- Mootaz Abo-Elnor , R. Hamilton , J.T.Boyle. 2003. Simulation of soil-blade interaction for sandy soil using advanced 3D finite element analysis. Soil and Tillage Research 75 61-73.

6- Mootaz, A.M and Hamilton, R and Boyle, J.T.2004. Simulation of Soil-Blade Intraction for Sandy Soil Using Advanced 3D Finite Element Analysis. Soil and Tillage Research, Volume 75, Issu 1, pages 51-62.

7- Sui Yu, A. 2006. Plasticity and Geothecnics. University of Nottingham, UK, Springer.

Abstract

Having true understanding from soil dynamic behavior can cause to designing various shapes from tools that cause to decreasing draft and energy in wide range from requisite speeds.

In this reaserch used of Finite Element Method for determination draft of cultivator. According to cultivator movement inside soil depend on time, type of analysis is assumed dynamical. In this study assumed the soil material as elastic perfectly plastic that linear elastic to represent elastic behavior Drucker and Prager to represent plastic behaveior is used. The package of finite element method, ABAQUS, is used for simulation interaction cultivator and soil. The selected soil for present study is soil of Pardis Nazloo area of Urmia university that its coulomb parameters determined by Mechanical soil laboratory of West azarbaijan province. In this research, The effects of speed motion in the depth of 15cm in requisite draft amount for cultivatorr movement is determined.

Finally, requisite draft for cultivator movement in different speeds by finiet element method determined and with farm experiments and Hendrik models is compared. Results of finite element method had acceptable similriaty with farm results but comparison with hendrik models had very little amounts.

Keywords: Draft, Interaction between cultivator and soil, Dynamic analysis, Finite element method.