

## آنالیز ارتعاش بازوهای خمیده C- شکل در حین عملیات خاک ورزی به روش

### اجزای محدود (۴۰۴)

سمیه صفدری<sup>۱</sup>، سید کاظم شهیدی<sup>۲</sup>، اسعد مدرس مطلق<sup>۳</sup>

#### چکیده

بررسی‌های متعدد نشان می‌دهد ابزارهایی که نیروهای افقی بر آن‌ها وارد می‌شود در یک حالت پربرودیک نوسان می‌کنند. این پدیده بر این نکته دلالت دارد که حرکت ابزار خاک ورز در حین عملیات خاک ورزی در واقع یک پدیده نوسانی است. از آنجایی که این نوسان ابزار به وسیله مقاومت خاک به وجود می‌آید به آن نوسان خود واداشته گویند. یک مدل اجزای محدود برای شبیه‌سازی پاسخ جابجایی، سرعت و شتاب بازوی خمیده C- شکل در هنگام اعمال نیروی مقاومت خاک به انتهای آن ایجاد گردید. نتایج نشان داد که تعداد نوسانات بازوی خمیده C- شکل از تعداد نوسانات بازوی مستقیمی که دارای طول و خصوصیات فیزیکی مشابه با آن می‌باشد، در یک بازه زمانی معین بیشتر است.

**کلیدواژه:** ارتعاش، بازوی خمیده C- شکل، بازوی مستقیم، المان محدود

<sup>۱</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه، پست الکترونیک: somayyehsafdari@yahoo.com

<sup>۲</sup> - استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

<sup>۳</sup> - استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

## مقدمه

خاکورزی یک عمل اساسی در فرآیند تولید محصولات کشاورزی است. هدف از خاکورزی صحیح فراهم کردن محیط مناسب برای جوانه زدن بذر، رشد ریشه، کنترل علف هرز، کنترل فرسایش خاک و کنترل رطوبت است. قسمت اعظم مصارف انرژی در یک عملیات کشاورزی به حرکت خاک بوسیله ادوات خاکورزی مربوط است. اگر چه عمق کار ابزار به ندرت از ده سانتی متر تجاوز می کند ولی سطوح خاکورزی شده بزرگ بوده و مقدار خاک جابجا شده در هر سال بسیار زیاد است [5]. به خاطر هزینه های بالای انرژی، ضررهای مربوط به اصطکاک و سایش تلاش برای حفظ انرژی در عملیات کشاورزی رو به گسترش است. هریک از شیوه های خاکورزی که نتواند هزینه های اعمال شده را بوسیله بهبود شرایط خاک جبران کند بایستی حذف یا تغییر داده شود. بررسی عکس العمل وسیله و ابزار آشکار می سازد که همه ابزار خاکورزی شامل یک وسیله ای برای بکار بردن فشار به خاک می باشد که اغلب به وسیله یک صفحه مورب یا گوه و یا ترکیبی از آنها است. خاکی که در مسیر این ابزار می باشد در معرض تنش های فشاری می باشد که به شکست برشی خاک منتج خواهد شد. از آنجایی که خاک در مقابل فشار مقاومت زیادی دارد کاملاً آشکار است که ابزار خاکورزی انرژی زیادی برای تغییر دادن شرایط خاک به خاک اعمال می کنند. حاصلخیزی هر چه بیشتر در عملیات کشاورزی تحقیق گسترده برای راههای هر چه موثرتر برش خاک و فرآیند جابجایی خاک را می طلبد. از بین روشهای اعمال انرژی روشهای زیر قابل توجه است.

۱- نوسان واداشته وسیله برش خاک

۲- تکنیکهای برش دوار

۳- تکنیکهای برش خاک با سرعت بالا

کشاورزان اولیه هنگامی که با یک شی سخت در خاک مواجه می شدند گاو آهن دامی خود را به سمت عقب و جلو به حرکت در می آوردند تا گاو آهن به سمت جلو حرکت کند. هدف عمده در به نوسان در آوردن گاو آهن، کاهش مقاومت برشی خاک به جای افزایش قدرت انسانی برای یک واحد جابجایی خاک است.

وسيله های خاکورزی مرسوم بطور معمول شامل ابزارهایی است که نسبت به قاب وسیله حرکت می کند و نیازهای انرژی آنها هنگامی که در تماس با خاک کار می کنند خیلی بالا است. قدرت لازم برای کار کردن این ادوات از طریق کشش وسیله انتقال داده می شود با این وجود این شیوه موجب فشردگی شدید خاک می شود که برای رشد موثر گیاه مضر است. تحقیقات مختلف نشان می دهد که ابزار نوسانی برش خاک نیازهای انرژی پایینی دارد و ذرات خاک نسبت به ادوات همانند غیر نوسانی نظیر گاو آهن برگردان دار و کواتیواتورهای پنجه غازی هنگامی که تحت شرایط یکسان کار می کند کوچکتر است. بنابراین یک ابزار برش خاک نوسانی تعداد عملیاتی که برای آماده کردن یک بستر بذر قابل قبول و مینم کردن فشردگی خاک مورد نیاز است را کاهش می دهد و از این رو محیط فیزیکی بهتری را برای رشد ریشه فراهم می کند [1].

بارهای وارد شده به یک وسیله خاکورز در حین عملیات خاکورزی باعث خمش بازوی آن می شود. مقاومت خاک که روی بازوی ابزار خاکورز عمل می کند بوسیله مکانیسم تغییر شکل که به انرژی کرنشی یا الاستیک معروف است در کل حجم تحت تنش ذخیره می شود.

محققان متعددی دریافته اند که ابزار خاکورزی که روی خاکهای کشاورزی عمل می کند با یکسری نوسانات پرپودیک مواجه می شود. این نوسانات بازوی خاکورزی را مجبور خواهد کرد نسبت به وسیله به سمت عقب و جلو حرکت کند. این پدیده بر این نکته دلالت دارد که عملیات خاکورزی واقعی با فرآیند نوسانی همراه است. از آنجایی که این نوسان بوسیله مقاومت خاک بوجود می آید به آن فرآیند نوسانی خود واداشته گویند [4], [7].

با این وجود مطالعات قبلی فقط به شناخت پدیده محدود بوده است. ژانگ<sup>1</sup> در سال ۱۹۹۸ مدل اجزای محدودی برای شبیه سازی پاسخ ارتعاشی بازوی خاکورزی تحت تاثیر مقاومت خاک ارائه کرد [8]. این تحقیق بر روی بازوهای مستقیم انجام گردید. در عملیات خاکورزی واقعی انواع دیگری از بازو به غیر از بازوهای مستقیم استفاده می شود. بازوی خمیده C- شکل یک نوع رایجی از بازوهای مورد استفاده در عملیات خاکورزی است ولی تاکنون هیچ تحقیق جامعی بر روی نوسان بازوهای خمیده C- شکل صورت نگرفته است.

<sup>1</sup> Zhang

هدف از تحقیق حاضر ارائه مدل اجزای محدود برای شبیه سازی پاسخ جابجایی، سرعت و شتاب بازوی خمیده C- شکل در هنگام اعمال مقاومت خاک در انتهای بازوی می باشد.

### مواد و روشها

هنگامی که یک وسیله خاکورزی در مزرعه کار می کند بارهایی که به آن وارد می شود موجب خمش بازوی خاکورز می شود. مقاومت خاک که روی بازوی ابزار خاکورز عمل می کند بوسیله مکانیسم تغییر شکل که به انرژی کرنشی یا الاستیک معروف است در کل حجم تحت تنش ذخیره می شود. انرژی ذخیره شده به محض کاهش یافتن مقاومت خاک آزاد می شود. بطور کلی مقاومت خاک در طی عملیات خاکورزی تغییر می کند. این نوسان مقاومت خاک بازوی وسیله خاکورزی را مطابق با مشخصات دینامیکی سیستم وادار به حرکت رو به جلو و عقب می کند. این پدیده بر این نکته دلالت دارد که عملیات خاکورزی واقعی یک فرآیند نوسانی می باشد.

مسائل دینامیک سازه ها به دو گروه تقسیم می شوند. در گروه اول هدف بدست آوردن فرکانس طبیعی نوسان و شکل مودهای آن است که در آن فرکانس طبیعی سازه را با فرکانس برانگیزش مقایسه می شود در گروه دوم هدف بررسی حرکت سازه تحت تاثیر بار اعمالی می باشد. در این تحقیق چگونگی حرکت بازو خمیده C- شکل تحت تاثیر بار اعمالی توسط نرم افزار انسیس<sup>1</sup> بررسی می شود.

معادلاتی که پاسخ دینامیکی سازه را مشخص می کند بوسیله محاسبه کار نیروهای خارجی بدست می آید. برای یک المان تعادل کار عبارت است از [3]:

(۱)

$$\int \{\delta u\}^T \{F\} dV + \int \{\delta u\}^T \{\Phi\} dS + \sum_{i=1}^n \{\delta u\} \{P\}_i = \int (\{\delta \varepsilon\}^T \{\sigma\} + \{\delta u\}^T \rho \{\ddot{u}\} + \{\delta u\}^T \kappa_d \{\dot{u}\}) dV$$

که  $\{\delta u\}$  و  $\{\delta \varepsilon\}$  به ترتیب جابجایی و کرنش های منتجه و  $\{F\}$  نیرو های بدنی و  $\{\Phi\}$  کششهای سطحی و  $\{p_i\}$  بارهای تمرکز یافته  $\{\delta u\}_i^T$  جابجایی نقطه ای است که در آن نقطه بار  $\{p_i\}$  به کار برده شده است.  $\rho$  چگالی جرمی مواد و  $\kappa_d$  ضریب میرایی می باشد.

$$\{u\} = [N]\{d\} \quad \{\dot{u}\} = [N]\{\dot{d}\} \quad \{\ddot{u}\} = [N]\{\ddot{d}\} \quad (۲)$$

در معادله ۲ تابع شکل  $[N]$  تابعی از مکان و درجه آزادی گره بوده و  $\{d\}$  تابعی از زمان است. نتیجه ترکیب معادله ۱ و ۲ به صورت زیر است.

(۳)

$$\{\delta d\}^T \left[ \int [B]^T \{\sigma\} dV + \int_{V_e} \rho [N]^T [N] dV \{\ddot{d}\} + \int_{V_e} \kappa_d [N]^T [N] dV \{\dot{d}\} - \int_{V_e} [N]^T \{F\} dV - \int_{S_e} [N]^T \{\Phi\} dS - \sum_{i=1}^n \{P\}_i \right] = 0$$

از آنجاییکه  $\{\delta d\}$  مقداری اختیاری است بنابراین معادله ۳ می تواند به صورت زیر نوشته شود:

<sup>1</sup> Ansys 10



$$[m]\{\ddot{d}\} + [c]\{\dot{d}\} + \{r^{int}\} = \{r^{ext}\} \quad (4)$$

و ماتریس جرم والمان به صورت زیر نوشته می شود:

$$[m] = \int_{V_e} \rho [N]^T [N] dV \quad (5)$$
$$[c] = \int_{V_e} \kappa_d [N]^T [N] dV$$

بردار نیروهای داخلی و بار خارجی به صورت زیر می باشد:

$$\{r^{int}\} = \int_{V_e} [B]^T \{\sigma\} dV \quad (6)$$
$$\{r^{ext}\} = \int_{V_e} [N]^T \{F\} dV + \int_{S_e} [N]^T \{\Phi\} dS + \sum_{i=1}^n \{P_i\}$$

بردار نیروی داخلی، مقدار بار در گره ها را نشان می دهد. برای رفتار الاستیک خطی  $\{\sigma\} = [E][B]\{d\}$  و معادله (6) برابر خواهد بود با:

$$\{r^{int}\} = [k]\{d\} \quad (8)$$

در نتیجه:

$$[k] = \int_{V_e} [B]^T [E][B] dV \quad (9)$$

$$[m]\{\ddot{d}\} + [c]\{\dot{d}\} + [k]\{d\} = \{r^{ext}\} \quad (10)$$

به ترتیب نمایانگر ماتریس سختی، میرایی و جرم برای کل سازه می باشد که به طریق زیر محاسبه می شود.

$$[M] = \sum_{i=1}^n [m^{(i)}]$$

$$[K] = \sum_{i=1}^n [k^{(i)}]$$

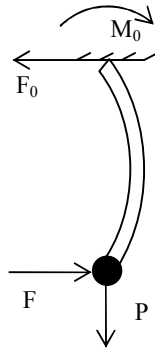
$$[C] = \sum_{i=1}^n [c^{(i)}]$$

$$\{R^{ext}\} = \sum_{i=1}^n \{r^{ext(i)}\}$$

در نتیجه معادله برای کل سازه به صورت زیر نوشته می شود.

$$(11) \quad [M]\{\ddot{d}\} + [C]\{\dot{d}\} + [K]\{d\} = \{R^{ext}\}$$

زمانی که وسیله خاکورز در مزرعه عمل می کند مقاومت برشی خاک به بازو منتقل می شود. مقاومت خاک به عنوان یک بار نقطه ای در نظر گرفته می شود که به انتهای بازو وارد می گردد، از این رو بازو می تواند به عنوان یک تیر خمیده که یک بار نقطه ای که بر انتهای آن وارد می شود در نظر گرفته شود. هم چنین در این بازو تیغه به عنوان یک جرم متمرکز در انتهای آن قرار داده شده است. شکل زیر دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر بازو را نشان می دهد.



شکل (۱): تصویر شماتیک بازوی خم ده C-شکل، نیروها و گشتاور وارد بر آن

بدست آوردن ماتریس سختی و جرم برای تیر خمیده

برای شبکه بندی تیر خمیده دو نوع المان می توان انتخاب کرد، المان خمیده و المان مستقیم. اغلب المانهای خمیده دقت کمتری نسبت به المانهای مستقیم دارند.

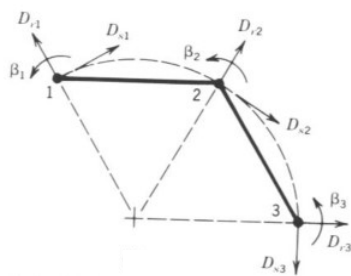
برای بدست آوردن ماتریس سختی برای المانهای مستقیم یک المان میله دو درجه آزادی با المان یک تیر ۴ درجه آزادی ترکیب می شود. از این رو با توجه به شکل زیر، معادله سختی المان برابر با مقدار زیر است [2].

$$\begin{bmatrix} [K_{bar}]_{2 \times 2} & [0]_{2 \times 4} \\ [0]_{4 \times 2} & [K_{beam}]_{4 \times 4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

ماتریس جرم و نیرو به صورت زیر می باشد. لازم به ذکر است که در تحلیل فوق از میرایی صرف نظر شده است. بنابراین ماتریس [C] محاسبه نشده است.

$$[M] = \rho Al \begin{bmatrix} \frac{13}{35} + \frac{6I}{5Al^2} & 0 & 0 & \frac{9}{70} - \frac{6I}{5Al^2} & 0 & \frac{13l}{420} - \frac{I}{10Al} \\ 0 & \frac{1}{3} & 0 & 0 & \frac{1}{6} & 0 \\ \frac{11l}{9} + \frac{I}{6I} & 0 & \frac{l^2}{105} + \frac{2I}{15A} & -\frac{13l}{420} + \frac{I}{10Al} & 0 & -\frac{l^2}{140} - \frac{I}{30A} \\ \frac{210}{70} - \frac{10Al}{6I} & 0 & \frac{13l}{420} - \frac{I}{10Al} & \frac{13}{35} + \frac{6I}{5Al^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{6} & 0 & 0 & \frac{1}{3} & 0 \\ \frac{9}{70} - \frac{6I}{5Al^2} & 0 & \frac{13l}{420} - \frac{I}{10Al} & \frac{11l}{210} + \frac{I}{10Al} & 0 & \frac{l^2}{105} + \frac{2I}{15A} \end{bmatrix}$$

کل طول بازو خمیده C- شکل که به عنوان یک تیر خمیده در نظر گرفته شده به ده المان مستقیم تقسیم شده است. در شکل (۲) چگونگی استفاده از المانهای مستقیم برای ایجاد تیر خمیده C- شکل نشان داده شده است. هم چنین خصوصیات بازو در جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل (۲): استفاده از المانهای مستقیم برای ایجاد تیر خمیده [3]

جدول (۱): مشخصات فیزیکی بازو

پارامتر	مقدار
چگالی ( $\rho$ ) ( $\frac{kg}{m^3}$ )	۷۸۰۰
مدول الاستیسیته ( $E$ ) (GPa)	۲۱۰
ممان اینرسی سطح مقطع ( $I$ ) ( $m^4$ )	$۶۹/۳۷ \times ۱۰^{-۹}$
طول بازو ( $L$ ) (m)	۰/۶۵
سطح مقطع بازو ( $A$ ) ( $m^2$ )	۰/۰۰۱۲۹
جرم متمرکز ( $m$ ) (kg)	۴/۵

در این تحقیق المانهای Beam3, mass structural23 موجود در نرم افزار انسیس مورد استفاده قرار گرفت.



راه حل وابسته به زمان آنالیز المان محدود  
راه حل بعدی معادله دیفرانسیل حرکت با استفاده از روش نیو مارک بدست می آید. روش نیو مارک به صورت زیر نوشته می شود  
[6].

(۱۲)

$$\begin{aligned}\dot{U}_{j+1} &= \dot{U}_j + \Delta t[(1-\gamma)\ddot{U}_j + \gamma\ddot{U}_{j+1}] \\ U_{j+1} &= U_j + \Delta t\dot{U}_j + (\Delta t)^2\left[\left(\frac{1}{2}-\beta\right)\ddot{U}_j + \beta\ddot{U}_{j+1}\right]\end{aligned}$$

روش نیومارک بر پایه فرض شتاب خطی مابین دو لحظه زمانی است. با استفاده از این روش لازم نیست که معادله دیفرانسیل مشخصه در همه زمانها ارضا شود، به جز در یک فاصله زمانی  $\Delta t$ .

معادله (۱۱) در زمانهای  $t_{j-1}$ ،  $t_j$  و  $t_{j+1}$  به صورت زیر است.

(۱۳)

$$M\ddot{U}_{j+1} + KU_{j+1} = F_{j+1}$$

(۱۴)

$$M\ddot{U}_j + KU_j = F_j$$

(۱۵)

$$M\ddot{U}_{j-1} + KU_{j-1} = F_{j-1}$$

روش نیومارک می تواند به صورت زیر نوشته شود.

(۱۶)

$$\dot{U}_j = \dot{U}_{j-1} + \Delta t[(1-\gamma)\ddot{U}_{j-1} + \gamma\ddot{U}_j]$$

(۱۷)

$$U_j = U_{j-1} + \Delta t\dot{U}_{j-1} + (\Delta t)^2\left[\left(\frac{1}{2}-\beta\right)\ddot{U}_{j-1} + \beta\ddot{U}_j\right]$$

در معادلات (۱۲) تا (۱۷) سه پارامتر جابجایی، سه پارامتر سرعت و سه پارامتر شتاب در زمانهای  $t_{j-1}$ ،  $t_j$  و  $t_{j+1}$  جزو مجهولات هستند. از شرایط اولیه مقادیر  $U_0$  و  $\dot{U}_0$  معلوم بوده و دیگر پارامترها مجهول می باشد. با حل کردن معادلات (۱۲) تا (۱۷) عبارت  $U_{j+1}$  بر حسب  $U_j$  و  $U_{j-1}$  در هر بازه زمانی  $\Delta t$  به صورت زیر تعیین می گردد.

(۱۸)

$$AU_{j+1} = BU_j + CU_{j-1} + \bar{F}$$

که در این عبارت

(۱۹)

$$A = M + \beta(\Delta t^2)K$$

(۲۰)

$$B = 2M - (\Delta t^2) \left( \frac{1}{2} - 2\beta + \gamma \right) K$$

(۲۱)

$$C = -M - (\Delta t^2) \left( \frac{1}{2} + \beta - \gamma \right) K$$

(۲۲)

$$\bar{F} = (\Delta t^2) \left[ \beta F_{j+1} + \left( \frac{1}{2} - 2\beta + \gamma \right) F_j + \left( \frac{1}{2} + \beta - \gamma \right) F_{j-1} \right]$$

که تعیین پارامتر  $\gamma$  و  $\beta$  بستگی به پایداری و دقت مورد نظر دارد. نیومارک مقدار  $\gamma$  را  $0/5$  پیشنهاد می کند. معادله (۱۸) برای تعیین جابجایی  $U_1$  در زمان  $\Delta t$  به مقدار اولیه  $U_0$  و  $\dot{U}_0$  نیاز دارد. جابجایی  $U_1$  در زمان  $t_1$  با استفاده از معادله زیر به دست می آید.

(۲۳)

$$M\ddot{U}_0 + KU_0 = F_0$$

(۲۴)

(۲۵)

$$M\ddot{U}_1 + KU_1 = F_1$$

$$U_1 = U_0 + \Delta t \dot{U}_0 + (\Delta t)^2 \left[ \left( \frac{1}{2} - \beta \right) \ddot{U}_0 + \beta \ddot{U}_1 \right]$$

با جایگذاری  $\ddot{U}_0$  و  $\ddot{U}_1$  در رابطه (۲۵) معادله زیر حاصل می گردد.

(۲۶)

$$\left[ M + \beta(\Delta t)^2 K \right] U_1 = \left[ M - \left( \frac{1}{2} - \beta \right) (\Delta t)^2 K \right] U_0 + M\Delta t \dot{U}_0 + (\Delta t)^2 \left[ \frac{1}{2} - \beta \right] F_0 + \beta(\Delta t)^2 F_1$$

برای معادله فوق شرایط اولیه عبارتست از  $U_0 = 0$  و  $\dot{U}_0 = 0$

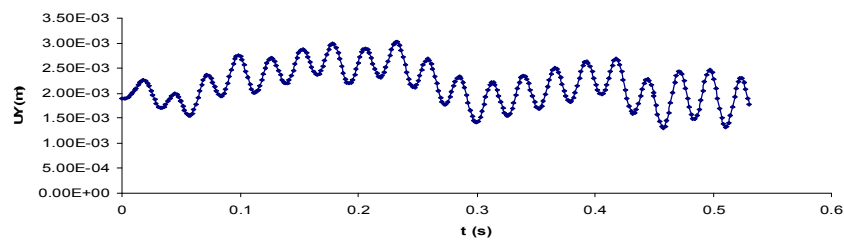
با حل معادله (۲۶) مقدار  $U_1$  بر حسب شرایط اولیه  $U_0$  و  $\dot{U}_0$  به دست می آید. از آنجایی که مقدار  $U_0$  و  $U_1$  معین است محل جابجایی در دیگر بازه های زمانی با استفاده از معادله (۱۸) به دست می آید. معادله شتاب سیستم با استفاده از معادله (۱۶) در بازه های زمانی مختلف و برای مقدار معین جابجایی می تواند حاصل گردد. هم چنین معادله سرعت سیستم با استفاده از شتاب در بازه های زمانی مختلف تعیین می گردد. در این تحقیق چون نیروهای وارد بر بازو به صورت گذرا (وابسته به زمان) است در نرم افزار انسیس از راه حل گذرا که بر پایه روش نیومارک است استفاده شد.

### نتیجه و بحث

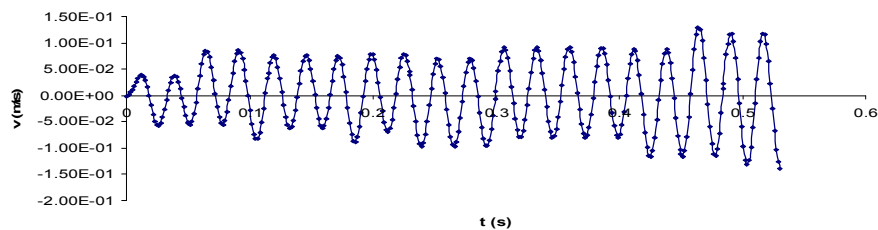
در سیستم دینامیکی آنالیز المان محدود بازوی خاکورز به عنوان یک تیر خمیده که یک جرم متمرکز در انتهای آن قرار داده شده است در نظر گرفته شد. مقاومت خاک که بر پنجه غازی وارد می شود به عنوان بار نقطه ای در انتهای بازو در نظر گرفته شد. پاسخ



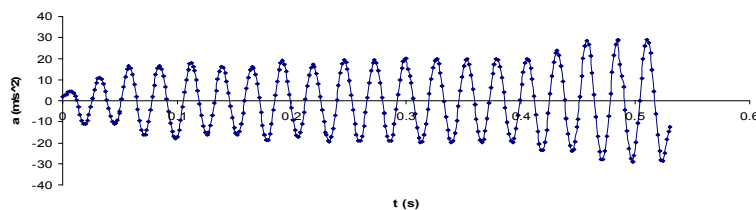
سیستم نوسانی با استفاده از آنالیز اجزا محدود بدست آمده شامل جابجایی، سرعت و شتاب بازو نسبت به زمان است. نمودارهای جابجایی، سرعت و شتاب بازو نسبت به زمان به ترتیب در شکل‌های (۳) و (۴) و (۵) آمده است. نتایج نشان داد هنگامی که مقاومت خاک افزایش می یابد میزان جابجایی بازو نیز افزایش می یابد و انرژی الاستیک بیشتری در تیر ذخیره می شود. انرژی ذخیره شده در تیر در طی مدتی که مقاومت خاک کاهش می یابد آزاد شده و بازو نسبت به وسیله به طرف جلو حرکت می کند. نوسان سیستم شامل تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی و بالعکس می باشد. مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج ژانگ نشان می دهد که تعداد نوسانات بازوی خمیده C- شکل از تعداد نوسانات بازوی مستقیمی که دارای طول و خصوصیات فیزیکی مشابه با آن می باشد در یک بازه زمانی معین بیشتر است. هم چنین نتایج نشان می دهد که بین حداکثر مقادیر جابجایی، سرعت و شتاب محاسبه شده برای بازوی خمیده و مستقیم اختلاف چندانی وجود ندارد.



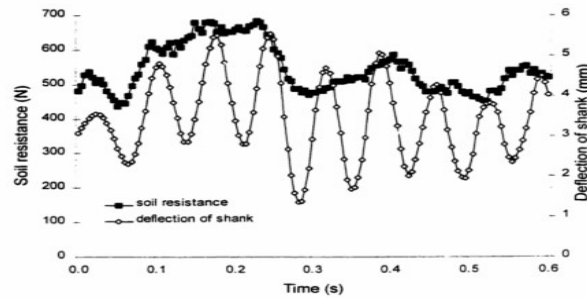
شکل (۳): نمودار جابجایی بازوی خمیده C- شکل حاصل از FEM



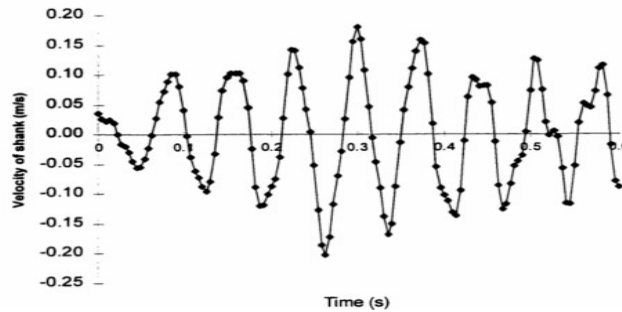
شکل (۴): نمودار سرعت بازوی خمیده C- شکل حاصل از FEM



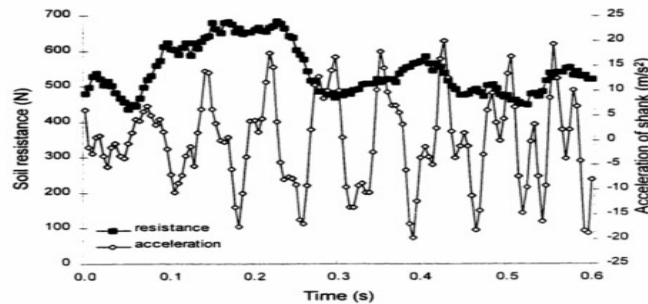
شکل (۵): نمودار شتاب بازوی خمیده C- شکل حاصل از FEM



شکل (۶): نمودار جابجایی بازوی مستقیم [8]



شکل (۷): نمودار سرعت بازوی مستقیم [8]



شکل (۸): نمودار شتاب بازوی مستقیم [8]

### نتیجه گیری و پیشنهادات

در عملیات خاکورزی واقعی انواع دیگری از بازو به غیر از بازوهای مستقیم استفاده می شود. بازوی خمیده C- شکل یک نوع رایجی از بازوهای مورد استفاده در عملیات خاکورزی است ولی تاکنون هیچ تحقیق جامعی بر روی نوسان بازوهای خمیده C- شکل صورت نگرفته است. در این تحقیق یک مدل اجزای محدود برای شبیه سازی پاسخ جابجایی، سرعت و شتاب بازوی خمیده C- شکل در هنگام اعمال مقاومت خاک در انتهای بازوی با استفاده از نرم افزار انسیس ۱۰ ارائه شد. نتایج این تحقیق نشان داد بازوی خمیده C- شکل در مقایسه با بازوی مستقیم، تحت شرایط کار و خصوصیات فیزیکی یکسان، دارای ارتعاش بیشتری می باشد. هم چنین پیشنهاد می گردد تست مزرعه ای ارتعاش بازوهای خمیده C- شکل به منظور مقایسه نتایج حاصل از المان محدود با روش عملی انجام شود.



### فهرست منابع

- 1- شفیعی، س، ا، ۱۳۷۱، اصول ماشین های کشاورزی، تهران، انتشارات دانشگاه تهران
- 2- مدرس مطلق، ا، ۱۳۸۶، روش اجزای محدود، چاپ اول، ارومیه، انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه
- 3- Cook, R. D, Malkus, D. S., and Plesha, M. E. 1989. Concepts and Applications of finite Element Analysis. 3rd ed .Wiley. New York
- 4- Dubrovskii, A. A. 1968. Vibration Engineering in Agriculture. New Delhi: Indian National Scientific Documentation Center. Published for the U. S. Department of Agriculture
- 5- Kushwaha, R. L. and C. Roy. 1989. Investigations with plasma-sprayed coating of agricultural tools. Proceeding of the 5th ACOT Research Seminar. Point Claire. Quebec
- 6- Newmark, M.M. 1959. A method of computation for structural dynamic. Journal of Engineering Mechanics V(85): 67-94
- 7- Upadhyaya, S.K., T.X.Ma, W.J.Chancellor, and Y.M.Zhao. 1990. Dynamics of soil-tool interaction. soil & Tillage Research V(9): 187-206
- 8-Zhang, C. 1997. Vibratory analysis of tillage operation. Unpublished Ph.D. thesis. Department of Agricultural & Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask