روند تغییر شکل و فشردگی خاک تحت تاثیر چرخ های تراکتور (۳۹۸)

کاظم جعفری نعیمی[۱]

چکیده

پروسه تغییر فرم خاک پیچیده می باشد. با اعمال تنش روی خاک تغییر شکل دائمی و برگشتی مشاهده می شود. هر چند که تغییر شکل دائمی چند برابر بیشتر از تغییر شکل برگشتی است. تغییر شکل برگشتی خاک از تغییر شکل ویسکوزیته – الاستیسیته تشکیل می شود. تغییرشکل الاستیسیته خاک مقدار کمی از تغییر شکل برگشتی را تشکیل می دهد .انواع تغییر شکل های نامبرده، به خواص فیزیکی مکانیکی خاک و پارامترهای فشردگی بستگی دارد. تحقیقات و نتایج آزمایشات در راستای مطالعه پروسه تراکم خاک لومی شنی و تغییرات ویسکوزیته- الاستیسیته آن است که در نتیجه حرکت چرخ های تراکتور در یک مسیر در چندین دفعه می باشد. آزمایشات به خوبی تایید کردند که بیان خواص ویسکوزیته- الاستیسیته خاک با معادله دیفرانسیل اول برای تنش عمودی وارد بر خاک و میزان تغییرات تنش و نسبت جابجائی ذرات خاک می باشد. به صورت خیلی دقیق ضرایب عملی معادله تعیین شدند. در آزمایشات خواص ویسکوزیته- الاستیسیته خاک، بر اساس متد پیشنهاد شده بدست آمد. خواص ویسکوزیته- الاستیسیته خاک بر اساس چگالی خاک، سرعت تغییر فرم خاک و همچنین فاکتورهای دیگر تعیین گردید.تاثیر بار عمودی روی محور چرخها، فشار باد لاستیک، سرعت پیشروی تراکتور و میزان فشردگی اولیه خاک روی مشخصات تراکم خاک به دست آمد که این فشردگی با حرکت تراکتور روی خاک ایجاد می شود. معادله و رابطه های تغییر فرم خاک با گذشت و تغییرات زمان(۰/۰۱ ثانیه) بدست آمد.

کلیدواژه: تراکم، فشردگی، ویسکوزیته و الاستیسیته، تراکتور، چرخ-لاستیک

۱- استادیار بخش ماشین های کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، پست الکترونیک: jafarinaeimi@mail.uk.ac.ir

مقدمه

مهمترین مسأله در علوم کشاورزی و بخصوص ماشین های کشاورزی, افزایش نیروی کششی تراکتورها و اپتیمم فشردگی خاک، هنگام انجام عملیات کشاورزی وحرکت ماشین های کشاورزی روی خاک می باشد. بد ین منظورباید متد ی را مشخص کرد که بتوان در نقطه معینی، مشخصات وپارامتر های تاثیر حرکت چرخ ماشین ها را روی خاک محاسبه کرد. مطا لعه این روش از روی داده ها ومشخصات تنش های وارده و تغییرات یا جابجایی خاک با زمان تاثیر آنها،درحالیکه چرخ تراکتور ها وماشینهای کشاورزی در حال دوران وحرکت روی خاک است امکان پذیر می باشد. رابطه بین این تغییرات, بامدت زمان تنش واردشده بر روی خاک و تغییر فرم خاک، خواص و ویژگیهای خا ک را مشخص می کند. در مطالعات بسیاری بیان شده که خاک با رطوبت(w) وحداقل ظرفیت مزرعه ای تحت تاثیر بار وارده متراکم ومحکم می شود. عدم تراکم خاک دراین رطوبت ویسکوزیته–الاستیسیته خاک است (۱،۳،۵).براساس مدل ریاضی، روند تغییر شکل خاک، با معادله دیفرانسیل ویسکوزیته–الاستیسیته ارائه می شود(۶،۴). می توان با دقت بالایی بر اساس ومبنای مدل های تئوری روند تغییر فرم خاک را محاسبه کرد. در برخی تحقیقات ویژگیها و پارامتر های ویسکوزیته–الاستیسیته خاک تعیین شده است. خواص ویسکوزیته–الاستیسیته خاک، بر اساس چگالی خاک, سرعت تغییر فرم خاک که چرخ بر روی آن حرکت می کند وهمچنین فاکتورهای دیگر به دست می آید. بر اساس تئوری ونتایج آنالیز داده های آزمایشات، روند تغییرات فشردگی خاک ها با زمان، معادله دیفرانسیل ذیل پیشنهاد شده است(۳،۲).

$$\sigma'_t + p\sigma = q\varepsilon'_t \qquad (۱)$$

σ - تنش فشردگی خاک (Mpa)

t- زمان

ε - نسبت تغییرشکل خاک

p و q خصوصیات روند تغییرات ویژگیها وپارامتر های خاک (ویسکوزیته–الاستیسیته)، مهم ترین فاکتورها دراین معادله می باشند و باید برای هر خاک خاص جداگانه به وسیله داده های آزمایشگاهی مشخص شود (Mpa، c^{-1}).

دراثر چرخش چرخ، طبق قانون یکنواختی، خاک تغییرشکل می یابد. درتحقیقات قبلی تأیید شده است که (۴،۳) که:

$p = \omega g$, g پارامتر بدون بعد و ω سرعت زاویه چرخ:

$$\sigma'_t + \omega g\sigma = q\varepsilon'_t \qquad (۲)$$

بررسی وآنالیز روند ویژگی های تغییرات خاک را با این معادله می توان انجام داد.

مواد و روش ها

درتحقیقات ما ویژگیها و پارامتر های ویسکوزیته–الاستیسیته خاک مورد آزمایش مشخص گردید، درحالی که تراکتور روی زمین حرکت می کرد وخاک مزرعه به وسیله چرخ های تراکتور فشرده و متراکم می شد. ضرایب مناسب معادله ۱، برای مدوله کردن تراکم خاکهای سبک در رطوبت w=16-26% و درچند نوع خا ک دیگر همراه با تعیین بافت خاک و t , σ , ε بدست آمد که به وسیله داده های آزمایشگاهی دیگر مورد تایید است (۶،۴).

بررسی وآنالیز روند ویژگیهای تغییرات خاک را با معادله(۲) انجام شد. برای آشکار کردن روند تغییرات خصوصیات خاک و تغییرات آنهادر اثر حرکت چرخ روی آن در آزمایشاتی در مزرعه آزمایشی ، انجام شد(خاک سبک مواد آلی ۴،۲– ۵،۲ %). تغییر فرم خاک تا عمق H=0.9m بررسی شد، در آزمایش تراکتور روی زمین دیسک خورده و با سرعت ثابت حرکت میکرد.برای بررسی اثر چرخهای عقب(38-13.6) وجلو(20 – 11,2) هر کدام ازچرخ ها (جلو وعقب) درمسیرهای جداگانه حرکت می کردند (دریک راستا نبودند). در هر سری آزمایش فشار باد لاستیکهای جلو وعقب p_{w_1} ، p_{w_2} وهمچنین سرعت حرکت تراکتوراندازاه گیری ودر طول انجام آزمایش ثابت بودند. فشاربادلاستیک– p_{w_1} ۰/۱۲ و ۰/۱۸ ، p_{w_2} ۰/۰۸ و ۰/۱۷(Mpa) تنظیم گردید. تغییرات رطوبت و وزن مخصوص قبل از حرکت تراکتور وبعد از هررفت برای چرخ جلو وعقب درهرسری آزمایش اندازگیری شد، آزمایش

در دنده های **I, II, V** انجام شد. رطوبت خاک بین۱۰/۳ تا ۱۷/۹٪ متغیر بود. نتایج داده های تغییرات وزن مخصوص به دست آمده در آزمایش آنالیز شد. روند تغییرات خواص خاک به صورت تغییرات استاتیکی ودینامیکی تحقیق می شوند، در حالت اول آنها از نتایج آنالیز منحنی تغییرشکل دائمی یا منحنی نوسانات تنش (۳) مشخص می شوند ودر حالت دوم از نتایج تحلیل ریاضی، منحنی های ارتباط میان تنش و تغییر شکل در هنگام سیکل بار گذاری وبار برداری روی خاک از روی معادله آخری بدست می آید. برای مشخص کردن کیفیت وچگونگی تغییر فرم خاک سنسور مورد استفاده همراه چرخ دوران می کرد، برای بررسی ویژگیهای تغییرات خاک، از منحنی تنش ایجاد شده استفاده شد.این منحنی نشان دهنده تنشهای عمودی وارد بر خاک در سطح تماس بین خاک ولاستیک است. در طول آزمایشات از سنسور صفحه ای فشاری استفاده شد. تنش عمودی که از مرکز چرخ بر خاک وارد می شد(محل تماس چرخ با زمین)، اندازه گیری شد. روی هر لاستیک سنسور وجود داشت واطلاعات در کامپیوتر ذخیره می شد. منحنی تغییرات تنش وارد بر خاک وعلامت نشان دهنده، موقعیت پایین ترین وضعیت سنسور نسبت به سطح زمین و منحنی تغییرات نیروی کششی مالبندی P در هر ۰/۰۱ ثانیه ذخیره می شد. نیروی کششی به وسیله لودسل کششی اندازه گیری شد. تعیین موقعیت قرارگیری سنسورهای فشاری در پایین ترین وضعیت به وسیله سنسور های مغناطیسی انجام شد. جهت ضبط داده ها در کامپیوتر از دستگاه(دیتالاگر) L-CARD- E 140 استفاده شد. از برنامه power- graph جهت ضبط و خواندن داده ها در کامپیوتر استفاده گردید. باچرخش چرخ روی خاک عمل تغییر فرم به صورت کشسانی – خطی در مقادیر بارهای مجاز(۵) و فشار باد لاستیک مجاز انجام می یابد. تغییر فرم این تایرها، با دقت زیاد مطابق معادله زیر می باشد :

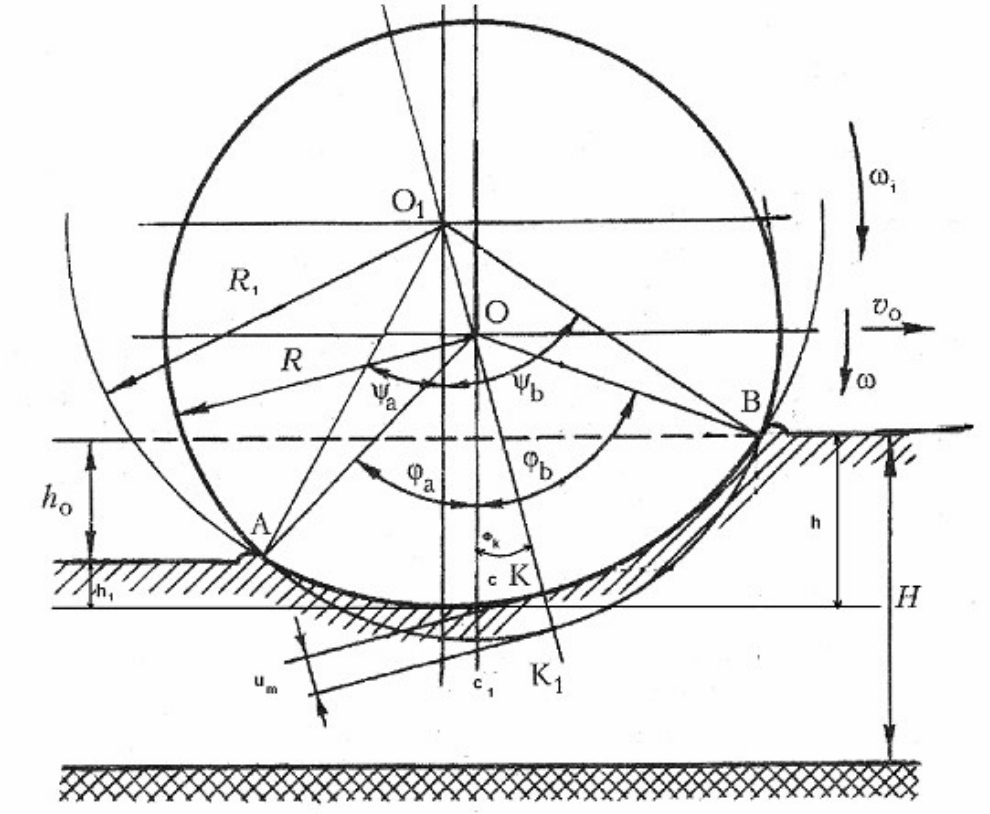
$$\sigma_k = E_k h_k$$

σ_k و h_k، تنش عمودی و تغییر شکل الاستیکی لاستیک (Mpa،M)

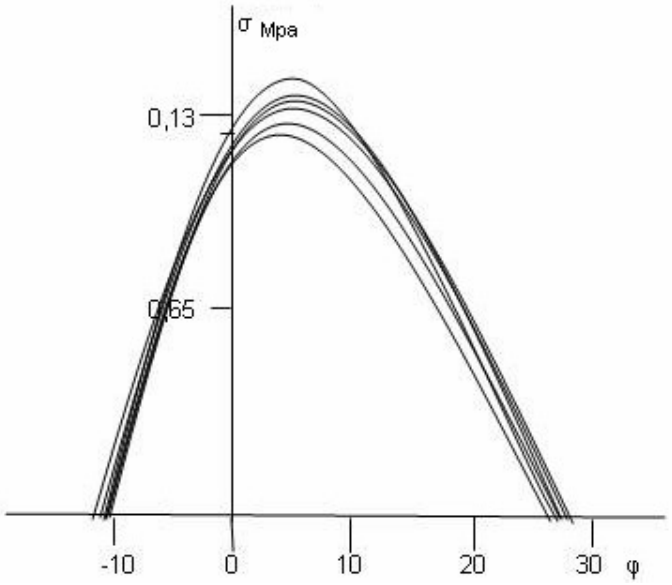
E_k ضریب الاستیسیته لاستیک (۵-۴) (Mpa/M)

شکل یک اندازه سطح تماس کشسانی (لاستیک) با شعاع R و ویسکوزیته–الاستیسیته خاک را نشان می دهد. در حالیکه چرخ می چرخد لایه های خاک تغییر شکل می یابد. تغییر شکل خاک تا عمق H گسترش می یابد، v_o سرعت خطی چرخ و ω سرعت زاویه ای چرخ روی سطح افقی خاک می باشد.

مطابق شکل (۱) محور عمودی از مرکز و محور افقی از وسط پهنای چرخ می گذرد. عرض چرخ به اندازه کافی زیاد است که می توان تقریبا تغییرات عرضی را در نظر نگرفت. سطح تماس چرخ و خاک به صورت منحنی که از نقاط AوB می گذرد نشان داده شده است. نقطهB ورود و نقطهA خروج از خاک انشان می دهد نقطه k در وسط کمان AB می باشد، ماکزیمم تغییر فرم شعاعی لاستیک در این نقطه می باشدو در نقاط A و B تغییر شکل لاستیک و خاک برابر صفر است. طول خط تماس به زاویه $\varphi_a = \angle AOC$ و $\varphi_b = \angle BOC$ (زاویه ورودی به خاک یا زاویه حمله – زاویه خروجی از خاک) به طوریکه زاویه $\varphi_a < 0$ و $\varphi_b > 0$ و $|\varphi_b| > |\varphi_a|$ بستگی دارد. در هر سری آزمایش در کامپیوتر سیگنال تنش عمودی (شعاعی) در سطح تماس چرخ با خاک (σ_p)، برای چرخ جلوئی و چرخ عقبی ذخیره و ثبت می شد. در شکل ۲ منحنی تغییرات چندین تنش بدست آمده در آزمایشات نشان داده شده است $\sigma_p(\varphi)$، (φ مقدار زاویه تماس لاستیک با خاک).



شکل۱ – شکل تعیین اندازه تماس سطحی چرخ با خاک



شکل ۲– منحنی های آزمایشی تنش عمودی در نقطه تماس چرخ با زمین

منحنی ها برای دفعه اول حرکت لاستیک روی خاک می باشنددر حالیکه سرعتها متفاوت بود. نتایج آزمایشات ویژگیهای (خصوصیات) الاستیسیته- ویسکوزیته خاک را تعیین می کنند. نتایج این آزمایشات آنالیز آماری شد.

در آنالیز و تحلیل منحنی های ثبت شده در کامپیوتر در هر سری آزمایش، زمان آزمایش t_o ، سرعت حرکت تراکتور v_0 ، میانگین نیروی کششی تراکتور بررسی شد.

برای چرخ عقب و جلوی تراکتور برای هر سری آزمایش سرعت زاویه ای چرخ و سرعت پیشروی تراکتور $v_в = \omega R$ و میزان بکسوات δ ، میانگین مقدار زمان نفوذ چرخ(ورود) به خاک t_b و خروج چرخ t_a و زوایای $\varphi_b = \omega t_b$ و $\varphi_a = \omega t_a$ و میزان تنش وارد بر خاک $\sigma_p(\varphi)$ و همچنین تنش عمودی وارد بر خاک $\sigma(\varphi) = \sigma_p(\varphi)\cos\varphi$ بدست آمد. بعضی از نتایج بدست آمده در جدول شماره ۲ آمده است. منحنی تغییرات تنش $\sigma_p(\varphi)$ برای تعیین پارامترهای g و q خصوصیات ویسکوزیته-الاستیسیته خاک استفاده شد، به کمک برنامه کامپیوتری متدی طراحی کردیم که می توان نتایج را محاسبه کرد(نتایجی که در قسمت بعدی آورده شده است). ضریب الاستیسیته E_k لاستیک و داده های مربوط به پارامترهای ساختمان لاستیک ، بار عمودی وارد بر محور چرخ و فشار باد لاستیک را در متدمان محاسبه کردیم که قبلا پیشنهاد شده بود (3). با استفاده از ضریب E_k و مقدار ماکزیمم تنش عمودی بدست آمده در آزمایش σ_m ، ماکزیمم تغییرات شعاعی چرخ محاسبه گردید. $u_m = \sigma_m / (E_k \cos\varphi_k)$

با بدست آوردن ماکزیمم u_m ، φ_b و φ_a شعاع تغییر یافته چرخ فلزی معادل چرخ لاستیک R_1، تعیین می گردد که زوایای ψ متناسب است با زوایای φ

$$R_1 = R - u_m + \sqrt{R_1^2 - R^2\sin^2\alpha} - R\cos\alpha \qquad (۶)$$

$$\psi = \arcsin\left[(R\sin\varphi + \left(\sqrt{R_1^2 - R^2\sin^2\alpha} - R\cos\alpha\right)\sin\varphi_k)/R_1\right] \qquad (۷)$$

در صورتیکه $\varphi = \varphi_b$ و $\varphi = \varphi_a$ ، مطابق فرمول (۷) زوایای ψ_b و ψ_a بدست می آید. در زاویه مشخص φ ، که مطابق است با زوایای ψ و تنش $\sigma(\varphi)$ ، که از منحنی تنش های بدست آمده ، خواص الاستیسیته- ویسکوزیته خاک مشخص می شود.

نسبت تغییر شکل دراثر فشردگی خاکها در نقاط تماس با خاکها به وسیله معادله زیر تعیین می گردد.

$$\varepsilon = h(\psi)/H_p = R_1(\cos\psi - \cos\psi_b)/H_p \qquad (۸)$$

که: $h(\psi)$ - تغییر شکل مطلق خاک

H_p - عمق گسترش آن

محاسبات نشان داد که در بیشترین حالات ممکنه $H_p = H$ است و محاسبه گردید که: $\psi = \psi_b - \omega_1 t$

در شرایطی از منحنی که $\sigma(\psi_b)=0$ و $\sigma(\psi_a)=0$ فرمول برای تنش های فشاری وارد بر خاک درخط تماس با خاک بدست آمد وهمچنین معادله ارتباط ψ_a و ψ_b را نشان می دهد:

$$\sigma(\psi)=\frac{qR_1}{H_p(g^2+1)}\left[\cos\psi+g\sin\psi-(\cos\psi_b+g\sin\psi_b)e^{-g(\psi_b-\psi)}\right] \quad (۹)$$

$$e^{-g\psi_b}\left(\cos\psi_b+g\sin\psi_b\right)-e^{-g\psi_a}\left(\cos\psi_a+g\sin\psi_a\right)=0 \quad (۱۰)$$

با مقادیر معین زوایای ψ_b و ψ_a ، در معادله (۱۰) برای ارزیابی و تعیین g خصوصیات ویسکوزیته و الاستیسیته خاک استفاده شد و مشخصات q ، با آنالیز داده های آزمایش به روش حداقل میانگین مربعات بدست آمد.

رگرسیون خطی، تئوری تنش فشاری وارد بر خاک به وسیله معادله(۹) محاسبه می شود که پارامتر نامشخص q با فرمول زیر تعیین می شود:

$$q=\frac{H_p\left(g^2+1\right)\sum_{i=1}^{k}\sigma_э(\psi_i)}{R_1\sum_{i=1}^{n}\left(\cos\psi_i+g\sin\psi_i-\left(\cos\psi_b+g\sin\psi_b\right)e^{-g(\psi_b-\psi)}\right)} \quad (۱۱)$$

که: $\sigma_э(\psi_i)$ تنش فشاری خاک وارد بر نقطه i ، رگرسیون خطی تنش $\sigma_э(\psi)$

k - تعداد اندازه گیری $\sigma_э(\psi_i)$

با بررسی و تجزیه و تحلیل به کمک برنامه های کامپیوتری و با استفاده از نتایج آزمایشات پارامترهای q و p بدست آمد که در قسمت بعدی آورده شده است.

نتایج و بحث

باآنالیزآماری نتایج داده های تغییرات وزن مخصوص(ρ) وتغییرات سطحی لایه خاک قبل و بعداز حرکت تراکتور روی زمین نسبت به عمق y، دومعادله خطی به دست آمد:

$$\rho(y)=\begin{cases}\rho_{01}+k_1 & y\in[0;H_1],\\ \rho_{02}+\kappa_2 y & y\in(H_1;H].\end{cases} \qquad (3)$$

که ρ_{01} و ρ_{02} مقدار ثابت ρ روی محورY (عمودی)، و در معادله $\rho(y)=\rho_{01}+k_1 y$ و $\rho(y)=\rho_{02}+k_2 y$ ، k_1 و k_2 ضریب شیب خط تغییرات و H_1 عمق قسمت اول است. وزن مخصوص خاک قبل از حرکت تراکتور درمعادله(۳) وپارامتر های آن، به ترتیب ρ_{01} = 1,1792 و ρ_{02} =1,5783 g/см^3 = 1,65 k_2 = 0,3196 g/(см^3·м), وk_1 g/(см^3·м) $H_1=0,3$ м و $H=0,9$ м می باشد. ضریب پیوستگی برای هر دو معادله $r_k>0,95$ به دست آمد. اختلاف داده های محاسباتی وداده های آزمایشی کمتراز ۲%است.

تغییرات وزن مخصوص تا عمق اول با شیب تندتر نسبت به عمق دوم انجام گرفته است.

درشکل (۱) خط KK_1 ماکزیمم تغییر فرم الاستیکی لاستیک u_m است. $\angle BOK=\angle AOK=\alpha$ ،موقعیت K نسبت به محور عمودی OC زاویه $\varphi_k=(\varphi_b-|\varphi_a|)/2$ مشخص می نماید. سطح تماس تقریبی قوس AKB به مرکز نقطه O_1 متناسب با شرایط چرخ فلزی (غیر الاستیک) با شعاع R_1 می باشدو یکی بودن تقارب خطی سطح تماس با شرایط چرخ فلزی و خاک R_1 تعیین می گردد، به طوریکه $\psi_a=\angle AO_1C$ ،$\psi_b=\angle CO_1B$ $\psi_a<0$ و$\psi_b>0$ و $|\psi_b|>|\psi_a|$ می باشد. ثابت شده است در شرایطی که چرخ فلزی (غیر الاستیک) روی خاک حرکت نماید، نتایج تغییر شکل خاک مانند تاثیر چرخ لاستیکی می باشد. در تغییرات ویسکوزیته- الاستیسیته خاک فاز جابجایی و تغییر شکل خاک وهمچنین تغییرات تنش مشاهده شد. نقطه ماکزیمم تغییر شکل خاک و ماکزیمم تنش فشاری در سطح تماس روی هم واقع نشدند. مطابق نقاط سطح تماس: ماکزیمم تغییر شکل در $\psi=0$ می باشدو ماکزیمم تنش فشار در $\psi=\psi_k=(\psi_b-|\psi_a|)/2$ است. برخی از مقادیرو نتایج q و p که از خواص ویسکوزیته- الاستیسیته خاک می باشد و در طول آزمایش به دست آمدند در جدول شماره (۱) آورده شده است. با بررسی محدوده تغییرات ، ω و W و ρ مشاهده شد بیشترین تأ ثیر روی p و q ، چگالی یا وزن مخصوص خاک دارد. با افزایش وزن مخصوص و سرعت ، تغییرات g کم می شود و q افزایش می یابد. در صورتیکه $g\to 0$

میل کند $q\to E$ میل می کند که E مدول الاستیسیته خاک می باشد و خواص خاک به سمت الاستیکی متمایل می شود. در صورت افزایش رطوبت خاکها g زیاد می شود و q کاهش می یابد و در صورتیکه $q\to 0$ میل کند حالت فیزیکی خاک به سمت روان شدن میل می کند(حالت باتلاقی). آزمایشات نشان دادند که درجه فشردگی خاکها به بارهای دینامیکی عمودی روی چرخ و فشار باد لاستیک و سرعت تراکتور وابسته است

در سری آزمایشات با افزایش سرعت، میزان تغییرات وزن مخصوص کاهش می یابد. با افزایش تعداد دفعات حرکت تراکتور روی زمین وزن مخصوص افزایش می یابد تا اینکه $\rho \to \rho_n$ میل می کند، ρ_n محدوده و اندازه ای از میزان ρ می باشد که به ساختمان خاک آسیب وارد نمی شود. از نتایج جدول (۱) نمایان است که در آزمایشات میزان فشردگی خاک h و میزان برگشت فشردگی خاک h_1 و میزان فشردگی ثابت و غیر قابل برگشت .h و نسبت .k تعیین شده است. آزمایشات نشان داده اند با افزایش میزان تعداد دفعات حرکت تراکتور روی زمین ، میزان فشردگی برگشتی خاک افزایش می یابد و خواص و صفات خاک به سمت الاستیسیته ای میل می کند. نتایج داده های آزمایش، همانند بررسی و تحقیقات تغییرات خواص خاک به وسیله معادله (۲) می باشد و آن را تایید می کند.

پیشنهادات:

نتایج آزمایشات درمتدها و محاسبات و همچنین بهبود و بهینه سازی ، پارامترهای چرخها و سیستمهای جابجائی و انتقا ل تراکتورها و ماشینهای کشاورزی می توانند استفاده شوند ، تا در تکنولوژی کشاورزی و روشهای کشت و زرع، به حد مجاز و اپتیمم فشردگی و وزن مخصوص خاک برسیم و در نهایت راندمان تولید محصولات کشاورزی افزایش و آسیب وارد بر ساختمان خاک کاهش و به حداقل برسد.

منابع:

1. Zolotarevskaya D. I. Investigation and Calculation of the stressed-strained State and Compaction of viscoelastic disperse Media as a Result of relaxation Processes // Journal of Engineering Physics and Thermo physics. 2005. Vol. 78, №5.

و چندین مقاله به زبان روسی

2. Денисов Н. Я. О природе прочности глинистых пород. – М.: ВОДГЕО. 1957.
3. Грунтоведение / под редакцией Е. М. Сергеева.– М.:Изд-во МГУ, 1983.
4. Золотаревская Д. И. Характеристики вязкоупругих и упругих свойств эластичных колес // Изв. ТСХА. 1989. Вып.. 2.
5. Золотаревская Д. И. Влияние вязкоупругих свойств почвы и сил трения на тяговые свойства и уплотняющее воздействие на почву колесных тракторов //Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1991. № 3. С. 13 - 17. 1,0 п. л.
6. Золотаревская Д. И. Расчет показателей взаимодействия движителей с почвой // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. № 3. С. 18 – 22. 0,5 п. л.