ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲۴ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

طراحی و ساخت دستگاه اندازه گیری پارامترهای مکانیکی خاک

جعفر نصرالهی آذر[۱]، غلامحسین شاهقلی[۲]، یوسف عباسپور[۲]، علیرضا شایگانی سلطانپور[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی jnasrollahn64@gmail.com
۲- استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

در قرن حاضر تحقیقات گسترده و کاربردی در زمینه مکانیک خاک صورت گرفته که شمار زیادی از آنها در زمینه طراحی ادوات کشاورزی و تاثیر عبور و مرور وسایل نقلیه بر روی خاک بوده است. هدف اصلی در انجام این تحقیقات تعیین پارامترهای مهم و بنیادی خاک است. تعیین این پارامترها به منظور شناخت و آگاهی از ویژگی‌های خاک درکشاورزی، برای تعیین عکس العمل خاک در برابر ادوات خاک‌ورزی و رفت و آمدهای مکرر وسایل نقلیه و همچنین تعیین مقاومت غلتشی خاک ضروری است تا بوسیله آن میزان مصرف انرژی را به حداقل برسانند. جهت تعیین پارامترهای مکانیکی خاک دستگاه آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد که پارامترهای مربوط به معادله بیکر و پارامترهای مربوط به برش خاک و همچنین پارامترهای مربوط به تحمل‌پذیری خاک که بعنوان شاخص مخروطی خاک شناخته می شود را بدست می آورد. به منظور اندازه‌گیری مقاومت عمودی خاک از آزمون صفحه فشار، بر اساس دو پارامتر فشار–نشست استفاده می گردد. منحنی اندازه‌گیری شده با استفاده از فرمول بیکر تقریب زده می شود و به دنبال آن n, K_c, K_ϕ اندازه‌گیری می‌گردند. مقاومت افقی خاک نیز بر اساس آزمایش برشی و اندازه‌گیری تنش برشی ماکزیمم در فشارهای عمودی گوناگون تعیین می شود که به دنبال آن C و ϕ خاک نیز تعیین می‌گردند. مقاومت به نفوذ نیز بیانگر فشار مورد نیاز برای تشکیل یک حفره کروی درون خاک به اندازه‌ای که بتواند مخروط فولادی را احاطه کرده و همچنین به اصطکاک بین سطوح مخروطی و خاک اطراف آن غلبه کند، می‌باشد.

به همین منظور دستگاه تعیین پارامترهای مکانیکی خاک، که شامل صفحات فشار، برش و مخروطی است و به سیستم تحصیل داده مجهز شده طراحی و ساخته شد. تحلیل تنش دستگاه با ضریب اطمینان ۲ با نرم افزار solidworks 2009 در محیط Simulation انجام شد. قسمت‌های دستگاه شامل: شاسی، الکتروموتور با جعبه‌دنده، مدار الکتریکی، ریل افقی، صفحات فشار، صفحه برش، مخروطی‌ها و سیستم جمع‌آوری داده می‌باشد.

کلید واژه: آزمایش مکانیک خاک، شاخص مخروطی، نشست خاک، برش خاک

مقدمه

در مکانیک خاک‌های کشاورزی اغلب ویژگی‌های خاک مربوط به عکس العمل خاک در مقابل نیروهای وارده می-باشند(استاندارد ASAE، ۲۰۰۶). این ویژگی‌ها اغلب مربوط به استحکام خاک می باشند که در یک خاک مشخص در اثر مرور زمان، شرایط آب و هوایی، مدیریت خاک و رشد گیاه تغییر می‌کنند. این ویژگی‌های استحکام و

همچنین تغییرات آنها در هر نوعی از خاک می تواند از طریق اندازه‌گیری مقاومت به نفوذ و مقاومت برشی خاک تعیین گردند. مقاومت به نفوذ خاک و تنش برشی در بین پارامترهای خاک پارامتری هستند که از طرفی با محدود کردن پتانسیل مزرعه‌ای بر رشد گیاه و از طرف دیگر با محدود کردن پتانسیل کششی بر قابلییت حرکت وسیله نقلیه اثر می‌گذارد (بوون، ۱۹۸۱)[1].

نظریه‌های مختلفی برای بیان پارامترهای موثر در برهم‌کنش وسیله خاک‌ورزی و خاک و چرخ با خاک توسط محققین متعددی ارائه گردیده است. به طور کلی بر اساس تنش و کرنش خاک با استفاده از چسپندگی خاک، زاویه اصطکاک داخلی خاک، نشت و تحمل‌پذیری خاک که به عنوان شاخص مخروطی خاک شناخته می‌شود، انجام می-گیرد. به منظور دست‌یابی به چنین نتایجی پارامترهای مکانیکی مؤثر در عملکرد مربوطه به وسیله خاک‌ورزی و خاک و چرخ با خاک می بایست به دقت اندازه‌گیری شوند(موریسون و بارتک، ۱۹۸۷)[2].

۱- پارامترهای فشار- نشست خاک: یکی از شناخته شده‌ترین روش‌ها برای تعیین پارامترهای خاک و سنجش قابلییت حرکتی وسیله نقلیه توسط بیکر ارائه شده است. معادله ارائه شده توسط بیکر به شرح زیر است(گودمن، ۱۹۶۳)[3]:

$$p = \left(\frac{K_c}{b} + K_\phi\right) z^n \qquad (۱)$$

که در معادله بالا P مقدار فشار بر حسب کیلوگرم بر سانتی مترمربع، Z مقدار نشست صفحه بارگذاری بر حسب سانتی‌متر، b کوچکترین بعد صفحه بر حسب سانتی‌متر، K_C، K_ϕ و n پارامترهای فشار نشست هستند که K_c مدول چسپندگی خاک تغییر شکل یافته بر حسب $(kg/cm^{(n+1)})$ ؛ K_ϕ مدول اصطکاکی خاک تغییر شکل یافته بر حسب $(kg/cm^{(n+2)})$ و n ضریب بدون بعد است(گودمن، ۱۹۶۳). برای محاسبه ضرایب معادله بالا از روش ارائه شده توسط بیکر استفاده می‌شود. بر اساس این روش برای حل معادله (۱) باید از دو صفحه بارگذاری با عرض‌های متفاوت استفاده کرد، روش کار به این ترتیب است که ابتدا معادله بیکر برای دو صفحه با عرض‌های (قطرهای) متفاوت نوشته می‌شود (معادله ۲)، سپس از طرفین دو معادله لگاریتم گرفته شده (معادله ۳) و نمودار لگاریتم Z در برابر لگاریتم P برای هر دو صفحه رسم می‌شود شیب نمودار بیانگر مقدار n است. این دو نمودار در خاک‌های همگن موازی بوده ولی در خاک‌های غیر همگن ممکن است با هم موازی نباشند. در این حالت مقدار میانگین n بدست آمده از دو نمودار در نظر گرفته می‌شود.

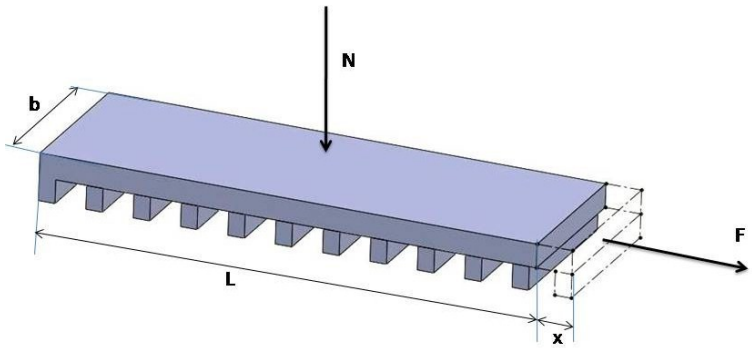
$$P_2 = \left(\frac{K_c}{b_2} + K_\phi\right) z_2^n \qquad P_1 = \left(\frac{K_c}{b_1} + K_\phi\right) z_1^n \qquad (۲)$$

$$\log P_2 = \log\left(\frac{K_c}{b_2} + K_\phi\right) + n\log Z_2 \qquad \log P_1 = \log\left(\frac{K_c}{b_1} + K_\phi\right) + n\log Z_1 \qquad (۳)$$

با توجه به معلوم بودن n، b_1، b_2 و همچنین با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده برای P و Z به کمک دستگاه طراحی شده،می توان مقادیر مجهول K_c، K_ϕ را محاسبه کرد(گودمن، ۱۹۶۳).

1- Bowen
2 - Morrison and Bartek
3 - Goodman

۳- پارامترهای مربوط به برش خاک: اگر صفحه‌ای به طول L و عرض b و نظیر شکل (۱) عاجدار در نظر گرفته، بار وارده بر صفحه N و نیروی کششی F باشد سطحی برابر با A=bl را تحت برش قرار داده که مقدار نیروی F بستگی به N و A خواهد داشت.

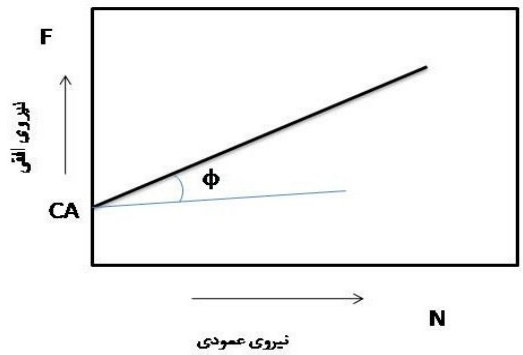


شکل ۱- روش بدست آوردن نیروی F با مقادیر مختلف N

اگر تغییرات F به ازای بارهای N رسم شود ملاحظه می‌گردد که حتی در مقادیر N=0 مقدار F به صفر نمی‌رسد. برای خاک‌هایی که هم دارای چسپندگی C و هم اصطکاک داخلی ϕ باشند نتیجه تغییرات F به ازای مقادیر مختلف N شکل (۲) خواهد بود برای شکل (۱) می توان رابطه زیر را نوشت:

$$F = AC + w\tan\varphi \quad \text{یا} \quad F = A(C + P\tan\varphi) \qquad (٤)$$

که در این رابطه P فشار وارده بر خاک (psi) و A سطح برش بر حسب in^2 می‌باشد.



شکل ۲- تغییرات نیروی عمودی به ازای مقادیر مختلف نیروی برشی

۳- تعیین شاخص مخروطی: سطح فشردگی بالاتر از ۲ مگاپاسکال مانع رشد ریشه گیاهان شده و یا منجر به عملکرد کمتر محصول خواهد شد(موریسون و بارتک، ۱۹۸۷). مقاومت به نفوذ با اندازه‌گیری شاخص مخروطی تعین می‌شود که توسط استاندارد ASAES 313,3 تعریف شده است، شاخص مخروطی بیانگر میزان نیرو در واحد سطح برای فشار دادن یک مخروط فولادی با ابعاد استاندارد در عمق خاک می‌باشد. نفوذسنج وسیله‌ای است که به-وسیله‌ی آن می‌توان مقاومت خاک را در مقابل نفوذ دادن میله‌ای با مقطع معین ارزیابی نمود. نفوذسنج مخروطی نیروی نفوذ مخروط را در سرعت ثابت نسبت به عمق نفوذ اندازه‌گیری کرده و با تقسیم کردن این نیرو بر سطح پایه‌ی مخروط، شاخص مخروطی (CI) به‌دست می‌آید و واحد آن همان واحد فشار است. با به‌دست آوردن مقدار

متوسط شاخص مخروطی نسبت به عمق نفوذ می‌توان روابط تجربی بین این شاخص و سایر کمیت‌های خاک مانند نیروهای برشی، پارامترهای حرکتی وسایل، رشد ریشه‌ی گیاه و سایر موارد مشابه را به‌دست آورد. مخروط فولادی با زاویه راس ۳۰ درجه بوده و از جنس فولاد زنگ‌نزن می‌باشد این شاخص معیاری کمی برای طبقه‌بندی خاک از لحاظ فشردگی و همچنین شرایط کششی تراکتورها می‌باشد(رشیدی و همکاران، ۲۰۰۵).

محققین زیادی در راستای ساده کردن استفاده از نفوذ سنج‌ها با به کارگیری سیستم‌های اندازه‌گیری پیشرفته تلاش نموده‌اند(راپر و جرل، ۱۹۹۹)[1]. ولس وهمکاران (۱۹۸۱) یک نفوذ سنج دیجیتال دستی مجهز به سیستم جمع آوری داده قابل حمل با یک حافظه از نوع نوار مغناطیسی را طراحی کردند که باعث افزایش ظرفیت ذخیره داده درآن زمان شد.

موریسون و بارتک(1987) یک نفوذسنج دیجیتال دستی که مجهز به یک پتانسیومتر بر ای اندازه‌گیری عمق بود را طراحی کردند در این دستگاه یک سیستم برای جمع آوری داده(Omnidate Polycorder) و ذخیره داده ها استفاده شد.

جان و هومبرگ دستگاهی ابداع کردند که قادر بود اطلاعات دریافت شده از چندین نفوذسنج مخروطی را به طور هم زمان ثبت کند. این بوامتر مجهز به جک هیدرولیک در مرکز دستگاه بود که بار لازم برای نفوذ صفحه بارگذاری در خاک را تامین می کرد. صفحه بارگذاری به کار گرفته شده توسط آنها، دایره‌ای شکل و به قطر ۲۰/۳ سانتی‌متر بود.

به این ترتیب، بر اساس بررسی های انجام شده دستگاه های موجود فقط قادر به اندازه گیری پارامترهای مشخصی از خاک می باشند و اغلب احتیاج به هزینه بالا و صرف زمان زیادی دارند، دستگاهی که بتواند همه پارامترهای نفوذ، برش و نشست را در یک مجموعه با صرف هزینه و زمان کم اندازه گیری کند دارای اهمیت زیادی خواهد بود بنابراین هدف از این تحقیق طراحی، ساخت و کالیبره کردن دستگاهی است که علاوه بر انجام آزمایش نشست صفحه بارگذاری و آزمایش برش خاک، قابلیت نصب نفوذسنج مخروطی را نیز دارد و قادر است میزان شاخص مخروطی را اندازه‌گیری کند، این دستگاه دارای دو حرکت افقی و عمودی است که حرکت عمودی برای اعمال بار بر روی صفحه بارگذاری و نفوذسنج مخروطی است و حرکت افقی برای تامین حرکت افقی صفحه برش می باشد.

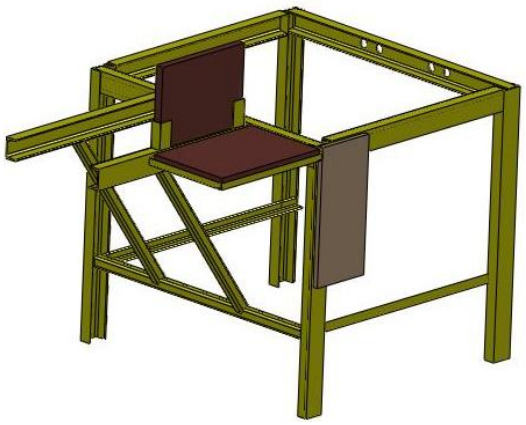
مواد و روش‌ها

از آنجایی که مهترین معیار در طراحی اولیه یک دستگاه، عملکرد صحیح مکانیزم‌های دستگاه در رابطه با هم می‌باشد لذا بدین منظور برای طراحی دستگاه از اصول کافی که در طراحی باید وارد کرد در این دستگاه وارد گردید سپس با در نظر گرفتن نقشه کلی، طرح به مجموعه‌های مرتبط با هم، با اعمال وظایف هر مجموعه به خود، تقسیم گردید. با در نظر گرفتن مشخصات دستگاه و نیروهای وارد به قسمت‌های مختلف، هر یک از اجزا به صورت مجزا در نرم افزار solidworks 2009 مدل‌سازی شده و سپس توسط این نرم افزار در محیط Simulation به روش المان محدود انالیز تنش گردیدند. قطعات به شکلی طراحی شدند که ضمن اطمینان از استحکام کافی، هماهنگی لازم برای انجام کار محوله را داشته باشند. دستگاه اندازه‌گیری پارامترهای مکانیکی خاک از بخش‌های مکانیکی و الکتریکی و الکترونیکی تشکیل شده است که هر یک از این بخش‌ها در ارتباط با یکدیگر هستند.

1 - Raper and Jerrel

بخش مکانیکی: تقریبا کل قسمت‌های دستگاه به صورت مکانیکی طراحی شده است که مجموعه‌ای متشکل از شاسی، ریل، جک مکانیکی، پیچ انتقال، صفحه‌های برش و صفحه‌های فشار و مخروطی‌ها است. طرز کار به این صورت است که مکانیزم ریل‌ها به نحوی طراحی شده که از یک طرف حامل جک مکانیکی برای حرکت عمودی و از طرف دیگر متصل به پیچ انتقال است که می‌تواند به وسیله آن به صورت افقی روی میلگردها حرکت کند بدین صورت که با چرخش پیچ انتقال بوسیله الکتروموتور، ریل بصورت افقی روی میلگردها حرکت می‌کند و با تعویض حرکت از پیچ انتقال به جک مکانیکی، الکتروموتور حرکت را به جک مکانیکی منتقل کرده و باعث حرکت عمودی صفحات فشار و مخروطی‌ها می‌گردد. فرآیند طراحی و ساخت بر پایه اهداف مورد نظر، ابعاد مناسب و کارآئی بالا می‌باشد.

الف) شاسی: در هنگام کار دستگاه بارهای وارده حاصل از نیروی مقاومت خاک و حرکت‌های افقی و عمودی صفحات و مخروطی‌ها ، از طریق قطعات به شاسی اعمال می‌شود لذا بایستی شاسی تاب مقاومت در برابر نیروهای برشی و نرمال را در انواع خاک‌های سست و سنگین را داشته باشد در طراحی شاسی از قطعات ناودانی با شماره استاندارد ۸ دارای ابعاد ٤×٤٠×٨٠ میلی‌متر استفاده شد و طوری طراحی گردید که در صورتی که نیروهای حاصل از خاک با بافت‌های متفاوت و سنگین و همچنین اعمال بارهای بیشتر (در صورتی که نیروسج‌ها دارای ظرفیت بیشتری باشند) را تحمل کند. با توجه به ابعاد صفحات و مخزن خاک ابعاد کلی شاسی ۱۰۰×۱۰۰×۱۷۰ سانتی‌متر می‌باشد طرح اولیه شاسی با ساختار مناسب با استفاده ار نرم‌افزار solidworks2009 انجام شد و سپس ساخت آن انجام گرفت(شکل۳).



شکل ۳- طرح شاسی دستگاه اندازه‌گیری پارامترهای مکانیکی خاک

پارامترهایی که ابعاد شاسی وابسته به آنها تعیین شد عبارتند از مخزن خاک، طول حرکت افقی ریل‌ها و حرکت عمودی صفحات و مخروطی‌ها. به عنوان مثال وقتی مخروطی‌ها در حالت بالا قرار می‌گیرند نباید نوک مخروطی‌ها با خاک داخل مخزن تماس داشته باشد.

ب) ریل ومیلگردها: برای ساخت ریل از دو عدد پروفیل توپر از جنس فولاد st37، به ابعاد ۲۰×٦٠×٤٠٠ میلی‌متر استفاده شد تا استحکام لازم را در مقابل نیروهای وارد بر خاک را داشته باشد برای سهولت در حرکت افقی پروفیل بر روی میلگردها، پروفیل‌ها به فاصله ۳۰۰ میلی‌متر از هم قرار گرفتند و روی آنها دو عدد ناودانی قرار گرفته که

صفحات تست برش و نفوذ بر روی ناودانی‌ها قرار می‌گیرند. با توجه به نیروهای وارده از طرف خاک به ریل و سپس به میلگردها در ساخت میلگردها از چهار عدد میلگرد فولادی از جنس فولاد Aj500 با تنش تسلیم ٤٥٠GPa، به قطر ۳۰ میلی‌متر و به طول ۱۲۵ سانتی‌متر استفاده شد تا استحکام کافی را در برابر نیروهای وارده را داشته باشد.

ج) پیچ انتقال: جهت انتقال حرکت به جلو و عقب ریل از پیچ انتقال با رزوه‌های مربعی با گام ۵ میلی‌متر استفاده شد ریل اصلی توسط ریل فرعی متصل به پیچ انتقال به کمک الکتروموتور به صورت افقی حرکت می کند حد فاصل دو ریل اصلی و فرعی نیروسنج با ظرفیت ۵۰۰ کیلوگرم قرار دارد که مقدار نیرو افقی وارد به ریل را اندازه‌گیری می‌کند. شکل (٤) طرح کلی دستگاه برای اندازه‌گیری نیروهای عمودی را نشان می‌دهد.

شکل ٤- طرح کلی دستگاه برای اندازه گیری نیروهای عمودی

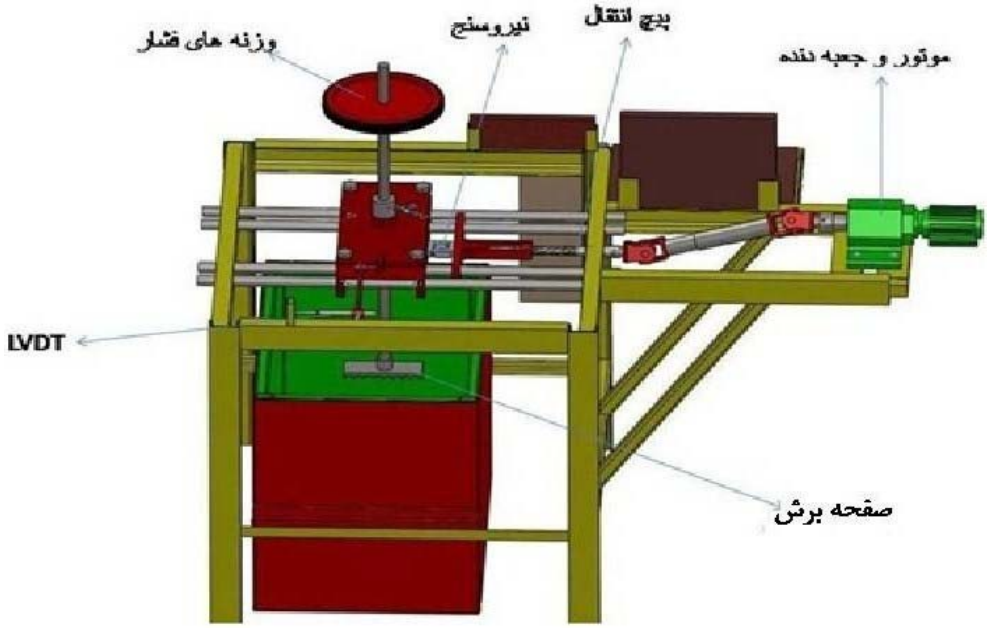
د) صفحات نفوذ و مخروطی‌ها: سیستم اندازه‌گیری پارامترهای مکانیکی خاک قابلیت وصل انواع میله‌ها و صفحات را، جهت استفاده در خاک‌های سست و سنگین را دارد از آنجایی که شکل صفحات نفوذ تاثیر بسزایی بر روی مقادیر پارامترها نشست دارد، چهار گروه از صفحات مستطیلی با نسبت طول به عرض مختلف استفاده شد. دو گروه از صفحات مستطیلی با نسبت طول به عرض ۳ و ٦ که دارای عرض مساوی با شعاع های صفحات دایره ای بودند برای مدل کردن تماس وسیله کششی استفاده شدند که دارای ابعاد۲۵×۷۵ ، ۳۵×۱۰۵، ۲۵×۱۵۰ و ۳۵×۲۱۰ میلی متر بودند.

دو مرحله دیگر از صفحات مستطیلی تقریبا دارای نسبت طول به عرض ۱/٤ و ۲ با عرض مساوی با قطر صفحات دایره ای برای مدل کردن تماس تایرهای پنوماتیکی برای نشست کم عمق استفاده شد ابعاد صفحات در این گروه عبارت اند از: ۵۰×۷۰، ۷۰×۱۰۰، ۵۰×۱۰۰ و ۷۰×۱٤۰ میلی متر.

هر چند اندازه صفحات استفاده شده کوچک است اما همه صفحات خاک را طبق شرایط محل گسیختگی برشی بیکر (۱۹۶۰) تغییر شکل دادند. بنابراین اندازه کوچک صفحات تقریبا تاثیری بر روی پارمترهای نشست خاک ندارند.

مطابق با استاندارد، مخروطی‌هایی از جنس فولاد ضدزنگ با زاویه رأس ۳۰ درجه استفاده شد اندازه مخروطی‌ها برای خاک‌های سخت قطر اصلی مخروط به اندازه۱۲/۸۳میلی‌متر و برای خاک‌های سست قطر اصلی مخروط به اندازه ۲۰/۲۷میلی‌متر در نظر گرفته شد[۱] شکل (۵).

صفحه برش استفاده شده نیز از فولاد st37 با ابعاد ۷×۲۱ طراحی شد که بر روی کف صفحه آج‌هایی قرار گرفت. این صفحه بوسیله پیچ به میله مخصوص برش متصل می‌شود که با استفاده از پیچ انتقال بر روی خاک با همراه وزنه‌های مختلف به صورت افقی حرکت می‌کند بر روی میله مخصوص صفحه برش، صفحه‌ای برای اعمال وزنه‌ها طراحی شد همچنین میله مخصوص صفحه برش دارای یک پیچ نگهدارنده است تا در صورت تمایل در ارتفاع‌های متفاوت ثابت شود (شکل۵).



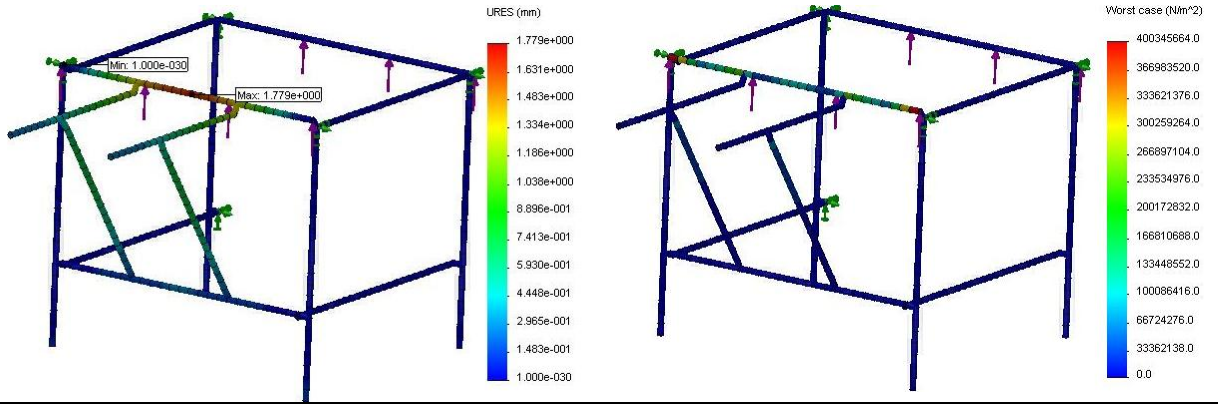
شکل۵- طرح کلی دستگاه برای آزمایش برش خاک

مخزن دستگاه نیز از ورقه فولادی به ضخامت ۳ میلی‌متر با ابعاد ۶۰×۷۰×۷۰ سانتی‌متر طراحی شد مخزن به صورت کشویی روی شاسی دستگاه قرار می‌گیرد تا عمل پر و خالی کردن آن به سهولت انجام بگیرد کف مخزن توسط سه عدد قوطی محافظت می‌شود تا در هنگام عمل صفحات فشار ورقه کف مخزن ثابت باقی بماند.

تحلیل تنش: تجزیه و تحلیل‌های مهندسی برای ارزیابی طرح‌های جدید بسیار حائز اهمیت می‌باشند. بهترین روش برای تجزیه و تحلیل مهندسی روشی است که از تلفیق دو روش تئوری و تجربی بدست آید. روش نظری که در واقع ایجاد مدلی شبیه سازی شده از طرح با در نظر گرفتن شرایط کاری از قبیل نیروهای وارده به قطعه، خواص ماده و نحوه شکست می‌باشد، درک صحیحی از مسئله را در اختیار قرار می دهد و می توان به کمک آن کاستی‌ها و

معایب طرح را، به مقدار زیادی برطرف کرده و به این وسیله در وقت و هزینه صرف‌جویی خواهد شد. ارزیابی که بعد از این مرحله انجام خواهد گرفت در واقع برای قبول یا رد مدل تجربی در شرایط واقعی می‌باشد.

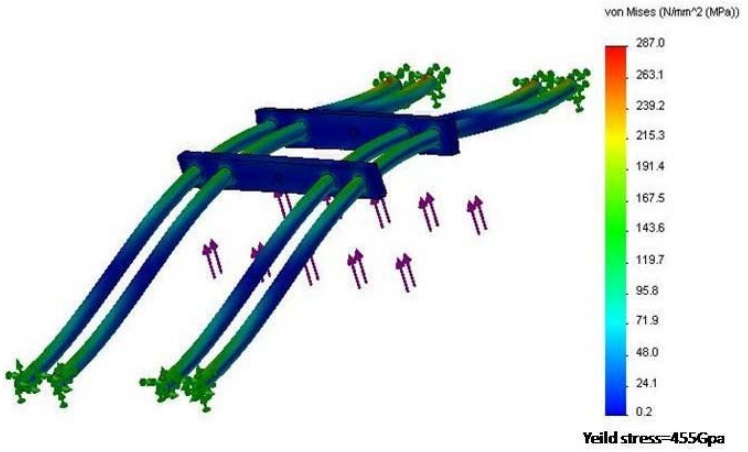
نیرو بر واحد مساحت، یا شدت نیروهای توزیع شده بر یک قطعه معین را تنش در آن مقطع می‌نامند تحلیل تنش بوسیله نرم افزار Solidworks 2009 در محیط Simulation و با روش المان محدود انجام گرفت. شاسی دستگاه از فولاد ST52 با تنش تسلیم 455MPa ساخته شد کل نیروهای وارده از طرف بقیه اجزا در نهایت به شاسی اعمال می‌شود. تحلیل تنش شاسی به کمک نرم افزار و به روش المان محدود با سه گره در شکل (٦) نشان داده شده است.



شکل٦- آنالیز تنش شاسی (راست)و آنالیز کرنش شاسی (چپ) توسط نرم افزار Solidworks Simulation 2009

همانطور که ملاحظه می‌گردد تنش ماکزیمم با ضریب اطمینان ۲، کمتر از ٤٥٠ مگاپاسکال است در نتیجه شاسی دارای استحکام کافی می‌باشد.

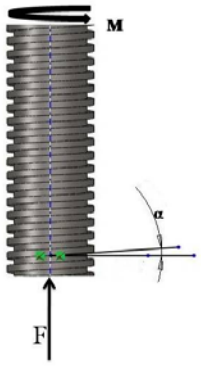
برای اطمینان از عدم خیز در در طول میلگردها از چهار میلگرد به صورت موازی استفاده شد. تحلیل تنش بر روی میلگردها و ریل‌ها انجام گرفت و تنش‌های تسلیم و نقاط بحرانی مشخص گردید و در بخش‌های مورد نیاز اقدام به تدابیر لازم در مرحله ساخت، از قبیل تغییرات در ابعاد قطعات بکار رفته، گردید سپس در محیط simulation، تنش-های بیشینه و همچنین تنش‌های تسلیم و کرنش‌ها با ضریب اطمینان ۲ به دست آمد شکل(۷).



شکل ۷- آنالیز تنش ریل و میلگردها با ضریب اطمینان ۲ توسط نرم افزار **Solidworks Simulation 2009**

در شکل (۷) مقادیر تنش تسلیم و تنش بیشینه ایجاد شده در میلگردها مشاهده می‌شود که نشان دهنده دارا بودن استحکام لازم می‌باشد.

حرکت‌های افقی و عمودی صفحات بوسیله پیچ‌های حرکتی انجام می‌گیرد برای حرکت افقی پیچ دارای رزوه‌های مربعی با قطر خارجی ۳۰ میلی‌متر با گام ۵ میلی‌متر تک‌راهه انتخاب شد دندانه‌های این پیچ و دندانه مهره با استفاده از روغن، روانکاری شد اگر اصطکاک بین رزوه‌های پیچ و مهره را ماکزیمم در نظر بگیریم(μ=0.25) نیروی قابل حرکت بوسیله پیچ خواهد شد(شکل۸):



شکل۸- پیچ انتقال با رزوه های مربعی

$$\alpha = tan^{-1}\mu \leftrightarrow \alpha = tan^{-1}0.25 = 14.03^{\circ}$$

$$\theta = tan\frac{n \times p}{\pi \times d_m} \leftrightarrow \theta = \tan\frac{1 \times 5}{\pi \times 30} \leftrightarrow \theta = 3.038^{\circ}$$

$$M = p \times r \times \tan(\alpha + \theta) \leftrightarrow M = p \times 15 \times 10^{-3} \times \tan(14.03 + 3.038) \leftrightarrow M = 4.605 \times 10^{-2}p$$

که در آن α زاویه اصطکاک بر حسب درجه، θ زاویه مارپیچ بر حسب درجه، n تعداد راه‌های پیچ، p گام پیچ بر حسب میلی متر، d_m قطر پیچ بر حسب میلی متر، M گشتاورپیچشی بر حسب (Nm) و P نیروی حاصل از گشتاور M بر روی پیچ بر حسب (N) .

الکتروموتور استفاده شده دارای ظرفیت ۱/۵ کیلووات با دور مشخصه ۱۴۰۰ دور در دقیقه و جعبه‌دنده با نسبت ۱به ۱۷/۵، دارای گشتاور خروجی تئوری زیر است:

$$M = \frac{KW \times 100 \times 60}{N} \leftrightarrow M = \frac{1.5 \times 1000 \times 60}{1400} \leftrightarrow M = 64.28(Nm)$$

و چون نسبت دور جعبه دنده ۱ به ۱۷/۵ است پس مقدار گشتاور خروجی تئوری برابر است با:

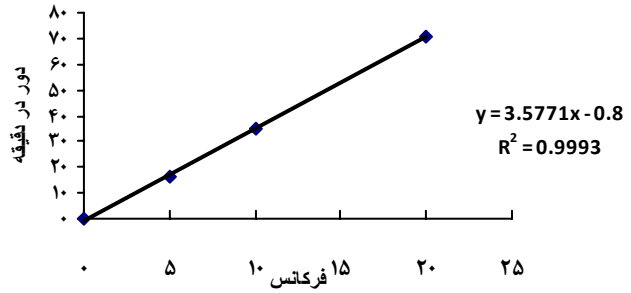
$$M = 64.28 \times 17.5 = 1125\,(Nm)$$

بنابراین گشتاور خروجی الکتروموتور ۱/۱۲۵ (kN.m) می‌باشد در نتیجه نیروی P قابل انتقال بوسیله پیچ انتقال برابر خواهد بود با:

$$P = 217.15M \leftrightarrow P = 217.15 \times 1125 = 244.3(kN) \leftrightarrow P = 24903.126(kg)$$

برای حرکت عمودی نیز از جک مکانیکی مخصوص اتومبیل پژو استفاده شد که حداکثر ظرفیت آن ۸۵۰ کیلوگرم است که برای اعمال فشار در محدوده مورد نیاز مناسب است برای چرخش پیچ جک نیز از الکتروموتور استفاده می‌شود.

بخش الکتریکی و الکترونیکی: این بخش شامل الکتروموتور، کنترل کننده های الکتروموتور و مجموعه‌ای از ابزارهای اندازه‌گیری می باشد که برای سنجیدن، کنترل، پردازش و ثبت کمیت‌های اندازه‌گیری به کار می‌روند.
همانطور که در بالا محاسبه شد گشتاور خروجی نظری الکتروموتور قادر است به وسیله پیچ انتقال نیروی افقی ۲۹٤کیلو نیوتن را تولید کند که نیروی لازم برای حرکت ریل با وزنه‌های زیاد را تأمین می‌کند. برای کنترل سرعت الکتروموتور و رسیدن به سرعت مورد نظر از یک اینورتر مدلRS-485 ساخت شرکت Hyundai با ظرفیت ۱/۵ کیلووات استفاده شد اینورتر سرعت الکتروموتور را بر اساس تغییر در فرکانس، تغییر می‌دهد برای کالیبره کردن اینورتر ابتدا تحت فرکانس‌های متفاوت، سرعت‌های مختلف بدست آمد و بر اساس این تغییرات نمودار سرعت-فرکانس بدست آمد که می توان با توجه به نیاز با تغییر فرکانس سرعت مناسب را بدست آورد.



شکل ۹- نمودار تغیرات دور الکتروموتور به ازای تغییرات فرکانس

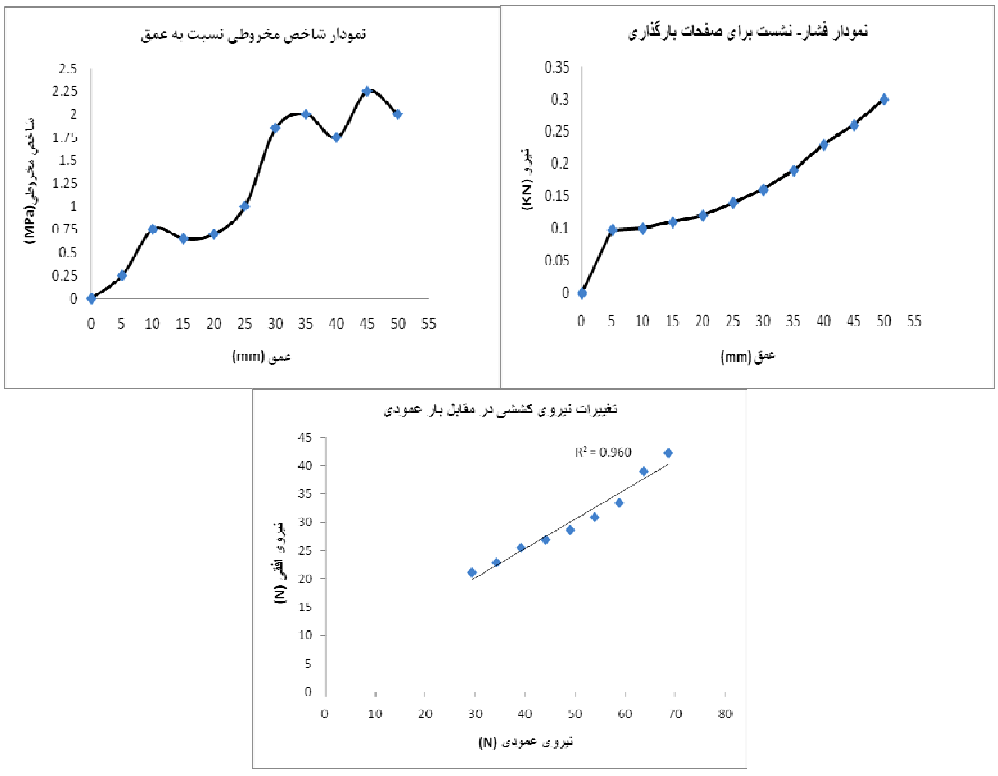
سیستم اندازه‌گیری، شامل مجموعه‌ای از ابزارها می‌باشد که برای سنجیدن، کنترل و پردازش کمیت‌های اندازه‌گیری به می‌رود. این ابزارها شامل نیرو سنج اندازه‌گیر نیروهای عمودی، نیروسنج اندازه‌گیر نیروهای افقی، سیستم اندازه-گیر مقدار جابجایی افقی و عمودی و سامانه داده برداری شامل پردازش سیگنال‌های ورودی و ذخیره داده‌ها در کامپیوتر(دیتالاگر) و اینورتر برای کنترل سرعت الکتروموتور می باشد.
نیروسنج‌ها مبدل‌های الکتریکی هستند که به‌منظور تبدیل نیرو به سیگنال الکتریکی به‌کار می‌روند. نیروسنج‌ها S شکل با ظرفیت کاری ۵۰۰ کیلوگرم و دقت ۰/۲ کیلوگرم هستند.
مکانیزم اندازه‌گیر جابجایی در این دستگاه به منظور اندازه‌گیری جابجایی افقی و عمودی از یک ترانسفورمر تفاضلی با تغییرات خطی (LVDT) مدل DLH-A-50 ساخت شرکت داسل کره با حساسیت ۳/٦٤ mv/v استفاده شد که قادر به اندازه‌گیری مقدار جابجایی تا ۵۰ میلی‌متر به صورت پیوسته را دارد. این حسگر توسط اتصالاتی بر روی قسمت های متحرک دستگاه قرارگرفته و نوک متحرک آن در روی قسمت های ثابتی از دستگاه تنظیم می‌شود زمانی که حرکت افقی یا عمودی شروع می‌شود ریل‌ها به صورت افقی حرکت کرده یا جک مکانیکی به صورت عمودی شروع به حرکت می کند و در این حین با جمع شدن نوک متحرک ترانسفورمر تفاضلی، حسگر اندازه‌گیری جابجایی را شروع می‌کند.
برای جمع‌آوری و ذخیره داده‌های حسگرهای نیرو و جابجایی از یک دیتالاگر چند منظوره مدل DT800 ساخت شرکت Data taker و دارای قابلیت برنامه‌نویسی، استفاده شد خروجی حسگرها به کانال‌های ورودی دیتالاگر وصل شده و داده ها در حافظه آن ذخیره می شوند که پس از اتمام کار داده برداری، داده ها از آن به کامپیوتر منتقل می-

گردند پس از انتقال داده‌ها به کامپیوتر، پردازش داده‌ها بر روی کامپیوتر انجام می‌گیرد نحوه اتصال حسگرها به دیتالاگر به اینصورت است که با توجه به تعریف انجام گرفته توسط نرم‌افزار دیتالاگر بر روی کامپیوتر و نقشه پل وتستون حسگرها، هر یک از سیم های خروجی از این حسگرها به کانال‌های مشخصی متصل می شوند. پس از اتصال حسگرها به دیتالاگر، اعمال شرایط صفر نیروهای افقی و عمودی و مقدار جابجایی به راحتی توسط برنامه دیتالاگر، قابل اجراست.

به کمک نرم افزار دیتالاگر ضریب‌های مورد آزمایش تعریف شدند برای نیروسنج‌ها کمیت خروجی یک بار بر اساس مقدار شاخص مخروطی(CI)، یک بار برای نشست و یک بار برای تعیین نیروی برشی، و برای حسگر جابجایی اندازه‌گیری طول جابجایی بر حسب میلی متر از ۰ تا ۵۰ میلی‌مترتنظیم شد. همچنین توسط برنامه دیتالاگر عملیات داده برداری به ازای یک داده در هر ثانیه تنظیم شد.

نتایج

بعد از انجام آزمایش در آزمایشگاه، دادههای ثبت شده توسط نرم افزار بررسی شدند و نمودارهای فشار -نشست، تغییرات شاخص مخروطی نسبت به عمق وتغییرات نیروی کششی نسبت به بار عمودی ترسیم شد. با استفاده از معادلات ضرایب مورد نظر محاسبه شدند .در شکل(۱۰) یک نمونه ازنمودارهای به دست آمده نشان داده شده است.



شکل ۱۰– نمونه ای از نمودارهای بدست آمده با استفاده از دستگاه ساخته شده

در پایان ساخت تمام مکانیزمها بر اساس هدف تحقیق به خوبی کار کرده و تمام ابزار اندازه گیری وظیفه خود را به صورت رضایتبخش انجام دادند. دستگاه آماده اندازه‌گیری تمام پارامترهای ذکر شده بوده که هدف این تحقیق در مرحله بعدی می باشد.

منابع

1- ASAE standard., 2006. soil cone penetrometer. ASAE standars S313.2.Bekker, M. G.. (1956). Theory of Land Locomotion. The University of Michigan Press, 522 pp.
2- Bowen, H.D., 1981. Alleviating mechanical impedance. In: Modifying the root environment to reduce crop stress. ASAE Monograph No. 4, ASAE, St. Joseph, MI 49085
3- Gill, William R., and Glen E. Vanden Berg. 1968. A) Assessment of the Dynamic Properties of soils. Chapter 3 in soil Dynamics in Tillge and Traction, Agricultur Handbook No. 316, pp. 55-116
4- Goodman, J., Lee, N., 1963. Effect of remolding on soil values related to vehicle mobility. Proceedings of 1st International Conference on the Mechanics of Soil - Vehicle Systems, 63-75.
5- Jahn, B.R. and D.S. Humburg.2002. A Tractor-Mounted Device for Measurement of In-Situ Soil Strength Properties. ASAE PaperNo: MBSK 02-308. An ASAE/CSAE Meeting Presentation.
6- Morrison, J.E., and Bartek, L.A., 1987. Design and field evaluation of a hand-pushed digital soil penetrometer with two cone materials. Transaction of the ASAE. 30: 646-651.
7- Randy, R.P., and Jeremy, T., 2003. Development of a frame to outomatically insert a hand-held penetrometer. ASAE Meeting Paper No. 031077. St.Joseph. Mich
8- Raper, R.L., Washington, B.H., and Jarrel, J.D., 1999. A tractor-mounted multipleprobe soil cone penetrometer. Applied Engineering in Agriculture, 15: 287-290.
9- Rashidi, M., Keyhani, A., and Tabatabaeefar, A., 2005. Multiple penetration tests to predict soil pressure-sinkage behaviour under rectangular region. International Journal of Agriculture and Biology, 8: 5-9.
10- Saarilahti, M. 2002. Soil Interaction Model, University of Helsinki, Department of Forest Resource Management.
11- Vaz, C.M.P., Bassoi, L.H., and Hopmans, J.W., 2001. Contribution of water content and bulk density to field soil penetration resistance as measured by a combined cone penetrometer-TDR probe. Soil and Tillage Research, 60: 35-42.
12- Wells, L.G., Lewis, C.O., and Distler, R.J., 1981. Remote electronic acquisition of soil cone index measurement. Journal of Terrramechanics.,18: 201-207.
13- Wong, J.Y. 2001. Theory of Ground Vehicles. 3rd Edition. New York, John Wiley. Yu, T.2006. The Tractive Performance of a Friction-based Prototype Track. A Thesis for thePhilosophiae Doctor in the Faculty of Engineering, Built Environment and Information Technology University of Pretoria.

Abstract

In this century extensive and applied researches have been conducted in the field of soil mechanics, most of them are in designing agricultural equipments and the effect of vehicle traffic impact on soil properties. The main aim of this research was to determine the important and basic soil parameters. For understanding soil properties, determining the soil reaction against tillage tools and vehicle traffic and determining rolling resistance soil parameters should be determined.

A laboratory apparatus was designed and manufactured which is able to measure Bakker equation parameters, direct shear test parameters and soil strength (cone index value). For determining Kø, Kc and n sinkage test using different rectangle plates were conducted. By conducting direct shear soil cohesion (C) and internal friction (ø) were determined. Soil strength was measured by cone penetration test. Therefore a mechanical system including pressure plates, cutting plate and a standard cone was designed and manufactured. Stress analysis with confidence of 2 was performed using solidworks 2009 simulation software. The system comprises of: chassis, electromotor with gear box, electric circuit, horizontal rails, pressure plates, cutting plate, cone and data logging system

Keywords: soil parameters, Sinkage test, shear test, cone index