ارزیابی مقاومت تراکمی خاک با استفاده از آزمایش های نشست صفحه ای و فشردگی محصور

امیر فتحعلی زاده

کارشناس ارشد مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد واحد نجف آباد
Amir_avrin@yahoo.com

چکیده

برای جلوگیری از تراکم خاک، دانستن حد تنش فشاری مجاز(مقاومت تراکمی) خاک حائز اهمیت است. تنش پیش- تراکمی σ_{pc} بعنوان معیاری از مقاومت به تراکم پذیری خاک معرفی شده است. σ_{pc} خاک با استفاده از آزمایش های نشست صفحه ای (*PST*) و فشردگی محصور (*CCT*) تعیین گردیده است. برای بررسی اثر رطوبت و تنش پیش – باری بر σ_{pc} برآورد شده، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که σ_{pc} بستگی به روش آزمایش فشاری داشته، آزمایش *PST* روشی مناسب برای برآورد مقاومت تراکمی خاک بوده و در مدیریت پایدار خاک(از جنبه های تردد پذیری خاک و خاکورزی) و اثر عوامل مختلف مدیریتی بر تنش پیش – تراکمی خاک قابل استفاده می باشد.

کلمات کلیدی: **آزمایش فشردگی محصور، آزمایش نشست صفحه ای، تراکم خاک، تنش پیش – تراکمی، مقاومت خاک**

مقدمه

از جمله عوامل مهم تخریب فیزکی خاک، تراکم خاک می باشد. در سال های اخیر به دلیل افزایش اندازه مزارع و همچنین توان و وزن ماشین های کشاورزی، تراکم خاک مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (مصدقی م،1382). فشردگی به مفهوم فرایندی است که افزایش چگالی ظاهری را سبب می شود و ممکن است منشاء خارجی یا داخلی داشته باشد. در خاک های اشباع، فشردگی را تحکیم می نامند در حالی که در خاک های غیر اشباع، تراکم نامیده می شود (وفائیان م،1376). از دلایل اصلی به وجود آمدن تراکم در خاک می توان به نشست طبیعی خاک، آبیاری غرقابی در خاک با ساختمان ضعیف، تردد ماشین های سنگین کشاورزی در سطح مزرعه و حرکت ادواتی همچون گاوآهن برگرداندار در خاک اشاره نمود. تراکم خاک در زمین های زراعی ممکن است رشد محصولات را کاهش داده و همچنین آثار محیطی نامطلوبی مانند کاهش نفوذ آب به خاک، افزایش رواناب در دوره زمانی بارندگی زیاد و نهایتا فرسایش خاک به همراه داشته باشد .

هدف اصلی از ارزیابی σ_{pc} یک خاک، مطالعه ظرفیت باربری خاک در برابر تنش های وارد بر آن می باشد که به مدیریت مناسب و پایداری آن کمک می کند. از روش های تعیین تنش پیش-تراکمی می توان به روش ادومتر یا تحکیم سنج، آزمایش فشردگی محصور (*CCT*) یا همان آزمایش تحکیم و آزمایش نشست صفحه ای (*PST*) اشاره نمود. والکلی و بلک (1934) بیان کردند که توانایی خاک ها برای باربری یا گسیخته شدن تحت بار اعمالی در این روش با رفتار آنها در طی عبور چرخ تراکتور رابطه دارد. اولین بار کاساگراند (1936) روشی برای یافتن حداکثر فشار وارد شده بر خاک پیشنهاد کردکه از روی منحنی نسبت پوکی- لگاریتم تنش عمودی تعیین می شود.

هدف از این پژوهش، کاربرد روش کاساگراند برای تعیین مقدار آستانه مقاومت تراکمی (تنش پیش-تراکمی) خاک با استفاده از داده های حاصل از آزمایش نشست صفحه ای (*PST*) و مقایسه آزمایش های *PST* و *CCT* در جفت آزمایش ها بر روی نمونه های خاکی بود که با مقدار بارهای معین پیش-تراکم شده اند.

مواد و روشها

خاک مورد استفاده در این پژوهش از یک خاک لوم شنی تحت کشت ذرت، از لایه خاک سطحی (20-0سانتی متر) به وسیله بیل نمونه برداری شده و بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شد. حدود قوام خاک شامل حد روانی (LL) ، حد خمیری (PL) و حد انقباض (SL) به روش استاندارد انگلیسی BS اندازه گیری گردید (وفائیان م .1369). درصد ماده آلی به روش اکسیداسیون تر اندازه گیری گردید (والکلی و بلک، 1934). برخی از ویژگی های فیزیکی و مکانیکی خاک مورد استفاده در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1-ویژگی های فیزیکی و مکانیکی خاک مورد استفاده

بافت خاک	درصد وزنی			ماده آلی(%)	حدود پایداری		
	شن	سیلت	رس		LL	PL	SL
لوم شنی	64	26	10	0/78	27/7	18/4	8/2

LL ،PLوSL به ترتیب بیانگر حد روانی، حد خمیری و حد انقباض خاک می باشند.

خاک مورد بررسی هوا-خشک و از الک 2 میلی متر عبور داده شد. جرم خاک مورد نیاز با فرض مقدار 1/3 گرم بر سانتیمتر مکعب برای چگالی ظاهری تر خاک و حجم ظرف استوانه ای (قطر 28 و ارتفاع 15 سانتی متر)، محاسبه شده و سپس جرم آب مورد نیاز برای رساندن رطوبت مورد نظر محاسبه و به خاک اضافه شد. سپس توده خاک آنقدر ورز داده شد تا رطوبت خاک تقریباً یکنواخت گردید. آنگاه در 3 مرحله، خاک مرطوب درون ظرف ریخته شده، توسط چکش مخصوصی به چگالی مزبور رسانده شده و سپس تمام سطح نمونه ها با ورقه های پلاستیکی پوشانده شد. نهایتا یک روز پس از تهیه و به تعادل رسیدن رطوبت در نمونه، پیش-بارگذاری و سپس آزمایش های مجدد روی خاک انجام گرفت.

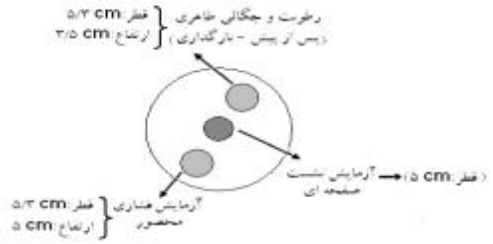
برای انجام پیش – بارگذاری و انجام آزمایش های نشست صفحه ای(PST) و فشردگی محصور (CCT) از دستگاه CBR استفاده گردید. قطر پیستون دستگاه CBR در این آزمایش ها 50 میلی متر و سرعت بارگذاری 1 میلی متر بر دقیقه بود. در حین آزمایش، بار وارده به خاک در فواصل جابجایی 0/5 میلی متر یادداشت شد.

برای پیش – بارگذاری روی سطح خاک، از صفحه با قطر 27/5 سانتی متر (که برای خروج هوا سوراخ دار شده بود) استفاده گردید و سپس با استفاده از دستگاه CBR بارگذاری انجام شد. با توجه به مساحت صفحه ومیزان تنش پیش – باری مورد نظر، مقدار نیروی مورد نظر محاسبه و مقدار نیروی اعمال شده به خاک با استفاده از یک نیرو سنج کنترل شد. در تمام آزمایش های پیش – بارگذاری پس از رسیدن نیرو به سطح بار مورد نظر، بار به مدت 30 دقیقه روی نمونه باقی ماند. بنابراین، با انتخاب صفحه ای با قطر نزدیک به قطر ظرف، خاک به طور یکنواخت و به صورت محصور تحت پیش – بار قرار گرفت.

پس از پیش – بارگذاری و قبل از انجام آزمایش های اصلی، برای تعیین رطوبت و چگالی ظاهری خاک، نمونه ای با استفاده از نمونه گیر استوانه ای با قطر و ارتفاع بترتیب 53 و 35 میلی متر تهیه گردید(شکل 1).

آزمایش ها به صورت دو ترکیب CCT-PST و CCT-CCT انجام گردید. این ترکیب ها بدین معنی است که پیش – بارگذاری در هر دو حالت توسط روش CCT انجام شده و بارگذاری مجدد به یکی از دو روش PST یا CCT صورت گرفت. آزمایش PST ، در وسط خاک پیش – بارگذاری شده انجام شد(شکل 1). مقدار جابجایی(نشست) 20 میلی متر به عنوان پایان آزمایش در نظر گرفته شد. پس از پایان آزمایش PST، نمونه استوانه ای شکل (به قطر و ارتفاع بترتیب

53 و 50 میلی متر) برای آزمایش فشردگی محصور (CCT) از خاک قسمت دیگر ظرف تهیه گردید(شکل 1). صفحه بارگذاری با قطر اندکی کمتر از قطر داخلی سیلندر نمونه گیری، بین نمونه و محور بارگذاری دستگاه CBR قرار داده شد. به دلیل آنکه برای هر آزمایش در میزان نشست بخصوصی، آب از نمونه خارج می گردید، بنابراین مبنای پایان یافتن آزمایش، شروع خروج آب از نمونه بود.



شکل 1 – نمای بالای محل آزمایش (PST) و نمونه های خاک برای آزمایش (CCT) و تعیین رطوبت و چگالی ظاهری خاک

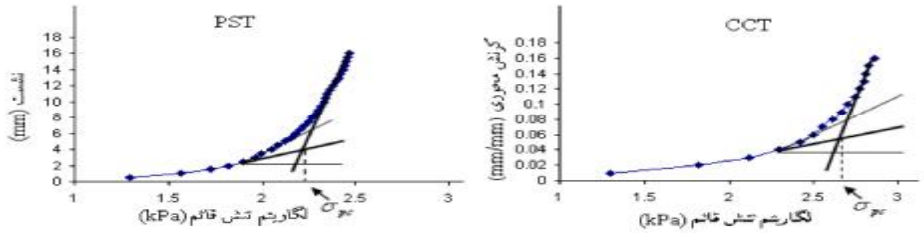
برای تعیین تنش پیش – تراکمی (σ_{pc}) از روش کاساگراند (1936) استفاده شد. در این روش، تغییر شکل خاک بر حسب لگاریتم تنش عمودی رسم می شود. برای یافتن تنش پیش – تراکمی (σ_{pc}) به کمک این روش از منحنی تنش – نشست آزمایش PST و منحنی تنش – کرنش آزمایش CCT استفاده شد.
در این مطالعه از دو سطح رطوبت خاک (17 و 19 درصد وزنی) و شش سطح پیش – بارگذاری (0،25،50،100،150و 200 کیلو پاسکال) برای تهیه نمونه های خاک با درجات متفاوت تراکم اولیه استفاده گردید. آزمایش ها به صورت فاکتوریل (6×2) در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام گردید. برای تجزیه و تحلیل آماری داده ها از نرم افزار SAS و برای مقایسه میانگین اثرات متقابل از نرم افزار آماری MSTATC استفاده گردید. میانگین ها در سطح احتمال 5% و با استفاده از آزمون LSD با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نمونه ای از چگونگی تعیین σ_{pc} به کمک روش کاساگراند از روی منحنی تنش – نشست در آزمایش PST و منحنی تنش – کرنش محوری برای آزمایش CCT در شکل 2 نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از آزمایشها در سطوح مختلف رطوبت خاک و پیش – بارگذاری در جدول 2 خلاصه شده است. با توجه به جدول 2، نتایج آزمایش PST نشان می دهد که با افزایش مقدار پیش – بار، میزان تنش پیش – تراکمی نیز افزایش یافته است. ولی در نتایج آزمایش CCT روند منظمی در این مورد وجود ندارد. دست خوردگی خاک در حین نمونه گیری برای روش CCT نیز می تواند دلیلی بر تراکم پذیری بیشتر خاک در تنش های کمتر از نقطه تراکم (نقطه یا تنشی که منحنی های حاصل از آزمایش PST و CCT از همدیگر جدا می شوند) باشد.

در جدول 3 نتایج تجزیه واریانس اثر رطوبت خاک و پیش – بار بر تنش پیش – تراکمی برآورده شده، نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که اثرات رطوبت خاک، پیش – بار و اثر متقابل آنها بر تنش پیش – تراکمی (تعیین شده با دو آزمایش PST و CCT) معنی دار می باشند.

مقایسه آماری اثر رطوبت خاک و پیش – بار بر تنش پیش – تراکمی در آزمایش های PST و CCT در جدول 4 نشان داده شده است. در آزمایش PST ، با افزایش رطوبت خاک، σ_{pc} برآورد شده به طور معنی داری کاهش یافته است. بنابراین، نتایج آزمایش PST نشان می دهد که با افزایش رطوبت خاک، آستانه تنش که در آن تغییر شکل ماندگاردر خاک آغاز می شود، کاهش یافته است که با مشاهدات مزرعه ای سازگار است. در صورتی که نتایج آزمایش CCT عکس این روش را نشان می دهد.



شکل 2– نمونه ای از چگونگی تعیین تنش پیش – تراکمی به کمک روش کاساگراند روی خاک پیش – بارگذاری شده با درصد رطوبت 17، چگالی ظاهری 1/32 گرم بر سانتی متر مکعب برای دو آزمایش PST و CCT

جدول 2-شرایط خاک قبل از بارگذاری مجدد و میانگین تنش پیش – تراکمی در آزمایش های (PST) و (CCT)

پیش – بار (Kpa)	شرایط خاک پس از پیش - بارگذاری				تنش پیش – تراکمی (Kpa)			
	رطوبت خاک		چگالی ظاهری خشک(gm^{-3})		PST		CCT	
	w	w_s	ρ_d	$S_{\rho d}$	σ	S	σ	S
0	17/2	0/06	1/2	0	10/6	0/4	40/1	0/5
25	17	0/1	1/32	0/02	60	5/6	100	14/8
50	16/8	0/2	1/37	0/08	74/9	6/4	459/8	202/8
100	16/7	0/3	1/46	0/06	139/6	14/6	688/6	64/7
150	17/03	0/1	1/58	0/03	166	6/5	865/7	61/5
200	16/8	0/3	1/68	0/005	201/6	17/1	568/7	103/2
0	18/9	0/2	1/44	0/03	31/7	2/2	58/5	14/7
25	19/2	0/2	1/44	0/03	31/7	2/2	85/5	14/7
50	18/8	0/06	1/64	0	72	5/8	421	31/7
100	18/7	0/1	1/67	0/005	99/6	17/7	323/2	99/3
150	18/5	0/1	1/65	0/02	135/8	23/2	1879/1	122/4
200	187/7	0/06	1/67	0/01	193/8	13/2	1511/3	462/5

w و w_s :میانگین و انحراف معیار رطوبت خاک در سه تکرار d ρ و $S_{\rho d}$: میانگین و انحراف معیار چگالی ظاهری خاک در سه تکرار

σ و S: میانگین و انحراف معیار تنش پیش – تراکمی در سه تکرار

جدول 4 نشان دهنده وجود تنش پیش – تراکمی در پیش – بار صفر است. دلیل این امر وجود نیروهای داخلی حاصل از مکش ماتریک و تشکیل پیوندهای داخلی در مدت زمان یک روز باقی ماندن نمونه ها قبل از بارگذاری مجدد می باشد. با افزایش پیش – بار در آزمایش PST ، σ_{PC} به طور معنی داری افزایش یافته است، در صورتی که چنین روندی به طور مشخص و کامل در نتایج آزمایش CCT مشاهده نمی شود. تنش پیش – تراکمی برآورد شده با آزمایش CCT چندین برابر مقادیر اعمال شده به نمونه ها می باشد. زیرا در این آزمایش، شرایط آزمایش محصور بوده و تنش موثر محاسبه نگردیده است. در این حالت بخشی از تنش کل توسط آب منفذی تحمل شده و چون آب تراکم پذیر نمی باشد افزایش قابل توجهی در مقادیر σ_{PC} در آزمایش CCT نسبت به آزمایش PST به دست آمده است.

جدول 3- تجزیه واریانس اثر رطوبت خاک و پیش – بار بر تنش پیش – تراکمی برآورد شده در آزمایش های PST و CCT

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		PST	CCt
رطوبت خاک	1	1645/1 **	775976***
پیش – بار	5	26452/9***	1549414/7***
رطوبت × پیش - بار	5	737/3 *	471110/5 ***

*،** و *** : به ترتیب بیانگر اثر معنی دار در سطوح آماری 5، 1 و 0/1 درصد می باشند.

جدول 4-اثر رطوبت خاک و پیش – بار بر میانگین تنش پیش – تراکمی در آزمایش های PSTوCCT

تیمار	تنش پیش – تراکمی (Kpa)	
	PST	**CCT**
رطوبت خاک		
17	108/8 [a]	453/8 [b]
19	95/3 [b]	747/4 [a]
پیش بار(Kps)		
0	21/1 [f]	49/3 [d]
25	48/4 [e]	195/8 [d]
50	74/3 [d]	440/4 [c]
100	119/6 [c]	505/9 [c]
150	150/9 [b]	1040 [b]
200	197/7 [a]	1372/4 [a]

در هر ستون و برای هر تیمار، میانگین های با حروف غیر مشترک در سطح آماری 5 درصد اختلاف معنی داری دارند.

رابطه بین تنش پیش – تراکمی و تنش پیش – بار در شکل 3 نشان داده شده است که این رابطه در آزمایش PST تقریبا 1:1 ولی در آزمایش CCT پراکندگی داده ها روند غیر خطی تغییرات را نشان می دهند.
در جدول 5 مقادیر ضریب همبستگی بین σ_{PC} و پیش – بار آورده شده است. این ضرایب همبستگی نیز نشان می دهند که در آزمایش PST رابطه قوی تری بین σ_{PC} و پیش – بار وجود دارد

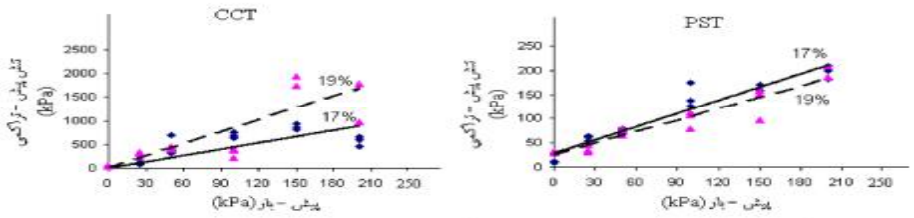
با عنایت به موارد ذکر شده می توان نتیجه گرفت:

1– در آزمایش PST، رابطه خطی با ضریب هم بستگی بالا بین مقاومت تراکمی و پیش – بار وجود داشت.

2 – در آزمایش های PST و برای پیش – بارهای کم، تنش پیش – تراکمی براورد شده به علت اثر نیروهای داخلی حاصل از مکش ماتریک، بیشتر بود.

3 – در ترکیب CCT-CCT، به علت اشباع شدن خاک در حین آزمایش اصلی، مقادیر برآورد شده تنش پیش – تراکمی بسیار زیاد بود.

4 – آزمایش PST، روشی مناسب برای برآورد مقاومت تراکمی (تنش پیش – تراکمی) خاک می باشد.



شکل 3–رابطه بین تنش پیش - تراکمی و پیش – بار در رطوبت های وزنی 17% و 19% برای آزمایش های PST و CCT

جدول 5- مقادیر ضریب همبستگی (r) در آزمایش های PST و CCT بین تنش پیش – تراکمی و پیش - بار

رطوبت خاک	آزمایش PST	آزمایش CCT
17	0/96	0/69
19	0/96	0/85

منابع

وفائیان م، 1376. خواص مهندسی خاک. نشر ارکان اصفهان.

وفائیان م، 1369. آزمایش های مکانیک خاک(مستند به استاندارد BS 1377-1975). جلد دوم. نشر قومس-شفق اصفهان.

مصدقی م ، 1382. تنش پیش – تراکمی و رابطه آن با ویژگی های فیزیکی و مکانیکی برخی از خاکهای اصفهان. رساله دکتری خاک شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان .

Walkley A and Black IA, 1934. An examination of the effect of the digestive method for determining soil organic matter and the proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29–38.

Casagrande A, 1936. The determination of preconsolidation load and its practical significance. Vol.3 spp.60-64. International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering. Cambridge,MA.