

A talaj víztartó képessége és különböző talajtulajdonságok összefüggésének vizsgálata

RAJKAI KÁLMÁN

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

A talajok víztartó képességét leíró, a növények talajból történő vízellátásának megítélését segítő pF-görbék meghatározása napjainkban már a mezőgazdasági talajtani szaktanácsadási gyakorlat része. A pF-görbe meghatározása speciális mintavétellel gyűjtött, ún. bolygatatlan mintahengerek felhasználásával történik [VÁRALLYAY, 1978]. A laboratóriumi mérés a talaj tulajdonságaitól függően 2-3 hónapot, esetenként akár fél évet is igénybe vesz, tehát idő- és költségigényes művelet.

A gyakorlatban többnyire elégséges a talajok víztartó képessége kitüntetett értékeinek /teljes vízkapacitás, szabadföldi vízkapacitás, holtvíztartalom/ közelítő ismerete. Gyakorlati igénynek tekinthető a pF-görbének, mint talajjellemzőnek a megadása különböző szimulációs modellek bemenő adataként. Elégséges ezen esetekben a teljes függvénytartományban becsült értékekkel dolgozni és ellenőrzésként megadni egy-egy mért értéket.

A regressziós modellel alapuló becslés [RAJKAI et al., 1981; PACSEPSZ-KIJ et al., 1982], gyakorlati jelentőségére tekintettel a mintaanyag kibővítésével, újabb változóknak az elemzésbe vonásával fejlesztettük tovább. Az elemzéseket kiterjesztettük a szikes talajok pF-görbéjének vizsgálatára is.

A pF-görbét és a talaj kumulatív szemcseösszetételét leíró függvények paraméterértékeivel helyettesítve is elvégeztük az elemzéseket. A függvényparaméterek alkalmazása - a mért függvényértékek helyett - a változók számának csökkentését teszi lehetővé: a pF-görbe 10 mérési pontja helyett például 3 függvényparaméter elégséges a leíráshoz. A függvény paramétereinek ismerete megengedi nem mért értékek számítását.

A regressziós modellek általános érvényességének ellenőrzésére az elemzéseinkben kapott regressziós modellt GUPTA és LARSON 1979-ben, MADANKUMAR 1985-ben, valamint az általunk 1981-ben közölt modellel hasonlítottuk össze.

A szikes talajok pF-görbéinek elemzésekor a fizikai tulajdonságok mellett egyes kémiai tulajdonságokat is bevontunk az összefüggés-vizsgálatokba.

Anyag és módszer

Az elemzésekhez 270 darab nem szikes és 42 darab szikes /összes sőtartalom > 0,1 %/ talajminta mért adatait használtuk fel. A mintaanyag részletes leírását és valamennyi mért talajjellemzőjét VÁRALLYAY /1987/ foglalta össze. A RAJKAI et al. /1981/ által bemutatott mintaanyag 79 db nem szikes

talajmintával bővült. Az új minták öntés, öntés réti, réti, réti csernozjom és kovárványos barna erdőtalajokból, a szikes talajminták hortobágyi réti szolonyec és szoloncsák-szolonyec talajokból származnak. A nem szikes talajok elemzésébe bevontuk a talajminták szervesanyag-tartalom értékeit.

A szikes talajminták esetében a szervesanyag-tartalmon kívül a talaj egyes kémiai tulajdonságait is figyelembe vettük /1. táblázat/. A pF-értékek, a mechanikai összetétel szemcsefrakció-értékei, a térfogattömeg /TFS/ és a

1. táblázat

A szikes talajminták főbb jellemzői

/1/ Talajjellemző	/2/ Átlagérték	/3/ Szórás
a/ Homok, %	5,41	4,81
b/ Iszap, %	61,15	7,51
c/ Agyag, %	33,43	7,93
d/ Karbonáttartalom, %	6,06	6,11
e/ Sótartalom, %	0,54	0,40
f/ CEC, me/100 g	21,95	5,22
g/ Na _{Herke}	13,95	6,63
h/ Térfogattömeg, g/cm ³	1,52	0,09

talaj kémiai tulajdonságai: szervesanyag- /HUM/, só- /SÓ/ és karbonáttartalom /CaCO₃/, oldható + kicserélhető nátriumtartalom Herke szerint /Na_{Herke}/ kationkicserélő kapacitás /CEC/ meghatározása a szokásos módszerekkel történt /VÁRALLYAY, 1978; DARAB és FERENCZ, 1969/.

A talaj pF-görbéjének függvényként történő kezelhetősége érdekében a mért pF-pontokat a következő alakú egyenlettel közelítettük /VÁRALLYAY et al., 1979/:

$$\theta/\theta_0 = 1/[1 + (X/X_0)^b] \quad /1/$$

ahol:

θ_0 , X_0 és b = kísérletileg meghatározott állandók;

θ = a talaj nedvességtartalma /térfogat-%/;

X = a talaj nedvességpotenciálja /víz cm/.

Az /1/ egyenlet pF-pontokra illesztését, a függvény-állandók értékének megállapítását nem lineáris illesztést végző program segítségével végeztük /RAJKAI, 1983/.

Az /1/ egyenlet θ_0 , X_0 és b paramétereit sorrendben APF, BPF és CPF-nek, valamint az egyenlet deriváltját az inflexiós pontban DERPF-nek nevezzük. Az egyenlet paraméterértékeinek megkerestük a matematikai jelentését, majd megadtuk fizikai értelmezésüket. Fizikai jelentéstartalmuk alapján a paramétereket a pF-görbét jellemző változókként szerepeltettük az összefüggés-vizsgálatokban.

A talajminták szemcsefrakció-értékeit kumuláltuk, azokból szemcseeloszlás görbét állítottunk elő. A szemcsefrakciók %-os értékeit a következőképpen jelöltük: H1 /0,25-0,05 mm/, I1 /0,05-0,02 mm/, I2 /0,02-0,01 mm/, I3 /0,01-0,005 mm/, I4 /0,005-0,002 mm/, A /< 0,002 mm/. A kumulatív szemcsefrakció értékére az /1/ egyenlettel azonos alakú függvényt illesztettünk a következő jelöléseket alkalmazva /RAJKAI, 1983/:

$$P/P_0 = 1/[1 + (d/d_0)^c] \quad /2/$$

ahol:

P_0 , d_0 és c = kísérletileg meghatározott állandók;

P = a kumulált szemcsefrakció érték, %;

d = részecske méret, μm

A /2/ egyenlet P_0 , d_0 és c paramétereit sorrendben AMECH-, BMECH- és CMECH-nek nevezzük.

Az /1/ és /2/ egyenletek paraméterértékeinek meghatározását követően a függvények két kitüntetett értékét: az inflexiós pontot és a derivált értékét az inflexiós pontban a BPF, ill. BMECH és DERPF változók értékeivel közelítettük. Az /1/ és /2/ függvény paramétereit - AMECH kivételével - a további vizsgálatokban változóknak tekintettük, és felhasználtuk a talajmintából képezett fizikai féleség csoportok jellemzésére /2. táblázat/.

A talajminták fizikai féleség csoportokba sorolása a 2. táblázat szerint történt, amelyben Li a leiszapolható részt jelenti /Li = I3+I4+A/. További változókként előállítottuk az iszapfrakciók összegét /I = I1+I2+I3+I4/, valamint a SCHUH és BAUDER /1986/ által ajánlott homok-iszap arányt /HI = H1/I/.

Korreláció- és regresszió-vizsgálatokat végeztünk a pF-görbét leíró /1/ és a szemcseösszetétel kumulált értékeit közelítő /2/ egyenlet paraméterértékei és a független változók között /3. és 4. táblázat/.

A regressziós elemzésben függő változóként a pF-értékeként mért nedveségtartalmak és a pF-görbét leíró /1/ függvény paraméterértékei szerepeltek. Független változóknak a talajminták szemcsefrakcióinak százalékos értékeit, térfogattömegét és szervesanyag-tartalmát, a kumulatív szemcseösszetételét leíró /2/ egyenlet paraméterértékeit, valamint a szikes talajminták esetében még a CaCO_3 -ban kifejezett karbonáttartalmat / CaCO_3 /, a Herke szerinti oldható + kicserélhető nátriumtartalmat / Na_{Herke} /, a sótartalmat /Só/ és a talaj kationkicserélő kapacitását /CEC/ tekintettük.

Mind a nem szikes, mind a szikes talajmintákból álló mintaanyagra lépésenkénti /stepwise/ regresszió elemzést végeztünk. Az elemzésekben függő vál-

2. táblázat

A fizikai féleség csoportok jellemzése az /1/ és /2/ egyenlet paramétereivel

/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/	/7/
Para- méter	Összes minta	Homok	Homokos vályog	Vályog	Agyagos vályog	Agyag
		Li<15	15<Li<35	35<Li<60	60<Li<70	70<Li
APF	47,5	42,3	48,4	48,1	47,9	51,3
BPF	8922,7	539,9	2325,5	8943,9	30795,2	36600,2
CPF	0,54	1,02	0,50	0,43	0,45	0,49
DERPF	40,2	24,0	37,4	43,5	48,9	57,1
BMECH	88,4	350,0	100,2	17,6	5,4	1,7
CMECH	1,17	3,42	0,99	0,66	0,72	0,65

Li = leiszapolható rész /I3+I4+A/

APF, BPF, CPF = az /1/ egyenlet θ_0 , X_0 és b paramétere; DERPF = az egyenlet deriváltja az inflexiós pontban.

BMECH, CMECH = a /2/ egyenlet d_0 és c paramétere.

3. táblázat

Az /1/ egyenlet paramétereinek becslése a /3/ egyenlet nem szikes talaj-
mintákra illesztésével

/1/		/2/								
/1/ egyen- let para- méterei*	X ₁	X ₂	R ²	Hiba	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
APF	TFS	Il	0,6638	4,14	100,64	-38,56	0,1230	-	-	-
BPF	A	TFS	0,5476	9513	-1930,1	-316,9	14490,3	-	18,84	-
CPF	HL	HI	0,6694	0,15	0,4860	-5,7E-3	-	2,4E-3	1,3E-4	-

* lásd 2. táblázat.

TFS = a talaj térfogattömege, g/cm³;

A: < 0,002 mm; HL: 0,25-0,05 mm; Il: 0,05-0,02 mm szemcsefrakció %-os értéke;
HI: HL/I arány; I: iszapfrakció, mint az Il+I2+I3+I4 összege.

4. táblázat

A változók korrelációs mátrixa a nem szikes mintaanyagra

/1/ A vál- tozó jele*	HUM	APF	BPF	CPF	BMECH	CMECH	TFS	HL	A
HUM	1,000	0,4303	0,2018	-0,4409	-0,4517	-0,4229	-0,4756	-0,4432	0,3543
APF		1,0000	-0,1206	-0,4495	-0,3593	-0,3209	-0,7905	-0,3741	0,2143
BPF			1,0000	-0,1326	-0,3537	-0,2956	0,0107	-0,4164	0,6857
CPF				1,0000	0,7488	0,8571	0,3070	0,7837	-0,5990
BMECH					1,0000	0,8447	0,3422	0,9377	-0,7592
CMECH						1,0000	0,2797	0,8634	-0,6873
TFS							1,0000	0,3416	-0,2380
HL								1,0000	-0,8277
A									1,0000

* lásd 3. táblázat; HUM: a talaj szervesanyag-tartalma, %

tozónak mindenkor valamely pF-értéket, vagy a pF-görbét jellemző paraméter-
értékeket tekintettük. Független változónak az összes többit. A lépésenkénti
regresszióval a független változók közül kiválogattuk az adott függő válto-
zóval leginkább korrelatív két változót. A két változó ismeretében ezt köve-
tően a következő egyenletet illesztettük többszörös lineáris regresszióval:

$$pF_H = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1 X_2 + b_4 X_1^2 + b_5 X_2^2 \quad /3/$$

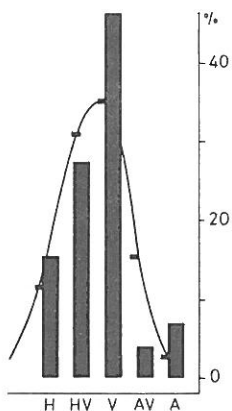
ahol:

b₀ - b₅ = a regressziós együtthatók;

X₁ = az első helyen korrelatív független változó;

X₂ = a második helyen korrelatív független változó.

A nem szikes talajok esetében a /3/ regressziós modell illesztését elvégeztük a talajminták osztályozásával előállított fizikai féleség csoportokra is. Az osztályozás a talaj szemcseösszetétel értékeinek a 2. táblázatban megadott felosztás szerint történt. A



1. ábra

A talajminták megoszlása a fizikai féleség csoportokban. H: homok; HV: homokos vályog; V: vályog; AV: agyagos vályog; A: agyag

leírjuk GUPTA és LARSON 1979-ben közölt regressziós modelljét:

$$\theta_H = C_1H + C_2I + C_3A + C_4HUM + C_5TFS \quad /4/$$

ahol:

- $C_1 - C_5$ = regressziós együtthatók;
- H = a 0,25-0,05 mm-es szemcsefrakció %-os értéke;
- I = a 0,05-0,002 mm-es szemcsefrakció %-os értéke;
- A = a < 0,002 mm-es szemcsefrakció %-os értéke;
- HUM = a szervesanyag-tartalom, %
- TFS = a térfogattömeg, g/cm^3

Az adatok kezelését és valamennyi számítást VARYTER XT számítógépen végeztük. A statisztikai számításokhoz az SPSS/PC+ programcsomagot alkalmaztuk.

Az eredmények értékelése

A statisztikai vizsgálatokon alapuló becslések megbízhatósága a regressziós modell kidolgozásához alkalmazott mintaanyag statisztikai értelemben vett reprezentativitásának függvénye.

Statisztikai próbákkal a mintahalmaz valamely eloszlástípushoz tartozásának valószínűsége állapítható meg. A talajtani reprezentativitás megítélése szakmai kérdés. A véleményalkotást segíti az egyes fizikai féleség csoportokban előforduló talajminták gyakoriságának számbavétele /1. ábra/. Az 1. ábrán látható a talajminták fizikai féleség szerinti megoszlása. Mintaanyagunk az Alföldön elterjedt néhány talajtípusra tekinthető reprezentatívnak. A szikes talajmintákra az elemzéseket külön végeztük, érvényességük a kis mintaszám

talajmintákat öt fizikai féleség csoportba /homok, homokos vályog, vályog, agyagos vályog, agyag/ soroltuk /1. ábra/.

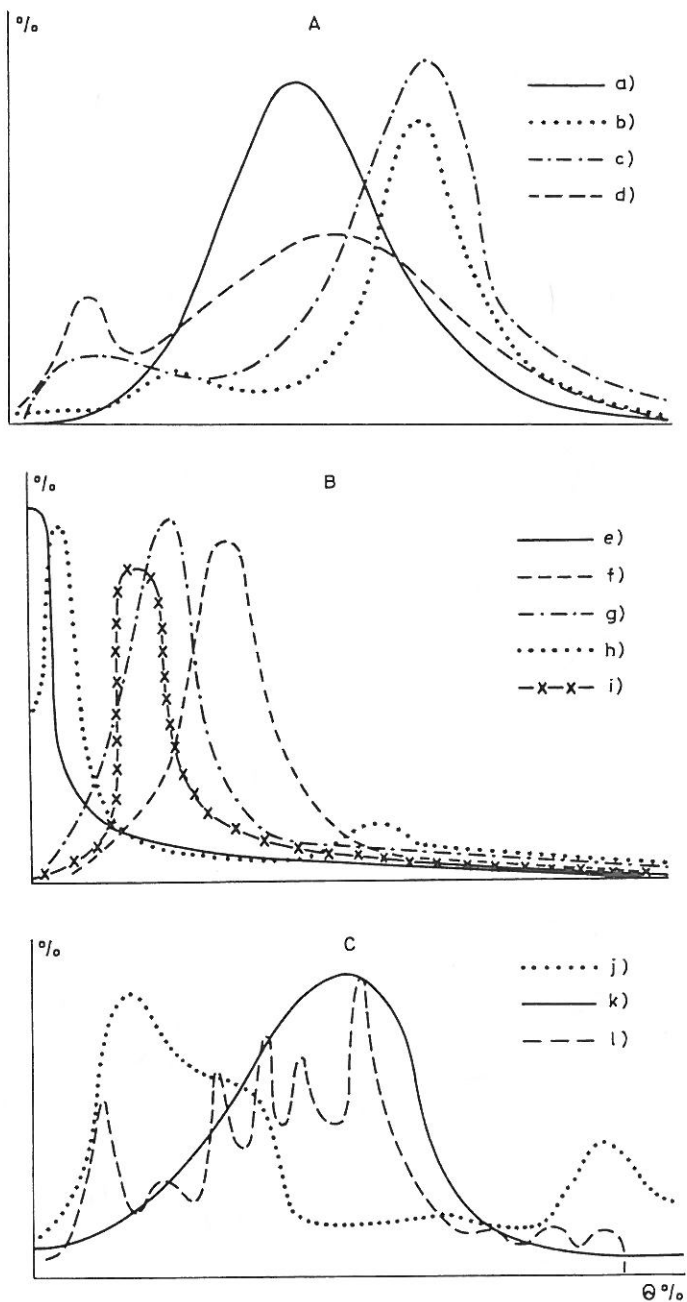
Az elemzésekben a szikes és a nem szikes talajmintákat elkülönítve kezeltük.

Felrajzoltuk az egyes változók gyakoriság-eloszlás histogramjait /2. ábra/.

MADANKUMAR /1985/ eljárását úgy módosítottuk, hogy a pF-görbének a leírására az /1/ egyenletet alkalmaztuk és az egyenlet paramétereit a talaj egyéb tulajdonságaiból lépésenkénti regressziós változó-leválogatást követően a /3/ regressziós függvény illesztésével állítottuk elő /3. táblázat/.

Az /1/ és /2/ egyenleteket csupán a nem szikes talajminták pF- és kumulatív szemcseösszetétel görbéinek a leírására alkalmaztuk.

Regressziós modellünk összehasonlíthatóságának megkönyvítésére röviden



2. ábra

A vizsgált változók gyakoriság-eloszlási hisztogramjai. A. pF 0 /a/, pF 2 /b/, pF 2,3 /c/ és pF 4,2 /d/ értékek gyakoriság-eloszlása. B. az /1/ és /2/ függvény paramétereinek gyakoriság-eloszlása: BPF /e/, APF /f/, CPF /g/, BMECH /h/, CMECH /i/. C. a H1 /j/, TFS /k/ és A /l/ gyakoriság-eloszlása

és az egyetlen vizsgált terület /42 darab minta/ miatt csak korlátozottan általánosítható.

Ismereteink a különböző talajtulajdonságok értékeinek előfordulási gyakoriságáról hiányosak. Felrajzoltuk ezért a vizsgált változók egy részének az eloszlás-hisztogramját /2. ábra/. Az eloszlás-hisztogramok alapján megállapítható, hogy a pF -értékek az alacsony tenziótartományban $pF < 2$ a teljes /nem szikes/ mintaanyagra kismértékű jobbra ferde eloszlást mutatnak. A $pF 2 - pF 2,7$ tenziótartományban közel szimmetrikus, ill. határozottan balra ferde, esetenként többcsúcsú eloszlást, $pF 2,7$ -nél magasabb értékekre kevert, két- vagy többcsúcsú eloszlást figyelhetünk meg /2A. ábra/.

A $pF 0$ értékek jobbra ferde eloszlásából következik, hogy az átlagértékekhez képest több a kisebb nedvességtartalom, mint a nagyobb. A tapasztalt eloszlás azzal magyarázható, hogy a talajminták egy részénél a víztelítettség a beáztatást követően nem valósult meg.

A talaj térfogattömeg-/TFS/ értékeinek gyakoriság-eloszlás diagramja /2C. ábra/ enyhén balra ferde, vagyis az átlagértékekhez képest gyakoribbak a nagyobb térfogattömeg-értékek. Minthogy a térfogattömeg és a telítési nedvességtartalom /porozitás/ negatív összefüggésben van, a kisebb nedvességtartalom nagyobb gyakoriságát a nagyobb térfogattömeg-érték nagyobb gyakorisága is magyarázhatja.

A magasabb tenziótartományban tapasztalt balra ferde eloszlás, vagyis a nagyobb nedvességtartalom-értékek nagyobb gyakorisága eredhet abból a mérési hibából, amelynek oka a száraz talajból történő lassú nedvességeltávolítás.

A talaj szemcseméret szerinti összetétele egy tömbből induló, helyben történő aprózódás esetében lognormalitást kell, hogy mutasson. A talaj anyaga azonban a mállás során térben átrendeződik, keveredik és végül normális, vagy igen gyakran - a nem "tökéletes" keveredés miatt - kevert típusú, többcsúcsú eloszlás figyelhető meg. Megjegyezzük, hogy a szemcseméret frakciókra vonatkozó gyakoriság-eloszlások /2C. ábra/ szabálytalansága a részecskeméret osztályok "önkényes" megválasztásából is adódhat.

Felrajzoltuk fizikai féleség csoportonként az átlag pF -görbéket. A teljes mintaanyag variációs tartományszélességének szemléltetésére a burkoló görbéket is feltüntetettük /3. ábra/. Az ábra alapján megállapítható, hogy a talajok fizikai félesége szemléletesen "osztályozza" a pF -görbéket, azok alakja és lefutási sávja jól elkülöníthető. A megfigyelés valószínűsíti, hogy a mintaanyagra is teljesül a szemcseösszetétel és a pF -görbe között feltételezett összefüggés.

Ezen összefüggések mértékének megállapítására pF -értékenként lépésenkénti regressziós elemzéssel meghatároztuk a nedvességtartalom-értékkel leginkább korrelatív két talajtulajdonságot X_1 és X_2 , az általuk "magyarázott" összvariancia értékét $|R^2|$ és az ekkor adható lineáris becslés középértékének a hibáját /5. táblázat/.

Az elemzésből egyértelműen kiderül, hogy az alacsony tenziótartományban $pF < 2$ első helyen a talaj térfogattömege a meghatározó.

A magas tenziótartományban $pF \geq 3,4$ a meghatározó változók a talaj aktív - szerves kolloidok alkotta - felületének nagyságát kifejező finom szemcsefrakciók mennyisége $|L_i, A|$ és a szerves kolloidfelület, amelyet a talaj szervesanyag-tartalmával jellemzünk $|HUM|$.

A középső tenziótartományban $2 < pF \leq 2,7$, ahol a talajok nedvességtartalma különböző potenciálok eredőjeként alakul, meglehetősen nagy a leginkább korrelatív változók variabilitása. Megfigyelhető, hogy ebben a tenziótartományban a legnagyobb a regressziós becslés bizonytalansága, hibája is.

A /3/ regressziós egyenlet illesztésével pF -pontonként meghatároztuk az egyenletek együtthatóinak az értékét is /5. táblázat/. A szorzatos és

5. táblázat

13

A lépésenkénti regresszió eredménye és a /3/ egyenlet együttthatói pF-görbe pontonként, nem szikes talajmintákra

/1/ pF-érték	X ₁	X ₂	R ²	/2/ Hiba	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
0	TFS	I	0,8539	1,86	89,75	-31,39	-	0,0297	-	-
0,4	TFS	HI	0,8099	2,05	85,05	-27,17	-	-0,0239	-	-
1,0	TFS	HI	0,7115	2,40	78,58	-23,94	-	-0,0251	-	-
1,5	TFS	LI	0,5859	3,00	69,78	-21,74	-	-	-	1,10E-3
2,0	HI	TFS	0,5683	4,93	40,39	0,6077	-	-0,4316	-1,48E-3	-
2,3	HI	HI	0,6028	5,86	38,62	-	-	-4,79E-3	-1,85E-3	3,11E-3
2,7	LI	HI	0,6737	5,81	20,87	0,2918	-0,8293	0,0332	-	5,12E-3
3,4	LI	HUM	0,8046	4,47	2,19	0,5233	3,9333	-0,0699	-	-
4,2	LI	HUM	0,8651	2,84	1,39	0,3560	-	-	-	0,2227
6,2	A	HUM	0,7158	0,92	0,7343	-	0,3219	-	1,77E-3	-

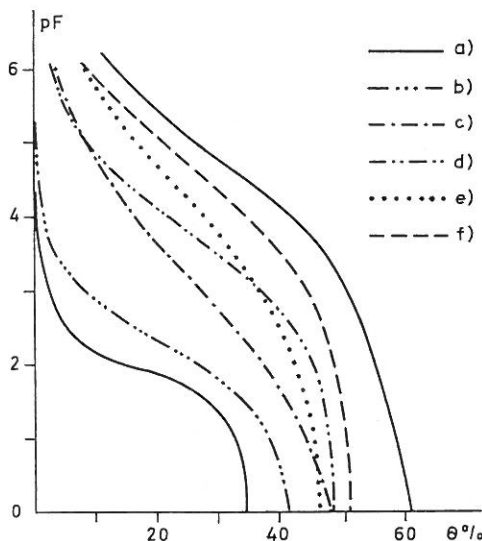
7. táblázat

A lépésenkénti regresszió eredménye és a /3/ egyenlet együttthatói pF-görbe pontonként, szikes talajmintákra

/1/ pF-érték	X ₁	R ²	/2/ Hiba	X ₂	R ²	/2/ Hiba	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
0	NaHerke	0,5680	3,30	TFS	0,6999	2,79	75,15	0,5785	-20,39	-	-	-
0,4	NaHerke	0,6235	3,34	TFS	0,7282	2,87	71,64	0,6534	-19,66	-	-	-
1,0	NaHerke	0,6464	3,58	TFS	0,7524	3,04	72,44	0,7365	-21,90	-	-	-
1,5	NaHerke	0,6662	3,48	TFS	0,7606	2,99	69,77	0,7467	-20,67	-	-	-
2,0	NaHerke	0,6661	3,45	TFS	0,7518	3,02	66,97	0,7401	-19,54	-	-	-
2,3	NaHerke	0,7022	3,22	TFS	0,7524	2,97	58,16	0,7457	-14,75	-	-	-
2,7	NaHerke	0,7109	2,95	TFS	0,7413	2,82	50,86	0,6956	-10,66	-	-	-
3,4	A	0,5489	5,47	NaHerke	0,6451	4,52	14,59	0,4946	-	0,0120	-	-
4,2	A	0,5168	4,55	NaHerke	0,6924	3,68	10,73	-	6,573	-	9,58E-3	-
6,2	A	0,6862	0,51	CaCO ₃	0,8193	0,39	0,6079	0,0941	-	-	-	-3,19E-3

négyzetes tagokat is tartalmazó regressziós egyenlet illesztése az alapadatokra az esetek egy részében csökkentette a regressziós becslés hibáját.

Az alkalmazott /3/ regressziós modell továbbfejlesztése érdekében kísérletképpen az egyenletbe köbös tagokat vezettünk be, illetve kettő he-



3. ábra

A nem szikes talajminták pF-görbéinek burkoló görbéi és a fizikai féleség csoportok átlag pF-görbéi. a/ burkoló pF-görbék; b/ homok; c/ homokos vályog; d/ vályog; e/ agyagos vályog; f/ agyag átlag pF-görbe

lyett három változót vettünk figyelembe. A regressziós egyenlet ilyenfajta módosítását azonban elvetettük, mert az egyenlet illeszkedésében ekkor sem figyeltünk meg lényeges javulást.

Az 5. táblázat adataiból megállapítható, hogy a regressziós becslés relatív hibája a pF-értékek növekedésével nő. Feltehető, hogy ez mérés technikai okokra vezethető vissza. A száradó, csökkenő nedvességtartalmú talajokból történő lassuló, esetenként igen lassú víztávozás miatt az egyensúly beállta nehezen - növekvő hibával - állapítható meg.

A fizikai féleség csoportokra kidolgozott regressziós egyenletek esetében azt tapasztaltuk, hogy a teljes mintaanyagra végzett illesztéshez képest az illeszkedés hibája nem csökken jelentősen, de a variációs tartomány szűkül, s ezáltal a becslés abszolút hibája kisebb. A kis csoportonkénti mintaszám és az ebből adódó korlátozott általánosíthatóság miatt ezeket a specifikus egyenleteket itt nem közöljük.

A fizikai féleség csoportok jól jellemezhetők a pF-görbét leíró /1/ egyenlet paramétereinek értékeivel /2. táblázat/. A táblázat adataiból megállapítható, hogy a közelítőleg a pF-görbe inflexiós pontját jellemző nedvességpotenciál - a BPF paraméter /az /1/ egyenlet X_0 értéke/ egyértelműen különbözik az egyes fizikai féleség csoportokban, számértéke növekszik a homok \rightarrow agyag mechanikai összetétel sorban. A tapasztalt tendencia fizikai értelme, hogy a közelítően effektív vízkapacitás nedvességállapotú - közelítően a víztelítettség fele nedvességtartalmú - talajok nedvességpotenciál-

ja a talaj fizikai félesége szerint különböző. Homokokban a nedvességpotenciál ebben a nedvességtartalom-tartományban kis értékkel jellemezhető /BPF ~ 500 vízoszlop cm/, míg agyagokban BPF átlagértéke eléri a 36600-at, vagyis lényegesen nagyobb az ugyanahhoz a nedvességállapothoz tartozó nedvességpotenciál-érték.

A pF-görbe átlagos lejtését /mereedségét/ jellemző CPF paraméter /az /1/ egyenlet kitevője/ átlagértéke fizikai féleség csoportonként nem mutat karakterisztikus különbséget. Megfigyelhető, hogy a pF-görbék lefutása fizikai féleségenként lehet nagyon hasonló annak ellenére, hogy különböző potenciál-tartományokba esik. Megállapítható, hogy a CPF paraméter értéke könnyű mechanikai összetételű talajok esetében 1 körüli, vagy annál nagyobb, és csökken a talaj mechanikai összetételének a finomodásával egészen a kb. 0,2 értékig. A CPF paraméter értékében megfigyelhető törvényszerűség összhangban van a talajok azon ismert vízgazdálkodási sajátosságával, hogy könnyű mechanikai összetétel esetén a nedvességtartalom a nedvességpotenciál változásával nagymértékben változik; kötött, agyagos talajokban azonban csak kismértékben.

Jellemzőbb értékek tekinthető a pF-görbe deriváltjának az értéke az említett teljes vízkapacitás fele értéknél, az inflexiós pont környékén /DERPF/. Homokok pF-görbéje esetében a DERPF értéke kicsi, kötött talajok esetében pedig nagy. Ennek fizikai értelme az, hogy a könnyű mechanikai összetételű talajokban kis nedvességpotenciál-különbség /legalábbis az inflexiós pont környéki nedvességtartalom-tartományban/ a talajban jelentős nedvességtartalom-változást okoz, míg nehéz mechanikai összetételű talajokban kis nedvességtartalom-változás előidézéséhez jelentős nedvességpotenciál-különbséget kell létrehozni. A DERPF paraméter a differenciális vízkapacitás fogalom /pl. HILLEL, 1971/ egy adott pontra való alkalmazásának tekinthető.

Az APF paraméter az /1/ egyenlet felső korlátja. Fizikailag a talaj teljes víztelítettségét, a pF 0 értéket közelíti. Összhangban azzal a megállapítással, hogy a víztelítettséghez közeli nedvességtartalom elsősorban a talaj térfogatmögével függ össze, jellemző különbséget fizikai féleség csoportonként nem mutat.

A talajok kumulatív szemcseösszetételét leíró /2/ egyenlet két fizikailag is informatív paramétere a d_0 és c /jelölésük: BMECH és CMECH/. A BMECH paraméterhez, a szemcseeloszlás görbe inflexiós pontjának szemcseméret értékéhez a leggyakoribb szemcseméret rendelhető hozzá.

A CMECH a CPF-hez hasonlóan a görbe átlagos mereedségét jellemzi. A CMECH paraméter alkalmas a szemcseeloszlás görbe egyetlen számértékkel történő jellemzésére. Megmutattuk /RAJKAI, 1983/, hogy értéke a teljes mintanyagra hibahatáron belül egyezik a BLOEMEN /1980/ által - a talaj textúrájának egyetlen számértékkel való jellemzésére - bevezetett f értékkel. /Az f érték a talaj kumulatív szemcseeloszlásának leírására bevezetett dimenzió nélküli számérték./

Annak ellenőrzésére, hogy az /1/ és /2/ egyenletek paraméterei között feltételezett fizikai meghatározottság teljesül-e, összefüggés-vizsgálatokat végeztünk. A változók korrelációs mátrixát a 4. táblázat tartalmazza. A CPF és a CMECH paraméterek közötti szignifikáns pozitív korreláció összhangban van a BROOKS és COREY /1964/ által a talaj pF-görbéje és szemcseeloszlás-görbéje között megállapított hasonló lefutással. Lényegében ezen a fizikailag is igazolható hasonlóságon alapszik a talajok pF-görbéjének a mechanikai összetételből történő számíthatósága.

A 4. táblázatból kiolvasható, hogy a pF-görbe inflexiós pontjának a nedvességpotenciál tengelyen elfoglalt helyéért elsősorban a talaj agyagtartalma felelős, míg a pF-görbe menetét a homokfrakció /0,25-0,05 mm/

mennyisége határozza meg. Látható, hogy a BMECH és a CMECH paraméterek értéke a szemcsefrakciók értékeivel közel azonos mértékben korrelál, vagyis integrálják azok hatását és ezáltal alkalmasak lehetnek azok helyettesítésére. A megállapítás ellenőrzésére a regressziós elemzést úgy végeztük el, hogy a független változókat alkotó szemcsefrakció-értékeket a BMECH és a CMECH paraméterek értékeivel helyettesítettük. A regressziós elemzés eredményét /6. táblázat/ összehasonlítva a szemcsefrakciókat külön-külön figyelembe vevő elemzésével /5. táblázat/ megállapítható, hogy azok a pF 4,2-es értékig közel azonos mértékű korrelációt mutatnak és a középérték hibája sem különbözik lényegesen.

6. táblázat.

A pF-értékek, a térfogattömeg és a /2/ egyenlet paraméterei közötti regressziós elemzés eredményei

/1/ pF-érték	X ₁	R ²	X ₂	R ²	/2/ Hiba
0	TFS	0,8264	CMECH	0,8454	1,94
0,4	TFS	0,7758	BMECH	0,8034	2,13
1,0	TFS	0,6717	BMECH	0,7039	2,53
1,5	TFS	0,5032	BMECH	0,5743	3,20
2,0	CMECH	0,4965	TFS	0,6069	4,81
2,3	CMECH	0,5974	TFS	0,6520	5,56
2,7	CMECH	0,5882	BMECH	0,6276	6,31
3,4	BMECH	0,6407	CMECH	0,6642	5,99
4,2	BMECH	0,5885	CMECH	0,5983	5,12
6,2	BMECH	0,3165	-	-	1,61

Megjegyzés: A /2/ egyenlet paramétereit lásd 2. táblázatban

Az eredmény igazolja egyrészt a /2/ egyenletnek a talaj kumulált szemcseösszetételének leírására való alkalmazhatóságát, másrészt azt a feltevést, hogy a paraméterek hordozta információ további vizsgálatokban alkalmazható.

Gyakorlati alkalmazásuk a pF-értékek számítására azonban nem célszerű, hiszen értéküket ekkor a /2/ egyenlet illesztésével előzetesen meg kell határozni.

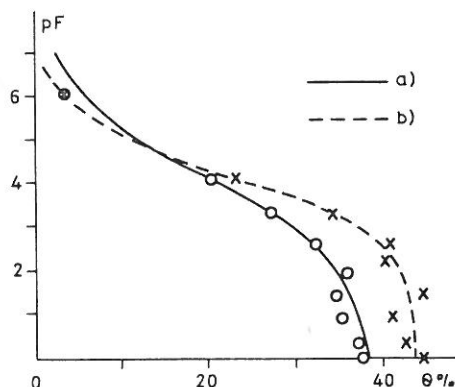
A /3/ regressziós modell mintaanyagán kívüli alkalmazhatóságának korlátait a mintaanyag reprezentativitása kapcsán tárgyaltuk. A GUPTA és LARSON /1979/ által érvényesített regressziós modell /4/ lényegesen, míg az általunk 1981-ben közölt modell csupán kismértékben különbözik attól, amelyre a bemutatott elemzések vezettek /5. táblázat/. Ez a körülmény felhívja a figyelmet arra, hogy a statisztikai modellek alkalmazása körültekintést, a kapott eredmények általános alkalmazása egyidejű kritikai értékelést tesz szükségessé.

Általános érvényű regressziós modell csak megfelelően széles adatbázison dolgozható ki. Ennek értelmében végeztük el jelen elemzéseinket a korábbihoz képest kibővített mintaanyagán.

A szikes talajmintákra a leírtakkal azonos elemzést végeztünk, de a független változók közé bevettük a talaj néhány fontosnak tekintett kémiai tulajdonságát is /1. táblázat/.

Szikesnek tekintettünk minden olyan talajmintát, amelynek sótartalma 0,1 %-nál nagyobb volt.

Az elvégzett stepwise regresszió pF 2,7 értékig következetesen, mint legkorrelatívabb változót a talaj oldható + kicserélhető nátriumtartalmát / Na_{Herke} /, második helyen pedig a talaj térfogattömeg-értékét válogatta ki. pF 3,4-tól a talaj agyagtartalma az első helyen meghatározó változó ugyanúgy, mint a nem szikes talajok esetében, második helyen pF 3,4-nél az oldható + kicserélhető nátrium-, pF 4,2-nél az összes só /Só/, pF 6,2-nél pedig a CaCO_3 -ban kifejezett összes karbonáttartalom /7. táblázat/.



4. ábra

A /3/ regressziós modellel számított nem szikes pF-görbe /a/ és a mért szikes pF-görbe /b/. TFS: 1,62 g/cm³; A: 35,5 %; CaCO_3 : 4,1 %; Na_{Herke} : 13,4 me; Só: 0,5 %

Az illesztett /3/ regressziós egyenlet együtthatóinak az értékét szintén a 7. táblázat tartalmazza.

Az eredmények egyértelműen mutatják, hogy a szikes talajok nedvességpotenciálját elsősorban a talaj kémiai tulajdonságai, azok közül is az oldható + kicserélhető nátrium mennyisége, a nedvességtartalom csökkenésével a talaj aktív kolloid felületének a nagysága, a sótartalom össz-mennyisége és az igen magas potenciál-tartományban /pF 6,2/ a talaj szerkezetét befolyásoló karbonáttartalom válik jelentős tényezővé.

Érdekes módon az elemzésekben a talaj kationkicserélő kapacitása /CEC/ nem bizonyult korrelatív változónak.

Az elemzés eredményeként lehetőség adódik azonos mechanikai összetételű talajok esetében annak megállapítására, hogyan változna meg a talaj pF-görbéje ha a talaj különböző mértékben elszikesedne, illetve egy különböző mennyiségben vízdoldható Na-sókat tartalmazó talaj víztartó képessége mennyire különbözne. Ezen feltételezett esetekből mutatunk be - a kidolgozott modellek felhasználásával - szemléltetésként egy példát a 4. ábrán.

Az elvégzett elemzések nemcsak a talaj mechanikai felépítése és víztartó képessége közötti kapcsolatokról alkotott ismereteinket egészítik ki, hanem közvetlen gyakorlati eredménynek tekinthető, hogy azokról konkrét, formalizált összefüggésekhez /lásd 5. és 7. táblázat egyenletei/ jutottunk. Ezek az összefüggések lehetővé teszik, hogy - a mintaanyag reprezentativitásából adódó hibával - közvetlen mérés nélkül, csupán a rutin talajjellemzők ismeretében adhassunk becslést a talaj víztartó képességére, a talaj

adott nedvességállapotához tartozó nedvességtartalmára. Ez a lehetőség mind a talajtani kutatásban /pl. szimulációs modellek alkotása/, mind a közvetlen gyakorlati tervező munkában /drénrendszerek tervezése, öntözés, talajjavítás, szikjavítás, stb./ alkalmazható, gyors és gazdaságos számítási eljárásokhoz vezet. Az így nyert, a talaj vízgazdálkodási, vízháztartási tulajdonságaira vonatkozó információk megfelelő térképanyag felhasználásával területre is vonatkoztathatók, potenciálisan felhasználhatók a talaj vízháztartási változásokat regisztráló monitoring és az azokat előrejelző prognózis rendszer kialakításában is.

Összefoglalás

A talajok víztartó képességét leíró, a növények talajból történő vízellátásának megítélését segítő pF-görbék meghatározása idő- és költségigényes. Gyakorlati célokra az esetek többségében kielégítő a talajok víztartó képessége kitértetett értékeinek /teljes vízkapacitás, szabadföldi vízkapacitás, holtvíztartom/ közelítő ismerete.

A gyakorlati eredményeken túl reprezentatív, nagyszámú talajminta statisztikai feldolgozása új megállapításokkal gazdagíthatja ismereteinket. Alkalmat ad a vizsgált változók csoportosítására, a közöttük levő összefüggések feltárására, kvantifikálására és elvi összefüggések érvényességének ellenőrzésére.

Közel 300 darab talajminta adatait tartalmazó adatbázissal dolgoztunk. A mintákat mechanikai összetételük és sótartalmuk szerint csoportosítottuk.

Megvizsgáltuk és leírtuk a talajtani változók gyakoriság-eloszlását. A fizikai féleség csoportokat átlag pF-görbével jellemeztük és felrajzoltuk a teljes, nem szikes mintaanyagra vonatkozó pF-tartomány határait mutató burkoló görbéket.

Regressziós elemzést végeztünk pF-értékenként a két leginkább korrelatív talajtulajdonság megállapítására. Független változónak a talaj szemcsefrakció-értékeit, térfogattömegét és szervesanyag-tartalmát, szikes talajminták esetén ezek mellett a talaj só-, oldható +kicserélhető nátrium-, és karbonáttartalmát, valamint kationkicserélő kapacitását tekintettük.

A leginkább korrelatív változók meghatározását követően a /3/ regressziós egyenletet illesztettük pF-görbe pontonként a mért nedvességtartalom értékekre. Az illesztés eredményeként kiszámítottuk a regressziós függvény együtthatóinak értékét. A regressziós függvény ismeretében - az illeszkedés hibájával - a talaj két könnyen mérhető tulajdonságának ismeretében pF-görbéje a regressziós egyenletből egyszerű számítással becsülhető.

A talaj só-, oldható + kicserélhető nátrium-, ill. karbonáttartalmának ismeretében a szikesedésnek a talaj pF-görbéjére gyakorolt hatása becsülhető.

Regressziós függvényeinket összehasonlítottuk más mintaanyagon érvényesített regressziós összefüggésekkel. A tapasztalt eltérések miatt hangsúlyozzuk, hogy a regressziós modellek érvényességének kiterjesztése nagy körültekintést és gondos szakmai mérlegelést igényel. Amennyiben a regressziós becsülést a modell érvényességi körében végezzük - vagyis a mintaanyagban szereplő talajokhoz hasonló tulajdonság-együttesű talajokra - eljárásunk a gyakorlatban jól alkalmazható, egyszerű és objektív módszer. Célszerű a számított értékeket legalább egy-egy ponton mért értékkel ellenőrizni.

A talajok pF-görbéjét és kumulatív szemcseösszetételét azonos alakú függvényekkel közelítettük /1/ és /2/ egyenletek/. A háromparaméteres függvények paramétereinek megkerestük a fizikai jelentéstartalmát. A paraméterértékeket a talajtani függvények jellemzésére alkalmaztuk és a mért függvényértékeket helyettesítettük velük az összefüggés-vizsgálatokban.

Az elvégzett elemzések megmutatták, hogy a talaj közvetlenül mért tulajdonságai helyettesíthetők az azokat leíró függvények paraméterértékeivel.

Irodalom

- BLOEMEN, G. W., 1980. Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 143. 581-605.
- BROOKS, R. H. and COREY, A. T., 1964. Hydrulic properties of porous media. Colorado State University, Hydrol. Papers. 3. 27-38.
- DARAB K. és FERENCZ K., 1969. Öntözött területek talajtérképezése. Genetikus talajtérképek. Ser. 1. No. 10. ÖMMI. Budapest.
- GUPTA, S. C. and LARSON, W. E., 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle-size distribution, organic matter percent and bulk density. Water Resources Res. 15. 1633-1635.
- HILLEL, D., 1971. Soil and water: physical principles and processes. Academic Press. New York.
- MADANKUMAR, N., 1985. Prediction of soil moisture characteristics from mechanical analysis and bulk density data. Agric. Water Management. 10. 305-312.
- PACSEPSZKIJ, J. A., et al., 1982. Sztatiszticeszkij analiz szvjezi vodouderzsvajuscsej szposzobnoszti sz drugimi fiziceszskimi szvojsztvami pocsv. Pocsvovedenie. /2/ 56-66.
- RAJKAI K. et al., 1981. pF-görbék számítása a talaj mechanikai összetétele és térfogattömege alapján. Agrokémia és Talajtan. 30. 409-438.
- RAJKAI K., 1983. Talajfizikai tulajdonságok ökológiai célú meghatározása és alkalmazása. Kandidátusi értekezés. Budapest.
- SCHUH, W. M. and BAUDER, J. W., 1986. Effect of soil properties on hydraulic conductivity - moisture relationships. Soil Sci. Soc. Am. J. 50. 848-855.
- VÁRALLYAY Gy., 1978. A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata. MÉM Szabvány /MÉMSz-206/. Budapest.
- VÁRALLYAY Gy. et al., 1979. A pF-görbék matematikai leírása. Agrokémia és Talajtan. 28. 15-38.
- VÁRALLYAY Gy., 1987. A talajok vízgazdálkodása. Akadémiai doktori értekezés. Budapest.

Érkezett: 1987. augusztus 20.

The Relationship Between Water Retention and Different Soil Properties

K. RAJKAI

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

The relationship between measured water retention /pF/ values and different soil properties /particle size fractions, bulk density, organic matter content/ of about 300 soil samples was studied by using methods of mathematical statistics.

The soil properties, indicating the best correlation with the retained moisture content, were determined at different pF values. Equation /3/ - fitted with the values of these parameters - proved to be more flexible than the linear equation with the two soil properties, generally its application resulted better fitting /Table 5/. The pF values can be estimated easily if the coefficients of Equ. /3/ - the particle size fractions, bulk density and organic matter content of the soil - are known.

For the characterization of the data base used for the statistical estimation, the frequency distribution of the soil parameters was studied /Fig.2/.

The samples were also classified according to the texture classes used in Hungary. The pF "bands", received by correlation analyses for the different texture classes, are indicated on Fig. 3.

The correlation analysis was not only performed on the base of different pF values. Equ. /1/ was fitted on the measured pF values and Equ. /2/ on the cumulated particle size fractions. In such a way both basic functions can be characterized by three parameters in their full range. The analyses made by the parameters of the functions provided equations with similar high correlations as compared with the results of the analysis done on the base of different pF values /Tables 3 and 4/.

On the base of the behaviour of the parameters of the functions in the different texture classes /Table 2/ and of the correlations found with other soil properties /Table 4/, the parametric values of Equ. /1/ and /2/ seem to be suitable for the substitution of the functions describing the pF curve and particle size distribution curve, respectively. Attempts were made to find the physical meaning of the parameters in Equ. /1/ and /2/ and these meanings were used in the interpretation of the received equations.

For a series of 50 salt affected soil samples correlation analysis was carried out between the pF values and the physical, as well as chemical properties /Table 1/. Because of the small number of samples the validity of the equations is limited /Table 7/. The pF values of the salt affected soils below 2.7 depend mostly on the soluble and exchangeable sodium content of the soil. The soil physical properties become decisive at higher pF ranges / ≥ 3.4 /. If the salt, soluble and exchangeable sodium and carbonate contents of the soil are known, the extent of the effect of sodification/salinization on the pF curve can be directly estimated /Fig. 4/.

LIST OF SYMBOLS:

- θ : volumetric soil moisture content, %; X: water potential, cm-water;
 θ_0 and b: experimentally determined constants in Equ. /1/.
 P: sum of the particle size fractions, %; d: particle size, μm ; P_0 , d_0
 and c: experimentally determined constants in Equ. /2/.
 b_0 - b_c : regression coefficients in Equ. /3/, explanatory variables with
 the best $\sqrt{X_1}$ and with the second best $\sqrt{X_2}$ correlation in the regression
 analysis.

C_1-C_5 : regression coefficients in Equ. /4/; particle size fractions, %; H: 0.25-0.05 mm; I: 0.05-0.002 mm; A: < 0.002 mm; HUM: organic matter content of the soil, %; TFS: dry bulk density of the soil, g/cm³.

APF, BPF, CPF: θ_0 , X_0 , b parameters of Equ. /1/, respectively, DERPF: derivative of Equ. /1/ at the inflection point.

BMECH, CMECH: d_0 , c parameters of Equ. /2/, respectively.

Particle size fractions, %: H1 = 0.25-0.05 mm; I1 = 0.05-0.02 mm; I2 = 0.02-0.01 mm; I3 = 0.01-0.005 mm; I4 = 0.005-0.002 mm; A = < 0.002 mm. I = I1 + I2 + I3 + I4. HI: sand/silt ratio + H1/I. Li: I3 + I4 + A.

Soil texture: A: clay soil; AV: clayey loam soil; V: loam soil; HV: sandy loam soil; H: sandy soil.

Table 1. Some properties of the salt affected soil samples. /1/ Soil properties. a/ Sand; b/ Silt; c/ Clay; d/ Carbonate content, %; e/ Salt content /SO/, %; f/ CEC, me/100 g; g/ Na, according to Herke's method; h/ bulk density, g/cm³. /2/ Mean value. /3/ Standard deviation.

Table 2. The characterization of texture classes with the parameters of Eqs. /1/ and /2/. /1/ Parameter. /2/ Total samples. /3/ Sand. /4/ Sandy loam. /5/ Loam. /6/ Clayey loam. /7/ Clay.

Table 3. The estimation of the parameters of Equ. /1/ by fitting Equ. /3/ on the non-salt affected soil samples. /1/ Parameters of Equ. /1/. /2/ Error.

Table 4. The correlation matrix of the non-salt affected soil samples. /1/ Variables.

Table 5. The results of the stepwise regression and the coefficients of Equ. /3/ at different pF values in non-salt affected soils. /1/ pF value. /2/ Error.

Table 6. The results of the regression analysis made between the pF values, bulk density and the parameters of Equ. /2/. /1/ pF value. /2/ Error. Remark: Parameters of Equ. /2/: See Table 2.

Table 7. The results of the stepwise regression and the coefficients of Equ. /3/ at different pF values in salt affected soils. /1/-/2/: See Table 5.

Fig. 1. The distribution of soil samples according to texture classes. H: sand; HV: sandy loam; V: loam; AV: clayey loam; A: clay.

Fig. 2. The frequency distribution histograms of the studied variables. A. Frequency distribution of a/ pF 0; b/ pF 2; c/ pF 2.3; d/ pF 4.2. B. The frequency distribution of the parameters of Eqs. /1/ and /2/: e/ BPF; f/ APF; g/ CPF; h/ BMECH; i/ CMECH. C. Frequency distribution of j/ H1; k/ TFS; l/ A.

Fig. 3. The boundary pF curves of all non-salt affected soil samples and the mean pF curves of the different texture classes. a/ Boundary pF curves; Mean pF curves of b/ sandy; c/ sandy loam; d/ loam; e/ clayey loam and f/ clay soils.

Fig. 4. The pF curve calculated by regression model /3/ of non-salt affected soils /a/ and the measured pF curve of salt affected soils /b/. Salt content: 0.5 %.