

SATÜRE TOPRAKTA SU HAREKETİ

Metin Bahtiyar (1)

ÖZET

Bu çalışmada, toprak suyunun bir kısmını teşkil eden ve toprağı doyurmuş (Satüre etmiş) olan taban suyunun ve su ile satüre edilmiş bozulmamış toprak örneğı içerisindeki suyun, hareketini sağlayan etkenler, hareketin bağı olduğu kurallar ve hareketin hızını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen toprak faktörleri üzerinde durulmuştur.

Darcy Akış Yasası'ndan yararlanılarak, laboratuvarında bozulmamış toprak örnekleri üzerinde, hidrolik iletkenliğin formüle edilme ve belirlenme olanakları incelenmiştir.

Hidrolik yükseklik, elverişli hidrolik yükseklik ve hidrolik gradient kavramları açıklanmış, genel Darcy eşitliğinin geçerlilik sınır koşullarına ilişkin olarak, Newton'un Sürtünme Yasası ve Reynold Prensipleri üzerinde durulmuştur.

Toprak geçirgenliğinin diğer bir ifadesi olan, "Permeabilite" kavramı ve belirlenme olanakları incelenmiş, genel Darcy Prensibine, Berneulli Teoremi ve Hagen-Poiseuille'nin Viskosite Yasası uygulanarak, permeabilitenin formüle edilmesine çalışılmıştır.

Hava permeabilitesinin formüle edilmesi, toprak örneklerinde hava permeabilitesinin belirlenme olanakları ve şartları ile "Hava Permeabilitesi" nin çalışma prensibi etraflıca açıklanmıştır.

Son bölümde, toprak geçirgenliğini (Hidrolik iletkenlik ve Permeabilite) etkileyen, toprağı ve suya ait fiziksel ve kimyasal faktörler, araştırma sonuçları şeklinde takdim edilmiştir.

I- Toprakta Su Hareketinin Genel Esasları

Herhangi bir yoldan toprak yüzeyine ulaşan suyu, üç ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlar; 1) Yüzey

Akış Suyu, 2) Tutulan Su, 3) Sızan Su'dur.

(1) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak İlimi Bölümü Öğretim Üyesi-Erzurum.

Toprak tarafından tutulan su ile, toprağın derinliklerine sızan su ve sızan suların buralarda meydana getirdikleri geçici ve sürekli taban suları, müştereken toprak suyunu oluşturmaktadırlar.

Toprak suyunun bir kısmını meydana getiren ve toprağı doyurmuş olan taban suyunun, toprak içerisindeki hareketini veya su ile satüre edilmiş toprak örneği içerisindeki su hareketini sağlayan etkenler, hareketin bağı olduğu kurallar ve hareketin hızını doğrudan veya dolaylı etkileyen toprak faktörleri bu çalışmanın esasını teşkil etmektedir.

Bir toprağın su muhtevası, yağışlar, sulama suları, drenaj ve evapotranspirasyonun etkisi altında sürekli değişimlere maruz kaldığından, ancak çok ender hallerde statik bir denge içerisinde bulunabilmektedir. Yani, şekli ve yönü ne olursa olsun, toprak suyu hemen daima bir hareket halindedir.

Su hareketi, toprak-su sistemi içerisinde bulunan çok sayıdaki kuvvetlere bağlıdır ve herşeyden önce, termik, osmotik, hidrolik ve diğer gradianatlara (Emiş ve basınç gradianatları gibi) dayanmaktadır. Şüphesiz, suyun topraktaki hareketi, toprak gözenekleri içerisinde meydana gelmektedir. Toprak gözenekleri içerisindeki suyun bu hareketi, yer çekimi veya kapillar emiş kuvvetlerinin ayrı ayrı yahut ortaklaşa etkisi altında olmaktadır.

Bir toprak gözeneği içerisindeki suyu etkileyen temel kuvvetler;

1) Katı faza doğru "Adezyon Kuvveti"

2) Gaz faza doğru "Yüzey Tansiyon Kuvveti"

3) Sıvı fazın içine doğru "Kohezyon Kuvveti" ve

4) Suyun kütleline etki yapan "Yer çekimi Kuvveti" dir.

Bu dört kuvvetten ilk üçü, yer çekimi kuvvetine rağmen, suyun toprakta tutulmasını ve hidrolik dengeye gelmemiş toprak-su sistemlerinde de, suyun kapillar hareketini sağlayan, kapillar ve adsorpsiyon kuvvetlerini meydana getirmektedirler. Kapillar veya yer çekimi kuvvetlerinden biri diğerine baskın geldiği takdirde, toprakta hidrostatik durum bozularak su hareketleri meydana gelmektedir.

Böylece, serbest drenaj şartları altında, toprakta mevcut suyun, kapillar kuvvetlerin taşıyabileceklerinden fazlası, yer çekimi kuvvetinin etkisiyle hareket etmeye başlamaktadır. Hareketin hızı, sabit hidrolik gradient (İtici güç) altında, doğrudan doğruya toprağın suyu iletebilme yeteneğine bağlı bulunmaktadır. Toprak içerisinde suyun hareket etmesini sağlayan, yer çekimi veya kapillar kuvvetlerden birinin hakimiyet derecesine bağlı olarak, hareketin tipini iki görüş açısından tartışmak mümkündür. Bunlardan biri, esas itibariyle büyük toprak gözenekleri içerisinde, yer çekimi kuvvetinin etkisiyle meydana gelen, diğer bir deyimle su ile satüre olmuş topraktaki harekettir. İkincisi ise, esas itibariyle kapillar kuvvetler nedeniyle, yüzeyden yüzeye olan veya sayısız hava-su sınır yüzeyleri ihtiva eden küçük gözenekler içerisinde meydana gelen, diğer bir deyimle su ile satüre olmamış topraktaki su hareketidir.

Şu halde, toprakta suyun hareket edebilmesi için, toprağın mutlaka sa-

türe durumunda bulunması şart değildir. Herhangi bir tansiyonla hidrolik dengeye gelmemiş, topraklarda da, kapillar emiş kuvvetlerinin etkisi altında su hareketi meydana gelebilmektedir. Su hareketinin, 360° hacim içerisinde her yöne doğru meydana gelebildiği ve kapillar boru hipotezine dayanan kapillar su hareketleri bu çalışmanın dışında bırakılmıştır.

Taban suyu seviyesi üzerinde bulunan bütün toprak kesimlerinde, hemen daima kapillar akış meydana geldiği halde, satüre akış sadece geçici ve sürekli taban suyu bölgeleri ile, uzun süreli yağışlar veya sulamayı takiben toprak yüzeyinin birkaç milimetrelük üst tabakasında vukubulmaktadır.

Toprakta sıvı fazda su hareketleri (Satüre ve kapillar hareketler), toprak profilinin her noktasında, ancak hidrolik yükseklik veya potansiyelin eşit olmaması halinde meydana gelebilmektedir. Toprak içerisinde hareket,

II- Hidrolik İletkenlik, Kapsamı ve Belirlenme Olanakları

Toprakta sıvı fazda su hareketi "Darcy Yasası" na göre meydana gelmekte ve bir toprak sütunu içinden akan suyun hızı, elverişli hidrolik yükseklik ile doğru, toprak sütununun uzunluğu ile ters orantılı olarak artmaktadır (Şekil 1).

Bu ifadeye göre:

$v = \frac{v \cdot h}{l} \rightarrow v = k \cdot \frac{h}{l} = k \cdot i \text{ (cm/sn)}$ (1) eşitliği elde edilmiş olur.

Burada:

v: Suyun akış hızı (cm/sn).

düşük potansiyele veya küçük hidrolik yüksekliğe sahip noktalardan, yüksek potansiyele veya büyük hidrolik yüksekliğe sahip noktalara doğru, diğer bir deyimle, düşük tansiyonlu yerlerden yüksek tansiyonlu yerlere doğru olmaktadır. Doymuş topraklarda su hareketi, içerisinde pek az veya hiç hava bulunmayan gözenekler yoluyla meydana gelmektedir. Ancak pratikte, birçok durumda gözenekler içerisinde bir miktar hapsedilmiş hava bulunabilmektedir. Laboratuvarında yapılan kontrollü deneylerde dahi, toprak sü-tünü içerisindeki bütün havayı çıkar-mak mümkün olmamaktadır. Bununla beraber, bozulmamış toprak örneklerinin desikatör içerisinde 15 mm Hg vakumu altında kapillarite yoluyla saturasyonunda, gözeneklerde sıkışmış hava miktarı, satüre akışı etkilemeyecek ölçüde, minimuma indirilebilmektedir.

Bu bakımdan, akışın tamamen su ile doymuş ve dolayısıyla hiç hava ihtiva etmeyen bir ortamda cereyan ettiği varsayılmaktadır.

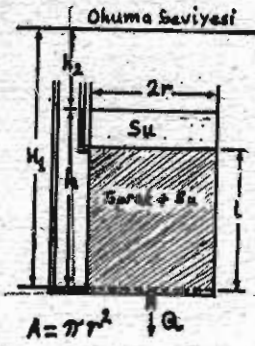
h: Elverişli hidrolik yükseklik (cm),

l: Toprak sütununun uzunluğu (cm),

k: Darcy oranı katsayısı veya toprağın hidrolik iletkenlik değeri (cm/sn),

i: Hidrolik gradinat (cm/cm) (Boyutsuz).

Böylece, yukardaki (1) numaralı eşitlik "k" ya göre düzenlenerek, toprağın çok önemli bir fiziksel özelliği olan "hidrolik iletkenlik değeri" veya "su iletim yeteneği", birim hidrolik gradient altındaki su akış hızı olarak tarif edilebilmektedir.



Şekil 1: Darcy Eşitliğinin Formüle Edilmesinde Hidrolojik Değerler.

Öte yandan, su akış hatlarına dik konumdaki, birim toprak kesit alanından, birim zamanda akan su miktarı da akış hızını ifade etmektedir. Yani: $v = Q / (A.t)$ (cm/sn) (2)'dir. (1) ve (2) numaralı eşitliklerden; $k = Q / (A.t.i)$ (cm/sn) (3) eşitliğini çıkarmak ve böylece toprağın hidrolik iletkenlik değerini, kesit alanı ve yüksekliği belli olan bozulmamış toprak örnekleri üzerinde laboratuvarında tayin etmek mümkün olmaktadır.

Bu duruma göre, suyun toprak içerisinde akış bızı, doğrudan doğruya, toprağın hidrolik iletkenliği ve hidrolik gradiant ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

Hidrolik gradiant, hidrolik yüksekliklerin en fazla düşüş göstermiş oldukları yönde etkili olan, toprakta her birim etkili uzaklık başına, hidrolik yükseklikteki düşüş miktarıdır. Yani: $i = (H_1 - H_2) / L = h / l$ (cm/cm), boyutsuz'dur.

Burada elverişli hidrolik yükseklik (h), suyun hareket ettiği doğrultuda göz önüne alınan toprak sütununun alt (H_1) ve üst (H_2) noktalarına ait su seviyeleri arasında kalan, hidrostatik

basınç olarak ölçülebilen cm su sütunu yüksekliğidir. Yani iki noktaya ait hidrolik yüksekliklerin farkıdır. (1) ise toprak sütununun uzunluğudur.

Tabii yapısı içerisinde toprak, değişik şekil, çap ve uzunluklarda kapillar kanalcıklarından meydana gelmiş gözenekli bir ortam olarak kabul edilmektedir.

Satüre toprakta su hareketi, kapillar borulardaki su hareketine benzemektedir ve aynı yasalara bağlı bulunmaktadır. Kapillar borularda, su hareketine karşı daima bir iç sürtünme kuvveti (Harekete karşı direnç) mevcuttur. Newton'un Sürtünme Yasası ile ifade edilen bu direnç, sıvının akış hızı, katı-sıvı temas yüzeyinin büyüklüğü ve sıvının viskozitesi ile orantılı olup, akışın hızlanmasına karşı etki gösterdiğinden, gözenek geometrisinin değişmemesi halinde, toprakta hiçbir zaman hızlanan bir su hareketine müsaade etmemektedir. Bu direncin değeri:

$W = \eta \cdot A (dv/dy)$ (dyn)'dir. (Newton'un Sürtünme Eşitliği).

Burada;

W : İç Sürtünme kuvveti (dyn).

A : Sürtünme yüzeyi (cm²),

η : Sıvının viskozitesi (dyn. sn/cm² = gr/cm.sn = pois),

dv/dy : Hız gradiantı (sn⁻²)'dir.

Akış hızının artmasıyla, sıvı hareketine karşı koyan direnç de artacağından ve hızı artırıcı etken olarak artan hidrolik gradiantla, akış hızı arasındaki doğrusal ilişki, laminar (Düzgün) akış sınırı aşıldığında, ortadan kalkacağından, Darcy Yasası'nın uygulanmasında

düşük hızlarla çalışmak gereği vardır. Aksi halde, $v = k.i$ eşitliği geçerli olmamaktadır. Bu nedenle, gözenekli ortamlarda, çeşitli akışkanlarla yapılan iletkenlik (Geçirgenlik) tayinlerinde, elde edilen değerlerin doğruluk dereceleri aşağıdaki şartlara bağlı bulunmaktadır.

1) Akışın viskozite yasasına göre düzgün (Laminar) olması,

2) Reynold Katsayısının (R), 1'den küçük olması.

$R = 2.r.d.v/\eta$ Reynold eşitliğinde;

d: Sıvının yoğunluğu (gr/cm^3),
v: Sıvının akış hızı (cm/sn), r: Kapillar borunun yarıçapı (cm), η : Sıvının viskozitesi ($dyn.sn/cm^2$)' dir.

Bu yüzden çalışma hızının mümkün olduğu kadar düşük tutulması gerekmekte ve böylece aynı zamanda ölçüm sırasında toprak örneği içerisinde meydana gelebilecek erozyon da önlenmiş olmaktadır.

Toprağın hidrolik iletkenlik değeri (cm/sn) cinsinden hız birimine sahip olmakla beraber, (3) numaralı eşitlikteki "k" değeri, su hareketinin gerçek hızını ifade etmemektedir. Gerçek hızı elde edebilmek için, (2) numaralı eşitlik ile ifade edilen görünür hızın, aktif gözenek kesit alanına (P_o) bölünmesi gereklidir. Böylece gerçek hız; $u = v/P_o = Q/(A.t.P_o)$ (cm/sn) ifadesiyle elde edilmiş olur.

(1) numaralı eşitlikten görüldüğü gibi, su hareketinin hızı, verilen herhangi bir hidrolik gradiantta, hidrolik iletkenlik değeri tarafından ve verilen bir hidrolik iletkenlik değerinde de, hidrolik gradiant tarafından sınırlandırılmaktadır.

Schlichter (1898), topraktaki taban suyu hareketlerini incelerken, bir toprak sütunundan bir saniyede iletilen su miktarını ifade etmek üzere aşağıdaki eşitliği geliştirmiştir:

$$q = (10,22.h.d^2. A) / (\eta.l.k) \quad (5)$$

Bu eşitlikte;

q: Birim zamanda iletilen su miktarı (cm^3/sn),

h: Elverişli hidrolik yükseklik (cm),

d: Toprak taneciklerinin ortalama çapı (cm),

A: Toprak sütununun akış hatlarına dik kesit alanı (cm^2),

l: Toprak sütununun uzunluğu (cm),

k: Bir katsayı ve

η : Sıvının viskozitesi (pois)'dir.

Bu eşitliğin, genel Darcy Eşitliğinden esas farkı, değişik toprak karakteristiklerini ihtiva etmesidir. Schlichter'i buna zorlayan husus, değişik toprakların ihtiva ettikleri gözeneklerin değişik karakterde oluşudur.

Hidrolik iletkenlik, özellikle toprak taneciklerinin büyüklüğü ile, içerisinde suyun aktığı gözeneklerin şekil, büyüklük ve miktarı tarafından önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu itibarla, bir toprağın gözenek iriliği dağılımı, tane iriliği dağılımı ve hidrolik iletkenliği arasında çok sıkı ilişkilerin var olduğu ileri sürülmektedir. Örneğin; Kumlu topraklarda hidrolik iletkenlik, Hasan'in Yaklaşıklık Eşitliğine göre, tanecik çapından hesaplanabilmektedir. Buna göre: $k = 100.D^{2.10}$ (6) olmaktadır. Burada: D_{10} : Kümülatif tane iriliği eğrisinde % 10'luk değere tekbül eden, tanecik çapıdır (cm).

III- Permeabilite, Kapsamı ve Belirlenme Olanakları

Permeabilite (k'); Perkole olan akışkanın özelliklerine bağlı olmayan, sadece toprağa ait bir özelliktir. Boyutu (L^2)'dir. Genellikle (cm^2) veya (μ^2) cinsinden ifade edilir. Permeabilite hidrolitik iletkenlikte olduğu gibi, katı toprak parçacıklarının diziliş tarzlarından başka, toprak gözeneklerinin miktar ve şekline de bağlıdır. Diğer bir deyimle permeabilite; Akışkanın gözenekli ortam içerisinde akmasına olanak veren, akış hatlarına dik konumdaki kesit üzerinde bulunan ve perkolasyona iştirak eden aktif gözeneklerin toplam-kesit alanıdır.

A- Su Permeabilitesi

Schlichter (1899), toprakların gözenek hacmi ve permeabilite değerleri arasındaki ilişkileri analitik yoldan ilk kez ortaya koymuş, eşit büyüklüklerdeki küreciklerden hazırladığı materyal üzerine Poiseuille'nin viskosite prensibini uygulamıştır (Kmoç, 1962).

Akışkan olarak su veya havanın kullanılabilirdiği bu uygulamada Schlichter, $Q = k.A.h/l$ (7) şeklindeki genel Darcy Eşitliğinden yararlanmıştı.

Akışkanın yahut suyun hareket etmesini sağlayan (h) elverişli hidrolik yükseklik, Bernoulli teorisine göre potansiyel enerji şeklinde yazıldığında;

$$\begin{aligned} h_1 dg + P_1 &= h_2 dg + P_2 \rightarrow \\ h_1 + p_1/dg &= h_2 + p_2/dg \rightarrow \\ h_1 - h_2 &= (p_2 - p_1)/dg \rightarrow \\ h &= \Delta P / dg \text{ (cm)} \end{aligned} \quad (8) \text{ olmaktadır.}$$

Bu değer, yukardaki (7) numaralı genel Darcy eşitliğinde yerine konularak $Q = k.A.\Delta P/dgl$ (cm^3/sn) (9) elde edilir.

Burada iletkenlik değeri " k ", kullanılan akışkanın (Su veya hava) viskositesine ve yoğunluğuna bağlı olduğundan, eşitliğin bu şekliyle kullanılması ölçümlerde pratik ve yeterli olamamaktadır. Bu eksikliği giderebilmek için, (9) numaralı eşitliğin, Hagen-Poiseuille'nin viskosite yasasıyla bir araya getirilmesi gerekmektedir.

İnce kapillar borular içerisinde viskos sıvıların akışımı ifade eden bu ilişki; $Q = r^4.\Delta P/8.\eta.l$ (cm^3/sn) (10)'dir.

Burada; Q: Birim zamanda akan sıvı miktarı (cm^3/sn),

r: Kapillar borunun yarıçapı (cm),

ΔP : Basınç farkı (Hareket ettirici basınç) (dyn/cm^2),

l: Kapillar borunun uzunluğu (cm)

η : Sıvının viskositesi ($dyn.sn/cm^2$) dir.

(9) ve (10) numaralı denklemler birbirleriyle eşitlendiğinde; $k.A/d.g = \pi r^4/8.\eta$ elde edilir. Eşitlik " k " ya göre düzenlenerek; $k = (\pi r^4/8.A).(d.g/\eta)$ (cm/sn) (11) bulunmuş olur.

Görüldüğü gibi bu son eşitliğin sağ tarafındaki iki kesirden ikincisi tamamen akışkana, birincisi ise toprağa ait bir özellik olup permeabilite (k') diye adlandırılmaktadır. Yani;

$k = k'.(d.g/\eta)$ 'dir. Bu eşitlik de " k " ya göre düzenlenerek;

$k' = k.\eta/d.g$ (cm^2) (12) elde edilmiş olur.

Şu halde, (12) numaralı eşitliğe göre, hidrolik iletkenliğin tayin edilme-

siyle, kullanılan akışkanın sıcaklığı bilindiği takdirde, yoğunluğu ve viskozitesi ilgili tablolardan bulunarak, toprağın su permeabilitesini hesaplamak her zaman için mümkündür. Bu yeni katsayı (k'), kullanılan akışkanın cinsine bağlı olmayan bir değerdir ve toprağın geçirgenliğini karakterize etmede, iletkenlikten (k) daha uygundur. Akışkan olarak hava kullanıldığında, Hava Permeabilitesi (k'_h) adını almaktadır.

B. Hava Permeabilitesi

Toprakların strüktür stabiliteilerinin indirekt olarak ortaya konulabilmesinin diğer bir yolu da, aynı toprak örneği üzerinde sırasıyla ayrı ayrı hava ve su permeabilite değerlerini tayin ederek, k'_h/k'_s oranını bulmaktır.

Hava permeabilitesi tayinlerinde akışkan olarak hava kullanılmaktadır. Havanın toprak agregatları üzerine herhangi bir etkisi yoktur. Buna karşılık su, dipol özelliği nedeniyle, toprak agregatlarını parçalayıcı, dağıtıcı ve şişirici özelliğe sahip bir akışkandır. İşte, bu iki akışkanın toprak strüktürü üzerine olan farklı etkilerine dayanılarak, toprak agregatlarının suya karşı stabiliteilerinin bir ölçüsü olmak üzere permeabilite oranı kullanılmaktadır. Bu oranın minimum değeri 1'dir. Toprakların permeabilite oranı 1'e yaklaştıkça, strüktür stabiliteileri de o ölçüde yüksek, yani egeatları suya dayanıklı demektir. Orantı değerinin büyümesi ölçüsünde, stabilite de giderek zayıflamaktadır. Örneğin; Belli irilikte, elenmiş iyice istiflenmiş temiz kumda, hava ve su permeabilitesi değerleri birbirine eşittir ve oran da 1'dir. Çün-

kü suyun, iyice istiflenmiş kumu dispers etmesi söz konusu değildir.

Diğer taraftan, tek başına hava permeabilitesi, gerek bozulmamış toprak örneklerinde gerekse arazide yerinde, toprakların havalanma olanaklarının mukayesesinde, özellikle herhangi bir rutubet seviyesinde, toprağın yeterince havalanıp havalanmadığını da ortaya koyması bakımından büyük önem taşımaktadır.

Hava Permeabilitesinin Tayini

Gerek laboratuvarında bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinin, gerekse arazide yerinde toprakların hava permeabiliteileri, ilk kez bölümümüzde kullanılan, sabit hava basınçlı "KMOCH Hava Permeametri" ile tayin edilmektedir.

Tayinde, Darcy Yasası'na göre önce torağın hava iletkenliği bulunmakta, sonuç değeri (η/dg) terimiyle çarpılmaktadır (Su permeabilitesinde olduğu gibi). Tayinde aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$k'_h = k_h \cdot \eta/dg = (Q/t) \cdot (1/A \cdot \Delta P) \cdot (\eta/dg) \text{ (cm}^2\text{)}$$

Burada: k'_h : Hava permeabilitesi (cm²),

Q: Toprak örneğinden geçen hava (cm³),

t: Q miktar havanın perkolasyonu için geçen zaman (sn),

A: Toprak örneğinin kesit alanı (cm²),

l: Toprak Örneğinin Uzunluğu (cm),

P: Elverişli hava basıncı (çalışma basıncı) (cm su yük),

- n: Rutubetli havanın viskozitesi (dyn. sn/cm²= poise),
d: Rutubetli havanın yoğunluğu (gr/cm³),
g: Yer çekimi ivmesi (cm/sn²)'dir.

Hava permeabilitesi tayininde, akışkan olarak kullanılan rutubetli havanın yoğunluğu, tavin anındaki atmosferik basınç ve ortamın sıcaklığına, viskozitesi ise sadece ortamın sıcaklığına bağlı olduğundan, çalışma sırasında atmosferik basıncın ve oda sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir. Hava sıcaklığı ve basıncına göre, rutubetli havanın yoğunluğu ve viskozitesine ait değerler Hodgman (1937)'den sağlanabilir. Keza suyun fiziksel sabiteleri ile ilgili değerler de aynı eserde mevcuttur.

Toprakların hava permeabilitesi, bozulmamış toprak örneklerinde ancak sabit rutubet şartlarında tayin edilebilen bir özellik olup, 200 cm su sütunu tansiyonu rutubette en doğru sonucu vermektedir. Çünkü, toprak örneği daha fazla rutubet ihtiva ettiği takdirde, havanın geçebileceği gözenekler su tarafından doldurulmuş bulunacağından, hava permeabilitesi düşük çıkmaktadır. Toprak örneği daha az rutubet ihtiva ettiği takdirde ise, örnek içerisinde büzülmeden dolayı çatlaklar meydana gelmek-

te, çatlama olmaması halinde de, yine büzülmeden dolayı toplam gözenek kesit alanında bir azalma olmakta ve permeabilite değeri yine küçük çıkmaktadır. Bu nedenle, su ile satüre edilen bozulmamış toprak örnekleri, "Basıncılı Tabla Cihazında" 200 cm su sütunu tansiyona konularak hidrolik dengeye getirildikten sonra hava permeametre-resine yerleştirilir. Bunun için, toprak örneği silindirin üst kısmına, içerisinde ince tel süzgeç bulunan özel plastik huni geçirilir ve silindir bu huni vasıtasıyla Hava Permeametresinin bağlantı hortumuna takılır. Bu hortumdaki musluk açılarak, daha önce hava ile doldurulmuş bulunan cihazdan, örneğe düşük basınçlı hava sevk edilir. Cihazın dalgıcı, (cm) taksimatlı kılavuz çubuk boyunca yavaş yavaş dalarken, dalgıç üzerindeki gösterge, tam kılavuz çubuğun sıfır taksimatından geçtiği anda kronometreye basılır ve dalgıç istenilen miktar hareket ettikten sonra, kronometrenin durdurulmasıyla birlikte, o andaki gösterge rakamı tespit edilir. Böylece dalgıcın ne kadar zamanda (t), ne kadar yol aldığı ve bu yola tekabül eden hava hacmi (Q) bulunur. Ölçüm sırasındaki laboratuvar sıcaklığı ve atmosfer basıncına göre, d_h ve η_h değerleri ilgili tablolardan bulunarak, formülde yerine konulup k'_h hesab edilir.

IV- Toprak Geçirgenliğini (Hidrolik İletkenlik ve Permeabilite) Etkileyen Faktörler

Bir önceki bölümde verilmiş bulunan (11) numaralı eşitlik, toprak geçirgenliğinin (Hidrolik iletkenlik ve permeabilite'nin), büyük ölçüde özellikle toprak gözeneklerinin yarıçapına bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca geçirgenlik, gözenek iriliğininin

yanısıra, ölçüm anında su ile dolu bulunan tüm gözeneklerin irilik dağılımı ve miktarına da bağlı bulunmaktadır. Bu bakımdan, strüktür ve tekstür, geçirgenliği kontrol eden en önemli faktörler olarak kabul edilmektedirler.

Su ile dolu bulunan kaba gözenekler boşalmaya ve yerine hava girmeye başlar başlamaz, geçirgenlik değeri derhal düşer. Çünkü, gözenegin boşalmasıyla, suyu iletici toplam kesit alanı azalmakta ve azalan su miktarına bağlı olarak, su daha küçük gözeneklerde ve artan emiş tansiyonuyla tutulmaktadır.

Toprağın gözenek hacmi miktarının ve bunu oluşturan gözeneklerin büyük olmaları ölçüsünde, geçirgenlik de büyükmektedir. Bu nedenle, toprakta sekonder gözenekleri teşkil eden agregatlar arası gözeneklerin geçirgenlik üzerine olan etkisi, agregatlar içi gözeneklerin (Primer gözenekler) etkisinden daha büyük olmaktadır. Bununla beraber, yapılan araştırmalarda, su iletiminin belli bir değer kazanmasında, kaba gözenek miktarının bilinmesinin, tek başına yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Çünkü, toprak içerisinde, birbirleriyle bağlantıları olmayan, münferit boşluklar halinde bulunan kaba gözenekler, su iletiminde etkili olmamaktadır. Hatta, toprak içerisinde bu türlü dağılım gösteren kaba gözenekler su iletimi bakımından yok sayılabilmektedirler.

Bu duruma göre, geçirgenlik toprağın sadece tabii özelliklerine değil, aynı zamanda ve hatta daha çok toprağın kültür durumuna bağlı kalmaktadır.

Kaba ve orta bünyeli strüktürsüz topraklarda hidrolik iletkenlik, hemen tamamen tekstür tarafından etkilenmektedir. İnce bünyeli topraklarda ise, strüktürün etkisi daha belirgindir.

Kopp (1965)'a göre, genellikle toprak taneciklerinin kabalaşmasıyla

geçirgenliğin de artacağına dair yaygın inanışa rağmen, araştırılan bir Lössial toprakta su iletim hızı, kumlu toprakta iki katı bulunmuştur. Bu sonuç, toprakların kaba gözeneklerinin farklı biçimlerde meydana geldiklerine ve su iletiminin sadece tekstüre de bağlı olmadığına atfedilmiştir. Araştırmacı, geçirgenliği etkileyen makro gözenek sisteminin karakteristiklerinin;

a) Makro gözenek sisteminin tipi,

b) Toprak strüktürünün tipi ve derecesi,

c) Tekstürel fraksiyonların dağılımı, olduğunu ifade etmiştir. Sonuç olarak, bir genelleştirme ile; Yüksek geçirgenliğin, tekstüre ve veya biyolojik aktiviteye, orta derecede geçirgenliğin, petrografi ve strüktüre, düşük geçirgenliğin ise, tamamen strüktüre bağlı olduğunu bildirmiş, bu ilişkilerin ışığı altında,

1) Tekstür'e, 2) Tekstür - Biyoloji'ye, 3) Tekstür-Strüktür'e, 4) Strüktür'e bağlı geçirgenlik tiplerinden söz edilebileceğini ileri sürmüştür.

Geçirgenliği etkileyen faktörlerden bir diğeri de, toprak içerisinde ayrı ayrı gözenekleri veya tüm gözenek sistemini kısmen dolduran ve böylece gözenekleri bloke eden, gözeneklerin birbirleriyle bağlantısını kesen, hapsolmuş havadır.

Hava, genellikle su iletimine iştirak eden kaba gözeneklerde kolayca bloke olduğundan, toprağın su iletimini sağlayan toplam kesit alanında önemli ölçüde bir azalma meydana getirmekte ve yine aktif olarak su iletimini sağlayan gözenekler arasındaki sürekliliği bozarak, hidrolik iletkenliği düşürmektedir.

Şu halde, toprakta satüre su iletimi bakımından, 10 mikrondan büyük kaba gözeneklerin miktarı yerine, bu gözeneklerin ince kanalcıklar meydana getirebilecek şekilde birbirleriyle irtibatlı bulunmaları, yani, "Süreklilikleri" büyük önem taşımaktadır. Boşalım olanakları dikkate alınmaksızın, arazide veya laboratuvarında, tek başına bir toprak kitlesinin tansiyonsuz gözeneklerinde meydana gelen satüre su hareketi üzerine, doğrudan veya dolaylı şekilde, bizzat toprağın ve perkolasyon maddesi olarak kullanılan suyun çok sayıda özelliklerinin, ayrı ayrı veya ortaklaşa, önemli derecede etkili olduklarına ait pek çok araştırmalar mevcuttur.

Illner (1962), arazi ve laboratuvar metodu hidrolik iletkenlik değerleriyle, toprağın 50 mikrondan büyük gözenek hacmi arasında önemli pozitif, katı madde miktarı arasında ise önemli negatif bir ilişki tespit etmiş, ayrıca toplam gözenek hacminin, hidrolik iletkenliği tek başına karakterize etmeye yeterli olmadığı sonucuna varmıştır.

Martensen (1959), toprağın hidrolik iletkenlik değeriyle, strüktür stabilitesi, higroskopisite ve hava kapasitesi değerleri arasında önemli ilişkiler bulunduğunu tespit etmiş, Franz (1960) da, toprağın hava kapasitesini meydana getiren gözeneklerin (10 mikrondan büyük gözenekler), satüre su hareketine en çok iştirak eden gözenekler olduğunu ileri sürmüştür.

Bozulmamış toprak örneği doğrultusunun toprak içerisindeki kaba gözeneklerin diziliş doğrultusuna paralel olması halinde, laboratuvar hidrolik iletkenlik değerinin daha yüksek çıktığını ileri süren Benecke (1966), toplam gözenek hacmi ve agregatlar içi gözenek-

lerden çok, agregatlar arası gözeneklerle agregat stabilitesinin, hidrolik iletkenliği bilhassa teşvik ettiğini bulmuştur. Ayrıca, gözeneklerin su iletme fonksiyonlarının, onların açık olan kesit alanlarına değil, üstüste gelerek süreklilik yaratmalarına ve kanalcıklar boyunca dar geçitler meydana getirip getirmemelerine bağlı olduğu sonucunu çıkarmıştır.

Kumlu ve lössial bir toprakta yaptığı mukayeseli hidrolik iletkenlik araştırmalarında Kopp (1965), satüre su hareketi bakımından, büyük gözeneklerin aynı toplam kesit alanına sahip çok sayıdaki küçük gözeneklerden daha fazla önem taşıdığını, ancak kaide olarak, toprak içerisinde perkolasyona iştirak eden gözeneklerin kesit alanının belirsiz olduğunu öne sürmüştür.

Lalibert (1966), üç değişik toprağın hacim ağırlıklarıyla, hidrolojik özellikleri arasındaki ilişkileri incelemiş, toplam gözenek hacmindeki dolayısıyla hacim ağırlığındaki büyük değişimlere karşılık, gözenek iriliği dağılımının çok az değiştiğini, diğer taraftan, toplam gözenek hacminin aynı değişim aralığında geçirgenlik değerlerinin birkaç kat değiştiğini tespit etmiştir. Bu ilişkilerden, geçirgenliğin önemli derecede gözenek iriliği dağılımına bağlı olduğu ve bu dağılımdaki çok küçük değişimlere çok büyük tepki gösterdiği sonucunu çıkarmıştır.

Doering (1965), toprağın geçirgenliğinin değişmesi için, gözenek yapısının dolayısıyla strüktürünün değişmesi gerektiğini belirtmiş, bunda etkili olan faktörleri;

- a) Gözeneklerin iki veya daha fazla akışan tarafından işgal edilmesi,

- b) Mikroorganizma faaliyetleri,
- c) Toprak ile akışkanın karşılıklı etkileşimleri,

şeklinde üç grupta toplanmıştır.

Diğer birçok araştırmacılar da benzer görüşleri sürmekte ve satüre su hareketinde, içlerinde hava bulunan gözeneklerin yok sayılabileceklerini bildirmektedirler (Hartge ve Benecke, 1968).

Suyun fiziko-kimyasal özelliklerinin, toprak içerisinden akışı üzerine olan etkilerini araştıran Reeve (1961), suyun tuz kapsamı ve katyonların çeşidinin, şişme ve dispersiyon yoluyla, toprağın strüktürünü, dolayısıyla hidrolik iletkenliğini etkilediğini ortaya koymuştur. Araştırmacıya göre, hidrolik iletkenlik, diğer etkenlerin yanısıra, daha çok suyun artan tuz miktarıyla artmış, Na miktarıyla azalmıştır. Ca ve Mg'un etkileri ise olumlu fakat az olmuştur.

Renger (1968), taban suyu etkisi altındaki toprakların hidrolik iletkenliği ile, çeşitli fiziko-kimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri incelemiş, özellikle % 15'den fazla kil ihtiva eden topraklarda hidrolik iletkenliğin, sadece bir özellik tarafından değil, aynı anda birçok özellikler tarafından müstereken etkilendiğini, bu nedenle basit korrelasyon ve regresyon analizlerinde yeterli ilişkiler tespit edilemediğini ortaya koymuştur. Bu konuda pek çok araştırmacılar da aynı görüşü paylaşmaktadırlar. Araştırmacının, hidrolik iletkenliği etkileyebilecek faktörler olarak kabul ettiği, Ca/Mg oranı, organik madde, kil ve silt miktarlarının, tek tek hidrolik iletkenliği etkileme derecelerinin düşük çıktığı, ancak tüm fak-

törler bir arada hesaplamaya alındığında, çoklu ilişkinin gerçekten çok önemli ve sıkı olduğu tespit edilmiştir. Çoklu regresyon denklemleri yardımıyla hesaplanan hidrolik iletkenlikler, ölçüm değerleriyle karşılıklı olarak koordinat sisteminde işaretlenmişler, noktalar, eğimi 1 olan doğru etrafında toplanarak çok iyi bir uyum göstermişlerdir.

Buraya kadar açıklanmaya çalışılan, toprakta satüre su hareketini etkileyen toprağa ve suya ait faktörlerin yanısıra, toprak profili karakteristiklerini de saymak gerekir.

İçlerinde suyun hareket ettiği çeşitli tekstürel toprak katları veya horizonları çok değişik porozite ve hidrolik iletkenlik değerlerine sahiptirler. Doymuş bir toprakta suyun hareket hızını, profilin en az geçirimli olan horizonu veya tabakası tayin eder. Bu durum Wolny tarafından deneysel olarak gösterilmiş, deneyde 50 cm.'lik bir kum sütununun orta yüksekliğine 1 cm. kalınlıkta tın yayılmış, sistemin iletkenliği, sadece kuma oranla yaklaşık 40 kat azalmıştır.

Toprak profilinin yeknesak bir poroziteye ve kapillar olmayan gözeneklere sahip bulunması da hidrolik iletkenliği önemli ölçüde artırıcı yönde etkilemektedir.

Alt toprakta geçirimsiz bir katman bulunduğu takdirde, suyun hareketi, ancak bu geçirimsiz tabakadaki, çatlak, kök kanalcığı, solucan kanalcığı ve diğer herhangi bir kırık kesimi takiben meydana gelmek zorundadır. Örneğin; Pulluk tabanı, kil peni, ortstein, Fe ve Mn konkresyonları ve gley horizonları gibi pekişik ve geçirimsiz tabakalar, satüre su hareketlerinde ö-

nemli sorunlar yaratmaktadırlar. Bunlardan bazılarının teknik tedbirlerle ıslahı mümkün olsa bile, çok zor ve pahalıdır. Bu katmanlar çok kalın ve sert olmadıkları taktirde, yonca gibi derin köklü bitkilerle, suyun akabileceği bazı kanalcıkların teşekkül ettirilmesi belki mümkün olabilir.

Sonuç olarak, konu ile ilgili birçok araştırmalar, tabii toprak profillerinde ve bozulmamış toprak örneklerinde, suyun yer çekimi kuvvetiyle toprak içerisindeki hareketinin;

a) Toprak tekstürü, ştrüktürü, hacim değişimleri ve biyolojik

kanalların meydana getirdiği tansiyonsuz gözeneklerin miktar ve sürekliliği,

b) Akışkan ile karşılıklı etkileşim sonucu, toprak gözeneklerinin hidrasyonu ve gözenek stabilitesini etkileyen fiziksel ve kimyasal faktörler,

c) Toprak gözeneklerinde hapsedilmiş havanın direnci veya diğer bir deyimle, toprağın tam saturasyonu

ile ilgili bulunduğunu göstermiştir.

Faydalanılan Kaynaklar

Bahtiyar, M., 1975. Toprakta Su Tutulması ve Hidrolik İletkenliğin Tahmin Edilebilme Olanakları Üzerinde Bir Araştırma Ata. Üni. Zir. Fak. Toprak Böl. Doçentlik Tezi (Basılmamış).

Baver, L. D., 1966. Soil Physics. Third Ed., John Wiley and Sons Inc., New-York - London, S: 110-116 ve 131-145.

Benecke, P., 1966. Die Geländeansprache des Bodengefüges in Verbindung mit der Enthahme von Stechzylinderproben für Durchlässigkeitsmessungen. Zeitschrift für Kulturtechnik, u. Flurbereinigung, 7: 91-104, Berlin.

Doering, E. J., 1965. Change of Permeability with Time. Proc. Conf. on Drainage for Efficient Crop Prod., Pub. by Amer. Soc. of Agr. Eng., S: 32-36.

Fiedler, H. J. ve H. Reissig, 1964. Lehrbuch der Bodenkunde. VEB

Güstav Fischer Verlag, Jena, S: 344-348.

Franz, H., 1960. Feldbodenkunde. Verlag Georg Fromme und Co., Wien und München, S: 78.

Hartge, K. H. ve P. Benecke, 1968. Wasserpannungsgradienten in einem Schluff- und in einem Lehmboden. Zeitschrift für Wasser und Boden, 20, 1: 18-21.

Hodgman, C. D., 1937. Handbook of Chemistry and Physics. Twenty-Second Ed., Pub. by Chemical Rubber Pub. Co. Cleveland, Ohio, USA.

Illner, K., 1962. Untersuchungen über die Wasserdurchlässigkeit von Niedermoorboden mit der Bohrlochmethode. Zeitschrift f. Lndeskultur, 3, 1: 19-28, O. Berlin. DDR.

Kmoch, H. G., 1962. Die Luftdurchlässigkeit des Bodens, ihre Bes-

- timmung und Bedeutung für einige ackerbauliche Probleme, Gebrüder Bornträger Verlag, Berlin-Nikolassee, S: 1-26.
- Kopp, E., 1965. Die Permeabilität durchlässiger Böden, die Gliederung des Mikrooporenraumes und die Beziehungen zwischen Permeabilität und Bodentypen, Z. f. Kulturtechnik, u. Flurberinigung, 6: 65-90, Berlin.
- Laliberte, G. E., 1966. Properties of Disturbed Soil Materials Affected by Bulk Density. Agr. Abs., 1966 Ann. Meet., Amer. Soc. of Agr., Div.: S-1 ve S-6, S: 50.
- Martensen, H., 1959. Permeabilitätsmessungen in alter Marsch. Z. für Wasser und Boden, 10: 8-10, Berlin.
- Reeve, R. C., 1961. Sammelreferat über die Berichte vom V. Int. Kong. für Technik in Landwirtschaft, Brüssel, Z. für Kulturtechnik, 2: 115-119, Berlin-Hamburg.
- Renger, M., 1968. Beziehungen zwischen der Wasserdurchlässigkeit (kf) und verschiedenen Eigenschaften von Marschböden. Z. für Kulturtechnik u. Flurberinigung, 9: 304-313, Berlin.
- Scheffer F. ve P. Schachtschabel, 1973. Lehrbuch der Bodenkunde. VIII. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, S: 221-229, Stuttgart.
- Tepe, W. ve A. Darlowsky, 1969. Der Widerstand der Wasserbewegung im Boden, Z. für Pfl. ernährung Düng. u. Bodenkunde, 122, 3: 206-219, Berlin.