

# TOPRAK SUYU, TOPRAKTA SU TUTULMASI VE RUTUBET TANSİYONU

Metin BAHTİYAR (1)

## ÖZET

*Bu çalışmada, toprak suyunun anlamı ve önemi, toprak suyunun toprak-su ilişkileri yönünden sınıflandırılması ve toprak suyunun toprak tarafından tutulma intensitesi ile ilgili teoriler üzerinde durulmuştur.*

*Yüzey akış suyu, adsorpsiyon (Higroskopik) suyu, hidrasyon suyu, osmotik su, kapillar su, geçici taban suyu ve gerçek taban suyu kavramları etraflıca açıklanmış, oluşum koşulları ortaya konulmuştur.*

*Rutubet tansiyonu kavramı, Rutubet-Tansiyon ilişkileri ve bu ilişkileri etkileyen toprak faktörleri incelenmiştir.*

*Bloke edilmiş gözeneğe sahip sistemlerde Kapillarite, Hysteresis ve Haines Sıçraması olayları ve nedenleri açıklanmıştır. Toprakta su tutulması ile ilgili olarak, Briggs'in "Kapillar Boru Hipotezi" ve Buckingham'ın "Potansiyel Enerji Hipotezi"ne ait esaslar karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.*

*Total rutubet potansiyeli anlamı, bu potansiyeli meydana getiren kısmi potansiyellerinin nitelikleri ve etkili olabilme koşulları ayrı ayrı incelenmiş, total rutubet potansiyelinin kapillar potansiyel ile yerçekimi potansiyelinin cebrik toplamundan meydana geldiği gösterilmiştir.*

## I- Toprak Suyu Anlamı ve Önemi

Su toprakta bulunan en önemli maddelerden biridir. Toprakların bitki gelişiminde bir ortam görevi yapabilmeleri için, belli bir miktar su ihtiva etmeleri gerekir. Toprak suyu yahut diğer bir deyimle toprak rutubeti, bitki gelişimi ile birçok yönlerden, doğru-

dan ve dolaylı olarak ilgilidir. Bitki gelişimindeki doğrudan etkisi, suyun bizzat bir besin maddesi olması, çözücü olarak bitki besin maddelerini taşıması ve bitki içinde ve dışında sayısız fiziksel, kimyasal ve biyolojik faaliyetleri sağlamasıdır.

(1) Doç.Dr., Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak İlimi Bölümü öğretim Üyesi - Erzurum.

Dolaylı olarak toprak suyu, toprağın fiziksel ve hidrolojik özelliklerine etkisi bakımından bitki gelişimini kontrol altında bulundurmaktadır.

Su, toprak oluşumunda da büyük bir etkiye sahiptir. Toprakların ısı kapasitesi, ısı iletkenliği ve ısı absorpsiyon özellikleri, toprak rutubetiyle yakından ilgilidir.

Toprağın kohezyon, adezyon, plastiklik, şişme, büzülme ve kıvamılık gibi fiziksel özellikleri mevcut rutubet

miktarıyla geniş ölçüde değişmektedir. Ayrıca topraktaki gaz diffüzyonu da toprağın rutubet miktarına bağlıdır. Bu yüzden rutubet, toprakta havalandırma ile ilgili bütün fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayları etkilemektedir.

Scheffer ve Schachtschabel toprak suyunu; yağışlar, sulama suları, taban suları ve az miktarlarda da atmosferden kondenzasyon yoluyla (Çiğ, Kırağı) toprağın içine ulaşan su kısımları, olarak tarif etmektedirler.

## II. Toprak Suyunun Sınıflandırılması

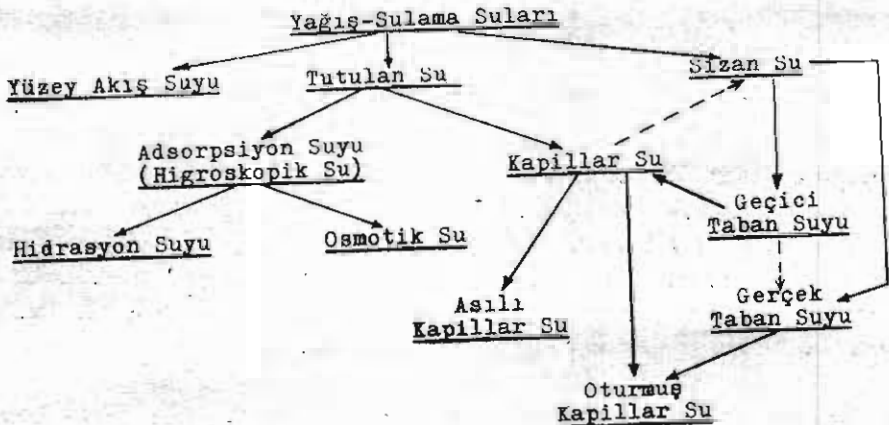
Toprak gözeneklerinin karakteri, toprağa dahil olan (Infiltrasyon) suyun idaresini önemli ölçüde etkilemekte ve bu nedenle suyun toprak tarafından tutulması (Kapillarite), toprak içerisinde hareket etmesi (Hidrolik iletkenlik ve Permeabilite) ve taban suyuna dahil olması (Perkolasyon), toprak-su ilişkilerinde önemli safhalar meydana getirmektedir.

Toprak strüktürü üzerinde yapılan araştırmalar, toprağın çeşitli büyüklükte boşluklar ihtiva eden, gözenekli bir ortam olduğunu göstermiştir.

Toprağa giren miktarına bağlı o-

larak, toprak suyunun bir kısmı, yerçekimi kuvvetine karşı bu gözeneklerde tutulmakta, bir kısmı da yerçekimi kuvvetinin etkisi altında, alt toprak katlarına veya varsa taban suyuna doğru sızmakta, sonunda, tabii veya diğer yollarla topraktan uzaklaşmaktadır. Toprak gözeneklerinde tutulan suyun bir kısmı ise evapotranspirasyon yoluyla topraktan ayrılıp gitmektedir.

Fiedler ve Reissig (1964)'e göre, yağış ve sulama suları ile diğer yollardan toprak yüzeyine gelen suyu, şematik olarak, aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür.



## A- Yüzey Akış Suyu

Yağışlar veya herhangi bir yoldan, toprağın absorplayıp iletebileceğinden daha fazla su, toprak yüzeyine geldiği takdirde, bu fazla su, "Yüzey suyu" olarak akıp gitmektedir. Yağışların daha şiddetli, toprak yüzeyinin daha fazla eğimli olması ve suyun toprak tarafından daha hızlı emilememesi ölçüsünde, yüzey akış suyu miktarı da artmaktadır. Bundan böyle, yüzey akış miktarı, genellikle ağır tekstürlü topraklarda hafif tekstürlülülere, pekişik topraklarda işlenmiş topraklardan daha yüksek olmaktadır. Özellikle, toprak yağış sırasında suya doymuş durumda ise, bu miktar daha da artmaktadır. Yüzey akış suyu, strüktürel bakımdan toprak, fazla miktarda suyu hızla infiltre edebilecek durumda bulunmadığı takdirde, az eğimlerde de ortaya çıkabilmektedir. Yüzey akış ise, toprak erozyonunun en önemli etkenlerinden birisidir.

## B- Sızan Su

Yağışlar veya sulama suları toprağın içerisine infiltre olan sulardan, toprağın tutabileceğinden fazlası, yer çekimi kuvvetinin etkisi altında daha alt toprak katlarına doğru harekete geçtiğinden, "Yerçekimi Suyu", "Drenaj Suyu" veya "Gravitasyon Suyu" olarak da adlandırılmaktadır.

Sızan suyun aşağılara doğru olan hareketi, gerçek taban suyu seviyesinin üzerinde bulunan ağır geçirgen toprak katları tarafından sınırlandırıldığı takdirde, sızan su bu katlar üzerinde geçici bir süre için birikmektedir. Biriken bu suya "Geçici Taban Suyu" veya "Yalancı Taban Suyu" adı verilmektedir.

Geçici taban suyu ile, gerçek taban suyu arasında, fiziksel yönden önemli bir fark yoktur. Esas geçirimsiz toprak katları üzerinde biriken gerçek taban suyunda daima bir süreklilik olmasına rağmen, geçici taban suyu yıl içerisinde, toprak suyunun beslenme durumuna bağlı olarak, ancak zaman zaman anılan karakterdeki toprak katları üzerinde varlığını gösterebilmektedir.

Her iki taban suyu da, yukarıya doğru taban suyu üst yüzeyi tarafından sınırlanmışlardır. Ancak, taban suyundan, yukarıya doğru uzanan kapillar saçak'ta, toprağın su muhtevası, taban suyu seviyesinin altındaki kadar yüksek olabildiğinden, toprakta taban suyu üst yüzeyi kesinlikle belirlenmemektedir. Bu yüzey, toprak içerisindeki su basıncının, ortalama atmosfer basıncına eşit olduğu yüzey olarak tarif edilmektedir. Taban suyu, hidrolik denge halinde bulunduğu takdirde, taban suyu üst yüzeyi, kedisini piezometre içerisinde ayarlayan, "Piezometrik Taban Suyu Seviyesi" deyimiyile karakterize edilmektedir.

Taban suyunun hidrolik denge durumunda bulunmaması örneğin; sürekli olarak üstten beslenmesi halinde, piezometrik taban suyu seviyesi, taban suyu üst yüzeyinden daha derinde, arteziyenik basınç durumunda ise, daha yüksekte bulunur. Taban suyunun çoğukez hareket halinde bulunması nedeniyle, bu durumda taban suyu seviyesi, burju deliği içerisinde kendisini ayarlayan su seviyesi ile karakterize edilir. Akan taban suyunda, taban suyu üst yüzeyi önemli bir eğim gösterebilmekte ve bu eğim, genellikle yaklaşık olarak toprak yüzeyi reliefini takip etmektedir.

### C- Tutulan Su

Kesin bir ayırım söz konusu olmasa da, tutulan su'yu, "Kapillar Su" ve "Adsorpsiyon veya Higroskopik Su" diye ayırmak mümkündür. Adsorpsiyon suyu kavramı altında: Değişebilir katyonlar ve toprak kolloidlerinin sınır yüzeylerindeki iyonlar tarafından "Hidrasyon Suyu" olarak ve az miktarlarda da "Omsotik" kuvvetlerle bağlanmış olan su anlaşılmaktadır. Adsorpsiyon suyu, toprak kolloidlerinin yüzeylerini, menisküsler teşkil etmeksizin sarmaktadır.

Toprak kolloidleri ve su molekülleri arasındaki adsorpsiyon kuvvetleri:

1- Sadece kısa uzaklıklarda etkili olan "London - van der Waals" kuvvetlerini ve su molekülleri ile toprak kolloidlerinin yüzeylerinde bulunan O-atomları arasındaki H- bağlarını, keza,

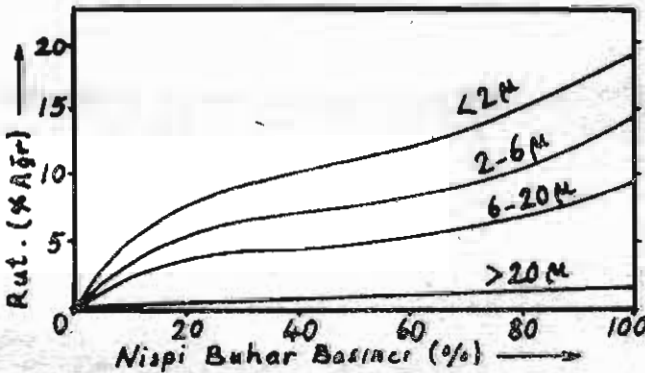
2- Karşıt yüklü iyonlar dahil, elektrik yüklü katı dış yüzeylerin elektostatik alanlarının etkisi altındaki, daha büyük uzaklıklarda etkili olan kuvvetleri (Coulomb Kuvveti) kapsamaktadır (Scheffer ve Schachtschabel, 1973).

Su dipolleri bu elektriksel alan içerisinde oriente olmakta ve Coulomb Yasasına göre kolloidler tarafından çekilip tutulmaktadır. Bu kuvvetler aynı zamanda adezyon kuvvetlerini meydana getirmektedirler.

Kolloidler tarafından adsorbe edilen su moleküllerine diğer su moleküllerinin bağlanması (Kohezyon) ise, H- köprüleri ile sağlanmaktadır. Su moleküllerinin yukarıda belirtildiği şekilde adsorpsiyonuna "Hidrasyon" adı da verilmektedir.

Havanın artan nispi buhar basıncına bağlı olarak, toprakların havadan adsorpladıkları rutubet miktarı da artmaktadır. Bu nedenle, Şekil 1'den de görüleceği üzere, havada kuru bir toprak, daima bir miktar rutubet ihtiva etmekte ve bu havada kuru rutubet değeri, toprağı saran havanın nispi buhar basıncının artmasının yanısıra, toprak tekstürünün incilmesi ölçüsünde yükselmekte ve sonunda bir dengeye erişmektedir.

Denge rutubet seviyesinin altında, topraklar devamlı olarak havadan ru-



Şekil 1: Havanın Nispi Buhar Basıncına Bağlı Olarak Toprak Fraksiyonlarının Adsorpladıkları Rutubet Miktarları (Scheffer ve Schachtschabel, 1973).

tubet adsorplamaktadırlar. Topraklar bu rutubet seviyesinde higroskopik özelliğe sahiptirler. Tekstür incelidikçe rutubet adsorpsiyonunun artması doğrudan doğruya spesifik yüzey ile ilgilidir.

Adsorpsiyon suyunun birinci moleküler tabakası kollid yüzeyine en sıkı bağlanmış tabakasıdır. Bu tabaka için, yaklaşık 6000 at.'lik bir bağlanma kuvveti bulunduğu, müteakip tabakalarda bu kuvvetin hızla azaldığı bildirilmektedir.

Adsorpsiyon suyu, serbest su ile kıyaslandığında, su moleküllerinin hareketliliği ve orientasyonu bakımından, çok değişik özelliklere sahiptir. Örneğin; Adsorpsiyon suyunun yoğunluğu ve viskozitesi daha yüksek, ısı kapasitesi ve donma noktası daha düşüktür.

Adsorpsiyon suyunun bir kısmını, osmotik kuvvetlerle bağlanmış olan su teşkil etmektedir. Bu kuvvetler, bir çeşit diffüzyon kuvvetleridir ve toprak çözeltisi ile, toprak kolloidlerinin etrafında meydana gelen çift tabaka içerisinde bulunan daha konsantre çözelti arasındaki, Osmotik Basınç Gradiantına dayanmaktadır. Bu basınç gradienti, çift tabaka içerisine ilave su moleküllerinin diffüzlenmesine sebep olmaktadır. Şöyleki, çift tabaka içerisindeki konsantre çözelti, toprak çözeltisinden su almak suretiyle, kendi konsantrasyonunu toprak çözeltisinin konsantrasyonuna eşitlemek için kendini zorlamaktadır.

#### D- Kapillar Su

Tutulan suyun diğer bir kısmını teşkil eden, kapillar su ise, daha önce nitelikleri ifade edilmiş olan katı - sıvı arasındaki (Top. - Su) adezyon, su

molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetleri ve katı - sıvı temasında bükeyleşen su yüzeyinde ortaya çıkan Yüzey Tansiyonu kuvvetleri yardımıyla tutulmaktadır.

Tutulan su, aynı anda ortaklaşa olarak çeşitli kuvvetler vasıtasıyla toprağa bağlandığından, adsorpsiyon suyunun kapillar sudan kesin olarak ayırd edilmesi mümkün değildir. Örneğin; kil mineral ünitelerinin arasında bulunan su, hem değişebilir iyonların hidrasyon suyu, hem de kapillarite ile toprağa bağlanmış su olabilmektedir.

Kapillar su kavramı altında, yer çekimi kuvvetine karşı sadece üst toprakta tutulan yağış ve sulama suları değil, aynı zamanda, taban suyu üst yüzeyi üzerinde teşekkül eden "Kapillar Saçak" suları da anlaşılmaktadır. Fiedler ve Reissig (1964)'e göre Zunker (1930); Üst toprak içerisindeki kapillar suyu "Asılı Kapillar Su" olarak adlandırmakta, buna karşılık, kapillar saçığı meydana getiren suya ise "Oturmuş Kapillar Su" demektedir.

Toprağa 31-1/3 at.'lik bir tansiyonla bağlı bulunan kapillar suyun ancak bir kısmı (15-1/3 at.), toprakta bitkilerin faydalanabilecekleri suyu meydana getirmektedir.

Mutlak kuru bir toprak, su buharıyla aynı ortamda tutulduğunda ve dengeye getirildiğinde, toprakta sadece adsorpsiyon suyu birikmeyip, aynı zamanda, toprak koloidlerinin birbiriyle temas noktalarında, birkaç moleküler su tabakasının adsorpsiyonuyla, temas noktalarını halka şeklinde saran ve artan su adsorpsiyonuyla büyüyen, çok kuvvetli büyükeyleşmiş menisküsler ve buna bağlı olarak, kapillar su te-

şekül etmektedir. Kapillar suyun bu durumuna, hava-su sınır ayırımı yüzeyinin kendisini küçültmek eğilimi neden olmaktadır. Menisküs teşekkülü, H- Köprüleri vasıtasıyla, kohezyon, adezyon ve yüzey tansiyon kuvvetlerinin ortaklaşa etkisine dayanmaktadır.

Toprağa kapillar kuvvetlerle bağlanmış olan su, serbest suya karşılık daha yüksek bir yüzey tansiyonuna ve böylece daha düşük buhar basıncına sahiptir.

### III- Toprak Suyunun Tutulma İntensitesi

Literatürde, toprak-su ilişkileri hakkında birbirinden farklı iki görüş vardır. Birinci görüş esas itibarıyla, toprağı çeşitli büyüklükteki sayısız kapillar boşluklara sahip bir ortam olarak kabul eden, "Kapillar Boru Hipotezi" esasına dayanmaktadır. Buna göre, suyun tutulması, toprak tanecikleri etrafındaki su zarının tansiyonunun bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir. Bu görüşün öncüsü L. J. Briggs'tir. (Baver, 1966).

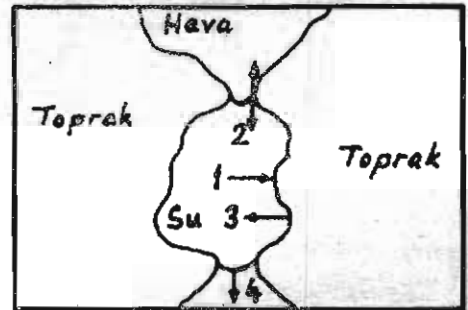
İkinci görüşün temsilcisi olan E. Buckingham ise, toprak - su ilişkilerini karakterize etmek üzere, "Potansiyel Enerji" hipotezini ortaya atmıştır. Buckingham'ın teorisinin, Gardner, Haines ve diğer araştırmacılar tarafından geliştirilip yaygınlaştırılması, eski kapillar boru hipotezinin, bu yeni teori ile tedricen değişmesine neden olmuştur. Aslında bu iki teori arasında herhangi bir çelişki ve aksi iddia mevcut değildir. Sadece ifade farkı vardır.

Toprakarda gözenek boşlukları, ancak çok ender olarak dairesel şekilde teşekkül etmişlerdir. Bununla beraber, toprak-su ilişkileri ile ilgili birçok problemin çözümünde, toprak ideal kapillar bir sistem olarak kabul edilmektedir.

Toprağın rutubet miktarının artması ölçüsünde, kapillar tutulma, adsorptif tutulmaya karşı daha baskın duruma geçmektedir. Ters durumda ise, adsorpsiyon önem kazanmaktadır.

#### A- Toprak Suyunun Tutulmasında Kapillar Boru Hipotezi ve Rutubet - Tansiyon İlişkileri (pF-Eğrileri)

Bir toprak gözenegi içerisindeki su, dört temel kuvvetinin etkisi altında bulunmaktadır (Şekil 2) (Tepe ve Darlowsky, 1969).



Şekil 2: Toprak Suyunu Etkileyen Temel Kuvvetler



Bu kuvvetler;

1- Katı faza doğru Adezyon kuvveti (Kapillar ve adsorbe su)

2- Gaz faza doğru Yüzey Tansiyon kuvveti (Su serbest yüzeyine teğet ve onu küçültmeye yönelik)

3- Sıvı fazın içine doğru Kohezyon kuvveti (Moleküler kuvvetler)

4-Suyun kütlesine etki yapan Yerçekimi kuvveti (Aşağıya doğru, düşey).

Burada, anılan ilk üç kuvvetin ortaklaşa olarak suyu toprakta tutmaya, dördüncü kuvvetin ise, suyu hareket ettirmeye yönelik oldukları görülmektedir. Gözenekli bir sistem olan toprağın yerçekimi kuvvetine rağmen gözeneklerinde değişik miktarlarda su tutabilmesi, kapillarite olayı esasına göre açıklanabilmektedir (Chow., 1964).

Kapillar suyun, toprak tanecikleri etrafında devamlı ve gergin bir şekilde tutulduğu düşüncesine sahip olan Briggs, kapillar borucuklardaki suyun iç bükey yüzeyinde ortaya çıkan kuvvetlerin su tutulmasında esas etken olduğunu göstermiştir (Baver, 1966).

Kapillar Boru - Su temas noktasında, suyun yataylık durumu bozularak, büyüleşmiş yüzeyde (Menisküs) adezyon kuvvetleri (Yüzey tansiyon kuvveti cinsinden ifade edilmektedir), bükey yüzeyin iç ve dış kısmı arasında bir basınç farkının doğmasına sebep olmaktadır. Bu basınç farkı (Emiş);

$$-\Delta P = 2 T_y \cos a / r \text{ (dyn/cm}^2\text{) dir}$$

Bu emiş kuvvetinin etkisiyle su, kapillar boru içerisinde, meydana gelen su sütununu etkileyen yerçekimi kuvveti ile veya daha başka bir deyimle,

su sütununun ağırlığı ile dengeleninceye kadar yükselir. Bu kuvvet de;

$$\Delta P = h_k d g \text{ (dyn/cm}^2\text{) dir.}$$

Her iki eşitlikten;  $2 T_y \cos a / r = h_k d g$   
 $h_k = (2 T_y \cos a) / (r d g) \text{ (cm)}$

kapillar denge yüksekliği elde edilmiş olur.

Burada;

$T_y$ : Suyun Yüzey Tansiyonu (dyn/cm),

$a$ : Kapillar Boru - Su arasındaki Temas Açısı (Derece)

$r$ : Kapillar Borunun Yarıçapı (cm),

$d$ : Suyun Yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>),

$g$ : Yerçekimi İvmesi (em/sn<sup>2</sup>); dir.

Görüldüğü gibi, toprağın su tutma gücü, suyun fiziksel sabitleriyle, toprak gözeneklerinin yarı çapının bir fonksiyonudur. Eşitlikteki " $h_k$ " kapillar denge yüksekliği, aynı zamanda toprağın su tutma gücünü (Su emiş gücü), kapillar potansiyelini veya rutubet tansiyonunu ifade etmekte, bu eşitlik yardımıyla, toprakta her rutubet tansiyonuna karşılık bir eşdeğer gözenek çapı hesaplanabilmektedir.

Eşitliğe göre; kapillar borucukların çapları küçüldükçe, dolayısıyla borucuklar içerisinde meydana gelen menisküslerin büyüklükleri ( $1/r$ ) büyüdükçe, daha yüksek bir tansiyon doğmakta, suyun toprağa bağlanma gücü artmakta ve bu suyun topraktan uzaklaştırılabilmesi için daha büyük bir enerji kullanımı gerekmektedir.

Öte yandan, kapillar denge yüksekliğine erişmemiş sistemlerde, kapillar borucuklardaki menisküslerin yükselmesini de aynı mekanizma sağla-

maktadır. Bu kapillar su hareketi, küçük hacimde nispi olarak büyük yüzeyli gözeneklerin su ile dolması halinde en etkili seviyede meydana geldiğinden, su en dar gözeneklerde en fazla yükselmekte ve araştırmalara göre, gayrimuntazam şekilli gözeneklerde, ideal dairesel gözeneklerden daha fazla yükseğe çıkabilmektedir.

Briggs'in teorisine göre, kapillar su hareketi kalın su zarlarından ince su zarlarına doğru olmakta ve hareket eden suyun hızı, su zarlarının menisküs büküklüğü, suyun yüzey tansiyonu ve viskozitesindeki farklarla ilgili bulunmaktadır.

Bu nedenle, tam kuru bir toprağın, giderek artan şekilde su ile satüre edilmesi sırasında en önce, kil ve humus kollidlerinin değişebilir iyonlarının ve kil minerallerinin sınır yüzeylerindeki iyonların sebep olduğu hidrasyon tansiyonu dolayısıyla, hidrasyon suyu tutulmaktadır. Hidrasyon kuvvetlerinin doyurulmasından sonra, kapillar tansiyon etkili olmakta ve daima ilkin en ince, sonra devam ederek daha geniş kapillar borucuklar su ile dolmaktadır.

Kuru bir toprakta tansiyon en yüksek değerindedir. Artan su satürasyonu ile bu tansiyon azalmaktadır. Yani; kuru bir toprak tarafından en son salınan, keza yeniden ıslanmada en önce alınan su, en kuvvetli bağlanmaktadır.

### 1- Rutubet - Tansiyon İlişkileri (pF-Eğrileri)

Toprağa belli bir tansiyonla bağlanmış olan suyu topraktan uzaklaştırmak için, (cm) su sütunu veya (at.) cinsinden basınç olarak ifade edilen (erg/gr - su)

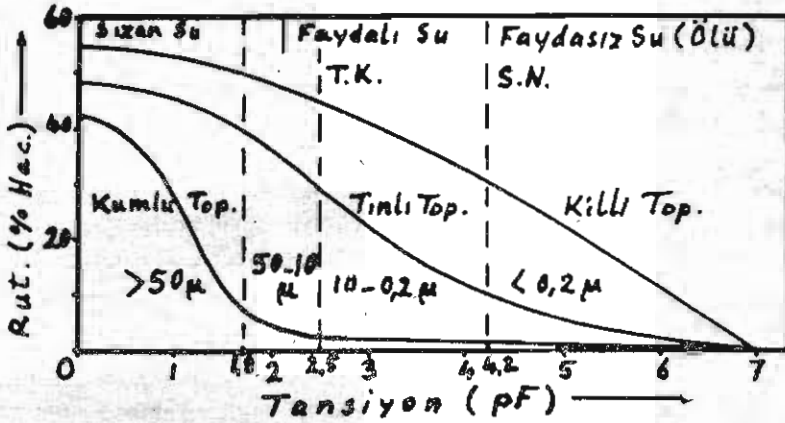
cinsinden bir iş gerekmektedir. Toprağın rutubet tansiyonuyla, uygulanan dış basınç arasında bir dengeye ulaşılmasını takiben, topraktan suyun çıkışı durmaktadır.

Toprağın herhangi bir andaki rutubet tansiyonu ile denge halinde bulunan, (cm) su sütunu cinsinden basıncın 10 tabanına göre logaritmasına pF-değeri denilmektedir. Örneğin; 100 cm'lik bir su sütunu (0,1 at), pF → 2'ye, 1 cm → pF → 0'a ve 0 cm → pF → -∞'a tekabül etmektedir.

Tespit edilen rutubet tansiyonu değerlerine karşılık, toprakta kalan hacim rutubet miktarları dik koordinat -sistemine aktarıldığında, her toprak için tipik olan sürekli bir eğri elde edilebilmektedir (Şekil 3) (Scheffer ve Schachtschabel, 1973).

Şekilde, Kumlu-, Tınlı- ve Killi bir toprağa ait tansiyon eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Tek tek eğrilerin seyrinden de görüldüğü gibi, rutubetin giderek azalması halinde, toprakta kalan bir sonraki rutubetin topraktan uzaklaştırılabilmesi için gerekli olan tansiyon değeri derhal yükselmektedir. Yaklaşık olarak, pF - 7'de (10000 at), eğriler toprağın artık suyu tutabildiği son nokta olan bir minimum değere inmektedirler. Toprakların farklı tekstürlerinin bir sonucu olarak, çeşitli gözenek iriliği dağılımı göstermeleri, eğrilerin çeşitli yollar takip etmesine neden olmaktadır. pF - ifadesi, 0 - 10.10<sup>6</sup> cm su sütunu veya 0 - 10000 at. gibi çok farklı tansiyon kademelelerini aynı anda birtek eksen üzerinde gösterebilmek zorunluluğundan doğmuştur. Aksi halde teknik yönden grafikleme mümkün olamazdı.





Şekil 3: Üç Değişik Toprağın Rutubet - Tansiyon Değerleri Arasındaki İlişkiler (pF - Eğrileri)

Toprak içerisindeki serbest suyun veya taban suyunun pF - değeri eksi sonsuz'dur. Toprağın bütün gözeneklerinin su ile doymuş olması halinde de pF- değeri yine eksi sonsuz'dur. Sızan su ile tutulan su arasındaki sınır değeri ise pF 2,5'dir.

Değişik tekstürlü topraklar arasındaki bir mukayese, pF-2,5 hizasında işaretlenmiş olan, Tınlı Toprağın "Maksimum Tutulan Su" miktarının orta konumda olmasına rağmen, Killi Toprağın "Maksimum Tutulan Su" miktarının, Kumlu Toprağın'ından çok çok daha büyük olduğunu ortaya koymaktadır.

Kapillar denge yüksekliği eşitliğine göre hesaplanabilen ve pF - 2,5 (340 cm su sütunu) tansiyonda su ile dolu kalabilen gözeneklerin maksimum eşdeğer çapı 10 mikron'dur. Şu halde, aynı zamanda toprağın tarla kapasitesi rutubet değerini de ifade eden bu tansiyonda, çapı 10 mikron'dan daha büyük olan gözenekler tamamen drene olmuşlardır.

pF-4,2 değeriyle işaretlenen devamlı solma noktası, tutulan suyu,

bitkilere faydalı olan (pF-4,2'den küçük) ve faydalı olmayan (pF-4,2'den büyük) kısımlara ayırmaktadır. Devamlı solma noktasında da Killi Toprak en yüksek (% 30), Kumlu Toprak en düşük (% 2) seviyede rutubet ihtiva etmektedir.

Bitkilerin su ihtiyaçlarını karşılamaları bakımından, pF-2,5 ve 4,2'ye tekabül eden % rutubet miktarları arasındaki fark; bitkilere faydalı su miktarını verdiğinden, çok büyük önem taşımaktadır. Bu değer artık Killi Toprakta en yüksek değil (% 15), % 20 ile Tınlı Toprakta en yüksektir. Eğer yavaş drene olabilen gözeneklerde (50-10 mikron) tutulan ve bu nedenle kısmen bitkilere faydalı olabilen, pF-1,8 ile 2,5 arasında işaretlenmiş olan "Sızan Su" miktarı da dikkate alınsa, Tınlı Toprak diğer topraklar karşısında daha büyük üstünlük kazanmaktadır (% 30).

pF-eğrilerinden ayrıca, toprakların gözenek iliği dağılımı değerleri de elde edilebilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, Örneğin; Kumlu Toprak

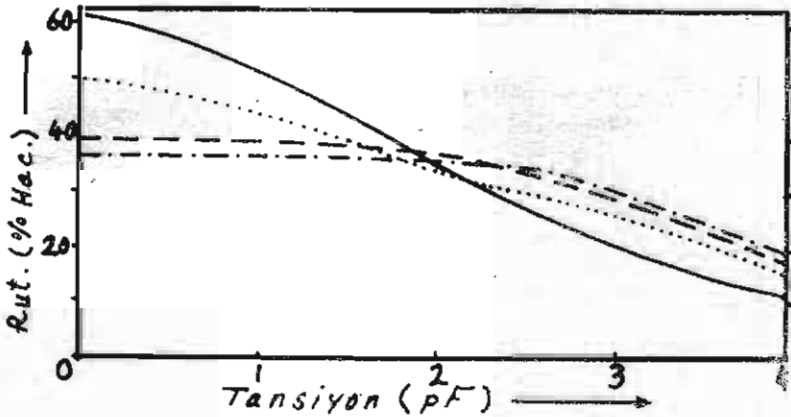
pF-1,8'e kadar drene olduğunda en yüksek su kaybı gösterdiğinden (% 30), bu toprağın toplam gözenek hacminin büyük bir kısmı, hızlı drene olabilen (50 mikrondan büyük) gözenekleri ihtiva etmektedir. Bu değer, Killi toprakta % 4, Tınlı toprakta % 8'dir. Buna göre, pF-eğrileri, belli bir tansiyon aralığında ne kadar dik düşüş gösterirlerse, bu aralığa tekabül eden gözenekleri de o kadar çok ihtiva ederler.

Diğer taraftan, aynı rutubet muhtevasında, toprak suyunun bağlanma kuvvetinin, artan kil miktarına bağlı olarak yükseldiği görülmektedir. Bu durum şu şekilde de açıklanabilir.

Örneğin; % 20 rutubet muhtevasında kumlu toprak ıslak olduğu halde

(Sızan su safhasında); tınlı toprak rutubetli (Faydalı rutubet seviyesinde) ve killi toprak kuru (Devamlı solma notasının altında) bir görünüm içerisindedir. Tekstrüre bağlı olarak suyun bu farklı tutulma kuvveti, adsorplayıcı yüzeyin büyüklüğüne ve gözenek çapının küçük oluşuna dayanmaktadır (Hartge, 1965).

Tansiyon eğrileri, tekstürün dışında, strüktür tarafından da önemli ölçüde etkilenmektedir (Şekil 4). En kuvvetli strüktürel değişimler sekonder kaba gözeneklerde meydana geldiğinden, bu gözeneklerle ilgili olan, düşük pF bölgesinde, rutubet değişimleri de bilhassa büyük olmaktadır.



Şekil 4: Aynı Tekstürlü Topraklarda, Rutubet - Tansiyon İlişkileri Üzerine Strüktürün Etkisi (Scheffer ve Schachtschabel, 1973).

Şekilden de görüldüğü gibi, sıfır pF'deki rutubetin, diğer bir deyimle, gözenek hacminin değişim miktarı %36-61 arasındadır. 1,5-2,0 pF aralığındaki değişimler ise, daha düşük pF değerlerindeki tam tersine çok daha küçüktür.

Toprağın su tutma intensitesi üzerine strüktürün etkilerini araştıran Nagarajarao (1970), yüksek tansiyonlarda su tutulmasına strüktürün etkisi olmadığı şeklindeki yaygın düşünceye katılmıyacağını belirtmiş, pF 3,3 ve 4,2'de bozulmuş toprak örneklerinin rutu-

bet miktarlarının bozulmuşlarına oranlarının, 0,79 - 1,26 arasında değiştiğini araştırmalarla tespit etmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, strüktürün bozulması su tutulmasını, kaba bünyeli topraklarda düşürmüş, ince bünyeli-lerde yükseltmiş; farklılık, düşük tansiyonlarda daha belirgin olmuştur.

### **B- Bloke Edilmiş Gözeneğe Sahip Sistemlerde Kapillarite**

pF-Eğrilerinin elde edilmesinde, bir defa satüre topraktan, diğer defa da kuru topraktan başlayarak hareket edildiğinde, aynı toprağa ait olan her iki eğrinin birbirine çakışmadığı, birbirinden farklı olduğu görülür. Aynı tansiyon değerinde, drene olan toprağın ihtiva ettiği rutubet miktarı, ıslanan toprağın ihtiva ettiği rutubet miktarından daima daha fazla olmaktadır. Islanan toprak, drene olan toprağın ihtiva ettiği rutubet seviyesine ancak daha düşük bir tansiyon değerinde erişebilmektedir. İşte, ıslanan toprağın, ıslanmasındaki bu gecikmeye veya geri kalmaya "Hysteresis" adı verilmektedir.

Hysresesis olayının başlıca nedenleri;

- 1- Kapillar sistemde bloke edilmiş gözeneklerin bulunması,
- 2- Toprağın çok kurumuş olması,
- 3- Hızlı ıslanma sırasında, havanın küçük-gözenekler içerisinde hapsolmesi,
- 4- Toprağın şişme ve büzülmesiyle, strüktürün tersinir olmayan bazı değişimlere uğraması'dır.

Hysteresis olayını takiben, kapillar kanalcıkta bloke edilmiş iri göze-

nektek sonra, kanalcığın yeniden daralması ve buna bağlı olarak tansiyonun aniden yükselmesi sonucu, suyun aşamalı bir hareketle daralan kısma ilerlemesine de "Haines Sıçraması" denilmektedir.

Toprakların rutubet - tansiyon değerleri, çeşitli yollardan tayin edilebilmektedir. Bunlardan en önemlileri: 0-2,9 pF-aralığında (1 - 800 cm su sütunu) çalışabilen Tansiyometreler, yaklaşık 2,7-4,2 pF-aralığında (500 - 1500 cm su sütunu) çalışabilen Jips Bloklar ve günümüzde çok yaygın olarak kullanılan ve toprak örneklerinde pF-eğrilerinin elde edilmesine hizmet eden Richards'ın "Gözenekli Seramik Tabla ve Basınçlı Zar" metodudur. Bu metot, su ile satüre edilmiş olan toprak örneğinin, gözenekli tabla veya basınçlı zar üzerinde istenilen tansiyonla hidrolik dengeye gelmesini takiben, toprak örneğinin tutabildiği bakiye rutubet miktarının tayin edilmesi esasına dayanmaktadır. Böylece, uygulanan her tansiyon değerine karşılık, toprakta bir bakiye rutubet değeri elde edilebilmekte ve grafiklenebilmektedir. pF-4,2 den daha büyük tansiyonlar için toprak örnekleri, çeşitli konsantrasyonlardaki  $H_2SO_4$  çözeltileriyle sağlanabilen, çeşitli su buhar basınçları ile dengeye getirilerek, toprağın o andaki rutubeti tayin edilmektedir.

### **C- Toprak Suyunun Tutulmasında Potansiyel Enerji İlişkileri ve Toplam Rutubet Potansiyelinin Anlamı**

Toprağın herhangi bir noktasında suyun çekilme (Tutulma), kuvvetinin miktarını ifade etmek için Buckingham (1907), "Kapillar Potansiyel" deyimi

mini teklif etmiştir. Örneğin, rutubetli bir kurutma kâğıdı, kuru olana oranla daha az su emer. Bunun nedeni, rutubetli kurutma kâğıdındaki kapillar kuvvetlerin bir kısmının, rutubetlendirme ile tatmin edilmiş olmaları yani kapillar emiş enerjisinin azalmış olmasıdır. Emiş gücü azalınca, belli bir miktar suyu tekrar geri almak için uygulanacak kuvvet veya yapılacak iş miktarı da, tabiiyle daha az olacaktır.

Buna benzer bir düşünüşle, su ile doymuş bir topraktan belli bir miktar su çekmek için gereken enerji miktarı, daha az rutubetli bir topraktan aynı miktar suyu çekebilmek için gereken enerji miktarından elbette ki daha küçük olacaktır.

Fizikte potansiyel; Bir birim kütlenin belli bir noktadan diğer bir noktaya getirilmesi için, yapılması gereken iş'tir.

$\psi = m \cdot a (h_2 - h_1) = m \cdot a \cdot \Delta h$  (erg)'dir.

Şu halde potansiyel, beher kütle birimi için sarfedilen kuvvet ile mesafenin çarpımına eşittir.

Konu toprak rutubeti açısından ele alındığında, topraktan belli miktarda bir su kütlesini çekip alabilmek için gereken iş miktarı, toprağın total rutubet potansiyeli ile su kütlesinin çarpımına eşdeğer olur.

Diğer taraftan, toprağın total rutubet potansiyeli daha kapsamlı biçimde; Bir toprak sütunu içerisindeki bir birim kütle suyun, kapillar ve diğer suyu tutucu kuvvetlere rağmen, bir serbest su yüzeyi seviyesinden, bu yüzeyin yakınındaki belli bir noktaya kadar hareket ettirilmesi için gerekli olan iş,

olarak da tarif edilebilmektedir. Bu tarifin ışığı altında Buckingham, toprak sütunları kullanarak, total potansiyelin aşağıda verilen teorik analizini yapmıştır. Bu analize göre:

— Serbest su rezervuarıyla sürekli temas halinde, kapillar dengeye gelmiş bir toprak sütunu düşünelim.

— Bu toprak sütununda, serbest su yüzeyi üzerindeki bir noktanın bu yüzeye olan uzaklığı (X) olsun.

— Çok küçük bir su kütlesinin (dm), bulunduğu noktadan, X + dX noktasına hareket ettiğini varsayalım. dX çok küçük bir uzaklıktır.

— dm su kütlesinin, X + dX noktasına getirilmesinde, toplam emişe karşı uygulanması gereken kuvvet tarafından yapılan iş,  $\psi \cdot dm$ 'e eşittir. Bu, aynı zamanda, X noktasındaki dm su kütlesinin topraktan koparılıp alınması için yapılan işi temsil etmektedir.

— Suyun, X + dX seviyesinde toprakla birleşmesi sırasında, bu yeni noktadaki potansiyeli, orijinal potansiyel ile ( $\psi$ ), dX yolu kadar hareketi sonucu kazandığı yeni potansiyelin toplamına eşittir.  $\psi + (\Delta \psi / \Delta X) dX$  dir.

X + dX noktasındaki toplam potansiyele karşı yapılan iş ise;

$$(\psi + \Delta \psi \cdot dX / \Delta X) dm$$

— Şu halde; Kapillariteye karşı uygulanan kuvvet tarafından yapılan total iş:

$$W_1 = \psi \cdot dm - (\psi + \Delta \psi dX / X \Delta) dm = - (\Delta \psi / \Delta X) dX \cdot dm \text{ olmaktadır.}$$

— Bu arada, dm kütledeki suyun dX kadar hareket ettirilmesinde, yer çekimi kuvvetine karşı da bir iş yapılmış olmaktadır. Bu iş de:

$$W_2 = g. dm. dX \text{ dir.}$$

$$\text{Kapillar denge halinde, } W_1 + W_2 = 0 \text{ olduğundan;}$$

$$- (\Delta\psi / \Delta X) dX. dm + g. dm. dX = 0$$

olur. Eşitlik sadeleştirilerek,

$$\Delta\psi / \Delta X = g \text{ elde edilir. Buradan;}$$

$$\Delta\psi = g. \Delta X, \text{ ve nihayet}$$

$$\psi = g. X \text{ (erg/gr) yazılabilir.}$$

Suyun yoğunluğunu hesaba katmak suretiyle, total potansiyeli basınç birimiyle  $\psi = d. g. X$  (dyn/cm<sup>2</sup>) şeklinde, veya dünyanın çekim alanı içerisinde d.g = 1 gr olduğundan, total potansiyeli uzunluk birimiyle de  $\psi = X$  (cm) şeklinde ifade etmek mümkündür.

Bu duruma göre, Rutubet - Potansiyel ilişkilerinin, Rutubet - Tansiyon ilişkileri ile aynı mahiyette oldukları görülmektedir.

Toprağın herhangi bir yerindeki rutubetin total potansiyeli, kendisini meydana getiren kısmi potansiyellerin cebrik toplamından meydana gelmektedir. Bu kısmi potansiyeller:

#### 1- Yerçekimi Potansiyeli ( $\psi_g$ )

Kütle, hacim veya ağırlık cinsinden, birim miktar suyun, bir mukayese seviyesinden (Örneğin, taban suyu seviyesinden) belli bir yüksekliğe çıkarılması için, yapılması gereken iş'e tekabül etmektedir.  $\psi_g = h.d.g$  (dyn/cm<sup>2</sup>)'dir.

#### 2- Matrix Potansiyeli ( $\psi_m$ )

Önceleri kapillar potansiyel olarak da adlandırılan matrix potansiyeli, matrix'in etkisi altında bulunan suyun bağlanma kuvvetinin bir ölçüsüdür. Burada matrix deyimi; kendi içerisinde suya yataklık vazifesi gören, gözenekli katı toprak materyalini ifade etmektedir.

Matrix kuvvetleri kendini, matrix'in emiş kuvveti (Tansiyon) şeklinde göstermekte ve bu kuvvetlerin sağladığı matrix potansiyeli, negatif bir hidrostatik basınca tekabül etmektedir.

$$\text{Değeri: } - \Delta P = \psi_m = \frac{2. \text{Ty.} \cos \alpha}{r} \text{ (dyn/cm}^2\text{)'dir.}$$

Yerçekimi potansiyeli ile matrix potansiyelinin toplamına, "Hidrolik Potansiyel" adı verilmektedir.  $\psi_g + \psi_m = \psi_h$

#### 3- Osmotik Potansiyel ( $\psi_o$ )

Toprak çözeltisinde mevcut çözünebilir tuzlardan ileri gelen osmotik basınç farklarının meydana getirdiği potansiyeldir. Matrix potansiyele yardımcıdır. Adsorbe iyonlardan ileri gelen potansiyel, matrix potansiyelin kapsamına girdiğinden, osmotik potansiyele dahil edilmemektedir. Bu nedenle, osmotik potansiyel sadece tuzlu topraklarda büyük değerlere ulaşabilmektedir. Normal tarım topraklarında, su tutulması üzerine etkisi ihmal edilebilmektedir (Husz, 1968).

#### 4- Adsorpsiyon veya Adezyon Potansiyeli ( $\psi_a$ )

Toprak kolloidleri üzerinde oriente olmuş su moleküllü dipollerinin

çekimi nedeniyle ortaya çıkan bir potansiyeldir. Adezyon kuvvetlerinin çekim alanı çok geniş olmamakla beraber, kolloid yüzeyine yakın kısımlarda oldukça etkilidirler.

Bu da yine matrix potansiyele yardımcıdır.

Şu halde, total potansiyel, sözü edilen bu 4 ayrı kısmi potansiyelin ortaklaşa etkisinden doğmaktadır ve;

$\psi_T = \psi_g + (-\psi_m - \psi_o - \psi_a)$  şeklinde yazılabilir.

Matrix-, osmotik- ve adezyon kuvvetlerinin bu eşitliğe katkılarının ayrı ayrı ne kadar olduğunu belirlemek çok güçtür. Bu nedenle, bunları "Kapillar

Potansiyel" adı altında toplamak genellikle benimsenmiştir. Çünkü toplam suyunu etkileri aynı yöndedir.

Şu halde, kapillarite potansiyeli, gerçekte yüzey tansiyon kuvvetlerine dayanmasına rağmen, osmotik basınç ve adezyon kuvvetlerini de içine almaktadır. Buna göre; Toplam potansiyel:

$$\psi_T = \psi_g + (-\psi_k) \text{ olmaktadır.}$$

Hidrolik denge halinde, kapillar potansiyel yerçekimi potansiyeline eşit olduğundan, sistemin total potansiyeli sıfır olmakta ve bu durumda herhangi bir su hareketi meydana gelmemektedir.

## ZUSAMMENFASSUNG

### BODENWASSER WASSERBINDUNG IM BODEN UND SAUGSPANNUNG

In dieser Arbeit wurde die Bedeutung des Bodenwassers, seine Unterteilung aus der Hinsicht von Beziehungen für Boden - Wasser und die Theorien für die Intensität der Wasserbindung vom Boden erklärt.

Die Begriffe von Oberflächen-Adsorptions-, Hydratitonswasser, osmotisch gebundenes Wasser, Kapillar-, Stau- und Grundwasser wurden ausführlich erläutert und ihre Entstehungsbedingungen vorgelegt. Der Begriff von Wasseraugspannung, Beziehungen für Boden - Wasser und die Bodenfaktoren, die diese Beziehungen beeinflussen, wurden untersucht.

Bei den Systemen, die blockierte Poren haben, wurden die Ereignisse

von Kapillarität, Hysteresis und Haines - Sprung des Wassers erklärt.

In Beziehung von Wasserbindung wurden im Boden die Grundlagen von "Kapillarrohr - Hypothese nach "Briggs" und "Potentiale Energie - Hypothese nach Buckingham" vergleichend erklärt und diskutiert.

Die Bedeutung des totalen Potentials für Bodenfeucht, Eigenschaften der totales Potential bewirkenden parziellen Potentialen und ihre Einflussbedingungen wurden untersucht und gezeigt, dass totales Potential des Bodenfeuchtes aus der algebraischen Summe von kapillarem Potential und dem Potential von Anziehungskraft der Erde besteht.



## LİTERATÜR LİSTESİ

- Bahtiyar, M., 1975. Toprakta Su Tutulması ve Hidrolik İletkenliğin Tahmin Edilebilme Olanakları Üzerinde Bir Araştırma, Doçentlik Tezi, Ata. Üni. Zir. Fak. Erzurum, Basılmamış.
- Baver, L. D., 1966. Soil Physics, Third Ed., John Wiley Inc., New-York, London. S: 110-116 ve 131-145.
- Chow, V. T., 1964. Handbook of Applied Hydrology, Mc Graw-Hill Book Co., MNew-York, S: 13/7 - 13/12.
- Ergene, A., 1972. Toprak Biliminin Esasları, Genişletilmiş II. Baskı, Ata. Üni. Zir. Fak. Yay. No: 12, Erzurum.
- Fiedler, H. J. ve H. Reissig, 1964. Lehrbuch der Bodenkunde, VEB Güstav Fischer Verlag, Jena/DDR, S: 336-343.
- Hartge, K. H., 1965. Die Bestimmung von Provenvolumen und Porengrößenverteilung, Z. f. Kulturtechnik, 6: 193-206, Berlin/ BRD.
- Husz, G., 1968. Serienmässige Charakterisierung des Wasserhaushaltes von Bewässerungsböden in ariden und semiariden Gebieten, 9. Int. Bodenkund. Kongress, Mitteilungen, 3, 59: 565-576, Australia.
- Scheffer, F. ve P. Schachtschabel, 1973. Lehrbuch der Bodenkunde, 8. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, S: 2-11232, Stuttgart/BRD.