



Toprak Koşullarına Bağlı Olarak Tarla Kapasitesi Dinamiği

Gülay KARAHAN^{1*} Sabit ERŞAHİN¹ Hasan Sabri ÖZTÜRK²

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Çankırı, Türkiye

² Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara, Türkiye

*e-mail: gkarahan03@gmail.com

Alındığı tarih (Received): 04.06.2013

Kabul tarihi (Accepted): 18.11.2013

Online baskı tarihi (Printed Online): 21.11.2013

Yazılı baskı tarihi (Printed): 21.03.2014

Özet: Tarla kapasitesi yaygın olarak kullanılan fakat halen tartışılan bir toprak hidrolik özelliğidir. Geleneksel olarak tarla kapasitesi; doymuş bir topraktaki su serbest drenajla uzaklaştıktan ve suyun yerçekimi yönünde dikey hareketi durduktan sonra topraktaki tutulan su miktarı veya toprak su içeriği olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, gerçekte topraktaki tarla kapasitesine asla ulaşamaz. Bunun nedeni, topraktaki büyük gözeneklerde zayıf tutulan suyun hızla uzaklaşmasından sonra, geriye kalan suyun yavaşta olsa topraktaki hareket etmesidir. Toprakta yerçekimi yönündeki su hareketinin ihmal edilebilmesi için toprak suyu hareket hızının ne olduğuna dair evrensel anlamda kabul görmüş bir eşik değeri henüz belirlenmemiştir. Kaldı ki teorik olarak tarla kapasitesinde killi bir topraktaki su hareketinin kumlu bir topraktakine göre çok daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, tarla kapasitesi için belirli bir toprak suyu hareket hızının eşik değeri olarak kabul edilmesi gerekmektedir. Bu eşik değerinin farklı toprak tekstürlerinde karşılık bulduğu toprak suyu basıncı tarla kapasitesi için esas alınabilir. Bu literatür çalışmasında, tarla kapasitesi üzerine daha önce yapılmış tanımlar ve yeni kavramlar tartışılarak, toprak tekstürü başta olmak üzere toprak özellikleri ile tarla kapasitesi arasındaki ilişkiler irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak bünyesi, drenaj süresi, kapılar kuvvetler, matrik potansiyel, tarla kapasitesi

Field capacity dynamics affected by soil properties

Abstract: Field capacity is a soil hydraulic property, which is used widely but not identified in full. Traditionally, field capacity is the amount of soil moisture or water content held in soil after excess water is drained away and downward movement stops. In reality, a true field capacity is never reached since soil water continuously drains after readily drained soil water leaves the soil. A universally accepted threshold value for soil water flow rate to be negligible has not been determined yet. Soil water flow rate of a clay soil at field capacity is far greater than that of a coarse textured soil. In this regard, a universally applicable threshold value of soil water flow rate should be set for sand, loamy and clay soils. This value may be used as a reference for field capacity for soil texture classes, and corresponding soil water pressure may be used as "soil water pressure" for field capacity of related soil texture classes. In this literature review, the previous assumptions on field capacity and new definitions were evaluated and application of field capacity was discussed.

Key words: Soil texture, drainage time, matrix potential, capillary forces, field capacity

1. Giriş

Toprak-su-bitki sürekliliği genelindeki farklı süreçleri inceleyen araştırmacılar, topraktaki tutulabilen su miktarının ölçümü ile yakından ilgilenmişlerdir (Twarakavi ve ark., 2009). Toprakta tutulan su miktarı, suyun toprak içindeki tutulma şekli, miktarı ve toprak içindeki

hareketine göre değerlendirilmiş ve bunlara 'toprak nem sabitleri' denilmiştir. Toprak nem sabitleri; doymuşluk (doyma noktası), tarla kapasitesi, daimi solma noktası ve higroskopik su olarak tanımlanırlar (Şekil 1).

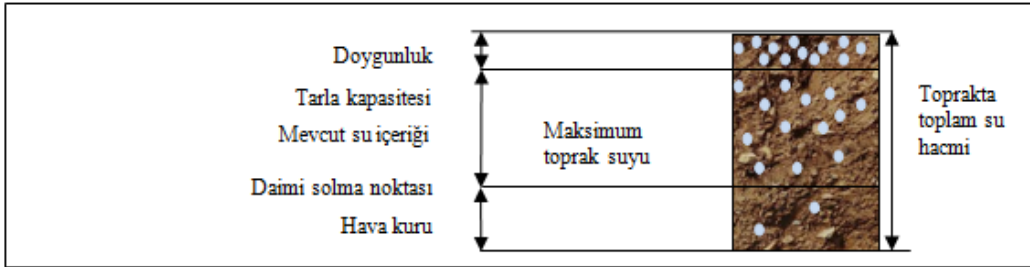
Yağış veya sulama ile toprağa sızan su, toprak profili içinde derine doğru yol alır, suyun toprak içindeki dağılışı başlangıçta üniform değildir.

Bu suyun bir kısmı toprak gözeneklerinde tutulur, bir kısmı ise drenaj ile topraktan uzaklaşır. Toprakta büyük gözeneklerde bulunan su, yerçekimi ile toprak profilinde aşağı doğru akar. Yerçekimi kuvveti ile yol alan bu su, tam olarak drene olduktan veya suyun dikey yönde hareketinin sona erdiği kabul edildikten sonra nem dağılımı uniform hale yaklaşır. Yağışlı bir mevsim veya bir sulama sonrasında yerçekimi etkisi ile topraktan hızla sızan suyun toprağı tamamen terk etmesinden sonra toprakta kalan su miktarı **tarla kapasitesi** veya **maksimum tarla kapasitesi** olarak tanımlanmıştır.

Drenaj sırasında toprak suyunun hareketini etkileyen başlıca kuvvetler yer çekimi ve kapılar (kılcal) kuvvetleridir. Toprak profilinde sulama veya yağışı takiben, büyük gözeneklerde bulunan su, pozitif hidrolik yük nedeniyle aşağı doğru hızla drene olur. Yaklaşık olarak 1-3 gün sonra toprakta kalan suyun hareketinde matrik kuvvetler daha fazla etkili olur. Topraktaki su hareketi çoğunlukla hidrolik potansiyel (ψ_p) tarafından kontrol edilir. Toprak profilindeki su içeriği, bu

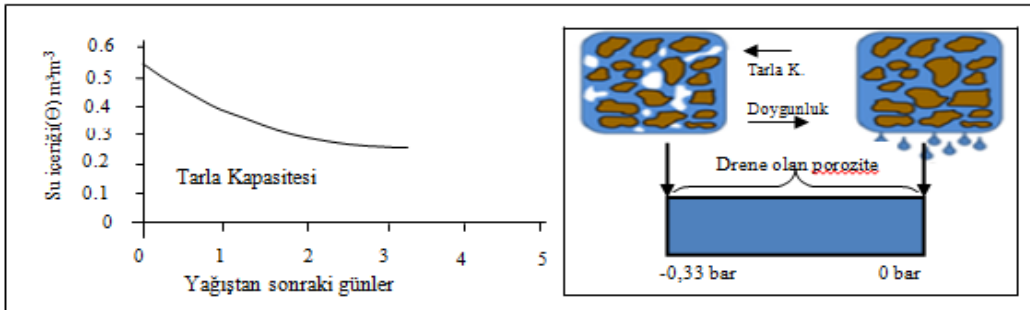
hidrolik potansiyele bağlı olarak yavaş yavaş değişir. Suyun bu dağılımı çoğunlukla düzenli bir seyir göstermez, 1-2 gün sonra toprakta su dolu gözenekler büyükten küçüğe doğru boşaldıkça, daha küçük gözeneklerde kalan su çok daha kuvvetli tutulur. Bu aşamada su, nispeten çok daha dar gözeneklerde yavaş hareket eder ve toprak daha da kurudukça topraktaki suyun aşağıya yöndeki hareketi göz ardı edilebilecek bir değere düşer (Şekil 2).

Tarla kapasitesindeki bir toprağın gözeneklerindeki suyun hareketi, su çok yavaş olduğundan ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Su hareket hızı ihmal edilebilecek durumdaki toprağın su içeriği tarla kapasitesi su içeriği ya da kısaca tarla kapasitesi olarak kabul edilir. Tarla kapasitesinin bu yaklaşımı, toprak profilindeki suyun bitki veya topraktan buharlaşma ile değil yalnızca zamana bağlı olarak yerçekimi ile uzaklaştığı varsayımını kabul eder



Şekil 1. Toprak nem sabitleri (FAO, 1985).

Figure 1. Soil moisture constants



Şekil 2. Yağış veya sulamayı takiben tamamen doymuş hale gelmiş bir toprakta toprak su içeriğinin zamanla değişimi (O'geen, 2012).

Figure 2. Water content change in soil after fully saturated following rain irrigation

Tarla kapasitesi için yaygın olarak zamana bağlı tanımlar kullanılmasına rağmen, bu tanımların geçerliliği incelenmelidir. Ayrıca drenaj akışına ve basınca bağlı olarak yapılan tarla kapasitesi tanımları da farklı özellikteki toprak uygulamalarında yeterli yaklaşımı sağlamayabilir. Bu nedenle tarla kapasitesinin geçerli bir tanımı için başlangıç koşullarının ve drenajı etkileyen toprak özelliklerinin detaylı bir şekilde araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada varsayımlar ile yapılan ampirik eşitliklere dayalı tarla kapasitesi tanımları değerlendirilmiştir. Mevcut tanımların farklı özellikteki topraklar içinde geçerli olması bakımından bu tanımlara ilave edilebilecek terimler üzerinde durulmuştur. Bu amaçla toprak özellikleri ile birlikte tekstür ve drenaj açısından topraktaki suyun dinamiği irdelenerek, bunun tarla kapasitesi üzerine olan etkileri incelenmiştir.

2. Tarla Kapasitesi

Tarla kapasitesi tanımlarının ilklerinden olan ve 30 dakika için 'yerçekiminin (1000) katı güçteki bir merkezkaç kuvvetine karşı bir toprağın tutabildiği su yüzdesi' (Briggs ve McLane, 1910; Briggs ve Shantz, 1912) olarak tanımlanan ölçüm, Briggs ve McLane (1910) tarafından "nem eşdeğeri" olarak adlandırılmıştır. Daha sonra Veihmeyer ve Hendrickson(1931), tarla kapasitesi kavramını 'fazla su drene olduktan ve toprak profilindeki suyun aşağı doğru hareketi azaldıktan sonra toprakta tutulan su içeriği veya toprak nemi miktarı' olarak yeniden tanımlamışlardır.

Tarla kapasitesi, Glossary of Soil Science Terms'de (Soil Science Society of America, 1997) 'toprak su ile doyurulduktan 2-3 gün sonra, serbest drenajın ihmal edilecek kadar düşmesini takiben toprakta kalan kütleli veya hacimsel su içeriği' olarak tanımlanmıştır. Ancak bu tanımlama toprak profilinin tekdüze olduğunu ve toprak yüzeyinden buharlaşmanın olmadığını kabul etmektedir. Ayrıca bu tanımlamanın, bazı eksikliklere rağmen pratik olduğu ve toprakların suyu tutma yeteneğini anlaşılır bir şekilde gösterdiği de belirtilmelidir. Bu yüzden, bu değer için uygun bir yöntemle belirlenmesi çok

önemlidir. Sadece arazi ölçümleri tarla kapasitesindeki toprak su rejimini etkileyen çeşitli etmenleri dikkate alabilmektedir. Bu nedenle, tarla kapasitesinin belirlenmesinde öncelik arazi testlerine verilmelidir.

Colman, (1947) tarla kapasitesinin yaklaşık olarak 0.33 bar (yaklaşık 1/3 atm) matrik potansiyeldeki toprak su içeriğine eşit olduğunu göstermiştir. Böylece 0.33 bar matrik basınçtaki su içeriği tarla kapasitesinin standart bir tanımlaması haline gelmiştir. Miller ve Klute (1967), tarla kapasitesine toprak drenajının çok yavaş olduğu zaman ulaşıldığını belirtmiştir. Bu tanımlama, drenajın önceden belirtildiğinin tersine, tamamen durmadığı gerçeği düşüncesi ile toprak suyunun hareketi ile ilgili olmuştur. Ancak çok yavaş olarak kabul edilen "drenaj akışı" hakkında hidrologlar arasında ortak bir görüş bulunmamaktadır.

Genel olarak tarla kapasitesine toprakta infiltrasyondan sonraki birkaç drenaj günü zarfında ulaşılır (Linsley ve Franzini, 1972). Bu drenaj süresi, yerçekimi suyunun topraktan drene olmasına izin verir. Toprak suyunun drenaj süresi olarak kabul edilen 48 saatlik süre klasik bir seçimdir (Cassel ve Nielsen, 1986). Diğer yandan, iki gün olan bu drenaj süresi, toprağın yetersiz havalanmasından dolayı bitkilerin zarar görme süresi olarak sıkça kullanılması nedeniyle seçilmiştir (Ochs ve ark., 1980; Hillel 1998). Hillel (1998) ise tarla kapasitesini evapotranspirasyon veya yağışın olmadığı son 48 saatlik drenaj süresini takiben, toprak profilinin üst kısmında oluşan hacimsel su içeriği olarak tanımlamıştır. Ancak bazı araştırmacılar ise tekdüze bir toprak profilinde 10 ile 20 gün sonra bile önemli düzeyde bir drenajın ve nem içeriğindeki değişikliğin olabileceğini belirtmişlerdir (Rose ve ark., 1965; Gardner ve ark., 1970; Romano 1993; Stephens, 1994).

Tarla kapasitesi değerinin arazi koşullarında belirlenmesinin doğru bir yaklaşım olduğu tüm araştırmacılar tarafından kabul edilmiştir. Bunun için, tekdüze bir toprak profiline sahip düz ve bitkisiz bir arazide suyu göllendirebilmek için çevresi yaklaşık 20 cm yüksekliğinde bentlerle

çevrili 12 m²'lik bir parsel oluşturulur. Parsel içindeki bitkiler elle temizlenir. Parselin merkezine toprakta sürekli nem ölçümü yapılabilmesi için değişik derinliklere TDR ve nötronmetre problemleri yerleştirilir. Gerekli ekipmanlar yerleştirildikten sonra, topraktaki su içeriği en yüksek değerine ulaşıncaya kadar su, toprak üzerinde göllendirilir. Toprak derinliği yetiştirme sezonu boyunca etkin kök derinliğini kapsayacak şekilde düşünülmeli, ancak 70 ile 80 cm'den az olmamalıdır. Toprak profili iyice ıslatıldıktan sonra su kesilir ve toprak yüzeyinde kalan suyun infiltrasyonunu için beklenir. Suyun toprak yüzeyinden kaybolmasından hemen sonra parsel yüzeyi plastik bir örtü ile örtülür (Cassel and Nielsen, 1986).

Toprak nem ölçümleri belirlenen derinliklerden toprakta suyun dağılımının başlamasını takip eden 3 ile 4 gün boyunca yapılır. Bu süre kaba bünyeli topraklar için yeterli olmasına rağmen orta veya ince bünyeli topraklarda 6 gün hatta daha fazla olabilir. Yaygın olarak, toprak yüzeyine plastik örtünün örtülmesinden itibaren 3, 12, 24, 48, 72 ve 96. saatlerde ölçüm yapılmaktadır. Oldukça tekdüze topraklar için, her 20 cm'de bir toprak nem ölçümleri yapılabilir. Ancak toprak hidrolik özelliklerinin çok değiştiği tabakalı topraklarda, her bir toprak katmanı için en az bir derinlik seçilmelidir.

Bozulmamış toprak örnekleri toprakta nem dağılımının başlamasından itibaren 24, 48, 72 ve 96. saatlerde alınır ve kapalı kutular içerisinde laboratuara götürülür. Bu örneklerde toprak nem içeriği belirlenebilir. Ölçülen toprak nemi, zamanın (t) bir fonksiyonu olarak grafik ile çizilirse tarla kapasitesine erişme zamanının (t_{TK}) belirlenmesinin doğruluğu artacaktır. Tarla kapasitesinin değerlendirilmesinde ' t_{TK} ' nin seçilmesi elbette ki nicel bir yaklaşımdır. Ratliff ve ark. (1983), toprak nem miktarının %10 ile 20 arasında değiştiğinde, drenajın ihmal edilecek kadar azaldığını belirtmişlerdir.

Toprak suyunun drenajı ile ilgili bu tanımlamalarda 'çok yavaş' ve 'birkaç gün' ifadeleri nitel tanımlardır ve cevapsız iki soru oluştururlar. Tarla kapasitesine ulaşmak için

gerekli zaman ile temel toprak özellikleri arasındaki ilişki nedir? Ayrıca, çok yavaş olan drenaj akışı için makul bir değer olarak ne alınmalıdır? Çoğu topraklarda bu sorular toprak drenajı dinamiği kullanılarak açıklanmaktadır.

Şöyle ki;

❖ Tarla kapasitesindeki drenaj hızı 0,05 mm/gün olarak düşünülebilir,

❖ Bu drenaj akışındaki su içeriği 0.33 bar matris basıncındaki su içeriği ile yakından ilgilidir,

❖ Tarla kapasitesine ulaşmak için drenaj süresi toprak özelliklerine, topraktaki başlangıç su içeriğine ve başlangıç su derinliğine bağlıdır (Nachabe, 1998).

Drenaj fiziği kısaca özetlenirse;

❖ İhmal edilen çok küçük drenaj akışına ulaşıldığında, tarla kapasitesi gerçekleşir.

❖ Bu dinamik tarla kapasitesine ulaşmak için yaklaşık zaman belirlenir.

❖ Tarla kapasitesinde kök bölgesinde ıslanma derinliği tahmin edilir (Ahuja ve ark., 2008).

Dirksen ve Matula, (1994) tarla kapasitesinin belirlenmesi sırasında, ihmal edilebilir drenaj akışı için bir rehber olarak kullanılabilirliğine inanılan meteoroloji istasyonunda ölçülen en küçük yağışın 0,01 cm/gün olduğunu gözlemlemişlerdir. Nachabe (1998), kök bölgesindeki su yönetiminde tarla kapasitesindeki "drenaj akışı hızı" ile günlük evapotranspirasyonun ilgili olduğunu ifade etmiştir. Açıkça, tarla kapasitesi pratik bir kavramdır ve ihmal edilebilir akış miktarının seçimi arazide uygulama şekline bırakılmalıdır.

Tarla kapasitesinin zamana bağlı tahmininde söz konusu problemi aşmak için bazı araştırmacılar belirli bir kapilar basıncının kullanılmasını önermişlerdir. Arazide zamana bağlı tarla kapasitesi tahmin edilirken, laboratuarda basınca dayalı yaklaşım kullanılarak tahmin yapılmaktadır (Romano ve Santini, 2002).

Arazi koşullarında belirlenen tarla kapasitesi değeri tüm faktörlerin etkisini kapsamaktadır. Bunun dışında, laboratuvar testlerinin hepsi tahmin

yöntemleridir. Toprak su tutma karakteristiği bir toprak özelliği olmasına rağmen, tarla kapasitesi bir sürece bağımlı değerdir. Gardner (1968)'in ifade ettiği gibi, tarla kapasitesi toprakların matrik potansiyelinden daha çok su iletkenliği ile ilişkilidir.

Laboratuar ölçümleri bozulmuş veya bozulmamış toprak örneklerinde -100 ile -500 cm su yükü arasında uygun bir değerde dengede yapilir. Tarla kapasitesi için yaygın olarak kullanılan yaklaşım 330 cm su tansiyonudur (1/3 atm) (Richards ve Weaver, 1944). Toprak bünyesi kabalaştıkça matrik yük artmaktadır. Genelde, yaklaşık -0,1 bar (100 mbar) matrik tansiyon değeri kumlu topraklar için tarla kapasitesini en iyi şekilde temsil ederken siltli tın gibi orta bünyeli topraklar için -0,33 bar değeri ve killi topraklar için -0,5 bar değeri uygundur (Romano ve Santini, 2002). Ancak, tarla kapasitesinin basınca dayalı yaklaşımı güvenli değildir, çünkü belirlenen bu standart değerlerde toprağın drenajı ihmal edilmektedir (Hillel, 1998; Meyer ve Gee, 1999). Tarla kapasitesi için standart basınca dayalı yaklaşımın kullanılmasında, toprak hidrolik özelliği son derece dinamik iken, yaklaşımın statik olması nedeni ile temel bir problem vardır (Hillel, 1980; Ahuja ve ark., 2008). Hillel (1998), Nachabe (1998), Meyer ve Gee (1999) tarla kapasitesinin basınca dayalı bu yaklaşımını, bu değerlerde bütün topraklardaki drenaj akışının ihmal edilebilecek değere ulaşma garantisi olmaması nedeniyle tutarsız bulmuşlardır.

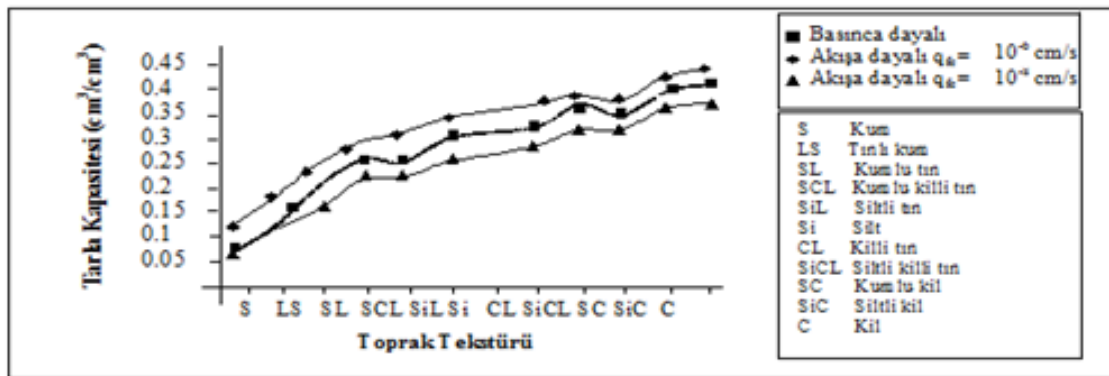
Meyer ve Gee (1999), 0,33 bar tansiyondaki ve tarla kapasitesindeki su içeriğini karşılaştırmış, akışa dayalı tahminin basınca dayalı tahmine göre daha tutarlı olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 3). Kaba tekstürlü toprakların tarla kapasitesini tahmin etmek için 0,1 bar tansiyonun kullanılması, tarla kapasitesinin dinamik tahmini ile daha tutarlı olan daha yüksek bir drenaj akışına sebep olacaktır.

Tarla kapasitesi seralarda saksılara uygulanamaz. Çünkü saksılar topraktaki suyu kapilar kuvvetler yardımıyla toprak profilinin içine doğru çeken alt toprak katmanları içermezler. Bunun yerine, Kirkham (2005)'a göre sulamadan sonra toprakta kalan ve drenajın durduğu zamanki suyun miktarını belirtmek için 'saksı kapasitesi' terimi kullanılabilir.

3. Tarla Kapasitesi ile Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

3.1. Toprak Bünyesi

Tarla kapasitesi, yalnızca drenaj zamanı veya süresi ile açıklanamaz. Bir toprağın tarla kapasitesindeki su miktarını hassas olarak belirlemeyi güçleştiren bazı faktörler, bu kavramın kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu faktörler, toprağın tekstür ve strüktürü ile organik madde içeriği ve taban suyu derinliğidir (Pritchett, 1979).



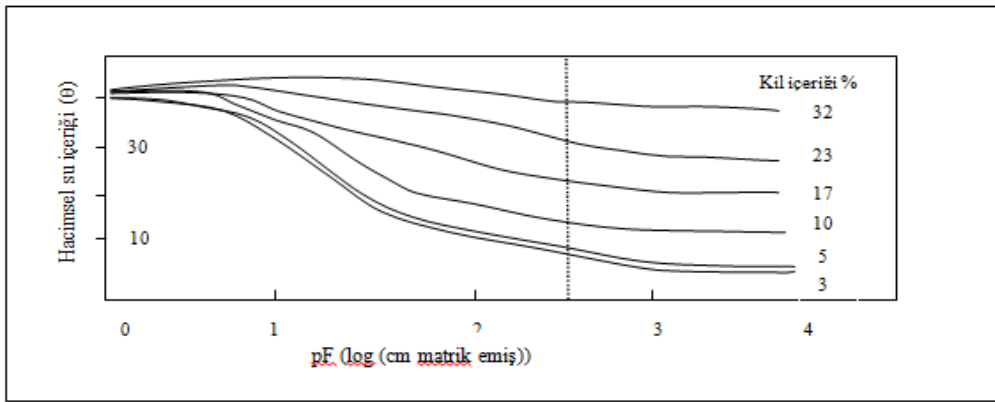
Şekil 3. Toprak tekstürüne bağlı olan drenaj akışı ve basınca dayalı tarla kapasitesi (Meyer and Gee, 1999).

Figure 3. Field capacity depending on drainage and pressure as related to soil texture.

Kumlu toprakların özgül yüzey alanları fazla olmadığı için çok fazla su tutamazlar. Bu nedenle, genelde sulamadan sonra, kumlu bir toprağın tarla kapasitesi değeri %10 gibi düşük olabilir. Birbiri üzerine plakalar şeklinde yığılmış kil parçacıkları ise geniş yüzey alanına sahip olduklarından, killi toprakların tarla kapasitesi %40'ın üzerinde olabilir. Kumlu topraklar infiltrasyondan 1-2 gün sonra belirgin bir tarla kapasitesine ulaşırlar, killi toprakların tarla kapasitesine ulaşması çok daha uzun süre alır ve çoğu zaman bu topraklar tarla kapasitesinin belirlenmesine izin vermezler. Tarla kapasitesindeki bir toprakta toprak-su tansiyonu, 1/10-2/3 bar arasındadır. Ağır bünyeli topraklarda

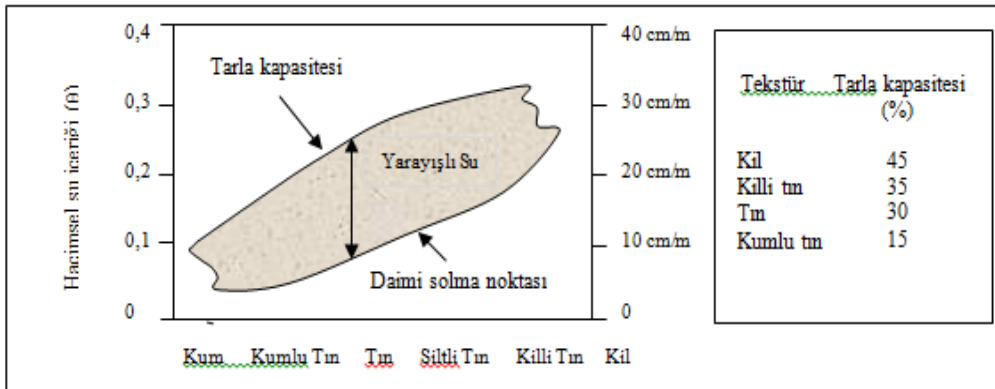
tarla kapasitesine karşı gelen tansiyon 2/3 bar, hafif bünyeli topraklarda 1/10 bar dolaylarındadır. Uygulamada ise kumlu topraklarda 0,1 bar, killi ve tınlı topraklarda ise 1/3 atm (0,33 bar) tansiyona karşılık gelen su içeriği tarla kapasitesi olarak alınmaktadır.

Tarla kapasitesindeki suyun toprakta tutulma enerjisi, genellikle 2,54 pF (330 cm=0,33 bar) veya 0,33 bar olarak kabul edilmekle birlikte, kumlu topraklar için bu değer pF=2 dir. Toprağın bünyesi kumdan kile doğru değiştiğinde veya kil içeriği giderek arttığında, toprağın tarla kapasitesi de giderek artmaktadır (Şekil 4 ve 5).



Şekil 4. Toprakta kil miktarının tarla kapasitesindeki su içeriğine etkisi (kesikli çizgi tarla kapasitesine karşılık gelmektedir) (O'Geen, 2012).

Figure 4. The effect of the clay content on field capacity (dashed line represents field capacity)



Şekil 5. Tekstür sınıfları ve yarayışlı su kapasitesi arasında genelleştirilmiş ilişki (O'Geen, 2012).

Figure 5. Generalized relationship between soil texture classes and plant available water holding capacity

Killi topraklar suyu kumlu topraklara göre daha uzun süre tutabilirler. Toprak bünyesi incelikle tarla kapasitesi değeri artmakta, suyun bırakılması yavaşlamakta ve tarla kapasitesinin kesinliği yani belirginliği azalmaktadır (Hillel, 1991) (Şekil 6). Toprak tekstürü ile toprakta tutulan su miktarı arasındaki ilişki, Şekil 6'da verilen bir benzetme ile açıklanabilir. Şekilde farklı gözenek büyüklüğüne sahip iki sünger görülmektedir. Süngerlerin her ikisi de su dolu bir kaba daldırılarak doyurulur. Daha sonra sudan çıkarılır ve belli bir süre bekletilir. Süngerlerden suyun sızması durduktan sonra, geri kalan su farklı iki kaba sıkılır. Kaplardaki sudan büyük gözenekli süngerin (tıpkı kumlu bir toprakta olduğu gibi) bıraktığı suyun ince gözenekli süngerin (tıpkı killi bir toprakta olduğu gibi) bıraktığı suyun neredeyse yarısı kadar olduğu görülür.

Nachabe (1998), başlangıçta farklı miktarlarda su (I) uygulanan kum, kil ve tın tekstürlü üç toprak için drenaj akışı grafiklerinde akış hızındaki azalmayı göstermiştir. Yüksek bir I değeri, düşük drenaj akışı miktarına ulaşmak için daha uzun bir zaman gerektirir (Şekil 7). Kumlu topraklar “düşük (ihmal edilebilecek) drenaj hızına” daha kısa zamanda ulaşırken, killi topraklarda bu zaman çok daha uzundur. Bunun nedeni, kumlu toprakların killi topraklara göre daha dar bir gözenek-büyüklik dağılımı aralığına

sahip olmalarındandır. Aynı zamanda kumlu topraklardaki gözeneklerin önemli bir kısmının büyük olması nedeniyle bu gözeneklerin daha hızlı boşalması da burada önemli bir etkidir (Twarakavi ve ark. 2009).

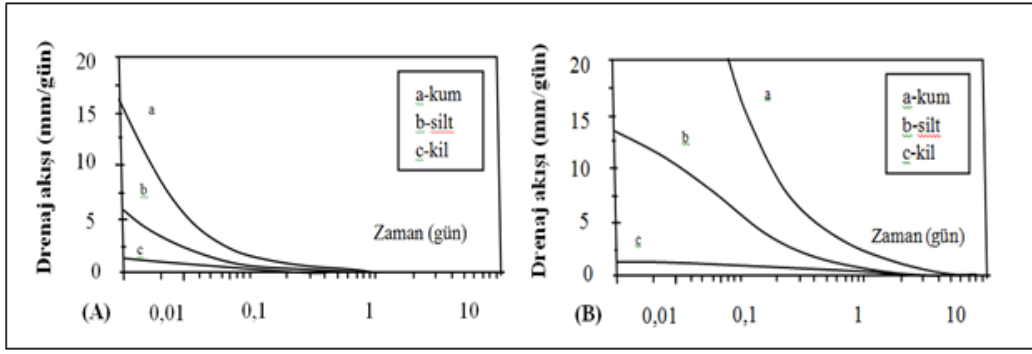
Twarakavi ve ark.(2009)'a göre tarla kapasitesi tekstürün bir fonksiyonu olarak düşünüldüğünde, drenaj süresi ve basınç yükü verileri ile bütün dünya topraklarında bir genelleme yapmak zordur. Çünkü dünyadaki mevcut veri setleri, örnekleme ve tahmin hataları nedeniyle tekstür genelinde değişmeyen hidrolik özelliklere sahiptir ve güvenilir bir diyagram geliştirmek için yeterince farklı tekstür dağılımı yoktur. Ancak, son 20 yılda toprak tekstürünün bir fonksiyonu olarak hidrolik özellikleri tahmin eden matematiksel modellerde ciddi bir artış olmuştur.

Bir pedotransfer fonksiyonu (PTF) olan ROSETTA, tekstürün bir fonksiyonu olarak toprak hidrolik özelliklerini tahmin etmede yaygın olarak kullanılmaktadır. ROSETTA, toprak hidrolik özelliklerini farklı tekstürlerde sorunsuz tahmin eden matematiksel bir paradigmadır.

Modelde diyagramlar, tarla kapasitesi, drenaj akış süresi ve basınç yükü değerlerinde keskin bir değişim göstermiştir, ihmal edilen drenaj akışı olan 0,01 cm/gün değeri iyi bir yaklaşımdır (Şekil 8).

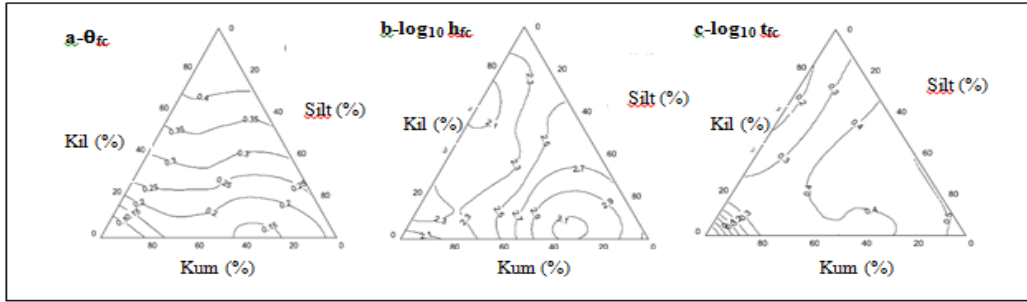


Şekil 6. Gözenek büyüklüğünün su içeriğine etkisi (Anonyomus 1998)
Figure 6. Effect of pore size on water content.



Şekil 7. Zamanın bir fonksiyonu olarak drenaj akışları (A) $I=10$ mm (B) $I=100$ mm (Nachabe, 1998).

Figure 7. Drainage flux as a function of time : (a) $I=10$ mm; (b) $I=100$ mm.



Şekil 8. Rosetta modeli ile ihmal edilen drenaj akışı ($0,01 \text{ cm gün}^{-1}$) için akışa dayalı toprak hidrolik özellikleri ve kum, kil ve silt yüzdelilerinin bir fonksiyonu olarak (a) tarla kapasitesi su içeriği (θ_{fc}), (b) tarla kapasitesi matris yükü ($\log_{10}(h_{fc})$) ve (c) tarla kapasitesi için gerekli zamanın ($\log_{10}(t_{fc})$) ortalaması (Twarakavi ve ark., 2009).

Figure 8. Mean values of (a) (θ_{fc}), (b) $\log_{10}(h_{fc})$, and (c) $\log_{10}(t_{fc})$ as a function of sand, silt, and clay percentages obtained by flux-based simulations for soil hydraulic parameters estimated using ROSETTA.

3.2. Toprak suyunun denge durumu

Toprak tamamen doymuş olduğunda, parçacıklar arasındaki gevşek tutulan su yer çekiminin etkisiyle hızla aşağıya doğru sızar. Toprakta su azaldıkça, su zayıf tutular gözeneklerden boşalır ve arkada nispeten suyu daha kuvvetli tutulduğu daha küçük boşluklarda bulunan su kalır. Bu durumda, suyun derine sızma hızı da önemli ölçüde azalır. Bu koşuldaki bir toprakta su, tarla kapasitesine gelmiş kabul edilir. Arazi koşullarında, toprak profilinde 3 m ve daha sığ bir taban suyunun olması halinde, toprak su içeriği taban suyu tarafından dengede tutulur. Bu durumda toprağın tarla kapasitesine ulaşması çok daha çabuk gerçekleşir. Taban suyunun daha derinlerde olduğu durumlarda ise

toprağın tarla kapasitesine ulaşması daha uzun zaman alır.

3.3. Hidrolik iletkenlik

Toprak suyunun iletimi profili içinde süreklilik gösteren kanalcıklar boyunca olmaktadır. Toprak kuru olduğunda suyun ilerlediği bölge alttaki ıslanmamış bölgeden daha koyu bir renk almakta ve ıslanma cephesi kesin olarak ayırt edilebilmektedir. Islak topraktaki doymuş katmanın altında, ıslanma cephesine doğru gidildikçe toprağın su içeriğinin azaldığı ve ıslanma cephesinde en düşük düzeye yani orijinal toprak nem düzeyine indiği görülmektedir.

Toprak başlangıçta aşırı kuru olduğunda, ıslanma cephesi civarındaki negatif basınç çok yüksek olabilmektedir. Yüksek negatif basınç,

özellikle kumlu topraklarda, genellikle düşük hidrolik iletkenliğe neden olmaktadır (Jury ve ark. 1991).

3.4. Toprak Yapısı (Strüktürü)

Toprak yapısı, tekstür ile birlikte toprakta gözenek büyüklüğü dağılımı ve gözenek geometrisini belirler (O'Geen, 2012). Kaba yapıda, sekonder gözeneklerin oluşumu sonucu gözenek hacmi arttığı zaman, daha küçük gözeneklerin oranı azalacaktır ve su içeriği de o ölçüde düşecektir. Tarla kapasitesi ise suyun topraktaki davranışı ile ilgili olduğundan, toprak strüktürünün bir fonksiyonudur. Tarla kapasitesine toprak strüktürünün etkisi, ilgili tarla kapasitesi değerinde ortaya çıkan pF değerine bağlıdır. Toprağın strüktürü yağış gibi faktörlerden etkilenir. Tarla kapasitesi ise suyun topraktaki davranışı ile ilgili olduğundan toprak strüktürü tarla kapasitesini etkilemektedir (Şekil 9).

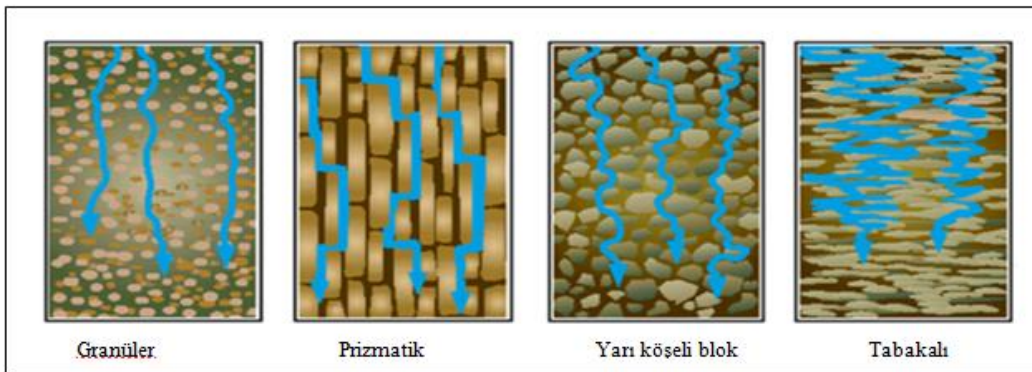
Büyük gözeneklerin olmadığı ve toprak strüktürünün gelişmediği killi topraklarda tarla kapasitesi yüksektir. Bununla beraber, büyük gözenekli ve strüktürün iyi geliştiği killi topraklarda ise su serbestçe drene olacağından tarla kapasitesi nispeten daha düşük olacaktır (Anonim, 2013). Toprak yapısının bir bileşeni olan agregatlar içlerindeki küçük boşluklar ile daha çok toprakta su tutulmasında görev alırken, agregatların dizilişlerinden kaynaklanan agregatlar arasındaki boşlukların büyüklüğü ve sürekliliği ise su ve hava iletimini sağlar.

Toprak yapısı iyi, ağır bünyeli bir toprak profilinin tarla kapasitesine ulaşması daha hızlı olur.

3.5. Organik madde içeriği

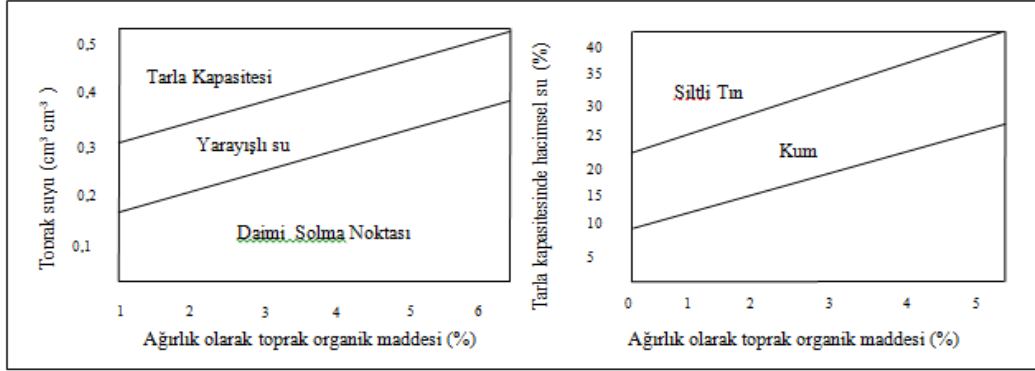
Bir toprakta organik madde artışı, toprağın su tutma kapasitesini doğrudan ve dolaylı olarak etkiler. Tarla kapasitesindeki bir toprakta, organik madde içeriği yüksek olan bir mineral toprak organik madde içeriği daha düşük aynı hacimdeki mineral bir topraktan daha fazla su tutma kapasitesine sahiptir (Soil Quality Indicators, 2008).

Organik madde toprakta iyi bir yapı oluşturucağı olarak bilinir. Dolaylı olarak, organik madde hem toprak yapısının oluşumunu teşvik eder hem de oluşan yapının kuvvetli ve kararlı olmasını sağlar. Organik madde, tarla kapasitesinde su ile dolu gözeneklerin (mezo-gözenekler) oranını artırdığından tarla kapasitesinin daha yüksek değerler almasını teşvik eder (Şekil 10). Organik maddenin tarla kapasitesi üzerine olan etkisi kil etkisine benzer. Toprakta organik madde miktarı arttıkça tutulan su miktarı artmaktadır. Genellikle fazla miktarda olmasa da, organik madde miktarının artması, solma noktasında toprağın su tutma kapasitesini artırır, ancak tarla kapasitesine etkisi daha fazla olur (Şekil 10). Organik maddenin her %1'lik artışında mevcut su kapasitesi yaklaşık %1,5 oranında artmaktadır (Soil Quality Resources Concerns, 1998).



Şekil 9. Farklı toprak strüktür tiplerinde suyun hareketi (O'Geen, 2012).

Figure 9. Water flow through different soil structure shapes



Şekil 10. Organik madde artışının toprak yarayışlı su kapasitesi üzerine ve farklı tekstürlerde toprak su içeriğine etkisi (Hudson, 1994).

Figure 10. Effect of increasing organic matter content on available water content in different soil textures

4. Sonuç

Tarla kapasitesi, özünde toprak dinamik süreçleri (hidrolik iletkenlik, drenaj) ile ilişkili olan bir toprak özelliğidir. Tarla kapasitesi kavramı, başlangıçta iyi drenajlı topraklar için geliştirilmiştir.

Tarla kapasitesinin akışa dayalı tanımları ile karşılaştırılan ilk çalışmalar kapsamlı değildir ve yalnızca birkaç temsili toprak için uygulanabilir yaklaşımlardır. Tarla kapasitesi kavramı daha sonra geniş bir yelpazeye sahip drenaj özellikleri olan topraklar için kullanılmıştır.

Tarla kapasitesinin toprak kök bölgesi yönetimi için operasyonel bir kavram olarak kullanılması ve bir toprak özelliği olarak kabul edilmesinden kaçınılması önerilmiştir. Tarla kapasitesi değerine drenajın ihmal edilecek kadar düşük olduğu zamanda ulaşılır. Uygulama türüne bağlı olarak, derin ve iyi drene olan bir toprak profilinde tarla kapasitesi için ihmal edilebilir drenaj akışı 0,01 mm/gün ile 1 mm/gün arasında kabul edilebilir. Drenajın engellendiği katmanlı bir toprak profilinde, drenaj önemli olmadığından toprak profilinde su dengesi elde edilebilir.

Daha önce yapılan çalışmalarda, tarla kapasitesinin zaman-toprak suyu gerilimi ve akışa dayalı yaklaşımları arasında kıyaslama yapılmış, su tutma eğrisinden tarla kapasitesini tahmin etmek için belirli bir basınç yükünün kullanılmasının doğru bir yöntem olmadığı belirtilmiştir. Tarla kapasitesi tahmininde basınca

dayalı yaklaşımdan çok akışa dayalı yaklaşımın daha güvenilir olduğu görülmüştür. Sonuçta, tarla kapasitesinde toprak hidrolik özellikleri ile ilgili ampirik bir eşitlik geliştirilmiş ve uygulanabilirliği test edilmiştir. Ancak, çalışma, Richards eşitliği ve van Genuchten-Mualem modeli ile ilişkili olduğu için homojen topraklarda su akışı değişimini başarıyla tanımlayabilir, fakat bulgular yalnız bu koşullar için geçerlidir.

Tarla kapasitesinin genel olarak kabul edilen, zaman ve akışa dayalı tanımları yerine toprakta suyun hareketinde başlıca rol oynayan toprak tekstür özelliğini dikkate alan yeni ve daha doğru bir tanımla yapılabilir. Tarla kapasitesindeki toprak suyunu etkileyen tüm koşulları içeren bir tanım, mevcut tanımların yeterli olmadığı durumlarda geçerli olacaktır. Bu bağlamda bir toprağın tarla kapasitesi 'yağışlı bir zaman veya bir sulama uygulamasından sonra yerçekimi etkisiyle, toprak tekstürüne göre farklı drenaj süreleri ve akışını takiben toprak suyu hareketinin 0.01 cm/gün gibi ihmal edilebilir bir seviyeye ulaşmasından sonra toprakta kalan su miktarı' olarak tanımlanabilir.

Kaynaklar

Ahuja LR, Nachabe MH and Rockiki R (2000). Soils: Field capacity, in Encyclopedia of Water Science, 2nd ed., edited by S.W. Trimble, B. A. Stewart, and T. A. Howell, pp. 1128–1131, CRC Press, Boca Raton, Fla. (Available at <http://www.informaworld.com/10.1081/E-EWS2-120010264>).

- Anonim (2013). en.wikibooks.org/wiki/Soil_Science, January 2013.
- Anonyomus (1998). <http://soils.usda.gov/> National Soil Survey Center in cooperation with the Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service, USDA).
- Briggs LJ and McLane JW (1910). Moisture equivalent determinations and their application, Proc. Am. Soc. Agron., 2, 138–147.
- Briggs LJ and Shantz HL (1912). The wilting coefficient for different plants and its indirect determination, Plant Ind. Bull. 230, U. S. Dep. Of Agric., Washington, D. C.
- Cassel DK and Nielsen DR (1986). Field capacity and available water capacity. In 'Methods of soil analysis. Part 1, Physical and mineralogical methods'. (Ed. A Klute) pp. 901-926. (American Society of Agronomy and Soil Science Society of America: Madison, WI).
- Colman EA (1947). 'A laboratory procedure for determining the field capacity of soils.'SS, 63, 277.
- Dirksen C and Matula S (1994). Automated atomized water spray system for soil hydraulic conductivity measurements, Soil Sci. Soc. Am. J., 58, 319–325.
- FAO (1985). <http://www.fao.org/docrep/R4082E/R4082E00.htm>, Irrigation Water Management.
- Gardner WR (1968). Availability and measurement of soil water.p.107-135. In T.T. Kozlowski (ed) water deficit and plant growth. Vol. 1 Academic Press, Inc., New York, NY.
- Gardner WR (1970). Field measurement of soil water diffusivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34:832-833.
- Hillel D (1980). Fundamentals of Soil Physics. Academic Press, 413 pp., N.Y, USA.
- Hillel D (1991). Out of the Earth: Civilisation and the Life of the Soil. University of California Press, Berkeley, Californie.
- Hillel D (1998). Redistribution of water in soil, in Environmental Soil Physics, edited by D. Hillel, pp. 449– 470, Academic, San Diego, Calif.
- Hudson, B.D.(1994). Soil Organic Matter and Available Water Capacity. Journal of Soil andWater Conservation 49 (1994), 189-194.
- Jury WA, Gardner WR and Gardner WH (1991). Soil Physics. 5 th ed. John Wiley & Sons, N.Y.
- Kirkham MB (2005). Principles of soil and plant water relations. Boston: Elsevier Academic Press.
- Linsley RK and Franzini JB (1972). Water resources engineering. McGraw-Hill Inc., New York.
- Meyer PD and Gee G (1999). Flux-based estimation of field capacity. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 125(7), 595-599.
- Miller EE and Klute A (1967). 'The Dynamics of soil water I: Mechanical forces', Irrigation of agricultural lands, R.M. Haganann et al., eds., American Society of Agronomy, Madison, Wis., 209-244.
- Nachabe MH (1998). Refining the interpretation of field capacity in the literature. ASCE J. Irrig. Drain. Eng. 1998, 124 (4), 230–232.
- Ochs WJ, Willardson LS, Camp Jr. CR, Donnan WW, Winger Jr. RJ and Johnston WR (1980). Drainage requirements and systems. In 'Design and operation of farm irrigation systems'. (Ed. ME Jensen), pp. 235-277. (American Society of Agricultural Engineering: St. Joseph).
- O'Geen AT (2012). Soil Water Dynamics. Nature Education Knowledge 3(6):12.
- Pritchett W L (1979). Properties and Management of Forest Soils, John Willey and Sons, N.Y.
- Ratliff LF, Ritch JT and Casse DK (1983). Field-measured limits of soil water availability as related to laboratory-measured properties. Soil Sci.Soc.Am. J. 47:770-775.
- Richards L A and Weaver LR (1944). Moisture retention by some irrigated soils as related to soil moisture tension, J. Agric. Res., 69, 215– 235.
- Romano N (1993). Use of an inverse method and geostatistics to estimate soil hydraulic conductivity for spatial variability analysis. Geoderma 60:169-186.
- Romano N and Santini A (2002). Field, in Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods, Soil Sci. Soc. Am. Book Ser., vol. 5, edited by J. H. Dane and G. C. Topp, pp. 721– 738, Soil Sci. Soc. of Am., Madison, Wis.
- Rose CW, Stern WR and Drummond JE (1968). Determination of hydraulic conductivity as a function of depth and water content for a soil situ. Austr. J. Soil Res. 3:1-9.
- Soil Quality Indicators (2008). USDA Natural Resources Conservation Service, June 2008.
- Soil Quality Resources Concerns (1998). Available Water Capacity. USDA Natural Resources Conservation Service, .
- Stephens DB (1994). A perspective on diffuse natural recharge mechanisms in area of low precipitation. Soil Sci.Soc. Am. J. 58:40-48.
- Twarakavi NKC, Sakai M and Simonek J (2009). An objective analysis of the dynamic nature of field capacity. Water Resources Research, Vol. 45, W10410, doi: 1029/2009WR007944, 2009.
- Veihmeyer FJ and Hendrickson AH (1931). The moisture equivalent as a measure of field capacity. Soil Sci., 32, 181-193.