

BITKİLERİN SU KULLANMA ETKİNLİĞİ

İbrahim DEMİRALAY (1)

ÖZET

Bitki su kullanma etkinliğinin önemi ve ifade edilmesinde kullanılan terim ve ölçülerdeki gelişmeler açıklanmıştır.

Arnon (1972) ve Begg ve Turner (1976) tarafından tanınlandığı anlamda bitki su kullanma etkinliğini etkileyen faktörler ve su kullanma etkinliğinin artırılma yolları üzerinde durulmuştur.

GİRİŞ :

Bitkilerin su kullanma etkinliği, geniş anlamda, üretilen beher birim bitkisel kuru madde için kullanılan su miktarını veya kullanılan beher birim suya karşılık üretilen kuru madde miktarını ifade etmektedir. -Ancak su kullanma etkinliği, benzer yetiştirme koşulları altında bitkiden bitkiye büyük ölçüde farklılık gösterdiği gibi, aynı bitki için de koşuldan koşula çok değişmektedir. Bir başka deyişle, su kullanma etkinliği, hiç olmazsa belli bir bitki için bile sabit olmayıp değişkenlik göstermektedir. Bununla beraber, bu durum, konunun pratik önemini veya konu üzerinde durulması gereğini gözlemlemektedir.

Bitkilerin su kullanma etkinliği, bitki yetiştirilmesi için ihtiyaç gösterilen su miktarını belirlemesi bakımından önemlidir. Onun için, ekseriya su ihtiyacı olarak isimlendirilmektedir. Su, dünyamızın büyük bir kısmında bitki yetiştirilmesini sınırlandıran en önemli bir faktör durumundadır. İlâveten, sürekli olarak artan dünya nüfusu ve yaşam standardı sebebiyle bir taraftan besin üretimine ve bir taraftan da her türlü kullanım alanında suya olan talep günden güne artmaktadır. Bu durum karşısında, kuru tarım bölgelerinde kıt olan yağış suyunun son damlasına kadar değerlendirilebilmesi ve sulu koşullarda ise kaynağı çok sınırlı olan sulama suyunun en etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bir başka deyişle, her alanda (domestik, endüstriyel, v.s.) su kullanma etkinliğinin artırılması önlemleri alınırken, bitkilerin su kullanma etkinliğinin de elden geldiğince artırılması

(1) Atatürk Üni. Ziraat Fak. Toprak Bölümü Doçenti.

gerekmektedir. Bu ise, belli yağış suyu veya sulama olanağı ile daha fazla ürün elde etmenin yollarını aramak anlamını taşımaktadır.

Gerçekte, son elli yıl içerisinde tarla bitkilerinin su kullanma etkinliğinde önemli ölçüde artış sağlanmıştır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletlerinde, su tüketiminde önemli bir artış olmaksızın, bazı tarla bitkilerinin (buğday, arpa, çeltik, pamuk ve soya fasulyası gibi) verimi iki katına ve diğer bazılarının (mısır, darı ve tütün gibi) verimi üç katına çıkarılmıştır (Begg ve Turner, 1976). Bu başarıya toprak işleme, su koruması, gübreleme, yabancı ot-hastalık-zararlılara karşı savaşım ve bitki ıslahında sağlanan gelişmeler sayesinde ulaşılmıştır. Genellikle, suyun dışındaki faktörlerin bitki gelişmesinde sebep olduğu sınırlandırmaların azaltılmasını sağlayan her kültürel işlem su kullanma etkinliğini arttıracaktır. Bundan başka, hangi bitki faktörlerinin etkilediğini iyi tesbit ederek bitki ıslahı çalışmalarına o yönde hız vermek gerekmektedir. Nitekim, bitki ıslahı çalışmaları sayesinde daha yüksek verimli ve hastalıklara karşı daha yüksek dirençli türler geliştirilerek su kullanma etkinliğinde artış sağlanmıştır.

Ancak literatür incelenirken bitki su kullanma etkinliğinin ifadesinde kullanılan terim ve ölçülerde bir kargaşa bulunduğu göze çarpmaktadır (örneğin; Kelley, 1954; Russell, 1959; Begg ve Turner, 1976). Suyun verim gücü, su ihtiyacı ve nihayet su kullanma etkinliği gibi isimler altında hep aynı şey ifade edilmiştir. Bundan başka, çeşitli ölçüler kullanılmıştır. İlk kullanılan ölçünün Briggs ve Shantz tarafından 1917'de ortaya atılmış olarak "terleme oranı" olduğu anlaşılmaktadır. Terleme oranı, bitki tarafından yetiştirme mevsimi boyunca topraktan alınan su miktarının elde edilen kuru madde ağırlığına oranı, bir başka deyişle, birim ağırlıkta kuru madde üretmek için bitkinin ihtiyaç gösterdiği su miktarıdır. Terleme oranı birimsiz bir değerdir. Düşük terleme oranı, suyun bitki tarafından daha etkili bir şekilde kullanıldığına işaret eder.

Daha sonra, özellikle tarımcılar tarafından bitki su ihtiyacı için evapotranspirasyonun bir ölçü olarak kullanılması gerçeğe daha uygun ve daha pratik bulunmuştur. Zira evapotranspirasyon, bizzat bitki tarafından topraktan alınarak organ inşası ve terlemede kullanılan miktara ilâveten toprak yüzeyinden veya bitki yüzeylerinden buharlaşma yolu ile kaybedilen su miktarını da kapsar. Tarla koşullarında sadece terleme yolu ile kaybedilen su miktarının tayini güçtür, fakat evapotranspirasyon miktarı çok daha kolaylıkla tesbit edilebilmektedir. Hattâ sulu tarım koşullarında, bitki su ihtiyacı, evapotranspirasyona ek olarak sulama kayıpları ile daha geniş kapsamlı düşünülmektedir. Bu, gerçeğe çok uygun olmaktadır. Ancak sulama kayıpları çok değişken olduğundan, genellikle su kullanma etkinliğinin hesaplanmasında esas alınmamaktadırlar.

Son yıllarda (Arnon, 1972; Begg ve Turner, 1976), su kullanma etkinliği için daha kullanışlı bir tanımlama kullanılmıştır. Arnon (1972), su kullanma etkinliğini

evapotranspirasyonda kullanılan her birim suya karşılık elde edilen pazarlanabilir ürün miktarı olarak tanımlanmış ve aşağıdaki formül ile ifade etmiştir:

$$SKE = \frac{P\dot{U}}{ET}$$

Burada; SKE= su kullanma etkinliği, P \dot{U} = pazarlanabilir ürün ve ET= evapotranspirasyon'dur.

Begg ve Turner (1976) ise, su kullanma etkinliği için aşağıdaki genel formülü vermişlerdir:

$$SKE = \frac{\dot{U}}{ET}$$

Burada; \dot{U} = üretilen kuru ağırlıktır. Su kullanma etkinliği; her bir acre-inch evapotranspirasyona karşılık üretilen veya pazarlanan (kg. veya ton olarak) kuru ağırlık veya her bir kg. kullanılan suya karşılık kg. kuru ağırlık gibi çeşitli birimlerle veya her bir kg. evapotranspirasyona karşılık üretilen kuru ağırlık (kg.) gibi birimsiz olarak ifade edilebilmektedir.

Su kullanma etkinliği birimsiz biçimde ifade edildiğinde, eski terim terleme oranının tersine benzemektedir. Ancak SKE, bitkiler tarafından terlenen suya ilâveten toprak yüzeyinden buharlaşan suyu da kapsamaktadır. Terleme oranı azalırken SKE arttığına göre, terleme oranı ile ifade edilmesi şaşırtıcı olabilmektedir. Böyle bir nedenle, yukarıdaki formüllerde ifade edilen tanımla su kullanma etkinliği daha kullanışlı olmaktadır. Böylece, su kullanma etkinliğinin ölçüm değeri ile kavramdaki değişmelerin aynı yönde olması sağlanmış olmaktadır, Bundan başka, geçmişteki çalışmalarda terleme oranı olarak bildirilen değerlerin gerçekten terlemeyi mi yoksa evapotranspirasyonu mu esas aldığı daima açık değildir. Bu ise, şaşırtıcı olabilmektedir.

Su kullanma etkinliğinin yukarıdaki formüllerde verildiği şekilde tanımlanmasının bir pratik yararı da tartışma kolaylığı sağlamasıdır. Şayet, üretilen ürün evapotranspirasyona orantılı olsaydı, su kullanma etkinliği bir sabite olacaktı. Gerçekte, üretilen ürün daha çok bitki yönetimi tarafından etkilenebilir olduğu halde, evapotranspirasyon esasen iklim ve toprak nem özellikleri tarafından belirlenmektedir. Burada, genel bir kaide olarak, evapotranspirasyonda mukabil bir artışa sebep olunmaksızın, geliştirilen bitki yönetimi uygulamaları ile üründe önemli miktarlarda artış sağlanabileceği ve sonuçta su kullanma etkinliğinin artırılabilceği söylenebilir.

Aşağıda, Arnon (1972) ve Begg ve Turner (1976) tarafından tanımlandığı anlamda bitkinin su kullanma etkinliğini etkileyen başlıca faktörler ve su kullanma etkinliğinin artırılmasına hizmet edecek başlıca yollar üzerinde durulacaktır.

SU KULLANMA ETKİNLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

1. Bitkinin Tabiatı

Farklı bitki türlerinin beher birim kuru madde üretmek için kullandıkları su miktarları arasında önemli farklar vardır. Eğer benzer koşullarda yem olarak yetiştirilen yonca ve mısır gibi iki ürün bitkisi karşılaştırılırsa, yonca 1 kg. kuru madde üretimi için mısırın kullandığının 4-6 katı kadar suya ihtiyaç gösterir (Arnon, 1972). Su kullanma etkinliği bakımından aynı bitkinin farklı tipleri arasında da önemli farklılıklar olabilir.

Su kullanma etkinliği en yüksek bitkiler arasında mısır, darı ve hayvan pancarı vardır. Arpa, yulaf, buğday ve böğrülce orta etkinliğe sahiptirler. Yoncanın su kullanma etkinliği düşüktür (Arnon, 1972).

Bu konuda son yıllardaki ilginç araştırma bulguları Begg ve Turner (1976) tarafından özetlenmiş olarak aktarılmaktadır: Bitkiler, fotosentezin ilk karboksilasyon ürünü molekülündeki karbon atomlarının sayısına göre, üç karbonlu (C_3) ve dört karbonlu (C_4) türler olmak üzere iki ana gruba ayrılmışlardır. C_4 türlerinin su kullanma etkinliğinin genellikle C_3 türlerinininkinin yaklaşık iki katı olduğu tesbit edilmiştir. C_3 ve C_4 türleri arasındaki bu farkın, 20-35 C° aralığında sıcaklık ile arttığı bulunmuş ve bu etki C_4 çayır otları ile C_3 baklagiller karşılaştırıldığında gözlenmiştir.

C_4 türlerinin daha yüksek su kullanma etkinliğine sebep olan faktörler, genellikle daha yüksek fotosentez ve büyüme hızlarına-özellikle yüksek ışık ve sıcaklık altında -ve daha yüksek stomatal dirence - ki bu, fotosenteze nazaran terlemede nisbeten daha fazla bir azalma ile sonuçlanır-sahip olmalarıdır. Buradan, oldukça değişik çevresel koşullar altında C_4 türlerinin su kullanma etkinliği itibariyle C_3 türlerine üstünlük gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Bu fark, yüksek ışık ve sıcaklık koşullarında fotosentez hızlarındaki artışın bir sonucu olarak ve düşük ışık koşulları altında ise terleme hızlarındaki azalmanın bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Bu tesbitlerden, yüksek enerji bölgelerin de veya mevsimlerinde C_4 bitkilerini ve mutedil nemli bölgelerde veya mevsimlerde ise C_3 bitkilerini yetiştirmek suretiyle su kullanma etkinliğini yüksek tutmanın mümkün olabileceği anlaşılmaktadır.

2. Toprak Faktörleri

Toprak Nem Miktarı

Toprak suyunun yetersiz veya fazla oluşu bitki büyümesi ve ürün verimini olumsuz yönde etkilemekte ve su kullanma etkinliğinde azalmaya sebep olmaktadır. Her bir bitki ve çevresel koşullar kombinasyonu için, toprak nemi daha az veya daha yüksek olduğundakine nazaran SKE'nin daha yüksek olacağı dar bir

toprak nem miktarı aralığı vardır. Ancak toprak neminin etkisi büyük ölçüde toprağın verimlilik durumu ile ilişkilidir.

Genellikle, uygulanabildiği ölçüde toprak nem miktarı tarla kapasitesi civarında tutulduğunda, çoğu bitkilerin ürünleri artmaktadır. Bununla beraber, su kullanma etkinliğinin genellikle bir miktar daha düşük toprak nemi koşullarında artış gösterdiği tesbit edilmiştir.

Ancak bitki büyüme devrelerinin hepsinde toprak nem miktarının yüksek tutulması daima yüksek ürün vermeyebilir. Bitkiye göre değişen devrelerde bitkileri su gerilimine maruz bırakmakla ürün verimi ve kalitesinde artış sağlanabilir. Örneğin; pamuk, fasulya, domates ve yoncada çiçeklenme sırasında ve hemen sonra bol su temini meyva teşkilinde azalmaya sebep olabilmektedir. Şeker kamışında ise, hasattan önce su noksanlığının arzu edilmeyen çiçeklenmeyi önlediği ve çözünür karbonhidrat miktarında artışa sebep olduğu tesbit edilmiştir.

Toprak Verimliliği

Toprak verimliliği, su kullanma etkinliğini önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Toprağın verimlilik düzeyi arttıkça toprak suyundaki besin maddelerinin yoğunluğu artacağından, belli bir miktar ürün teşkili için daha az su yeterli olacaktır. Gerçekte, toprağın verimlilik düzeyi arttıkça, bitkilerin terleme hızı da azalmaktadır.

Çok sayıda araştırma sonuçlarına bir örnek olarak, Shimshi (Arnon, 1972), beş seviyede nitrojen uygulanan bir toprağın nem rejimi ile yetiştirilen bitkinin su kullanma etkinliği arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, toprak verimliliği sınırlayıcı olmadığı zaman bitkiye su temini arttıkça SKE artmıştır. Buna karşılık, düşük düzeylerde gübre uygulandığında, su temini arttıkça SKE azalmıştır.

3. İklim Faktörleri

İklim koşulları, SKE formülündeki ürün ve evapotranspirasyonun her ikisini de etkilemektedir. En önemli iklim faktörü solar radyasyon miktarı olmaktadır. Solar radyasyon miktarı, fotosentez hızını ve dolayısıyla potansiyel ürünü etkiler. Buna karşılık, sıcaklık, gün uzunluğu, yağış, rüzgâr, v.s. gibi diğer iklim unsurları ise hayatsal fizyolojik olayları etkileyerek gerçek ürünleri belirler. Evapotranspirasyon ise bu fizyolojik olaylardan daha fazla etkilenir.

Bir örnek olarak, solar radyasyon şiddeti arttıkça şeker pancarı gibi bazı bitkilerde terleme orantılı olarak artarken fotosentez daha düşük bir nisbette artar. Onun için, belli çeşitli bitkiler bulutlu, nemli bir iklimde güneşli, kurak bir iklime nazaran terlenen her birim suya karşılık daha fazla kuru madde üretirler.

Hava nisbi nemi azaldıkça evapotranspirasyon artmaktadır. Kuzey Amerika'nın Büyük Ovalarında çeşitli mahallerde yoncanın SKE' karşılaştırıldığında, SKE ile buharlaşma nisbetleri arasında hemen hemen sabit bir ters ilişki bulunduğu tesbit edilmiştir. Ortalama günlük buharlaşma nisbetinin 3,98 mm. olduğu Kuzey Dakota'da SKE, günlük buharlaşmanın 7.65 mm. olduğu Texas'takinden hemen hemen bir kat daha fazla olmuştur.

Hava sıcaklığı da SKE'ni etkiler. Buğday ve yulaf gibi serin iklim bitkileri için sıcaklık arttıkça SKE azalır. Buna karşılık, mısır ve darı gibi sıcak iklim bitkileri için ise, belli sınırlar içinde bunun tersi doğrudur.

Özet olarak, hava nisbi nemi azalırken kuru madde üretiminde mukabil bir artış olmaksızın terleme artar ve sonuçta SKE azalır. Normal olarak, terleme ve kuru madde üretiminin her ikisini birden etkileyen ışık ve sıcaklık gibi faktörler, iki etkiden egemen olana göre, SKE'ni arttıracak veya azaltacaktır.

SU KULLANMA ETKİNLİĞİNİ ARTTIRMA YOLLARI

Su kullanma etkinliğini artırma yolları; bitki yönetiminde değişiklikler (bitki seçimi, bitki ıslahı gibi) yapmak, toprakta su korunması önlemleri (toprak işleme, malçlama, drenaj, yabancı ot kontrolü, yüzey toprağı agregasyonunun geliştirilmesi ve hidrofobik yapılması gibi) almak, toprak verimliliğini arttırmak, terlemeyi azaltıcı önlemler almak ve çevre kontrolü önlemleri almak olarak sıralanabilir.

1. Bitki Yönetimi

Bitkinin su kullanımını büyük ölçüde solar radyasyon şiddeti belirlediğine göre, uygun sınırlar içerisinde, bir bitkiyi daha serin bir bölgede veya büyüme mevsiminin daha serin (veya daha yağışlı) bir devresinde yetiştirmek suretiyle su kullanma etkinliği artırılabilir.

Yüksek verimli, kısa-mevsimlik erken olgunlaşan veya yılın daha serin devresinde başarılı bitki çeşitleri geliştirmek suretiyle de su kullanma etkinliği artırılabilir. Örneğin, yüksek verimli melez mısır ile SKE orijinal mısırdakinden yaklaşık % 20 kadar daha fazla olmuştur. Yüksek verimli melez çeşitler geliştirilerek SKE'nde artışlar; hububatlarda, pamukta, soya fasulyasında, v.s. gibi çeşitli bitkilerde sağlanmıştır. Tohum ekiminden 150-180 gün sonra olgunlaşan ve geleneksel aralık-mesafe ile ekilen eski pamuk çeşitlerine nazaran 120-130 günde olgunlaşan ve daha kısa aralık-mesafe ile (veya daha yoğun olarak) yetiştirilen yeni çeşitler ile ürün veriminde en azından eşitlik ve bazı hallerde % 5-15 kadar artışlar sağlanmıştır. Kuzey Amerika'da daha düşük sıcaklıklarda çimlenen mısır çeşidinin geliştirilmesi ile eski çeşide nazaran su kullanma etkinliği artırılmıştır.

2. Su Korunması

Toprağa su infiltrasyonunu arttırmak ve topraktan buharlaşma kayıplarını azaltmak amacıyla yönelik kültürel önlemlerin hepsi, bitkinin bizzat kullanılmasına daha fazla su sağladığından, sağlanan fazla suyun etkin bir şekilde kullanılması şartıyla, SKE'ni arttıracaktır. Bu önlemler; toprak işleme, malçlama, drenaj, kontur sürüm ve ekim, teraslama, yüzey toprağının agregasyonunu geliştirmek ve hidrofobik yapmak, yabancı ot kontrolü, v.s. olmaktadır. Ancak bu önlemlerin tarla kültürü koşullarına (kuru, sulu veya nemli) uygun olması gerekir.

3. Toprak Verimliliğini Arttırmak

Daha önce de görüldüğü gibi, toprağın ihtiyaç gösterdiği cins ve miktarda gübrelenmesi ile SKE arttırılacaktır.

4. Terlemeyi Azaltmak

Terlemeyi azaltmak için yapraklara (1) fotosentezde azalmaya sebep olmaksızın stomatların açılmasını azaltacak kimyasal maddeler, (2) stomatları tamamen veya kısmen kapatarak su geçişine karşı CO₂ ve O₂ geçişinden daha fazla direnç gösterecek film oluşturan polimer maddeler veya (3) yaprak yüzeyinin solar radyasyonu yansıtma gücünü arttıracak maddeler püskürtmek yolları üzerinde durulmuştur.

Yaygın olarak bitkilere uygulanan herbisidler, fenilmerkürik asetat (FMA) gibi mantar ilaçları ve büyüme hormonları gibi püskürtme maddeleri stomatların açılmasını azaltarak terlemeyi azaltmaktadırlar. Bunların içinde en etkin olarak FMA bulunmakta, fakat etkisi kısa süreli ve bitki büyümesinde gerilemeye sebep olmaktadır. Bu amaç için kullanılacak olan maddede toksik tesir göstermemesi ve uzun süre etkili olması aranmaktadır.

Stomatları tamamen veya kısmen kapatıp fiziksel bir engel teşkil etmek suretiyle terlemeyi azaltan bir film oluşturan polimer maddeler, yaprak su potansiyelini arttırmakta ve hemen filmin altında daha geniş bir stomat açıklığı ile sonuçlanmaktadır. Fotosentez de azaltılmaktadır. Bu amaçla kullanılacak maddede seçici gaz geçirgenliğine (su geçişini güçleştirirken CO₂ ve O₂ geçişini güçleştirmemesi) sahip olmaktan başka, ucuz olma, kolay uygulanma, toksik olmama, yaprak yüzeyinde devamlı bir film teşkil edebilme, uzun ömürlü olma ve elastikliği kaybetmeme gibi özellikler aranmaktadır.

Yukarıdaki terlemeyi azaltıcı maddelerin kullanılmasında önemli bir husus, terlemenin azalması sebebiyle yaprak sıcaklığının kritik seviyelere yükselmesine sebep olunabileceğidir. Ancak tarla koşullarında terlemenin yaprak sıcaklığını % 5'den daha fazla azaltmadığı tahmin edilmiştir ki, çoğu koşullarda bu miktarda yüksek sıcaklık kritik olmayacaktır. En etkin terleme azaltıcı maddeler terlemeyi % 30-40 nisbetinde azaltmaktadırlar.

Yaprığın yansıtma gücünü arttıran maddelerin yaprağa püskürtülmesi ile yaprığın absorbe ettiği solar radyasyon miktarının ve dolayısıyla yaprak sıcaklığının azaltılarak terlemenin azaltılması umulmaktadır. 400 nm.nın ($1 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ mm}$) altındaki ve 700 nm. nin üstündeki radyasyonu seçici bir şekilde yansıtan pigmentlerin geliştirilmesi ile fotosentezi etkilemeksizin terlemenin azaltılmasının mümkün olması gerekir. Ön çalışmalar bu yöntemin başarılı olabileceğini göstermektedir.

5. Çevre Kontrolü

Rüzgâr kıranlar tesis etmek veya bitki ile temastaki havanın CO_2 konsantrasyonunu arttırmak suretiyle bitki çevresinin (veya ikliminin) değiştirilmesi ve terlemenin azaltılması mümkündür.

Rüzgâr kıranlar, rüzgâr hızını düşürerek yapraklara gelen adveksiyon enerjisi miktarını azaltır ve yapraklar yakınındaki havanın su buharı miktarını artırır. Böylece, terleme azaltılır ve belki fotosentez stomatal iletimdeki bir artıştan yararlı çıkabilir. Perdelemede kullanılacak bitki çeşidinin seçimi elverişli su miktarına bağlıdır. Kuru tarım koşullarında minimum bitkisel büyüme gösteren ve kritik döneme kadar su saklanmasına imkân veren çeşitler uygundur. Büyüme mevsimi boyunca yeterli miktarda su bulunan koşullarda, soya fasulyası için bir rüzgâr kıran olarak mısır kullanıldığında üründe % 10-30 kadar artış sağlanmıştır.

Yüksek CO_2 konsantrasyonları fotosentezi artırırken stomatal iletimi azaltarak terlemeyi azaltır. Mısır bitkilerinin çevresindeki CO_2 konsantrasyonu % 0,0310'dan % 0,0575'e arttırıldığında, terleme % 23 azalmış ve net fotosentez % 30 artmıştır. Ancak çoğu doğal tarla ürünü koşullarında CO_2 konsantrasyonunun yüksek tutulması güç ise de, sera koşullarında su kullanma etkinliğini arttırmak için uygulanabilir bir yöntemdir.

KAYNAKLAR

- Arnon, I. 1972. Crop Production in Dry Regions. Volume 1. Leonard Hill, London.
- Begg, J.E., and N.C. Turner, 1976. Crop water deficits. Advan. Agron. 28: 161-217.
- Kelley, O.J. 1954. Requirement and availability of soil water. Advan. Agron. 6: 67-94.
- Russell, M.B. 1959. Water and its relation to soils and crops. Advan. Agron. 11: 1-131.