

## BİTKİ SU-VERİM(ÜRETİM) FONKSİYONLARI

Ruhi BAŞTUĞ\*

### ÖZET

Etkin ve yüksek verimli bitkisel üretim için önemli bir girdi olan suyun en iyi biçimde kullanılması gerekir. Bu ise, farklı yetiştirme koşullarında yağış ve sulama yoluyla sağlanan suyun bitki gelişimi ve verimi üzerindeki etkilerinin anlaşılmasıyla mümkündür.

Günümüzde su ekonomistleri ve mühendisler, sulanan başlıca bitkilerin eksik(kısıntılı) sulama koşullarındaki verimlerini ve sağlayacakları gelirleri kestirebilen su-verim(üretim) fonksiyonlarına gereksinim duymaktadırlar.

Verim ve su kullanımı arasındaki ilişki; sulamanın ekonomik değerinin belirlenmesi, farklı sulama rejimlerinin değerlendirilmesi ve optimum sulama düzeylerinin saptanması açısından oldukça önemlidir.

Bu makalede, bitki su-verim fonksiyonu kavramının açıklanması, günümüze değin geliştirilen bazı su-verim fonksiyonlarının gözden geçirilmesi ve kullanılan yaklaşımların özetlenmesi amaçlanmıştır.

### GİRİŞ

Günümüzde su, dünyanın pek çok yöresinde besin maddesi üretimini artırmada en önemli kısıtlayıcı etmen olma özelliğini sürdürmektedir. Bitkisel üretimin tümüyle yağışlara bağımlı olduğu bölgelerde kısa süreli bir kuraklık bile üretimi önemli ölçüde düşürebilmekte ve kitlesel açlığa neden olabilmektedir. Nüfusun artması ve yaşam düzeyinin yükselmesi, potansiyel su kaynaklarının giderek azalmasıyla çeliştiğinden ve su depolama, saptırma projelerine ilişkin çevresel kaygılar çoğaldığından güçlü tahmin yeteneğine olan gereksinim giderek artmaktadır (Stewart ve Hagan, 1973). Anılan durum birçok bilimsel çalışmanın suyun bitkisel verime etkileri üzerinde yoğunlaşmasına neden olmuştur. Bu çalışmaların ilgi odağı, özellikle su eksikliği söz konusu olduğunda sağlanan suyun en ekonomik nasıl dağıtılacağı konusudur. Böylesi bir planlamada, değişen su kullanım düzeylerinde çeşitli bitkilerden beklenen verimle ilgili güvenilir ilişkilere diğer bir deyişle su-verim(üretim) fonksiyonlarına gereksinim duyulur.

---

\*Yrd.Doç.Dr., Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi,  
Kültürteknik Bölümü

Planlayıcılar, su-verim fonksiyonlarından yararlanarak su dağıtımına ilişkin seçeneysel kararların ekonomik sonuçlarını kestirebilirler. Ayrıca su-verim fonksiyonları sulama sistemlerinin kapasiteleri, sulama programlaması ve sulama etkinliğinin değerlendirilmesi konularında da planlayıcılara ışık tutarlar (Sammis, 1981).

Bu makalede, bitki su-verim fonksiyonu kavramının açıklanması, bitki su ilişkilerine yönelik çalışmaların ve geliştirilen bazı su-verim fonksiyonlarının gözden geçirilmesi, kullanılan yaklaşımların özetlenmesi amaçlanmıştır.

### SU-VERİM İLİŞKİLERİNİN EKONOMİK YÖNÜ

Bitki verimi ve su arasındaki ilişkiyi aydınlatmayı amaçlayan çalışmalarda, istenen su kullanım düzeyini oluşturan unsurlar konusunda değişik görüşler ileri sürülmüştür. Bu konuda üç genel yaklaşım söz konusudur (Vaux ve Pruitt, 1983):(1) Agronomistler çoğunlukla birim alandan maksimum verimi elde etme amacına yönelmişlerdir. (2) Seçeneysel bir amaç maksimum su kullanım randımanına ulaşmak, diğer bir deyişle birim su girdisinden elde edilen verimi maksimize etmektir. (3) Suyun etkin kullanımını tartışan ekonomistlerce ortaya konan diğer bir amaç, uygulanan son birim suyun fiyatının uygulama sonucunda elde edilecek gelire eşit olduğu noktaya dek suyun uygulanmasıdır. Bu amaç sulanabilir nitelikli alanın, eldeki su ile sulanabilecek alandan fazla olduğu durumlar için uygundur. Hexem ve Heady (1978), marjinal ürün değeri suyun fiyatına eşit olduğu zaman suyun randımanlı uygulandığını göstermişlerdir. Gözönüne alınan ekonomik düşünceler (örneğin; su, enerji, makina, işgücü v.b. girdilerin oransal maliyetlerine karşılık elde edilebilir gelir) her durum için özel olduğundan suyun optimal dağıtımını sorununun universal bir çözümü yoktur (Hillel, 1987). Genellikle birbirine aykırı olan bu çeşit amaçları gerçekleştirmede basit üretim modellerinden yararlanılmaktadır.

### BİTKİ SU-VERİM FONKSİYONU KAVRAMI

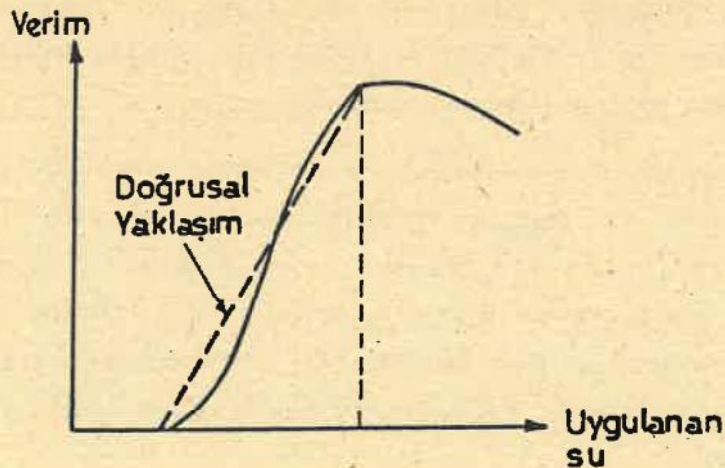
Diğer tüm değişkenlerin sabit tutulması koşuluyla, bitki verimi (Y) ve su kullanımı (X) arasındaki fonksiyonel ilişki olarak tanımlanan su-verim fonksiyonları, genellikle suyun (veya suya ilişkin diğer bir girdi parametrenin) değişken olduğu tarla denemelerinin regresyon analizleri sonucunda elde edilirler. Çoğu bitkiler için, bitkinin su stresinden etkilendiği büyüme dönemi ve farklı büyüme dönemlerinde uygulanan

su streslerinin birbirlerine bağımlılığı anılan ilişkinin belirlenmesinde etkili olan en önemli iki durumdur. Ayrıca, su verim fonksiyonunun ekonomik değerlendirmeye olanak vermesi, bunun yanında bitki-su ilişkisinin fizyolojisi, su eksikliğinin ürün kalitesine etkisi, yöreye ilişkin özelliklerden etkilenme v.b. konularda da değerlendirmelere olanak vermesi istenir (Vaux ve Pruitt, 1983).

Su-verim fonksiyonunda su kullanımı (X); sulama suyu derinliği (IRR), tarlaya sağlanan toplam su (etkili yağış + IRR + toprakta depolanan su) ya da gerçek evapotranspirasyon ( $ET_a$ ) olarak hesaplanan bitki su tüketimi biçiminde ifade edilebilir (Rao ve ark., 1988). Stewart ve Hagan (1969), su uygulama randımanındaki farklılıklar nedeniyle su kullanımı olarak "uygulanan toplam su" yerine evapotranspirasyonun kullanılmasını önermişlerdir. Öte yandan verim (Y) bitkiye, bitkinin ekim ve pazarlama durumuna bağlı olarak farklı biçimde tanımlanabilmektedir. Bu duruma örnek olarak yeşil bitki, kuru ot ya da tohum için yetiştirilen yonca bitkisi verilebilir.

#### SU-VERİM İLİŞKİSİNİ ETKİLEYEN ETMENLER

Birçok çalışma su-verim ilişkisinin doğrusal olabileceği gibi eğrisel içbükey veya dışbükey) de olabileceğini göstermiştir (Şekil 1). Bu farklılıkların nedeni seçilen parametrenin özelliği, ölçüm veya tahminin doğruluk düzeyi, yer ve üretim koşullarına ilişkin değişik etmenlerin varlığı olabilmektedir. Anılan etmenlere bağlı olarak aynı denemenin farklı yılları bile değişik verim fonksiyonları ile sonuçlanabilmektedir (Stegman ve ark., 1981).



Şekil 1. Su-verim ilişkisinin tipik şekilleri (Hillel, 1987).

Bitkinin tüm evapotranspirasyon (ET) gereksinmesinin sulama ile karşılanması durumunda orijinden başlayan verim fonksiyonları söz konusu olmakta ve bu çeşit fonksiyonlar ET'nin potansiyel sınırları içerisinde su kullanım randımanının sabit kaldığı varsayımına dayanmaktadır. Anılan fonksiyonlar, su kullanım randımanı birim alandan maksimum ürün alınmaya dek artış gösterdiğinden, dışbükey fonksiyonlar gibi yorumlanmaktadır. Öte yandan; toprakta depolanan nem ve mevsim içindeki toplam yağışın bitkide verim oluşumu başlayana dek bitki su gereksinimini karşılamaya yeterli olduğu durumlarda, elde edilen fonksiyonlar orijinden başlamamakta ancak orijinden başlayan doğrusal fonksiyonlar gibi yorumlanabilmektedirler (Stewart ve Hagan, 1969).

Verim fonksiyonunun içbükey şekilde olduğu, diğer bir deyişle su kullanım randımanının, birim alandan verim maksimum oluncaya dek arttığı durumda; toplam üretimi maksimum kılmak için suyu en az alana dağıtmak gerekir. Böyle fonksiyonlar planlama ve su dağıtımı açısından çok az esneklik gösterirler. Eğimin başlangıçta fazla olduğu giderek yatıklaştığı dışbükey üretim fonksiyonları ise analizler için ilginç durumları temsil etmekte ve su dağıtımına karar verme işlemlerinde anlamlı ipuçları vermektedirler (Stewart ve Hagan, 1969).

Musick ve Dusek (1971), verimin düşük olduğu durumlarda verim fonksiyonlarının doğrusal ilişkilerle açıklanabileceğini; ancak, verimin yüksek olduğu durumlarda sulama işletmeciliği doğru yapıldığında verim ve mevsimlik su kullanımının eğrisel olarak azalan gelir ilişkisi gösterdiğini saptamışlardır. James ve ark. (1982) ise mısırdaki dane verimi ile uygulanan su arasındaki ilişkinin kuru madde verimleri ile olan ilişkiden daha eğrisel olduğunu belirtmişlerdir.

Stegman ve ark. (1981)'na göre verim fonksiyonlarındaki eğrisellik, genellikle ilk gelişme dönemlerinde su eksikliği olan konularda ortaya çıkar. Ayrıca söz konusu durum, yüksek ET düzeylerinde daha belirgindir. Buna, derine sızma kayıplarının ET içerisinde yorumlanması neden gösterilebilir. Kök bölgesindeki havalanmanın yetersizliği, bitki yatması ve hastalıklar doğrusallığın bozulmasına neden olabilecek diğer etmenlerdir.

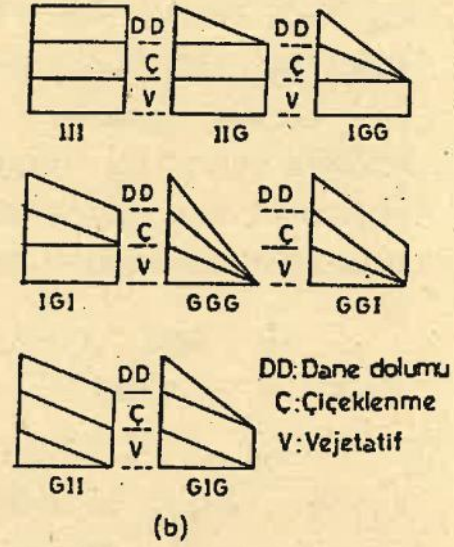
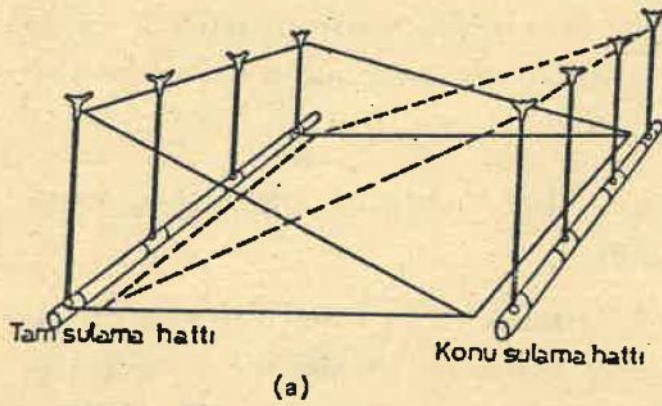
Doğrusal verim fonksiyonları çoğunlukla bitki su tüketimi eksikliğinin birkaç büyüme dönemi içerisinde dağılması ya da sulama rejim-

lerinin önceden saptanan kök bölgesi toprak suyu tüketim düzeyini sağlaması sonucu ortaya çıkarlar (Stegman ve ark., 1981). Barrett ve Skogerboe (1980), doğrusal verim fonksiyonlarının ideali; eğrisel ilişkiler ise idealden sapmaları temsil ettiğini ileri sürmüşlerdir. Anılan araştırmacılara göre; tarla koşullarında elde edilen verim fonksiyonu, ideale yaklaştığı oranda sulama işletmeciliğine ve sulama sisteminin performansının değerlendirilmesine olanak verir.

#### SU-VERİM FONKSİYONLARINA İLİŞKİN ÇALIŞMALARDA UYGULANAN DENEME PLANLARI

Son yıllarda, sulama programlaması ya da zamanlamasının daneli bitkilerin verimlerine etkileri genel olarak iki tür deneme planına göre araştırılmıştır. İki düzenlemede de büyüme mevsimi vejetatif, çiçeklenme, tozlanma ve dane dolumu dönemlerine ayrılmıştır. Birinci deneme planında (Stewart ve ark., 1973) sulamalar, tümüyle veya belirli düzeylerde kısıtlanarak çeşitli büyüme devrelerinde stres oluşturmak (bu devreler "O" ile gösterilir) üzere düzenlenir. Sulamalar, stres devresinden önce ve sonra strese neden olmayacak veya düşük düzeylerde strese ("I" ile gösterilir) neden olacak biçimde sürdürülebilir. Böylece, örneğin; üç gelişme devresinde de bitkide stres oluşturulmayan III, ikinci gelişme devresinde stres oluşturulan IOI v.b. konular ortaya çıkmaktadır.

İkinci tür deneme planında (Hanks ve ark., 1976) tek bir yağmurlama laterali kullanılarak; laterale dik, üçgen bir su dağılım deseni elde edilmektedir. Sık yapılan sulamalarla lateralin yakınlarında stressiz veya az stresli durum sürdürülür. Böylece her sulama; bitki su tüketiminin, lateral üzerinde % 100'ünü, lateralden yağmurlama ıslatma deseninin uçlarına doğru uzaklaştıkça belirli oranlarda değişen bir bölümünü karşılayabilmektedir. Uygun aralıklarla yerleştirilecek iki lateral hattı (Maurer ve ark., 1979) her iki deneme planının bir arada yürütülmesine olanak sağlar (Şekil 2-a). Bu durumda birinci lateral (tam sulama) hattı, hemen lateral hattına bitişik sıralardaki ET gereksiniminin tamamını gidermek üzere çalıştırılır. İkinci lateral (konu) hattı çalıştırılmadığında parsel eni doğrultusunda sulama gradienti ("G" ile gösterilir) yaratılmaktadır. Her iki lateral birlikte çalıştırıldığında ise parsel yeknesak ("I" ile gösterilir) sulanmaktadır. Su uygulaması laterale olan uzaklığın artmasıyla doğrusal biçimde azalmaktadır. Bu durumda, değişik gelişme dönemlerine göre olası konu desenleri Şekil 2-b'de gösterilmiştir.



Şekil 2. a) "Tam" ve "konu" sulama hatları ve bireysel hatların çalıştırılmasından elde edilen su uygulama desenleri (Toplam su uygulaması, bireysel desenlerden elde edilenlerin toplamıdır).

b) Üç gelişme devresi söz konusu iken deneme konuları (Maurer ve ark.,1979).

## SU-VERİM FONKSİYONLARININ GÖZDEN GEÇİRİLMESİ

### Agronomik ve Fizyolojik Verim Fonksiyonları

Su-verim ilişkileri üzerindeki agronomik ve fizyolojik çalışmalar; İlk çalışmalar, fizyolojik yaklaşımlar, yarı ampirik yaklaşımlar olmak üzere gruplandırılabilir (Vaux ve Pruitt, 1983).

#### İlk Çalışmalar:

Yirminci yüzyılın başlangıcından bu yana bitkilerde verim ve su kullanımı arasındaki ilişkiler üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda daha çok tarla kapasitesi ve devamlı solma noktaları arasındaki nemin kullanılabilirlik düzeyleri tartışılmıştır.

Vaux ve Pruitt (1983)'in bildirdiğine göre ilk çalışmalara dayanarak De Wit (1958) kurak ve yarıkurak bölgeler için kuru madde verimi (Y) ve transpirasyon (T) arasında aşağıdaki ilişkiyi belirlemiştir:-

$$Y = m (T/E_0) \quad (1)$$

Burada m, bitki türü ve çeşidine bağlı bir katsayı;  $E_0$  ise açık su yüzeyinden olan buharlaşmayı göstermektedir. Anılan araştırmacı nemli bölgeler için;

$$Y = nT$$

(2)

ilişkisini önermiştir. Burada ise n, birim suyun birim alandan oluşturduğu kuru maddeyi gösteren bir katsayı olup bitkiye göre değişmektedir (Hanks, 1983).

İlk çalışmaların asıl amacı, maksimum verime ulaşmak için gerekli minimum toprak suyu içeriği veya potansiyelini belirlemek olmuştur. Anılan çalışmalar, su-verim modelleri geliştiren sonraki araştırmacılar için gerekli ön bilgileri sağlamışlardır.

#### Fizyolojik Yaklaşımlar:

Bitkilerin gösterdikleri tepkiler, herbiri su eksikliğinden farklı biçimlerde etkilenebilen birçok fizyolojik sürecin karmaşık ilişkilerinin sonucudur. Anılan süreçlere ilişkin literatür birçok belirsizlik ve çelişkiyi içermektedir. Bu konuda Hsiao ve ark. tarafından yapılan birçok çalışma söz konusudur (Hsiao, 1973; Hsiao ve Acevedo, 1974; Hsiao ve Jing, 1987).

Hsiao (1973), su eksikliğinin büyüme, fotosentez ve kritik önemi olan tozlanma ve meyve bağlama olayı üzerindeki etkilerini belirlemiştir. Su eksikliği ile büyüme ve verim parametreleri arasındaki ilişkilerin karmaşıklığını vurgulayan araştırmacı anılan etkileri Çizelge 1'deki biçimde özetlemiştir.

Çizelge 1. Bazı Önemli Bitkisel Süreçlerin veya Parametrelerin Su Stresine Karşı Duyarlılıklarının Genelleştirilmesi (Hsiao, 1973'den)<sup>(a)</sup>

Etkilenen Süreç veya Parametre	Strese Duyarlılık →			Düşünceler
	Çok Duyarlı	Az Duyarlı		
	Süreci etkilemek için gerekli doku suyu potansiyeli azalması <sup>(b)</sup>			
	0 Bar	10 Bar	20 Bar	
Hücre büyümesi	-----			Hızlı büyüyen doku
H. duvarı sentezi	-----			Hızlı büyüyen doku
Protein sentezi	-----			Ağarmış yapraklar
Protoklorofil oluşumu	-----			Bitki çeşidine bağlı
Stoma açılması	-----			Bitki çeşidine bağlı
CO <sub>2</sub> özümlemesi	-----			
Solunum	-----			
Şeker birikimi	-----			

(a) Yatay çizgilerin uzunluğu, sürecin ilk etkilendiği durumda stres düzeylerinin sınırlarını göstermektedir. Kesik çizgiler daha yüzeysel verilere dayanan sonuçları göstermektedir.

(b) Hafif buharlaşma gereksinimi koşullarında yeterli sulanan bitkilerin doku suyu potansiyeli kıyas noktası olarak alınmıştır.

Bitkinin çevreye karşı tepkisinin kimyası ve fizigi üzerinde yoğunlaşan fizyolojik yaklaşım, bitki su-verim fonksiyonlarının bir yerden diğer bir yere genelleştirilerek yayılması sorununun çözümü için ümit verici görülmektedir (Vaux ve Pruitt, 1983).

#### Yarıampirik Yaklaşımlar:

Genellikle bitki veriminin; toprak nem içeriği veya nem tansiyonu, transpirasyon veya evapotranspirasyon ya da uygulanan sulama suyu miktarlarından biri ile ilişkilendirildiği yaklaşımlardır.

#### Evapotranspirasyonun Fonksiyonu Olarak Bitki Verimi

Evapotranspirasyon (ET), toprak-bitki sistemi tarafından tüketilen suyun bir ölçüsü olup toprakta depolanan nemden olan bitki transpirasyonunu ve toprak yüzeyinden olan buharlaşmayı içerir. Gerçek ET, maksimum ET'den küçük olduğunda ET eksikliği (açığı) oluşur ve verim maksimum verimin altına düşer.

Hanks (1974), verim ve transpirasyon arasında aşağıdaki ilişkiyi önermiştir.

$$Y / Y_p = T / T_p \quad (\text{Hanks modeli}) \quad (3)$$

Eşitlikte; Y, verimi; T, mevsimlik transpirasyonu;  $T_p$ , toprak neminin sınırlanmadığı koşuldaki potansiyel transpirasyonu;  $Y_p$  ise,  $T_p$  koşulundaki verimi göstermektedir.

Verim ve ET arasında tek bir ilişki geliştirme sorunu üzerinde çalışan Stewart ve ark. (1976), ET eksikliğinin verim üzerinde kaçınılmaz ve yönetilebilir etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Mevsimlik ET açığı sonucunda verimin maksimum düzeyin altına düşmesi kaçınılmazdır. Öte yandan verim azalması ET açığının meydana gelme zamanı ile ilişkili olup yönetilebilir özelliktedir. Anılan araştırmacılar ET eksikliğinin uygun zamanlanması durumunda, verim azalması ve mevsimlik ET eksikliği ilişkisinin doğrusal olacağını ve aşağıdaki genelleştirilmiş verim fonksiyonu ile ifade edilebileceğini göstermişlerdir.

$$1 - Y_a / Y_m = \beta (1 - ET_a / ET_m) \quad (\text{Stewart Modeli}) \quad (4)$$

Burada;  $Y_a$ , gerçek verim;  $ET_a$  gerçek mevsimlik ET;  $Y_m$ , maksimum verim;  $ET_m$  maksimum verimin elde edilmesi durumundaki mevsimlik



ET ve  $\beta$ , verim tepki etmeni olarak adlandırılan bir katsayıdır (Vaux ve Pruitt, 1983). Eşitlik (4)'de su stresine karşı bitki duyarlılığının bir ölçüsü olan  $\beta$  değeri; verimdeki oransal azalmanın ET'deki oransal azalmaya oranı, diğer bir deyişle doğrusal fonksiyonun eğimidir. Anılan değer deneysel veriler kullanılarak elde edilir, bitki tür ve çeşitleri arasında farklılık gösterir, ancak verilen bir çeşit için sabittir.

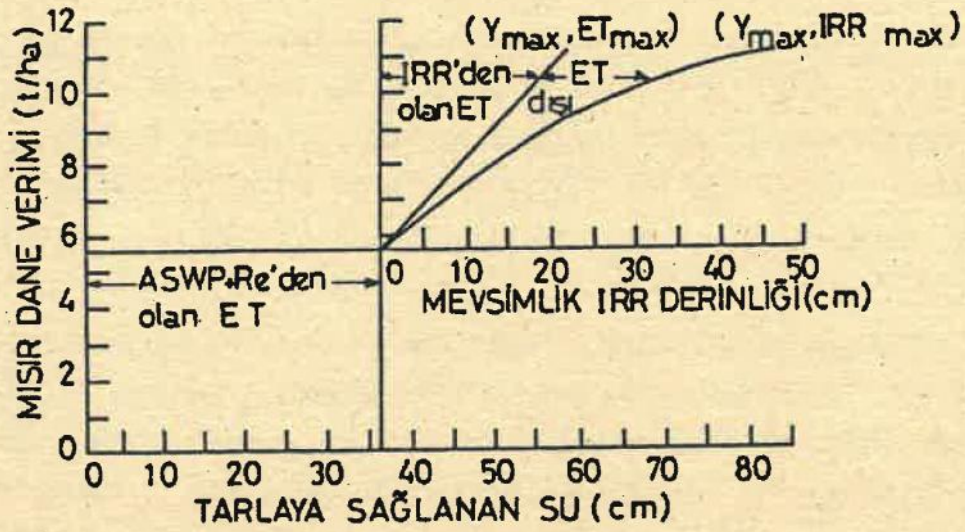
Doorenbos ve Kassam (1979), verim ve su arasındaki ilişkiyi ölçümleyen bir yöntem geliştirmek için Stewart Modelini kullanarak çeşitli bitkilerin değişik gelişme dönemleri ve toplam büyüme mevsimi için  $\beta$  katsayılarını vermişlerdir. Söz konusu çalışmada  $Y_m$ , bazı doğrulama katsayıları ile değiştirilmiş De Wit yaklaşımı,  $ET_m$  ve  $ET_a$  ise Doorenbos ve Pruitt (1977)'de verilen yöntemlere göre hesaplanmıştır.

Hanks ve Stewart modellerinde bağımsız değişken olarak gerçek ET (veya T) yerine oransal ET (veya T) kullanılması önemlidir. İklim gibi yöresel değişkenler nedeniyle aynı miktar bitki büyümesi değişik ET değerleri gerektirebileceğinden oransal ET değerlerinin kullanılması bir yerde elde edilen bir fonksiyonun başka bir yerde de kullanılabilmesine olanak verir.

#### Uygulanan Suyun Fonksiyonu Olarak Bitki Verimi

Stewart ve Hagan (1973), ET'nin verimle oldukça doğrudan ilişkili tarla düzeyindeki su parametresi olmasına karşın, uygulanan sulama suyu derinliği (IRR)'nin kazanılan suyu temsil ettiğini, planlayıcılar ve sulamacıları daha çok ilgilendirdiğini ileri sürmüşlerdir. Verim-ET ilişkisinin doğrusal olmasına karşın verim ile tarlaya sağlanan su (ekimde toprakta bulunan kullanılabilir nemli ve yağışı içerir)'ya ilişkin mevsimlik sulama suyu arasındaki ilişki eğrisel (dışbükey) özelliktedir.

Stewart ve Hagan (1973), anılan durumu verime karşı ET ve sulama derinliği (uygulanan su) ilişkilerini aynı şekil üzerinde göstererek irdelemişlerdir (Şekil 3). Burada, doğrusal  $[Y = f(ET)]$  ve dışbükey  $[Y = f(IRR)]$  fonksiyonlarının şekilleri bir noktaya dek birbirleri ile uyumlu gitmekte ve sonra uygulanan suyun artması ile birbirlerinden ayrılmaktadır. İki eğri arasındaki fark, uygulanan suya ET dışı kalan kısmını göstermektedir. Diğer bir deyişle, uygulanan suyun (varsa yağış da eklenir) yalnızca bir bölümü ET'ye katkıda bulunur. Fazla gelen su; diğer terimler (sızma, toprak su içeriğindeki değişim, yüzey akış v.b.) yardımıyla, su dengesi eşitliği kullanılarak hesaplanabilir.



Şekil 3. Toprakta depolanan suyu ve mevsim boyunca oluşan yağış miktarını dikkate alan  $Y$  ile FWS fonksiyonel koşulu için düzenlenmiş  $Y$  ile ET ve  $Y$  ile IRR fonksiyonları arasındaki ilişki. Burada, FWS = tarlaya sağlanan su, ASWP = ekim zamanında kök bölgesindeki kullanılabilir su, Re = etkili yağış, IRR = sulama suyu derinliğidir (Stewart ve Hagan, 1973).

Stewart ve Hagan (1973), sulama randımanının % 100 olması, diğer bir deyişle tüm IRR'nin ET olarak kullanılması durumunda  $Y = f(IRR)$  ve  $Y = f(ET)$  fonksiyonlarının aynı olduğunu kanıtlamışlardır. Bu nedenle, eğrisel  $Y = f(IRR)$  fonksiyonu  $ET_{max}$ 'a yaklaşıırken sulama randımanının azaldığını göstermektedir.

#### Büyüme Devresinin Etkisi

Literatür; bitkilerin, tüm büyüme devrelerinde evapotranspirasyonu potansiyel düzeyin altına düşüren nem koşullarına olumsuz tepki gösterdiklerinden yaygın olarak söz eder. Örneğin mısır bitkisinde püskül ve tozlanma döneminde su eksikliği verimi oldukça düşürür. Öte yandan, pamuk, soya v.b. bitkilerde ise özellikle bazı gelişme dönemlerindeki su stresi verim ve kaliteyi olumlu yönde etkiler (Doorenbos ve Kassam, 1979).

Bir gelişme devresindeki su stresi ile stresin verim üzerinde izleyen devrelerdeki etkisi arasında bulunan ilişki, diğer bir deyişle gelişme devreleri arasındaki bağımlılık üzerinde iki farklı yaklaşım vardır. Bazı araştırmacılar (Hall ve Butcher, 1968; Jensen, 1968; Hanks, 1974) iki veya daha fazla dönemdeki bitki su eksikliklerinin verimi

çarpımlı (katlamalı) etki ile azalttığını, diğerleri ise (Hiler ve Clark, 1971) eklemeli etkinin söz konusu olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Jensen (1968), büyüme mevsiminin devrelere bölünmesi ve her devrede ET'nin verim üzerinde tek etken sayılmasıyla aşağıdaki verim fonksiyonunu geliştirmiştir.

$$Y / Y_p = \prod_{i=1}^n (ET_a / ET_p)_i^{\lambda_i} \quad (5)$$

Burada  $\lambda_i$ ; i'inci gelişme devresinde bitkinin su tresine oransal duyarlılığı,  $Y_p$  ve  $ET_p$  sırasıyla potansiyel verim ve ET'dir. Burada  $ET_p$ ,  $ET_{max}$ 'a eşit olarak yorumlanmalıdır.

Hanks ve Stewart kendi modellerinin, farklı gelişme devrelerinde oluşan strese tepkileri birleştiren ikinci düzenlemelerini geliştirmişlerdir (Vaux ve Pruitt, 1983).

Hanks'ın 2.modeli bağımsız değişken olarak ET yerine oransal mevsimlik transpirasyonun gelmesi dışında Jensen'inki ile aynıdır:

$$\frac{Y}{Y_p} = \frac{T^{\lambda_1}}{T_{p1}} \frac{T^{\lambda_2}}{T_{p2}} \dots \frac{T^{\lambda_n}}{T_{pn}} \quad (\text{Hanks'ın 2.modeli}) \quad (6)$$

Burada;  $\lambda_n$ , n'inci devrede su stresine karşı duyarlılığı ifade eden ağırlık katsayısıdır. Yine  $T_p$  ve  $Y_p$  sırasıyla  $T_{max}$  ve  $Y_{max}$  gibi yorumlanmalıdır.

Stewart ise her devre için farklı  $\beta$  katsayıları kullanarak eklemeli etkiyi temel almıştır.

$$Y_a = Y_m - Y_m (\beta_1 ET_{D1} + \beta_2 ET_{D2} + \dots + \beta_n ET_{Dn}) / ET_m \quad (7)$$

(Stewart'ın 2.modeli)

Burada;  $ET_{D_i}$ , i devresindeki ET eksikliğini göstermektedir.  $ET_m$  ise tüm mevsim içindir.

Hiler ve Clark (1971), eklemeli yaklaşımı temel alarak mevsim boyunca su stresini ölçümlemek için "stres günü indeksi" tanımlamasını önermiştir.

Bitki büyüme devrelerindeki duyarlılığın tanımlanmasına yönelik yaklaşımlarda esaslı farklar vardır. Stewart ve ark. (1975), ET eksikliğinin şiddeti ve oluşma zamanının özellikle duyarlı bir devre olup olmadığını

ortaya koyduğunu belirtmişlerdir. Diğer araştırmacılar; bitkilerin, ET eksikliğinin düzeyi ve oluşma zamanını dikkate almayan "kritik" bir büyüme devresi olduğunu varsaymışlardır. Eğer ilk yaklaşım doğru ise, sulama işletmeciliğinde esneklik sağlamak yönünden yararlıdır (Vaux ve Pruitt, 1983).

### **Ekonomik Verim Fonksiyonları**

Su-verim fonksiyonlarına ilişkin ekonomik çalışmalar ampirik ve teorik olmak üzere iki gruba ayrılabilir (Vaux ve Pruitt, 1983). Birinci gruptaki çalışmalar, çoğunlukla ampirik verilerden verim fonksiyonları geliştirmek için istatistiksel yöntemlerin kullanılmasını içerirler. İkinci grup çalışmalar ise, bitki su-verim ilişkisinin ekonomik yönünü ortaya koymayı amaçlarlar ve su eksikliğinin zamanlanmasına ilişkin deneysel verilerin azlığı nedeniyle teorik ağırlıklıdır.

#### **Ampirik Çalışmalar:**

Bu grupta Hexem ve Heady (1978), hem üretimin geleneksel ekonomik teorisini hem de verim fonksiyonlarını tahminde yaygın olarak kullanılan temel istatistik teknikleri ayrıntılı biçimde içermesi açısından en önemli çalışmalardan biridir. Anılan çalışmada A.B.D.'nin çeşitli yöreleri için verimi uygulanan suyun ve azotun bir fonksiyonu olarak ifade eden polinomial ilişkiler geliştirilmiştir.

Ampirik ekonomik çalışmaların ana eksikliği sulama uygulamasının zamanlanmasındaki değişimlere sistematik bir yaklaşım sağlayamamalarıdır. Teorik çalışmalar bu konuya daha uygun bir yaklaşım sağlamaktadırlar.

#### **Teorik Çalışmalar:**

Bitki su-verim fonksiyonlarına ilişkin ekonomik literatür özellikle büyüme mevsimi süresince suyun optimal uygulanması sorunu üzerinde odaklanmıştır (Vaux ve Pruitt, 1983). Bu çalışmalar; eğer sulama programlaması sorununun doğru biçimde modellendirilmesi istenirse, sulama zamanlaması ve miktarını birlikte içeren zamanlanmış (tarihli) veya çok devreli verim fonksiyonlarının gerekliliğini vurgulamaktadırlar. Gerçekte, sulama programlamasına ilişkin ekonomik çalışmalar, suyun optimal dağıtımını belirlemede dinamik programlamayı gerektirirler. Dinamik programlama, suyun farklı büyüme devreleri arasında optimal dağıtımını analiz etme olanağını verir.

Hall ve Butcher (1968), n bitki büyüme devresinde sulama suyunun dağıtımını için bir dinamik programlama modeli sunmuşlardır. Onlar, herhangi bir i devresinde toprak neminin tarla kapasitesinin altına düşmesi durumunda, toprak neminin bir fonksiyonu olan  $a_i$  katsayısına bağlı olarak verimin azalacağını varsayımlardır. Verim fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$Y = (a_1 a_2 \dots a_n) \cdot Y_{\max} \quad (8)$$

Dudley ve ark. (1971); toprak nemi ve kalan sulama suyuna bağlı, iki durum değişkenli stokastik bir yaklaşım önermişler ve modellerinin çözümünde dinamik programlama tekniklerini kullanarak üretici gelirini maksimize etmeyi amaçlamışlardır.

Dinamik programlama, sulama programlaması sorunlarının analizine oldukça uygun gözükmektedir. Ancak yöntem, uygulanmasında kullanılacak verilerin elde edilmesinden daha hızlı gelişim göstermiştir. Bu konuda özellikle çok devreli ve zamanlanmış verim fonksiyonlarına gerek duyulmaktadır.

Vaux ve Pruitt (1983), zamanlanmış verim fonksiyonları üzerindeki en önemli çalışmanın Minhas ve ark. tarafından verilen aşağıdaki model olduğunu bildirmişlerdir.

$$Y = a \left[ 1 - (1 - X_1)^2 \right]^{b_1} \left[ 1 - (1 - X_2)^2 \right]^{b_2} \dots \left[ 1 - (1 - X_n)^2 \right]^{b_n} \quad (9)$$

Burada; Y, verim;  $X_j$ , j dönemindeki oransal ET; a ve  $b_j$  ise deneysel verilerin regresyon analizlerinden elde edilen parametrelerdir. Anılan model kavramsal açıdan uygun olmakla birlikte kullanımı çok sayıda deneysel veri ve deneyim gerektirmektedir.

Rao ve ark. (1988), Doorenbos ve Kassam (1979) tarafından verilen bitki büyüme dönemi verim tepki etmenlerinden türettikleri üç zamanlanmış su-verim fonksiyonu modelini karşılaştırmışlar ve bunlardan aşağıda verilen basit çarpımsal biçimde olanının geniş stres koşulları sınırlarında uygulanabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

$$Y / Y_m = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - \beta_i (1 - ET_a / ET_p)^i \right] \quad (10)$$

Modelde,  $ET_p$ , potansiyel ET'yi ifade etmektedir.

## SONUÇLAR

Bu inceleme, sulu tarımda bitki ve su arasındaki etkileşimlerin birçok bilimsel ve uygulamalı disiplini ilgilendiren çok sayıda karmaşık olayı içerdiğini ortaya koymaktadır. Bitki-su ilişkileri üzerinde önemli bilimsel ve ekonomik bilgi olmakla birlikte bu bilgi henüz kesin bir bütünlüğe ve ayrıntıya ulaşmış değildir.

Bitki su-verim ilişkileri üzerinde belirlenen önemli noktalar şöyle özetlenebilir:

- Su eksikliğinin zamanlaması ve gelişme devreleri arasındaki bağımlılık tam olarak aydınlatılamamıştır. Bu konuların araştırılması gerekmektedir.

- Deneysel su-verim fonksiyonları genellikle bir yöredeki bir bitki içindir. Bağımsız değişken olarak oransal ET'yi kullanan verim fonksiyonları genelleştirilmiş fonksiyonlar için bir aşamadır. Ancak, oransal ET'yi kullanan ve yersel değişken içermeyen özel fonksiyonların geliştirilmesi bir yerden diğer bir yere aktarım için uygun bir yaklaşım olacaktır.

- Fonksiyonlarda, bitki verimi ile birlikte kalitesinin de içerilmesi için gerekli veriler araştırılmalıdır.

- Bitki su-verim fonksiyonlarında genellikle uygulanan su, toprak nemi ve ET olmak üzere üç bağımsız değişken kullanılmıştır. Anılan değişkenlerin ölçümlerinin farklı özellikler göstermesi su-verim fonksiyonları üzerinde çalışan disiplinlerin tümüne yararlı olabilecek bir değişkenin bulunamama nedenini açıklamaktadır.

- Bitkisel üretimin riskli bir yatırım olması nedeniyle su-verim fonksiyonlarının bu risk veya belirsizliği de içermesi istenir.

- Deneysel çalışmalarda; ET-verim ilişkisinin doğrusal, uygulanan su-verim ilişkisinin eğrisel olduğuna ilişkin kanıtlar elde edilmiştir. İkinci ilişki, denetleyebildikleri için sulamacılar açısından daha büyük önemdedir. Ancak ET ve uygulanan su ilişkisi iyi anlaşılmadığından tarla koşullarında nem stresi kesin olmayan bir etkiye sahiptir. Bu nedenle su fiyatı düşük ve nem stresinin verim üzerindeki etkisi kesin belirlenmiş değilse sulamacılar, suyu ekonomik kullanmak için fazla özen göstermeyeceklerdir.

- Bitki su-verim fonksiyonları üzerinde çalışan ekonomistlerin genel sonucu; eğer suyun fiyatı, kıt olduğu koşuldaki değerde ise suyun tarımda daha randımanlı kullanılacağıdır. Bu, önemli bir sonuçtur. Suyun fiyatının gerçekçi olması tarımda su tüketimini azaltmada diğer bireysel önlemlerden daha etkili olacaktır. Fakat bu ekonomik sonuç risk sorunu, zamanlama ve devreler arası bağımlılık dikkate alındığında tamamlanmış olacaktır. Bu sorunlar su stresi uygulaması yaygınlaştırılmadan önce giderilmelidir. Su stresi aşırı kurak ve yağışlara bağlı olarak tarım yapılan koşullarda oluşur. Ancak, bu deneyimlerden elde olunan sonuçlar kullanılabilir suyun bulunduğu kültürel ve işletmecilik uygulamalarının söz konusu olduğu sulu tarım alanlarının çoğuna hemen aktarılabilir nitelikte değildir.

## SUMMARY

### CROP WATER-PRODUCTION FUNCTIONS

For high yielded crop production, as an important input, water must be use effectively. This is possible, when we learn the effects of the water supplied by means of rainfall and irrigation, on the crop growth and yield, under different cropping conditions.

Today, water economists and engineers require methods for developing water-production functions useful in estimating yield and profits, for main irrigated crops under water-deficit conditions.

Crop yield vs. water use relationships can provide a basis for assessing the economic value of irrigation, the relative performance of alternate scheduling methods, the optimum levels of irrigation.

The purpose of this article were to describe the concept of the water-production function, to review some of the water-production functions which developed until now and to summarize the main approaches.

## KAYNAKLAR

- Barrett, J.W.H. and G.V. Skogerboe, 1980. Crop Production Functions and the Allocation and Use of Irrigation Water. Agric. Water Management, 3, 53-64.
- Doorenbos, J. and W.O. Pruitt, 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrig. Drain. Paper 24, Rome, 144 pp.
- Doorenbos, J. and A.H. Kassam, 1979. Yield Response to Water. FAO Irrig. Drain. Paper 33, Rome, 193 pp.
- Dudley, N.J., G.T. Howell and W.F. Musgrave, 1971. Optimal Interseasonal Water Allocation. Water Resour. Res., 7, 770-778.
- Hall, W.A. and W.S. Butcher, 1968. Optimal Timing of Irrigation. J. Irrig. Drain. Div., 94, 267-275.
- Hanks, R.J., 1974. Model for Predicting Plant Yield as Influenced by Water Use. Agron. J., 66, 660-665.

- Hanks, R.J., J. Keller, V.P. Rasmussen and G.D. Wilson, 1976. Line Source Sprinkler for Continuous Variable Irrigation-Crop Production Studies. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 40, 426-429.
- Hanks, R.J., 1983. Yield and Water-Use Relationships: An Overview. Limitations to Efficient Water Use in Crop Production (Taylor, H.M., et al., Ed.) *Amer. Soc. Agron. Inc.*, 393-411.
- Hexem, R.W. and E.O. Heady, 1978. Water Production Functions for Irrigated Agriculture. The Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, 215 pp.
- Hiler, E.A. and R.N. Clark, 1971. Stress Day Index to Characterize Effects of Water Stress on Crop Yield. *Trans. ASAE*, 14, 757-761.
- Hillel, D., 1987. The Efficient Use of Water in Irrigation. Principles and Practices for Improving Irrigation in Arid and Semiarid Regions. World Bank Tech. Paper No. 64, The World Bank, Washington, D.C., 107 pp.
- Hsiao, T.C., 1973. Plant Response to Water Stress. *Annu. Rev. Plant. Physiol.*, 24, 519-570.
- Hsiao, T.C. and E. Acevedo, 1974. Plant Responses to Water Deficits, Water-Use Efficiency and Drought Resistance. *Agricultural Meteorology*, 14, 59-84.
- Hsiao, T.C. and J. Jing, 1987. Leaf and Root Expansive Growth in Response to Water Deficits. *Physiology of Cell Expansion During Plant Growth* (Cosgrove, D.J. and Knievel, D.P., Eds.) *The Amer. Soc. Plant Phys.*, 180-192.
- James, D.W., R.J. Hanks and J.J. Jurinak, 1982. Crop, Soil and Irrigation Relations. *Modern Irrigated Soils*. John Wiley and Sons., 17-31.
- Jensen, M.E., 1968. Water Consumption by Agricultural Plants. *Water Deficits and Plant Growth*, Vol. 2 (Kozlowski, T.T., Ed.) Academic Press, Inc., New York, 1-22.
- Maurer, R.E., D.G. Watts, C.Y. Sullivan and J.R. Gilley, 1979. Irrigation Scheduling and Drought-Stress Conditioning in Corn. *ASAE Paper No. 79-2509*. St. Joseph, Michigan.
- Musick, J.T. and D.A. Dusek, 1971. Grain Sorghum Response to Number, Timing, and Size of Irrigations in the Southern High Plains. *Trans. ASAE*, 14, 401/410.
- Rao, N.H., P.B.S. Sarma and S. Chander, 1988. A Simple Dated Water-Production Function for Use in Irrigated Agriculture. *Agric. Water Management*, 13, 25-32.
- Sammis, T.W., 1981. Yield of Alfalfa and Cotton as Influenced by Irrigation. *Agron. J.*, 73, 323-329.
- Stegman, E.C., R.J. Hanks, J.T. Musick and D.G. Watts, 1981. Irrigation Water Management-Adequate or Limited Water. *Irrigation Challenges of 80's*. Pub. ASAE, St. Joseph, Michigan, 154-165.
- Stewart, J.I. and R.M. Hagan, 1969. Predicting Effects of Water Shortage on Crop Yield. *J. Irrig. Drain. Div., Amer. Soc. Civ. Eng.*, 95, 91-104.
- Stewart, J.I. and R.M. Hagan, 1973. Functions to Predict Effects of Crop Water Deficits. *J. Irrig. Drain. Div., Amer. Soc. Civ. Eng.*, 99, 421-439.
- Stewart, J.I., R.M. Hagan, W.O. Pruitt and W.A. Hall, 1973. Water Production Functions and Irrigation Programming for Greater Economy in Project and Irrigation System Design and for Increased Efficiency in Water Use. Report 14-06-D-7329. *univ. Calif., Davis, CA.*, 200 pp.



- Stewart, J.I., R.O. Misra, W.O. Pruitt and R.M. Hagan, 1975. Irrigation Corn and Grain Sorghum with a Deficient Water Supply. Trans. ASAE, 18, 270-280.
- Stewart, J.I., R.M. Hagan and W.O. Pruitt, 1976. Water Production Functions and Predicted Irrigation Programs for Principal Crops as Required for Water Resources Planning and Increased Water Use Efficiency. Tech. Completion Report 14-06-D-7329. Univ. Calif., Davis, CA., 80 pp.
- Vaux, H.J. Jr. and W.O. Pruitt, 1983. Crop-Water Production Functions. Advances in Irrigation, Vol. 2 (Hillel, D., Ed.) Academic Press, Inc., New York, 61-97.