

OPTİMUM SULAMA MİKTARI VE ARALIĞI (*)

Tercüme eden : Dr. Ersan GEMALMAZ (**)

Optimum bir sulama idaresi genellikle, suyun satın alınmasının ve sulamanın gerekli olduğu araziye verilmesinin maliyeti ile yetersiz veya aşırı sulamadan dolayı vuku bulacak ekonomik kayıpları göz önünde bulundurmaktadır.

Elverişli bir sulama sisteminin tesis edildiği bir yerde, tatbik edilen su miktarına bakılmaksızın, her sulama için gerekli işçilik masrafının sabit olarak göz önüne alınması mümkündür. Dolayısıyla, her sulamada daha büyük miktarda su kullanıldığında verilen birim miktardaki su için daha düşük bir işçilik masrafı ummak makul olmaktadır. Bu gerçek ise daha seyrek olarak daha fazla su tatbikini teşvik etmektedir.

Faydalı toprak rutubeti olarak bilinen ve tarla kapasitesinden devamlı solma noktasına kadar olan bölgede bulunan toprak rutubeti, tatbik edilecek su miktarının tayi-

ninde ve sulama programının hazırlanmasında esas olarak kullanılmaktadır. Meselenin tatbiki yönü bakımından toprak rutubetinin devamlı solma noktasına kadar düşmesine asla müsaade edilemez. Bu sebepten her sulamada tatbik edilecek su miktarı, hemen faydalı toprak rutubeti diye tarif edilen faydalı toprak rutubetinin % 50-75'i miktarında olacak şekilde keyfi olarak tayin edilmektedir. Tarla kapasitesi ile arzu edilen en düşük toprak rutubeti arasında bulunan bu hemen faydalı toprak rutubetinin bitkinin kullanması için eşit olarak dağılmış, hazır ve değerli olduğu farz edilir.

Israelsen ve Hansen sulu ziraat şartlarında yetiştirilen bitkilerin çoğunun gelişmesinin toprak rutubetinin orta değerlerinde teşvik edildiğini, aşırı veya yetersiz rutubet durumlarında ise yavaşladığını belirtmektedirler. Hawaii'de sebze-

(*) Makalenin Orijinali :

Wu, I-pai, and Liang, Tung. «Optimal Irrigation Quantity and Frequency» Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 98, No. IR1, Proc. Paper 8776, March, 1972, pp. 117-133

(**) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Kültürteknik ve Ziraat Alet ve Makinaları Bölümü Asistanı

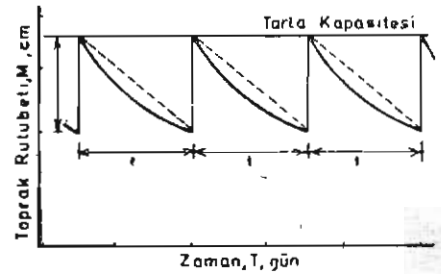
ler üzerinde son yapılan araştırma (sonuçları bu makalede ilerki sayfalarda verilecektir), faydalı toprak rutubet değerleri arasında kalmak üzere farklı rutubet aralıklarında yetiştirilen sebzelerin verimlerinin belirgin bir şekilde farklı olduğunu göstermektedir. Bu ise bitkilerin maksimum verim için optimum bir toprak rutubetinin sağlandığı toprak şartlarında yetiştirilmesi gerektiğini ifade etmektedir.

Toprak rutubetini optimum durumda tutmak ise devamlı su teminini veya sık sık sulamayı gerektirmektedir. Sulama sıklığı, eğer toprak rutubetinin optimum gelişme rutubet şartlarından aşağıya veya yukarıya doğru epey bir miktar sapmasına müsaade edilirse azaltılabilir. Artan ekonomik kayıp böyle şartlarda beklenir. Fakat işçilik masrafı sulama sıklığının azalmasından dolayı düşecektir. Kısaca ifade etmek gerekirse, bir değişken için optimum olan bir sulama tatbikatı bir diğer değişken için optimum olmayabilir. Bir sulama tatbikatı seçiminde bütün değişkenler bir arada mütalaa edilmelidir. Optimum çözüm bütün göz önünde bulundurulmuş durumlar için en iyisini verendir. Bu araştırmada en iyi sulama uygulaması kriteri olarak yetiştirme periyodu süresince minimum sulama masrafı seçilmiştir.

YAKLAŞIM VE VARSAYIMLAR

Bitki su tüketimi, sulama aralığını tayin etmekte gerekli olan temel bilgidir. Su tüketim

miktarı sabit olmayıp, iklim şartlarıyla, toprak rutubet potansiyeliyle ve bitkinin toprak rutubetini alma kapasitesiyle değişmektedir. Holmes ve Robertson bitki tüketimi dolayısıyla topraktaki su miktarının azalmasının, toprakta mevcut rutubet miktarıyla ilgili olarak değiştiğini göstermişlerdir. Gerçek toprak rutubet azalması iki sulama arasında Şekil 1'de gösterildiği gibi bir eğri ile ifade edilebilir. Eğer sulama aralığı t ve sulama miktarı q küçük olacak şekilde ayarlanırsa bu toprak rutubet azalması lineer bir durum alır ve Şekil 1'de kesikli çizgi ile gösterildiği gibi düz bir hat olarak kabul edilebilir. Ve böylece ortalama bir su tüketim miktarı sulama sıklığını hesaplamada kullanılabilir.



Şekil 1 : Sulamadan sonra toprak rutubet azalma eğrisi ve bu eğrinin lineerleştirilmiş modeli

Bu analiz için aşağıdaki varsayımlar ve şartlar postülat olarak alınmıştır.

1. Bitki gelişimi için en iyi şartı sağlayan optimum bir toprak rutubeti vardır. Bu toprak rutubeti bitki gelişiminin farklı devrelerinde farklı olabilir. Bununla beraber buradaki analizde optimum toprak rutubeti M_0 (kök bölgesin-

deki suyun cm^* cinsinden miktarı) maksimum verimi sağlayacak toprak rutubeti olarak alınmaktadır.

2. Her sulamada çok kısa bir sürede tatbik edilen su miktarı sabittir ve q (cm cinsinden) ile gösterilmiştir. Evapotranspirasyon dolayısıyla toprak rutubetinin azalma hızı verilen bir sulama aralık süresi t (gün cinsinden) içerisinde Şekil 1'de gösterildiği gibi sabit farz edilmektedir.

3. Üç farklı sulama tatbikatı kabul edilmektedir; bunlar Şekil 2'de gösterilmiş bulunmaktadır: I) Toprak rutubeti optimum toprak rutubetinden daha azdır veya ona eşittir; II) Toprak rutubeti optimum toprak rutubetinin aşağısında ve yukarısındadır; III) Toprak rutubeti optimum rutube-

te eşittir veya ondan daha yukarıdadır.

4. Toprak rutubet değerleri her gün belli bir zamanda ölçülmektedir. Toprak rutubetini ölçmeye yarayan alet, kök bölgesindeki rutubeti gösterecek uygun bir derinliğe yerleştirilmiş bulunmaktadır.

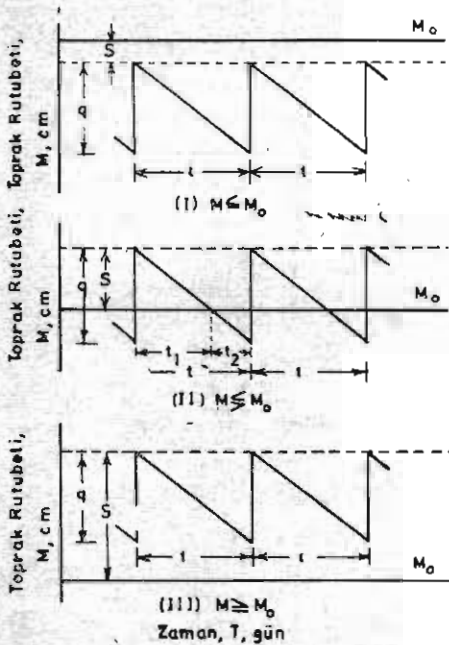
5. Toprak rutubetinin q cm miktarındaki sulamadan sonra ertesi gün ölçülen değerinin optimum toprak rutubeti olan M_0 'dan ayrılma miktarı S (cm cinsinden) olarak ifade edilmektedir. Ertesi gün ölçülen değer kullanılması sebebi, verilen derinlikte yapılan ölçümü kök bölgesindeki rutubet durumunu göstermede kullanabilmek için sulama suyunun toprakta dağılmasını sağlamaktır.

6. Evapotranspirasyon γ (cm/gün) tayin edilebilir ve bilinmektedir; ve verilen bir bitki için bir sulama tatbikatında sabit kabul edilmektedir.

7. Sulama ekipmanının yıllık masrafı C_f sabittir ve sulama için ekipman seçilmiş bulunmaktadır.

8. Su ve işçilik masrafı $C_w + C_L$, birlikte C_3 olarak her sulama için TL cinsinden ifade edilmektedir.

9. Ekonomik kayıp (bitki verim kaybı) optimum toprak rutubeti ile gerçek toprak rutubeti arasındaki farkın bir fonksiyonudur ve bu kayıp, toprak rutubeti optimum olacak şekilde sağlanırsa sıfırdır. C_1 optimum rutubetin yukarısındaki fazla rutubetten dolayı kaybı, C_2 ise optimumun altındaki



Şekil 2 : Farklı sulama tatbikatlarından dolayı meydana gelmesi mümkün olan toprak rutubet durumları

(*) Birimlerin çevrilmesi 1 inç = 2,54 cm; 1 acre = 4,047 da; 1 galon = 3,8 lt; 1 pound = 0,453 kg; 1 dolar = 15 TL alınarak yapılmıştır.

su yetersizliğinden dolayı meydana gelen kaybı göstermektedir. C_1 ve C_2 bilinmektedir ve cm , optimum rutubetten olan rutubet farkını göstermek üzere $TL/cm.gün.da$ şeklinde ifade edilmektedir.

10. Bitki verimini etkileyen bütün ziraî ve ziraî olmayan uygulamalar sulama tatbikatını göz önünde bulundurmaksızın değişmeden kalmaktadır.

ANALİZ

Şekil 2'de görülen her durum için toplam sulama masrafı C_1 , C_2 ve C_3 'ün bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. İlk olarak aşağıdaki genel şekliyle ifade edilir :

$$C(S, q) = C_1(S, q) + C_2(S, q) \frac{\gamma}{q} + C_3(S, q) \quad (1)$$

Burada C , $TL/gün'dür$. Ve toplam sulama masrafı büyüme mevsimi içerisindeki gün sayısı ile C 'nin çarpımıdır. Şekil 2'de gösterilen farklı durumlar için $C(S, q)$ aşağıdaki gibi ifade edilebilir :

$M \leq M_0$ için

$$C(S, q) = C_2 S + \frac{q}{2} + C_3 \frac{\gamma}{q} \quad (2a)$$

$M \leq M_0$ için

$$C(S, q) = C_1 \frac{S^2}{2q} + C_2 \frac{(q-S)^2}{2q} + C_3 \frac{\gamma}{q} \quad (2b)$$

$M \geq M_0$ için

$$C(S, q) = C_1 \left(S - \frac{q}{2} \right) + C_3$$

$$\frac{\gamma}{b} \quad (2c)$$

Yukardaki eşitliklerde C_1 , C_2 ve C_3 genel olarak sabit değildir ve q ile S 'nin fonksiyonlarıdır. C_1 , C_2 ve C_3 'ün katı fonksiyonları bilindiğinde Eşitlik 1'in optimum çözümü elde edilebilir. Bununla beraber, Eşitlik 1'in çözümü için gerekli metod C_1 , C_2 ve C_3 fonksiyonlarının karakterine bağlı olarak tamamen farklı olabilir. Eğer C_1 , C_2 ve C_3 'ün S ve q 'ya göre diferansiyel fonksiyonları mevcutsa, açık ve kesin matematiksel bir çözüm yapılabilir. Eğer C_1 , C_2 ve C_3 matematiksel fonksiyonlar şeklinde ifade edilemiyorlarsa, çözüm için digital komputer kullanılan özel bir araştırma tekniği gerekli olabilir.

Sulama denemeleri C_1 , C_2 ve C_3 için ortalama değerler elde edilecek şekilde planlanabilir. C_1 , C_2 ve C_3 sabit olarak düşünülürse, açık olarak Eşitlik 2a, 2b ve 2c şeklinde ifade edilmiş olan Eşitlik 1 basit matematik yolla çözülebilir. Bu üç durum için optimum çözümler aşağıdaki gibi elde edilir:

1. Toprak rutubeti daima optimumun altındadır veya ona eşittir ($M \leq M_0$). Eşitlik 2a'nın S 'ye göre lineer oluşu ve daima pozitif bulunuşu gerçeği $S = 0$ veya M_0 'da olduğunda $C(S, q)$ 'nin bütün q değerleri için minimum olacağını gösterir. Dolayısıyla Eşitlik 2a

$$C(S, q) = C_2 \frac{q}{2} + C_3 \frac{\gamma}{q} \quad (3)$$

şekline indirgenir. Eşitlik 3'ün sadece q 'ya göre türevi alınarak

$$\frac{dC}{dq} = \frac{C_2}{2} - \frac{C_3\gamma}{q^2} \quad (4)$$

elde edilir. Eşitlik 4 sıfıra eşit kılınarak q için optimum çözüm bulunabilir :

$$q_0 = \sqrt{\frac{2C_3\gamma}{C_2}} \quad (5)$$

Burada M_0 da tarla kapasitesindeki rutubet gibi düşünülmüştür.

2. Toprak rutubeti optimum rutubetin yukarısında veya aşağısında olabilir ($M \geq M_0$). Eşitlik 2b'nin S 'ye ve q 'ye göre kısmî türevi alınarak

$$\frac{\partial C}{\partial S} = \frac{C_1 S}{q} - \frac{C_2 (q-S)}{q} \quad (6)$$

$$\frac{\partial C}{\partial q} = \frac{C_2 (q-S)}{q} - \frac{C_1 S^2 + C_2 (q-S)^2 + 2C_3\gamma}{2q^2} \quad (7)$$

elde edilir. $C(S, q)$ 'yu minimum yapacak S_0 ve q_0 değerleri $\partial C/\partial S$ ve $\partial C/\partial q$ için yukarıda verilmiş eşitliklerin sıfıra eşitlendikten sonra S ve q için çözülmesiyle bulunabilir :

$$q_0 = \sqrt{2\gamma C_3} \sqrt{(C_1 + C_2)/C_1 C_2} \quad (8)$$

$$S_0 = q_0 C_2 / (C_1 + C_2) = \sqrt{2\gamma C_3 / C_1} \sqrt{C_2 / (C_1 + C_2)} \quad (9)$$

3. Toprak rutubeti daima optimumun yukarısındadır ($M \geq M_0$). Bu durum bir masrafı gerektirmemek şartıyla arazinin drene edilmesinin gerekli olduğunu ifade eder. Sulamaya ihtiyaç yoktur.

q_0 ve S_0 'un $C(S, q)$ için gerçekten minimumu veren değerler olduğunu tahkik etmek için Eşitlik 6 ve 7'nin S ve q 'ya göre yeniden kısmî türevini almak gereklidir; böylece

$$\frac{\partial^2 C}{\partial S^2} = \frac{C_1}{q} + \frac{C_2}{q} = \frac{C_1 + C_2}{q} \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial S \partial q} = -\frac{C_2}{q} - \frac{C_1 S - C_2 (q-S)}{q^2} = -\frac{(C_1 + C_2)S}{q^2} \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial q^2} = \frac{C_2 S}{q^2} - \frac{C_2 (q-S)}{q^2} + \frac{C_1 S^2 + C_2 (q-S)^2 + 2C_3\gamma}{q^3} = \frac{(C_1 + C_2) S^2 + 2C_3\gamma}{q^3} \quad (12)$$

$\partial^2 C/\partial S^2$, $\partial^2 C/\partial q^2$ ve $(\partial^2 C/\partial S^2)(\partial^2 C/\partial q^2) - (\partial^2 C/\partial S \partial q)^2$ pozitif olduklarından Eşitlik 8 ve 9'daki q_0 ve S_0 gerçekten minimum bir masraf verirler.

OPTİMUM SULAMA MİKTARI VE ARALIĞI

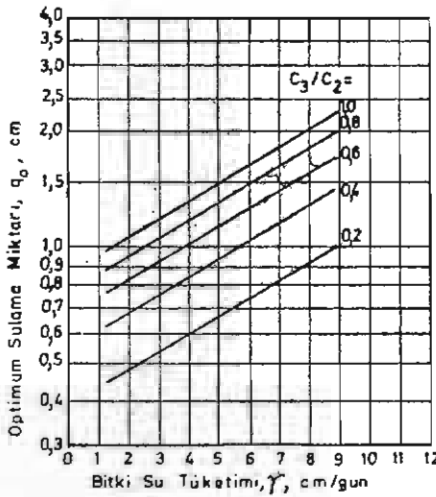
Evvelki analizlerden farklı verim-toprak rutubet karakterleriyle bitkiler için optimum sulama tatbikatları aşağıdaki gibi çıkarılabilir :

I. Durum (maksimum verimi tarla kapasitesinde veren bitkiler için) :

Maksimum S_0 sıfıra eşittir. Tarla kapasitesinde maksimum verime sahip olan bitkiler için, Şekil 2 (I)'de görüldüğü gibi toprak daima tarla kapasitesine kadar sulanacaktır. Tatbik edilecek su miktarı Eşitlik 5'ten tayin edilebilir. Yağış olmadığı farz edilirse, sulama aralığı

$$t_0 = q_0/\gamma \quad (13)$$

olur. Toprak rutubet farkı olan $M_0 - q_0$, toprak rutubet tansiyonu-

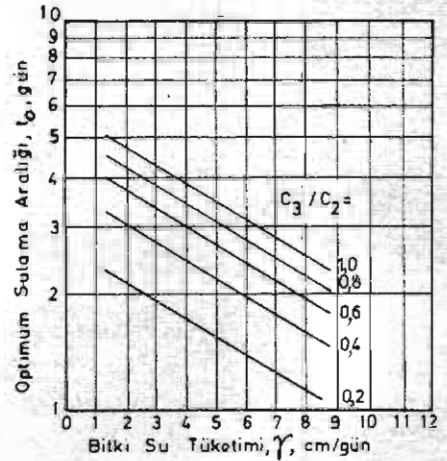


Şekil 3 : Farklı C_3/C_2 masraf oranları için optimum sulama miktarı ile ortalama bitki su tüketimi arasındaki ilişki.

Belli bir bitki için optimum toprak rutubeti tayin edildiğinde ve C_1 , C_2 , C_3 masrafları sulama denemelerinden hesaplanabildiğinde, optimum sulama tatbikatı Şekil 2 (II)'ye göre programlanabilir. Sulama, toprak rutubeti aşağıda ifade edilen M_1 'ye düştüğünde yapılmalıdır :

na çevrilirse tansiyometre okuması, sulama zamanını gösterecektir. Eşitlik 5 ve 13, q_0 ve t_0 'un C_3/C_2 oranına göre değiştiklerini göstermektedirler. Eğer C_3/C_2 oranı tahmin edilebilirse, q_0 ve t_0 verilmiş olan herhangi bir γ bitki su tüketim miktarı için kolayca bulunabilir. Bu ilişkiler Şekil 3 ve 4'te gösterilmiştir.

II. Durum (maksimum verimi tarla kapasitesinin altındaki toprak rutubetinde veren bitkiler için):



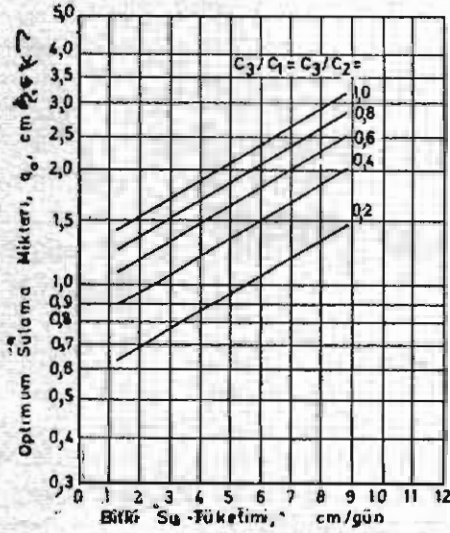
Şekil 4 : Farklı C_3/C_2 masraf oranları için optimum sulama aralığı ile ortalama bitki su tüketimi arasındaki ilişki

$$M_1 = M_0 + S_0 - q_0 \quad (14)$$

Eşitlik 8, 9 ve 13'ün kullanılmasıyla tatbik edilecek q_0 miktarı, M_0 'un yukarıdaki toprak rutubetinin üst sınırı olan S_0 , ortalama zaman aralığı olan t_0 tayin edilebilir. q_0 ve S_0 'un çözümleri ortalama su tüketim miktarı γ 'nın, C_3 masrafının,

C_1 ve C_2 ekonomik kayıplarının fonksiyonları olarak ifade edilir. C_1 ve C_2 'nin yaklaşık olarak aynı olduğu özel bir durumda Eşitlik 8 ve 9 aşağıdaki gibi ifade edilebilir :

$$q_0 = \sqrt{4 \gamma C_3 / C_1} = \sqrt{4 \gamma C_3 / C_2} \quad (15)$$



Şekil 5 : Farklı C_3/C_1 veya C_3/C_2 masraf oranları için optimum sulama miktarı ile ortalama bitki su tüketimi arasındaki ilişki.

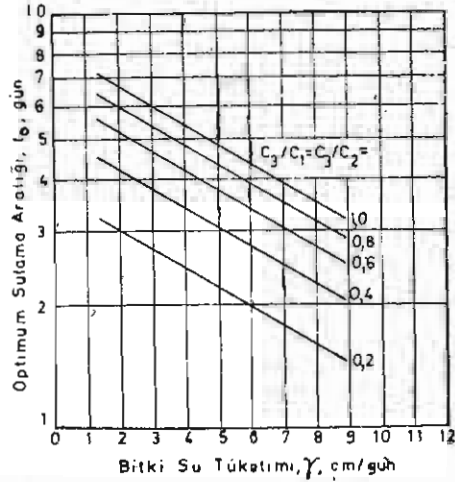
ORTALAMA BİTKİ SU TÜKETİM MİKTARININ VE EKONOMİK KAYIPLARIN TAYİNİ

Ortalama bitki su tüketim miktarı γ ve C_1 , C_2 ekonomik kayıpları sulama denemeleri ile tayin edilebilir. Sulama denemeleri farklı sulama muameleleri kullanılarak yapılabilir. Eğer günlük tansiyometre okumalarına dayanılarak rutubet değişimi küçük bir aralık içerisinde kalacak şekilde kontrol edilirse, toplam yetiştirme devresi için toprak rutubet şartlarını tem-

ve

$$S_0 = q_0/2 \quad (16)$$

olur. C_3/C_1 ve C_3/C_2 oranları hesaplanabildiğinde verilen bir γ su tüketim miktarı için q_0 , S_0 ve t_0 kolayca bulunabilir. Bu ilişkiler Şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6 : Farklı C_3/C_1 veya C_3/C_2 masraf oranları için optimum sulama aralığı ile ortalama bitki su tüketimi arasındaki ilişki.

sil etmede ortalama bir toprak rutubet değeri kullanılabilir. Farklı sulama muamelelerinden ortalama toprak rutubeti ile verimlerin karşılaştırılması yapılarak, verimin maksimum olduğu ortalama bir toprak rutubet değeri elde edilebilir. Günlük ortalama su tüketim miktarı aşağıdaki eşitlikle tayin edilir:

$$\gamma = d/T \quad (17)$$

Burada d , verilen bir muamele için etkili yağışı da içerisinde al-

mak üzere kullanılan toplam su miktarıdır (cm cinsinden); T ise toplam gelişme zamanıdır (gün cinsinden).

C_1 ve C_2 ekonomik kayıpları verim ve toprakta sağlanan ortalama rutubet ile optimum şartlardaki toprak rutubeti ve verimin karşılaştırılması suretiyle tayin edilebilir. Eğer toplam gelişme mevsimi içerisinde kök bölgesinde bulunan ve cm olarak ifade edilen su miktarının ortalama değerinin optimum toprak rutubetinin yukarısında ve aşağısında bulunan değerleri sırasıyla M_1 ve M_2 olarak ifade edilirse, C_1 ve C_2 aşağıdaki gibi hesaplanabilir :

$$C_1 = \frac{Y_0 - Y_1}{(M_1 - M_0)T} \quad (18)$$

ve

$$C_2 = \frac{Y_0 - Y_2}{(M_0 - M_2)T} \quad (19)$$

Bu eşitliklerde Y_0 , TL/da cinsinden kuru şartlarda dekardan elde edilen maksimum verim; M_0 , cm cinsinden optimum toprak rutubeti; Y_1 , TL/da cinsinden ıslak şartlarda dekardan elde edilen verim; Y_2 TL/da cinsinden kuru şartlarda dekardan elde edilen verim, M_1 , cm cinsinden ıslak şartlar için ortalama toprak rutubeti; M_2 , cm cinsinden kuru şartlar için ortalama toprak rutubeti; T ise gün olarak toplam yetiştirme zamanıdır.

SULAMA DENEMELERİ

Bazı sebzeler için toprak rutubeti ile bitki verimi arasındaki il-

giyi tayin etmek için sulama denemeleri yapılmıştır. Sulama denemelerinde muhtelif rutubet seviyelerinin seçimi toprakların su tutma kapasitelerine dayanılarak yapılmıştır. Sulama suyu üzeri delikli borulardan teşkil edilmiş yağmurlama sistemi ile tatbik edilmiş ve üç ayrı sulama muamelesi (ıslak, orta, kuru) kullanılmıştır. Sulama programlaması ve toprak rutubetinin ölçülmesi için tansiyometreler kullanılmıştır ve böylece toprak rutubeti fazla bir değişiklik olmadan dar hudutlar içinde tutulabilmiştir. Sebzeler için kök bölgesi derinliği 30 cm farz edilmiştir. Tansiyometreler ise 20 cm'lik bir derinliğe yerleştirilmiştir.

Denemelerin sonuçları marul ve çin lahanasının ıslak sulama şartlarında çürümeye daha fazla maruz kaldıklarını göstermiştir. Toprak rutubetinin orta olduğu durumlarda (tansiyometre okumalarının 20-40 olduğu durumlarda) yetiştirilen bitkilerin çürüme şartları ıslah edilmiştir. Bununla beraber, daha düşük toprak rutubeti sadece çürümeyi azaltmamış, aynı zamanda marul ve çin lahanasının büyüklüğünü de azaltarak dekardan daha düşük bir verim alınmasına sebep olmuştur. Sap kereviz ise marul ve çin lahanasından daha fazla su tüketmeye temayül göstermiş ve ıslak muamele, çürümeden dolayı fazla bir kayıp olmaksızın en iyi verimi vermiştir. Marul ve çin lahanası maksimum verimlerini tarla kapasitesinin altında bulunan top-

rak rutubetinde, sap kereviz ise maksimum verimini tarla kapasitesinde vermiştir. Sulama denemelerinden elde edilen bilgiler geliştirilmiş modelin geçerliliğini kontrol etmek için aşağıdaki gibi kullanılmıştır :

Örnek 1 — Marul Denemesi :

Tarih, 28 Nisan - 2 Temmuz 1970;

toplam yetiştirme zamanı, 65 gün; toprak üç ayrı rutubet tansiyon aralığında, rutubet muhtevastaki değişme minimum olacak şekilde sulanmıştır. Cetvel 1'de denemede kullanılan toplam su miktarı ile marul verimi, Cetvel 2'de ise 30 cm derinlikte kök bölgesindeki toprak rutubeti ile marul verimleri sıralanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki

Cetvel 1 : Su tatbiki ve marul verimi

Sulama muamelesi	Kullanılan su, cm	Evaporasyon, cm	Evaporasyonda kullanılan su, %	Verim (baş)			İyi marulların ortalama baş ağırlıkları, kg	Dekara verim ^a , kg/da
				İyi %	Kötü* %	Çürük %		
Islak	22,2	27,6	80,5	84	3	13	0,988	2690
Orta	14,6	27,6	53	96	1	3	0,988	3050
Kuru	10,8	27,6	39,2	95	3	2	0,870	2645

* Satışa arz edilecek özellikte olmayan (Çev.)

^a Küçük deneme parsellerinden elde edilen değerlerden hesaplanan

Cetvel 2 : Ortalama toprak rutubeti ve marul verimleri

Sulama muamelesi	Sulamanın yapıldığı tansiyometre okuması ^a	30 cm'lik kök bölgesinde tutulan ortalama ^b mevcut toprak rutubeti, cm	Verim	
			kg/da	TL/da
Islak	20	7,02	2690	8895
Orta	40	5,49	3050	10080
Kuru	60	3,66	2645	8525

^a Tansiyometre okumasının 10 olduğu durum tarla kapasitesidir.

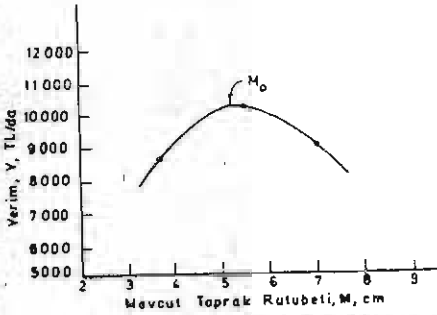
^b Verilen ortalama bir tansiyometre okuması için ortalama mevcut toprak rutubeti, 15 bar'ın devamlı solma noktasına karşılık olduğu düşünülerek toprak rutubet karakteristik eğrisinden elde edilir.

maksimum verim katı olarak tarla kapasitesinin altındaki bir toprak tutubet değeriyle ilgilidir. Mevcut toprak rutubeti ile dekardan elde edilen verim karşılıklı olarak grafiğe işlenerek, Şekil 7'de görüldüğü gibi verim için optimum toprak rutubeti elde edilmiştir.

Optimum sulama miktarı ve sıklığı aşağıdaki işlemlere göre elde edilmiştir :

1. Şekil 7'den optimum toprak rutubeti $M_0 = 5,33$ cm ve maksimum verim $Y_0 = 10120$ TL/da elde edilir.

2. C_1 ve C_2 ekonomik kayıpları aşağıdaki gibi hesaplanır :



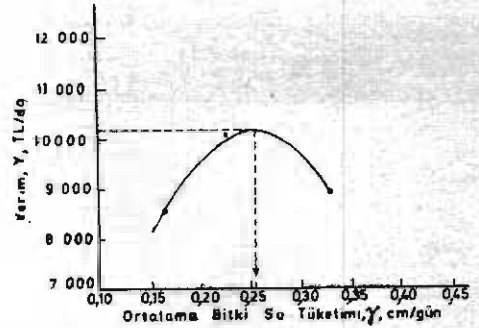
Şekil 7 : Marul sulama denemesinde dekardan elde edilen verim ile ortalama mevcut rutubet arasındaki ilişki

$$C_1 = \frac{Y_0 - Y_1}{(M_1 - M_0)T} = \frac{10120 - 8895}{(7,02 - 5,33)65} = 11,2 \text{ TL/cm.gün.da} \quad (20)$$

$$C_2 = \frac{Y_0 - Y_2}{(M_0 - M_2)T} = \frac{10120 - 8525}{(5,33 - 3,66)65} = 14,7 \text{ TL/cm. gün.da} \quad (21)$$

3. Her sulama için yapılan C_3 masrafı sulama denemelerinin su tatbikatından hesaplanmıştır. Her sulamada tatbik edilen su miktarı üç ayrı muamele için de 1,27 cm'dir; bu, toprak rutubet karakteristik eğrisinden tayin edilmiştir. Eğer su ve işçilik masrafı müştereken 0,79 TL/m³ (7,9 TL/cm.da) farz edilirse, $C_3 = 1,27 \cdot 7,9 = 10,1$ TL olur.

4. Her sulamada tatbik edilecek optimum sulama miktarı müteakip şekilde hesaplanabilir : a) Cetvel 1'den üç sulama tatbikatı için hesaplanan ortalama günlük su tüketim miktarlarından Şekil 8'deki grafik çizilir ve buradan da optimum ortalama bitki su tüketimi 0,25 cm/gün olarak bulunur;



Şekil 8 : Marul sulama denemesinde üç sulama muamelesi için dekara verim ile ortalama bitki su tüketimi arasındaki ilişki

b) Eşitlik 8'den ise her sulamada tatbik edilecek optimum sulama miktarı hesaplanabilir :

$$q_0 = \sqrt{2 \gamma C_3 (C_1 + C_2) / C_1 C_2} = \sqrt{2 \cdot 0,25 \cdot 10,1 \cdot 25,9 / 164,64} \cong 1 \text{ cm} \quad (22)$$

Optimum S miktarı ise Eşitlik 9'dan hesaplanabilir :

$$S_0 = q_0 C_2 / (C_1 + C_2) = 1 \cdot 14,7 / 25,9 = 0,57 \text{ cm} \quad (23)$$

Sulamanın programlanmasında kullanılacak başlangıçtaki rutubet değeri olan M_i Eşitlik 14'ten hesaplanabilir :

$$M_i = M_0 + S_0 - q = 5,33 + 0,57 - 1 = 4,9 \text{ cm}$$

$$q_0 = 5,33 + 0,57 \quad (24)$$

5. Optimum sulama aralığı ise aşağıdaki gibi bulunur :

$$t_0 = q_0 / \gamma = 1 / 0,25 = 4 \text{ gün} \quad (25)$$

6. Tavsiye edilen sulama miktarı ve sıklığı : miktar = her su-

lamada 4 cm; sıklık = her 4 günde bir; ve sulama tansiyometre okumaları 40 (toprak rutubet karakteristik eğrisinden elde edilen) olduğunda başlar.

Örnek 2 — Sap Kereviz Dene-mesi : Tarih, 8 Mayıs - 7 Ağustos 1969; toplam yetiştirme zamanı di-kimden hasada kadar 90 gün; su-lama tatbikatı tarla kapasitesine kadar yapılmıştır. Cetvel 1'de çe-şitli sulama muameleleri için ve-rim ve kullanılan toplam su mik-tarları sıralanmıştır. Sap kereviz veriminin ıslak şartlarda arttığını gösteren, toplam yetiştirme devresi için ortalama toprak rutubet de-ğerleri Cetvel 4'te verilmiştir. Aşırı toprak rutubetinin sebep oldu-

Cetvel 3 : Su tatbiki ve sap kereviz verimi

Sulama muamelesi	Kullanılan su, cm	Evaporasyon, cm	Evaporasyonda kullanılan su, %	Verim (baş)		Hasta ve çürük %	İyi sap kerevizlerin ortalama baş ağırlıkları, kg	Dekara verim ^a , kg/da
				İyi %	Kötü* %			
Islak	46,1	41,5	110	97,5	0,7	1,8	1,272	5975
Orta	32,1	41,5	77	93,0	3,3	3,7	1,295	5800
Kuru	33,3	41,5	80	98,0	1,1	0,9	1,196	5655

*.a Cetvel 1'e bkz.

ğu ekonomik kayıp C_i bu durumda vuku bulmamaktadır. Mevcut toprak rutubeti ile dekara verim bir grafiğe karşılıklı olarak işlenirse,

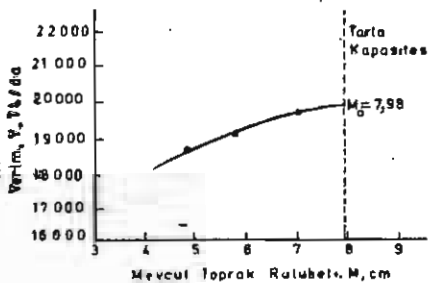
Şekil 9'da görüldüğü gibi bir optimum toprak rutubeti (tarla kapasitesi) ve dekara bir maksimum verim değeri elde edilir.

Cetvel 4 : Ortalama toprak rutubeti ve sap kereviz verimleri

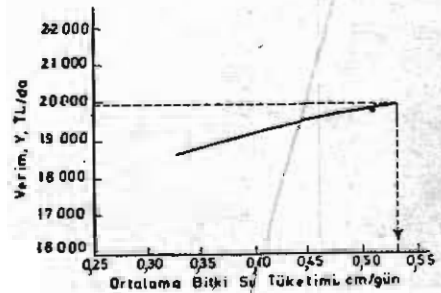
Sulama muamelesi	Sulamanın yapıldığı tansiyometre okuması ^a	30 cm'lik kök bölgesinde tutulan ortalama ^b mevcut toprak rutubeti, cm	Verim	
			kg/da	TL/da
Islak	20	7,02	5975	19800
Orta	40	5,79	5800	19200
Kuru	60	4,88	5655	18720

* a Cetvel 1'e bkz.

a, b Cetvel 2'ye bkz.



Şekil 9 : Sap kereviz sulama denemesinde dekara verim ve mevcut toprak rutubeti arasındaki ilişki



Şekil 10 : Sap kereviz sulama denemesinde üç sulama muamelesi için dekara verim ile ortalama bitki su tüketimi arasındaki ilişki

Optimum sulama miktarı ve sıklığı aşağıdaki gibi tayin edilebilir :

1. Şekil 9'dan elde edilen tarla kapasitesindeki optimum toprak rutubeti $M_0 = 7,98$ cm ve maksimum verim ise $Y_0 = 19950$ TL/da'dır.

2. C_2 ekonomik kaybı aşağıdaki gibi tayin edilebilir :

$$C_2 = \frac{Y_2 - Y_0}{(M_0 - M_2)T} = \frac{19950 - 18720}{(7,98 - 4,88)90} =$$

$$\frac{1230}{3,1 \cdot 90} = 4,41 \text{ TL/cm.gün.da (26)}$$

3. Her sulamadaki TL olarak ifade edilen C_3 masrafı sulama denemelerinin su tatbikatlarından tayin edilmiştir. Üç sulama muamelesi için ortalama su tatbiki her sulama için 2,54 cm olmuştur. Su ve işçilik masrafı birlikte $0,79 \text{ TL/m}^3$ ($7,9 \text{ TL/cm.da}$) farz edilirse $C_3 = 2,54 \cdot 7,9 = 20 \text{ TL}$ olur.

4. Her sulamada tatbik edilecek su miktarı müteakip şekilde hesaplanabilir : a) Üç sulama muamelesi için ortalama günlük su tüketim miktarı Cetvel 3'ten hesaplanır ve Şekil 10'dan optimum su tüketim miktarı elde edilir; b) Her sulamadaki optimum su tatbik miktarı Eşitlik 5'ten hesaplanabilir :

$$q_0 = \sqrt{2 \gamma C_3 / C_2} = \sqrt{2 \cdot 0,53 \cdot 20 / 4,41} = \sqrt{4,84} = 2,2 \text{ cm} \quad (27)$$

Başlangıç rutubet miktarı M_i , Eşitlik 14'ten hesaplanabilir :

$$M_i = M_0 + S_0 - q_0 = 7,98 + 0 - 2,2 = 5,78 \text{ cm} \quad (28)$$

5. Optimum sulama aralığı ise

$$t_0 = q_0 / \gamma = 2,2 / 0,53 = 4,15 \text{ gün} \quad (29)$$

6. Tavsiye edilen sulama miktarı ve sıklığı : $q_0 = 2,2 \text{ cm}$ ve $t_0 = 4 \text{ gün}$. Sulama, tansiyometre okuması 25 (toprak rutubet karakteristik eğrisinden elde edilen) olduğunda tatbik edilir.

ÖZET VE SONUÇLAR

1. Bu araştırma küçük olarak tutulan bir sulama aralığında toprak rutubetinin azalmasının sabit olacağı varsayımına dayanılarak yapılmıştır. Aynı zamanda verilen bir bitki için toplam yetiştirme mevsimi boyunca sulama aralığının da sabit olduğu farz edilmiştir. Bu ise sabit bir evapotranspirasyonun varsayıldığı anlamına gelir.

2. Optimum sulama miktarının ve aralığının çözümleri, sulama, denemelerinden hesaplanan masraf fonksiyonları olan C_1 , C_2 ve C_3 'ün sabit olduğu basitleştirilmiş modele dayanılarak tayin edilmiştir.

3. Eğer C_1 , C_2 ve C_3 fonksiyonları q ve S 'nin fonksiyonları olarak daha hassas bir şekilde ifade edilebilirse ve evapotranspirasyon miktarı da bitkinin yetiştirme mevsiminin kademelerine göre tayin edilebilirse geliştirilmiş model ıslah edilebilir.

4. Optimum toprak rutubeti toplam yetiştirme mevsimi boyunca (ekimden hasada kadar veya dikimden hasada kadar) sabit olarak kabul edilmektedir. Eğer kök bölgesi derinliği sabit farz edilmezse bitkinin farklı yetiştirme devreleri için farklı optimum toprak rutubetleri olabilir. Geliştirilmiş modelin tadil edilmesi için ilâve araştırma yapmak gereklidir.

5. Sulama denemelerinde toprak rutubet durumunu ölçmek için tansiyometreler kullanılmıştır. Bu araştırmada günlük okumalar yapılmıştır. Verilen bir noktadaki toprak rutubetini ölçen tansiyometreden okunan değer, bütün bir kök bölgesindeki rutubet durumunu göstermede kullanılmıştır. Toprak rutubet tansiyonunu önceden tayin edilmiş bir aralıkta tutmak oldukça güç olmaktadır. Daha ileri çalışmalarda, kök bölgesinde rutubet tayininde daha hassas teknikler kullanılmalıdır.

6. Toprak rutubet karakteristik eğrisinin adsorpsiyon ve desorpsiyon durumlarının farklılığı küçük ve ihmal edilebilir farz edilmiştir. Bu ise sulama muamelesi için toprak rutubetinin kontrol edildiği aralığın küçük olması durumunda doğru olmaktadır.

7. Kök bölgesindeki toprağın su tutma kapasitesine ait bilgiye ilâveten, C_1 , C_2 ve C_3 masrafları sulama miktarını ve aralığını tayin eden başlıca faktörlerdir. Eğer C_1 ve C_2 'ye göre C_3 nispeten küçük ise sulama daha sık olarak tatbik edilmelidir. C_1 ve C_2 , C_3 'e göre küçük ise toprak maksimum su tutma kapasitesine kadar sulanmalıdır; yani daha seyrek olarak sulanmalı ve her sulamada maksimum su tatbik edilmelidir.

8. Bu analiz göze çarpar bir yağışın beklenmediği bölgeler için yapılmaktadır. Sulamanın topraktaki rutubeti artırmak için tek kaynak olduğu sera sulamasında, sulamanın katı olarak programlanması bu metoda göre yapılabilir. Göze çarpan bir yağışın beklendiği yerlerde, etkili yağış belirlenebildiği müddetçe bu genel yaklaşık metot uygulanabilir.

EK I — SEMBOLLER

Bu makalede aşağıdaki semboller kullanılmıştır :

C_f : sulama ekipmanının sabit ve çalışma masrafı (TL);

C_L : işçilik masrafı (TL/da);

C_w : su masrafı (TL/m³ veya TL/da. cm);

C_1 : optimum toprak rutubetinin yukarıdaki toprak rutubetinden dolayı meydana gelen ekonomik kayıp (TL/da.cm.gün);

C_2 : optimum toprak rutubetinin aşağıdaki toprak rutubet noksanlığından dolayı meydana gelen ekonomik kayıp (TL/da.cm.gün);

C_3 : her sulamadaki su ve işçilik masrafı (TL/da);

d : etkili yağışı da içerisine almak üzere kullanılan toplam su miktarı (cm);

M : kök bölgesindeki toprak rutubeti (cm);

M_i : sulama tatbikatından önceki başlangıç toprak rutubeti (cm);

M_o : kök bölgesindeki optimum toprak rutubeti (cm);

M_1 : bitkinin C_1 ekonomik kaybına uğradığı ortalama toprak rutubeti (cm);

M_2 : bitkinin C_2 ekonomik kaybına uğradığı ortalama toprak rutubeti (cm);

q : her sulamada tatbik edilen su miktarı (cm);

q_o : optimum q miktarı (cm);

S : toprak rutubetinin optimum toprak rutubetinden maksimum ayrılma miktarı (cm);

S_o : optimum S miktarı (cm);

T : zaman (gün);

t : sulama aralığı (gün);

t_0 : optimum sulama aralığı (gün);

t_1 : toprak rutubetinin M_0 'un yukarısında bulunduğu zaman aralığı (gün);

t_2 : toprak rutubetinin M_0 'un aşğısında bulunduğu zaman aralığı (gün);

Y : sulama denemelerinin dekara verimi (TL/da);

Y_0 : optimum Y miktarı (TL/da);

Y_1 : bitkilerin C_1 ekonomik kaybına uğramasından sonraki dekara verim (TL/da);

Y_2 : bitkilerin C_2 ekonomik kaybına uğramasından sonraki dekara verim (TL/da);

γ : evapotranspirasyon (cm/gün).