

Farklı Sulama Yöntemlerinde Elma Ağaçlarının Su Tüketimi*

A.İlhami KÖKSAL¹Osman YILDIRIM²Hatice DUMANOĞLU¹Abdullah KADAYIÇI³Nurdan GÜNEŞ¹

Geliş Tarihi : 08.11.1999

Özet : Bu çalışmada, 1993-1995 yılları arasında, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde bulunan elma bahçesinde, Starkspur Golden Delicious çeşidi elma ağaçları, damla, ağaç altı mikro yağmurlama ve yüzey sulama yöntemleri ile sulanmış, on günlük periyotlar için bitki su tüketimleri ölçülmüş, ölçülen değerler bazı su tüketimi tahmin eşitlikleri ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçta, yüzey sulama yöntemine oranla, damla sulamada % 17.2-29.3 (ort. % 23) ve ağaç altı mikro yağmurlama sulamada % 8.0-18.1 (ort. % 13) kadar daha düşük su tüketimleri elde edilmiştir. Genel olarak, Radyasyon (FAO) yönteminin daha sağlıklı bitki su tüketimi tahminleri verdiği bulunmuştur. Solar radyasyon değerlerinin bulunmadığı koşullarda bitki su tüketiminin Hargreaves yöntemiyle hesaplanması önerilmiştir. Bu yöntemlere ilişkin bitki katsayıları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Elma ağacı, damla sulama, ağaç altı mikro yağmurlama sulama, yüzey sulama, bitki su tüketimi

Evapotranspiration of Apple Trees for Different Irrigation Methods

Abstract : In this study, Starkspur Golden Delicious apple trees, in the apple orchard of the Research and Application Farm of Agricultural Faculty, University of Ankara, were irrigated by drip, under-tree micro sprinkler, and surface methods during the years between 1993 and 1995. The decade evapotranspiration values were measured and these values were compared with the values calculated by some estimating methods of evapotranspiration. As a result, the measured evapotranspiration values were lower 17.2-29.9 % (avg. 23 %) in drip irrigation and 8.0-18.1 % (avg. 13 %) in under-tree micro sprinkler irrigation than those in surface irrigation. Radiation (FAO) method gave more suitable estimation of evapotranspiration. Hargreaves method was suggested to calculate evapotranspiration when solar radiation data were not available. Crop coefficients for these estimation methods were given.

Key Words : Apple trees, drip irrigation, under-tree micro sprinkler irrigation, surface irrigation, evapotranspiration

Giriş

Bitki yapraklarından olan terleme ve toprak yüzeyinden olan buharlaşmanın toplamı biçiminde tanımlanan bitki su tüketimi, doğrudan ölçülebildiği gibi, iklim verilerinden yararlanarak geliştirilen bazı yöntemlerle de tahmin edilebilmektedir. Bitki su tüketiminin ölçülmesi zaman aldığından ve pahalı olduğundan, sulama projelerinde ve sulama zamanının planlanmasında, genellikle, su tüketimi tahminleri kullanılmaktadır. Bitki su tüketiminin doğrudan arazide ölçülmesi ise, yöre koşullarına uygun su tüketimi tahmin yöntemlerinin saptanması ya da geliştirilmesi ve bu yöntemlere ilişkin bitki katsayılarının kalibrasyonu amacıyla yapılmaktadır (Burman ve ark. 1983).

İklim verilerinden yararlanarak bitki su tüketiminin tahmini amacıyla, birçok araştırmacı tarafından sayısız empirik eşitlik geliştirilmiştir. Bu eşitliklerin bazıları, su tüketimine etkili birçok iklim elemanını kapsayan nispeten daha karmaşık eşitliklerdir ve günlük, haftalık, on günlük gibi kısa periyotlar için yeterli sağlıkta su tüketimi tahminleri vermektedirler (Jensen ve ark. 1990).

İklim verilerine dayalı bitki su tüketimi tahmin yöntemlerinin belli başlıları Doorenbos ve Pruitt (1977) ile Jensen ve ark.'da (1990) toplanmıştır. Bu yöntemlerde yaygın olarak izlenen yol, önce, belirli koşulları yansıtan çayır bitkileri ya da yonca için kıyas ya da potansiyel bitki su tüketimlerini (ET_0 , ET_p) tahmin etmek, sonra, bu değerleri, kullanılan tahmin yöntemi ve göz önüne alınan bitkiye özgü bitki katsayısı (k_c) ile düzelterek bitki su tüketimlerini elde etmektir ($ET=k_c ET_0$ ya da $ET=k_c ET_p$).

Bitki su tüketimi tahmin yöntemleri, geliştirildikleri bölgeden farklı iklim koşullarına sahip bölgelerde, yöresel kalibrasyonları yapılmamışsa, genellikle sağlıklı sonuç vermemektedirler (Cristiansen 1968, Jensen ve ark. 1990). Hatta, aynı bölgede bitki cinsi değişikliğinde yararlanılacak yöntem de farklı olabilmektedir. Bu nedenle, birçok araştırmacı, farklı bölgelerde kullanılacak tahmin yöntemlerini ortaya koyabilmek amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Örneğin, Güney Florida'da U.S. Weather Bureau yönteminin (Stephens ve Stewart 1963), Indiana'da uzun periyotlar ve yüksek buharlaşma koşulları

* Bu çalışma, TÜBİTAK (TOAG-901), DPT ve Ankara Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen araştırma projesinin bir bölümünden özetlenmiştir.

¹ Ankara Üniv. Ziraat Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü - Ankara

² Ankara Üniv. Ziraat Fak. Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü - Ankara

³ Süleyman Demirel Üniv. Teknik Eğitim Fak. Yapı Bölümü - Isparta

için su ve enerji dengesine dayalı yöntemler ile kısa periyotlar ve düşük buharlaşma koşulları için kütle transferine dayalı yöntemlerin (Ficke 1966), Nevada'da Oliver yönteminin (Behnke ve Maxey 1969), Ohio'da mısır için radyasyon ölçümlerine dayalı yöntemlerin (Parmele ve McGuinness 1974), Kuzey Tayland'ta çeltik için Penman yönteminin (Christiansen 1968), İsrailde yonca için Kap Buharlaşması yönteminin (Lomas ve Schlesinger 1970) daha sağlıklı sonuçlar verdiği bulunmuştur. Türkiye'de yapılan bazı araştırmalarda, Ankara koşullarında şeker pancarı için Jensen-Haise, Penman (FAO) ve Kap Buharlaşması (FAO), ayçiçeği, patates, yonca, mısır, fasulye ve çilek için Penman (FAO) ve Kap Buharlaşması (FAO), taze fasulye için Kap Buharlaşması (FAO), ayçiçeği için Christiansen-Hargreaves ve Jensen-Haise yöntemlerinin daha sağlıklı bitki su tüketimi tahminleri verdiği saptanmıştır (Hisarlı 1988, Akgün 1989, Yıldırım 1992, Orta 1994, Yıldırım 1994, Kadayıfçı 1996). Uzun periyotlu bitki su tüketiminin tahmini açısından, Türkiye genelinde yeterli veri sağlandığı koşullarda Penman yönteminin, aksi durumda Indeks ya da Thornthwaite yöntemlerinin kullanılması önerilmiş, bunun yanında, Eskişehir'de Blaney-Criddle, Konya'da Blaney-Criddle ve Penman, İzmir'de Christiansen ve Meyer, Adana'da Meyer yöntemlerinin, Türkiye genelinde meyve ağaçları için ise Penman yönteminin kullanılabilirliği belirlenmiştir (Obalar 1968, Benli 1980, Benli ve Kodal 1980, Kodal 1991). Çukurova Bölgesi ve benzer iklim koşulları için Radyasyon, Blaney-Criddle ve Hargreaves yöntemleri, yine Çukurova'da pamuk için Blaney-Criddle, Hargreaves ve Penman yöntemleri önerilmiştir (Tekinel ve Kanber 1981). Bitki su tüketimi tahmin eşitlikleri, çoğunlukla, alanın tamamının ıslatıldığı koşullar için geliştirilmiştir. Oysa, alanın belirli kesiminin ıslatıldığı damla ve ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemlerinde, toprak yüzeyinden olan buharlaşma miktarı ve dolayısıyla da bitki su tüketimi daha düşük olmaktadır (Goldberg ve ark. 1976). Her ne kadar, damla sulama yönteminde, amprik eşitliklerle tahmin edilen bitki su tüketimi, gölgelenen alan yüzdesi ile düzeltilse de (Yıldırım 1996), bu yaklaşımın sağlıklı olduğunu söylemek güçtür. Bu nedenle, bitki su tüketimi tahmin yöntemlerinin damla ve ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemleri için de ayrıca kalibrasyonuna gerek vardır.

Bu çalışmada, damla, ağaçaltı mikro yağmurlama ve yüzey sulama yöntemleri ile sulanan Starkspur Golden Delicious çeşidi elma ağaçlarının on günlük periyotlardaki su tüketimleri ölçülmüş, bazı tahmin yöntemleri ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılarak uygun bitki su tüketimi tahmin yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun yanında, seçilen tahmin yönteminde elma ağaçlarına ilişkin K_c bitki katsayıları verilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, 1993-1995 yılları arasında, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde, 30 da büyüklüğündeki elma bahçesinde yürütülen "Bodur Elma Çeşitlerinde Farklı Sulama Yöntemi ve Sulama Suyu Miktarlarının Gelişme, Verim ve

Kaliteye Etkisi" isimli araştırma projesinin bir bölümünü oluşturmaktadır (Köksal ve ark. 1996). Su tüketimi ölçmeleri, yalnızca, sözü edilen bahçe içerisinde, Starkspur Golden Delicious çeşidi elma ağaçlarının bulunduğu 5 da büyüklüğündeki alanda, damla (D), ağaç altı mikro yağmurlama (Y) ve her ağacın altına açılan çanaklarda göllendirme biçimindeki yüzey (G) sulama yöntemlerinin uygulandığı deneme parsellerinde yapılmıştır. Ağaçlar, çöğür anaçlar üzerine aşılandır ve 1985 yılında 3x4 m sıra üzeri ve sıra arası olacak biçimde dikilmiştir. Bahçe, deneme başlangıcına kadar yüzey sulama yöntemi ile sulanmıştır.

Araştırma alanı, 39°36' enlemi ile 32°40' boyları üzerindedir. Denizden yükseklik 1050 m'dir. Uzun yıllar ortalaması yıllık sıcaklık 9.5 °C, bağıl nem % 65.2, rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri 2.1 m/s, güneşlenme süresi 7.1 h/gün ve yıllık toplam yağış 385.3 mm'dir. Bu iklim elemanlarının Nisan-Eylül ayları arasındaki uzun yıllara dayalı ortalamaları ise, sırasıyla, 16.4 °C, % 57.4, 2.5 m/s, 9.7 h/gün ve 162.6 mm'dir. Çiftlikte, ilkbahar geç donları Nisan ayı sonlarında, sonbahar ilk donları ise Ekim ayı ortalarında meydana gelmektedir. Denemelerin yürütüldüğü 1993-1995 yılları Mayıs-Eylül ayları arasındaki bazı iklim elemanlarının on günlük ortalamaları Çizelge 1'de verilmiştir.

Araştırma alanı toprakları, kil bünyeye sahip derin topraklardır. Ağaçların normal gelişmesini sınırlayan herhangi bir taban suyu, tuzluluk ve sodyumluluk gibi sorunlar bulunmamaktadır. Sulama açısından önemli olan bazı toprak fiziksel özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

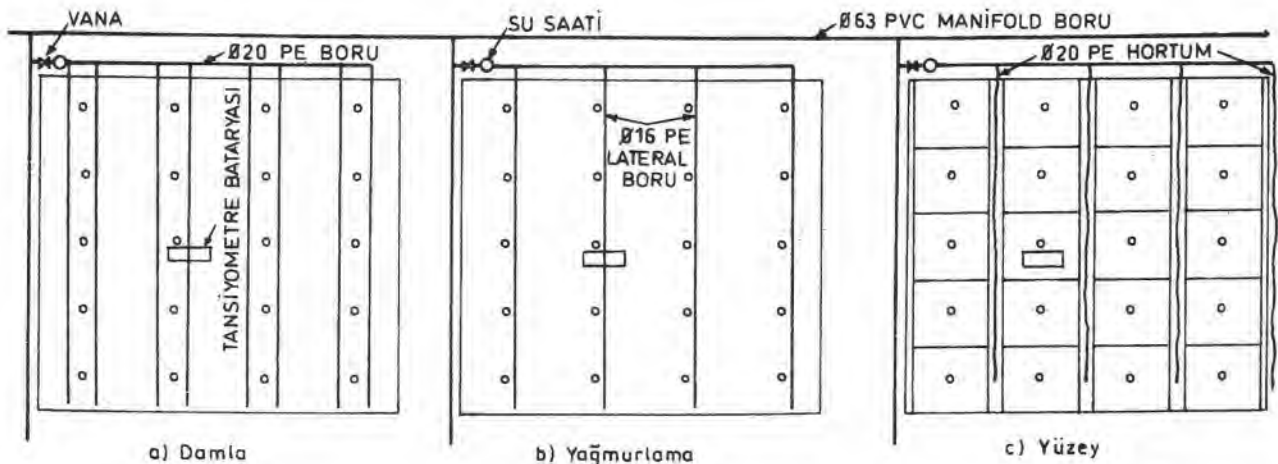
Damla (D), ağaç altı mikro yağmurlama (Y) ve yüzey (G) sulama yöntemlerine ilişkin deneme parsellerinin ayrıntısı Şekil 1' de verilmiştir. Şekilden izleneceği gibi, her deneme parselinde 4 ağaç sırası ve toplam 20 ağaç bulunmaktadır. Damla sulama parsellerinde, her ağaç sırasına, 16 mm dış çaplı yumuşak PE borulardan oluşan iki adet lateral boru hattı 0.75 m ara ile döşenmiştir. Lateral boru üzerine 0.75 m ara ile 1 atm ve daha yüksek basınçta 4 L/h debiye sahip, kendinden basınç düzenleyicili, lateral üzerine geçik (on-line) fipte damlatıcılar monte edilmiştir. Ağaç altı mikro yağmurlama sulama parsellerinde, her ağaç sırasına 16 mm dış çaplı yumuşak PE lateral boru hattı döşenmiş ve her ağacın altına, 1.5 atm ve daha yüksek işletme basıncında 30 L/h debiye ve 3 m ıslatma çapına sahip, kendinden basınç düzenleyicili bir adet küçük yağmurlama başlığı yerleştirilmiştir. Yüzey sulama parsellerinde, her ağacın altına, tabanı eğimsiz küçük tava (çanak) açılmış ve her ağaç sırasına, 20 mm dış çaplı PE hortum yerleştirilmiştir. Her ağaç sırasında, hortum ile bir çanakta yeterli su göllendirildikten sonra diğer çanağa su uygulanmıştır. Tüm deneme parsellerinde, ağaç sıraları boyunca döşenen lateral borular, 20 mm dış çaplı PE boru hatları ile, meyve bahçesinde kurulmuş olan basınçlı sulama sistemine ait, 63 mm dış çaplı sert PVC borulardan oluşan gömülü manifold boru hattına bağlanmıştır. Her parsel başında 3/4" küresel vana ve 3/4" su saati bulunmaktadır. Elma bahçesinin tamamına kurulan

Çizelge 1. Araştırma alanına ilişkin 1993-1995 yılları bazı iklim elemanlarının on günlük ortalamaları

Yıllar	İklim elemanları	Mayıs			Haziran			Temmuz			Ağustos			Eylül			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1993	Yağış (mm)	-	-	7.0	3.0	8.0	-	-	-	-	-	-	3.0	7.4	-	-	-
	Sıcaklık (°C)	-	-	11.8	15.0	17.4	20.2	19.3	20.0	22.7	21.4	19.7	22.5	17.3	21.1	15.1	-
	Bağıl nem (%)	-	-	73.0	73.0	74.0	64.0	62.0	62.0	58.0	73.0	70.0	61.0	70.0	62.0	67.0	-
	Rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri (m/s)	-	-	2.1	2.1	1.8	2.1	2.1	2.1	2.0	2.3	2.5	1.8	2.3	2.0	2.1	-
	Güneşlenme süresi (h)	-	-	10.7	9.9	9.5	12.4	12.2	13.0	12.3	12.1	9.9	11.0	10.9	10.2	9.0	-
	A sınıfı kaptan olan buharlaşma (mm)	-	-	5.1	4.4	5.1	6.7	7.2	6.7	8.0	9.2	5.7	8.2	7.4	7.6	4.7	-
	1994	Yağış (mm)	6.5	25.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sıcaklık (°C)	9.0	-	14.3	16.7	18.6	19.0	22.5	21.8	21.4	20.4	23.1	20.5	20.2	24.0	18.8		
Bağıl nem (%)	19.7	-	-	69.4	62.1	6.8	59.0	62.8	61.8	62.4	59.6	74.7	64.9	59.2	69.4		
Rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri (m/s)	75.5	70.7	67.5	-	-	-	2.7	2.4	1.8	1.8	2.3	2.0	2.0	2.0	2.1		
Güneşlenme süresi (h)	2.7	2.3	2.0	12.2	12.3	12.5	12.5	10.0	11.5	10.5	11.6	11.0	11.0	9.4	8.6		
A sınıfı kaptan olan buharlaşma (mm)	6.2	8.9	12.3	7.4	6.8	9.2	9.7	8.1	8.3	7.4	8.7	7.0	7.2	8.1	5.4		
1995	Yağış (mm)	46.0	5.2	-	17.4	-	-	12.2	48.5	6.0	2.0	-	-	2.4	-	-	
Sıcaklık (°C)	8.8	15.8	20.0	18.0	21.0	20.9	19.1	19.3	19.4	22.9	21.1	20.4	19.1	18.2	14.9		
Bağıl nem (%)	76.2	66.4	69.7	71.4	68.0	67.8	77.2	71.3	68.5	64.8	65.1	69.4	70.6	69.3	71.6		
Rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri (m/s)	2.0	1.8	2.1	1.8	2.1	2.5	2.1	1.8	2.3	2.0	2.0	2.3	2.4	2.1	2.1		
Güneşlenme süresi (h)	8.0	10.7	10.8	9.1	12.7	10.9	10.1	7.9	10.6	10.5	11.6	11.0	10.2	9.7	7.7		
A sınıfı kaptan olan buharlaşma (mm)	2.1	5.6	6.4	4.7	6.4	6.7	5.7	4.5	7.4	8.0	7.9	7.3	7.3	6.3	3.8		

Çizelge 2. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel özellikleri

Profil derinliği (cm)	Bünye sınıfı	Hacim ağırlığı (g/cm ³)	Tarla kapasitesi (%) (mm)	Solma noktası (%) (mm)	Kullanılabilir su tutma kapasitesi (%) (mm)
0-30	C	1.33	33.8 134.9	21.0 83.8	12.8 51.1
30-60	C	1.25	34.4 129.0	21.9 82.1	12.5 46.9
60-90	C	1.28	34.1 130.9	22.5 86.4	11.6 44.5
90-120	C	1.23	35.1 129.5	21.6 79.7	13.5 49.8
120-150	C	1.20	34.9 125.6	21.5 77.4	13.4 48.2
0-120			524.3	332.0	192.3
0-150			649.9	409.4	240.5



Şekil 1. Deneme parsellerinin ayrıntısı

basıncı sulama sistemine su, çiftlikteki su dağıtım ağına ait olan ve bahçenin başından geçen basınçlı boru hattı üzerindeki hidranttan alınmıştır. Hidrant çıkış basıncı 2.5 atm ve debisi 5 L/s dir. Ana boru başlangıcında, sırasıyla, hidrosiklon, kum-çakıl filtre tankı, gübre tankı ve 120 mesh elek filtreden oluşan bir kontrol birimi bulunmaktadır. Su, buradan gömülü ana ve manifold boru hatlarına iletilmektedir. Her manifold boru hattı girişinde, hava boşaltma aracı, manometre ve vana bulunmaktadır. Çiftlikte kullanılan sulama suyu kalite sınıfı C₂S₁ dir.

Toprak nemi, ± 3 mb duyarlılıkta elektronik sayısal tansiyometre ile ölçülmüştür. Bu amaçla, her deneme parseline bir tansiyometre bataryası kurulmuştur. Her bataryada, 0-30, 30-60, 60-90, 90-120 ve 120-150 cm toprak katmanlarına tansiyometre tüpü yerleştirilmiştir. Toprak nemini ölçmek için, tansiyometre kablosunun ucundaki duyarlı iğne, tüp üzerindeki lastik contaya batılarak tüp ile irtibatlandırılmış ve toprak rutubet gerilimi (matrik tansiyon) mb cinsinden doğrudan okunmuştur. Okunan değer, denemelere başlamadan önce, Kırdı ve Tekin'e (1981) verilen illelere göre hazırlanmış kalibrasyon eğrisinde yerine konarak (Şekil 2), kuru ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerine çevrilmiştir. Üst toprak katmanının kuru olduğu koşullarda, 0-30 cm derinlikteki toprak nemi gravimetrik yöntemle saptanmıştır.

Sözü edilen araştırma projesinde, ağaç gelişmesi, verim ve kalite parametreleri açısından en iyi sonucun alındığı sulama programlarına uygun sulama yapılmıştır. Başka bir anlatımla, damla sulama parsellerinde 120 cm toprak derinliğindeki kullanılabilir su tutma kapasitesinin yaklaşık % 30'u tüketildiğinde (özellikle 30-60 cm ve 60-90 cm toprak katmanlarına yerleştirilen tansiyometre tüplerinde -80 ile -100 mb arasında değer okunduğunda), ağaç altı mikro yağmurlama ve yüzey sulama yöntemlerinde ise yaklaşık % 50'si tüketildiğinde (-130 ile -150 mb arasında değer okunduğunda) sulamaya başlanmıştır (Köksal ve ark. 1999). Toprak nemi ölçmeleri, bir sulamadan sonra ikinci günden başlayarak her gün yapılmış ve diğer sulamaya kadar sürdürülmüştür.

Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı,

$$d = \frac{(TK - MR)}{100} \gamma_t DP \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte;

d = Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı, mm,

TK = Tarla kapasitesi, %,

MR = Ölçülen nem miktarı, %,

γ_t = Hacim ağırlığı, g/cm³,

D = İslatılacak toprak derinliği, mm ve

P = İslatılan alan oranıdır.

Hesaplamalar, 120 cm derinliğe kadar her 30 cm toprak katmanı için ayrı yapılmış ve elde edilen değerler toplanmıştır. Eşitlikteki ıslatılan alan oranları, sistem tertip biçimine bağlı olarak, damla sulamada 0.375, ağaç altı mikro yağmurlama sulamada 0.589 ve yüzey sulamada 1.000 alınmıştır. Derinlik (mm) cinsinden elde edilen

sulama suyu miktarı, parsel alanı (240 m²) ile çarpılarak hacim (L) cinsine çevrilmiş ve parsel başlangıcındaki su saatinden denetlenerek uygulanmıştır.

Bitki su tüketimi ölçmeleri günlük (sulama ya da yağıştan sonra 2 gün ölçme yapılmamıştır) periyotlar için yapılmış ve toplanarak on günlük periyottaki su tüketimi değerleri elde edilmiştir. Bu ölçmelerde, derine sızabilecek nem miktarını da değerlendirebilmek için, 150 cm toprak derinliğindeki nem değişimleri dikkate alınmıştır. Bu amaçla, periyot başlangıcındaki nem miktarına, varsa periyot boyunca oluşan yağış ve uygulanan sulama suyu miktarı eklenmiş ve toplamdan periyot sonundaki nem miktarı çıkarılmıştır (Jensen ve ark. 1990).

$$ET = d_1 + I + d - d_2 \quad (2)$$

Eşitlikte;

ET = Bitki su tüketimi, mm,

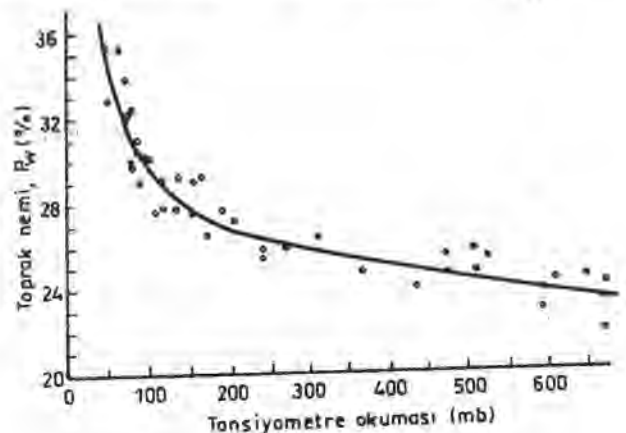
d₁ = Periyot başlangıcındaki toprak nemi, mm/150 cm,

I = Yağış, mm,

d = Uygulanan sulama suyu miktarı, mm ve

d₂ = Periyot sonundaki toprak nemi, mm/150 cm'dir.

On günlük periyotlar için ölçülen bitki su tüketimleri, Çizelge 1'deki iklim elemanlarından yararlanarak, bazı bitki su tüketimi tahmin yöntemleri ile hesaplanan kıyas ya da potansiyel bitki su tüketimleri ile karşılaştırılmıştır. Araştırmada, göz önüne alınan bitki su tüketimi tahmin yöntemleri, ayrıntıları Doorenbos ve Pruitt (1977), Jensen ve ark. (1990) ve Smith'te (1991) verilen Blaney-Criddle (BC-FAO), Radyasyon (R-FAO), Kap Buharlaşması (A-FAO) yöntemlerinin FAO modifikasyonları ile Penman-Monteith (P-M), Jensen-Haise (J-H), Hargreaves (H) ve Christiansen-Hargreaves Kap Buharlaşması (A-CH) yöntemleridir. Damla, ağaç altı mikro yağmurlama ve yüzey sulama parsellerinde on günlük periyotlarda ölçülen bitki su tüketimleri, her sulama yöntemi için ayrı olmak üzere, sözü edilen tahmin yöntemleri ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılmış ve araştırma koşullarına en uygun tahmin yöntemi saptanmaya çalışılmıştır.



Şekil 2. Tansiyometre kalibrasyon eğrisi

Bu amaçla, üç parametre göz önüne alınmıştır. Bunlar, ölçülen bitki su tüketimleri ile tahmin edilen kıyas ya da potansiyel su tüketimleri arasındaki ilişkinin korrelasyon katsayısı (r), kullanılan su tüketimi tahmin eşitliğinin ölçülen su tüketimini mevsimlik karşılama yüzdesi (% ET) ve hata kareler ortalamasıdır (RMS). Hata kareler ortalaması;

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum D^2}{n}} \quad (3)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte;

RMS = Hata kareler ortalaması,

$\sum D^2$ = Ölçülen ve tahmin edilen su tüketimleri

arasındaki farkların karelerinin toplamı ve

n = Gözlem sayısıdır.

Söz konusu edilen korrelasyon katsayısı 1'e ve mevsimlik bitki su tüketimini karşılama yüzdesi % 100'e en yakın, ayrıca, hata kareler ortalaması en küçük olan bitki su tüketimi tahmin yönteminin, araştırma koşulları için daha sağlıklı sonuç verdiği yaklaşımları yapılmıştır. Ayrıca, önerilen bitki su tüketimi tahmin yöntemine ilişkin bitki katsayısı eğrileri hazırlanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Deneme yıllarında, on günlük periyotlar için, ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile göz önüne alınan tahmin yöntemleri ile hesaplanan kıyas ya da potansiyel bitki su tüketimi değerlerinin günlük ortalamaları ve mevsimlik toplamları Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelgeden izleneceği gibi, ölçülen bitki su tüketimi değerleri, damla sulamada 2.3-6.7 mm/gün ve 697.9-851.8 mm/mevsim, ağaç altı mikro yağmurlama sulamada 3.3-8.7 mm/gün ve 821.8-908.5 mm/mevsim, yüzey sulamada ise 3.4-9.1 mm/gün ve 987.4-1028.6 mm/mevsim arasında değişmiştir. Mevsimlik toplam bitki su tüketimi açısından, yüzey sulama yöntemine oranla, damla sulamada % 17.2-29.3 (ort. % 23) ve ağaç altı mikro yağmurlama sulamada ise % 8.0-18.1 (ort. % 13) arasında değişen daha düşük değerler ölçülmüştür. Ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemine oranla, damla sulamada bu değerler % 5.0-23.2 (ort. % 11) kadar daha az olmuştur. Bitki su tüketimi üzerinde etkili olan iklim elementlerinin yıldan yıla ve büyüme mevsimi boyunca farklılık göstermesi, ayrıca, ıslatılan alan oranının damla sulamadan yüzey sulamaya doğru artması nedenleri ile, elde edilen bu sonuçlar doğal karşılanabilir.

Uygun bitki su tüketimi tahmin yöntemini saptamak amacıyla, göz önüne alınan parametrelere ilişkin sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelgeden izleneceği gibi, damla sulama yöntemi göz önüne alındığında, hata kareler ortalaması 0.917 ile en düşük ve su tüketimini mevsimlik karşılama yüzdesi % 93.1 ile % 100'e en yakın olduğundan, bunların yanında, ölçülen ve tahmin edilen bitki su tüketimleri arasındaki ilişkiye ait korrelasyon katsayısı 0.656 ile en yüksek değerde olmasa da iyi bir ilişkiyi gösterdiğinden, Hargreaves yönteminin en sağlıklı tahmin verdiği söylenebilir. Benzer biçimde, ağaç altı

mikro yağmurlama ve yüzey sulama yöntemleri için, en iyi bitki su tüketimi tahminlerinin Radyasyon yönteminin FAO modifikasyonu ile elde edileceği yorumu yapılabilir. Ancak, uygulamada, farklı sulama yöntemleri için değişik bitki su tüketimi tahmin eşitliklerinin kullanılması pek uygun olmayacağından, genel bir değerlendirme yapılırsa, Radyasyon yönteminin FAO modifikasyonunda, hata kareler ortalaması 1.215 ile en düşük ve su tüketimini mevsimlik karşılama yüzdesi % 103.5 ile % 100'e en yakın değerde bulunmuştur. Ayrıca, ölçülen ve tahmin edilen bitki su tüketimleri arasındaki ilişkiye ait korrelasyon katsayısı da 0.612 ile iyi bir ilişkiyi göstermektedir. Bu nedenlerle, denemenin yürütüldüğü iklim koşullarında, elma ağaçları su tüketiminin belirlenmesinde, Radyasyon yönteminin FAO modifikasyonu ile en sağlıklı tahmin yapılacağı söylenebilir. Ancak, bu su tüketimi tahmin yöntemi için solar radyasyon (güneş ışınları şiddeti) verilerine gerek vardır ve solar radyasyon her iklim istasyonunda ölçülmemektedir. Solar radyasyon verilerinin sağlanmadığı koşulda, su tüketimi tahminlerinde, Radyasyon yöntemi dışında bir diğer yöntem önerilmeye çalışılırsa, Çizelge 4' ten izleneceği gibi, en düşük hata kareler ortalaması 1.434 ile Jensen-Haise yönteminde, su tüketimini mevsimlik karşılama yüzdesinin % 100'e en yakın değeri % 107.9 ile Christiansen-Hargreaves Kap Buharlaşması yönteminde ve ölçülen-tahmin edilen su tüketimleri arasındaki ilişkiye ait en yüksek korrelasyon katsayısı 0.642 ile Hargreaves yönteminde elde edilmiştir. Bu üç yöntem arasında bir seçim yapmak gerekirse, su tüketimini mevsimlik karşılama yüzdesi % 82.4 ile düşük değerde görülse de, en yüksek korrelasyon katsayısına sahip olması, bunun yanında, 1.629 biçiminde elde edilen hata kareler ortalamasının nispeten düşük olması nedenleri ile Hargreaves yönteminin daha sağlıklı su tüketimi tahminleri vereceği söylenebilir.

Sonuç olarak, bu çalışmada, denemenin yürütüldüğü iklim koşulları için, elma ağaçları su tüketiminin tahmininde Radyasyon yöntemi FAO modifikasyonunun kullanılabilirliği, solar radyasyon (güneş ışınları şiddeti) verilerinin sağlanmadığı koşulda ise Hargreaves yönteminden yararlanılabileceği bulunmuştur. Bu iki bitki su tüketimi tahmin yöntemi için, farklı sulama yöntemlerinde, deneme koşulları için elde edilen elma ağaçlarının bitki katsayısı eğrileri Şekil 3'te verilmiş, bitki katsayılarının aylık ortalamaları ise Çizelge 5'te özetlenmiştir. Çizelgeden izleneceği gibi, Radyasyon yöntemi FAO modifikasyonu için, yüzey sulama yöntemleri ile sulanan elma ağaçlarında, Mayıs-Eylül ayları arasında, aylık ortalama bitki katsayıları, sırasıyla, 0.94, 1.10, 1.18, 1.18 ve 1.11 biçiminde elde edilmiştir. Araştırmanın sürdürüldüğü iklim koşullarında, yüzey sulama yöntemlerinin uygulanması ve toprak yüzeyinin işlenerek yabancı ot kontrolünün yapılması durumunda, Radyasyon yönteminin FAO modifikasyonu için, Doorenbos ve Pruitt'te (1977) aynı aylar için verilen bitki katsayıları ise, sırası ile, 0.55, 0.80, 0.95, 0.95 ve 0.90'dır. Başka bir anlatımla, bu çalışmada, Radyasyon yönteminin FAO modifikasyonu için elde edilen bitki katsayıları, Doorenbos ve Pruitt'te (1977) verilenlere oranla, % 13.7-70.9 kadar daha yüksektir.

Çizelge 3. Ölçülen ve tahmin edilen bitki su tüketimi değerleri

Yıl	Periyot	Ölçülen bitki su tüketimi, ET (mm/gün)			Hesaplanan kıyas ya da potansiyel bitki su tüketimi, ET _o ya da ET _p (mm/gün)								
		Damla (D)	Yağmur- lama (Y)	Yüzey (G)	BC-FAO	P-FAO	R-FAO	A-FAO	P-M	J-H	H	A-CH	
1993	Mayıs 3	4.9	6.8	4.1	3.6	4.5	5.8	3.5	4.1	7.0	4.4	5.6	
	Haziran	1	4.2	5.6	6.1	3.5	4.4	5.5	3.1	4.0	6.6	4.5	4.9
		2	4.4	5.6	8.1	3.9	4.6	5.6	3.6	4.3	6.4	5.0	6.0
		3	5.4	6.1	8.7	5.3	5.6	7.4	4.4	5.4	7.9	5.7	8.0
	Temmuz	1	5.8	6.7	8.0	5.4	5.5	7.3	4.7	5.3	7.4	5.6	8.4
		2	6.3	6.3	9.1	5.7	5.8	7.8	4.3	5.6	7.7	5.8	8.0
		3	6.0	8.0	8.4	6.3	6.0	7.9	5.2	5.9	7.7	6.0	9.5
	Ağustos	1	5.9	8.7	8.9	5.6	5.5	7.1	6.0	5.4	7.0	5.7	10.9
		2	6.7	8.1	8.6	4.3	4.7	5.9	3.8	4.5	6.2	4.8	6.6
		3	5.9	8.1	8.2	5.7	5.4	6.9	5.4	5.3	6.9	5.3	10.0
	Eylül	1	5.8	7.9	7.1	3.8	4.1	5.4	5.0	3.9	5.9	4.2	8.8
		2	4.6	6.1	6.4	4.7	4.5	5.7	5.0	4.5	5.7	4.6	9.0
		3	2.3	5.0	4.5	3.2	3.6	4.6	3.2	3.4	5.4	3.5	5.2
	Toplam (mm/mevsim)	697.9	908.5	987.4	508.6	657.9	849.6	586.1	631.3	899.6	666.7	1034.1	
1994	Mayıs 1	3.2	3.1	4.5	2.0	3.1	3.7	2.1	2.7	5.1	3.2	2.3	
	2	3.2	4.3	5.2	3.2	4.0	5.0	3.4	3.7	6.6	4.3	4.0	
	3	4.6	6.5	6.2	4.5	5.2	6.8	5.2	5.0	6.9	5.6	7.0	
	Haziran	1	4.3	5.9	7.0	4.2	5.0	6.7	4.9	4.7	7.6	5.0	6.3
		2	4.8	5.3	8.4	4.9	5.3	7.2	4.5	5.2	8.2	5.5	5.8
		3	5.1	6.7	8.2	5.0	5.4	7.3	6.1	5.2	7.2	4.8	8.1
	Temmuz	1	5.4	5.6	7.9	5.9	5.9	7.7	6.3	5.7	7.7	6.1	8.9
		2	5.9	6.9	6.6	5.1	5.4	6.7	5.2	5.3	7.2	5.6	6.9
		3	6.3	6.3	7.8	5.0	5.4	6.9	5.6	5.2	6.7	5.6	7.4
	Ağustos	1	6.3	6.7	7.5	4.7	5.0	6.4	4.9	4.8	6.6	5.1	6.5
		2	5.7	5.8	7.6	5.7	5.6	7.2	5.6	5.5	7.4	5.5	7.9
		3	5.4	5.7	6.4	5.1	5.1	6.6	4.6	5.0	6.2	4.8	6.2
	Eylül	1	5.5	4.9	6.9	4.4	4.5	5.8	4.7	4.3	6.1	4.6	6.6
		2	5.6	4.0	5.3	5.0	4.7	5.7	5.2	4.7	5.9	4.8	7.2
3		5.2	3.3	3.4	3.5	3.9	4.7	3.7	3.7	4.8	3.8	4.8	
Toplam (mm/mevsim)	777.3	821.8	1003.7	696.6	750.7	964.3	735.4	722.2	1021.8	759.0	979.6		
1995	Mayıs 1	3.4	3.4	3.4	2.2	3.3	4.1	1.4	2.9	5.8	3.0	1.6	
	2	3.6	3.6	3.6	3.8	4.5	5.9	3.8	4.2	6.6	4.5	4.8	
	3	4.5	5.3	6.9	4.6	5.1	6.4	4.3	4.9	6.4	5.6	5.8	
	Haziran	1	6.1	6.3	7.6	4.0	4.6	5.6	3.2	4.3	6.4	5.1	4.1
		2	6.3	6.8	7.8	5.4	5.7	7.5	4.3	5.6	7.5	5.8	6.0
		3	6.6	7.0	7.9	5.0	5.4	6.8	4.4	5.2	6.5	5.6	5.9
	Temmuz	1	6.4	6.8	7.5	4.3	4.9	6.2	3.8	4.6	6.7	5.3	5.1
		2	6.1	6.5	8.0	3.9	4.6	5.5	3.0	4.3	5.6	5.0	3.9
		3	6.0	6.8	7.4	4.6	5.1	6.5	4.9	4.9	6.3	5.1	6.5
	Ağustos	1	6.1	6.6	7.5	5.1	5.3	6.8	5.3	5.2	6.9	5.6	7.5
		2	6.6	6.3	7.5	5.2	5.3	6.8	5.2	5.1	6.7	5.3	7.3
		3	6.5	6.2	7.2	4.6	4.9	6.2	4.9	4.8	6.0	4.9	6.6
	Eylül	1	6.0	6.3	6.8	4.0	4.2	5.3	4.9	4.1	5.7	4.4	6.6
		2	5.4	5.6	6.4	3.5	3.9	5.0	5.3	3.7	5.3	4.0	5.6
3		4.1	4.4	5.2	2.7	3.3	4.1	2.6	3.1	4.4	3.2	3.1	
Toplam (mm/mevsim)	851.8	896.5	1028.6	642.8	716.1	906.1	627.1	683.6	946.7	739.6	822.9		

Buna göre, farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen bitki su tüketimi tahmin yöntemlerinin, kullanılacağı yöre koşullarına göre, en azından, bitki katsayılarının düzeltilerek kullanılması gerektiği sonucu çıkarılabilir.

Uygulamada, araştırmacının yürütüldüğü iklim koşullarında, farklı yöntemlerle sulanan elma ağaçlarının,

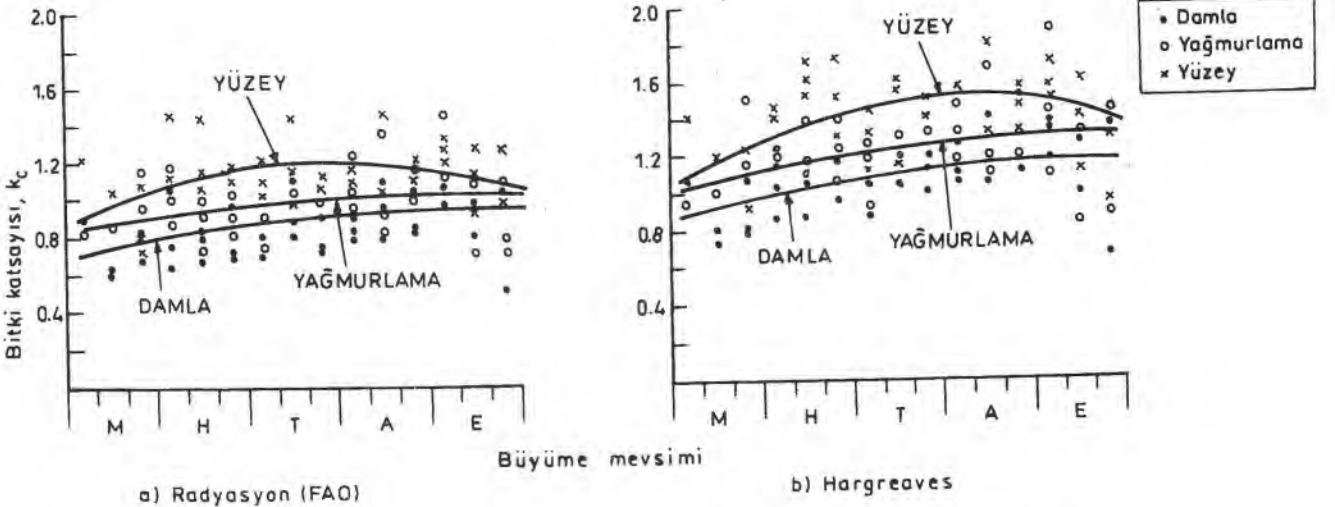
Radyasyon (FAO) ve Hargreaves bitki su tüketimi tahmin yöntemleri için bitki katsayıları Şekil 3 ve Çizelge 5 ten alınabilir, ya da bu şekil ve çizelgelerde yüzey sulama yöntemleri için verilen bitki katsayıları kullanılarak hesaplanan su tüketimi değerleri, damla sulama için ortalama % 23, ağaç altı mikro yağmurlama sulama için ortalama % 13 azaltılabilir.

Çizelge 4. Göz önüne alınan bitki su tüketimi tahmin yöntemlerinde, farklı sulama yöntemleri için elde edilen korrelasyon katsayısı, mevsimlik karşılama yüzdesi ve hata kareler ortalaması değerleri

Bitki su tüketimi tahmin yöntemi	Damla			Yağmurlama			Yüzey			Genel		
	r	% ET	RMS	r	% ET	RMS	r	% ET	RMS	r	% ET	RMS
BC-FAO	0.690	79.4	1.223	0.667	70.4	1.929	0.740	61.2	2.641	0.639	70.3	2.016
P-FAO	0.655	91.3	0.960	0.636	80.9	1.546	0.753	70.4	2.317	0.630	80.9	1.701
R-FAO	0.624	116.9	1.311	0.660	103.5	1.091	0.741	90.1	1.233	0.612	103.5	1.215
A-FAO	0.571	83.7	1.343	0.588	74.2	1.919	0.598	64.5	2.764	0.539	74.1	2.092
P-M	0.670	87.8	1.056	0.666	77.8	1.760	0.753	67.7	2.485	0.637	77.8	1.860
J-H	0.349	123.3	1.679	0.324	109.2	1.312	0.585	94.8	1.275	0.430	109.1	1.434
H	0.656	93.1	0.917	0.662	82.4	1.493	0.775	71.7	2.212	0.642	82.4	1.629
A-CH	0.556	121.9	2.032	0.700	108.0	1.462	0.648	93.9	1.592	0.583	107.9	1.713

Çizelge 5. Radyasyon yönteminin FAO modifikasyonu ve Hargreaves yöntemleri için elma ağaçları aylık bitki katsayıları

Bitki su tüketimi tahmin yöntemi	Sulama yöntemi	Aylar				
		Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Radyasyon (FAO)	Damla	0.72	0.80	0.87	0.97	0.95
	Ağaç altı mikro yağmurlama	0.84	0.93	1.00	1.03	1.03
	Yüzey	0.94	1.10	1.18	1.18	1.11
Hargreaves	Damla	0.89	1.00	1.09	1.16	1.20
	Ağaç altı mikro yağmurlama	1.03	1.16	1.25	1.29	1.30
	Yüzey	1.14	1.36	1.48	1.50	1.41



Şekil 3. Radyasyon yönteminin FAO modifikasyonu ve Hargreaves yöntemleri için elde edilen elma ağaçları bitki katsayısı eğrileri

Kaynaklar

- Akgün, M. 1989. Ankara Koşullarında Kısa Periyotlu Bitki Su Tüketimi Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Ank.Üniv. Fen Bil. Enst., Y.Lisans Tezi, Ankara, 102 s.
- Behnke, J. J. and G. B. Maxey, 1969. An empirical method for estimating monthly potential evapotranspiration in Nevada. Jour. Hydrology, 8(4);418-430.
- Benli, E. 1980. Bitki Su Tüketimi Tahminlerinin Yöresel Olarak Karşılaştırılması Üzerine Bir Araştırma. Ank. Üniv. Basımevi, Ankara, 16 s.
- Benli, E. ve S. Kodal, 1980. Evaporasyon tahminlerinin yöresel olarak karşılaştırılması. III. DSİ Hidroloji Semineri, Cilt II, DSİ Gn. Md., Ankara.
- Burman, R. D., P. R. Nixon, J. L. Wright and W. O. Pruitt, 1983. Water requirements. "Ed. M.E. Jensen, Design and Operation of Farm Irrigation Systems", p.189-232, ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan 49085.
- Christiansen, J. E. 1968. Evaporation and evapotranspiration from climatic data. Jour. Irrig. Drain Div., 94(2);243-265.
- Doorenbos, J. and W. O. Pruitt, 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO, Irrig. Drain Paper 24, Rome, 114 p.
- Ficke, J. F. 1966. Comparison methods of computing lake evaporation from Pretty Lake, Indiana. Hydrology of Lakes and Reservoirs, 1;223-232.
- Goldberg, D., B. Gornat and D. Rimon, 1976. Drip Irrigation. Drip Irrig. Sci. Public., Kfar Shmaryahu, Israel, 296 p.
- Hisarlı, S. 1988. Ankara Koşullarında Bitki Su Tüketimi Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Ank. Üniv. Fen Bil. Enst., Y.Lisans Tezi, Ankara, 63 s.
- Jensen, M. E., R. D. Burman and R. G. Allen (ed.), 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE, 345 East 47 th Street, New York 10017-2398, 332 p.
- Kadayıfçı, A. 1996. Ayçiçeğinin Su-Verim İlişkileri. Ank. Üniv. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, Ankara, 117 s.
- Kırda, C. ve O. Tekinel, 1981. Tansiyometreler ve sulama uygulamalarında kullanılabilen olanakları. DSİ Teknik Bülteni 48, Ankara.
- Kodal, S. 1991. Ülkemizde meyve ağaçlarının su tüketiminde kullanılabilecek yöntemler. Ank. Üniv. Zir. Fak. Yıllığı 1988, 36(1-2);121-131.
- Köksal, A. İ., O. Yıldırım, H. Dumanoğlu, N. Güneş ve A. Kadayıfçı, 1996. Bodur Elma Çeşitlerinde Farklı Sulama Yöntemi ve Sulama Suyu Miktarlarının Gelişme Verim ve Kaliteye Etkisi. TÜBİTAK, TOAG-901 Nolu Araştırma Projesi, Ankara, 148 s.
- Köksal, A. İ., O. Yıldırım, H. Dumanoğlu, N. Güneş ve A. Kadayıfçı, 1999. Farklı sulama yöntemleri ve programlarının elma ağaçlarının vejetatif gelişimi, meyve verimi ve kalitesi üzerine etkileri. Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi, 23(4);909-920.
- Lomas J. and G. Schlesinger, 1970. Actual and Potential Evapotranspiration from Lucern. Israel Meteorology Service 2/70, Bet Dagan, Israel, 21 p.
- Obalar, Z. 1968. Türkiye İçin Evapotranspirasyon Formüllerinin Mukayesesi. DSİ Gn. Md. Yayınları, Ankara, 42 s.
- Orta, A. H. 1994. Farklı Sulama Yöntemlerinin Biber (*Capsicum annuum* L.) Verimine Etkisi. Ank. Üniv. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, Ankara, 88 s.
- Parmele, L. H. and J. L. Mc Guinness, 1974. Comparison of measured and estimated daily potential evapotranspiration in a humid region. Jour. Hydrology, 22(3/4);239-251.
- Smith, M. 1991. Report on the Expert Consultation on Procedures for Revision of FAO Guidelines for Prediction of Crop Water Requirements. FAO, Land and Water Development Division, Rome, 45 p.
- Stephens, J. C. and E. H. Stewart, 1963. A comparison of procedures for computing evaporation and evapotranspiration. Sci. Hydrology, 62;123-133.
- Tekinel, O. ve R. Kanber, 1981. Çukurova koşullarında pamuk su tüketiminin belirlenmesinde kullanılan bazı yöntemlerin kıyaslanması üzerinde bir araştırma. TOPRAKSU, 56;1-13.
- Yıldırım, A. N. 1994. Sulama Yöntemi ve Sulama Suyu Miktarlarının Taze Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Verimine Etkisi. Ank. Üniv. Fen Bil. Enst., Y.Lisans Tezi, Ankara, 79 s.
- Yıldırım, O. 1992. Ankara koşullarında şeker pancarının su-verim ilişkileri ve su tüketimi. Ank. Üniv. Zir. Fak. Yıllığı, 41 (1-2); 23-31. Yıldırım, O. Sulama Sistemleri II. Ank. Üniv. Zir. Fak. Yayınları 1449, Ankara, 289 s.